

INSONORISATION DE L'HABITATION POUR LA PROTECTION CONTRE LES BRUITS EXTÉRIEURS

GUIDE DES BONNES PRATIQUES

Recherche financée par le plan d'action interministériel 2017-2021 de la Politique gouvernementale de prévention en santé 2015-2025.

Produit par :

- Université Laval
- Groupe de recherche en ambiances physiques (GRAP)

Avis de marque : les noms de produits ou de compagnie peuvent être des marques de commerce ou des marques déposées, et sont utilisés uniquement à des fins d'identification et d'explication sans intention d'enfreindre la loi.

ÉDITION :

La Direction des communications du ministère de la Santé et des Services sociaux

Le présent document s'adresse spécifiquement aux intervenants du réseau québécois de la santé et des services sociaux et n'est accessible qu'en version électronique à l'adresse :

www.msss.gouv.qc.ca, section **Publications**

Le genre masculin utilisé dans ce document désigne aussi bien les femmes que les hommes.

Dépôt légal – 2023

Bibliothèque et Archives nationales du Québec

ISBN : 978-2-550-94427-0 (version PDF)

Tous droits réservés pour tous pays. La reproduction, par quelque procédé que ce soit, la traduction ou la diffusion de ce document, même partielles, sont interdites sans l'autorisation préalable des Publications du Québec. Cependant, la reproduction de ce document ou son utilisation à des fins personnelles, d'étude privée ou de recherche scientifique, mais non commerciales, sont permises à condition d'en mentionner la source.

© Gouvernement du Québec, 2023

ÉQUIPE DE RECHERCHE

Groupe de recherche en ambiances physiques (GRAP), École d'architecture, Université Laval

<i>Nom, prénom</i>	<i>Titre, diplôme, affiliations Centre/Groupe de recherche</i>
Potvin, André	M.Arch., Ph.D., CBDC, professeur titulaire directeur du Groupe de recherche en ambiances physiques (GRAP)
Mignerón, Jean-Gabriel	Ingénieur, M.Urb., Ph.D., professeur associé directeur du Laboratoire d'acoustique de l'Université Laval (LAUL)
Mignerón, Jean-Philippe	Ingénieur, M.Sc., auxiliaire de recherche coordonnateur du projet
Hardy, Jean-François	M.Sc., professionnel de recherche
Cantin-Cormier, Marie	B.Arch., auxiliaire de recherche
Barham, Richard	Auxiliaire de recherche
Saavedra, Frank	B.Arch., auxiliaire de recherche
Cloutier, Rosie	B.Arch., auxiliaire de recherche

Tous droits réservés. Copyright © 2022, Gouvernement du Québec
et Université Laval (*J.G. Mignerón et al.*)

NOTE D'UTILISATION DU DOCUMENT

Le présent document est protégé par droits d'auteurs dans le cadre d'une entente signée entre l'Université Laval, le ministère de la Santé et des services sociaux du Québec (MSSS), ainsi que le ministère de l'Environnement et de la lutte contre les changements climatiques du Québec (MELCC).

GUIDE D'INSONORISATION DE L'HABITATION POUR LA PROTECTION CONTRE LES BRUITS EXTÉRIEURS

Table des matières

PARTIE 1 - GÉNÉRALITÉS, IDENTIFICATION DES BESOINS 1

1.1 Objectifs visés par l'insonorisation des habitations..... 1



..... 1

1.2 Pourquoi protéger les secteurs résidentiels de l'impact du bruit 2



..... 2

1.2.1 Constructions résidentielles existantes ou projetées au voisinage d'un corridor de circulation .. 2

1.2.2 Proximité d'une infrastructure ferroviaire existante ou projetée..... 3

1.2.3 Voisinage d'un aéroport ou présence d'un corridor aérien 4

1.2.4 Proximité d'activités industrielles 4

1.2.5 Intensification de l'impact du bruit dans les milieux fortement urbanisés..... 5

1.3 Quand insonoriser les habitations 5



..... 5

1.4 Résumé des niveaux de bruit attendus dans les habitations 6



..... 6

1.4.1 Quelques définitions applicables au bruit 7

1.4.2 Organismes ou autorités régissant les niveaux d'exposition au bruit environnemental..... 8

1.4.3 Synthèse des recommandations et influence sur l'enveloppe des bâtiments 10

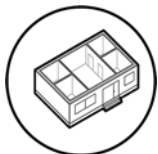
1.4.4 Isolements acoustiques recommandés suivant le degré d'exposition au bruit des habitations .. 13

PARTIE 2 — SOURCES DE BRUIT QUI PEUVENT AFFECTER L’HABITATION 15

2.1 Principales sources de bruit 15



.....	15
2.1.1 Voisinage d’un corridor de circulation routière existant ou projeté.....	15
2.1.2 Influences complémentaires du gradient de température, du vent, de l’absorption du sol et de la topographie.....	20
2.1.3 Voisinage d’une infrastructure ferroviaire existante ou projetée	24
2.1.4 Voisinage d’un aéroport ou présence d’un corridor aérien	27
2.1.5 Bruit des quartiers urbains centraux.....	29
2.1.6 Proximité d’une activité industrielle	31
2.2 Difficultés rencontrées avec la mise en œuvre des traitements antibruit.....	35



PARTIE 3 — DISPOSITION DES BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS EXPOSÉS AU BRUIT 37

3.1 Disposition des immeubles et des logements en vue de la réduction du bruit 37



.....	37
3.1.1 Localisation et orientation des immeubles	37
3.1.2 Contrôle des réflexions.....	40
3.1.3 Dispositions des logements visant à protéger les chambres et les pièces principales du bruit ..	43
3.1.4 Autres dispositions architecturales possibles pour contrôler le bruit.....	46
3.1.5 Aménagements urbanistiques visant à créer des aires protégées du bruit.....	49
3.2 Modélisation de l’impact du bruit en vue de la planification d’un développement résidentiel	52



.....	52
-------	----

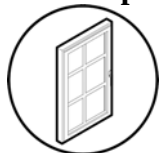
PARTIE 4 — TRAITEMENT ACOUSTIQUE DE L'ENVELOPPE DES BÂTIMENTS..... 55

4.1 Aspects généraux..... 55



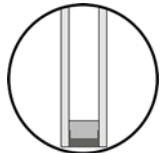
.....	55
4.1.1 Principaux points à considérer pour la protection contre le bruit.....	56
4.1.2 La mesure de l'isolement acoustique des matériaux et des parois (l'indice STC).....	57
4.1.3 L'isolement acoustique des façades soumises aux bruits des transports (l'indice OITC)	59
4.1.4 Combinaison avec l'isolation thermique	60

4.2 Comportement acoustique des fenêtres 66



.....	66
4.2.1 Influence de l'indice d'isolement des vitrages et des murs.....	66
4.2.2 Influence de la surface des vitrages.....	68
4.2.3 Influence du pourcentage d'ouverture.....	70

4.3 Les différents types de vitrages et leurs dispositions 71



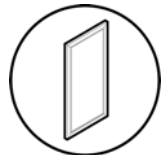
.....	71
4.3.1 Influence de la masse totale et de l'espacement des verres.....	71
4.3.2 Les verres doubles résidentiels et commerciaux	73
4.3.3 Les vitrages spéciaux avec ou sans traitement acoustique	74

4.4 Les différents types de fenêtres et leur mode d'ouverture 75



.....	75
4.4.1 Les fenêtres coulissantes horizontales.....	76
4.4.2 Les fenêtres coulissantes verticales (à guillotine)	77
4.4.3 Les fenêtres à battant(s).....	78
4.4.4 Les fenêtres à auvent et autres modèles	79
4.4.5 Les portes-patio	79

4.5 Les vitrages fixes, possibilité d'une ventilation passive ou mécanique 81



..... 81

4.5.1 Ventilation passive ou mécanique pour des espaces résidentiels avec fenêtres fixes 81

4.5.2 L'usage particulier des pavés de verre 83

4.6 La correction acoustique des fenêtres 84



..... 84

4.6.1 Doubles fenêtres anciennes des édifices patrimoniaux 84

4.6.2 Ajout d'un vitrage supplémentaire sur des fenêtres existantes 85

4.6.3 Doublage des fenêtres coulissantes horizontales ou des portes-patio 87

4.6.4 Doublage des fenêtres à auvent et des fenêtres à guillotine 89

4.6.5 Ajout d'un vitrage supplémentaire en façade (écran de verre) 92

4.6.6 Ajout d'une fenêtre en saillie (« bay window ») ou d'un mini solarium devant une fenêtre à battants..... 92

4.6.7 Résumé des traitements possibles pour les fenêtres..... 95

4.7 Les portes d'entrée exposées au bruit 96



..... 96

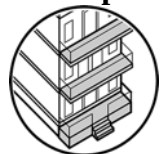
4.7.1 Les portes extérieures pleines..... 96

4.7.2 Les portes extérieures vitrées, avec imposte ou avec fenêtres latérales 97

4.7.3 Joints des portes extérieures 98

4.7.4 Correction acoustique possible d'une porte d'entrée 99

4.8 Disposition et traitement acoustique des balcons..... 101



..... 101

4.8.1 La présence de balcons constitue l'effet de « loggia » 101

4.8.2 Analyse préalable de la propagation du bruit suivant la localisation de la source 102

4.8.3 Les garde-corps utilisés comme écran acoustique 103

4.8.4 Les divisions latérales utilisées comme écran acoustique..... 104

4.8.5 Le traitement acoustique des surfaces réfléchissantes 106

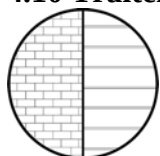
4.8.6 L'effet d'« attique » utilisé pour contrôler la pénétration du bruit vers les fenêtres 108

4.9 Les oriels et le doublage des façades..... 109



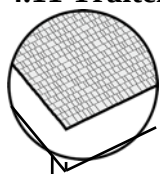
.....	109
4.9.1 Usage d'un oriel pour une fenêtre avec un balcon peu profond.....	110
4.9.2 Usage d'un oriel pour un grand balcon	112
4.9.3 Usage d'un solarium pour constituer une double enveloppe localisée	113
4.9.4 Double enveloppe totale pour un bâtiment résidentiel.....	114

4.10 Traitement acoustique des murs de façade..... 117



.....	117
4.10.1 Constitution des murs de façade.....	117
4.10.2 L'influence de la masse pour l'isolement et pour la protection contre les basses fréquences	119
4.10.3 Les murs avec maçonnerie massive	122
4.10.4 Les murs de façade plus légers, enduits ou avec finition extérieure de vinyle, de bois ou de métal	123
4.10.5 Traitement acoustique des murs de façade (résumé).....	125
4.10.6 Traitement possible dans le cas particulier d'un porte-à-faux	127

4.11 Traitement acoustique des toitures 128



.....	128
4.11.1 Les toitures avec charpente	128
4.11.2 Les toitures plates ou de type cathédrale.....	130

4.12 Le traitement des différentes ouvertures pour éviter la pénétration du bruit 134



.....	134
-------	-----

PARTIE 5 — ANNEXES	137
5.1 Rappel des indices utilisés pour la mesure des bruits fluctuants.....	137
	
.....	137
5.1.1 Indices statistiques de bruit	137
5.1.2 Indices énergétiques de bruit.....	138
5.1.3 Addition ou soustraction de niveaux équivalents.....	140
5.1.4 Indices événementiels de bruit pour les trains.....	141
5.1.5 Indices événementiels de bruit pour les aéronefs et zones réservées	143
5.1.6 Rappel de la position de la SCHL pour l'habitation au voisinage des corridors routiers ou ferroviaires et des aéroports	145
5.1.7 Rappel de la position du MTQ pour le voisinage des corridors routiers.....	148
5.1.8 Rappel de la position du ministère de l'Environnement et de la note d'instructions 98-01.....	149
5.1.9 Exemples de règlements municipaux qui font appel à des mesures dans les logements perturbés	152
5.1.10 Position et recommandations de l'OMS.....	157
5.2 Normes et calculs applicables à l'isolation des matériaux et des éléments de construction...	161
5.2.1 Isolation et transmission acoustiques	161
5.2.2 Isolement brut et isolement normalisé (norme ASTM E90)	162
5.2.3 Établissement de l'indice d'isolement STC (norme ASTM E413).....	163
5.2.4 Fréquence critique et fréquence de résonance masse-air-masse	164
5.2.5 Isolement total d'une paroi composite	166
5.3 Vérification de l'isolation acoustique des façades.....	168
5.3.1 Procédure normalisée de vérification de l'isolation acoustique d'une façade (indice OITC)..	168
5.3.2 Mesure simplifiée de l'isolation d'une façade ou de l'enveloppe d'un édifice.....	172
5.4 Isolement acoustique et principales caractéristiques de différents matériaux de construction	174
5.5 Isolement acoustique des différents vitrages	176
5.6 Isolement acoustique de différents types de fenêtres.....	179
5.7 Isolement acoustique de différents types de murs.....	182
5.8 Isolement acoustique de différentes toitures	186
5.9 Absorption acoustique des matériaux pouvant être utilisés à l'extérieur.....	191
LISTE DES FIGURES	194
LISTE DES TABLEAUX.....	199
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES OU VISUELLES	201

GUIDE D'INSONORISATION DE L'HABITATION POUR LA PROTECTION CONTRE LES BRUITS EXTÉRIEURS

PARTIE 1 - GÉNÉRALITÉS, IDENTIFICATION DES BESOINS

1.1 Objectifs visés par l'insonorisation des habitations



Le traitement acoustique de l'enveloppe des bâtiments résidentiels, bien que documenté depuis de nombreuses années, n'est pas spécialement mis de l'avant comme une solution privilégiée pour la protection de l'habitation contre le bruit. On continue à construire de façon conventionnelle et à réclamer en même temps des organismes publics qu'ils mettent tout en œuvre pour protéger nos quartiers du bruit environnemental. Heureusement, les exigences thermiques du Code de construction garantissent le respect de certaines performances pour les différentes parties qui constituent l'enveloppe d'une habitation, murs, fenêtres ou toiture. L'isolation thermique va souvent de pair avec l'isolation acoustique. Cependant, elle ne suffit pas toujours à nous procurer une qualité de vie adéquate dans les logements, en particulier dans les espaces de repos. Comme le montrent les démarches et recherches de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) ^{1,2}, les qualités acoustiques de l'habitation sont de plus en plus demandées, en regard de nombreuses sources de bruit. Surtout depuis que la résidence tend à redevenir un lieu de travail, voire de scolarisation, avec l'usage intensif du Web et du télétravail.

Le principal objectif de l'insonorisation de l'habitation vise à réduire le bruit à un niveau acceptable dans les différentes parties d'un logement, ce suivant les différentes périodes de la journée. Les niveaux de bruit communautaires évoluent en effet tout au long d'une journée, tout comme la répartition des activités tenues dans chaque résidence. Un traitement tout particulier doit être réservé aux chambres à coucher, spécialement durant la période 23h00 - 7h00. La qualité du sommeil est essentielle à la qualité de la vie et à la santé de tous les résidents. En ce qui concerne l'enveloppe d'un bâtiment résidentiel, en plus de la protection contre le bruit, il faut envisager la ventilation naturelle des lieux habités, particulièrement en période estivale. Bien des environnements urbanisés viennent perturber ce double objectif, il ne sera pas possible d'obtenir les niveaux de bruit intérieurs requis sans clore toutes les fenêtres. Le traitement acoustique de l'enveloppe d'un bâtiment résidentiel doit concilier ces différentes exigences. En plus de réduire les niveaux de bruit, ainsi que de réduire également la dynamique du signal sonore, il doit moduler la protection requise suivant l'usage des différentes parties d'un même logement, et permettre, autant que faire se peut, une certaine ventilation naturelle des espaces de vie.

1.2 Pourquoi protéger les secteurs résidentiels de l'impact du bruit



La protection des secteurs résidentiels envers diverses sources de bruits, principalement les transports urbains ou interurbains, mais aussi les activités commerciales et industrielles s'avèrent un enjeu stratégique de planification urbanistique. De cette manière, la qualité de vie offerte aux citoyens constitue une plus-value importante qui représente simultanément un enjeu de santé publique.

1.2.1 Constructions résidentielles existantes ou projetées au voisinage d'un corridor de circulation

Avec l'étalement urbain, de nouveaux développements résidentiels se trouvent encore construits au voisinage des autoroutes ou des principaux corridors de circulation. Il est important d'étudier la localisation de ces nouvelles résidences et de planifier le voisinage des corridors, afin de limiter le plus possible l'impact du bruit des véhicules. En matière de protection contre le bruit, les démarches appropriées doivent être menées conjointement entre les municipalités concernées et le ministère des Transports du Québec (MTQ), lorsque le projet est en bordure de son réseau. Dans un certain nombre de cas, ce sont les promoteurs qui initient de tels projets d'habitation. Une approche consciencieuse permet ensuite de tirer profit des investissements immobiliers à plus long terme s'ils parviennent à offrir un habitat de qualité. Le contrôle du bruit doit donc faire partie de leurs préoccupations. Il n'est maintenant plus rare de voir des buttes en terre être érigées en bordure des voies, avant même la construction de la voirie locale et des premières résidences. Cependant, tous les projets de mitigation n'avancent pas convenablement ni harmonieusement. On entend ici par le terme « mitigation » une volonté de prendre action afin de rendre le bruit moins intense ³ dans des secteurs jugés plus sensibles en fonction des usages. Des difficultés peuvent surgir, en termes d'ingénierie, d'urbanisme ou d'architecture, quand ce n'est pas de finances (qui va autoriser, qui va réaliser, qui va payer les dispositifs de protection appropriés ?). On peut se retrouver, par exemple, avec des immeubles d'habitation trop hauts pour être protégés du bruit, voire même des ensembles résidentiels exposés au bruit sans aucune protection.

Lorsqu'aucun dispositif de mitigation ne peut être mis en œuvre, on peut penser que les promoteurs, soucieux de la qualité des logements qu'ils construisent, seront amenés à investir dans l'insonorisation des fenêtres et des façades. Cela pourra d'ailleurs faire partie de leur publicité; ils promettent généralement une « *insonorisation de qualité supérieure* », mais les habitudes sont tenaces. Très souvent, le traitement des façades se limite essentiellement à l'isolation thermique. Quand on parle d'une insonorisation de qualité, on considère surtout le comportement acoustique des divisions entre logements et les planchers. Il est rarement question de l'insonorisation contre les bruits extérieurs.

C'est d'abord au niveau des plans d'architecture et des devis qu'il importe de mettre en œuvre le choix de fenêtres de qualité et une bonne isolation phonique des façades. Comme on le verra par la suite, même après la construction, de nombreuses interventions sont possibles pour améliorer l'isolation extérieure des habitations exposées au bruit. Les occupants pourront être les premiers à désirer des travaux en vue de se protéger du bruit de la circulation, ce peu importe le moyen de transport considéré.

La situation est assez comparable quand le MTQ ou une municipalité doit modifier un tronçon existant, ce qui peut mener à un rapprochement des voies par rapport aux résidences existantes, ou encore à une élévation importante des débits de circulation. L'évaluation des impacts sur les usages résidentiels, institutionnels et récréatifs est alors basée sur les niveaux de bruit existants et projetés.

1.2.2 Proximité d'une infrastructure ferroviaire existante ou projetée

Un peu comme dans le cas de la circulation automobile, la situation peut différer entre une nouvelle voie de chemin de fer ou bien une voie existante qui doit être déplacée ou qui voit son trafic largement augmenté (par exemple, de l'ajout d'un service régional supplémentaire). À titre d'exemple, un des gros projets de nouvelles voies ferrées comme le Réseau express métropolitain (REM), dans l'ouest de Montréal, a fait l'objet d'une étude approfondie de bruit, tant dans la partie résidentielle plus ouverte dans Laval, que dans la partie plus fortement densifiée dans Montréal ⁴. Le bruit des trains n'est pas continu dans le temps, son impact dépend du nombre de rames par 24 h et du nombre de wagons. De plus, avec les vitesses utilisées au Canada, la croissance du bruit est étalée jusqu'au passage de la motrice directement devant le point d'écoute. Il est donc moins agressif que celui d'un camion circulant à 100 km/h. C'est lorsque le trafic devient plus important, comme pour les trains de banlieue par exemple, que l'impact du bruit du chemin de fer sur les résidences voisines se fait sentir davantage. La pire des situations concerne peut-être les gares de triage : les activités y sont parfois continues durant 24 h, et les motrices, même en attente, produisent beaucoup de bruit et de vibrations.

Il existe des dispositifs pour éviter la propagation du bruit des infrastructures ferroviaires, en particulier pour les bruits de roulement sur les rails, mais ils sont rarement utilisés. Malgré l'adoption locale des lignes directrices proposées conjointement par l'Association des chemins de fer du Canada (ACFC) et la Fédération canadienne des municipalités (FCM) ⁵, de tels dispositifs n'ont jamais ou rarement été mis de l'avant par les compagnies de chemin de fer qui veulent toujours garder un dégagement suffisant autour des voies. Elles occupent souvent le territoire depuis de nombreuses années et c'est plutôt l'urbanisation qui tend à se rapprocher de leurs infrastructures. Les compagnies acceptent plus facilement de modifier certains horaires ou de laisser une rangée de wagons en attente pour protéger les résidences proches d'une gare de triage. Dans bien des cas, en dehors de l'éloignement, la meilleure intervention possible consistera donc à renforcer l'isolation acoustique des façades exposées au bruit.

1.2.3 Voisinage d'un aéroport ou présence d'un corridor aérien

Dans toutes les grandes villes, le bruit des aéronefs est encore une source importante de dérangement, malgré les améliorations spectaculaires concernant les moteurs ou les réacteurs des avions modernes. Le trafic aérien augmente historiquement de façon exponentielle, tant pour les déplacements personnels ou commerciaux que pour le tourisme. Les milieux urbanisés proches des aéroports et sous les corridors d'approche ou d'envol sont les premiers concernés, soit là où les vols se font à plus basse altitude. En dehors de la réduction du trafic (notamment nocturne) ou du déplacement des corridors, il est pratiquement impossible de réduire l'impact du bruit des avions. En plus des normes édictées par Transports Canada quant au voisinage des aérodromes ⁶, il est ainsi nécessaire de contrôler l'urbanisation autour des aéroports à l'aide de cartes d'impact et de recommandations urbanistiques, telles que celles proposées par la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) pour les aéroports canadiens ⁷. En ce qui concerne les résidences sises en dehors des limites maximales fixées, mais encore proches des corridors de vol, il est recommandé d'isoler convenablement les logements. Cette recommandation reste assez vague. Comme on le verra par la suite, en plus de l'isolation des fenêtres et des murs de façade, elle peut s'appliquer aux toitures et, dans certaines circonstances, à l'organisation même de l'habitation. Ceci afin de protéger les pièces les plus sensibles comme les chambres à coucher.

1.2.4 Proximité d'activités industrielles

Un peu comme les grandes voies de circulation, les entreprises bruyantes, même si elles sont situées dans des parcs industriels de banlieue, peuvent se trouver rattrapées par l'urbanisation. Le bruit qu'elles produisent peut alors affecter de nouveaux secteurs résidentiels. De même, en milieu rural, ce peut être les entreprises existantes qui grossissent et viennent perturber une bonne partie des maisons du voisinage. Les types de bruit produits par l'industrie sont très variables, ils peuvent être continus ou sporadiques, parfois même impulsionnels (bruits d'impact). Leurs compositions en gamme de fréquences (bruits graves à aigus) peuvent également être très variables, avec parfois des pointes indésirables (par exemple, bruits stridents des alarmes de recul). En plus de la machinerie, les activités industrielles peuvent comporter de la manutention et du camionnage. Des dispositions peuvent être mises en œuvre pour réduire l'impact de l'industrie, certaines sont du ressort des entreprises et d'autres, des municipalités concernées. Là encore, pour toutes sortes de raisons, les dispositifs de mitigation peuvent s'avérer inefficaces ou insuffisants, il ne restera donc que la possibilité d'améliorer l'isolation acoustique des façades exposées au bruit.

1.2.5 Intensification de l'impact du bruit dans les milieux fortement urbanisés

La densification des milieux urbains centraux peut constituer un objectif pour les municipalités ou les autorités gérant le territoire, notamment en vertu des orientations gouvernementales. Les promoteurs sont également à la recherche de terrains vagues ou d'espaces de stationnement pour construire de nouvelles habitations en condominiums. Ces implantations d'immeubles peuvent ainsi se retrouver dans les quartiers centraux, avec des niveaux de bruit moyens très élevés. Bien souvent, la seule solution possible pour construire des logements de qualité consistera à renforcer l'isolation acoustique de la fenestration et des façades. Les plus négligents des constructeurs considéreront peut-être que plus le bruit extérieur est élevé, moins il sera nécessaire d'isoler les logements entre eux. Les autres trouveront leur profit, avec les nombreuses solutions disponibles pour valoriser à la fois l'architecture, l'isolation thermique et l'isolation acoustique.

En plus de la rumeur urbaine, dans les quartiers urbains centraux, on peut retrouver de nombreuses sources de bruit d'origine mécanique ou électrique. Il peut s'agir de condenseurs, de ventilateurs, d'unités de chauffage ou de climatisation, de tours à eau, de transformateurs, etc. Le positionnement de ce genre d'équipements en toiture ou en façade peut d'ailleurs être propice à la propagation du bruit dans l'environnement immédiat. La construction d'un nouvel immeuble résidentiel ne fera pas disparaître les édifices existants ou les commerces du voisinage. Il pourrait être alors important, afin de ne pas nuire aux nouveaux logements, de contrôler préalablement les différentes sources de bruit présentes, avec des dispositifs de mitigation appropriés.

1.3 Quand insonoriser les habitations



Avant de proposer un traitement acoustique particulier des façades et des autres parties des immeubles résidentiels, il conviendrait de vérifier les diverses dispositions possibles pour réduire le bruit qui pourrait affecter les logements concernés. En effet, de nombreuses interventions sont possibles, à commencer par celles-ci :

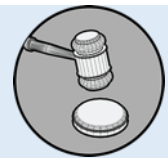
- l'éloignement des sources de bruit;
- une réduction du bruit à sa source par la sélection d'équipements moins bruyants;
- l'ajout d'un dispositif d'atténuation sur la source même;
- modifications à l'infrastructure existante ou bien des procédés appropriés visant à limiter la propagation acoustique;
- l'érection d'un écran, d'un mur antibruit ou d'une butte en terre;
- l'application d'un traitement absorbant;
- la planification d'un édifice ou d'une zone tampon, etc.

Il faut cependant que ces dispositifs de mitigation proposés soient constructibles, acceptables

visuellement et socialement et, bien sûr, que leur coût reste compatible avec les ressources de l'entité responsable de l'intervention (MTQ, municipalités, propriétaires ou promoteurs). En ce qui concerne les raisons ou les situations susceptibles de mener à l'abandon d'un traitement à la source du bruit des corridors de circulation ou des bruits industriels, elles seront abordées au point 2.2, soit après avoir abordé les principales sources de bruit susceptibles d'affecter l'habitation. Par la même occasion, on essaiera de dégager tous les avantages du traitement des fenêtres et des façades pour la protection contre le bruit.

Contrairement aux interventions précédentes, la protection acoustique des façades, ou des autres parties de l'enveloppe d'un bâtiment, est souvent réalisable sans représenter une intervention majeure de génie ou d'urbanisme. Autrement dit, de façon pratique, une amélioration de l'isolation acoustique d'un logement afin d'éviter la pénétration du bruit extérieur devrait être toujours possible. On peut même espérer conserver une certaine ventilation naturelle. Il faut, en effet, tenir compte qu'en période estivale, les résidents vont vouloir ouvrir leurs fenêtres pour assurer une ventilation convenable de leurs logements. De plus, de telles interventions correctives, sur des fenêtres ou des murs de façade, peuvent s'adresser à des situations existantes, en particulier, celles où il n'y a plus rien à faire pour réduire le bruit à la source. Toutefois, la conception d'une enveloppe neuve, bien adaptée aux niveaux de bruit prévus devant les futures façades, sera toujours beaucoup plus facile à réaliser. Travailler au niveau de la conception permet de choisir les meilleures dispositions, les meilleurs produits et de réduire les coûts de mise en œuvre. On notera, néanmoins, que pour certaines sources de bruit, il pourrait être nettement plus difficile d'améliorer l'isolation acoustique des fenêtres et murs existants. Il pourrait s'agir, par exemple, de sources comportant beaucoup de basses fréquences, comme un poste de transformation électrique par exemple. Dans de tels cas, l'effort d'intervention à la source restera toujours préférable.

1.4 Résumé des niveaux de bruit attendus dans les habitations



Avant de déterminer le niveau d'insonorisation requis pour l'enveloppe d'un bâtiment donné, il convient d'évaluer adéquatement le critère de qualité à atteindre. Du point de vue quantitatif, plusieurs normes politiques ou des recommandations peuvent être applicables en fonction d'un contexte donné. Il appartient donc aux parties prenantes d'identifier les besoins et de choisir les seuils maximaux à respecter.

La présente section propose un survol des situations communément rencontrées au Québec, tandis que davantage de détails sont fournis en annexe 5.1.

1.4.1 Quelques définitions applicables au bruit

- Un bruit « **continu** » est un bruit de niveau constant qui se prolonge dans le temps.
- Un bruit « **fluctuant** » est un bruit dont le niveau varie constamment de façon bien perceptible (son niveau peut être moyenné ou bien analysé statistiquement). Pour une période de temps donnée, la moyenne quadratique des niveaux instantanés correspond au niveau continu équivalent noté LAeq.
- Un bruit « **stable** » est un bruit dont le niveau varie très peu dans le temps ou dans une plage limitée (de 3 à 5 dBA de fluctuation par exemple).
- Un bruit « **intermittent** » est un bruit continu, stable ou fluctuant, qui est interrompu une ou plusieurs fois sur une période de temps déterminée.
- Un bruit « **impulsionnel** » est un bruit répétitif constitué de chocs ou d'impacts de courte durée (chocs métalliques, battage de pieux, etc.). Si les impulsions sont proches dans le temps, il peut être assimilé à un bruit continu (moins de 1 seconde entre les pointes de bruit par exemple).
- Le bruit « **de pointe** » est le niveau maximum de bruit relevé statistiquement sur une période de temps déterminée. Il peut correspondre, par exemple, aux indices $L_{1\%}$ ou $L_{5\%}$ (c'est-à-dire le niveau atteint ou dépassé pendant 1 ou 5 % de la période considérée).
- Le bruit « **de fond** » est le niveau minimum de bruit relevé statistiquement sur une période de temps déterminée. Dans différents règlements de bruit, il correspond à l'indice $L_{95\%}$ (c'est-à-dire le niveau atteint ou dépassé pendant 95 % de la période considérée).
- Le bruit « **maximum** » correspond au niveau maximum absolu atteint pendant une période de temps donnée (noté Lmax).
- Le bruit « **minimum** » correspond au niveau minimum absolu atteint pendant une période de temps donnée (noté Lmin).

En matière de bruit, il faut également considérer le vocabulaire adopté pour les études d'impact, notamment en analyses environnementales; à ce propos, on peut distinguer les définitions suivantes :

- **Le bruit « perturbateur »** correspond au bruit produit par la source visée dans l'étude d'impact (*parfois nommé bruit particulier ou bruit émergent, valable pour une source de bruit fixe, pour une voie de transport donnée ou pour toute autre nuisance sonore bien identifiée*).
- **Le bruit « ambiant »** correspond au niveau de bruit moyen sur une période de temps déterminée, incluant le bruit perturbateur.
- **Le bruit « résiduel » ou préexistant,** correspond au niveau de bruit moyen sur une période de temps déterminée, en l'absence du bruit perturbateur (*peut être relevé suite à l'interruption de toute autre source visée par l'étude d'impact*).

On notera que, pendant de nombreuses années, le bruit dit « ambiant » avait plutôt été considéré comme étant le niveau moyen existant sans le bruit perturbateur. Par ailleurs, on peut chercher à comparer des niveaux moyens de façon chronologique pour les constats afférents à des changements de climat sonore. En transport, notamment routier, il est souvent question de bruit existant (climat sonore existant ou actuel) et du climat sonore projeté (climat sonore en présence d'un projet à venir ou estimé dans le futur à partir d'hypothèses de circulation). Il est donc bien important de vérifier toutes ces désignations, lors de l'analyse d'une étude d'impact. Si, lors de son émission, le bruit nuisible domine clairement les autres sources de bruit perceptibles au point d'écoute (au minimum de plus de 10 dBA), il peut être mesuré directement. Sinon, deux approches sont possibles, soit présenter distinctement l'élévation du bruit ambiant en présence du bruit perturbateur (cette différence arithmétique est aussi appelée « l'émergence » du bruit perturbateur), ou bien calculer la différence logarithmique entre le bruit ambiant et le bruit résiduel. S'il était possible d'interrompre le bruit résiduel, le résultat de cette différence correspondrait au bruit perturbateur seul, tel qu'il pourrait être mesuré au point d'impact.

1.4.2 Organismes ou autorités régissant les niveaux d'exposition au bruit environnemental

L'insonorisation des habitations contre le bruit environnemental est généralement basée sur une interprétation de la réglementation urbanistique. L'un des objectifs incontournables a été mis en évidence par l'OMS qui s'est intéressée très activement à l'effet du bruit sur la santé et les activités humaines et plus particulièrement sur la communication et sur le sommeil. Donc, la protection des chambres à coucher ou des espaces de repos suggère d'emblée certains seuils critiques, tant pour des valeurs de bruit continu que des pointes maximales. Ensuite, d'autres considérations pour la protection de la santé ou la protection de l'ouïe peuvent s'ajouter.

Le ministère des Transports dispose d'une politique⁸ sur le bruit routier qui se divise en deux parties, soit une approche corrective et une approche préventive. **Dans le cas d'une situation existante, le ministère peut mettre en œuvre des mesures correctives lorsque le niveau de bruit extérieur atteint un seuil jugé problématique.** L'évaluation des besoins pour l'atténuation du bruit routier découle d'une certaine tolérance face à une modification du climat sonore moyen.

De plus, la notion d'impact sonore est également appliquée par le ministère de l'Environnement et de la

Lutte contre les changements climatiques (MELCC). La *note d'instructions 98-01*⁹ a été proposée, il y a une vingtaine d'années, pour établir les niveaux de bruit admissibles, dans différentes situations et pour différentes sortes de bruits, mais toujours relevés à l'extérieur des habitations. En fonction des pratiques courantes, un impact sera quantifiable à partir du moment où une source sonore, dépasse d'au moins 3 dBA le niveau de bruit préexistant. Il faut néanmoins ajouter que le MELCC relativise les exigences selon une classification des usages urbanistiques.

La responsabilité de la gestion du bruit environnemental peut faire l'objet de diverses réglementations municipales. À titre d'exemples, la section 5.1.9 en annexe, reprend les aspects essentiels des directives en vigueur dans des villes comme Québec ou Montréal. Pour d'autres municipalités, on voit apparaître, sous différentes formes, des processus d'évaluation qui permettent aux promoteurs de projets de soumettre des demandes d'autorisation en démontrant que les concepts proposés ne portent pas préjudice au voisinage actuel ou au confort des futurs habitants.

D'autre part, on peut souligner que la Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) a publié des recommandations accompagnées de méthodes détaillées de calcul qui concerne les bruits routier et ferroviaire (rééditées en 1981)¹⁰. Malgré le fait que ces méthodes d'analyse datent de quelques dizaines d'années, celles-ci peuvent représenter un intérêt pour quiconque désire estimer sommairement le bruit des axes de transport sans avoir à utiliser d'outils spécialisés. Par la suite, dans un rapport sur l'isolation acoustique des résidences¹¹ (réédité en 1989), la SCHL confirme les niveaux de bruit admissibles dans les habitations et donne une série de conseils très judicieux pour l'isolation des habitations par rapport au bruit extérieur. Les points abordés par la SCHL sont les suivants :

- obligation de fermer les fenêtres et d'ajouter une ventilation mécanique lorsque le bruit extérieur dépasse 55 dBA;
- surveiller les infiltrations autour des fenêtres ou des portes;
- éviter la pénétration du bruit par une fenêtre inadéquate;
- éviter la pénétration du bruit par une porte inadéquate;
- réduire la transmission du bruit par les murs extérieurs;
- réduire la propagation du bruit par le toit et le plafond;
- voir à la protection contre le bruit pour les aires extérieures;
- et balcons exposés à un bruit trop intense (de 55 dBA à 65 dBA et plus).

La plupart de ces recommandations seront reprises de façon détaillée dans le présent document.

Dans la pratique, il arrive souvent que plusieurs normes, recommandations ou règlements s'appliquent à un cas précis. Généralement, on considérera l'exigence la plus restrictive pour concevoir un bon

traitement des bâtiments d'habitation contre le bruit. Lorsqu'il s'agit de sources sonores qui risquent d'évoluer dans le temps, il peut enfin être pertinent d'anticiper le risque d'une élévation de l'intensité du climat sonore afin d'assurer une certaine pérennité des interventions. C'est d'ailleurs ce qui est fait communément avec l'analyse du bruit routier à long terme alors que des projections peuvent être calculées sur des horizons de 10, 20 ou même 30 ans.

1.4.3 Synthèse des recommandations et influence sur l'enveloppe des bâtiments

On peut essayer de résumer les normes et recommandations les plus communes de manière à cerner les niveaux de bruit admissibles à l'intérieur et autour des habitations. Il faut cependant garder à l'esprit que le traitement acoustique de l'enveloppe des bâtiments résidentiels n'interviendra que dans le cas où un impact sera déjà présent ou bien lorsque les autres interventions de mitigation auront été écartées. Les niveaux de bruit visés doivent donc être réalistes, en considérant la variabilité de notre environnement sonore, du contexte et des attentes de la population. Comme contre-exemple à une ambiance acoustique très calme, il faut remarquer que le dérangement dû à un événement sonore sporadique (tel un passage d'avion ou d'un train) sera d'autant plus perceptible que le niveau de bruit de fond est bas. **En matière d'habitation, l'élément essentiel de la qualité de vie qui doit être protégé est le sommeil.** On surveillera donc le niveau de bruit dans les chambres à coucher en période nocturne prioritairement. Il convient de s'attarder aux paramètres utilisés, par exemple, le niveau LAeq nuit (sur une période de 8 h) peut-il refléter le bruit de la motocyclette qui passe à 130 km/h à 3 h du matin sur une voie de circulation au débit nocturne réduit ? Ou bien encore le bruit d'un camion qui mettra son frein moteur à proximité d'un feu de circulation ? L'OMS recommande à ce sujet un niveau Lmax de 45 dBA, est-il possible de le vérifier aisément ? Pour le niveau de bruit nocturne admissible dans la chambre elle-même, l'OMS recommande un niveau LAeq 8h de 30 dBA, avec son pendant de 45 dBA à l'extérieur (soit avec une fenêtre entrouverte). De façon pratique, ces niveaux ne sont possibles que dans des quartiers résidentiels très calmes. Dans les autres parties d'une grande agglomération, les niveaux extérieurs mentionnés par l'OMS seront aisément dépassés.

Toutefois, on peut retenir le niveau LAeq 16h de 55 d(A) indiqué par l'OMS pour un quartier qui commence sérieusement à être perturbé par le bruit. Ceci ressemble d'ailleurs à la valeur recommandée par le MTQ et surtout par la SCHL, puisqu'au-dessus d'un niveau extérieur LAeq 24h de 55 dBA, il faudrait envisager de fermer les fenêtres et de ventiler les habitations. Cette dernière recommandation nécessite l'utilisation de systèmes de chauffage / ventilation / climatisation, mais par ailleurs, elle permet de développer des secteurs résidentiels dans des quartiers plus bruyants. On notera que, dans de telles conditions, la limite de bruit nocturne recommandée par l'OMS (30 dBA pour les chambres à coucher) peut se trouver rattrapée par les bruits mécaniques internes à l'immeuble ou la résidence (c'est d'ailleurs commun dans les chambres d'hôtel dans les quartiers centraux). **On peut donc en conclure que la limite pour le niveau de bruit nocturne de 35 dBA dans les chambres à coucher, telle que proposée par la SCHL et par le règlement de bruit de la Ville de Montréal (pour les quartiers les plus calmes avec un bruit de fond nocturne L95% inférieur à 41 dBA) devrait convenir pour l'habitation en général.**

La possibilité d'ouvrir une fenêtre en période estivale représente encore une autre difficulté. Comment chiffrer l'atténuation résultante entre la façade de l'immeuble et la chambre à coucher ? L'ouverture d'une fenêtre n'entraîne pas seulement une élévation du niveau de bruit, elle provoque des variations de dynamique et de composition spectrale qui peuvent affecter le flux acoustique pénétrant à l'intérieur du logement. C'est d'ailleurs ce qu'illustre la figure N° 1.4.3, soit la pénétration du bruit de la circulation, entre la bordure de la rue et l'intérieur de l'habitation. Ainsi, afin de simplifier les critères requis pour la protection des immeubles résidentiels, dans ce qui suit, on parlera surtout de niveaux LAeq (jour, nuit, ou 24 h) et la différence entre les niveaux admissibles intérieurs et extérieurs sera toujours comptée pour 15 dBA (tel que relevé à 1 m devant une fenêtre ouverte).

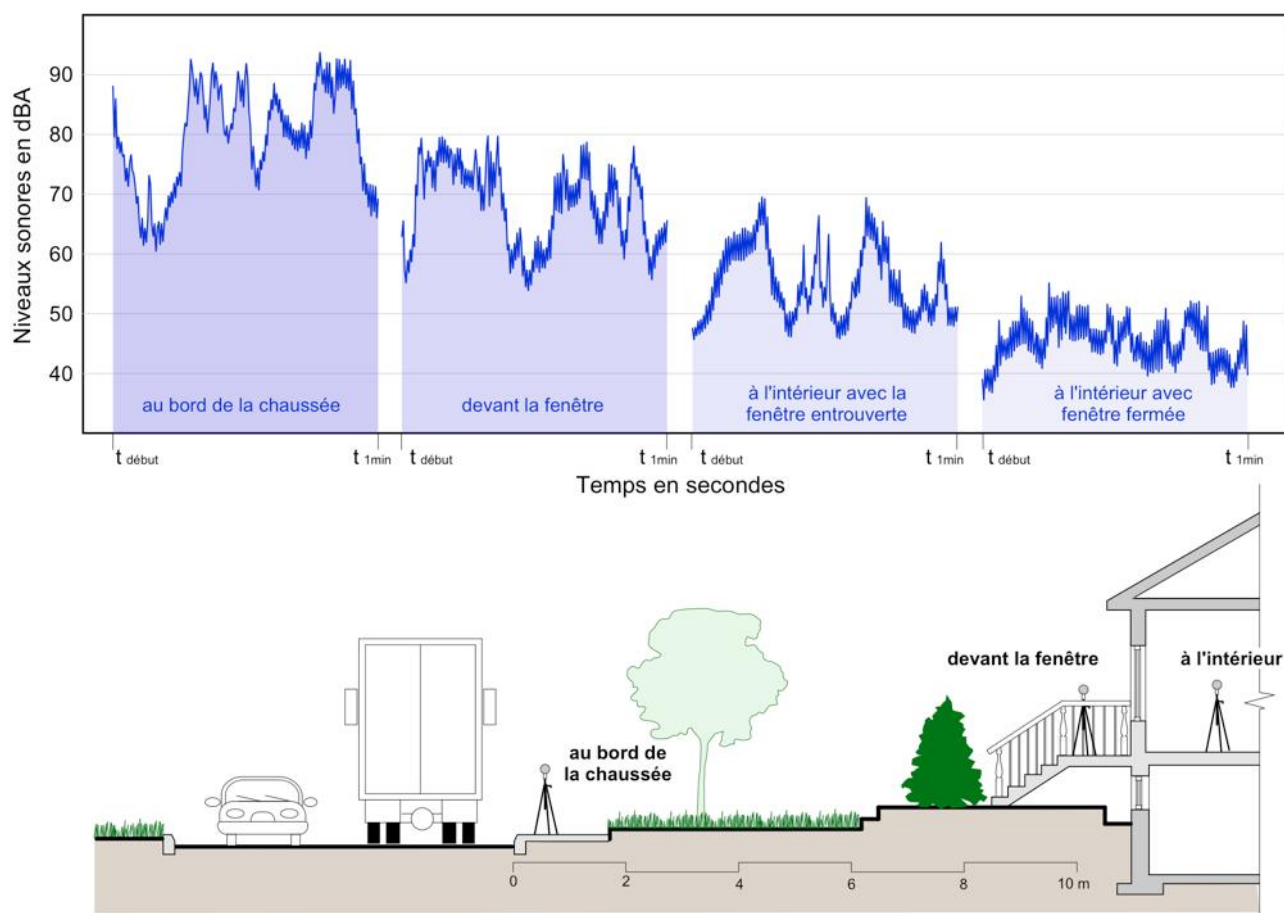


Figure N° 1.4.3 : Exemple de propagation et de pénétration du bruit dans une habitation, changement de niveau et de dynamique sonore

Le tableau N° 1.4.3 rassemble les valeurs maximales et les commentaires qui peuvent se rattacher au traitement possible de l'enveloppe des bâtiments résidentiels. On notera que, dans ce tableau, **les localisations intérieures sont classées dans leur ordre de protection contre le bruit** (en débutant avec les usages les plus sensibles établis par le programme d'occupation jusqu'aux espaces où des niveaux sonores plus intenses peuvent être tolérés). Par ailleurs, il faut ajouter qu'il s'agit d'une synthèse qui n'aborde pas en profondeur les détails qui seraient autrement pris en compte dans le cadre d'une analyse au cas par cas. Comme il a été expliqué, l'interprétation des nuisances sonores doit tenir compte du contexte et des autres aspects particuliers qui peuvent accroître les désagréments ressentis face à l'occurrence de certains bruits.

Tableau N° 1.4.3 : Niveaux sonores moyens jugés comme tolérables en habitation et remarques relatives à la protection des bâtiments résidentiels

<i>Programme d'usage de l'espace</i>	<i>Niveau de bruit recommandé le jour (LAeq jour)</i>	<i>Niveau de bruit recommandé la nuit (LAeq nuit)</i>	<i>Remarques</i>
Chambre à coucher d'une résidence	40 dBA	35 dBA	Les chambres à coucher doivent idéalement être localisées du côté le plus tranquille de l'habitation ou de l'immeuble concerné. Les fenêtres peuvent être ouvertes pour permettre une ventilation estivale. La limite diurne correspond à 55 dBA à l'extérieur. Si le bruit extérieur nocturne est plus élevé que 50 dBA, il faudrait assurer une ventilation permanente silencieuse (système central de chauffage / climatisation ou échangeur).
Bureau (télétravail *)	43 dBA	38 dBA	Les fenêtres peuvent être ouvertes pour permettre une ventilation estivale. La limite diurne correspond à 58 dBA à l'extérieur. Si le bruit extérieur nocturne est plus élevé que 53 dBA, il faudrait assurer une ventilation permanente silencieuse (système central de chauffage / climatisation ou échangeur).
Salon ou séjour			
Salle à manger			
Cuisines	45 dBA	40 dBA	Si le niveau extérieur diurne ne dépasse pas 60 dBA, les fenêtres peuvent être ouvertes pour assurer une ventilation estivale. Si le bruit extérieur nocturne est plus élevé que 55 dBA, il faudrait assurer une ventilation permanente silencieuse (système central de chauffage / climatisation ou échangeur pour les pièces humides).
Salle de divertissement, salle de télé			
Toilette, salle de bain, ou lingerie			
Vestibule, couloir d'une résidence ou garde-robe	45 dBA	43 dBA	Espaces tampons, généralement sans fenêtre. Ils peuvent contribuer à la protection des autres locaux.

Corridor commun d'un immeuble	50 dBA	45 dBA	Espaces généralement ventilés en permanence. Peuvent comporter des fenêtres fixes sans ouverture.
Balcon, terrasse, espaces de divertissement extérieur	55 dBA	50 dBA	Au-dessus de 55 dBA, les espaces extérieurs tels que les patios ou les balcons devraient être protégés du bruit. Pour les jardins et aires de jeu, utiliser les clôtures et la végétation pour assurer une certaine intimité.
Espaces extérieurs sans distinction	LAeq 24h > 55 dBA (en relativisant selon le contexte préexistant)		La construction de logements n'est possible que si l'on insonorise et on ventile mécaniquement les bâtiments de façon adéquate. Les MRC et les villes ont l'obligation de prendre en compte le bruit routier dans la gestion de l'aménagement du territoire en fonction des risques et des contraintes de nature anthropique.
	LAeq 24h > 65 dBA		Au-dessus de ce niveau, le MTQ prévoit des dispositifs de protection contre le bruit des corridors routiers pour les zones sensibles implantées avant l'adoption de la Politique sur le bruit routier.
	LAeq 24h > 75 dBA		La construction de logements est à déconseiller.

(*) Cette fonction a été ajoutée, car le télétravail devient de plus en plus effectif dans les habitations.

1.4.4 Isolements acoustiques recommandés suivant le degré d'exposition au bruit des habitations

À partir du tableau précédent, il est possible de dégager les points qui concernent exclusivement les fenêtres et les façades des habitations en se basant sur les niveaux de bruit extérieurs. On retrouve le critère LAeq 24h de 55 dBA pour l'impossibilité d'ouvrir les fenêtres (au moins dans les chambres) et comme conséquence la nécessité de ventiler mécaniquement les logements. En ce qui concerne les indices d'isolement STC (*Sound Transmission Class*) des murs et des fenêtres, ils commencent autour de 28 pour les fenêtres avec un thermos ordinaire de 2 x 3 mm et à 40 pour les murs de façade de masse surfacique supérieure à 30 kg/m². Ces indices et le comportement des éléments de façade seront analysés en détail dans tout ce qui suit.

Tableau N° 1.4.4 : Isolements acoustiques approximatifs recommandés dans les habitations suivant l'exposition au bruit exprimée en dBA

Niveau de bruit extérieur LAeq 24h	Niveau de bruit de nuit LAeq 8h	Ouverture fenêtre de chambre	Ouverture fenêtres des autres pièces	Ventilation mécanique requis	Isolement des fenêtres suggéré STC	Isolement des murs de façade suggéré STC	Aperçu des matériaux de l'enveloppe suggérés
≤ 50	≤ 45	oui	oui		≤ 30	40	Murs de finitions variées et verres thermos ordinaires (2 x 3 mm)
50-55	45-50	oui	oui		30	40	Verres thermos (2 x 4 mm)
55	50-53	limite	oui	oui	35	45	Murs de finitions variées et verres thermos commerciaux (2 x 6 mm)
58-60	53-55	non	limite	oui	38	48	Murs avec traitement acoustique complémentaire verres thermos (2 x 8 mm)
65	55-60	non	non	oui	40	50	Maçonnerie avec traitement acoustique complémentaire verres épais et espacés
65-75	-	non	non	oui	45	55	
> 75	-	Construction résidentielle non recommandée					

On trouvera dans l'annexe 5.2.3 la détermination de l'indice STC et dans les annexes suivantes les spécifications acoustiques des différents vitrages, fenêtres et murs de façade.

PARTIE 2 — SOURCES DE BRUIT QUI PEUVENT AFFECTER L'HABITATION

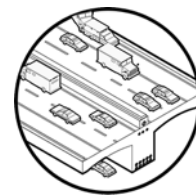
2.1 Principales sources de bruit



Les principales sources sonores qui composent l'environnement acoustique des milieux urbains sont produites par les techniques de déplacement des personnes et des marchandises. Les équipements et les infrastructures de transport sont, en effet, les sources de bruits et de vibrations les plus importantes dans toutes les grandes agglomérations. Le bruit des transports peut être divisé selon trois sources principales : la circulation automobile, la circulation aérienne et la circulation ferroviaire.

2.1.1 Voisinage d'un corridor de circulation routière existant ou projeté

La plus importante de ces sources sonores est, sans contredit possible, la circulation automobile. Cette affirmation est doublement prouvée, tant par les aspects physiques de son impact que par l'ampleur des réactions qu'elle suscite auprès de la population. La circulation urbaine, ou plus généralement la circulation routière, produit des bruits de niveaux de pression et de composition spectrale très variées. Ces bruits dépendent des types de véhicules, des conditions d'utilisation telles que l'accélération, la vitesse ou le freinage, la charge transportée ou l'état du véhicule. Le principal paramètre reste néanmoins le débit total de la circulation. Les infrastructures routières exercent aussi une influence prépondérante sur le mode de propagation des ondes acoustiques, avec des conditions telles que la pente, le type et l'état de la chaussée, la présence d'obstacles ou de feux de circulation. Ces conditions peuvent affecter le niveau sonore et modifier la dynamique du bruit. Dans un véhicule automobile ordinaire en mouvement, propulsé par un moteur à combustion conventionnel, les sources sonores sont multiples : la combustion elle-même, les bruits de compression, le silencieux, l'échappement, les pièces mécaniques, les vibrations de la carrosserie, l'écoulement plus ou moins aérodynamique autour du véhicule et, finalement, le bruit des pneumatiques sur le revêtement de la chaussée. Dans les conditions technologiques actuelles, même si l'intérieur des automobiles nous semble plus silencieux, il ne faut pas en conclure une réduction notable des niveaux de pression acoustique produits par l'ensemble du trafic sur une même voie de circulation. Les moteurs issus des technologies nouvelles ne sont pas encore assez répandus, qu'il s'agisse de véhicules électriques à accumulateurs ou bien de véhicules utilisant une pile à hydrogène. Indépendamment de la motorisation de chaque véhicule, le bruit de roulement sur la chaussée devient prépondérant à des vitesses de l'ordre de 50 km/h et plus. Par ailleurs, le développement des transports en commun ne suit pas forcément le développement de l'urbanisation, ce qui peut entraîner encore un accroissement du trafic automobile.



Comme le montre la figure N° 2.1.1 a, la propagation du bruit de la circulation automobile issue d'une même ligne de sources mobiles se fait de façon cylindrique. De ce fait, les niveaux de pression résultants en s'éloignant d'une voie de circulation s'atténuent en $10 \cdot \log_{10}(d)$, soit une atténuation de 3 dB par doublement de la distance, alors que pour une source ponctuelle fixe elle s'atténue en $20 \cdot \log_{10}(d)$, soit une atténuation de 6 dB par doublement de la distance à la source. En plus de la dispersion géométrique, la propagation du bruit de la circulation peut se trouver affectée par l'effet de sol, par les effets d'écrans et à plus grande distance par les effets météorologiques. Les principaux paramètres acoustiques utilisés pour caractériser le bruit de la circulation sont basés sur le niveau continu équivalent LAeq, donc établis à partir des valeurs relevées en dBA et intégrées en fonction du temps de mesure considéré. Toutes ces valeurs sont affectées en permanence de la correction de fréquence « A », en fonction de la sensibilité spectrale de l'oreille humaine. Les principaux indicateurs qui permettent de caractériser le bruit de la circulation routière sont les suivants : LAeq 5, 10 ou 15 min, LAeq 1h, LAeq 24h, LAeq jour, LAeq nuit, Ldn et Lden. Ce dernier indicateur correspond au cumul des bruits de jour, de soirée et de nuit, avec une pondération de +5 dBA pour le soir et de +10 dBA pour la nuit. **Voir en annexes 5.1.1 et 5.1.2 tous les indices utilisés pour la mesure d'un bruit fluctuant.** En ce qui concerne l'impact du bruit de la circulation sur l'habitation, en plus du niveau global LAeq 24h, il est souvent utile de distinguer les niveaux LAeq jour et LAeq nuit, pour tenir compte de l'effet du bruit sur le sommeil et de distinguer les exigences applicables suivant la période du jour considérée.

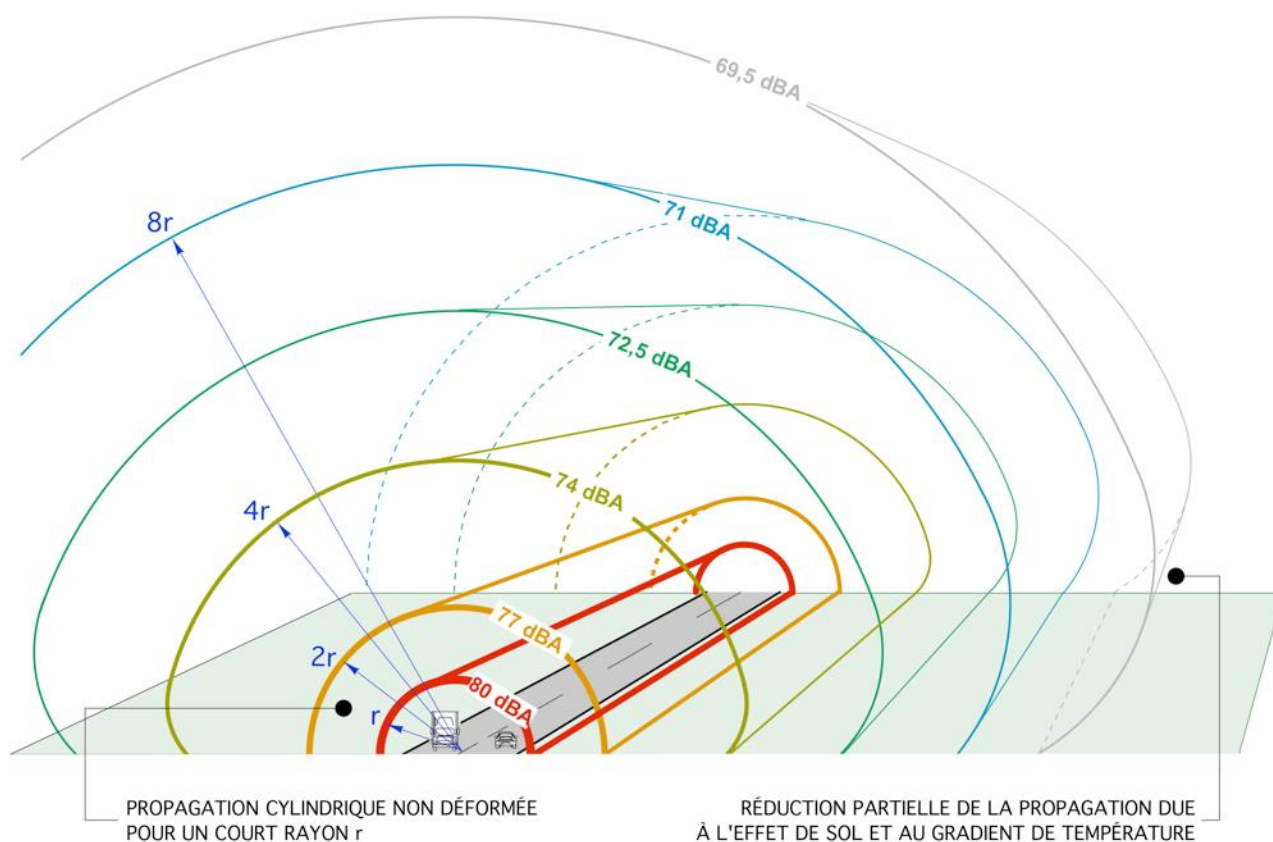


Figure N° 2.1.1 a : Propagation du bruit au voisinage d'une autoroute, atténuation de 3 dBA par doublement de la distance

Comme le montre la figure N° 2.1.1 b, différents aménagements de génie, d'urbanisme ou d'architecture sont possibles pour permettre une bonne intégration des infrastructures de transport terrestre. Évidemment, l'ampleur des interventions peut être limitée dans le cas des axes routiers gérés par les municipalités, mais une réflexion urbanistique demeure pertinente dès que les niveaux LAeq 24h dépassent la cinquantaine de décibels « A ».

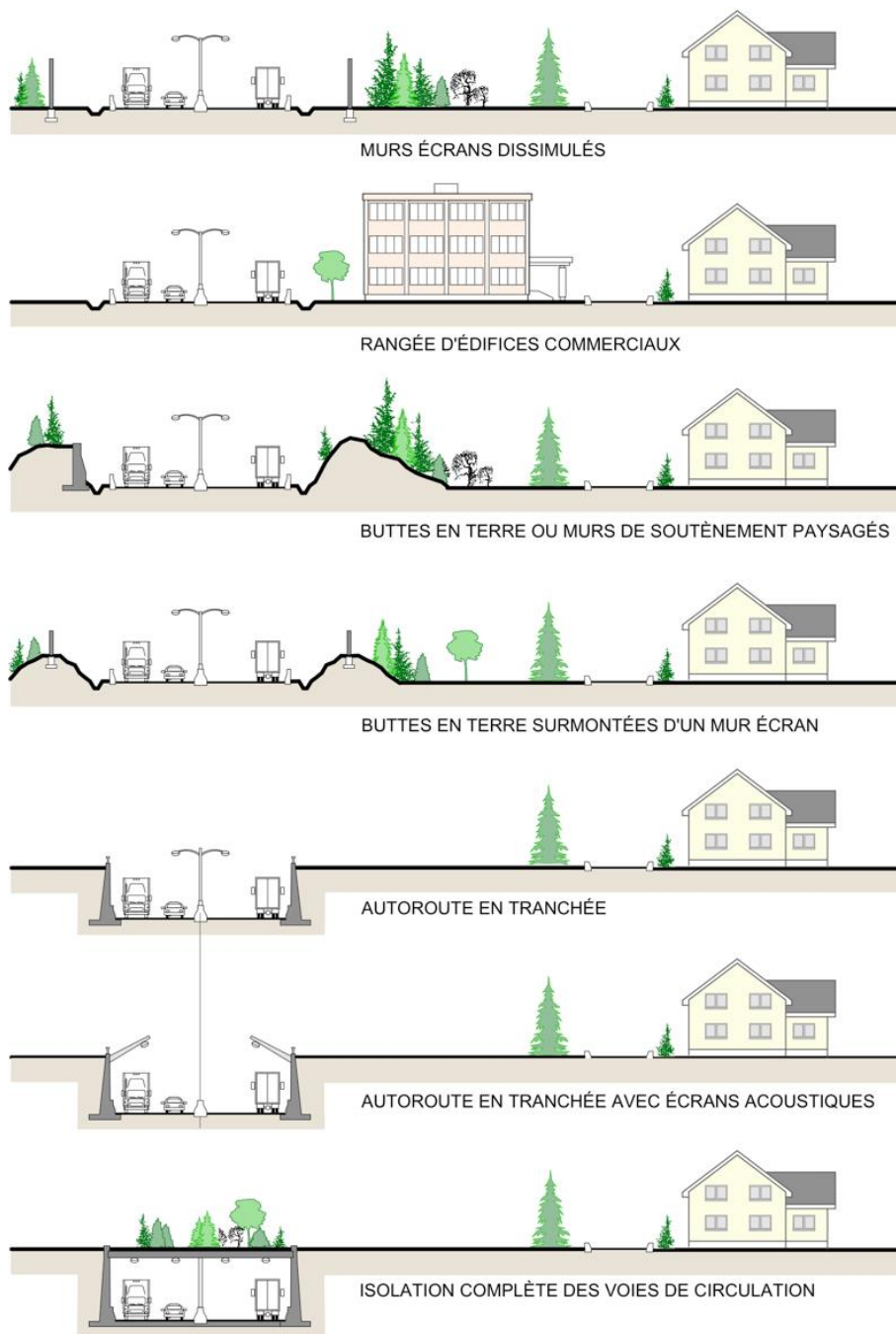


Figure N° 2.1.1 b : Exemples des traitements acoustiques possibles au voisinage immédiat des voies d'une autoroute

Plusieurs de ces dispositions peuvent exercer une grande influence sur la qualité de l'environnement acoustique résultant dans un secteur donné. Le choix du profil en travers d'un corridor, spécialement dans le voisinage immédiat des voies de circulation, peut modifier de façon importante le mode de propagation des ondes acoustiques, avec l'ajout de différents effets tels que l'absorption, la réflexion ou la diffraction par un écran. On peut même y ajouter l'effet d'absorption et d'écran de la végétation, surtout lorsqu'il est combiné à la topographie ou bien lorsqu'il vient renforcer l'efficacité d'un mur antibruit. Dans l'ordre de la figure N° 2.1.1 b, les interventions possibles sont les suivantes :

- ajout d'un écran de hauteur et d'isolement acoustique suffisants. On notera que, sur cette illustration, que le mur antibruit est dissimulé du côté des résidences par une bande de végétation;
- implantation d'une rangée d'édifices commerciaux constituant une succession d'écrans acoustiquement satisfaisante (d'une hauteur suffisante et avec peu d'ouvertures entre les édifices);
- ajout d'une butte paysagée de hauteur satisfaisante (une végétation dense peut augmenter l'absorption acoustique des deux côtés de la butte, pente suggérée 1 dans 3);
- si le terrain disponible n'est pas suffisant pour y ériger une butte assez haute, on peut ajouter un mur antibruit sur le dessus de la butte ou encore ériger une butte avec soutènement (et ainsi réduire l'emprise nécessaire);
- installation des voies de circulation en tranchée (de profondeur suffisante pour contrôler la propagation du bruit);
- ajout d'écrans absorbants sur le haut de la tranchée pour limiter encore mieux la propagation du bruit (avec intégration possible des appareils d'éclairage);
- et finalement, la couverture complète du corridor de circulation.

On notera, au sujet de ces deux dernières solutions, qu'elles sont effectivement employées dans divers pays (peut-être moins enneigés que le Québec) et que la couverture complète d'un corridor de circulation peut être remplacée par des rangées de poutrelles absorbantes.

À propos des murs antibruit, qu'ils soient constitués d'un mur ou d'une butte de terre, ils représentent de loin le dispositif de protection contre le bruit routier le plus largement utilisé dans la province de Québec. C'est souvent la première solution envisagée, autant par les promoteurs sensibilisés au problème du bruit que par le MTQ ou les municipalités concernées. Pour ces murs antibruit, plusieurs matériaux sont disponibles, béton, mortier avec particules de bois ou de caoutchouc, tôle d'acier, PVC, verre, acrylique, bois traité et même écran végétal. Suivant l'aspect visuel souhaité ou les autres critères de conception, ces différents matériaux peuvent même être combinés. En ce qui concerne l'isolement du mur proprement dit, il doit être supérieur à l'atténuation résultant de la diffraction par-dessus l'écran (soit un indice d'isolement supérieur à environ STC-25). Tant pour un mur que pour une butte, comme le montre la figure N° 2.1.1 c, l'atténuation du bruit résultant sur les façades des habitations à protéger dépend de la hauteur et de la longueur du dispositif. On notera que le phénomène de diffraction par-dessus un écran (ou une butte en terre) étant lié à la longueur d'onde, les basses fréquences reviennent plus aisément dans la zone d'ombre de l'écran (le bruit est donc plus sourd en arrière de l'écran). On notera également que l'ajout d'un matériau absorbant sur un mur antibruit peut permettre de contrôler les réflexions vers l'autre côté de la voie.

De nombreux matériaux peuvent constituer des murs antibruit convenables, il faut cependant tenir compte de leur durabilité et de leur entretien.

Pour un mur ou une butte antibruit, l'atténuation acoustique obtenue dépend essentiellement de la hauteur et de la longueur du dispositif.

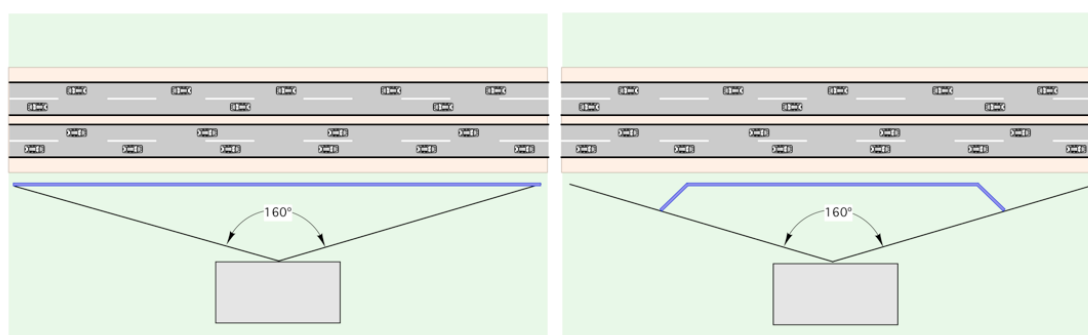
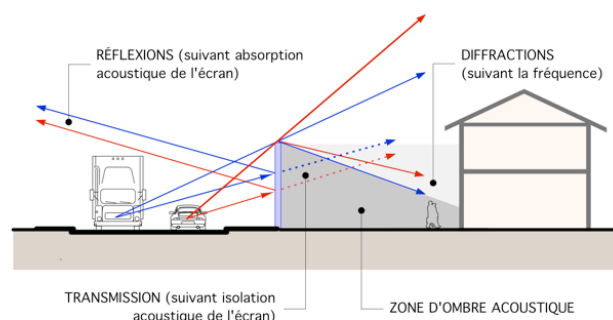


Figure N° 2.1.1 c : Influence de la hauteur et de la longueur d'un mur antibruit le long d'axes routiers

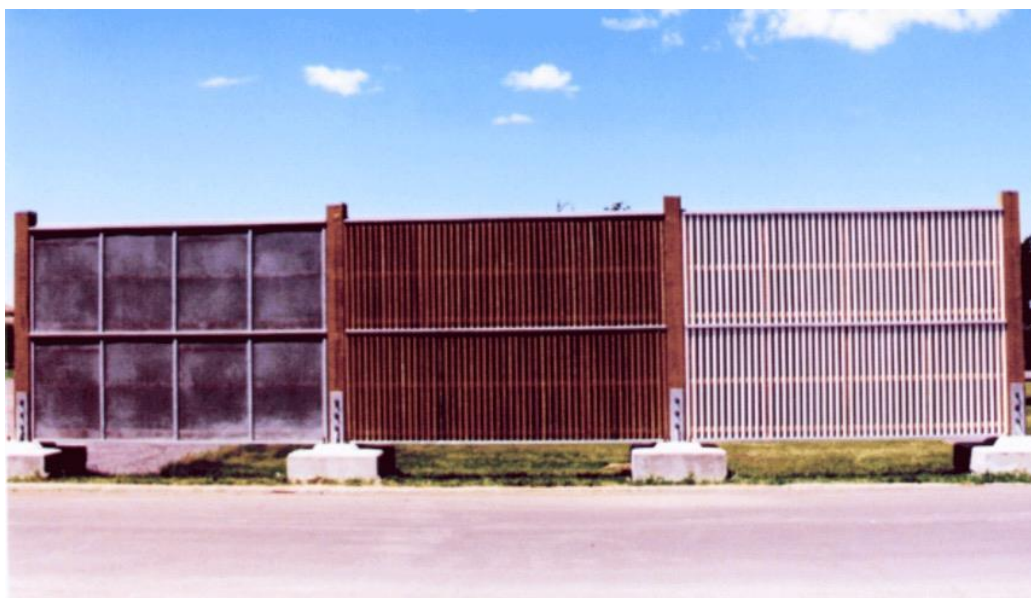


Figure N° 2.1.1 d : Exemple de murs antibruit de construction économique avec des matériaux standards [Migneron et collab., GRAP]

Enfin, il est à noter que le guide « *Meilleures pratiques d'aménagement pour prévenir les effets du bruit environnemental sur la santé et la qualité de vie* » de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) propose un résumé des performances typiques pouvant être espérées par plusieurs dispositifs d'atténuation ¹².

2.1.2 Influences complémentaires du gradient de température, du vent, de l'absorption du sol et de la topographie

Un corridor routier, ou une quelconque autre source importante de bruit, peut se faire entendre à une grande distance. En plus de la dispersion géométrique habituelle de l'énergie sonore, la propagation des ondes acoustiques peut être affectée par de nombreux phénomènes, comme l'humidité ou le gradient de température. Ce dernier tend à provoquer une zone d'ombre acoustique lorsqu'on s'éloigne de la source (avec l'influence du gradient de température sur la densité du milieu de propagation qui transporte le son). Le phénomène inverse existe avec les inversions de température (au début d'une nuit claire par exemple, où le bruit qui se propagerait normalement vers le ciel est redirigé vers le sol). Le vent peut également déplacer la zone d'ombre acoustique normalement présente, et ainsi provoquer une différence significative de niveau de bruit, entre la zone d'ombre et la zone de vent portant (voir figure N° 2.1.2 a). L'humidité relative joue aussi un rôle dans la propagation du bruit à grande distance, en particulier lors des journées très humides, elle modifie également la composition spectrale en atténuant les hautes fréquences (voir tableau N° 2.1.2 a). Enfin, pour une source d'une certaine hauteur, l'état du sol autour de la source de bruit peut affecter les éventuelles réflexions. En ville, le sol peut être asphalté ou bétonné, alors qu'en milieu naturel il est couvert de végétation. Un sol réfléchissant peut même provoquer des interférences entre l'onde directe et l'onde réfléchi. Alors que pour un secteur boisé en été, non seulement le sol est fortement absorbant, mais la densité du couvert végétal et l'importance de sa foliation peut constituer un véritable écran acoustique (avec une distance et une épaisseur suffisante, voir tableau N° 2.2.1 b). Comme on le verra par la suite, les modèles de propagation, applicables notamment à la circulation automobile, peuvent tenir compte de l'effet du vent et de l'absorption du sol.

Tableau N° 2.1.2 a : Atténuation atmosphérique suivant la température et l'humidité relative (en dB/100 m de distance, selon ISO 9613-1)

Température	Humidité relative	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz
21 °C	40 %	0,3	0,5	1,1	3,5	12,5
	60 %	0,3	0,5	0,9	2,5	8,5
	80 %	0,3	0,5	0,9	2,1	6,7
2 °C	40 %	0,2	0,8	2,7	7,7	14,7
	60 %	0,2	0,5	1,7	5,9	16,1
	80 %	0,2	0,4	1,2	4,4	14,3

Tableau N° 2.1.2 b : Atténuation suivant la couverture végétale du sol (en dB/100m de distance)

Couvert végétal	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
Gazon ou champs tondus (jusqu'à 0,2 m)	0,5	0,5	1,0	3,0	3,0	3,0
Herbes épaisses (0,4-0,5 m)	0,5	0,5	0,5	12,0	14,0	15,0
Conifères toujours verts (<i>arbres semper virens</i>)	7,0	11,0	14,0	17,0	19,0	20,0
Arbres à feuilles décidues (défeuillés l'hiver)	2,0	4,0	6,0	9,0	12,0	16,0

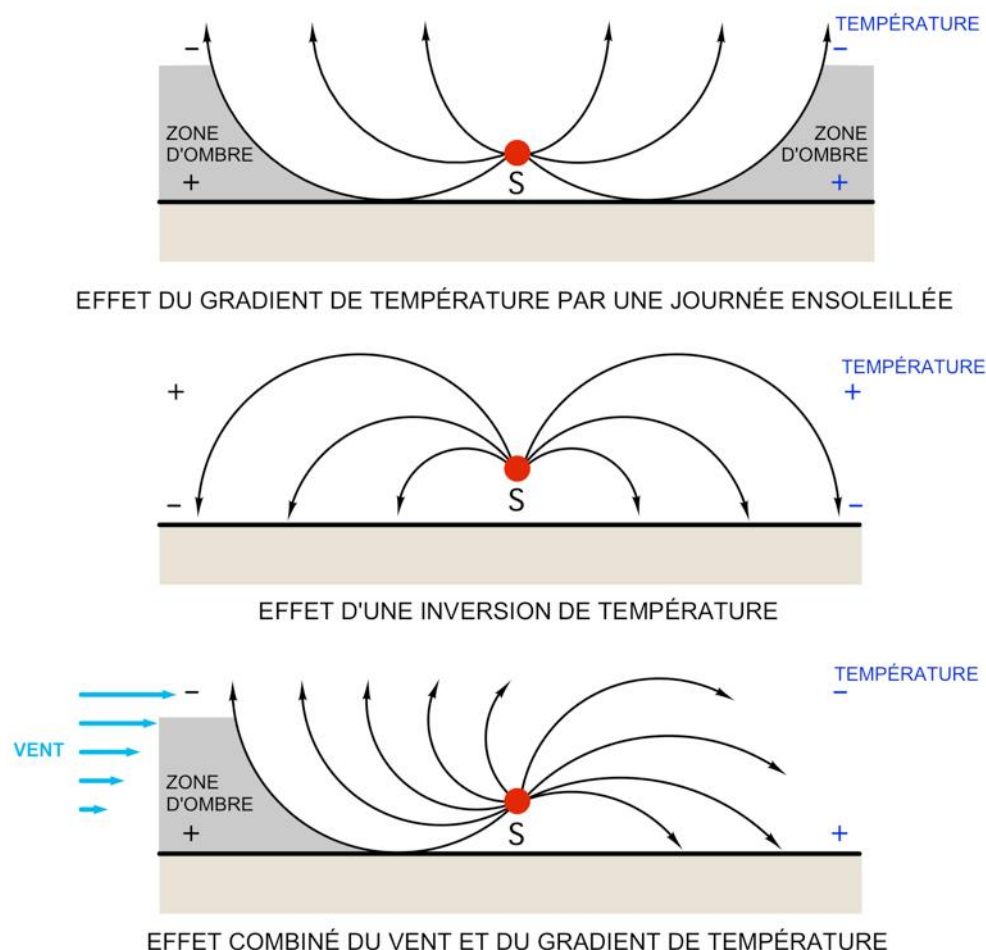
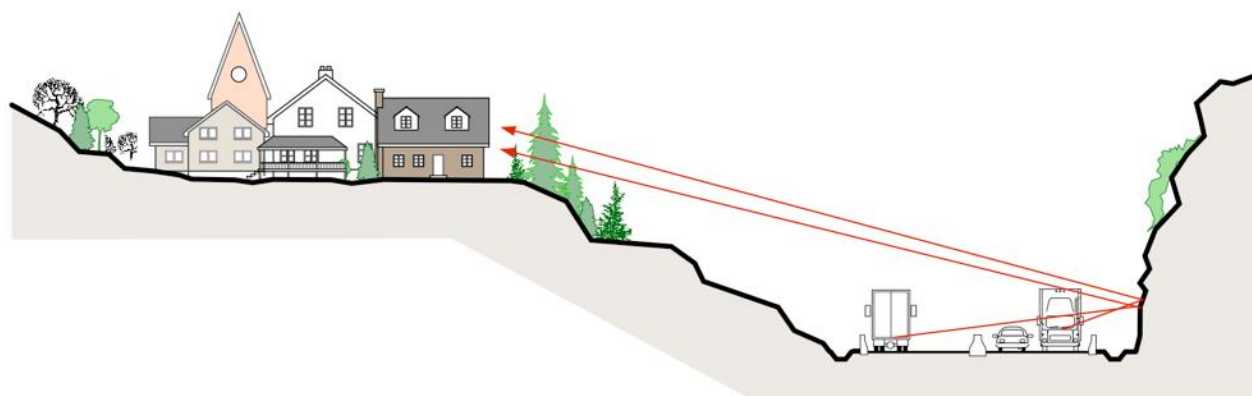
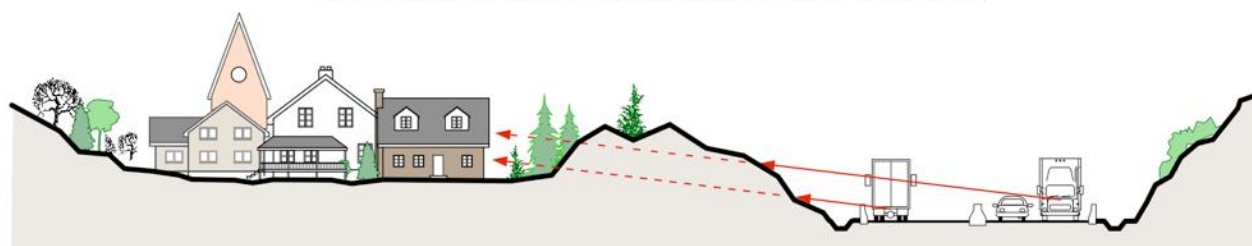


Figure N° 2.1.2 a : Influence du gradient de température et du vent sur la propagation du bruit

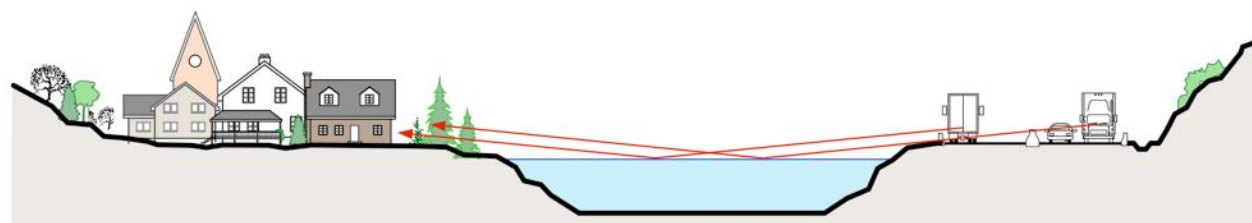
Lorsqu'un corridor routier traverse une région accidentée, il est parfois nécessaire de considérer également l'effet de la topographie ou même la présence de lacs ou de rivières susceptibles de réfléchir les ondes acoustiques. Comme le montre la figure N° 2.1.2 b, la configuration du terrain peut influencer la propagation des ondes sonores. Par exemple, une paroi rocheuse peut jouer le rôle d'un réflecteur et concentrer les ondes sonores vers une zone habitée, augmentant ainsi de quelques décibels un environnement acoustique défavorable. Ce phénomène est tout aussi valable, suivant que la paroi réfléchissante se trouve près des maisons ou bien près de la source sonore telle qu'une autoroute. Un miroir d'eau peut aussi faire office de réflecteur, ce qui peut être le cas des nombreux lacs ou rivières bordés par des escarpements montagneux. Ces phénomènes, surtout caractéristiques d'un temps calme, peuvent être intensifiés par une inversion de température ; ils peuvent également être fortement perturbés par un manque d'homogénéité atmosphérique dû aux caprices des vents ou du climat. En certaines circonstances, on sera amené à les prendre en considération, notamment lors de la construction d'une autoroute en zone montagneuse.



RÉFLEXIONS POSSIBLES SUR UNE PAROI ROCHEUSE



EFFET D'ÉCRAN PROVOQUÉ PAR LA TOPOGRAPHIE

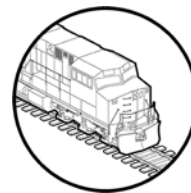


RÉFLEXIONS POSSIBLES SUR UNE ÉTENDUE D'EAU

Figure N° 2.1.2 b : Influence de la topographie sur la propagation du bruit

2.1.3 Voisinage d'une infrastructure ferroviaire existante ou projetée

Les transports ferroviaires constituent le second type de transports produisant des bruits susceptibles d'affecter l'habitation. En plus des motrices et des wagons, les voies ferrées elles-mêmes peuvent être une source de bruit, dépendant de la technologie et de l'état du rail. Pour le Québec rural, ce sont plutôt les vibrations des trains roulant à faible vitesse et l'utilisation, parfois abusive, des cloches ou autres avertisseurs de locomotives. Dans une ville plus importante comme Montréal, le métro souterrain classique, malgré l'utilisation de véhicules sur pneumatiques, peut engendrer un grondement sourd susceptible de parvenir à la surface ou d'être perceptible à l'intérieur de constructions adjacentes. En plus de l'importance des équipements de ventilation, il est parfois accompagné de vibrations qui peuvent se communiquer aux édifices situés au-dessus des tunnels.



Le bruit des trains canadiens provient surtout des motrices diesel, qui sont souvent groupées par deux ou par trois, pour tirer à faible vitesse de longs trains de marchandises. Le nombre de wagons et la vitesse de circulation ont une influence directe sur la durée du dérangement. En plus du bruit des moteurs ou des turbines, les locomotives produisent divers bruits, tels que le ronronnement des groupes électrogènes, le bruit haché des compresseurs ou les sifflets de tous les échappements. Après le passage de la motrice devant un point d'observation, il est souvent possible de distinguer la cadence du bruit provenant des boggies de chacun des wagons, certains plus bruyants que d'autres, suivant leur conception ou leur état mécanique. Avec la traction électrique, à vitesse élevée, le bruit de la motrice disparaît par rapport au bruit de roulement. Celui-ci croît rapidement en fonction de la vitesse, de façon comparable à celle des pneumatiques sur une chaussée. Le niveau de bruit produit dépend autant de l'état du rail et de sa technologie que de l'état des roues et des wagons. Le type de joint du rail, et la qualité de son installation jouent un rôle important, les longs rails soudés produisant évidemment un minimum de bruit. On peut compter une graduation totale d'environ 20 dBA entre les trois conditions suivantes : un matériel silencieux sur voie soudée, un matériel normal sur voie à joints conventionnels et un matériel ancien sur voie usée. Pour les gares de triage, souvent voisines de l'urbanisation, le niveau de bruit est multiplié par le franchissement des aiguilles, par la présence de contre-rails et par la courbure souvent accentuée des voies, sans parler des tamponnements (chocs entre les wagons ou les mâchoires d'attelage lors d'un arrêt ou d'une entrée en mouvement), des dispositifs de freinage pneumatiques pour le triage des wagons « *sabots d'enrayage* », voire les unités de climatisation des wagons frigorifiques.

Au point de vue de la composition spectrale du bruit des trains, les hautes fréquences sont plutôt liées au bruit de roulement, alors que le passage d'une locomotive automotrice diesel à vitesse lente produit beaucoup de basses fréquences, en plus des vibrations si le terrain convient à leur propagation. La répartition spatiale du bruit de roulement est très directive, chaque roue pouvant être considérée comme un dipôle acoustique (présence parallèle de deux sources identiques). Le bruit produit peut parfois fluctuer à proximité de la voie à cause du cadencement du bruit des boggies, alors que dans l'axe de celle-ci on peut avoir du mal à entendre les convois qui arrivent (on peut noter également une plus forte directivité des trains rapides, par rapport aux trains de marchandises plus lents).

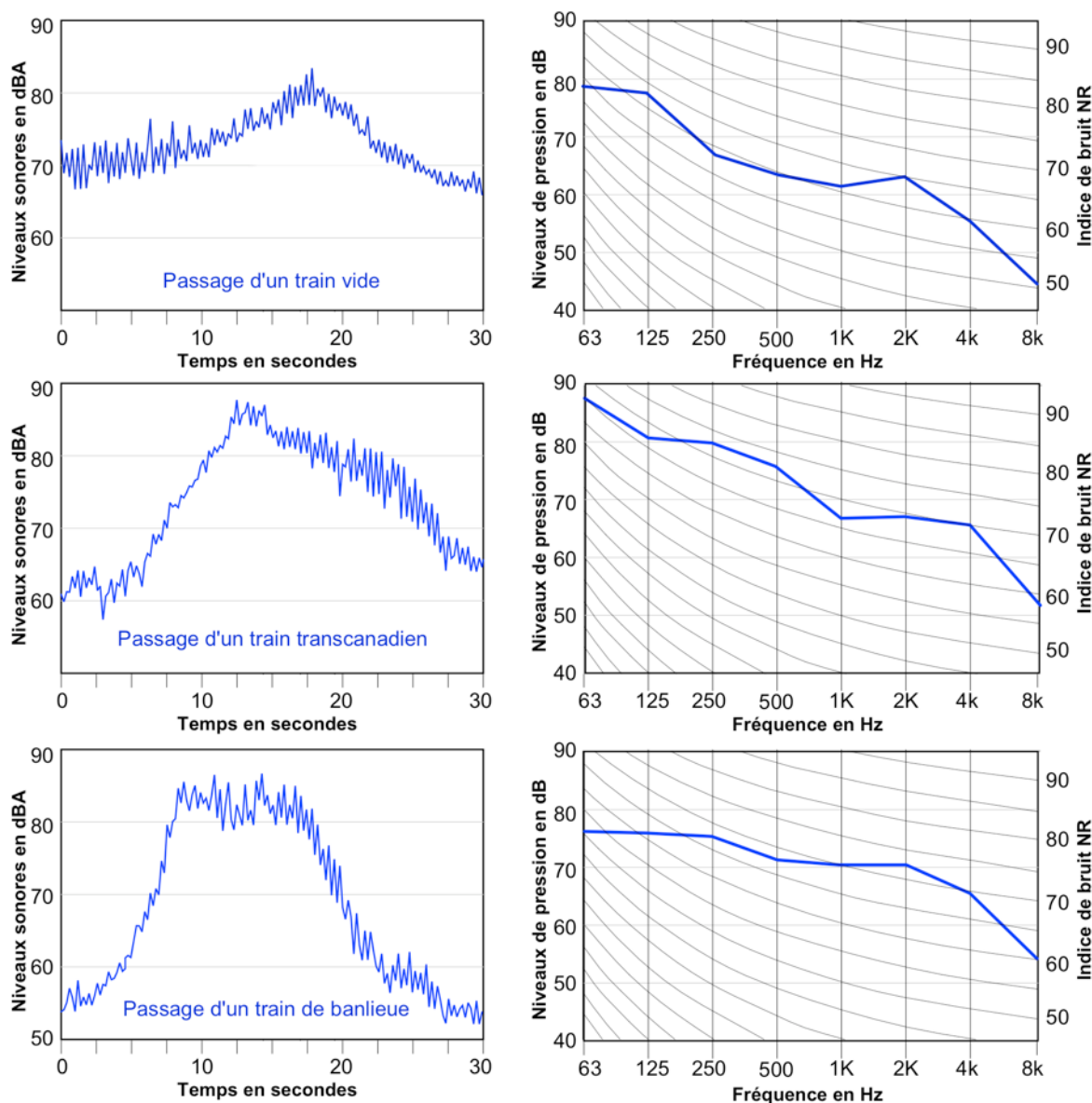


Figure N° 2.1.3 a : Enregistrement de passages de trains et compositions spectrales correspondantes

Comme le montre la figure N° 2.1.3 a, l'impact du bruit des trains, tout comme le bruit des avions, est limité dans le temps, suivant la vitesse et le nombre de wagons. Le niveau de bruit augmente progressivement jusqu'au passage de la motrice, ensuite il se maintient avec le passage des wagons pour décroître ensuite avec l'éloignement. En fonction des vitesses utilisées au Canada, on peut considérer que ce bruit n'est pas agressif (à l'opposé de celui d'un train à grandes vitesses par exemple). Cependant, le cumul des passages en 24 heures, le nombre de trains en période nocturne, la longueur de certains convois ou les motrices diesel en mouvement permanent dans une gare de triage peuvent générer une gêne très significative pour les habitations localisées proche des voies.

On notera finalement qu'un indice a été développé pour le bruit des trains, il s'agit du TEL (*Transit Exposure Level*) qui tient compte de la durée de passage jusqu'à -10 dB du maximum. **Voir le point 5.1.4 en annexe pour les indices événementiels relatifs au bruit des trains.**

Le bruit des trains est assez bien toléré, cependant il devient une nuisance, lorsque le nombre de passages augmente, lorsqu'il devient permanent comme au voisinage d'une gare de triage, ou bien encore lorsqu'il est accompagné de bruits d'avertisseurs, de crissemets sur les rails ou de vibrations.

Tout comme pour la circulation routière, il est possible de contrôler le bruit des trains et plus particulièrement la propagation des bruits de roulement sur les rails, en particulier dans les courbes, avec des murs acoustiques appropriés comme le montre la figure N° 2.1.3 b, avec des murs antibruit absorbants proches des voies et d'une hauteur limitée à 2 m. Toutefois, les compagnies de chemin de fer ne souhaitent communément pas avoir de tels obstacles installés directement dans l'emprise des voies. Comme pour les corridors routiers, des murs antibruit, des buttes en terre, ou des bâtiments agissant comme écrans sont toujours possibles au-delà de l'emprise. On notera à ce sujet que la hauteur des échappements des motrices diesel est d'environ 4 m au-dessus des voies (il faut donc prévoir une hauteur d'écran suffisante). D'autre part, dans les zones fortement urbanisées, il faut veiller à ce que les dispositifs acoustiques puissent assurer la protection des premières habitations en cas d'un éventuel déraillement. Finalement, comme le montre la figure N° 2.1.3 c, il est également possible de contrôler les vibrations pour les habitations proches des voies et surtout des gares de triage.

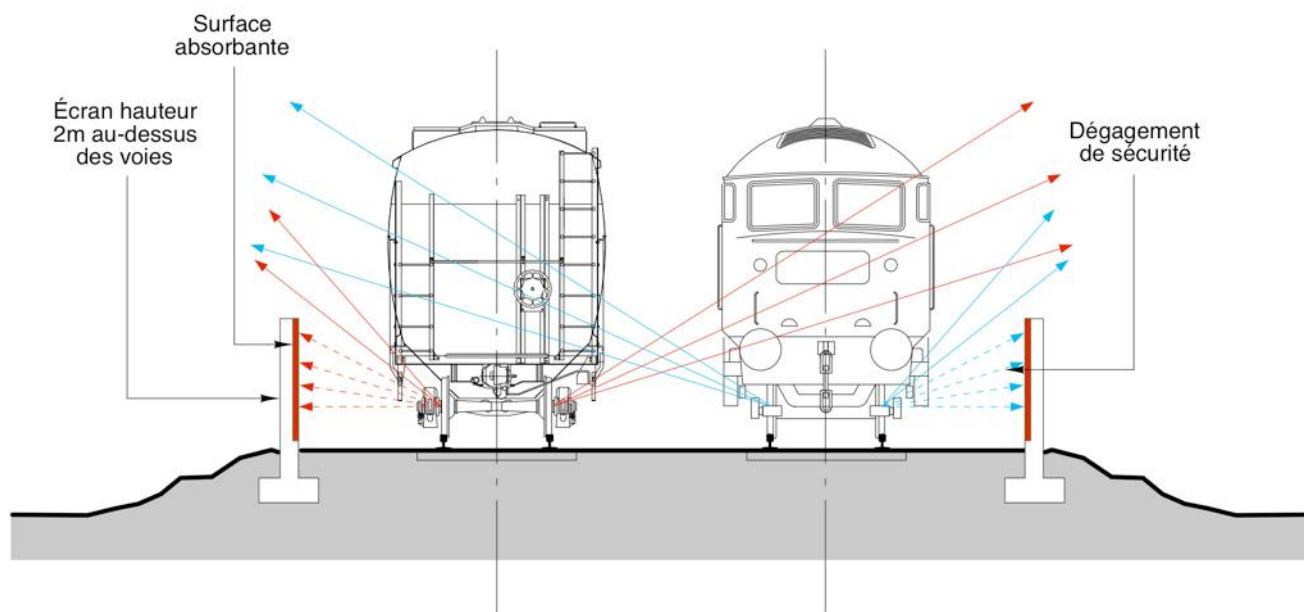


Figure N° 2.1.3 b : Exemple de mur antibruit au voisinage des voies de chemin de fer (pour le contrôle des bruits de roulement sur les rails)

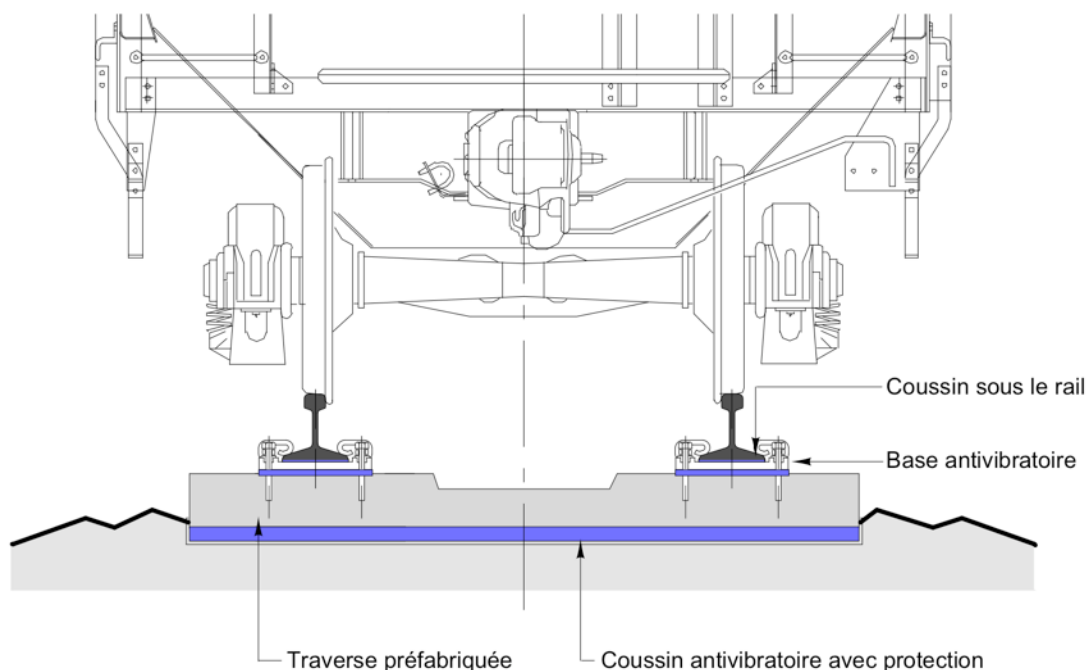


Figure N° 2.1.3 c : Contrôle des vibrations d'une voie de chemin de fer

2.1.4 Voisinage d'un aéroport ou présence d'un corridor aérien

La troisième source sonore, liée au déplacement des biens et des personnes, est constituée par les mouvements de plus en plus nombreux des aéronefs. Même si on exclut le voisinage immédiat des grands aéroports, le bruit des avions se répand sur tout le territoire aménagé. Au développement des villes, correspond en effet une certaine augmentation du trafic aérien, tant en fonction du nombre de personnes déplacées que du nombre d'appareils en circulation. D'une manière générale, les appareils à réaction modernes se déplacent à grande altitude, en produisant une forte intensité sonore, parfois perceptible sur une grande étendue du territoire. Au voisinage des agglomérations qu'ils doivent desservir, leurs évolutions se font alors à beaucoup plus basse altitude, multipliant la pollution par le bruit. Ceci sans parler des décollages, pour lesquels il faut utiliser la pleine puissance des réacteurs, jusqu'à 1000 ou 2000 pieds de hauteur (0,3 ou 0,6 km). Les aéronefs modernes sont beaucoup plus silencieux, mais leur multiplication amplifie leur impact, particulièrement sous les corridors d'approche et d'envol des grands aéroports. Quant aux hélicoptères ou aux aérodromes régionaux, les basses hauteurs de survol, notamment rencontrées pour les activités récréotouristiques et pour les écoles d'aviation, peuvent occasionner une gêne significative pour la population exposée.



Le niveau de bruit des avions et sa composition spectrale dépendent beaucoup de la technologie des moteurs ou des réacteurs. Les appareils à hélices avec des moteurs à combustion produisent nettement moins de bruit que les appareils à réaction ; il s'agit surtout de basses fréquences, avec émission de bruits tonneaux en rapport avec la vitesse de rotation des hélices. Ce type d'avion ne pose pas beaucoup de problèmes, sauf dans le cas du voisinage des plus petites pistes d'aviation, où parfois les altitudes de protection ne sont pas respectées.

Avant leurs premiers vols commerciaux, tous les nouveaux appareils font l'objet de contrôles des

niveaux de bruit qu'ils émettent, suivant les phases du décollage ou de l'atterrissage, selon les normes de l'Organisation de l'aviation civile internationale (OACI) et en utilisant un indice de bruit qui tient compte de la durée du dérangement, le EPNdB (*Effective Perceived Noise Decibel*). C'est à l'aide de ces mesures d'homologation qu'il est ensuite possible d'établir des cartes d'impact cumulatives des opérations aériennes. Pour chaque trajectoire de vol, au décollage ou à l'atterrissage, on peut cumuler les impacts au sol des différents types d'appareils. Ces cartes sont modélisées par exemple pour la journée la plus achalandée de l'année, avec une éventuelle correction pour les vols de nuit. Au Canada et aux États-Unis, on utilise un indice d'exposition au bruit des avions appelé NEF (*Noise Exposure Forecast*). Pour les principaux aéroports canadiens placés sous la juridiction fédérale de Transports Canada, il existe des cartes de bruit représentatives des trois limites NEF suivantes : soit 35, 30 et 25 NEF, correspondant aux zones dites supérieure, intermédiaire et inférieure d'exposition au bruit.

Il est à noter que la SCHL se réfère à ces cartes de bruit, pour le contrôle du développement de l'habitation dans les zones aéroportuaires. À titre d'exemple, la figure N° 2.1.4 montre ces différentes zones pour l'aéroport international de Montréal P.-E. Trudeau. ***Voir les points 5.1.5 et 5.1.6 en annexe pour les indices événementiels relatifs au bruit des aéronefs, pour la détermination de l'indice cumulatif NEF et l'identification des zones réservées.***

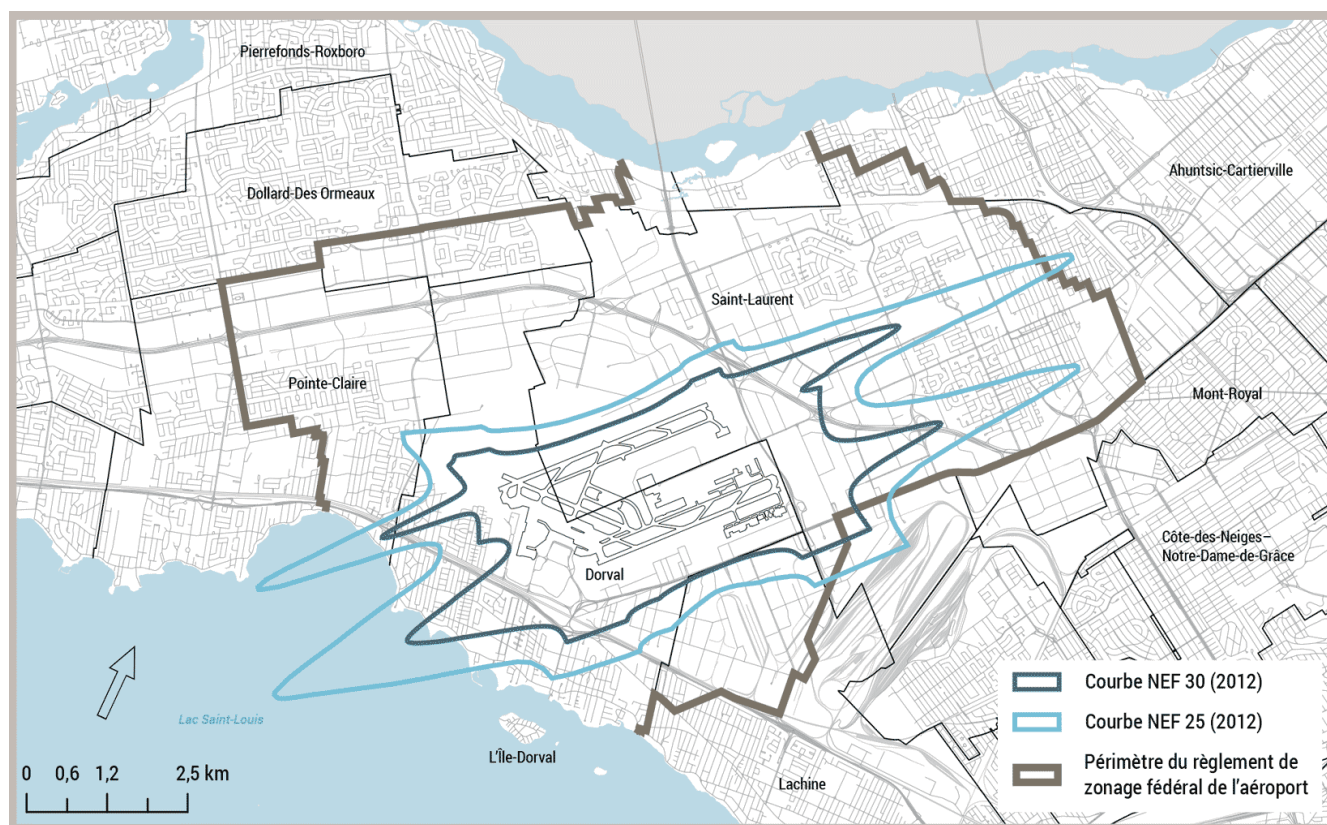


Figure N° 2.1.4 : Courbes d'impact du bruit en NEF autour de l'aéroport international de Montréal P.-E. Trudeau (Conseil d'agglomération de Montréal, 2015) ¹³

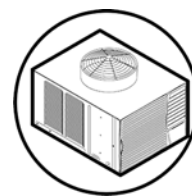
Pour le voisinage des grands aéroports, le ministère des Transports du Canada peut promouvoir également un règlement de zonage d'aéroport, formulé en vertu de la Loi sur l'aéronautique. L'autorité d'ordre fédérale s'exerce uniquement dans le territoire désigné, le ministère pouvant notamment émettre des clauses restrictives à propos d'activités ou d'utilisations spécifiques. Les restrictions ou les interdictions au règlement de zonage peuvent par exemple concerner la limitation de hauteur de construction ou celle d'une quelconque installation d'équipement susceptible de nuire aux signaux et aux communications.

En dehors du zonage restrictif proposé par la SCHL, il est pratiquement impossible de concevoir des dispositions parfaitement adaptées au contrôle du bruit des aéronefs, notamment à l'extérieur (sauf au voisinage immédiat des pistes). Il n'en demeure pas moins que pour les résidents des grandes villes, le grondement des appareils en vol fait assurément partie de leur environnement acoustique.

Il est donc important de protéger les habitations proches des corridors aériens, particulièrement en ce qui concerne l'isolation acoustique de leurs toitures.

2.1.5 Bruit des quartiers urbains centraux

Pour les immeubles résidentiels situés dans les agglomérations plus fortement urbanisées, l'impact d'une source de bruit particulière peut être difficilement identifiable. Les niveaux de bruit qui prévalent sur les façades dépendent de nombreuses sources, ils peuvent résulter des transports, des activités humaines, ou des équipements mécaniques propres à l'édifice considéré ou aux autres immeubles du voisinage. Dans les quartiers centraux, sans une source particulière identifiable, la rumeur urbaine peut générer des niveaux de bruit de fond impressionnants dépassant même 70 dBA de jour (indice L99%). Il faut donc prévoir une protection adéquate des façades résidentielles.



Dans les quartiers centraux très bruyants, les fenêtres et le design des façades doivent être prévus pour maximiser l'isolation acoustique des nouveaux immeubles résidentiels.

Les différences de fonctions ou de hauteurs entre les bâtiments peuvent soulever certaines difficultés. Il peut devenir difficile d'identifier un responsable pour certains problèmes de bruit, notamment quand un nouvel immeuble résidentiel vient à se construire dans une trame urbaine existante. Le nouvel édifice peut côtoyer des commerces, un restaurant, un garage, une petite manufacture, même une caserne de pompiers. En plus des équipements mécaniques existants tels que le matériel de ventilation ou de réfrigération, les activités présentes sur le site peuvent être difficilement contrôlables : circulation importante, concentrée dans le temps ou à toute heure du jour, bruits de livraison, de déchargement, bruits de fabrication ou de réparation, etc. Les bruits des équipements mécaniques existants peuvent généralement se traiter à la source, avec la collaboration des entreprises concernées. Concernant les activités bruyantes, si elles sont permises, elles doivent être analysées soigneusement en matière de bruit et ensuite modélisées quant à leur impact potentiel sur le nouvel édifice. Il faut ensuite que la protection et l'isolation des futurs logements répondent à l'environnement analysé (avec une certaine marge de sécurité, puisque cet environnement risque d'être permanent).

Comme le montre la partie gauche de la figure N° 2.1.5 A et B, lorsqu'un nouvel immeuble résidentiel doit être construit proche d'immeubles commerciaux qui peuvent comporter des équipements mécaniques bruyants (condenseurs, ventilateurs, tours à eau, unités de climatisation, etc.), il sera nécessaire d'insonoriser, de modifier ou même de remplacer les équipements concernés. Comme le montre la partie droite de cette figure N° 2.1.5, le problème de bruit peut survenir après la construction d'un édifice résidentiel, lorsque par exemple il est nécessaire d'installer une tour à eau sur un édifice voisin plus bas. Là encore, il faut modéliser l'impact du nouvel équipement et vérifier les niveaux de bruit résultants sur la façade existante. Le nouvel équipement doit être choisi en conséquence et soigneusement insonorisé dans le sens de la propagation du bruit.

Lorsqu'un nouvel immeuble résidentiel doit être construit dans une zone de commerces ou de manufactures, il est important de contrôler les sources de bruit existantes susceptibles de nuire aux nouveaux logements.

Lorsque de nouveaux équipements mécaniques doivent être installés dans le voisinage d'un immeuble résidentiel existant, il importe de prendre toutes les dispositions pour éviter l'impact du bruit sur les logements.

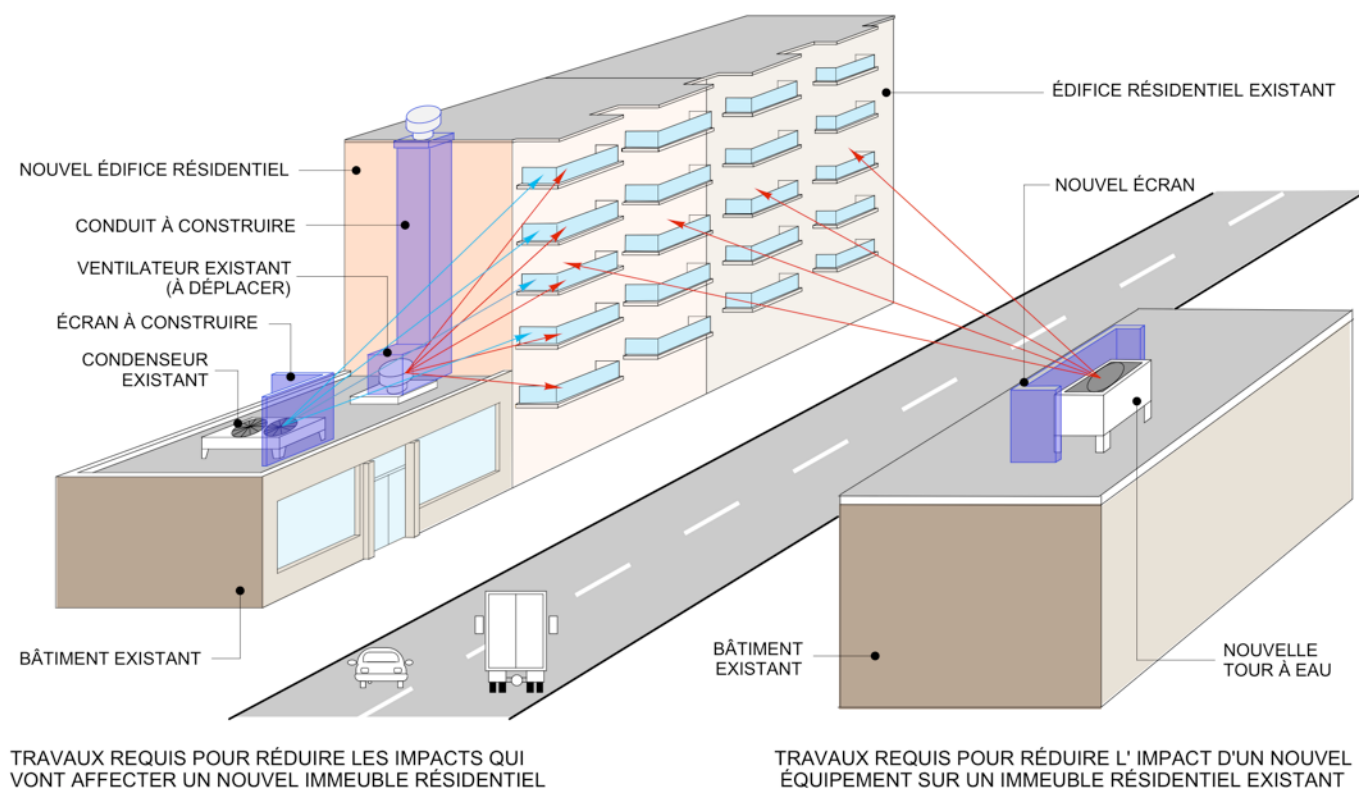
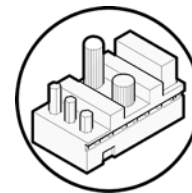


Figure N° 2.1.5 : (A) exemple à gauche d'un nouvel immeuble résidentiel construit dans un quartier commercial existant et (B) exemple à droite d'un immeuble existant soumis à l'impact du bruit d'un nouvel équipement

2.1.6 Proximité d'une activité industrielle

Dans un parc industriel, ou au voisinage d'une grande industrie, en plus de la circulation de véhicules lourds ou des équipements de manutention, on retrouve de nombreux équipements bruyants, tels que des ventilateurs, des compresseurs, des convoyeurs, des transformateurs, des dépoussiéreurs, des cheminées ou de nombreux échappements d'air ou de vapeur. Les compositions spectrales du bruit qui en résultent peuvent être très étendues et comporter beaucoup de basses fréquences, sans parler des bruits impulsionnels ou répétitifs. Les activités de production elles-mêmes peuvent être également très bruyantes : presses, fours, broyeurs, sciage, machineries de toutes sortes. Elles sont souvent installées dans des bâtiments en maçonnerie ou en tôle d'acier, mais l'isolation acoustique n'est pas toujours satisfaisante et il est parfois nécessaire d'ouvrir largement les portes pendant de longues périodes de temps. Quant aux carrières, aux sablières ou aux traitements de produits forestiers, il est très commun de rencontrer des installations à ciel ouvert, sans atténuation particulière.



Dans les milieux urbains centraux, les industries tendent à disparaître, pour se retrouver dans des parcs industriels à la périphérie de l'urbanisation, ou bien elles se relocalisent dans des milieux ruraux à faible densité d'habitation. Néanmoins, de nouveaux secteurs résidentiels peuvent se développer dans des banlieues industrielles, tandis que de petites entreprises peuvent être amenées à grossir dans des agglomérations rurales. De plus, certaines activités devront rester dans les quartiers à plus forte densité d'occupation, tels que les postes de transformation électrique, certaines entreprises ou infrastructures lourdes liées au transport (dont portuaires), ou encore certaines industries alimentaires.

Les figures N° 2.1.6 a et 2.1.6 b présentent, à ce sujet, le classique dépoussiéreur, équipement que l'on retrouve dans tous les parcs industriels du Québec. La première de ces figures concerne les dispositions urbanistiques qu'il est possible de mettre en œuvre lorsqu'un immeuble résidentiel se retrouve au voisinage d'un parc industriel. Ces dispositions urbanistiques sont les suivantes :

- Implantation d'un édifice commercial constituant un écran acoustiquement satisfaisant (d'une hauteur et d'une longueur suffisante, modification du zonage éventuellement requise);
- ajout d'un mur antibruit de hauteur, de longueur et d'isolement acoustique suffisants (l'écran peut être dissimulé du côté des résidences par une bande de végétation);
- remplacement du mur antibruit par une butte paysagée de même hauteur (il faut cependant disposer d'une largeur suffisante de terrain, pente suggérée 1 dans 3).

La seconde figure montre les dispositions que l'entreprise responsable du bruit pourrait mettre en œuvre pour éviter ou réduire l'impact du bruit. Ces aménagements pourraient être les suivants :

- Installation de silencieux ou de traitements acoustiques appropriés sur les parties bruyantes du dépoussiéreur ;
- construction d'un écran absorbant immédiatement autour du dépoussiéreur ;
- et, encore mieux, la relocalisation du dépoussiéreur de telle manière que le bâtiment de l'entreprise agisse comme un écran acoustique.

Les problèmes d'impact des bruits industriels peuvent être évités ou contrôlés avec des dispositions urbanistiques adéquates. Lorsque ce sont les entreprises qui s'installent ou se développent, elles doivent mettre en œuvre des dispositifs de mitigation appropriés.

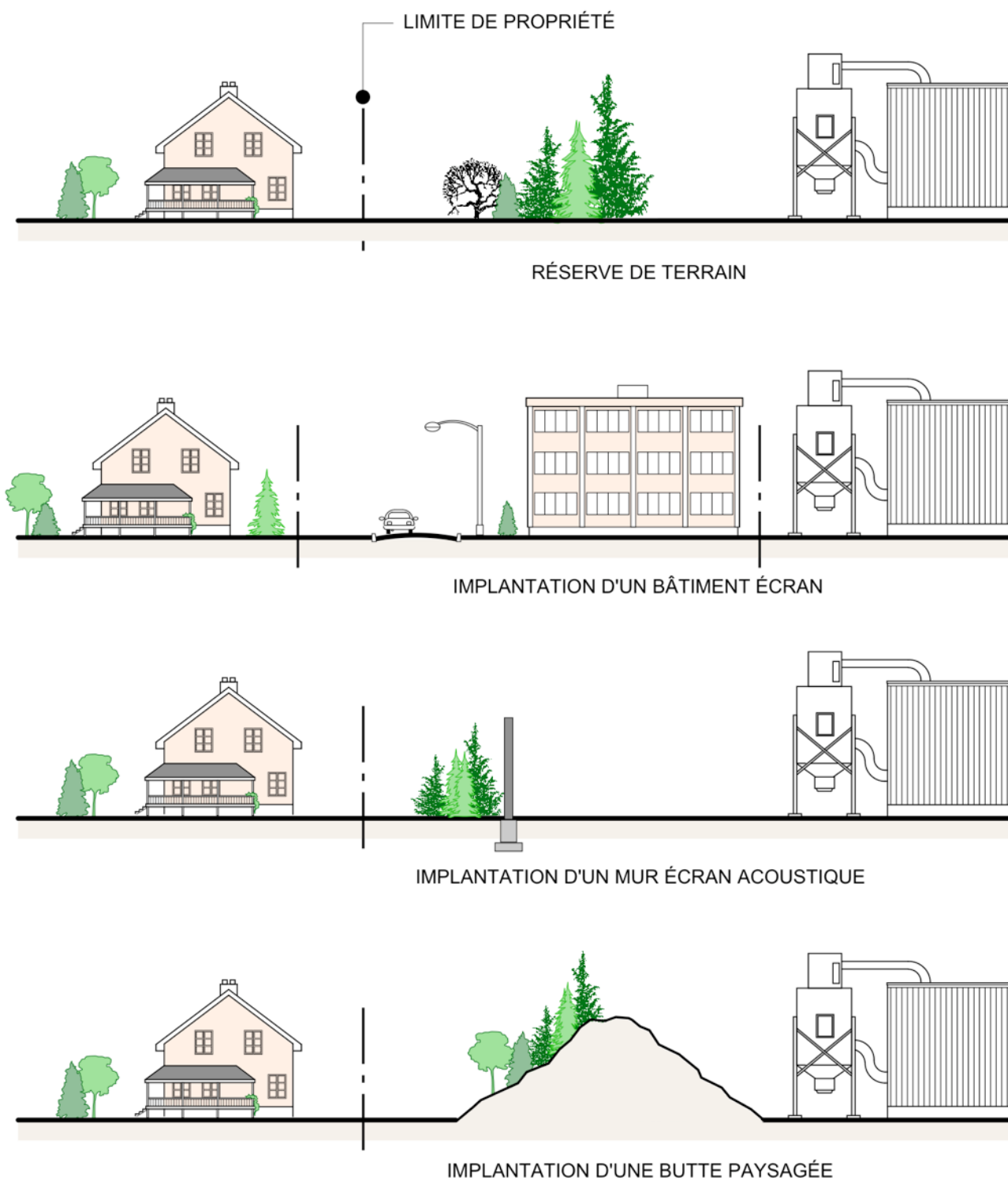


Figure N° 2.1.6 a : Protection d'une habitation contre le bruit industriel, interventions au niveau de l'urbanisme.

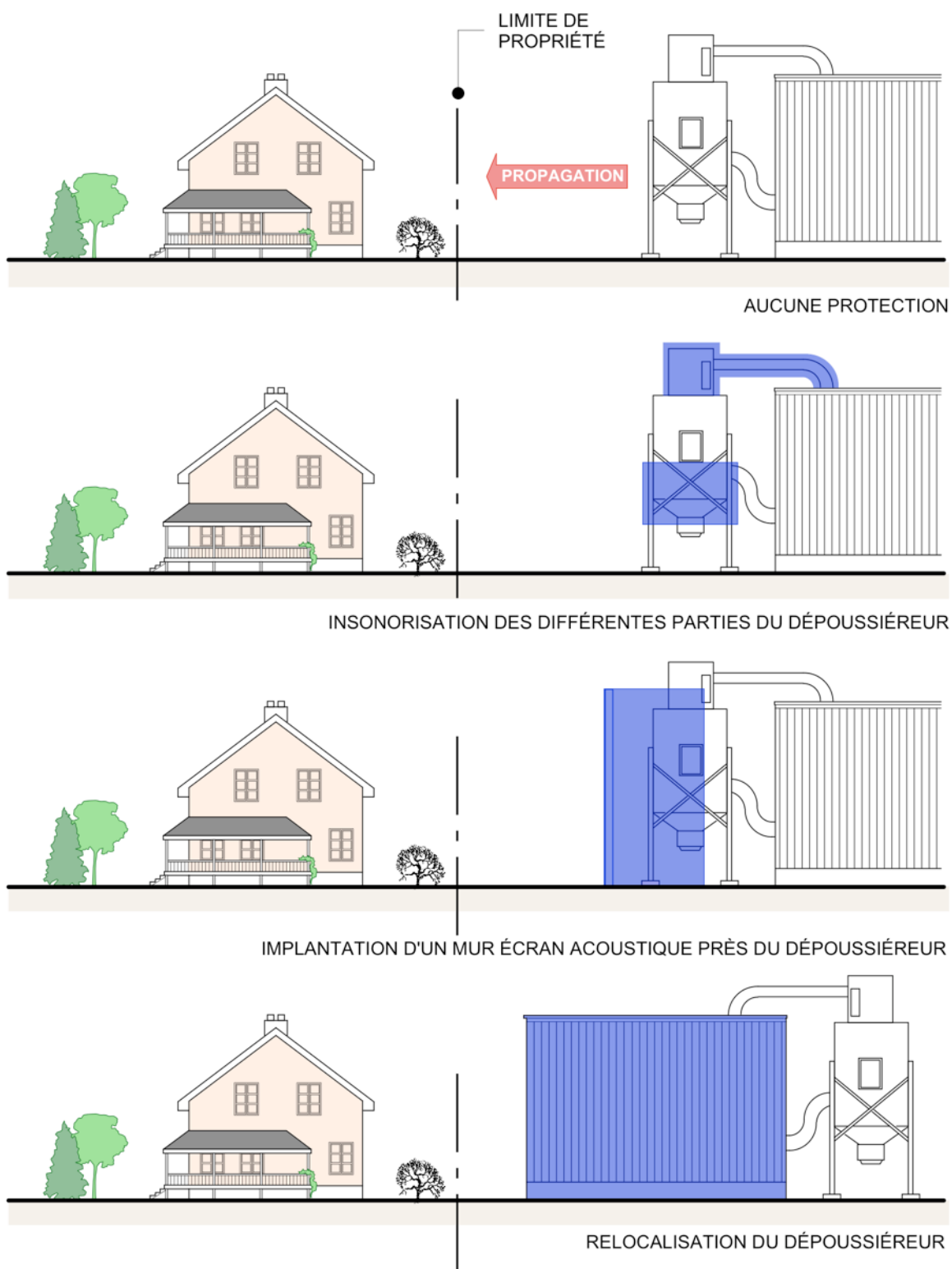
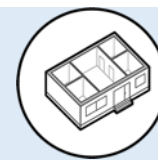


Figure N° 2.1.6 b : Protection d'une habitation contre le bruit industriel, interventions de la compagnie responsable du bruit.

2.2 Difficultés rencontrées avec la mise en œuvre des traitements antibruit



Comme le montrent les points précédents, pour la plupart des sources de bruit présentées, il existe des dispositions efficaces pour réduire le bruit dès son origine. Afin de protéger un secteur résidentiel voisin de sources bruyantes comme les corridors de circulation, les voies de chemin de fer ou les infrastructures industrielles, il apparaît donc utile de privilégier la mise en œuvre de tous ces dispositifs de protection déjà mentionnés. Seul le bruit des avions se répartit sur une plus vaste portion d'un territoire urbanisé, sans qu'il existe de réelles possibilités d'atténuation entre un appareil en vol et les résidences au sol. Il est uniquement envisageable de changer les instructions de vol, comme on le fait par exemple en période nocturne avec un certain couvre-feu ou avec une accentuation de la pente suivie par un appareil au décollage.

Pour protéger les secteurs résidentiels voisins de sources de bruit, comme les corridors de circulation, les voies de chemin de fer ou les infrastructures industrielles, les traitements à la source restent toujours recommandables.

Cependant, les traitements acoustiques réalisables près des principales sources de bruit, comme les corridors de circulation, les voies de chemin de fer ou les infrastructures industrielles, rencontrent parfois bien des difficultés. Tout d'abord, l'éloignement est souvent impossible, le terrain disponible ne permet même pas la construction d'une butte avec des pentes sécuritaires. Les problèmes, voire les conflits, sont inévitables, entre le MTQ ou les compagnies de chemin de fer, les entreprises et promoteurs, les MRC, les municipalités, le MELCC, les résidents concernés ou les groupes de pression.



Figure N° 2.2 : Exemple d'utilisation d'un écran translucide près des habitations (cas situé près de la gare de Kassel en Allemagne, projet : Wohnanlage Atrium par la firme Bauatelier 24 Bauplanungs-GmbH). [Migneron et collab., GRAP]

L'aspect visuel ou le choix des matériaux peuvent être également en cause et générer des conflits avec les résidents. Par exemple, au Québec, on n'emploie pratiquement pas de verre ou d'acrylique (souvent plus coûteux), alors que l'usage en est bien répandu dans les pays européens (voir figure N° 2.2), nos murs doivent être durables et résistants, l'esthétique passe souvent en dernière étape. Également, le traitement paysager des infrastructures est parfois négligé (surtout quand on pense aux dégâts du déneigement). Les problèmes de bruit peuvent ainsi perdurer, sans que personne ne puisse trouver de solution. Les coûts des infrastructures proposées peuvent être également en cause. Les dispositifs concernés représentent des investissements importants, que le gouvernement provincial ou les municipalités ne peuvent pas toujours déboursier aisément. Les murs antibruit routiers, par exemple, en plus de coûter cher, occupent une partie de l'emprise routière. Ils peuvent entrer en conflit avec d'autres infrastructures, telles que les fossés, les égouts ou le réseau électrique, et même ils risquent de nuire aux opérations de déneigement. Il faut procéder à une analyse coûts / bénéfices, comme le fait le MTQ dans sa Politique sur le bruit routier⁸, en identifiant le nombre de résidences effectivement protégées et en vérifiant l'atténuation résultante en dBA. À propos de l'efficacité de tels dispositifs, on peut constater des inégalités marquées entre les résultats, le dispositif n'est pas assez haut ou bien il n'est pas assez long. On peut mentionner, à ce sujet, que les immeubles résidentiels de trois étages et plus seront difficilement protégés par un simple mur antibruit, les écrans mis en œuvre au Québec dépassant rarement une hauteur de 4 à 6 m. Toutes les difficultés possiblement rencontrées lors de la mise en œuvre d'un traitement à la source, comme pour un corridor de circulation par exemple, peuvent être résumées de la manière suivante :

- Efficacité limitée du dispositif proposé ou nombre restreint de résidences effectivement protégées.
- Absence ou limitation de l'espace nécessaire pour ériger le dispositif de mitigation proposé.
- Difficultés techniques susceptibles de nuire au projet ou d'augmenter les coûts de façon prohibitive.
- Coût du projet de mitigation trop élevé, pour les ressources du MTQ, de la municipalité ou des compagnies concernées, ou encore subventions insuffisantes.
- Aspect esthétique ou choix des matériaux controversés. Intégrations visuelle ou paysagère discutables.
- Conflits entre les intervenants concernés. Opposition des groupes de résidents ou des groupes de pression.

Toutefois, toutes ces difficultés ne constituent pas forcément un argument suffisant pour ne rien faire. C'est là qu'intervient la nécessité de protéger les façades des immeubles d'habitation voisins des corridors ou autres sources de bruit.

Lorsqu'aucun correctif à la source n'est possible ou réalisable, le renforcement de l'isolation acoustique des fenêtres et des façades s'impose, tant pour les nouveaux édifices que pour les édifices existants.

PARTIE 3 — DISPOSITION DES BÂTIMENTS RÉSIDENTIELS EXPOSÉS AU BRUIT

3.1 Disposition des immeubles et des logements en vue de la réduction du bruit



Bien que ces dispositions ne concernent pas l'isolation des façades proprement dite, elles pourraient s'appliquer à de nombreux projets d'architecture ou de développement résidentiel. Il s'agit de considérations urbanistiques à prendre en compte dès l'implantation d'un nouveau quartier ou de la planification architecturale des bâtiments neufs. Elles ont la capacité de générer un impact relativement grand sur la protection des bâtiments résidentiels ou de leurs pièces sensibles.

3.1.1 Localisation et orientation des immeubles

À propos de la localisation et de l'orientation des immeubles résidentiels voisins d'un corridor de circulation, la figure N° 3.1.1 a, montre la disposition possible pour l'implantation de bâtiments continus tels que ceux qu'on rencontre dans les grands ensembles d'habitation. Du point de vue de la gestion du climat sonore, une voie de transport devient significative lorsque le bruit qui lui est attribuable dépasse la cinquantaine de dBA, ce qui est souvent valable à partir de quelque 2000 passages de véhicules quotidiennement. De façon très générale, deux dispositions sont possibles, soit l'implantation des bâtiments parallèles à la voie de circulation, soit l'implantation en épi, c'est-à-dire perpendiculairement à l'axe de la chaussée. Dans le premier cas, il serait nécessaire que les chambres et les pièces de séjour soient situées sur la façade opposée à celle bordant la voie de circulation. Les pièces ainsi disposées seront protégées d'abord parce que le bruit devra traverser les zones de service des logements, telles que les cuisines, les salles de bain, les vestibules, les circulations intérieures ou les cages d'escaliers, ensuite parce qu'il devra subir une diffraction importante autour de l'édifice, les fenêtres des chambres et des séjours se trouvant alors dans la zone d'ombre acoustique.

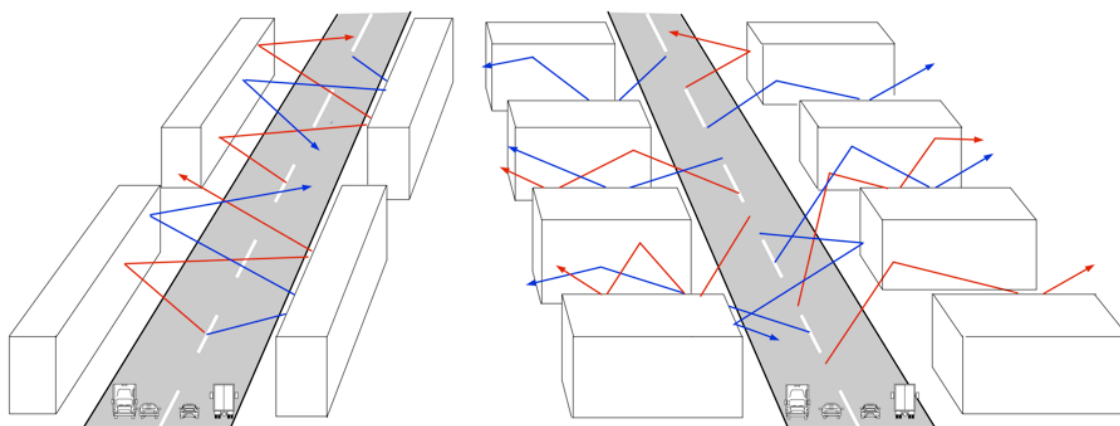


Figure N° 3.1.1 a : Propagation du bruit et disposition des immeubles d'habitation parallèles à une voie de circulation ou perpendiculaires.

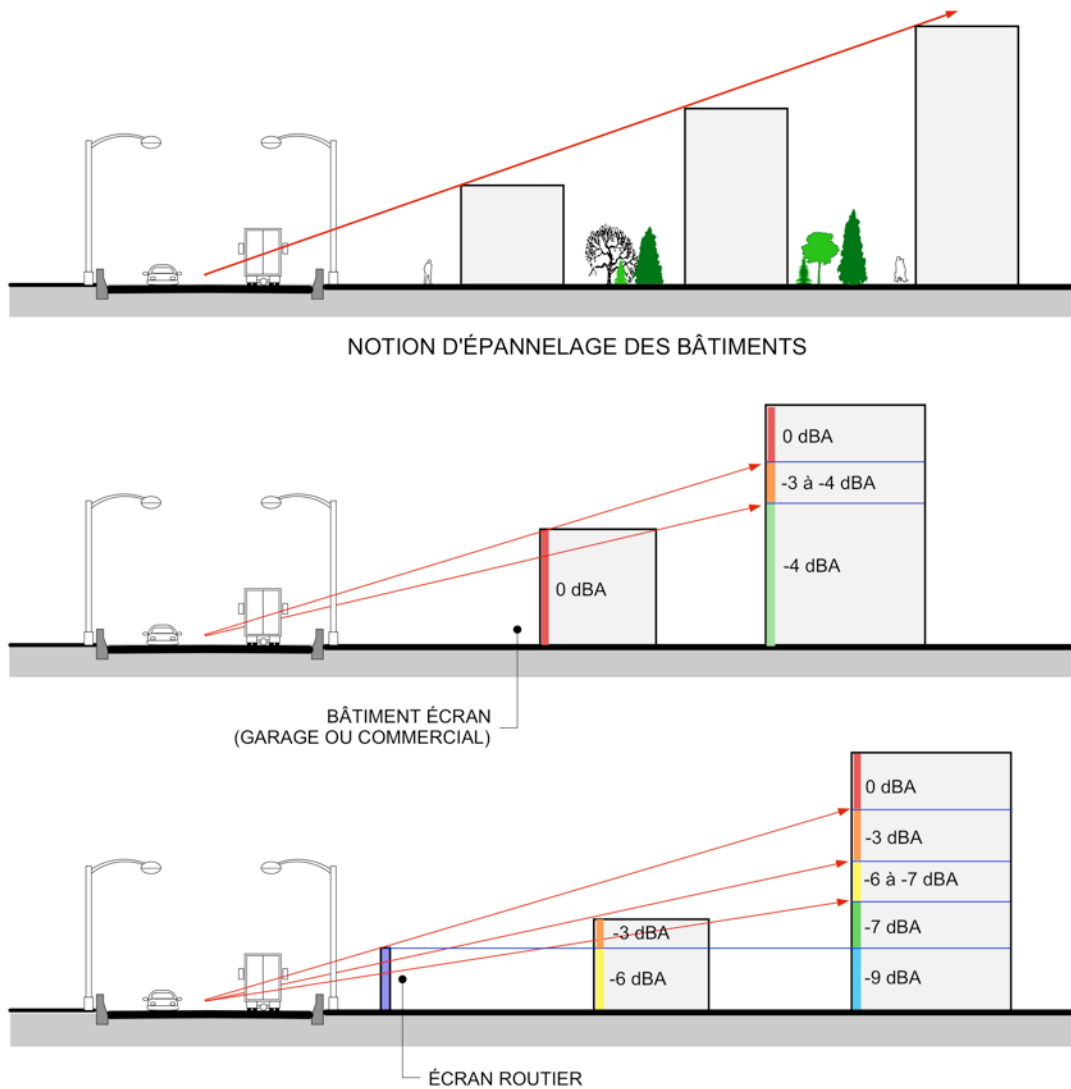


Figure N° 3.1.1 b : Notion d'épannelage des bâtiments en vue de réduire l'impact du bruit et atténuations résultant de la présence d'un ou deux écrans.

Lorsqu'on désire utiliser cette disposition, pour protéger un projet d'habitations par une implantation d'édifices commerciaux parallèles à l'axe de circulation, ceux-ci devraient être les plus longs et les plus hauts possible, en respect avec les autres obligations architecturales ou urbanistiques. Pour ces édifices commerciaux de distribution ou de bureaux, ou encore un hôtel bénéficiant d'un dispositif complet de ventilation / climatisation, l'isolation des façades exposées au bruit de la circulation devra être suffisante, pour assurer à l'intérieur de ces immeubles utilisés comme écrans, un niveau de bruit acceptable. Comme le montre la figure N° 3.1.1 b, lorsque plusieurs rangées d'édifices sont parallèles à une même voie importante de circulation, il est également possible de profiter au maximum de la zone d'ombre acoustique créée par chacun des bâtiments. Pour ce faire, il est nécessaire de s'assurer que la hauteur des façades successives suive l'isocontour de bruit résultant de la diffraction par la précédente rangée d'édifices, en commençant par la plus exposée au bord de la chaussée. Cette technique est désignée, dans plusieurs publications, sous le nom d'« épannelage des bâtiments », c'est-à-dire une adaptation de la hauteur des constructions aux conditions de propagation du bruit. En plus du principe de protection, la figure N° 3.1.1 b donne un aperçu des atténuations possibles résultant des diffractions successives par-dessus un ou deux murs antibruit successifs.

Pour revenir à la figure N° 3.1.1 a, la deuxième disposition de base pour les immeubles résidentiels est l'implantation en épi. Elle évite une élévation du niveau de bruit qui pourrait résulter des réflexions sur les façades dans le voisinage immédiat de la voie de circulation. Cependant, même si cette disposition contrôle le renforcement du bruit à la source, aucune des façades n'est, en définitive, réellement protégée. C'est seulement avec l'effet de la distance que les personnes qui résident plus loin de la chaussée pourront bénéficier d'un meilleur environnement acoustique. Dans le même sens, la figure N° 3.1.1 c présente différentes dispositions possibles d'immeubles résidentiels au voisinage d'une voie de circulation, pour un tronçon droit et pour une courbe du corridor. Elle montre les différentes façades exposées directement au bruit (en rouge) et celles qui peuvent bénéficier d'une certaine protection (en vert). De plus, elle met en évidence les cas où les réflexions acoustiques peuvent être nuisibles à la protection des habitations. Ces conseils d'aménagement peuvent sembler élémentaires, mais dans de nombreux cas, ils ne sont pas respectés, au grand dam des résidents concernés. Outre les diverses autres considérations d'ordre urbanistique, il convient donc que les parties prenantes puissent réfléchir le développement du territoire en gardant également en tête le contrôle des nuisances potentielles, dont celles afférentes au bruit environnemental.

L'implantation d'un groupe de bâtiments résidentiels au voisinage d'un corridor de circulation doit toujours tenir compte des réflexions et des effets d'écran.

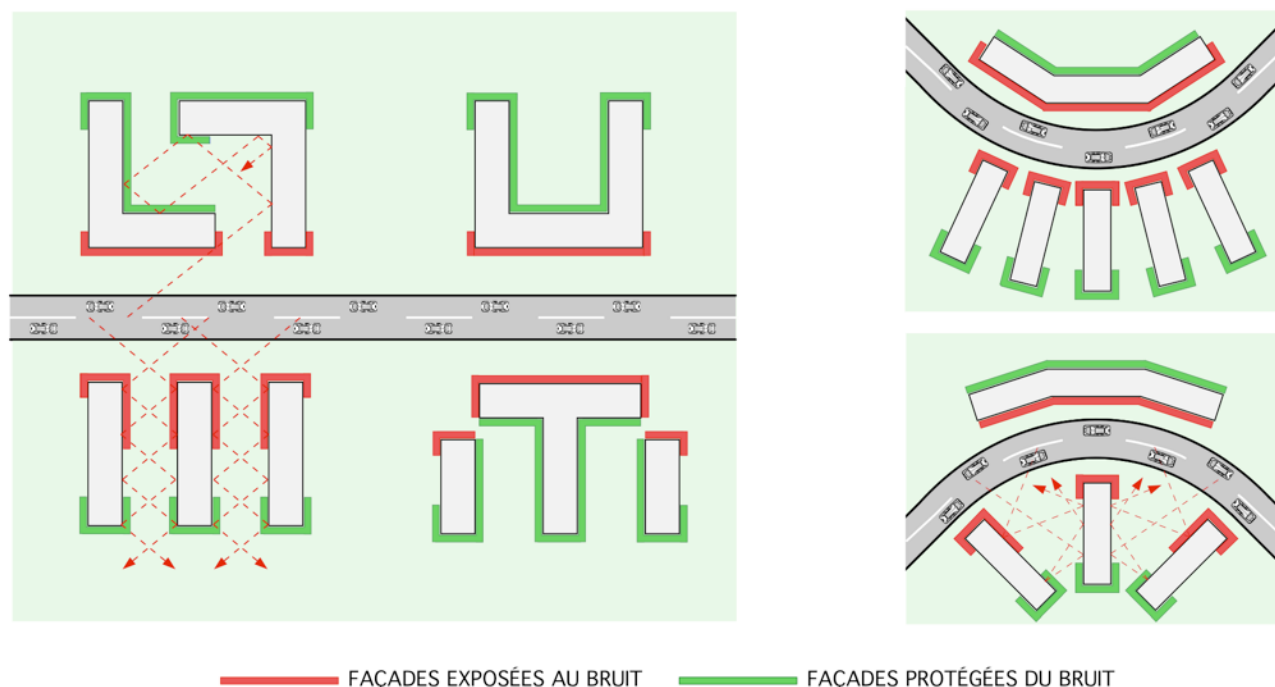
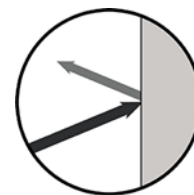


Figure N° 3.1.1 c : Exemples de diverses dispositions d'immeubles d'habitation au voisinage d'un corridor routier droit ou courbe et identification des réflexions nuisibles.

3.1.2 Contrôle des réflexions

En ce qui concerne les éventuelles réflexions du bruit sur les murs extérieurs, notamment dans les rues en « U » des quartiers centraux, lorsque les voies de circulation sont bordées de rangées d'édifices continus, ou bien lorsqu'il faut éviter la pénétration du bruit entre deux bâtiments parallèles, le coefficient moyen d'absorption des façades peut prendre une certaine importance. Cette situation est illustrée sur la figure N° 3.1.2 a qui montre l'effet des obstacles que constituent les balcons pour contrôler les réflexions dans une rue en « U », en particulier lorsqu'ils sont traités adéquatement ([voir point 4.8 et spécialement la figure N° 4.8.5 pour le traitement absorbant des balcons](#)).



À propos du traitement absorbant des façades, les matériaux fortement absorbants sont généralement sensibles à la pénétration de l'humidité et de la poussière. Ils conviennent mieux quand ils sont protégés des intempéries, sinon il faut prévoir un dispositif de solin approprié pour l'évacuation de la pluie. Plusieurs matériaux couramment utilisés comme panneaux pour les murs antibruit routiers préfabriqués pourraient néanmoins convenir, comme du béton avec particules de bois ou des pavés de mousse d'argile poreux. Toutefois, ils n'ont pas encore trouvé beaucoup d'applications pour les façades des édifices. À ce sujet, le tableau N° 5.9 en annexe donne les valeurs d'absorption par bandes d'octaves de nombreux matériaux acoustiques et des matériaux de construction les plus courants, utilisés dans l'enveloppe des bâtiments.

En plus des matériaux strictement absorbants, il existe de nombreux produits de finition de façade susceptibles de provoquer de petites réflexions ou des diffractions acoustiques et de diviser ainsi l'énergie dans toutes les directions. Ces phénomènes acoustiques transforment ainsi la réflexion ordinaire dite « spéculaire » en de nombreuses réflexions diffuses. À ce sujet, la figure N° 3.1.2 b montre trois types de blocs de béton qui présentent une excellente diffusion acoustique. Il s'agit de blocs de parement rainurés, de blocs texturés, avec des cavités de diverses profondeurs, et de blocs légèrement poreux, avec diffuseurs cylindriques. On remarquera que plusieurs d'entre eux sont souvent utilisés par les architectes pour donner du caractère aux finitions intérieures des bâtiments.

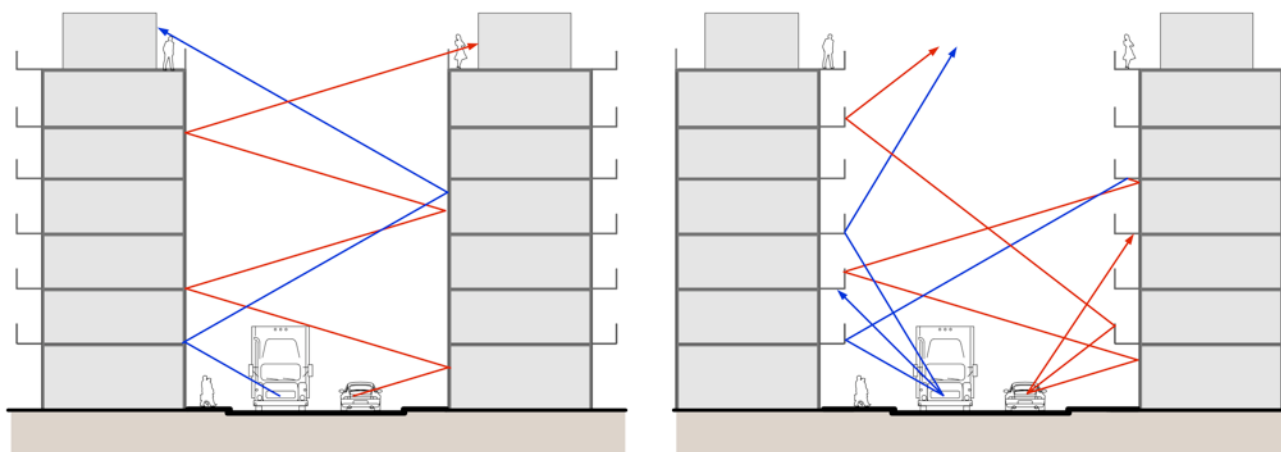


Figure N° 3.1.2 a : Réflexions sur les façades des édifices bordant une rue en « U », influence des balcons.

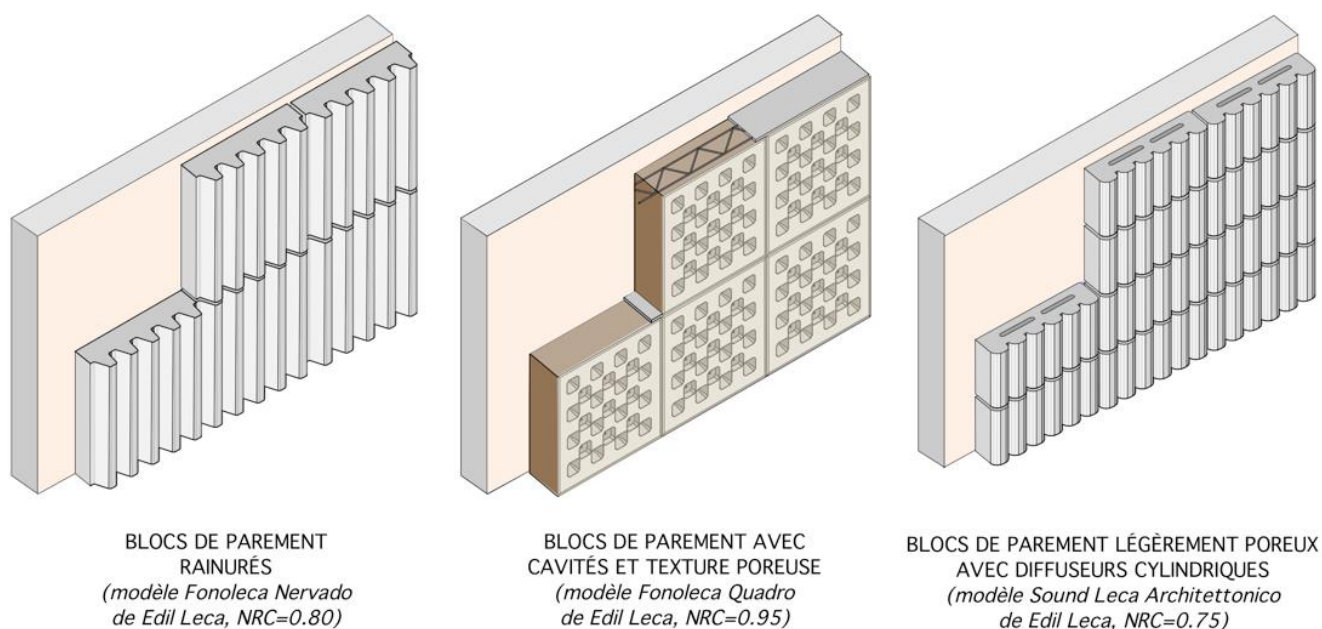


Figure N° 3.1.2 b : Exemples de différents blocs de béton avec un fort pouvoir diffusant ¹⁴



Figure N° 3.1.2 c : Façade texturée avec de nombreux décrochements pour le contrôle des réflexions ¹⁵

[Downtowngal - Own work, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=99285431>]

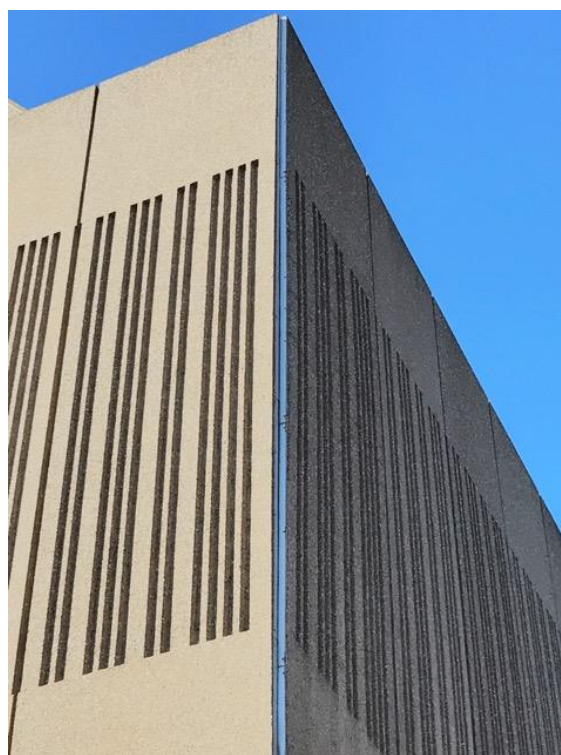


Figure N° 3.1.2 d : Exemple de panneaux en béton préfabriqués partiellement diffusant
 [Migneron et collab., GRAP]

Également, comme le montre la figure N° 3.1.2 c, une autre solution peut encore être développée pour contrôler les éventuelles réflexions acoustiques sur une façade. Elle consiste à multiplier les angles, les saillies et les décrochements directement à partir du design extérieur du bâtiment (en béton moulé ou en œuvres de maçonnerie). En ce domaine, il n'y a pas de limites à la conception architecturale, cependant ce type de façade est surtout réservé aux grands édifices commerciaux et institutionnels.

Au-delà de ces considérations géométriques simples, pour l'analyse de la propagation du bruit de la circulation dans un tissu urbain existant ou proposé, on verra par la suite les techniques de modélisation qui prennent en compte toutes les réflexions et permettent de déterminer à l'avance les niveaux de bruit moyens sur les différentes façades d'un projet résidentiel.

3.1.3 Dispositions des logements visant à protéger les chambres et les pièces principales du bruit

Dans un même logement, les différentes pièces d'habitation ne sont pas également sensibles au bruit. Les garages et espaces d'entreposage n'ont aucune restriction, alors que les chambres à coucher devraient avoir un niveau de bruit inférieur ou égal à 35 dBA. C'est d'ailleurs ce que montre le tableau N° 3.1.3, avec toute la gradation des usages.



Tableau N° 3.1.3 : Disposition des différentes pièces ou fonctions dans une résidence en regard de la pénétration du bruit à partir de la façade la plus exposée

Nature des locaux concernés	Éloignement de la source de bruit	Niveau de bruit recommandé le jour en dBA	Niveau de bruit recommandé la nuit en dBA
Garage ou entreposage		-	-
Corridor commun d'un immeuble		50	45
Toilette, salle de bain ou lingerie		45	40
Vestibule ou couloir résidentiel		45	40
Salle de jeux		45	40
Garde-robe		45	40
Cuisine		45	40
Salle à manger		43	38
Salon ou séjour		43	38
Bureau ou bibliothèque (*)		43	38
Chambre à coucher d'une résidence		40	35

(*) Cette fonction a été ajoutée, car le télétravail devient de plus en plus effectif.

Il convient donc que les plans et l'orientation des logements ou des maisons unifamiliales respectent cette progression dans la protection contre le bruit. On peut mentionner que dans certains quartiers bruyants, le niveau de bruit avec fenêtres fermées peut dépasser 45 dBA. De plus, les pièces donnant sur une façade exposée au bruit peuvent être défavorisées avec des valeurs atteignant jusqu'à une vingtaine de décibels de plus que celles observées du côté opposé ou protégé. On comprend donc le bénéfice procuré par le choix judicieux du programme d'aménagement intérieur pour les chambres ou les séjours dont on désire préserver la quiétude.

La figure N° 3.1.3 a, présente des dispositions architecturales qui peuvent être mises en œuvre à l'intérieur des habitations et qui correspondent à peu près à cette classification quant à l'exposition au bruit. Cette figure donne deux exemples de logements, organisés de telle manière que l'une des façades puisse être directement exposée au bruit, alors que l'autre rassemble les principales pièces d'habitation qui doivent être protégées, tels que les chambres et les séjours. Le premier exemple est celui d'un appartement et le second concerne une maison unifamiliale en rangée de deux étages. L'accès à l'appartement se fait par une galerie commune exposée du côté du bruit. On notera que cette galerie peut être complètement vitrée ou bien remplacée par un corridor clos. Ce corridor commun pourrait être également éclairé par des vitrages fixes et ses parois, murs et plafond, se voir recouvertes de matériaux absorbants.

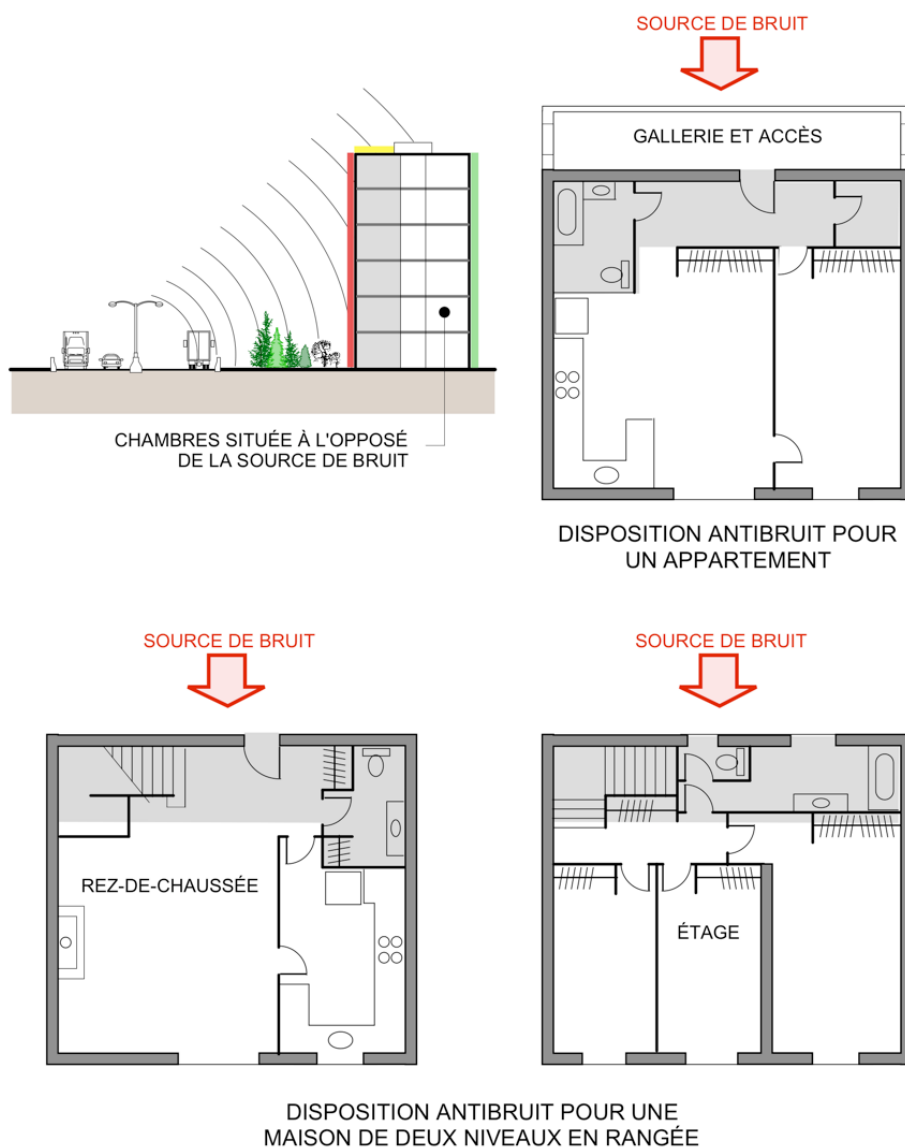


Figure N° 3.1.3 a : Exemples de disposition intérieure d'un appartement ou d'une maison en rangée pour protéger les chambres et les séjours du bruit de la circulation

Il est ensuite important de disposer judicieusement les portes et les matériaux absorbants, afin de réduire le niveau de bruit lors de sa transmission au travers de l'édifice. Le second exemple concerne une maison en rangée de deux étages. Les pièces qui sont disposées du côté du bruit sont le vestibule d'entrée, l'escalier et les deux salles d'eau. Là encore, les fenêtres du côté du bruit peuvent être scellées (avec une ventilation adéquate), et il serait toujours souhaitable d'ajouter des matériaux absorbants. Enfin, on notera que dans les deux projets d'habitation, les garde-robes sont utilisées comme des espaces tampons. Même si les divisions qui les délimitent sont légères, la grande distance entre les parois et l'absorption acoustique des vêtements contribue à un indice d'isolement élevé.

Il est toujours possible d'organiser le plan d'un logement pour disposer les pièces les plus sensibles, salon ou chambres à coucher, du côté de la façade la moins exposée au bruit.

À titre d'exemple, la figure N° 3.1.3 b montre l'aspect que pourrait avoir un immeuble résidentiel localisé au voisinage immédiat d'une autoroute ou bien d'une voie de chemin de fer achalandée. La façade exposée au bruit est complètement close et inclinée pour contrôler les réflexions, les pièces les plus sensibles au bruit sont toutes localisées sur la façade opposée, avec des fenêtres plus grandes et un certain aménagement paysager.

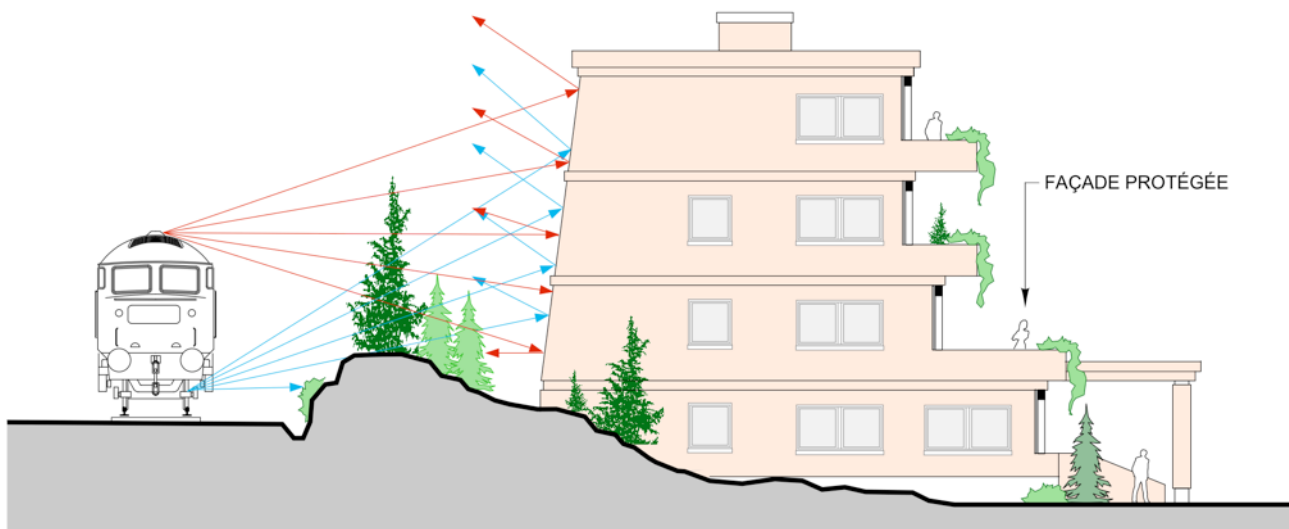


Figure N° 3.1.3 b : Exemple d'une façade close pour éviter la propagation du bruit d'une voie de chemin de fer

Finalement, la figure N° 3.1.3 c montre que pour le développement d'un secteur résidentiel au voisinage d'un aéroport ou proche d'un corridor aérien, il sera intéressant de disposer les chambres à coucher au rez-de-chaussée, de manière à offrir une protection supplémentaire due à l'effet d'écran de l'étage supérieur, notamment pendant la nuit. Une telle disposition n'est peut-être pas toujours valable sur le plan fonctionnel. Cependant, comme le montre également cette figure N° 3.1.3 c, l'architecte peut parfois tirer profit d'une dénivellation du site et organiser le plan type, de telle façon qu'on puisse entrer de plain-pied à l'étage ou bien que les chambres à coucher soient en demi-sous-sol, suivant la topographie du terrain.

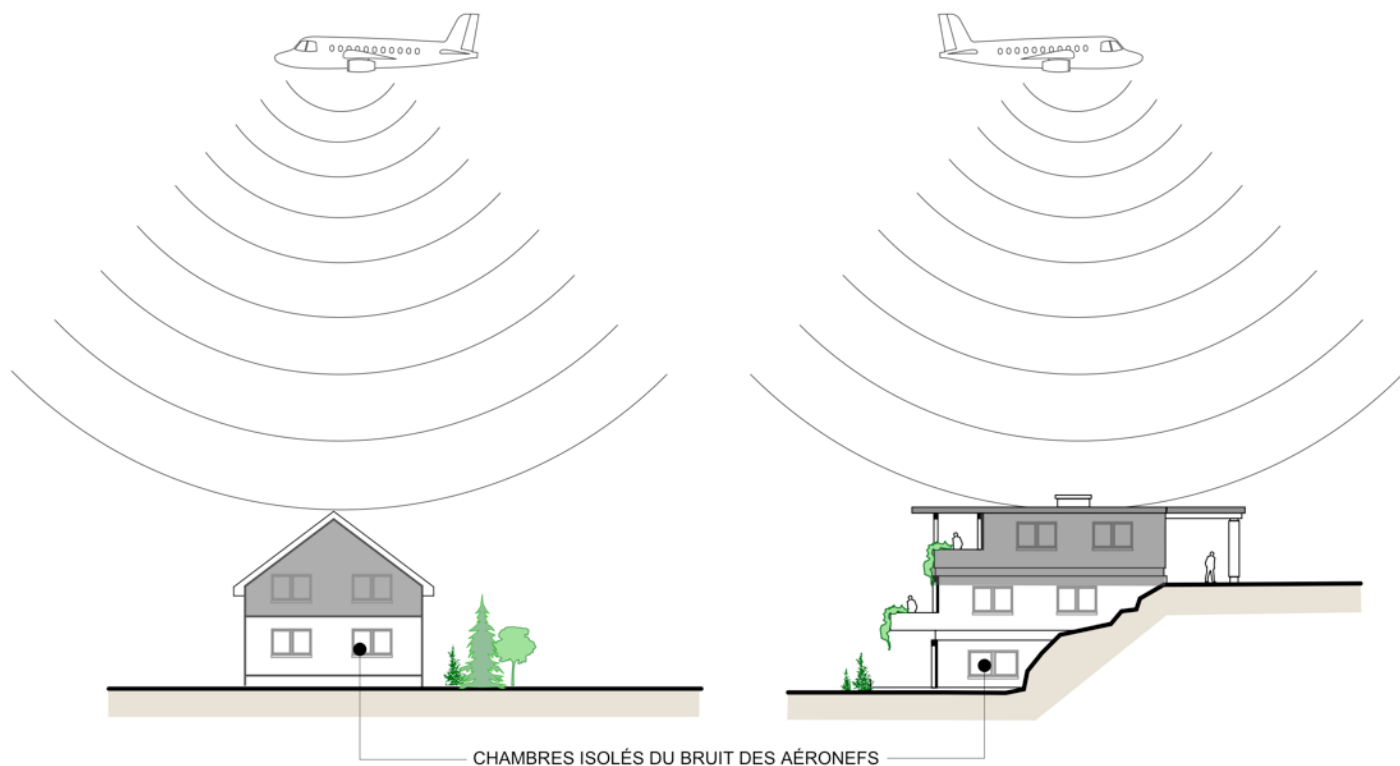


Figure N° 3.1.3 c : Exemples de dispositions destinées à protéger les chambres du bruit des aéronefs

3.1.4 Autres dispositions architecturales possibles pour contrôler le bruit

Toujours à propos de la disposition des immeubles résidentiels, en plus de la disposition intérieure des logements, il faut noter quelques autres dispositions architecturales importantes pour la protection acoustique des façades : ce sont les effets de basilaire, de *loggia* et d'*attique*. Le premier de ces effets d'écran, est représenté dans la figure N° 3.1.4 a. La mise en œuvre d'un basilaire est notamment requise, lorsqu'on veut construire en hauteur, mais que le règlement de zonage ne permet pas d'occuper toute la parcelle disponible. Avec cette disposition, les premiers étages résidentiels peuvent être protégés du bruit, ensuite, les étages supérieurs bénéficient d'un plus grand éloignement par rapport à la chaussée.



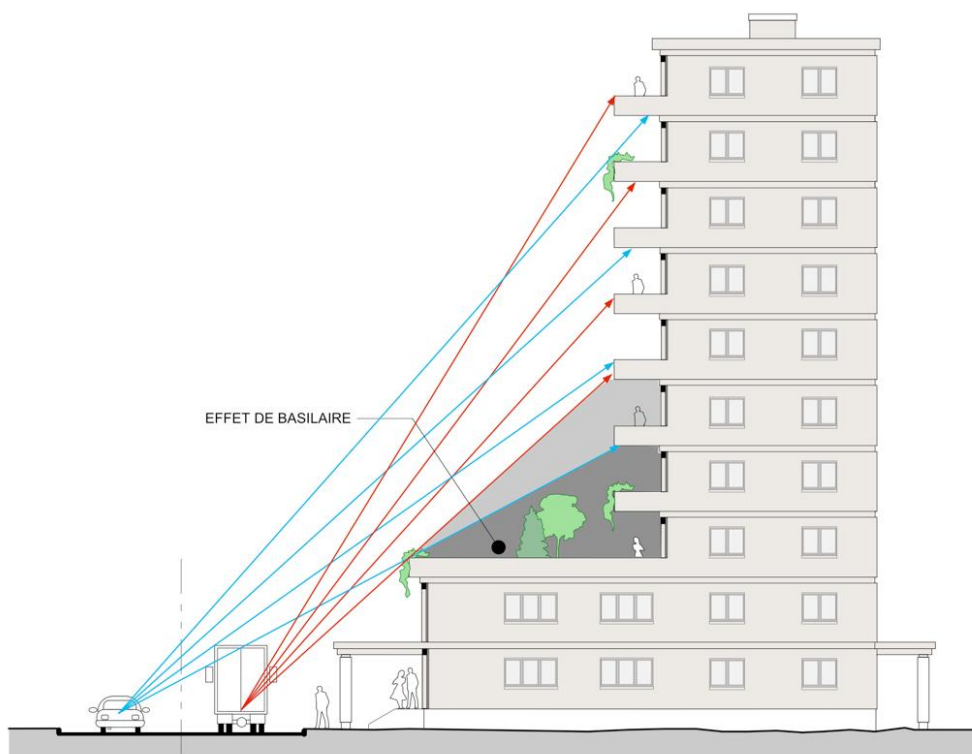


Figure N° 3.1.4 a : Protection d'un immeuble en hauteur à l'aide d'un basilare

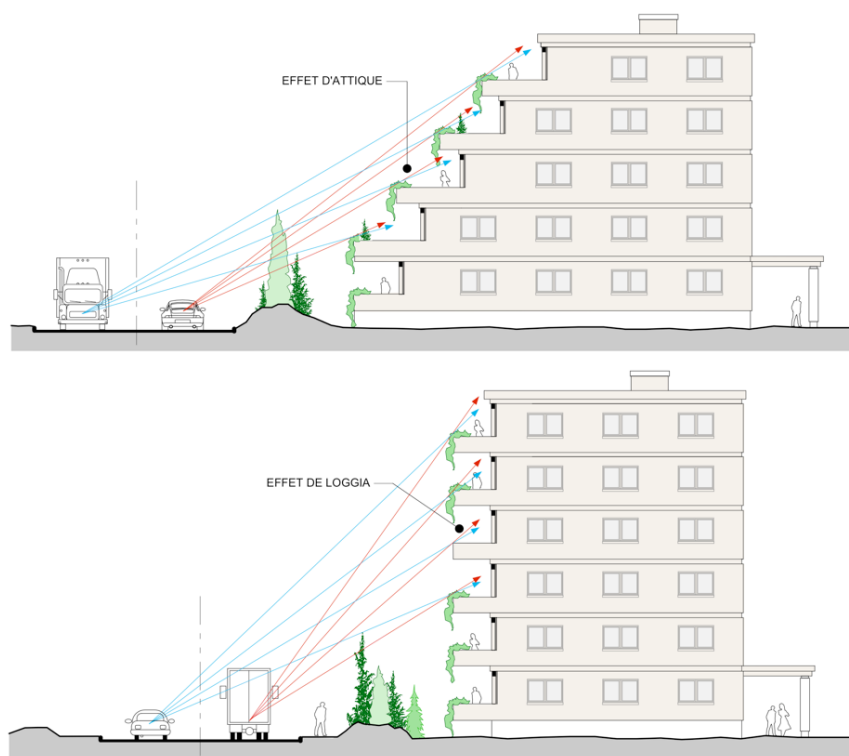


Figure N° 3.1.4 b : Protection d'un immeuble en hauteur à l'aide de loggias et d'attiques

Comme le montre ensuite la figure N° 3.1.4 b, l'effet d'attique dépend surtout de l'effet d'écran résultant

d'un retrait suffisant de la façade pour chacun des étages. Quant à l'effet de loggia procuré par la présence de balcons, il sera plus largement expliqué avec le traitement détaillé des façades. L'effet de loggia correspond à l'usage de balcons ouverts, mais il est possible de concevoir des balcons plus ou moins fermés, toujours pour se protéger du bruit. Il s'agit des oriel, un dispositif architectural largement utilisé dans divers pays d'Europe, mais qui commence à apparaître au Québec. À ce sujet, la figure N° 3.1.4 c illustre bien le passage du balcon à l'oriel, ce dernier devient ainsi une pièce de vie supplémentaire. On peut d'ailleurs remarquer qu'il s'agit d'une version vitrée de la « galerie », qui existe déjà depuis longtemps pour beaucoup d'habitations rurales. Enfin, on peut envisager la couverture complète d'une façade exposée au bruit avec une double enveloppe, plus ou moins fermée et plus ou moins vitrée. D'un point de vue énergétique, il s'agit également de solutions ayant un potentiel intéressant pour limiter les déperditions thermiques ou pour contribuer plus efficacement au contrôle des gains solaires. Les oriel et les doubles enveloppes seront également développés avec le traitement des façades (voir points 4.8 et 4.9).

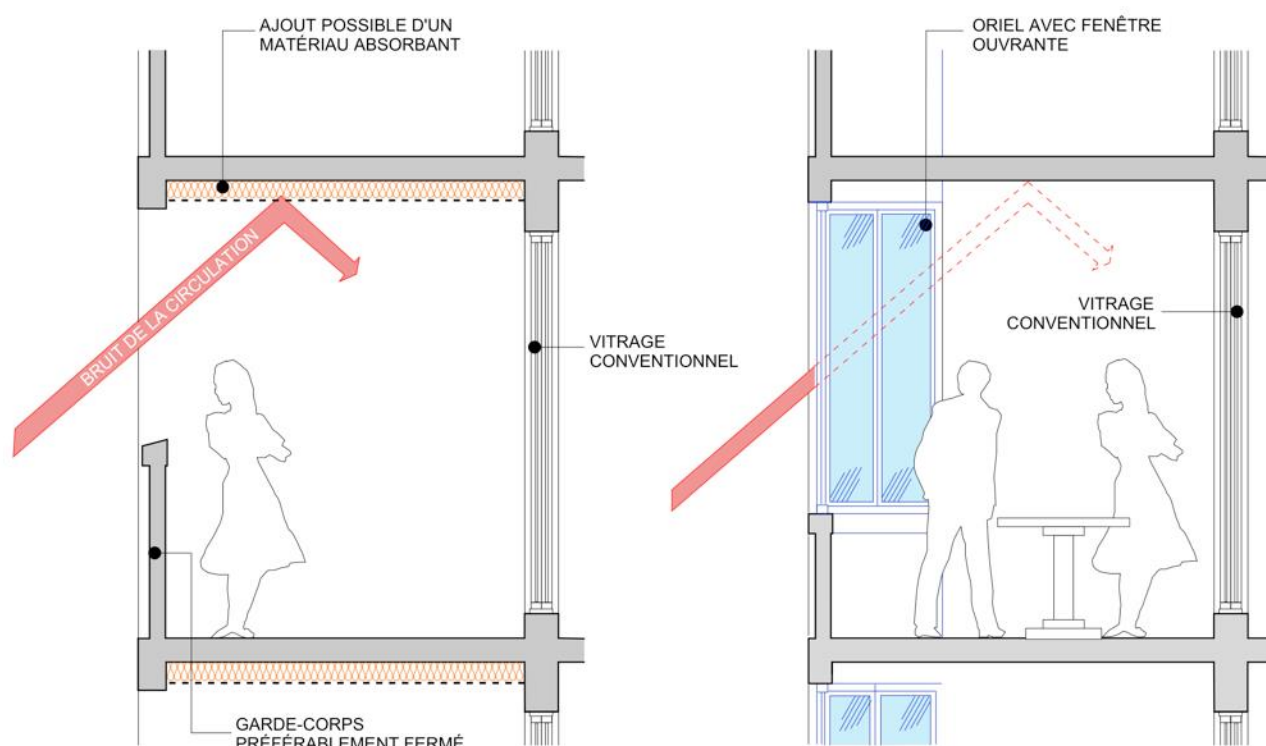


Figure N° 3.1.4 c : Effet de protection procuré par un balcon et passage du balcon à l'oriel

Néanmoins, on doit noter que la fermeture d'un balcon ou l'aménagement en oriel peut être considéré comme une pièce supplémentaire en termes de protection contre les incendies ou de performance énergétique. Il convient donc de valider préalablement le respect des normes en vigueur, surtout en ce qui concerne le Code de Construction du Québec.

3.1.5 Aménagements urbanistiques visant à créer des aires protégées du bruit

Pour faire suite à l'étude des façades des édifices et à leur disposition générale, tant intérieure qu'extérieure, en vue de la réduction de l'impact du bruit de la circulation, il faut maintenant aborder quelques recommandations d'urbanisme applicables à la protection phonique et l'amélioration de l'environnement acoustique dans les quartiers très achalandés des centres-villes. La première de ces dispositions, qui nous est fournie par l'histoire de l'architecture, est tout simplement l'effet de cour intérieure. Cette forme de l'organisation de l'espace urbain, qui va de la simple cour à la place piétonne, se retrouve dans toutes les villes anciennes. Tel qu'illustré dans la figure N° 3.1.5 a, la haute-ville de Québec offre quelques exemples de ces aménagements bien protégés, alors que les rues voisines supportent une circulation automobile assez importante. Pour quatre cours différentes situées dans un secteur compris autour des rues St-Ursule et d'Auteuil, en période diurne dans au moins trois de ces cours, il est possible de relever des niveaux de bruit inférieurs à 40 dBA, voire même un minimum atteignant 34 dBA. Ces résultats dépendent de la hauteur des édifices bordant la cour, de leur continuité et, surtout, de l'absence de bruits locaux qui pourraient gâcher la quiétude de ces espaces privilégiés malgré une certaine proximité de la route 175.



Figure N° 3.1.5 a : Exemple d'effet de cour dans le Vieux-Québec ¹⁶

Parallèlement aux autres critères d'aménagement axés sur le bien-être et la sécurité des usagers, les architectes et les urbanistes devraient se prévaloir de telles dispositions, afin de créer des espaces publics privilégiés, suffisamment isolés de la circulation et du bruit ; même à l'intérieur d'un tissu urbain très dense, il est toujours possible de trouver les espaces libres appropriés. Il existe de nombreux exemples célèbres de ce type d'aménagements urbains, tels que le Rockefeller Center, à New York, ou bien les Jardins du Palais-Royal, à Paris. Même si de telles dispositions sont facilement réalisables, on comprend aisément pourquoi les architectes canadiens ne privilégient pas toujours ces aménagements, dans la mesure où les rigueurs climatiques et un enneigement potentiel en réduisent considérablement le temps d'utilisation.

Suivant un concept similaire, la figure N° 3.1.5 b présente la cour intérieure du Conservatoire de musique du Québec à Québec (architecte Victor Prus, 1972). Ce dernier est construit à côté du Grand Théâtre, dans un quartier central très actif, mais surtout perturbé par le trafic automobile de la colline parlementaire. Dans ce cas particulier, les deux niveaux des studios de musique en sous-sol constituent un mur de soutènement, tout autour d'une cour aménagée pour des performances estivales. Des talus paysagés viennent compléter l'aménagement et protéger l'ouverture zénithale des bruits de la circulation. Ce qui procure un environnement contrôlé et permet notamment d'ouvrir les larges portes du studio d'orgue.

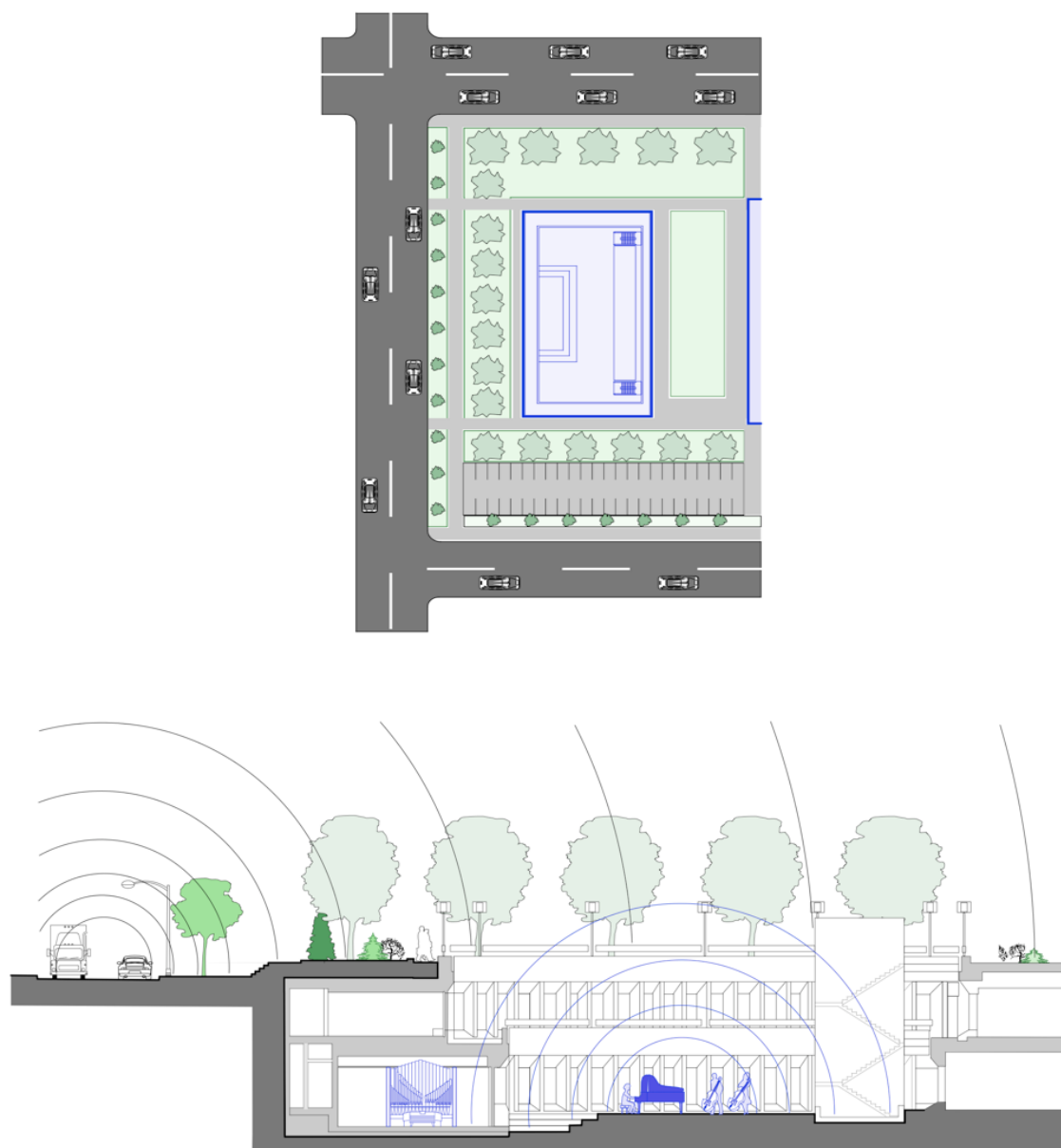


Figure N° 3.1.5 b : Cour du conservatoire de musique de Québec, vues en coupe et en plan (architecte : Victor Prus, 1972)



TROTTOIR PROTÉGÉ DU BRUIT DE LA RUE



IMMEUBLE RÉSIDENTIEL PROTÉGÉ PAR UN BÂTIMENT COMMUNAUTAIRE



DÉVELOPPEMENT RÉSIDENTIEL AVEC DES COURS PROTÉGÉES DU BRUIT

Figure N° 3.1.5 c : Exemples de divers aménagements urbains destinés à réduire le bruit

Pour respecter encore le principe de l'isolation par rapport au bruit de la circulation, la figure N° 3.1.5 c, montre trois exemples d'aménagement possibles des trottoirs, destinés à l'isolation acoustique des édifices. En fait, le premier de ces exemples est une adaptation du principe du café-terrasse sur toute la longueur d'une rue, le public pouvant circuler librement sous la verrière ou sous les arcades, avec une fermeture complète du côté de la circulation. Quant aux deux autres exemples, ils sont des applications directes de la notion d'écran acoustique. Que les édifices soient parallèles à la voie de circulation ou bien qu'ils lui soient perpendiculaires, il résulte de ces aménagements une sorte de cour intérieure protégée du bruit, sur laquelle donnent les façades des habitations.

Il est entendu que l'imperméabilité des aménagements ou du mobilier urbain peut devenir contraignante en fonction d'autres aspects, comme l'accès à la lumière naturelle, le contrôle du vent, l'accumulation de neige en hiver ou un certain inconfort pouvant être perçu dans les espaces plus refermés. Il appartient donc aux concepteurs d'approfondir les analyses afin d'obtenir des solutions optimales qui allient les bénéfices acoustiques à un maximum de performance dans toutes les autres disciplines. L'une des pistes intéressantes pour parvenir à une juste pondération des avantages et des inconvénients consiste à comparer diverses configurations en réalité virtuelle avant de passer à la mise en œuvre des aménagements. À ce propos, on peut citer les différents travaux réalisés par le partenariat intersectoriel « Ville sonore » avec l'équipe de l'École des sciences de l'information de l'Université McGill ¹⁷.

Selon l'espace disponible, on peut également ajouter que des développements sont en cours pour proposer des dispositifs antibruit perméables basés sur des optimisations de la diffraction par des principes de cristaux soniques ¹⁸. Il restera cependant à vérifier si de telles solutions seront robustes en fonction de la variabilité des conditions météorologiques, en plus d'en harmoniser l'intégration au design urbain.

3.2 Modélisation de l'impact du bruit en vue de la planification d'un développement résidentiel



Pour un nouveau développement résidentiel important, une fois toutes les perspectives architecturales et tous les aspects des règlements d'urbanisme existants analysés, il reste à finaliser la planification du site et des futurs bâtiments en fonction de l'environnement acoustique présent ou projeté. Ce qui implique de tenir compte de la topographie, des éléments bâtis voisins du site à l'étude, de la localisation des voies de circulations automobiles ou ferroviaires, de la composition de la circulation et de son débit, comme de la localisation et des caractéristiques de toutes les autres sources de bruit potentielles. L'objectif initial de toute modélisation consistera à vérifier le niveau de bruit prévisible sur les façades des futures résidences, afin de s'assurer du respect des recommandations comme celles de la SCHL ou du MTQ, notamment l'obtention d'un niveau LAeq 24h de 55 dBA ou moins. Ultérieurement, la modélisation pourra être utilisée pour optimiser l'aménagement du site et la protection des bâtiments.

Il existe à ce sujet de nombreux logiciels, qui utilisent tous la répartition de la puissance acoustique des différents types de véhicules automobiles sur des sources linéaires existantes ou proposées (émission du bruit répartie uniformément dans l'axe de chaque tronçon). Au moins deux catégories de véhicules sont généralement prises en compte, automobiles et poids lourds, en fonction de leurs débits respectifs et de leurs vitesses. Le ministère des Transports du Québec suggère dans ses devis types de services professionnels pour la réalisation d'une étude d'impact sonore¹⁹ d'employer la procédure développée par la Federal Highway Administration (FHWA) des États-Unis (logiciel TNM 2.5 ou la récente version 3)²⁰. Des logiciels commerciaux à la disposition des spécialistes, comme *SoundPLAN*, *CadnaA* ou *Predictor-LimA*, intègrent cette procédure recommandée pour le Québec, en y ajoutant de nombreuses facilités de saisie des données, de calculs ou de cartographie. Suivant la précision escomptée, la circulation peut être localisée en une seule source linéaire ou bien répartie suivant plusieurs voies distinctes. D'autres sources de bruit peuvent être ajoutées, comme un corridor de tramway, une voie de chemin de fer ou des sources industrielles proches du site à l'étude.

Pour les calculs de propagation, les réflexions sur les bâtiments existants, les diffractions simples ou multiples et les différents effets d'absorption du sol peuvent être pris en compte. Il est même possible d'y ajouter un éventuel effet de vent dominant. Plusieurs paramètres peuvent être manipulés, les calculs peuvent se faire dans les bandes de fréquence par octave, mais plus généralement avec des niveaux globaux exprimés en décibel (A). Comme le montrent les figures N° 3.2 a et 3.2 b, les résultats d'une modélisation 2D peuvent être représentés horizontalement en suivant la topographie du site (à une hauteur de 1,5 m ou de 4 m au-dessus du sol par exemple), ou bien dans un plan vertical, pour mettre en évidence les diffractions autour des édifices. Une autre représentation peut être intéressante en matière d'habitation, c'est celle de la figure N° 3.2 c, sur laquelle on retrouve les niveaux de bruit prévisibles aux différents étages d'un futur édifice à logements. On notera que les isocontours modélisés dans le plan de la façade ont été convertis en valeurs numériques.

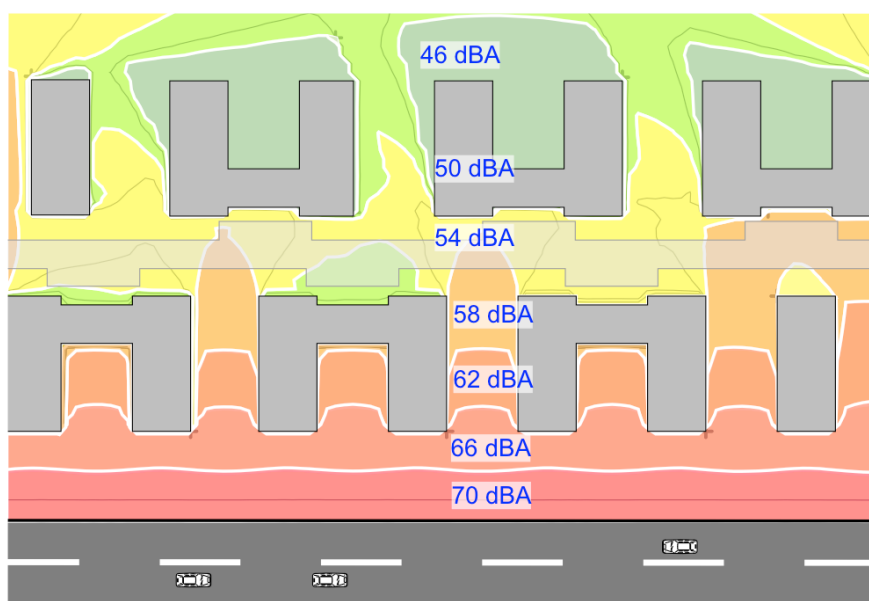


Figure N° 3.2 a : Modélisation de l'impact du bruit d'une voie de circulation sur un développement résidentiel cartographié à 1,5 m du sol

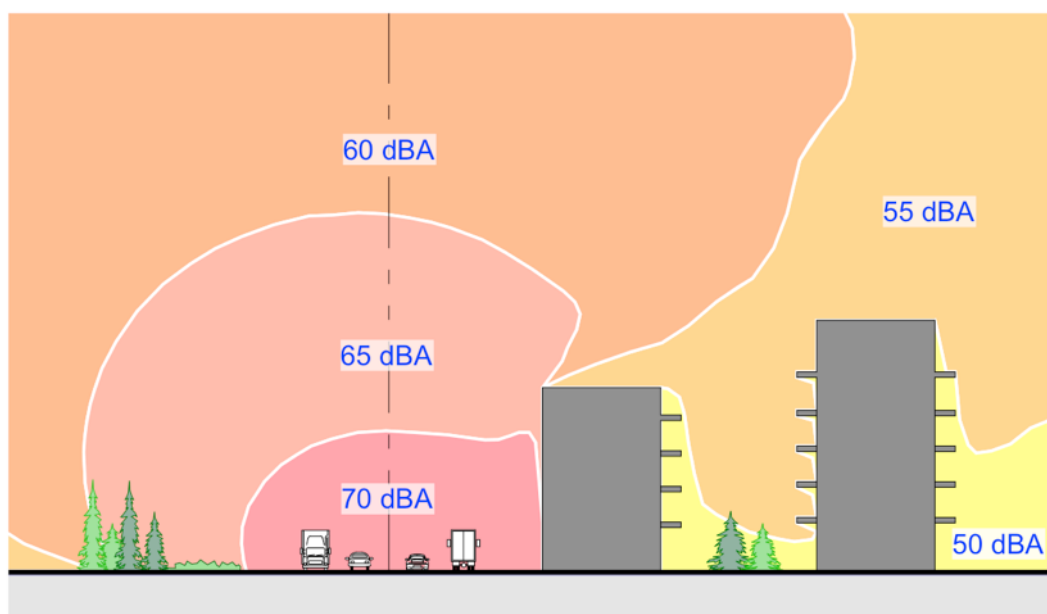


Figure N° 3.2 b : Modélisation de l'impact du bruit d'une voie de circulation sur un développement résidentiel en coupe verticale

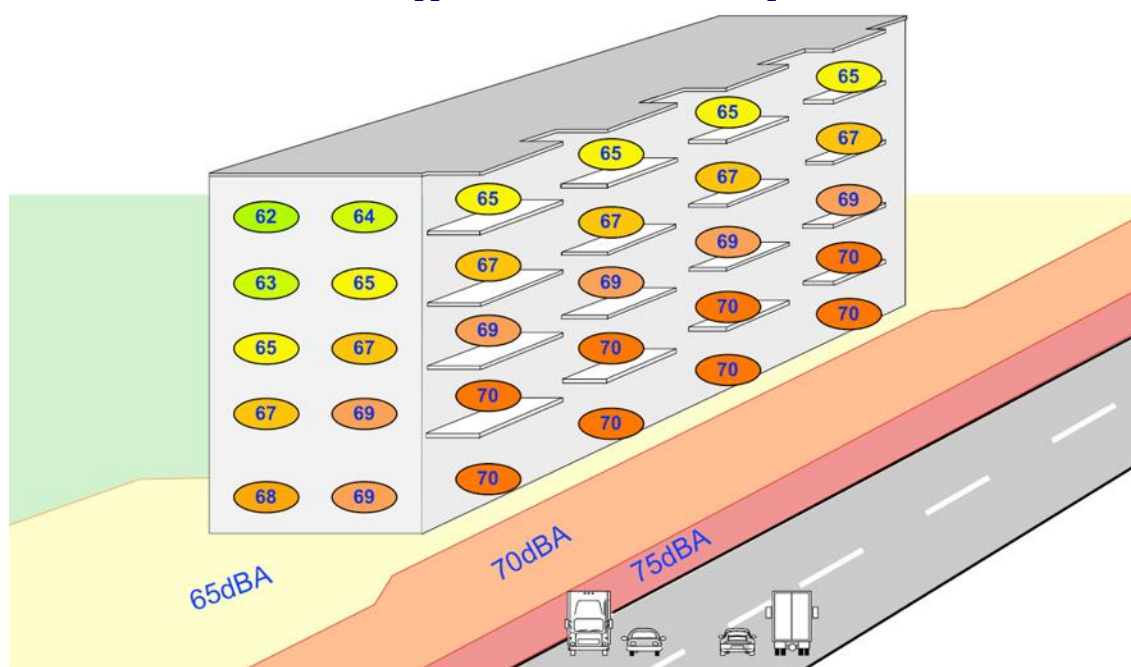


Figure N° 3.2 c : Exemple de modélisation 3D pour calculer l'impact du bruit selon les différents étages d'un immeuble

PARTIE 4 — TRAITEMENT ACOUSTIQUE DE L'ENVELOPPE DES BÂTIMENTS

4.1 Aspects généraux



Souvent négligé par les services publics, les urbanistes ou les architectes, le traitement de l'enveloppe du bâtiment est parfois considéré comme un bricolage, mis en œuvre personnellement par des résidents qui veulent se protéger directement dans leur propre habitation. Comme les murs antibruit personnalisés qu'on voit fleurir sur les bords de certaines autoroutes. Le traitement acoustique des fenêtres et des façades est au contraire un moyen très efficace de procurer un habitat de qualité, protégé efficacement contre le bruit, sans nuire par ailleurs à la qualité de l'éclairage solaire ou de la ventilation naturelle des logements. De nombreuses solutions peuvent être appliquées, même dans des quartiers extrêmement exposés au bruit. Le traitement acoustique des composantes de l'enveloppe d'un bâtiment résidentiel devrait être pris en compte par les promoteurs et les architectes dès le début d'un projet. Et pour les situations existantes, il n'est pas de cause désespérée, il y a toujours moyen de faire des gains intéressants à la satisfaction des occupants. Ces diverses solutions présentent de nombreux avantages, on peut ainsi suggérer les points suivants :

- Il peut s'adresser à une seule ou à seulement quelques résidences soumises à l'impact du bruit.
- Il peut permettre d'éviter la démolition ou le déménagement d'habitations trop proches d'un corridor.
- Il peut concerner les étages supérieurs d'édifices à logements qui ne sont pas protégés par un mur ou une butte antibruit.
- Il peut être proposé pour des résidents particulièrement sensibles au bruit.
- Il peut parfois permettre le développement à des fins résidentielles, des terrains centraux soumis à un bruit urbain élevé.
- Pour le traitement d'une seule façade, les coûts d'intervention peuvent rester abordables (par exemple, remplacement des fenêtres et reprise des finitions intérieures des murs exposés au bruit).
- Pour le traitement complet d'un nouvel édifice à logement, les coûts peuvent rester contrôlés, et un tel traitement constitue une plus-value facilement monnayable.

Au sujet des coûts, on peut suggérer qu'un programme de subvention puisse être initié, par exemple, lorsqu'une modification importante du tracé d'un corridor routier ou ferroviaire, ou bien qu'une élévation significative de sa capacité, viennent augmenter sensiblement l'impact du bruit sur les habitations les plus proches. Les propriétaires pourraient ainsi bénéficier d'un programme de soutien, avec toutes les recommandations appropriées, afin de pouvoir procéder aux améliorations requises dans leurs propres édifices.

4.1.1 Principaux points à considérer pour la protection contre le bruit

Les façades des immeubles résidentiels sont toujours composées de deux types de parois, soit les murs et les fenêtres. La masse surfacique des fenêtres est ordinairement plus faible que celle des murs (ou des toitures). C'est pourquoi les fenêtres constituent généralement le point faible pour la pénétration du bruit dans les habitations. À propos des fenêtres, il faut également tenir compte que la plupart d'entre elles doivent pouvoir s'ouvrir pour permettre une ventilation adéquate des logements, ce qui peut réduire temporairement l'isolation acoustique résultante. Ensuite, même si le traitement acoustique de l'enveloppe des bâtiments résidentiels doit commencer par les fenêtres, il faudra analyser également le comportement des murs de façade et des toitures. Les murs de façade peuvent regrouper différents assemblages de matériaux, avec des finitions extérieures variées. Par exemple, entre un mur fini d'une brique pleine de 89 mm et un mur recouvert d'un déclin d'aluminium de 0,7 mm d'épaisseur, la masse surfacique totale peut être bien différente (elle passe d'environ 140 kg/m² à seulement 30 kg/m²). La même façade peut aussi comporter différentes parties, avec des finitions extérieures variées, il faut alors que l'isolation acoustique de la partie la plus légère soit encore satisfaisante. Pour les habitations unifamiliales et les petits immeubles d'au plus quelques étages, l'isolation acoustique de la toiture doit être également vérifiée. Bien que la toiture soit plus épaisse le plus souvent, elle pourrait être plus légère que les murs de façade et alors constituer une faiblesse.

En excluant les bruits mécaniques propres au bâtiment, le niveau de bruit résultant à l'intérieur d'un édifice dépendra finalement des flux acoustiques susceptibles de pénétrer par les différentes parties de la façade, incluant les fenêtres. La pénétration de l'énergie acoustique peut être directe, d'un élément de la paroi à l'autre, ce jusqu'à l'intérieur. Toutefois, des vibrations peuvent également pénétrer vers d'autres parties du bâtiment, comme les planchers, les divisions ou les murs mitoyens, provoquant ensuite une réémission vers l'intérieur, c'est ce qu'on appelle les transmissions « latérales » ou « indirectes ». Comme le montre la figure N° 4.1.1, pour le bruit extérieur traversant un élément de façade les conductions indirectes peuvent concerner surtout les planchers et toutes les divisions qui jouxtent la façade.

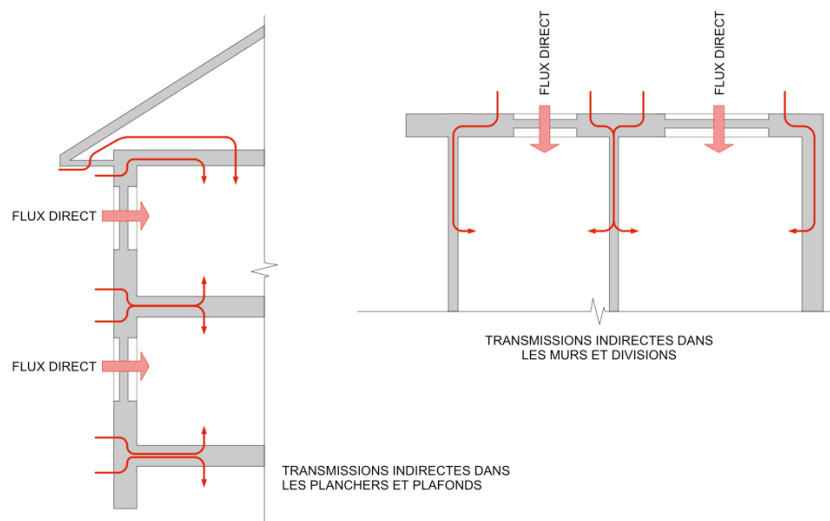
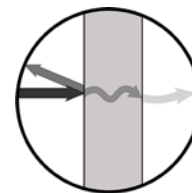


Figure N° 4.1.1 : Exemples de transmissions indirectes qui peuvent affecter la façade d'une habitation

En plus des fenêtres, des murs de façade et des toitures, d'autres éléments de construction peuvent affecter l'isolation acoustique de l'enveloppe d'un bâtiment résidentiel, comme certaines ouvertures ou les conduits extérieurs des équipements de ventilation (voir point 4.12). On doit aussi considérer dans ce qui suit tous les éléments qui peuvent s'ajouter à la façade, comme les balcons, les oriels, les pare-soleil, jusqu'à la possibilité d'une double enveloppe. Tous ces éléments peuvent contribuer à modifier le flux acoustique atteignant la façade, donc le niveau de bruit résultant dans les logements.

4.1.2 La mesure de l'isolement acoustique des matériaux et des parois (l'indice STC)

Tous les matériaux qui constituent une façade peuvent être caractérisés par leur indice d'isolement STC (*Sound Transmission Class*). Cet indice est intrinsèque à la paroi et aux matériaux qui la composent, il est généralement vérifié en laboratoire. Il est à noter que les traductions françaises des termes nord-américains comme l'ITS, ou indice de transmission sonore, n'ont aucune valeur légale étant donné l'inexistence d'une définition normative; il est donc déconseillé d'utiliser de tels acronymes non standardisés.



Lorsque l'indice d'isolation est mesuré sur place, directement dans les locaux concernés, il est désigné par ASTC (*Apparent Sound Transmission Class*, anciennement signifié par FSTC, *Field Sound Transmission Class*, voir Code de Construction en section 9.11)²¹. L'indice STC est obtenu par comparaison entre les isolements normalisés (*transmission loss* ou TL) des 16 bandes de fréquence au tiers d'octave, de 125 à 4000 Hz, et une courbe de référence glissant de décibel en décibel. On peut voir à ce sujet l'exemple de la figure N° 4.1.2 qui concerne un mur de façade plus massif avec des montants de bois, tel que testé au laboratoire du Conseil national de recherches du Canada (CNRC) (parement de brique 89 mm, 16 mm d'air, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm, isolation fibre de verre 152 mm et feuille de gypse 13 mm)²². La détermination de l'indice global STC pour une telle paroi doit se faire selon les normes, dont le standard ASTM E413 pour le Canada²³. Dans cet exemple, le mur testé atteint un indice d'isolement de STC-53.

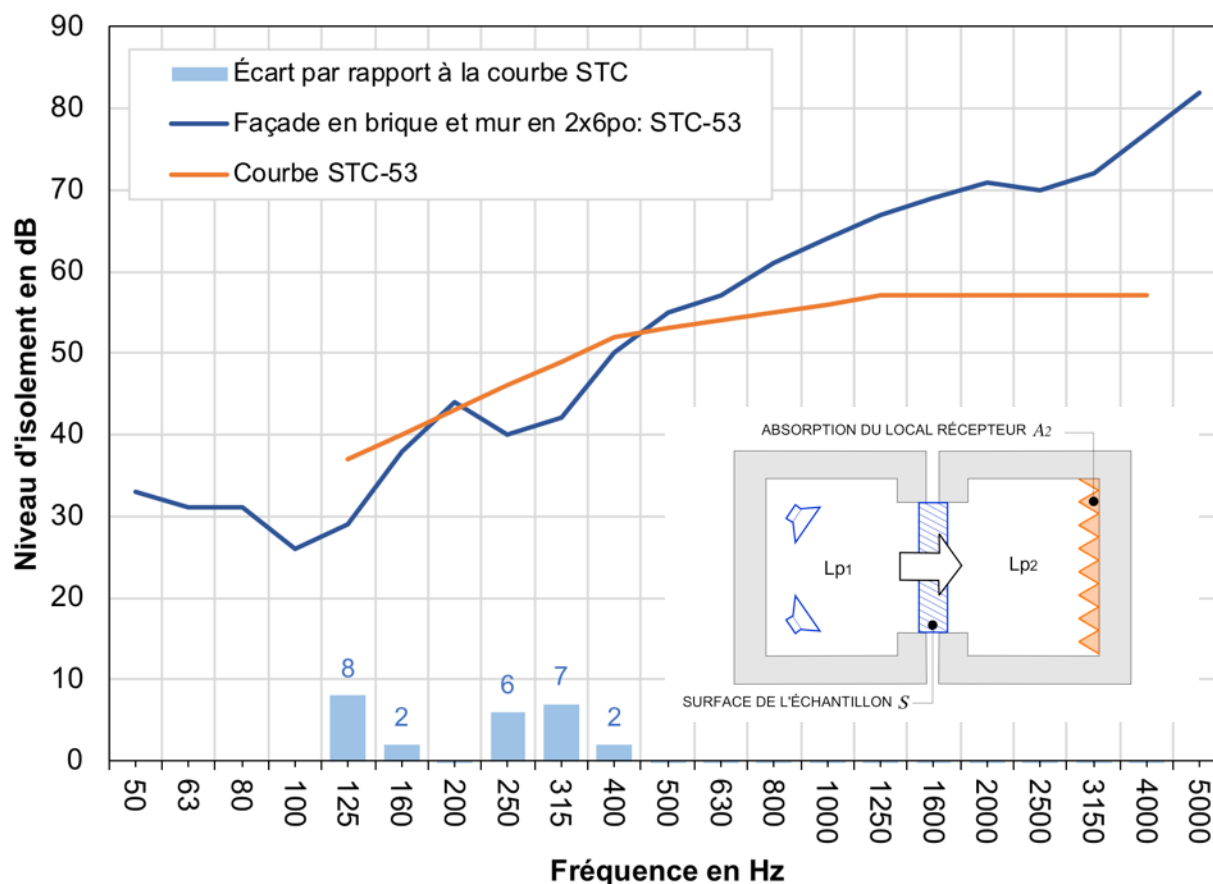


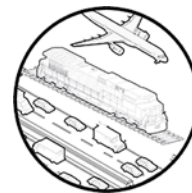
Figure N° 4.1.2 : Détermination de l'indice STC pour un échantillon de mur de façade (mesures du CNRC, 2000) ²²

Pour tous les paramètres et calculs concernant l'isolation des parois, se référer au point 5.2 en annexe.

La surface de la paroi n'est pas considérée directement dans l'indice STC (valeur ramenée à l'unité de surface), il faut cependant tenir compte du fait qu'elle peut affecter le flux acoustique total transmis, donc le niveau de bruit résultant à l'intérieur du logement. L'indice STC dépend de la masse surfacique totale des matériaux, donc leur épaisseur, c'est ce qu'on appelle la « loi de masse » (un doublement de la masse entraîne un gain d'isolement d'environ 6 dB). Ensuite, la répartition de cette masse en deux ou plusieurs panneaux, leur désolidarisation mécanique, de même que les distances entre ces panneaux, ou bien la présence d'un matériau absorbant peuvent jouer un rôle significatif dans l'isolation acoustique résultante. On notera, à ce sujet, que **les indices STC ne peuvent pas s'additionner par une simple somme arithmétique** (comme l'indice R pour l'isolation thermique) puisque la disposition des matériaux entre eux peut provoquer des vibrations ou des résonances susceptibles d'affaiblir le comportement acoustique de l'ensemble.

4.1.3 L'isolement acoustique des façades soumises aux bruits des transports (l'indice OITC)

L'indice OITC (*Outdoor-Indoor Transmission Class*) est plus récent que l'indice STC, son usage est encore sujet à de nombreuses discussions. La norme nord-américaine ASTM E1332 propose un spectre de référence par bandes de fréquences au tiers d'octave de 80 à 4000 Hz, correspondant au bruit des infrastructures de transport (bruits routier, ferroviaire et aérien mélangés)²⁴. Après lui avoir appliqué la correction de fréquence (A) pour l'oreille humaine (*selon ANSI S1.4*), ce spectre peut être utilisé pour établir un indice unique destiné aux façades des édifices résidentiels typiques. La figure N° 4.1.3 montre un exemple de calcul de l'indice OITC, pour le même mur de façade que celui de la figure N° 4.1.2. Le résultat donne alors une valeur de 40, laquelle est obtenue par la soustraction des valeurs globales exprimées en dBA entre les courbes de bruit des transports normalisé (en rouge) et le même bruit diminué des valeurs de *transmission loss* qui pourrait être mesuré à l'intérieur (courbe orangée), ce pour les 18 bandes au tiers d'octave. Les isoléments normalisés (TL) peuvent être obtenus en laboratoire selon la procédure citée précédemment pour déterminer l'indice STC, ou bien à l'aide d'une autre valeur de l'isolement mesurée sur place selon la norme ASTM E966²⁵. À défaut de bénéficier d'un spectre moyen décrivant plus précisément le bruit perturbateur audible autour d'un bâtiment à insonoriser, l'indice OITC devrait être en définitive plus représentatif que l'indice STC pour anticiper la perception qu'auront les occupants d'une façade soumise aux divers bruits, routiers, ferroviaires ou aériens. Autrement, il convient de calculer les niveaux sonores intérieurs en opposant les compositions fréquentielles du climat sonore moyen avec celles des atténuations des façades.



Se référer au point 5.3 en annexe pour de plus amples détails sur les calculs d'OITC.

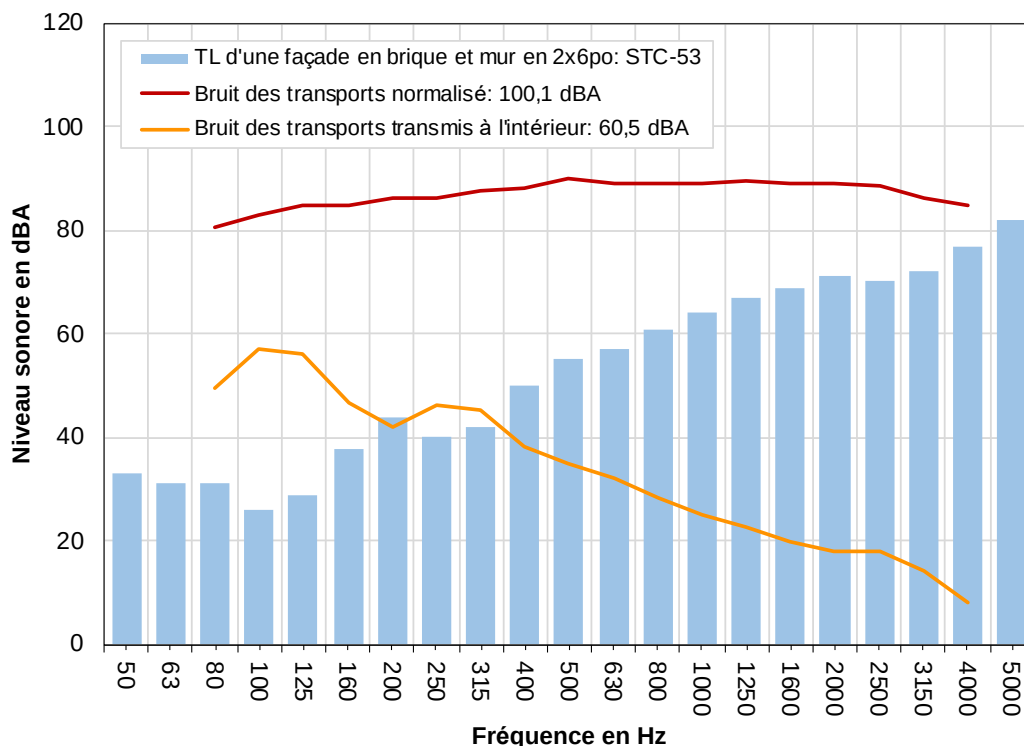


Figure N° 4.1.3 : Détermination de l'indice OITC pour un échantillon de mur de façade (mesures du CNRC, 2000)²²

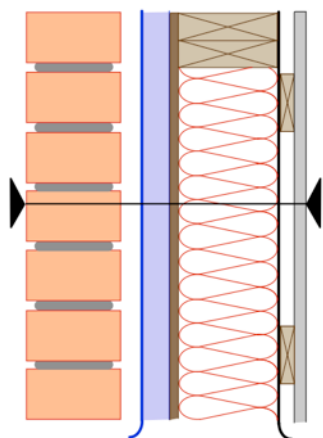
4.1.4 Combinaison avec l'isolation thermique

Les besoins en matière d'isolation thermique au Québec imposent certaines dispositions pour l'enveloppe de tous les bâtiments résidentiels. On peut signaler notamment l'utilisation de doubles verres scellés, des fenêtres de qualité avec des dispositifs de fermeture efficaces, une quantité suffisante de matériel isolant, la présence d'espaces d'air, la continuité de tous les éléments de façade et leur calfeutrage soigné, etc. Par exemple, au niveau des fenêtres, la relation est évidente entre l'isolation thermique et l'isolation acoustique : l'épaisseur et le nombre de verres, la distance entre les verres, la qualité des joints et des dispositifs de fermeture, l'épaisseur du cadre et son calfeutrage périphérique, tous ces éléments peuvent contribuer à une bonne isolation acoustique. De la même manière, le flux thermique radié au travers d'une fenêtre dépend de sa surface, tout comme le flux acoustique et le niveau de bruit résultant à l'intérieur de l'habitation.



La comparaison est un peu plus complexe pour les murs ou les toitures. L'emploi de matériaux légers comme les isolants rigides peuvent convenir sur le plan thermique, mais ils risquent de présenter trop peu d'inertie liée à la masse pour l'isolation acoustique. Comme le montre la figure N° 4.1.4 a, on peut avoir trois murs de façades qui conviennent aux exigences au point de vue thermique et qui présentent cependant une bonne différence sur le plan acoustique.

COUVERTURE DES PONTS THERMIQUES PAR L'EXTÉRIEUR

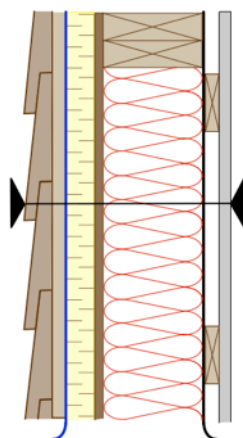


FILM D'AIR
BRIQUE
LAME D'AIR
POLYURÉTHANE 25 mm SCELLÉ
PANNEAU OSB 11 mm
OSSATURE 2" x 6"
ISOLANT DE FIBRE DE VERRE R-19
FOURRURES HORIZONTALES
GYPSE 13 mm
FILM D'AIR

RSI - 5,18
R - 29,43
STC - 53



COUVERTURE DES PONTS THERMIQUES PAR L'EXTÉRIEUR

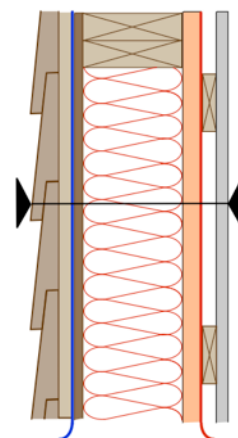


FILM D'AIR
DÉCLIN LÉGER
FOURRURES VERTICALES
POLYSTYRÈNE EXPANSÉ TYPE II 25 mm SCELLÉ
PANNEAU OSB 11 mm
OSSATURE 2" x 6"
ISOLANT DE FIBRE DE VERRE R-19
COUPE-VAPEUR SCELLÉ AU RUBAN
FOURRURES HORIZONTALES
GYPSE 13 mm
FILM D'AIR

RSI - 4,88
R - 27,73
STC - 37



COUVERTURE DES PONTS THERMIQUES PAR L'INTÉRIEUR



FILM D'AIR
DÉCLIN LÉGER
FOURRURES VERTICALES
PARE-AIR SCELLÉ AU RUBAN
PANNEAU OSB 11 mm
OSSATURE 2" x 6"
ISOLANT DE FIBRE DE VERRE R-19
POLYISOCYANURATE 19 mm SCELLÉ
FOURRURES HORIZONTALES
GYPSE 13 mm
FILM D'AIR

RSI - 5,04
R - 28,60
STC ≈ 38



Figure N° 4.1.4 a : Exemples de murs de façade qui respectent les exigences du Code de construction en matière d'isolation thermique

La différence dans la masse surfacique totale est un bon indicateur de ce résultat en matière de bruit. Le

premier mur a une masse totale d'environ 190 kg/m^2 , alors que les deux autres devraient avoir à peine 30 kg/m^2 . Lorsque l'isolant rigide est utilisé comme panneau structurant extérieur, à la place d'un panneau de copeaux ou d'un carton fibre goudronné, la masse surfacique totale diminue, tout comme la performance acoustique. Sinon, comme le montre la figure N° 4.1.4 a, on peut retrouver un isolant rigide du côté intérieur comme du côté extérieur (ces panneaux assurant également la couverture des ponts thermiques). On notera que les trois murs ont des indices R supérieurs à 25, mais que leurs indices passent d'environ STC-53 (hautement insonorisé) en diminuant à STC-37 (isolement plus limité s'approchant de l'ordre de grandeur rencontré avec des fenêtres).

Les indices d'isolation thermique couramment employés sont le facteur R en unités impériales ($\text{BTU}/\text{pi}^2 \cdot ^\circ\text{F}$) et l'indice RSI dans le système international ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{K}$). Dans la construction, les professionnels utilisent plutôt le système impérial. Ainsi, une natte de fibre de verre de 3"½ pour une ossature en bois conventionnelle est couramment vendue avec un facteur R de 19 ou 20. Le tableau N° 4.1.4 a, donne à ce sujet la correspondance entre les deux indices.

Tableau N° 4.1.4 a : Correspondance entre les facteurs d'isolation thermique (système impérial et international)

R	11	16	20	24	28	32	36	40	44	48	53
RSI	1,9	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,4	9,1

Pour convertir la valeur R en valeur RSI il faut multiplier par 0,1761.

À propos des exigences thermiques, le tableau N° 4.1.4 b, donne les résistances thermiques effectives minimalement suggérées pour les parties exposées des bâtiments d'habitation. La quantité d'isolation requise dépend de la température moyenne déterminée avec l'indice DJC (nombre de degrés-jours de chauffage) connu pour la ville ou la région concernée.

Même si la certification Novoclimat 2.0 demeure un programme optionnel et que les révisions les plus récentes des exigences applicables dans la province ont pu faire évoluer les spécifications des valeurs $\text{RSI}_{\text{totale}}$ vers de plus grandes performances énergétiques, il paraît pertinent d'énumérer au tableau N° 4.1.4 b quelques cas particuliers mettant en parallèle des éléments d'enveloppe pour des localités plus ou moins soumises aux rigueurs climatiques.

De la même manière, la figure N° 4.1.4 b, inspirée de l'APCHQ²⁶ (Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec), donne un résumé des exigences thermiques du chapitre I du Code de construction du Québec en vigueur à partir de 2012 et basé sur la version 2010 du code canadien. Néanmoins, il convient de se référer aux dernières publications de la Régie du Bâtiment du Québec (RBQ) pour connaître les révisions réglementaires applicables dans la province et pour mieux discerner les obligations propres aux petits bâtiments d'habitation (d'au plus 3 étages de hauteur) comparativement à celles considérées pour la conception de plus grandes constructions multifamiliales.

Malgré qu'une amélioration de l'isolation thermique puisse éventuellement contribuer à améliorer l'isolation acoustique, notamment en termes d'étanchéité, la réciproque a davantage de chance d'être bénéfique. Renforcer l'isolation acoustique de l'enveloppe d'un bâtiment résidentiel contribue souvent de façon positive à son isolation thermique.

Tableau N° 4.1.4 b : Résistances thermiques suggérées pour les parties exposées des constructions
(spécifications techniques inspirées de Novoclimat 2.0, p.17, partie 11 du CCQ, 2012) ²⁷

Composantes exposées		Résistance thermique totale minimalement suggérée RSIE (Reffectif)	
		< 6000 DJC	≥ 6000 DJC
Toit et plafond	avec comble (≥ 610 mm (24") d'espace libre)	10,30 (58,5)	10,30 (58,5)
	plat ou cathédrale (< 610 mm (24") d'espace libre)	7,22 (41,0)	7,93 (45,0)
Mur	hors sol	4,14 (23,5) *	4,40 (25,0)
	de fondation	3,17 (18,0)	3,44 (19,5)
Rives de plancher		4,14 (23,5)	4,40 (25,0)
Plancher hors sol		5,02 (28,5) *	5,02 (28,5)
Plancher en contact avec le sol	dalle de sous-sol (> 1200 mm (48") sous le niveau du sol)	1,09 (6,2)	1,09 (6,2)
	dalle sur sol (≤ 1200 mm (48") sous le niveau du sol)	1,96 (11,1)	1,96 (11,1)

(*) R+1 avec recouvrement des joints thermiques

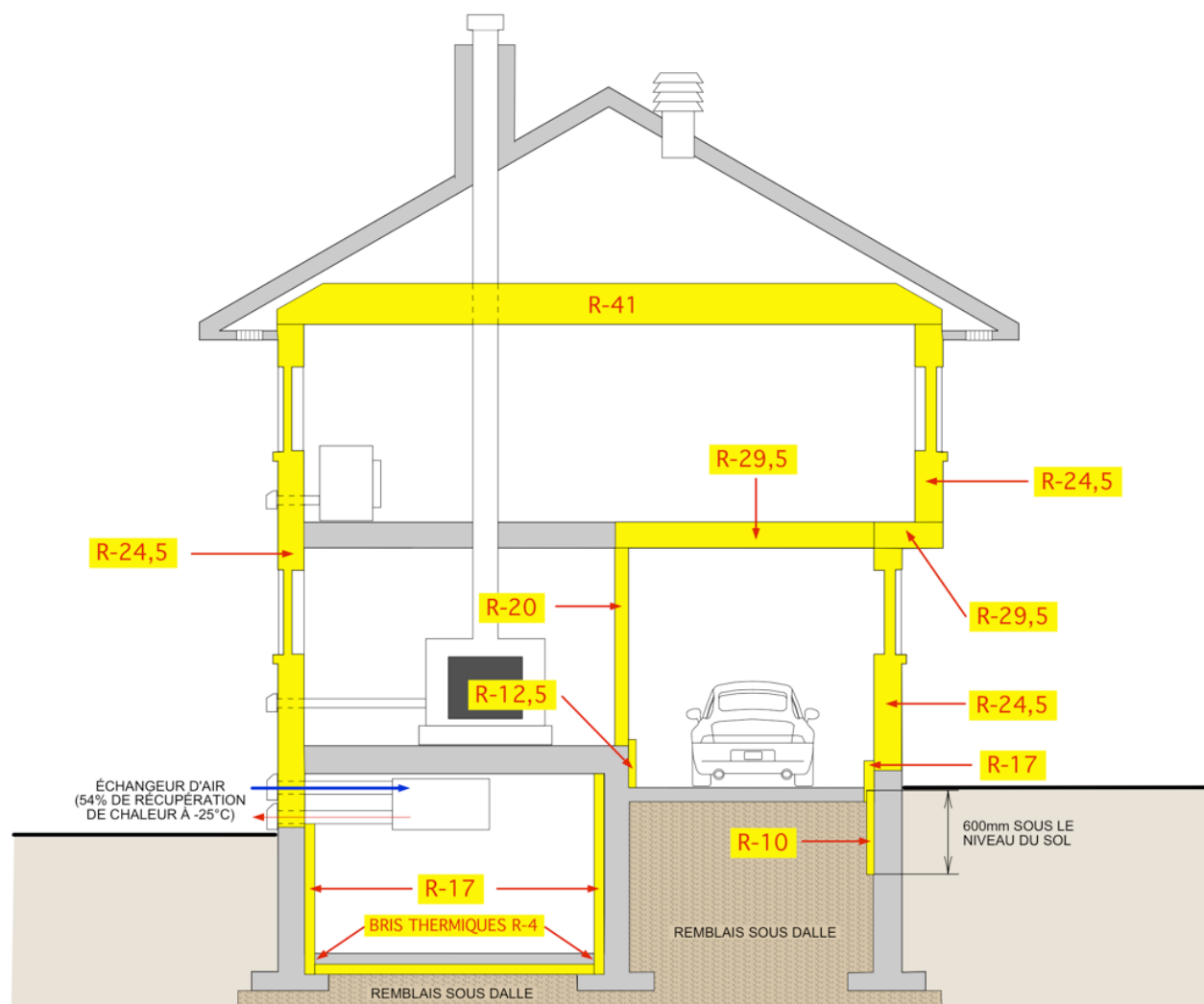


Figure N° 4.1.4 b : Résumé des exigences du Code de construction pour l'isolation d'une maison unifamiliale (basé sur la version entrée en vigueur en 2012)

La corrélation entre la thermique et l'acoustique n'est pas uniforme s'il n'est question que des propriétés physiques des matériaux constituant les murs ou les toits des habitations. Les éléments de construction dits isolants présentent des comportements acoustique et thermique qui peuvent différer beaucoup. Sans entrer dans les détails afférant à la mécanique des matériaux, on entend ici que certaines caractéristiques intrinsèques varient souvent de façon inversement proportionnelle. Une bonne qualité thermique n'est donc pas synonyme d'une bonne isolation phonique, même si une meilleure étanchéité peut limiter les fuites acoustiques directes. Typiquement, les matériaux en panneaux rigides ont une masse insuffisante pour représenter une inertie mécanique valable contre la propagation des vibrations et les fibres à usage thermique ont une densité plus faible que celle des nattes dites acoustiques. La comparaison est difficile entre ces matériaux, néanmoins, le tableau N° 4.1.4 c donne un aperçu des propriétés de ce type de matériau.

Tableau N° 4.1.4 c : Contribution acoustique des principaux matériaux d'isolation thermique

Matériau (épaisseur)	RSI	R	Masse surfacique kg/m ²	Isolement acoustique approximatif (STC ou à 500 Hz)
Lame d'air de 3/4 po (19 mm)	0,18	1,0	-	-
Carton fibre de 7/16 po (11 mm)	0,23	1,3	3,0	16
Carton fibre de 1/2 po HD (13 mm)	0,26	1,5	4,0	19
OSB de 7/16 po (panneau de copeaux 11 mm)	0,12	0,7	6,9	24
Gypse 1/2 po (13 mm)	0,08	0,44	7,9	25
Isolant Polyuréthane Type 1 (51 mm)	1,83	10,4	1,4	10
Isolant Polyuréthane Type 2 (51 mm)	2,14	12,0	1,6	11
Polyisocyanurate (51 mm)	2,14	12,0	6,3	23
Polystyrène extrudé Types 2-3-4 (51 mm)	1,79	10,0	1,2	9
Polystyrène expansé Type 2 (51 mm)	1,43	8,0	1,2	9
Laine de fibre de verre (152 mm)	3,60	20,9	1,4	10
Laine de roche (100 mm)	2,75	15,3	4,0	19
Laine de fibre naturelle en chanvre (140 mm)	3,44	20	3,5	18
Fibre de cellulose (100 mm)	2,40	13,8	4,8	22
Fibre de verre soufflée (254 mm)	5,33	30,0	3,8	18

En ce qui concerne le comportement thermique des murs de façade, il reste un dernier point à examiner : la position du point de rosée à l'intérieur de la paroi. Il s'agit du point où la vapeur d'eau provenant de l'intérieur d'un édifice risque de se condenser sous forme liquide, ce point étant situé entre la paroi intérieure chaude et le parement extérieur froid. La position exacte de ce phénomène peut être établie à l'aide de l'abaque psychrométrique. Cet abaque permet de déterminer la température de rosée à partir de la température et du degré hygrométrique. Ensuite, comme le montre la figure N° 4.1.4 c, il est possible de localiser le point de rosée en suivant le gradient de température à travers le mur de façade considéré. Ce paramètre du point de rosée pourrait être important, par exemple, lorsqu'on sera amené à doubler une fenêtre existante pour en augmenter l'isolation acoustique. Il faudra éviter une condensation inopinée entre les différentes couches de verre, ou du moins anticiper le phénomène pour pouvoir y remédier et éviter un quelconque risque de détérioration ou de moisissures dues à l'accumulation d'eau à long terme.

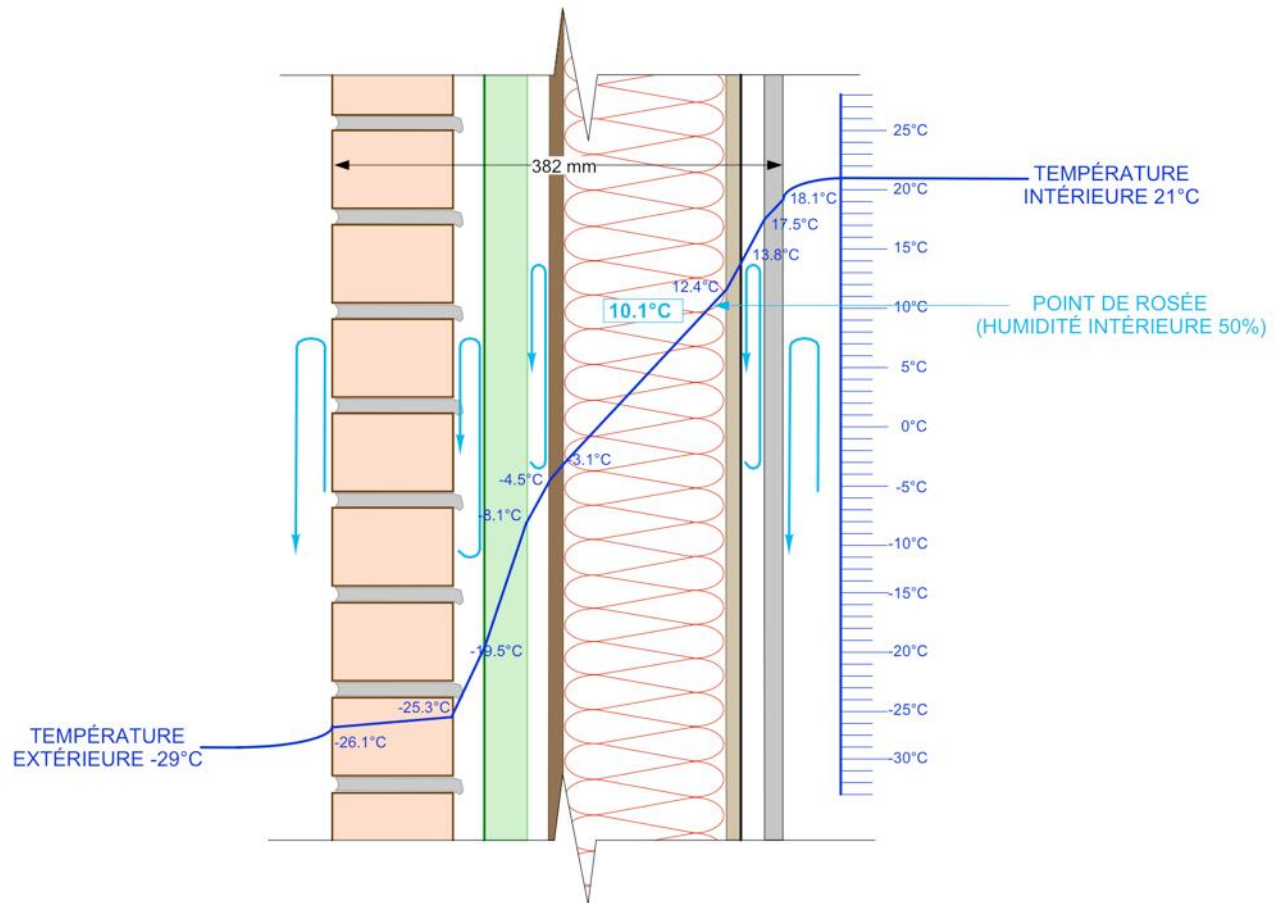
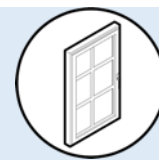


Figure N° 4.1.4 c : Exemple de gradient de température à l'intérieur d'un mur de façade et détermination de la localisation du point de rosée

4.2 Comportement acoustique des fenêtres



Les fenêtres constituent le plus souvent le maillon faible en matière d'isolation acoustique de l'enveloppe des bâtiments. Pour un même indice d'isolement, la surface relative de la fenestration par rapport au reste du mur de façade peut influencer également le niveau de bruit résultant à l'intérieur de l'habitation, comme on le verra par la suite.

4.2.1 Influence de l'indice d'isolement des vitrages et des murs

Une fenêtre scellée ordinaire constituée de deux verres de 3 mm présente un indice d'isolement d'environ STC-28, alors que des verres plus épais et un vitrage triple peuvent augmenter l'indice d'isolement entre STC-32 et STC-36. Or, la plupart des murs de façade sont plus lourds et plus épais que les vitrages (masse surfacique de 15 kg/m^2 pour un vitrage scellé avec deux verres de 3 mm, comparativement à une masse de 28 à 35 kg/m^2 et souvent beaucoup plus pour un mur de façade). De ce fait, pour l'isolation des logements, l'indice d'isolement acoustique des fenêtres et leur surface totale sont plus importants que l'isolation du mur proprement dite, cette dernière étant pratiquement toujours supérieure à STC-35, voire STC-40 ou plus.

Lorsque l'indice d'isolement d'un mur de façade dépasse STC-40, le niveau de bruit résultant à l'intérieur du logement concerné dépendra uniquement de l'indice des fenêtres.

C'est ce que montre le tableau N° 4.2.1 a, pour un niveau de pointe en façade de 75 dBA, lorsqu'on considère une fenêtre scellée ordinaire avec un indice d'isolement de STC-28 et que l'indice d'isolement du mur de façade dépasse STC-40, la section opaque de la paroi n'a plus d'incidence sur le niveau de bruit intérieur, puisque le principal flux acoustique qui pénètre dans le logement vient de la fenêtre (autres conditions de l'exemple présenté : vitrage de 2 m^2 inséré dans un mur de façade de 12 m^2 , pièce d'habitation de 60 m^3 , avec un temps de réverbération de 0,5 seconde). Malgré qu'on priorise une intervention sur la fenestration, cela ne veut pas dire qu'il faut négliger l'isolement des murs de façade et leurs diverses relations avec le reste de la structure.

De même, comme le montre le tableau N° 4.2.1 b, pour un même échantillon de façade et une même exposition au bruit, lorsque l'indice d'isolement du vitrage croît de 28 à 44, le niveau de bruit résultant au milieu de la pièce réceptrice diminue de 37 à 24,5 dBA. On peut constater ainsi l'importance de l'isolation acoustique des fenêtres. De telles évaluations ne considèrent que les niveaux sonores globaux, mais on peut également gagner en précision en répétant les calculs en fonction des spectres sonores, tant pour le bruit extérieur que l'atténuation de la paroi et le bruit résultant à l'intérieur.

Deux autres paramètres sont importants pour la fenestration résidentielle, ce sont la surface relative des vitrages par rapport au reste de la façade et surtout le pourcentage d'ouverture en période estivale pour assurer la ventilation naturelle des pièces concernées.

Tableau N° 4.2.1 a : Influence de l'isolement du mur de façade sur le niveau intérieur résultant

<i>Indice STC du mur de façade</i>	<i>Niveau intérieur résultant en dBA *</i>
30	43,3
33	41,3
34	40,7
37	39,3
40	38,3
43	37,8
46	37,5
49	37,3
52	37,2
55	37,2

(*) Niveau de pointe en façade : 75 dBA

Tableau N° 4.2.1 b : Influence de l'isolement de la fenêtre sur le niveau intérieur résultant

<i>Indice STC de la fenêtre</i>	<i>Niveau intérieur résultant en dBA *</i>
28,0	37,3
29,5	35,8
31,0	34,4
32,5	33,0
34,0	31,7
35,5	30,4
37,0	29,1
38,5	28,0
40,0	26,9
41,5	26,0
43,0	25,2
44,5	24,5

4.2.2 Influence de la surface des vitrages

Avec une fenêtre fermée, le tableau N° 4.2.2 a, montre l'influence de la proportion de l'aire vitrée dans les mêmes conditions que précédemment (indice d'isolement de la fenêtre STC-28, façade de 12 m², pièce d'habitation de 60 m³ et temps de réverbération de 0,5 s). Le niveau de bruit résultant au milieu de la pièce passe alors de 37 à 43 dBA lorsque la surface du vitrage varie de 2 à 8 m².

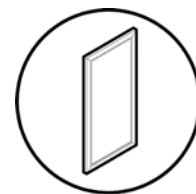


Tableau N° 4.2.2 a : Influence de la surface de la fenêtre fermée sur le niveau intérieur résultant

<i>Surface de la fenêtre en m²</i>	<i>Niveau intérieur résultant en dBA *</i>
2,0	37
2,5	38
3,0	39
3,5	40
4,0	40
4,5	41
5,0	41
5,5	42
6,0	42
6,5	42
7,0	43
7,5	43
8,0	43

(*) Niveau de pointe en façade : 75 dBA

Le niveau de bruit résultant à l'intérieur d'un logement est influencé par la surface totale des fenêtres.

En ce qui concerne toujours l'influence de la surface du vitrage par rapport à celle de la façade, le tableau N° 4.2.2 b montre la proposition inverse, soit quel doit être l'indice d'isolement pour maintenir un résultat souhaitable lorsque la surface de la fenêtre augmente ? Ainsi, pour maintenir un isolement brut de 40 dBA, correspondant à un niveau de bruit au milieu de la pièce réceptrice de 35 dBA, l'indice STC du vitrage doit varier de 27 à 37, lorsque la surface de la fenêtre varie de 1 à 10 m².

Tableau N° 4.2.2 b : Indice d'isolement requis lorsque la surface de la fenêtre augmente

<i>Surface de la fenêtre en m²</i>	<i>Indice d'isolement STC requis pour la fenêtre*</i>
2,0	30,2
2,5	31,1
3,0	31,9
3,5	32,6
4,0	33,2
4,5	33,7
5,0	34,1
5,5	34,5
6,0	34,9
6,5	35,3
7,0	35,6
7,5	35,9
8,0	36,2

(*) Niveau de pointe en façade :
75 dBA
niveau intérieur constant : 35 dBA

4.2.3 Influence du pourcentage d'ouverture

Ce point concerne l'ouverture possible des fenêtres en période estivale et la pénétration du bruit qui en résulte. Suivant le mécanisme et le mode d'ouverture, on peut définir le pourcentage d'ouverture comme étant la surface libre de pénétration du bruit, considéré dans un plan parallèle à la façade, par rapport à la surface totale de la fenêtre. Par exemple, lorsque le pourcentage d'ouverture de la fenêtre varie de 0 à 50 %, dans les mêmes conditions que précédemment, le graphique N° 4.2.3 montre que le niveau de bruit résultant au milieu de la pièce passe de 37 à 62 dBA (pour rappel des paramètres utilisés, façade de 12 m² exposée à un niveau de pointe de 75 dBA, fenêtre de 2m², isolement STC-28, pièce d'habitation de 60m³ et temps de réverbération de 0,5 s).



Dans la littérature, on mentionne souvent un isolement résiduel d'environ 15 dBA pour l'ouverture d'une fenêtre résidentielle (valeur mentionnée dans les lignes directrices de l'OMS et dans les règlements des villes de Montréal et de Québec). Comme on peut le constater, cette perte correspond ici à une ouverture directe de 33 % de la surface totale.

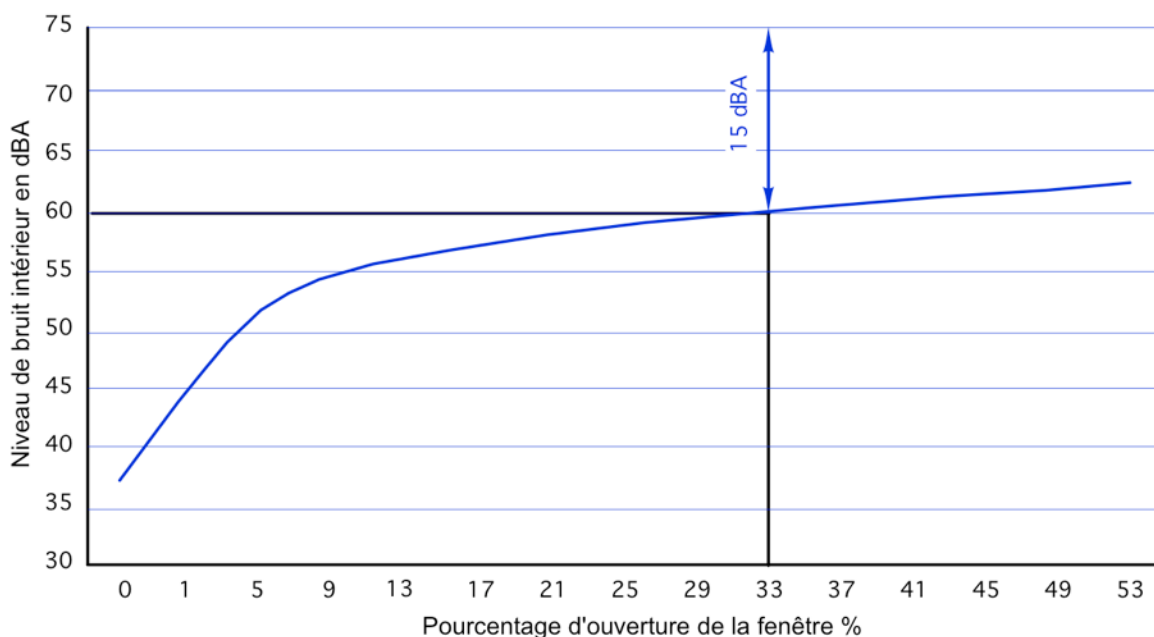


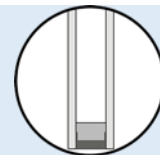
Figure N° 4.2.3 : Augmentation du niveau intérieur de bruit en fonction du pourcentage d'ouverture de la fenêtre avec un niveau de pointe en façade de 75 dBA

Le niveau de bruit résultant à l'intérieur se dégrade rapidement en fonction du pourcentage d'ouverture de la fenêtre. Une isolation résiduelle de 15 dBA est généralement admise pour une fenêtre entrouverte.

On notera que tous les résultats précédents peuvent être facilement modélisés en considérant séparément les flux acoustiques traversant les vitrages, les murs de façade et les différentes ouvertures (*voir en annexe le point 5.2.5 Isolement total d'une paroi composite*).

Tel que recommandé par la SCHL, au-delà de 55 dBA en façade, pour maintenir une isolation acoustique convenable dans un édifice résidentiel exposé au bruit, les fenêtres concernées ne peuvent être ouvertes. Il en est de même de bien des édifices dans les quartiers centraux des grandes villes, comme les édifices à bureaux, les hôtels, les hôpitaux, et en général pour tous les édifices de grande hauteur (pour lesquels s'ajoutent des questions de sécurité). Comme on le verra par la suite, il est cependant possible d'assurer une ventilation adéquate dans un bâtiment résidentiel dont les fenêtres sont scellées. Une ventilation locale en façade peut être ajoutée, en complément d'un échangeur d'air ou d'un système central de ventilation du bâtiment.

4.3 Les différents types de vitrages et leurs dispositions



4.3.1 Influence de la masse totale et de l'espacement des verres

Dans un vitrage scellé, la distance entre les verres n'est pas suffisante pour éviter le fonctionnement en piston de la lame d'air. L'isolement est donc surtout dépendant de la masse surfacique totale du verre (environ 15 kg/m² pour 2 x 3 mm et 30 kg/m² pour 2 x 6 mm). En plus de cette influence déterminante de la masse, les pertes supplémentaires d'isolation sont tributaires de deux comportements vibratoires, soit le phénomène de coïncidence et la résonance masse-air-masse. La fréquence dite « critique » correspond au début du phénomène de coïncidence entre l'onde incidente et la vibration du panneau de verre (au-dessus de 4 kHz pour un verre de 3 mm). Dans tous les vitrages simples ou doubles, l'effet de la fréquence critique peut provoquer une perte importante d'isolement. Néanmoins, cette perte peut être atténuée avec une feuille de plastique dans l'espace d'air ou mieux un verre lamellé (film plastique et verre). Elle peut également être répartie avec deux verres d'épaisseurs différentes (par exemple entre 1500 et 2000 Hz pour des verres de 8 et 6 mm), plutôt que sur une seule même fréquence pour des verres similaires. Quant à la fréquence de résonance masse-air-masse (aux environs de 400 Hz pour un vitrage scellé ordinaire avec des verres espacés de 12 mm), elle correspond à la fin du fonctionnement en piston de la lame d'air (donc en dessous de cette fréquence, le vitrage se comporte comme un verre unique de masse totale équivalente). À ce sujet, on notera que l'augmentation de l'espacement des verres peut réduire la fréquence de résonance masse-air-masse. Une bonne conception acoustique consistera donc, en définitive, à reporter le plus possible ces deux faiblesses en dehors de la partie centrale du domaine audible (*voir en annexe le point 5.2.4 pour le calcul de la fréquence critique et de la fréquence de résonance masse-air-masse*).

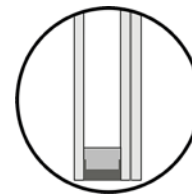
Lorsque la distance entre les verres croît, notamment au-dessus de 40 mm, la lame d'air commence à influencer plus significativement l'indice d'isolement acoustique résultant. Cependant, les cadrages des fenêtres modernes ne sont généralement pas prévus pour des verres scellés très épais. En pratique, un intercalaire de 6 à 16 mm est plus commun. On peut voir à ce sujet les résultats du tableau N° 4.3.1 qui présente partiellement les travaux du CNRC sur l'isolation acoustique des doubles vitrages en fonction de la distance entre les verres (*voir tableau complet en annexe 5.5*)²⁸. En complément d'un double vitrage, il peut être intéressant de disposer un panneau de verre supplémentaire (de 4 ou 6 mm d'épaisseur suivant la dimension de la fenêtre) dans une rainure intérieure au cadre (soit une distance pour ce troisième verre d'environ 50 mm). Cette disposition convient notamment pour les fenêtres coulissantes ou pour les portes de patio, elle permet un accroissement intéressant des isolations acoustique et thermique. De plus, comme on le verra par la suite, elle permet une certaine ventilation estivale, sans sacrifier complètement l'isolation acoustique (ouverture en chicane). Il faut ajouter finalement que la distance entre les verres est très importante pour l'isolation thermique (indice R de 1,72 pour deux verres de 3 mm distants de 6,4 mm et de 2,04 pour une distance de 12,7 mm, indice qui peut grimper jusqu'à 3,0 avec une pellicule réfléchissante).

Tableau N° 4.3.1 : Influence de la distance entre les verres doubles sur l'indice d'isolement STC
(J. D. Quirt, CNRC, 1981)²⁹

<i>Distance entre les verres en mm</i>	<i>STC pour 2 verres de 3 mm</i>	<i>STC pour 2 verres de 4 mm</i>	<i>STC pour 2 verres de 6 mm</i>
13	32	33	36
19	33	34	37
25	35	39	39
35	37	39	41
41	38	40	41
63	40	42	43

4.3.2 Les verres doubles résidentiels et commerciaux

Tel que mentionné précédemment, une fenêtre scellée ordinaire constituée de deux verres de 3 mm présente un indice d'isolement d'environ STC-28, alors que des verres plus épais et un vitrage triple peuvent augmenter l'indice d'isolement entre STC-32 et STC-36. On notera, au sujet des verres triples, que leur isolation acoustique dépend surtout de la masse surfacique totale du verre (indice STC de 28 pour un verre double de 3 mm et de 30 à 31 pour un verre triple également de 3 mm), mais que la réduction des lames d'air peut annuler l'effet lié à l'ajout de masse. Pour dépasser un indice d'isolement de STC-35, un vitrage scellé doit comporter au moins un verre de 4 mm et un de 6 mm et pour atteindre une isolation de STC-45, un verre de 8 mm et un de 10 mm sont minimalement requis.



En dehors des considérations acoustiques, les verres doubles scellés peuvent comporter différentes dispositions essentiellement prévues pour en augmenter l'isolation thermique et permettre une bonne résistance aux contraintes climatiques. Ces dispositions sont les suivantes : usage d'un double espace d'air (verres triples), pellicule ou film réfléchissant collé à l'intérieur d'un des verres, doubles films au milieu de l'espace entre les verres, remplissage en argon ou en krypton, entourage scellé rempli de gel de silice (pour contrôler l'humidité), etc. Tous ces points n'auront toutefois que peu d'influence sur l'isolation acoustique globale.

Pour les grands vitrages ou pour des utilisations commerciales, il conviendra d'utiliser des verres plus épais. Par exemple, les vitrages doubles de 3 mm sont généralement limités à une surface de 2 m², alors qu'avec des verres de 6 mm et un espace de 12,7 mm il est possible d'atteindre 6,5 m². On notera que les vitrages scellés de 2 x 6 mm sont souvent utilisés pour les usages commerciaux et notamment dans les murs rideaux. Pour résumer les différents modèles de verres doubles scellés, la figure N° 4.3.2 en présente les principales dispositions.

Voir en annexe 5.5 les isollements acoustiques correspondant aux différents vitrages scellés, doubles ou triples.

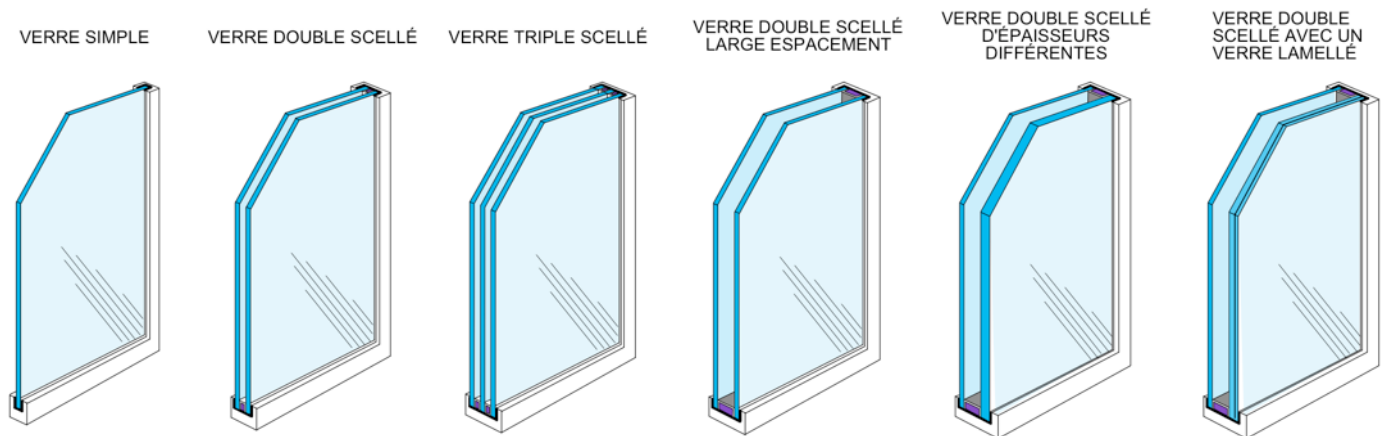


Figure N° 4.3.2 : Exemples de différents vitrages scellés

4.3.3 Les vitrages spéciaux avec ou sans traitement acoustique

Pour des usages de sécurité, il est recommandé d'utiliser des verres trempés ou des verres laminés avec un film plastique intermédiaire. Comme déjà mentionné, le laminage peut atténuer la perte d'isolement pour la fréquence critique (début de la coïncidence entre l'onde incidente et la vibration du panneau de verre). Suivant les besoins et la résistance escomptée, le laminage peut comporter deux ou trois épaisseurs de verres, voire plus. Par exemple, un panneau de verre en quatre couches laminées avec 30 mm d'épaisseur totale, correspondant à une masse surfacique d'environ 70 kg/m^2 , peut procurer un indice d'isolement de STC-43. On notera cependant que la résilience et l'efficacité acoustique des membranes de laminage sont généralement réduites avec la baisse des températures. On peut donc s'attendre à ce que le bénéfice d'un verre laminé devienne négligeable durant les périodes hivernales au Québec.

Lorsque des verres scellés sont prévus avec un large espace d'air, quelle que soit la combinaison de verres de part et d'autre de l'assemblage, il peut être intéressant d'ajouter un matériau acoustique absorbant à l'intérieur de l'enveloppe périphérique scellée. La présence de ce matériel absorbant peut diminuer les pertes dues aux coïncidences et aux résonances. La figure N° 4.3.3, montre à ce sujet, deux exemples de verres spéciaux à forte isolation qui comportent un traitement périphérique. Ce type de vitrage sera utilisé, par exemple, pour des fenêtres fixes au premier étage d'édifices commerciaux ou institutionnels exposés directement à une circulation automobile intense. Comme le montre encore la figure N° 4.3.3, lorsque le volume d'air contenu entre les verres devient important, le contrôle de l'humidité peut être réalisé à l'aide d'un réservoir rempli de gel de silice et accessible à l'intérieur du mur entourant la fenêtre. Ce dispositif peut être également remplacé par un tuyau d'aspiration dont le bouchon se trouvera à l'intérieur du bâtiment.

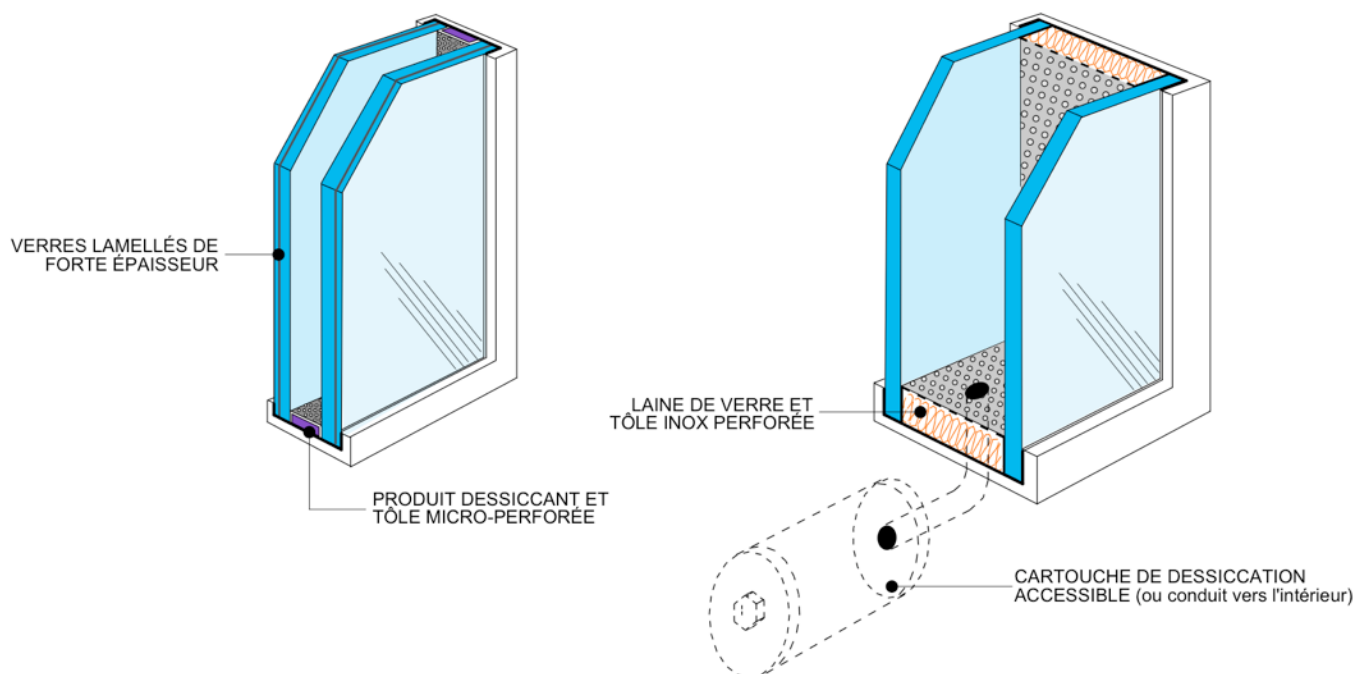


Figure N° 4.3.3 : Exemple de vitrages spéciaux à forte isolation acoustique

4.4 Les différents types de fenêtres et leur mode d'ouverture



Les principales catégories de fenêtre résidentielles sont les fenêtres coulissantes horizontales, les fenêtres à guillotine (coulissantes verticales), les fenêtres à battants et les fenêtres à auvent (ces deux catégories avec généralement ouverture vers l'extérieur) et bien entendu les fenêtres fixes (voir figure N° 4.4). Les cadrages des fenêtres sont en bois, en PVC, avec ou sans recouvrement d'aluminium, en aluminium, voire en fibres de verre ou hybrides. Les portes-patio constituent un autre élément important dans la fenestration résidentielle. La plupart de ces ouvertures sont coulissantes, beaucoup plus rarement à battants (portes françaises, avec ouverture vers l'intérieur). On notera qu'il existe de nombreux autres modes d'ouverture des fenêtres, mais il s'agit généralement des dérivés des précédents et leur usage est beaucoup moins répandu dans la construction résidentielle.

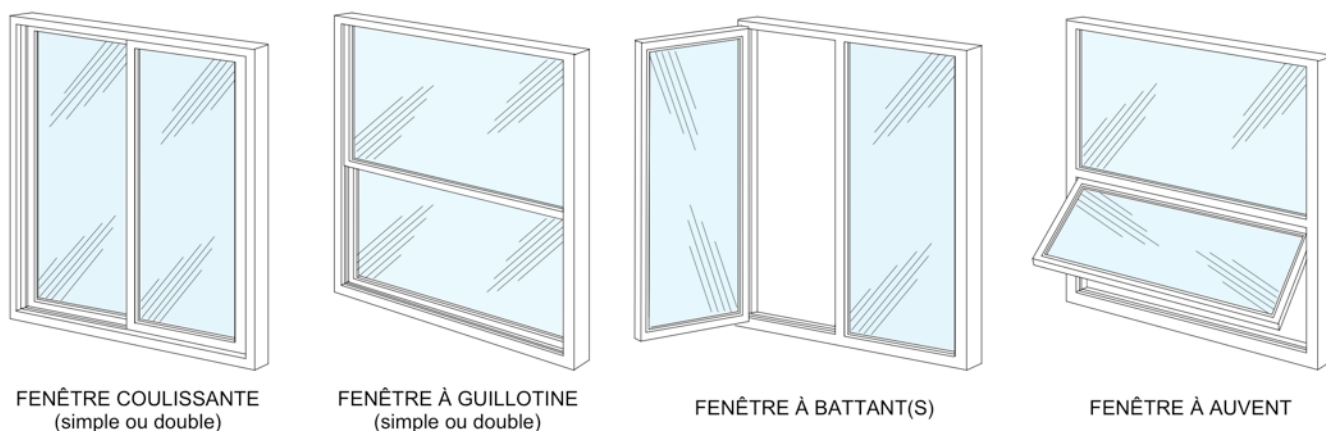


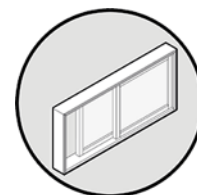
Figure N° 4.4 : Les principaux modèles de fenêtres et leurs modes d'ouverture

Quel que soit le mode d'ouverture ou le type de fenêtre, l'isolation acoustique des fenêtres résidentielles fermées dépend essentiellement du choix des vitrages et surtout de leur masse surfacique totale (donc de leur épaisseur). Tel que mentionné précédemment, il faut également tenir compte de la surface totale des vitrages dans une même pièce d'habitation.

Le niveau d'isolement des fenêtres dépend essentiellement des vitrages choisis et de leur épaisseur (et dans une moindre mesure de leur surface totale). Voir en annexe 5.6 les isolements acoustiques correspondant aux différents modèles de fenêtres.

4.4.1 Les fenêtres coulissantes horizontales

Une fenêtre coulissante est dite « simple » lorsqu'un seul des deux panneaux (ou volets) peut se déplacer horizontalement et elle est dite « double » lorsque les deux panneaux peuvent coulisser simultanément. Comme tous les autres types de fenêtres, le choix des verres sera en grande partie responsable de l'isolation acoustique résultante. Les joints peuvent cependant jouer un certain rôle, en particulier lorsque les panneaux (ou volets) sont amovibles pour permettre le nettoyage des vitrages, ce qui implique une plus grande liberté des joints horizontaux. De plus, on notera que le mécanisme de fermeture des fenêtres coulissantes n'offre pas beaucoup de compression sur les joints verticaux, ce qui peut contribuer à réduire l'isolation acoustique. Les fenêtres coulissantes fournissent une bonne ouverture de ventilation (près de 50 % de la surface totale). Il est également possible de doubler le vitrage à l'aide d'un verre simple dans la partie intérieure du cadre d'une fenêtre coulissante. Comme le montre la figure N° 4.4.1, cette disposition permet le cheminement de l'air de ventilation en chicane, et offre ainsi un certain contrôle sur la pénétration du bruit, même lorsque la fenêtre coulissante est partiellement ouverte.



Certaines fenêtres coulissantes peuvent comporter une troisième feuille de verre du côté intérieur du cadrage, ce qui peut augmenter leur isolation acoustique tout en permettant une ventilation en chicane.

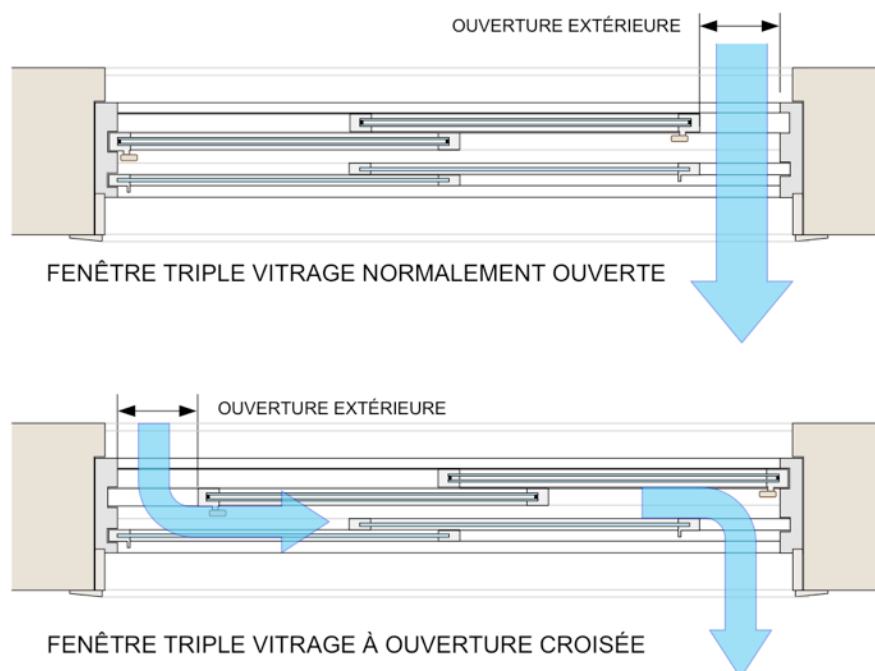


Figure N° 4.4.1 : Modes d'aération direct et indirect avec une fenêtre coulissante à triple vitrage

4.4.2 Les fenêtres coulissantes verticales (à guillotine)

Une fenêtre à guillotine est dite « simple » lorsqu'un seul des deux panneaux (ou volets) peut se déplacer verticalement et elle est dite « double » lorsque les deux panneaux peuvent se mouvoir séparément. Comme tous les autres types de fenêtres, le choix des verres sera en grande partie responsable de l'isolation acoustique résultante. Les joints peuvent cependant jouer un certain rôle, en particulier lorsque les panneaux (ou volets) peuvent basculer selon un axe horizontal pour permettre le nettoyage des vitrages (ce qui implique des joints supplémentaires). Également, on notera que le mécanisme de fermeture des fenêtres à guillotine n'offre pas beaucoup de compression sur les joints horizontaux, ce qui peut contribuer à réduire l'isolation acoustique. Comme les fenêtres coulissantes, les fenêtres à guillotine procurent une bonne ouverture de ventilation (près de 50 % de la surface totale), avec cependant la possibilité d'un cheminement de l'air amélioré lorsque la fenêtre à guillotine est double, puisque l'ouverture peut se faire simultanément en haut et en bas de la fenêtre. En revanche, il n'est pas aussi pratique d'ajouter un verre supplémentaire à une fenêtre à guillotine (comme on peut le faire avec une fenêtre coulissante horizontale).

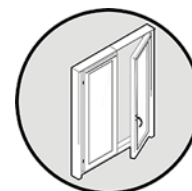


4.4.3 Les fenêtres à battant(s)

L'ouverture d'une fenêtre « à battant » peut se faire à gauche ou à droite ou des deux côtés simultanément, suivant le nombre de panneaux fixes ou mobiles de la fenêtre (voir la partie inférieure de la figure N° 4.4.3).

L'ouverture vers l'intérieur (dite « à la française ») est très peu utilisée au Québec, la plupart des modèles ouvrent donc vers l'extérieur, ce qui garantit une très bonne sécurité (puisque le mécanisme est à l'intérieur).

L'ouverture du panneau mobile peut se faire à 90°, offrant ainsi une ventilation possible de près de 100 % (pour un modèle double). On notera que lorsqu'on choisit le sens d'ouverture à gauche ou à droite du panneau mobile, il faut considérer les réflexions possibles vers l'intérieur du logement, en particulier pour le bruit des rues voisines perpendiculaires à la façade (voir à ce sujet la partie supérieure de la figure N° 4.4.3). Comme tous les autres types de fenêtres, le choix des verres sera en grande partie responsable de l'isolation acoustique résultante. Il faut cependant noter que la qualité du mécanisme de fermeture doit assurer une compression importante en plusieurs points sur les joints périphériques, ce qui peut garantir le maintien d'un indice d'isolement élevé. Cependant, tout comme les fenêtres à guillotine, il sera difficile de doubler le vitrage d'une fenêtre à battants (accès pour l'entretien requis, et partie intérieure du cadrage généralement utilisée pour une moustiquaire).



Lorsqu'on choisit le sens d'ouverture à gauche ou à droite du panneau mobile d'une fenêtre à battant, il faut considérer les réflexions acoustiques possibles vers l'intérieur du logement.

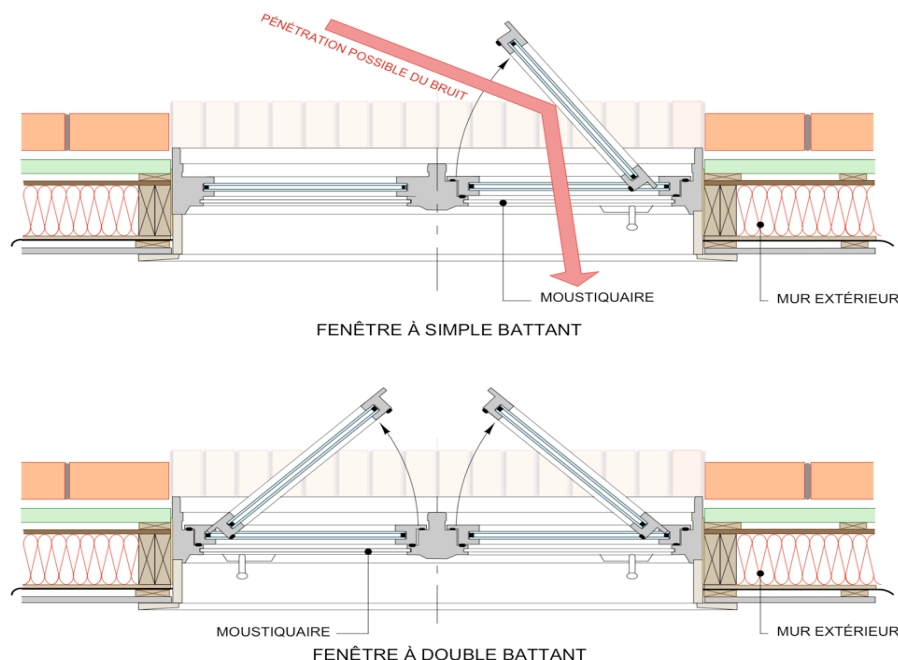


Figure N° 4.4.3 : Exemple de fenêtre à battant simple ou double et réflexion possible du bruit de la circulation

4.4.4 Les fenêtres à auvent et autres modèles

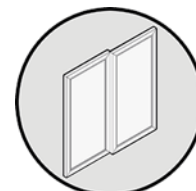
L'ouverture d'une fenêtre « à auvent » se fait généralement vers l'extérieur, ce qui permet une bonne protection contre la pluie, même lorsque la fenêtre est ouverte. On notera que l'ouverture vers l'intérieur existe également (elle est dite « à soufflet »), il existe même le modèle mixte dit « oscillo-battante » qui ouvre également vers l'intérieur (ouverture horizontale et verticale). Suivant les modèles, l'ouverture du panneau mobile peut se faire selon différents angles offrant ainsi une ventilation possible jusqu'à près de 100 %. Comme tous les autres types de fenêtres, le choix des verres sera en grande partie responsable de l'isolation acoustique résultante. Quel que soit le type d'ouverture, il faut vérifier que la qualité du mécanisme de fermeture puisse assurer une compression importante en plusieurs points sur les joints périphériques, ce qui aidera au maintien d'un indice d'isolement élevé. Là encore, il ne sera pas aisé de doubler le vitrage d'une fenêtre à auvent (accès pour l'entretien requis, et partie intérieure du cadrage généralement utilisée pour une moustiquaire).



Les fenêtres à battant, à auvent ou à soufflet doivent comporter un système de fermeture mécanique multipoints susceptible d'exercer une compression suffisante sur les joints périphériques des panneaux mobiles.

4.4.5 Les portes-patio

Les portes-fenêtres sont très utilisées dans l'habitation unifamiliale ou dans les édifices résidentiels avec balcon. Une porte-patio ressemble techniquement à une fenêtre coulissante dite « double », puisque généralement les deux panneaux mobiles peuvent être glissés simultanément. Néanmoins, ces panneaux mobiles sont montés sur roulettes, du fait de leur grandeur et de leur pesanteur. Pour les portes-patio, comme tous les autres types de fenêtres, le choix des verres sera en grande partie responsable de l'isolation acoustique résultante. Les vitrages thermos scellés sont disponibles en verres doubles ou triples. Cependant, du fait de la grande dimension des vitrages et des besoins de sécurité, les verres seront trempés et plus épais (2 x 4 mm ou 3 x 3 mm). Tout comme pour les fenêtres coulissantes, il est également possible de doubler le vitrage à l'aide d'un verre simple trempé dans la partie intérieure du cadrage d'une porte-patio. L'indice d'isolement peut passer ainsi à environ STC-38. Cette disposition permet le cheminement de l'air de ventilation en chicane, et offre ainsi un certain contrôle sur la pénétration du bruit, même lorsque la porte-fenêtre est entrouverte ([voir à ce sujet la figure précédente N° 4.4.1](#), pour l'aération en chicane, et [voir la figure N° 4.4.5](#) qui montre une porte de patio avec un troisième verre intérieur).



Certaines portes-fenêtres peuvent comporter une troisième feuille de verre du côté intérieur du cadrage, ce qui peut augmenter leur isolation acoustique tout en permettant une ventilation en chicane.

On notera que dans certaines maisons unifamiliales on peut retrouver des portes battantes complètement vitrées. Ces portes ouvrent vers l'intérieur et sont dites « à la française ». Elles sont un peu similaires à des portes d'entrée doubles avec un astragale et des joints comprimés (il sera possible d'en voir une application dans le cas d'un oriel pour un balcon peu profond, voir figure N° 4.9.1).

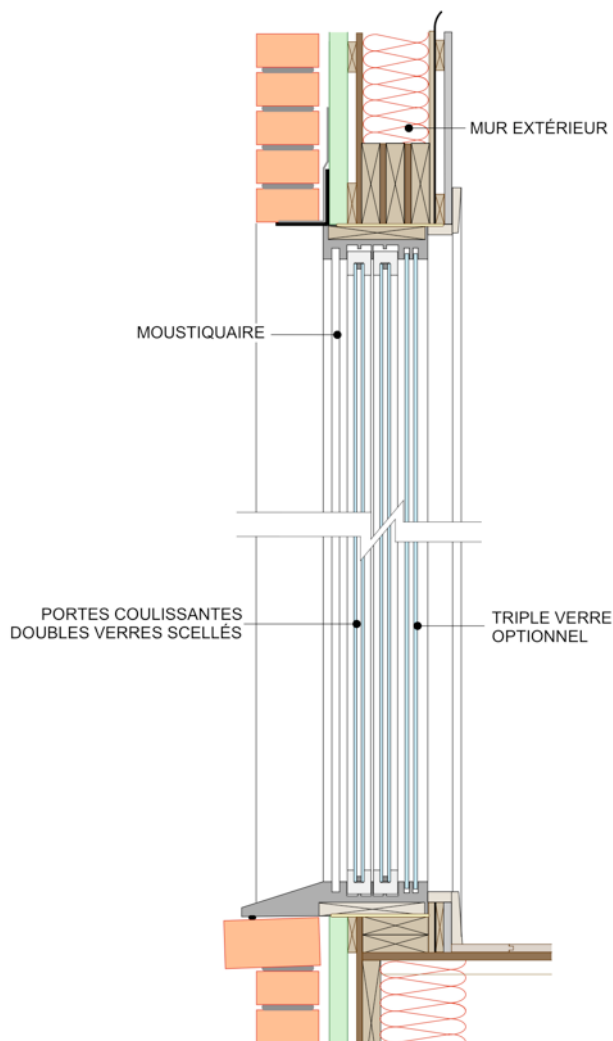
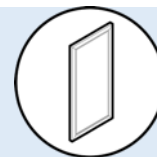


Figure N° 4.4.5 : Exemple de porte-patio avec un troisième verre intérieur

4.5 Les vitrages fixes, possibilité d'une ventilation passive ou mécanique



Les vitrages fixes avec un bon indice d'isolement sont les plus appropriés pour les fenêtres les plus exposées au bruit, soit au-dessus d'un niveau en façade de 55 dBA (suivant l'indice LAeq 24h, selon la SCHL). Leur indice d'isolement doit donc être supérieur à STC-35. Les vitrages fixes peuvent facilement s'imposer dans les corridors et les cages d'escaliers, surtout si l'on considère que ces lieux sont le plus souvent ventilés dans les grands bâtiments d'habitation. Les questions de sécurité suggèrent déjà des solutions fixes à l'intérieur des bâtiments de grandes hauteurs, dans les édifices à bureaux, les hôtels ou les hôpitaux. Dans les pièces d'habitation, il est parfois difficile de condamner l'ouverture de toutes les fenêtres situées sur les façades les plus bruyantes.

Suivant l'usage des locaux, les vitrages fixes peuvent s'imposer pour les façades les plus exposées au bruit.

4.5.1 Ventilation passive ou mécanique pour des espaces résidentiels avec fenêtres fixes

Lorsque la fenestration d'un bâtiment résidentiel est fixe et scellée, il est nécessaire de ventiler convenablement les locaux concernés. On peut utiliser un simple échangeur d'air ou un système central de chauffage, ventilation, climatisation du bâtiment (système CVCA ou de chauffage, de ventilation et conditionnement d'air). En plus d'un système central, il sera toujours possible d'ajouter un système de ventilation local. Il peut s'agir d'un système passif, avec des conduits simples isolés thermiquement et surtout insonorisés. Cette ventilation locale en façade peut être également motorisée avec une unité de ventilation silencieuse à débit variable et contrôlé. On doit la considérer comme hybride, c'est-à-dire qu'elle vient en complément d'un échangeur d'air ou d'un système central plus complexe. Suivant les besoins des occupants, elle permet ainsi un apport d'air frais local, sans permettre la pénétration du bruit. La figure N° 4.5.1 montre des exemples de tels dispositifs, lesquels ne constituent seulement que des schémas de principe. Les différents paramètres mécaniques d'un système de ventilation locale hybride, tels que le débit d'air et le contrôle de la température, devraient être optimisés avec les autres composantes du système de ventilation central, même s'il s'agit d'un échangeur d'air. Le tout pourrait être éventuellement automatisé, comme le débit, les volets d'entrée ou de sortie d'air, le contrôle de la température et de l'humidité, etc.).

Lorsque des fenêtres fixes sont requises pour éviter la pénétration du bruit, il est nécessaire d'ajouter un système de ventilation dans les locaux concernés. Cette ventilation peut être assurée par un système CVCA central ou un échangeur d'air, on peut ajouter également une ventilation locale hybride.

On peut mentionner que même lorsque les édifices sont conçus initialement pour des systèmes CVCA centraux et qu'en principe, les fenêtres doivent être scellées, la tendance actuelle vise à installer des systèmes hybrides qui permettent aux usagers d'ouvrir à leur convenance une partie de la fenestration (voir la partie de droite de la figure N° 4.5.1).

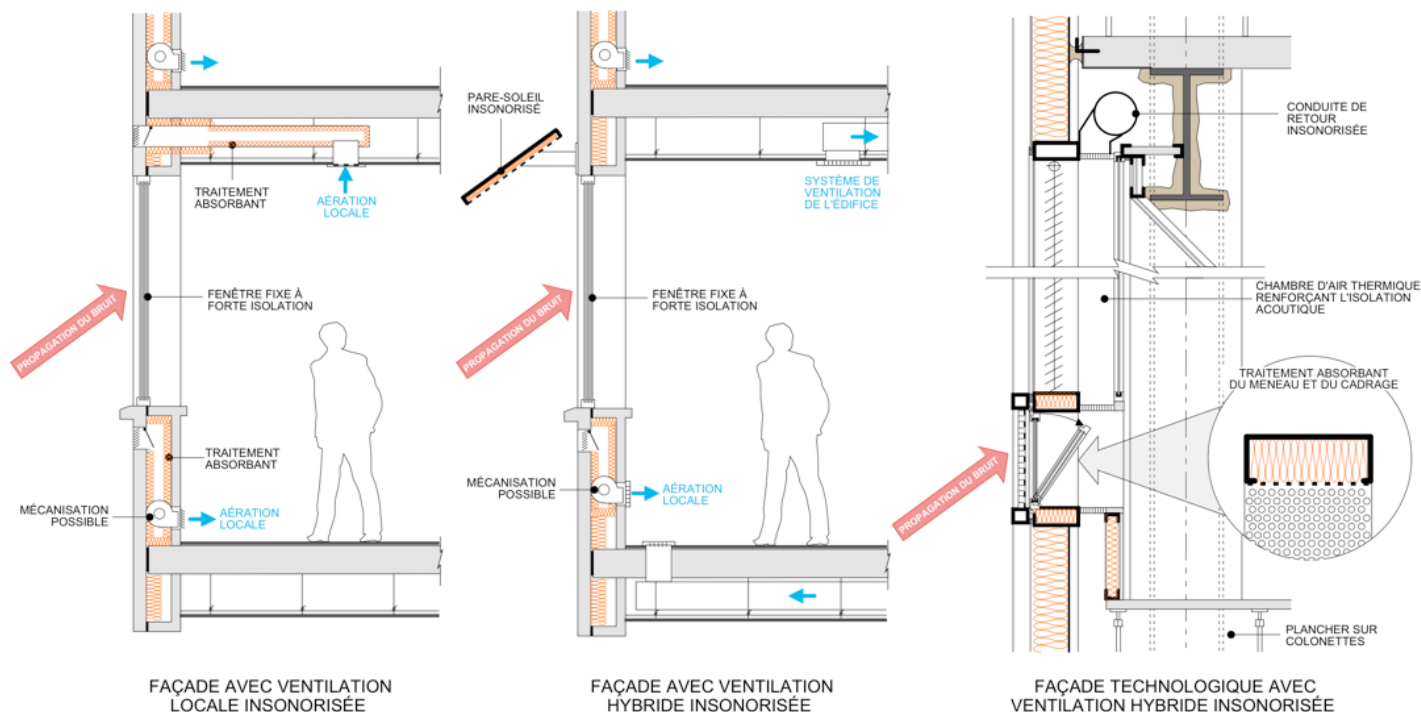


Figure N° 4.5.1 : Exemples de ventilations mécaniques insonorisées locales, hybride avec système CVCA central et hybride technologique

4.5.2 L'usage particulier des pavés de verre

Les pavés de verre sont généralement considérés comme des éléments de maçonnerie, ils sont peu utilisés dans l'architecture contemporaine. Dans le contexte québécois, leur mauvaise résistance thermique en limite significativement l'usage, surtout si aucun autre dispositif d'isolation n'est inclus. Les exigences en efficacité énergétique permettent l'installation d'au plus 1,85 m² de blocs de verre dans une même construction pour la plupart de nos régions. Cette restriction ne s'applique cependant pas si ce genre de matériaux est retenu pour des constructions destinées à des espaces non chauffés, tels des balcons ou des prolongements de façades (voire des dispositifs extérieurs de mitigation du bruit). Néanmoins, ils peuvent parfois convenir dans les escaliers, dans les corridors ou un quelconque espace de circulation, pour laisser passer la lumière tout en contrôlant le bruit. En combinaison avec des panneaux isolants translucides (les systèmes cellulaires en acrylique ou en polycarbonate étant trop légers d'un point de vue acoustique s'ils sont utilisés seuls), les blocs de verre peuvent éventuellement couvrir de plus grandes surfaces avec l'ajout de joints d'expansion à tous les 6 ou 7 m si requis. Sur le plan acoustique, un pavé de verre creux de 100 mm d'épaisseur et de masse surfacique de 112 kg/m² peut procurer un indice d'isolement d'au moins STC-40, ce qui est supérieur à la plupart des fenêtres. Comme le montre la figure N° 4.5.2, dans le cas d'une façade très fortement exposée au bruit, il serait également possible de doubler une maçonnerie de pavés de verre.

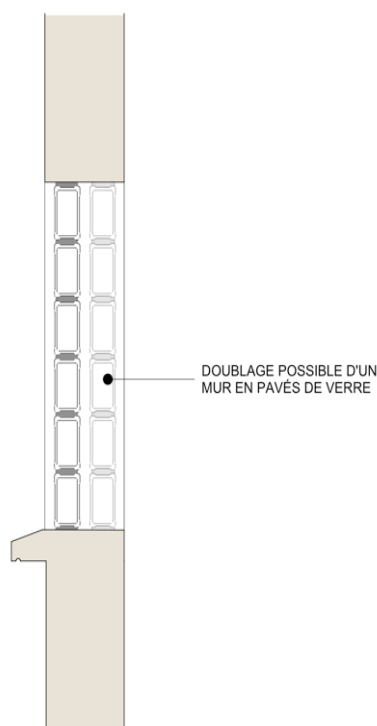
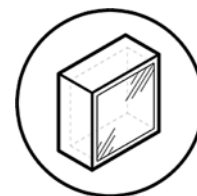
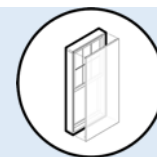


Figure N° 4.5.2 : Exemple d'utilisation des pavés de verre et doublage possible

4.6 La correction acoustique des fenêtres



La plupart des dispositions suivantes sont des dispositions correctives. Il est cependant possible de s'en inspirer pour des constructions neuves. Plusieurs de ces dispositions peuvent comporter des travaux assez coûteux, elles sont notamment requises lorsque le bruit urbain vient à croître de façon insupportable devant un édifice résidentiel existant.

En règle générale, il sera préférable pour une construction résidentielle neuve exposée au bruit de choisir des fenêtres avec des qualités acoustiques satisfaisantes, soit avec une masse surfacique totale des vitrages d'au moins 25 kg/m².

4.6.1 Doubles fenêtres anciennes des édifices patrimoniaux

Les édifices résidentiels anciens comportaient couramment un double vitrage, c'est-à-dire que les fenêtres permanentes d'été, partiellement ou totalement ouvrantes, étaient doublées à l'extérieur par des fenêtres d'hiver. Ces dernières, souvent munies du même carrelage que les fenêtres intérieures, pouvaient avoir un vitrage fixe ou partiellement ouvrant. Elles devaient être installées à l'automne, puis être remplacées par des moustiquaires au printemps.

Dans les édifices de type patrimoniaux, comme les églises, les couvents ou les séminaires, les doubles fenêtres étaient installées de façon permanente (voir figure N° 4.6.1). Ce qui procure encore une bonne isolation acoustique, mais surtout thermique. Lorsque la rénovation de ce type de fenêtre est requise, il est possible de remplacer le vitrage des fenêtres extérieures par des verres scellés, avec un espacement entre les verres restreint (6 à 9 mm), lorsque requis pour respecter les menuiseries d'époque. Il convient également de réviser toutes les gorges et tous les joints des parties ouvrantes.



Figure N° 4.6.1 : Exemple de fenêtre patrimoniale avec double cadrage et carreau ouvrant [Migneron et collab., GRAP]

4.6.2 Ajout d'un vitrage supplémentaire sur des fenêtres existantes

Surtout réservée aux verres de simple épaisseur, cette technique a été couramment utilisée en Europe, pour améliorer simplement des fenêtres existantes dont les cadrages étaient de bonne qualité et en bon état. Les verres supplémentaires doivent être simplement vissés à l'aide d'une moulure périphérique à l'intérieur des cadrages existants ([voir la partie gauche de la figure N° 4.6.2](#)). Le gain acoustique dépend en grande partie de la masse surfacique du nouveau verre. Plus récemment, les entrepreneurs spécialisés en rénovation proposent plutôt une moulure permettant d'installer à la place d'un verre simple un verre double scellé d'une épaisseur totale jusqu'à 25 mm.

Lorsqu'il existe déjà une fenêtre fixe avec un verre thermos de qualité, il est possible d'améliorer son isolation acoustique à l'aide d'un verre simple, de 6 ou 8 mm par exemple, installé du côté intérieur de la fenêtre à l'aide d'un cadrage léger fixé dans l'embrasure (évidemment un gain thermique est également à prévoir). De façon pratique, il pourrait être préférable que ce panneau supplémentaire puisse s'ouvrir pour permettre l'entretien des deux parties de la fenêtre. Comme précédemment, le gain acoustique dépend en grande partie de la masse surfacique du nouveau verre. On imagine par exemple qu'un verre double scellé ordinaire de 2 x 3 mm combiné avec un nouveau verre de 6 mm pourrait passer d'un indice STC de 31 à 37 suivant la distance (38 pour un verre de 8 mm). Finalement, pour améliorer le comportement acoustique du doublage, il pourrait être recommandé d'ajouter une bande de matériel absorbant périphérique entre les deux cadrages. Ce traitement pourrait être constitué d'une bande de laine minérale à haute densité finie avec une mince tôle perforée pour une résistance à la saleté et un entretien aisé ([voir à ce sujet la partie de droite de la figure N° 4.6.2](#)). Un panneau en feutre de polyester ou en mousse plastique à cellules ouvertes est également envisageable en alternatives. Ensuite, si la distance entre la fenêtre existante et le nouveau verre est grande, il serait important de déterminer la position du point de rosée, afin d'éviter la condensation sur le verre intérieur de la fenêtre existante.

Finalement, la partie centrale de la figure N° 4.6.2 montre une autre possibilité soit celle de doubler très simplement une fenêtre fixe (ou bien une fenêtre coulissante horizontale ou verticale). Il s'agit alors d'ajouter une doublure de tempête en acrylique (« *storm window* »). Le panneau d'acrylique peut être posé à l'extérieur ou à l'intérieur de la fenêtre existante, à l'aide d'une forte bande magnétique. Cependant, si le panneau est fixé à l'intérieur, il sera surtout utile sur le plan acoustique, mais il ne protégera pas la fenêtre.

Les fenêtres fixes peuvent être facilement doublées avec un nouveau cadrage dans l'embrasure existante.

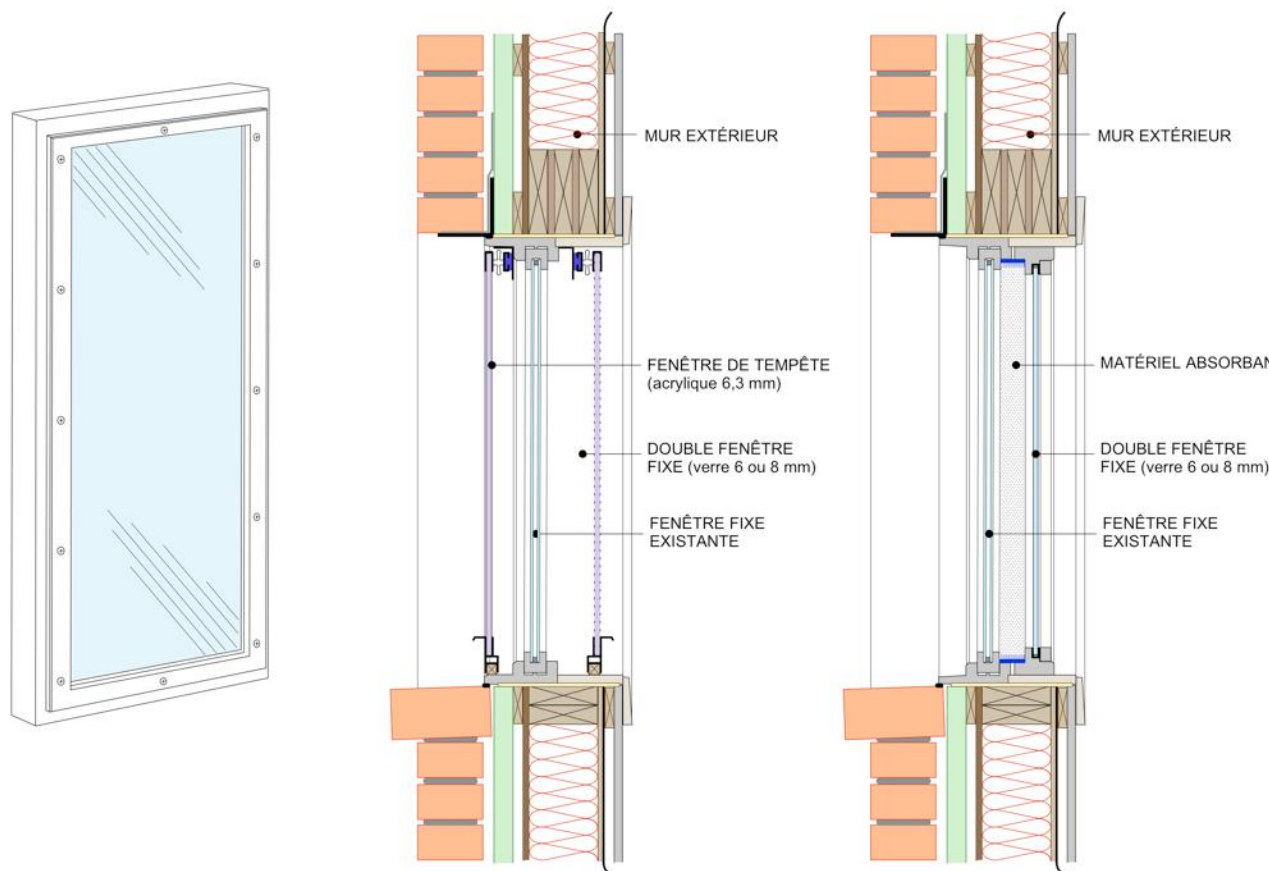


Figure N° 4.6.2 : Traitements de fenêtres
(A) ajout d'un vitrage supplémentaire directement sur le volet d'une fenêtre
(B) ajout d'une doublure de tempête en acrylique
(C) doublage intérieur d'une fenêtre existante

4.6.3 Doublage des fenêtres coulissantes horizontales ou des portes-patio

Tel que mentionné, les cadres des fenêtres coulissantes et surtout des portes-patio peuvent comporter du côté intérieur une rainure supplémentaire permettant d'ajouter un verre de 4 à 6 mm d'épaisseur en complément (trempé pour une porte-patio). Avec le verre double scellé existant de base, le nouveau verre constitue un triple vitrage. De plus, l'espacement entre ces vitrages peut être important, ce qui peut augmenter l'isolation acoustique. L'indice d'isolement peut passer ainsi à un STC d'environ 38 (voir figure N° 4.6.3). Cette disposition permet également un cheminement d'aération en chicane, et offre ainsi un certain contrôle sur la pénétration du bruit, même lorsque la porte-fenêtre est entrouverte (voir figure précédente N° 4.4.1). On peut finalement mentionner que les portes de patio ayant généralement des vitrages de grande surface, l'isolement acoustique brut résultant se trouvera légèrement diminué par rapport à une petite fenêtre.

On peut doubler une fenêtre coulissante ou une porte-patio avec une troisième feuille de verre du côté intérieur du cadre. Il est ainsi possible d'assurer une ventilation croisée en évitant la pénétration du bruit.

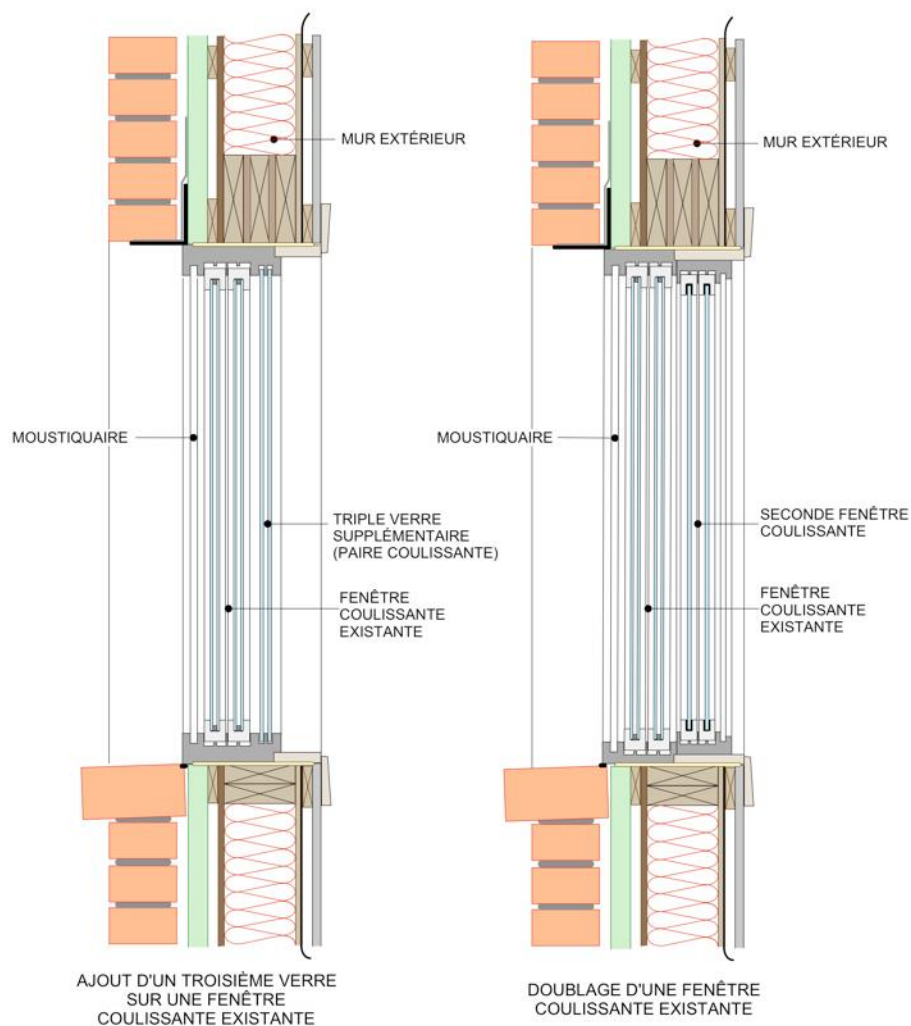


Figure N° 4.6.3 : Exemples de doublages d'une fenêtre coulissante

4.6.4 Doublage des fenêtres à auvent et des fenêtres à guillotine

Comme le montre la figure N° 4.6.4 a, les fenêtres « à auvent » (avec un panneau inférieur ouvrant vers l'extérieur) peuvent être également doublées du côté intérieur avec une fenêtre dite « à soufflet », en choisissant un modèle avec un panneau supérieur ouvrant vers l'intérieur. Cette disposition permet une circulation intéressante de l'air entre les deux fenêtres entrouvertes, tout en évitant la propagation du bruit. Si l'espace le permet, il est possible d'améliorer l'isolation acoustique en ajoutant, comme pour les fenêtres fixes, une bande de matériau absorbant périphérique entre les deux cadrages. Ce traitement pourrait être constitué d'une bande de laine minérale à haute densité finie avec une mince tôle perforée, le tout collé dans l'embrasure de la fenêtre. Pour les besoins d'entretien, il serait préférable que le panneau inférieur de la fenêtre rajoutée puisse s'ouvrir afin d'accéder aisément aux divers éléments de la fenêtre extérieure. On notera qu'une telle disposition peut également être mise en œuvre pour une construction neuve. Les deux parties intérieure et extérieure peuvent être préfabriquées, avec le cadrage intermédiaire absorbant déjà mis en place, soit une épaisseur totale d'environ 200 mm, dimension qui peut convenir dans un mur de façade assez épais. On peut cependant rappeler qu'au plan thermique, la fenêtre extérieure ne devrait pas déborder par rapport au panneau isolant ou structural extérieur.

Comme le montre également la figure N° 4.6.4 b, de la même manière, les fenêtres « à guillotine » peuvent être doublées du côté intérieur avec une fenêtre similaire comportant des panneaux inférieur et supérieur coulissants. Cette disposition permet aussi une circulation intéressante de l'air entre les deux fenêtres entrouvertes, tout en évitant la propagation du bruit. Là encore, il est possible d'améliorer l'isolation acoustique en ajoutant, comme pour les précédentes, une bande de matériel absorbant périphérique entre les deux cadrages. À noter que la fenêtre intérieure devrait avoir préférentiellement deux panneaux pivotants pour permettre l'entretien de la double fenestration. Enfin, si la distance entre la fenêtre existante, à auvent ou à guillotine, et la fenêtre additionnelle est grande, il serait important de déterminer la position du point de rosée, afin d'éviter la condensation sur le verre intérieur de la fenêtre existante. Une faible circulation de l'air de bas en haut de la fenêtre intérieure pourrait éviter la condensation.

Les fenêtres à auvent ou à guillotine peuvent être doublées avec un nouveau cadrage dans l'embrasure existante. Il est ainsi possible d'assurer une ventilation en évitant la pénétration du bruit.

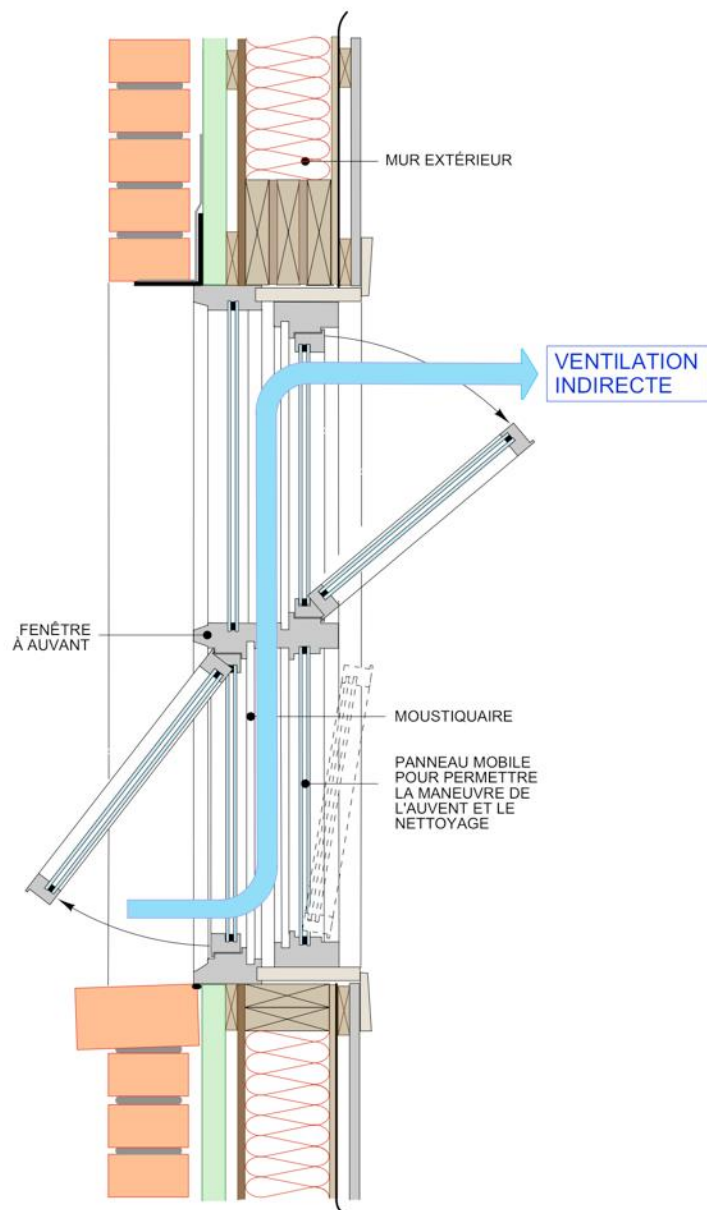


Figure N° 4.6.4 a : Exemple de doublage d'une fenêtre à auvent, avec la possibilité d'une ventilation indirecte

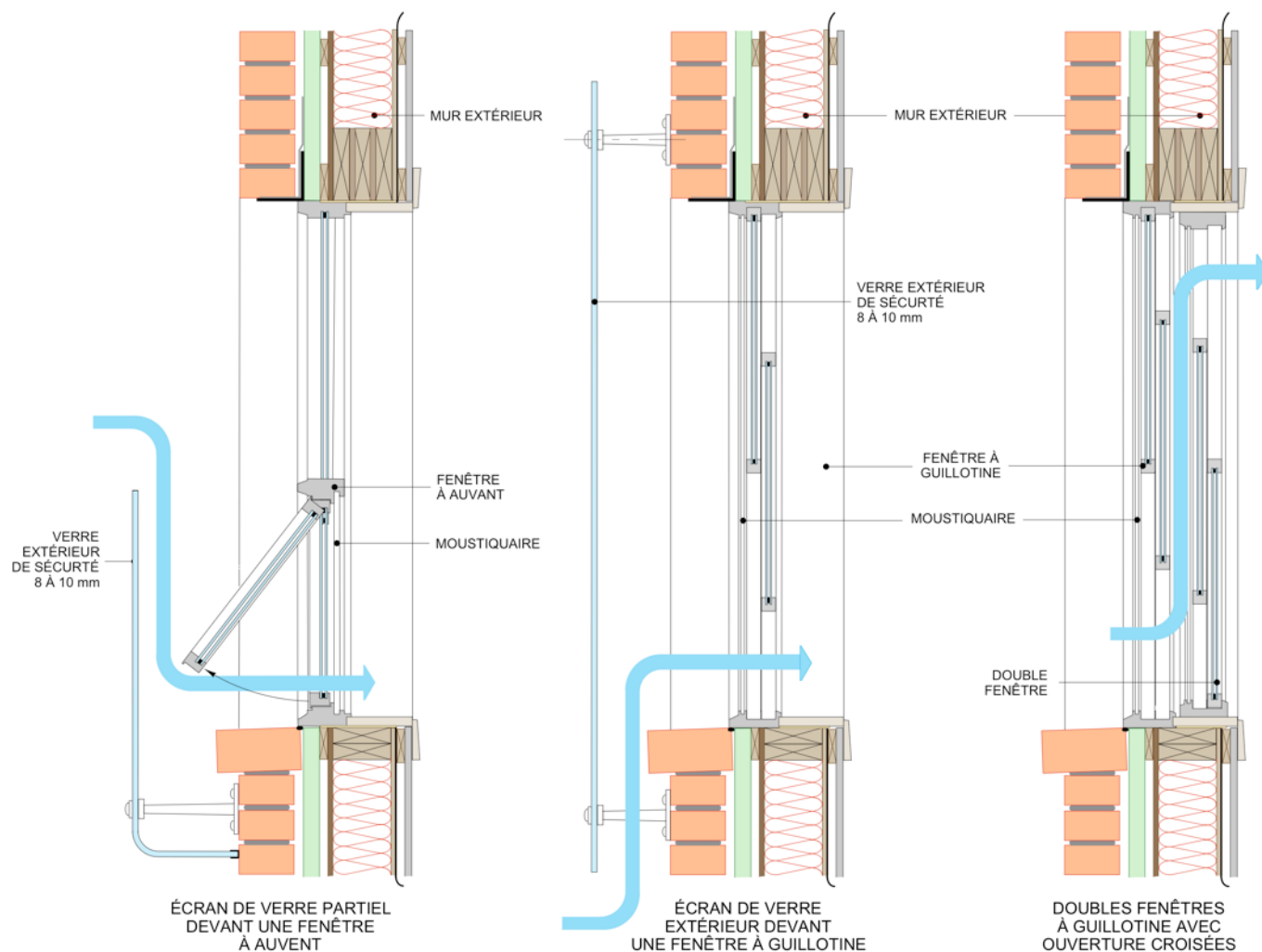


Figure N° 4.6.4 b : Exemple de doublage d'une fenêtre à auvent (A), puis à guillotine par l'ajout d'un écran de verre (B) ou par une contre-fenêtre (C), avec la possibilité d'une ventilation indirecte

4.6.5 Ajout d'un vitrage supplémentaire en façade (écran de verre)

Dans les cas d'un impact important du bruit devant une fenêtre résidentielle ouvrante, il est toujours possible d'ajouter une feuille de verre trempé épaisse devant la façade, tout en intégrant des ouvertures latérales pour assurer une ventilation adéquate. Cette solution peut être appliquée lorsqu'un immeuble résidentiel existant se trouve affecté par la construction d'une nouvelle voie de circulation ou par un accroissement important du trafic automobile existant. L'accroissement d'isolation résultant dépendra de la surface relative de l'écran correcteur par rapport à la fenêtre existante, de la masse surfacique du verre utilisé (verre trempé de 8 à 10 mm) et de l'ajout éventuel de surfaces absorbantes complémentaires.

La distance de l'écran de verre dépendra du mode d'ouverture de la fenêtre existante. Cette disposition semble plus simple à mettre en œuvre pour des fenêtres coulissantes et pour les fenêtres à guillotine, ces deux modèles n'ayant pas de panneaux vitrés mobiles vers l'extérieur. Il faut cependant tenir compte de la présence possible d'une moustiquaire à l'extérieur du cadrage existant et également d'une accessibilité pour nettoyer au moins l'intérieur de l'écran de verre (voir figure N° 4.6.4 b, partie de gauche).

La distance entre l'écran de verre et la façade doit être suffisante pour assurer la circulation de l'air, elle doit être également assez grande pour permettre une ouverture partielle d'une fenêtre à battant par exemple. Le débordement de la surface de l'écran par rapport à l'ouverture existante peut aider à restreindre la pénétration du bruit. Il est cependant possible d'ajouter du matériau absorbant, notamment à la partie supérieure et sur les côtés du dispositif. Comme le montre la partie droite de la figure N° 4.6.4 b, pour les fenêtres à guillotine, ou les fenêtres à auvent (soit avec ouverture du panneau inférieur de la fenêtre), il est possible d'installer un écran de verre partiel destiné à protéger uniquement la partie ouvrante de la fenêtre concernée.

4.6.6 Ajout d'une fenêtre en saillie (« bay window ») ou d'un mini solarium devant une fenêtre à battants

Pour les fenêtres à battants exposées au bruit, en particulier celles dont l'ouverture permet la réflexion de sources de bruit arrivant latéralement, certains spécialistes européens ont proposé de véritables silencieux installés extérieurement sur la façade. Ce dispositif, même bien construit, reste volumineux et peu élégant. D'autre part, il pourrait éventuellement s'y accumuler de la neige en hiver. Comme le montre la figure N° 4.6.6 a, il est possible de doubler une large fenêtre avec doubles battants à l'aide d'une fenêtre en saillie. Il ne sera pas forcément nécessaire d'utiliser des verres doubles scellés ni de prévoir une partie ouvrante qui pourrait être difficilement accessible. Il faudra cependant inclure une ventilation adéquate de cet espace additionnel, pour assurer une aération possible de la pièce concernée et pour éviter une surchauffe en été.



De la même manière, avec l'exemple de la figure N° 4.6.6 b, la fenêtre en saillie s'agrandit pour devenir un mini solarium. Ce dispositif étant placé devant une fenêtre à double battant, il ne sera pas possible d'y circuler. L'accès intérieur pourra être néanmoins suffisant pour manœuvrer un volet ouvrant au centre du solarium et même de mettre quelques plantes en été. Là encore, suivant l'usage prévu, il ne sera pas forcément nécessaire d'utiliser un verre double scellé.

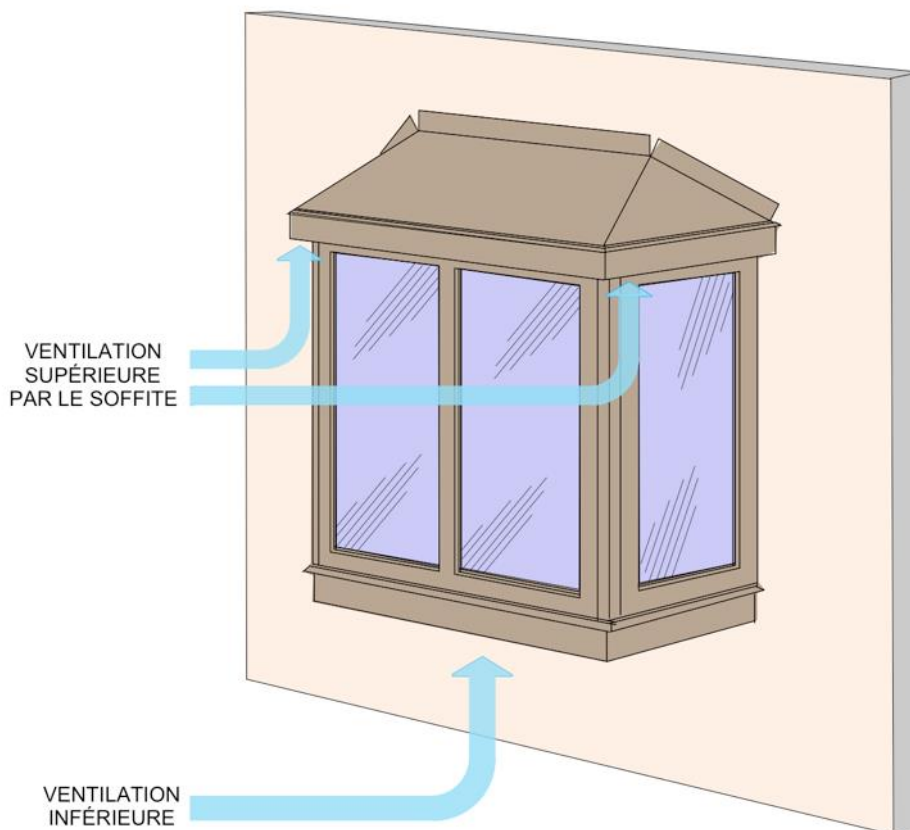


Figure N° 4.6.6 a : Exemple d'ajout d'une fenêtre en saillie devant une fenêtre à battant

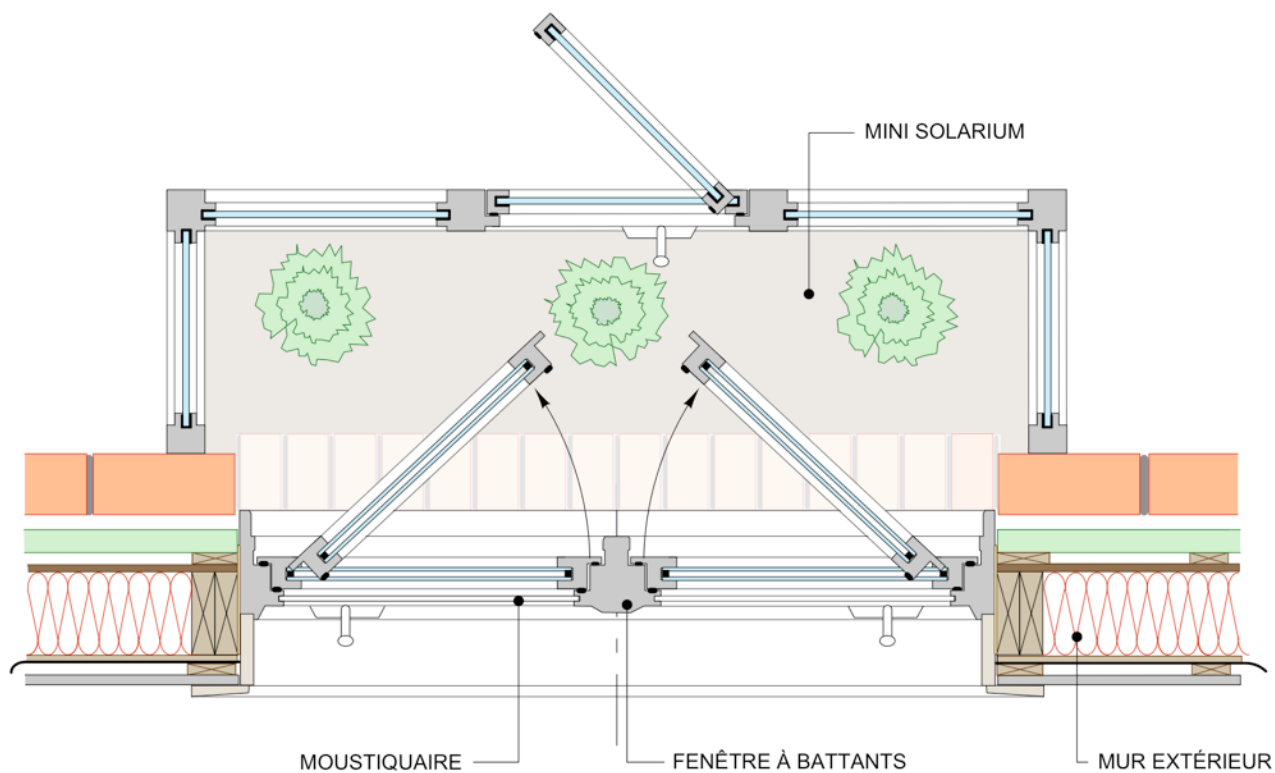


Figure N° 4.6.6 b : Exemple d'ajout d'un mini solarium devant une fenêtre à double battant

4.6.7 Résumé des traitements possibles pour les fenêtres

Tableau N° 4.6.7 : Résumé des traitements possibles pour les fenêtres neuves ou existantes

<i>Fenêtre existante</i>	<i>Construction neuve</i>
Doubler les vitrages existants sur le cadre de fenêtre lui-même (si les meneaux le permettent ; plus répandu en Europe)	Niveau de bruit ≥ 55 dBA, choisir un vitrage thermos avec une masse surfacique totale de 20 kg/m ² ou plus
Doubler la fenêtre dans l'embrasure existante	Niveau de bruit ≥ 65 dBA, choisir un vitrage thermos avec une masse surfacique totale de 30 kg/m ² ou plus
Choisir une contre-fenêtre dont le mode d'ouverture permet une ventilation en chicane	Pour les vitrages scellés doubles ou triples, choisir des verres d'épaisseurs différentes
Choisir une contre-fenêtre avec des panneaux qui permettent le nettoyage de la fenêtre existante	Pour les vitrages scellés, choisir la distance entre les verres la plus grande possible
Laisser le plus grand écart possible entre les deux fenêtres	Choisir le mode d'ouverture et l'orientation des panneaux ouvrants pour éviter les réflexions vers l'intérieur du logement (fenêtres à battant ou à auvent)
Ajouter du matériau absorbant à la périphérie de l'espace entre fenêtres (avec une protection adéquate)	Choisir des fenêtres coulissantes ou des portes-patio avec un verre supplémentaire mobile permettant ainsi une ventilation en chicane
Contrôler la condensation (joints très étanches ou petites ouvertures pour déplacer le point de rosée)	Choisir des systèmes de fermeture offrant une bonne compression multipoints sur les joints d'étanchéité (joints préféablement doubles)
Ajouter un panneau de verre épais en façade, devant les parties ouvrantes (compléter éventuellement avec du matériau absorbant)	Veiller à la qualité de tous les joints et bavettes (en particulier ceux qui glissent lors de l'ouverture des fenêtres)
Ajouter un panneau de verre épais en façade à la grandeur de l'ouverture (en laissant de l'espace pour la ventilation)	Calfeutrer soigneusement les cadres de fenêtres dans la structure et compléter l'embrasure avec un matériel épais (19 mm) sans laisser de vides

4.7 Les portes d'entrée exposées au bruit



4.7.1 Les portes extérieures pleines

Les portes extérieures sont généralement construites en bois et encore plus couramment en acier. Pour le contrôle du bruit, il est important que la masse surfacique du panneau soit suffisante et que tous les joints périphériques soient de qualité.

Tableau N° 4.7.1 : Indice d'isolement acoustique des quelques portes d'entrée

Type de porte	Épaisseur en mm	Indice d'isolement STC
En bois, intérieur cellulaire creux	45 mm	20
En bois, avec vitrages sur meneaux de bois et joints magnétiques	45 mm	26
En bois, intérieur plein	45 mm	27
En acier, remplissage en mousse de polyuréthane	45 mm	28
En acier, nervures intérieures, joints magnétiques	45 mm	28
En acier, jauge 16, fibre de verre 34 kg/m ² , seuil tombant et joints	45 mm	38
En acier, remplissage en fibre minérale	51 mm	45 *

(*) avec des joints de qualité et un ferme-porte assurant une bonne pression sur les joints.

En règle générale, on peut considérer l'isolement acoustique des portes extérieures directement exposées au bruit comme étant moins important que celui des fenêtres. Ceci parce que la surface exposée est plus petite et que les portes extérieures débouchent généralement sur un vestibule éventuellement fermé, ou au moins sur un corridor qui donne accès au reste du logement. En ville, il est rare qu'une porte d'accès extérieur débouche directement sur une pièce principale. Deux dispositions peuvent amener une réduction de l'isolement des portes extérieures, c'est-à-dire quand il s'agit d'une porte double, avec deux panneaux indépendants, ou quand elles comportent des vitrages (soit dans le panneau de porte lui-même, soit en imposte ou latéralement).

La présence d'un vestibule, derrière une porte extérieure, peut réduire la pénétration du bruit.

4.7.2 Les portes extérieures vitrées, avec imposte ou avec fenêtres latérales

La présence d'un vitrage intégré dans le panneau d'une porte extérieure en acier peut réduire son indice d'isolement acoustique, la porte ne peut pas être meilleure que le vitrage lui-même, surtout lorsqu'il est de grande dimension et occupe une grande partie du panneau de porte (voir figure N° 4.7.2). Ce genre de vitrage comporte parfois un vitrail, il est préférable de le recouvrir d'un verre clair scellé, tant pour la sécurité que pour augmenter les isolations thermique et acoustique. En plus d'un vitrage encastré, certaines portes d'entrée comportent souvent une imposte ou des fenêtres latérales. Tous ces vitrages latéraux devraient avoir une isolation égale ou supérieure à celle des autres fenêtres de la façade concernée.

Tous les vitrages des portes d'entrée, des impostes ou des fenêtres latérales devraient avoir une isolation égale à celle des autres fenêtres.



Figure N° 4.7.2 : Exemple d'une porte d'entrée vitrée avec imposte et fenêtres latérales

4.7.3 Joints des portes extérieures

La qualité des joints périphériques des portes extérieures est importante, de même que leur durabilité. Tous ces joints sont souvent sollicités et subissent des contraintes thermiques importantes, tout spécialement en hiver avec le gel. La qualité des joints des seuils de porte est tout particulièrement à surveiller. Ils ne doivent pas nuire au passage (butée de seuil trop haute), ils doivent résister au frottement sur le seuil lui-même et ils peuvent se dégrader rapidement en hiver, à cause du gel ou du sable. Leur mécanisme, généralement encastré, doit pouvoir durer de nombreuses années. De plus, lorsqu'il s'agit d'un seuil tombant commandé par une tige de pression, il ne doit pas se dérégler et devenir complètement inefficace ([voir à ce sujet les détails de la figure N° 4.7.3](#)).

Les autres joints périphériques sont généralement installés sur le cadrage de la porte et agissent par compression. Il peut s'agir de bourrelets, de bavettes ou de balais, ou bien encore d'une combinaison des deux premiers systèmes. Du côté des pentures, le joint est plus sollicité. Il doit également pouvoir résister à l'arrachement. Pour les portes avec une forte isolation acoustique, il est préférable que les joints périphériques comportent une double feuilure ou bien que des joints mécaniques supplémentaires soient fixés sur le cadrage et sur le panneau de porte.

Dans le cas des portes d'entrée doubles, en plus des joints périphériques, il faut tenir compte du ou des joints de l'astragale et de la présence des fiches d'immobilisation mortaisées dans l'un des panneaux de porte ([voir également la figure N° 4.7.3](#)). La présence de ces joints et de ces ouvertures possibles peut réduire l'isolement global résultant. Pour une double porte en bois, il est préférable d'avoir une large moulure pour recouvrir le joint de l'astragale.

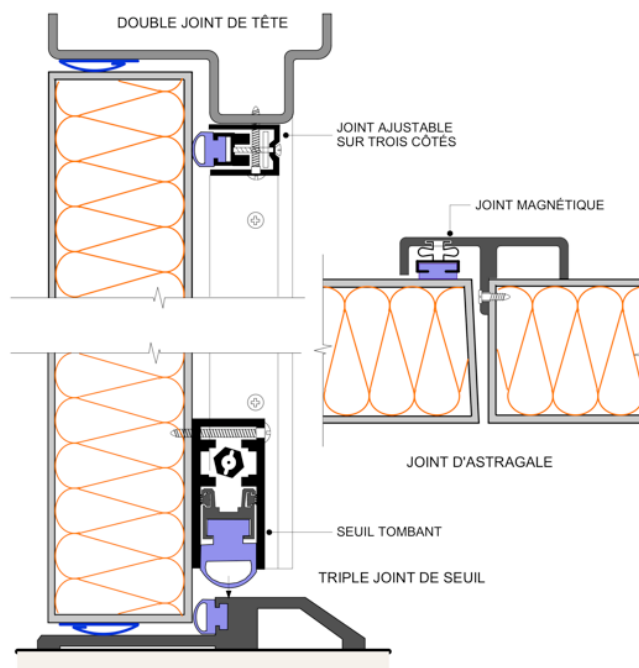


Figure N° 4.7.3 : Exemples de joints supplémentaires à ajouter à une porte d'entrée et joint d'astragale pour une double porte

4.7.4 Correction acoustique possible d'une porte d'entrée

Il est toujours possible de remplacer les joints défectueux d'une porte d'entrée extérieure. De plus, comme le montre la figure N° 4.7.4, on peut rajouter des joints mécaniques de qualité à l'intérieur du cadre et au seuil de porte. Pour ce dernier, on utilise souvent un seuil tombant mécanique, avec ou sans butée de seuil. Un seuil tombant peut être installé en surface (voir figure 4.7.3) ou bien mortaisé dans le bas de la porte, comme montré sur la figure N° 4.7.4. Si la masse surfacique du panneau de porte n'est pas très élevée, on peut ajouter un panneau collé à l'intérieur. Le matériel de correction peut être pesant (panneau de ciment 12 mm) ou absorbant ou bien les deux (tapis lourd bordé par une moulure par exemple). Enfin, si l'espace intérieur le permet, on peut installer un vestibule ou un tambour pour éviter la pénétration du bruit vers le reste du logement.

On peut rajouter des joints mécaniques de qualité et doubler le panneau d'une porte extérieure pour en augmenter l'isolation acoustique.

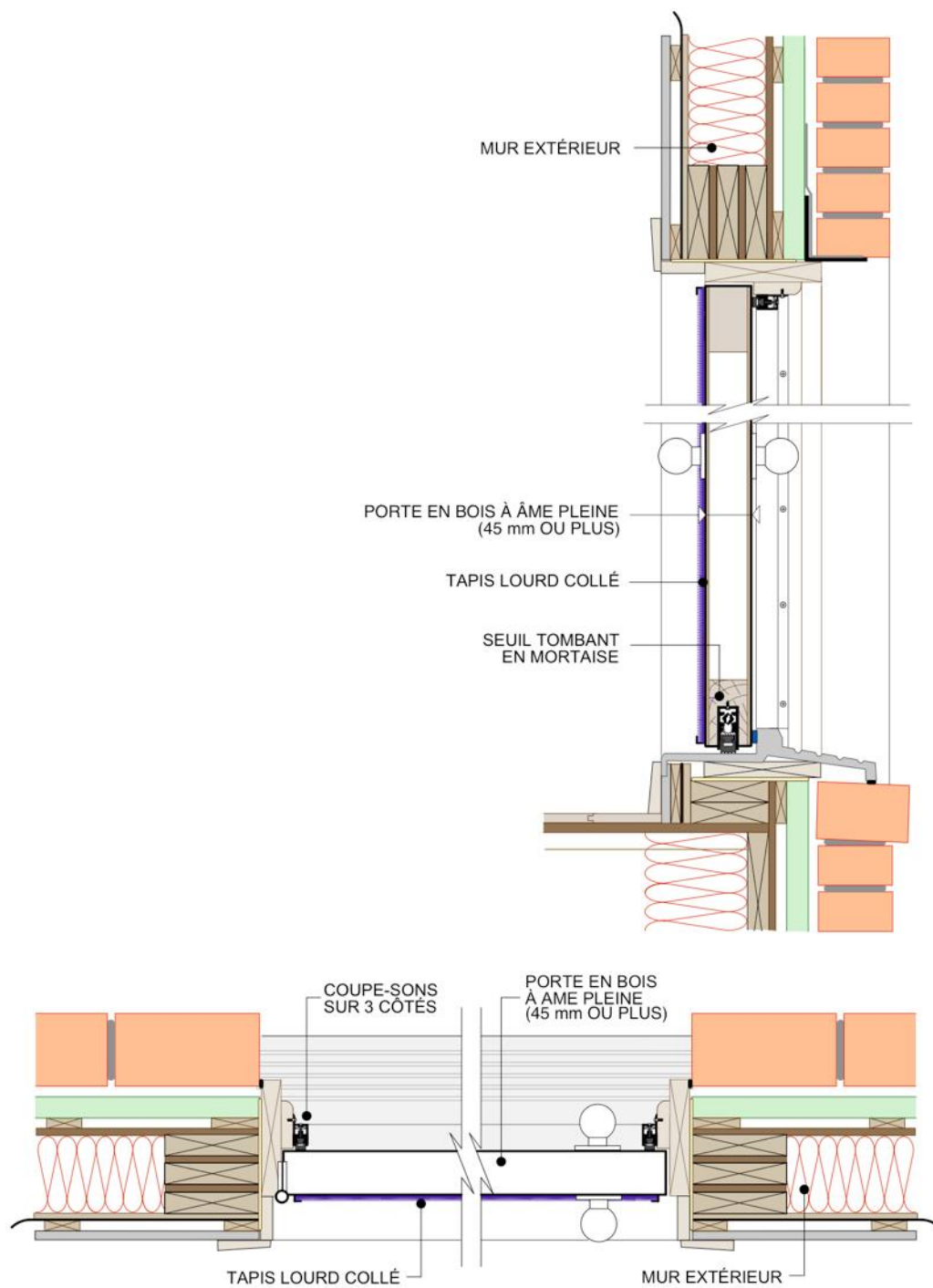
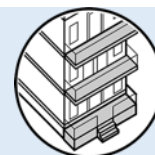


Figure N° 4.7.4 : Traitement acoustique d'une porte d'entrée exposée au bruit

4.8 Disposition et traitement acoustique des balcons



4.8.1 La présence de balcons constitue l'effet de « loggia »

La présence de balcons sur une façade d'un immeuble résidentiel exposé au bruit peut contribuer efficacement à éviter la pénétration du bruit vers les fenêtres, c'est ce qu'on appelle l'effet de « loggia ». Bien entendu, il faut que le garde-corps soit complètement clos. Du fait du changement de l'angle de propagation du bruit, plus un étage d'habitation est haut au-dessus d'une voie de circulation voisine de l'immeuble considéré, plus l'effet d'écran procuré par le balcon peut être important (c'est d'ailleurs ce qu'on peut voir sur les figures précédentes N° 3.1.4 a et 3.1.4 b). De même, plus les balcons sont profonds, plus ils sont efficaces pour contrôler partiellement le bruit. On peut ajouter que l'effet d'écran des balcons vient compenser le fait que leurs fenêtres sont généralement plus grandes, donc un peu plus sensibles à la pénétration du bruit.

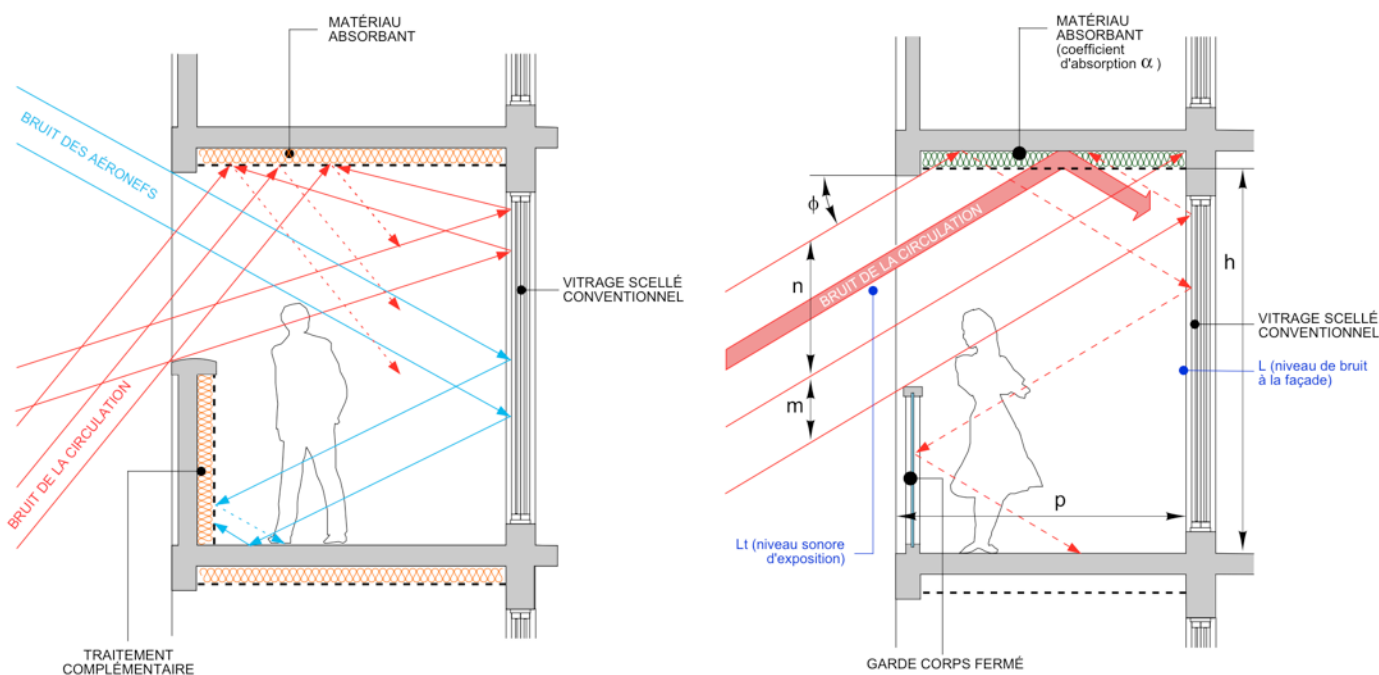


Figure N° 4.8.1 : Pénétration du bruit dans un balcon et paramètres requis pour caractériser l'atténuation résultante

En tenant compte des paramètres de la figure N° 4.8.1, il est possible de chiffrer sommairement l'efficacité des balcons selon la formule suivante (*J. Stryjenski, 1970*)³⁰ :

$$\text{Réduction} = 10 \log_{10} \left[\frac{h \times l}{(m \times l_1 + n(1-\alpha) \times l_2)} \right] \quad \text{Éq. 1}$$

Dans cette relation simplifiée, h est la hauteur d'étage et l , est la largeur totale de façade occupée par le balcon, l_1 est la largeur de l'ouverture vers les vitrages, l_2 est la largeur de l'ouverture vers le plafond, α est le coefficient d'absorption acoustique du plafond absorbant, tandis que n et m sont respectivement les hauteurs selon lesquelles une partie du flux acoustique pénètre vers les fenêtres ou vers le plafond absorbant (ces paramètres dépendent de l'angle d'incidence des ondes acoustiques).

Par une telle méthode d'approximation, l'atténuation est d'environ 1,6 dBA (pour des longueurs l , l_1 et l_2 similaires, une hauteur d'étage de 3,2 m et un garde-corps fermé de 1 m, soit $m = 2,2$ m), le coefficient d'absorption du plafond n'a plus d'effet et la réduction correspond simplement à la partie du flux acoustique arrêtée par le garde-corps. De la même manière, lorsque l'étage du balcon est haut, ou que le balcon est plus profond, la valeur de m tend vers 0 et la réduction est maximale en fonction du coefficient d'absorption du plafond, soit de 2 à 8 dBA.

On peut ajouter que la performance acoustique procurée par le traitement antibruit des balcons peut faire l'objet d'analyses détaillées au cas par cas, en fonction de la géométrie de propagation, autant que d'être évaluée plus simplement par une approche empirique.

4.8.2 Analyse préalable de la propagation du bruit suivant la localisation de la source

Pour la conception ou pour la correction acoustique des balcons, il est important de bien identifier les principales sources de bruit, qu'elles soient ponctuelles ou surtout linéaires (voies de circulation locale, voie de chemin de fer ou tramway). Dans de nombreux cas, la source de bruit est parallèle à la façade concernée de l'immeuble, il s'agit de la disposition classique pour laquelle le garde-corps d'un balcon constitue le principal écran acoustique. Il reste donc à connaître l'angle de pénétration du bruit, suivant la distance à la source et la hauteur de l'étage considéré.

Suivant la disposition des rues, le principal trafic automobile peut cependant se retrouver sur une artère voisine de l'immeuble, mais perpendiculaire à la façade qui comporte les balcons. Dans cette situation, il est important de prolonger latéralement les garde-corps et même de fermer complètement le ou les côtés des balcons exposés au bruit. À ce sujet, différentes situations seront illustrées à la figure N° 4.8.4 a, sur laquelle on pourra identifier plusieurs voies routières et l'aménagement correspondant des balcons soumis au bruit de la circulation. Avec de telles dispositions, il est intéressant de constater que le traitement latéral des balcons peut même être plus efficace que celui d'un garde-corps parallèle à la façade. En effet, ce dernier sera toujours limité en hauteur, tandis que les côtés peuvent être complètement fermés. Suivant la situation, cette fermeture peut être réalisée soit à l'aide d'un matériau opaque, un matériau transparent, ou bien encore par un matériau acoustiquement absorbant.

4.8.3 Les garde-corps utilisés comme écran acoustique

Même si un quartier résidentiel n'est pas trop bruyant, il est préférable que le garde-corps des balcons soit fermé pour éviter le passage des ondes acoustiques. L'utilisation d'une rampe dotée de barreaux ou d'un grillage ne procure aucune protection contre le bruit. Il convient donc que le garde-corps soit constitué d'un matériau continu, c'est-à-dire qu'il soit en maçonnerie, en verre trempé ou plus rarement en métal ou en bois plein. Un verre trempé de 8 à 10 mm est souvent utilisé, il permet une bonne hauteur (environ 1,12 m soit 44"), sans pratiquement nuire à la visibilité. Lorsqu'il n'y a pas de risque de pénétration latérale du bruit ou de problème d'intimité, toute la longueur du garde-corps d'un balcon pourra être en verre. Sinon, les côtés devront être partiellement ou totalement fermés, avec ou sans ajout d'un matériel de surface acoustiquement absorbant.

Comme le montrait la figure N° 4.8.1, le flux acoustique pénètre entre le garde-corps et le bord du balcon supérieur. Suivant l'étage considéré, il se réfléchit plus ou moins sur le plafond du balcon pour frapper ensuite la façade et le vitrage de la porte. Il est donc important de contrôler cette réflexion en traitant le dessous du balcon à l'aide d'un matériau absorbant. Il faut ajouter qu'il pourrait être également approprié de traiter la face intérieure du garde-corps, afin d'éviter une succession de réflexion entre le garde-corps et le vitrage de la porte. Suivant le mode de construction de l'immeuble, il pourra s'agir, pour le plafond et le garde-corps, d'une surface en bois ou en métal, mais le plus souvent en béton. De nombreux produits peuvent convenir pour ce traitement absorbant ; laine minérale protégée par un panneau métallique perforé, ou par un lattage de bois ou de plastique (si les normes de construction le permettent). Tel que noté précédemment, on peut finalement remarquer que le flux acoustique susceptible de frapper la fenestration ira en diminuant avec la hauteur de l'étage concerné (au-dessus du sol) et également avec la profondeur des balcons.

Au sujet des garde-corps, on peut rappeler qu'entre 0,6 m et 1,8 m au-dessus du sol, un garde-corps doit avoir une hauteur de 0,90 m et, lorsqu'un balcon est plus élevé que 1,8 m, il doit avoir une hauteur minimale de 1,07 m (soit respectivement 36" et 42").

Il convient de se référer à la norme CSA A500-16 ³¹ portant sur la sécurité des garde-corps avant d'optimiser la conception des détails architecturaux afférents et s'assurer de la conformité d'une quelconque installation destinée à un bâtiment en hauteur.

4.8.4 Les divisions latérales utilisées comme écran acoustique

À titre d'exemple, la partie supérieure de la figure N° 4.8.4 a, montre un immeuble résidentiel voisin d'une autoroute, pour lequel on veut installer des balcons sur une façade perpendiculaire à cette source de bruit. Pour la rangée des balcons les plus proches de l'autoroute, leurs côtés exposés au bruit devraient être complètement fermés par une épaisse feuille de verre trempé ou autre matériau, tandis que les autres divisions entre les balcons successifs devraient faire l'objet d'un traitement acoustique absorbant, afin d'éviter les réflexions vers les portes-patio et les fenêtres des logements concernés. À noter que le traitement absorbant ne sera requis que sur les côtés exposés au bruit de l'autoroute. Dans des conditions d'exposition différentes, la partie inférieure de la figure N° 4.8.4 a, montre qu'il sera préférable de conserver ouvert le côté droit du balcon, puisqu'il fait face à une voie secondaire (néanmoins, le traitement absorbant du plafond doit demeurer pour la voie principale parallèle à la façade). Donc, en regard du bruit et selon leur orientation, les sections latérales des balcons peuvent être un simple garde-corps en verre trempé, un panneau de verre complet jusqu'au plafond ou un côté complet recouvert de matériel absorbant. D'où l'importance de bien analyser préalablement la localisation des sources de bruit et leur mode de propagation par rapport à l'immeuble résidentiel concerné.

Pour constituer un écran ou pour éviter les réflexions acoustiques, les segments latéraux des balcons peuvent nécessiter une fermeture complète ou bien un traitement absorbant.

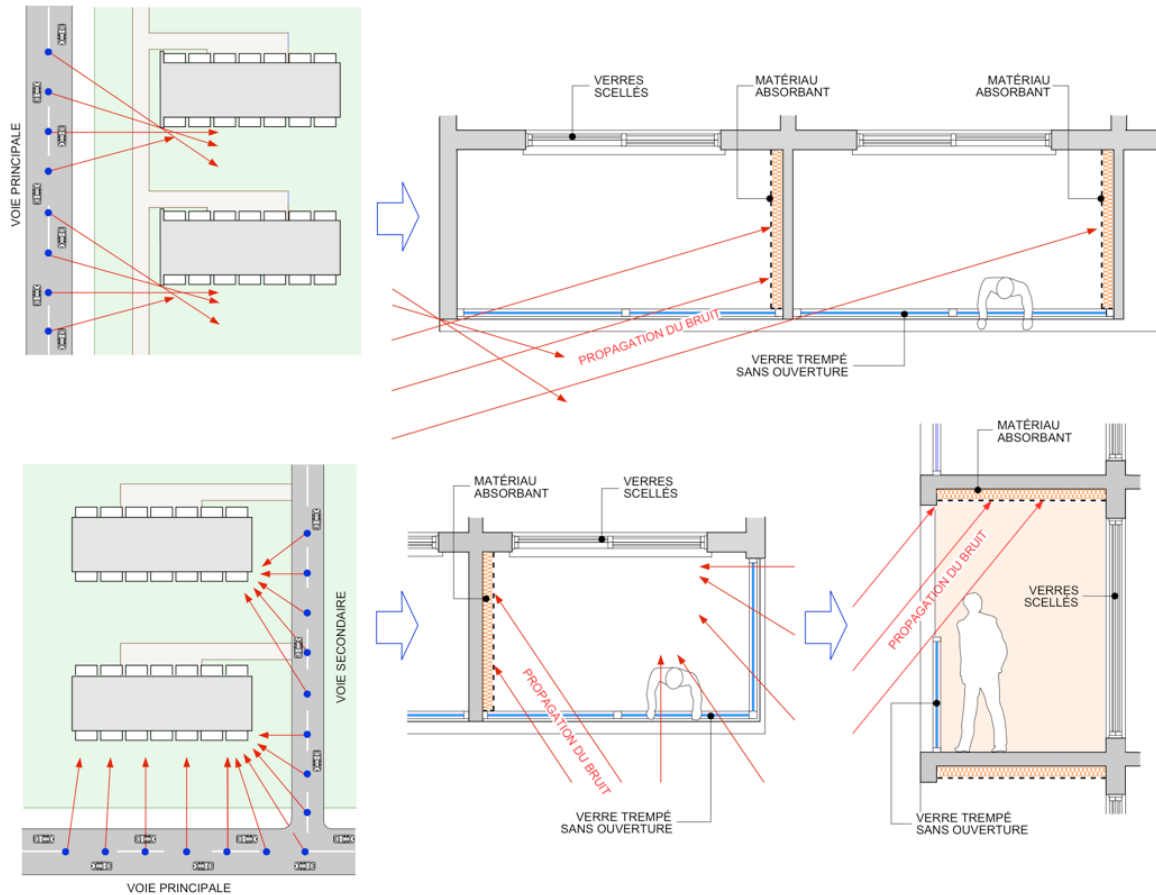


Figure N° 4.8.4 a : Analyse des propagations suivant la disposition des immeubles et traitements acoustiques requis pour les côtés des balcons, diverses situations

Ensuite, comme le montre la figure N° 4.8.4 b, il est également possible de maximiser la protection acoustique d'une série de balcons superposés en fermant complètement les côtés. Ces côtés peuvent même constituer un système structural destiné à supporter les balcons. Dans ce cas, il pourrait être préférable de disposer un traitement absorbant sur toute la surface des parois intérieures des balcons (plafonds et murs latéraux). Cette disposition devrait procurer un maximum de réduction du niveau de bruit avant que les ondes acoustiques n'atteignent les vitrages. À noter qu'au plan architectural, on doit s'attendre à une réduction de la lumière naturelle dans les logements concernés.

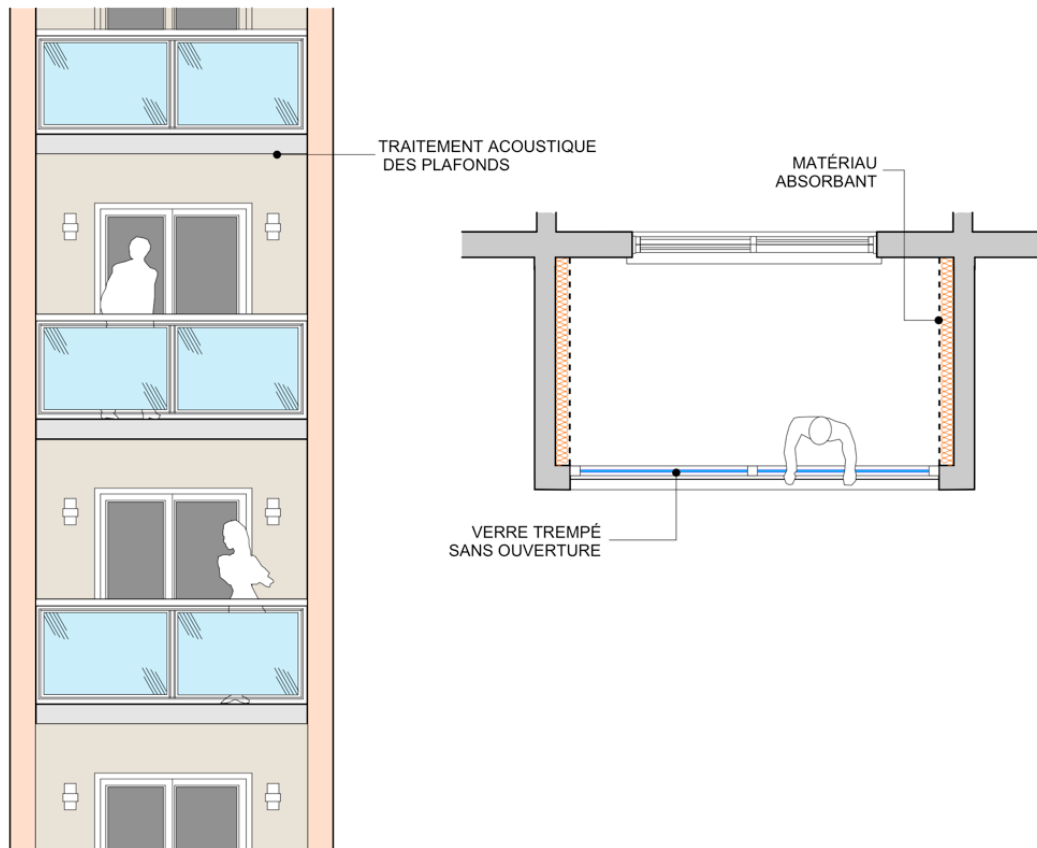


Figure N° 4.8.4 b : Exemple de balcons superposés et traitement des parois

4.8.5 Le traitement acoustique des surfaces réfléchissantes

Une certaine variété de matériaux peut être utilisée pour le traitement absorbant des balcons, qu'il s'agisse de leurs divisions latérales ou de leurs plafonds. Dans les bâtiments, la catégorie la plus utilisée pour les matériaux acoustiques absorbants regroupe les matériaux poreux fibreux. Ces matériaux peuvent être constitués de laine minérale, de laine de verre, de fibres synthétiques, de fibres végétales, de fibres métalliques, etc. Leur densité et leur épaisseur sont très variables, néanmoins, il ne semble pas nécessaire de dépasser 50 mm (2"), pour le traitement acoustique d'une façade. Leur finition extérieure aussi peut être très variée : simple peinture, textile, grillage, tôle ou panneau perforé, etc. Il faut cependant tenir compte de l'efficacité du produit retenu, de sa durabilité et de sa résistance à l'humidité ou à la poussière, en plus d'intégrer les exigences sur le type de construction permise ou exigée lors de la conception du bâtiment (construction combustible ou incombustible). En effet, les réglementations en vigueur à l'échelle provinciale ou municipale peuvent restreindre l'acceptabilité de certains assemblages particuliers comparativement à ce qui existe ailleurs dans le monde.

La partie gauche de la figure N° 4.8.5, soit la partie (A) montre à ce sujet un dispositif de maçonnerie fortement absorbant pour le bruit de la circulation automobile (avec des cavités de résonateurs accordés à 1000 Hz pour le bruit des pneumatiques). La partie centrale (B) de la même figure montre un panneau de laine minérale de haute densité (environ 48 kg/m^3) d'au moins 25 mm (1") d'épaisseur, fini avec textile non tissé, le tout couvert par un panneau perforé du genre « *pegboard* » (existe en polypropylène 1/4" ou en acier jauge 20, trous diamètre 9/32", espacés 1", ou bien une tôle perforée jauge 24, trous diamètre 3/32" en quinconce, avec de 13 % à 22 % d'ouverture). Finalement, sur la partie droite de la figure, soit la partie (C), la finition est constituée d'un lattage en bois traité qui peut être permise ou exigée selon le type de construction. Cette disposition convient très bien pour les balcons, à la condition que le lattage soit placé parallèlement à la façade (prévoir un minimum de 30 % d'ouverture). À noter que dans ce dispositif, en plus de protéger à long terme la laine minérale, le lattage provoque de nombreuses diffractions qui viennent s'opposer à la propagation du bruit vers les fenêtres.

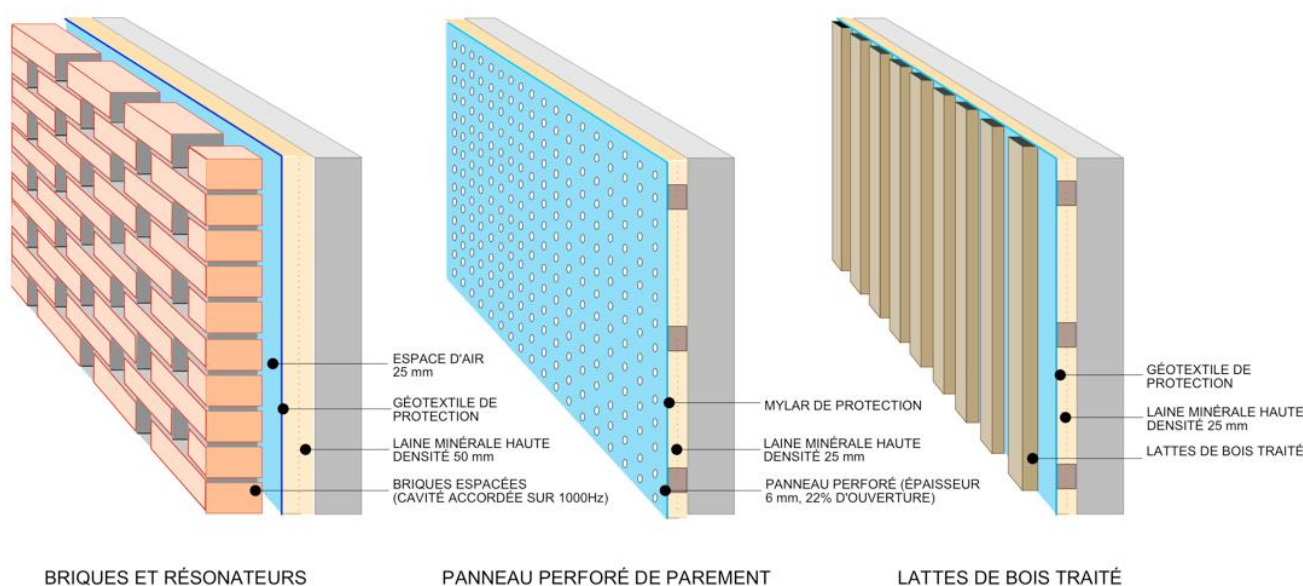


Figure N° 4.8.5 : Différentes parois absorbantes
(A) briques et cavités de résonateurs,
(B) panneau perforé de parement
et (C) finition avec lattes de bois traité

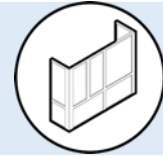
On remarquera finalement que tout comme la transmission du bruit à travers un mur, le contrôle des réflexions par un matériel absorbant affecte la composition spectrale du bruit réfléchi. Les matériaux absorbants réduisent aisément les réflexions de hautes fréquences, par exemple le bruit des pneumatiques sur une chaussée mouillée, mais ils absorbent beaucoup moins les basses fréquences, telles que le grondement des moteurs. Si on doit contrôler beaucoup de basses fréquences, il faudra prévoir un matériau absorbant plus épais ou bien un dispositif spécifique pour certaines basses fréquences, comme les membranes ou les résonateurs.

4.8.6 L'effet d'« attique » utilisé pour contrôler la pénétration du bruit vers les fenêtres

Comme le montrait la figure N° 3.1.4 b à propos de la disposition des immeubles résidentiels, l'effet d'« attique » résulte du retrait de la façade du bâtiment à chaque étage d'habitation. Cette disposition ménage ainsi des terrasses plus ou moins grandes à chaque étage. Le retrait procure un effet d'écran utile acoustiquement, surtout lorsque les garde-corps sont fermés comme pour les balcons. Néanmoins, cette disposition, bien qu'intéressante, n'est que rarement utilisée. Elle n'est pas nécessairement rentable pour un promoteur et elle pose des problèmes de construction du côté de l'isolation thermique et de l'étanchéité des terrasses.

Une autre disposition des immeubles résidentiels peut contribuer à réduire l'impact d'une voie de circulation voisine des bâtiments, il s'agit du recul de la façade principale par rapport à un basilaire plus proche de la circulation. C'est ce que montrait également la figure N° 3.1.4 a dans la partie consacrée à l'urbanisme. Les contraintes des règlements municipaux peuvent amener à choisir ce genre d'arrangements en parallèle à la conception de l'aménagement paysager, lorsqu'un promoteur ne peut utiliser la totalité d'un lot pour construire une tour résidentielle.

4.9 Les oriels et le doublage des façades



Les « oriels » ou balcons fermés ont été très utilisés dans différents pays européens. Au Québec, ils pourraient constituer un dispositif de protection acoustique et thermique très intéressant (voir la photographie de la figure N° 4.9 qui présente un oriel réalisé à Outremont). L'isolation acoustique obtenue dépend surtout des vitrages utilisés pour construire les parois extérieures. Toutefois, la présence de matériaux absorbants pourrait améliorer le résultat escompté, même si l'oriel comporte des vitrages ouvrants.



Figure N° 4.9 : Exemple d'intégration d'un oriel sur les balcons d'un immeuble résidentiel d'Outremont à Montréal [Migneron et collab., GRAP]

4.9.1 Usage d'un oriel pour une fenêtre avec un balcon peu profond

Comme le montre les figures N° 4.9.1 a et 4.9.1 b, on retrouve dans divers pays européens des exemples d'oriel construits pour compléter des balcons peu profonds. Cette disposition ressemble en fait à un doublage de fenêtre ou plutôt à l'installation d'une fenêtre complémentaire en saillie, avec cependant une extension du plancher d'étage et une large possibilité d'ouverture des vitrages extérieurs. Les panneaux vitrés extérieurs ne nécessitent pas forcément des doubles vitrages, si l'oriel n'est pas chauffé en hiver (ce n'est pas un espace « 4 saisons »). Il faut cependant éviter tout transfert d'humidité pour contrôler la condensation. En période estivale, les vitrages ouvrants devraient permettre d'éviter la surchauffe. Avec une telle disposition, étant donné le peu d'espace entre la fenêtre intérieure et les vitrages de l'oriel, il importe de coordonner les ouvertures pour permettre l'accès à l'extérieur et pour offrir une ventilation indirecte, tout en contrôlant partiellement le bruit. Si on veut conserver l'accès au balcon, il importe que la fenêtre intérieure soit munie d'une section ouvrante adéquate. Cependant, de grandes portes vitrées ouvrant vers l'intérieur conviennent beaucoup mieux pour cet usage spécifique, en offrant un plus grand dégagement sur l'oriel (portes à la française, comme sur la figure N° 4.9.1 b). Finalement, pour améliorer encore le comportement acoustique, il pourrait être intéressant d'ajouter des matériaux absorbants sur les parois murales et surtout sur le plafond de l'oriel.





Figure N° 4.9.1 a : Exemple d'usage des oriels dans les pays européens pour des balcons peu profonds (cas situés en Espagne) [Migneron et collab., GRAP]

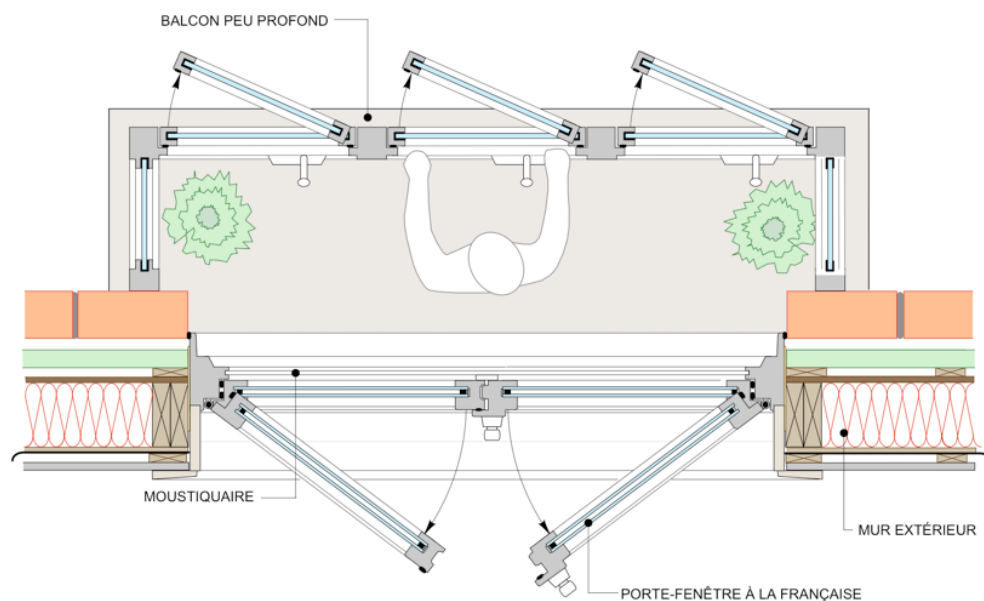


Figure N° 4.9.1 b : Ajout d'un oriel sur un balcon étroit avec porte-fenêtre ouvrant à la française

4.9.2 Usage d'un oriel pour un grand balcon

Lorsque le balcon est assez grand, l'oriel peut devenir une nouvelle pièce de l'habitation, c'est ce que montre la figure N° 4.9.2. Avec cette disposition de type « 4 saisons », il devient nécessaire que les vitrages de l'oriel procurent une résistance thermique qui corresponde à la réglementation applicable. Il est également requis que les fenêtres de l'oriel puissent s'ouvrir suffisamment pour permettre la ventilation de cet espace et du logement associé. Le contrôle thermique dans un tel espace peut s'avérer assez complexe (en hiver : chauffage au besoin pour les périodes froides, contrôle de la surchauffe pour les journées ensoleillées; puis en été : contrôle plus poussé pour la surchauffe et la ventilation adéquate). Sur le plan acoustique, ce type d'oriel constitue une protection très efficace pour un quartier urbain très achalandé ou pour le voisinage d'une autoroute. De plus, une disposition judicieuse des panneaux ouvrants et de leurs angles d'ouverture pourra permettre une ventilation indirecte, tout en évitant la pénétration du bruit.

Finalement, il faut noter que puisqu'il s'agit d'une pièce supplémentaire d'habitation, cette disposition pourrait comporter des exigences de protection incendie. La présence de gicleurs n'est pas toujours requise tandis que l'installation de gicleurs extérieurs (sans eau) peut requérir l'installation d'un système complémentaire. Malgré l'intérêt que présente un tel espace pour l'occupation prolongée à longueur d'année, on voit donc que l'optimisation thermique et mécanique d'un grand oriel est au moins équivalente à celle d'une pièce d'habitation : chauffage, thermostat, ventilation, stores (éventuellement motorisés), gicleur, etc.

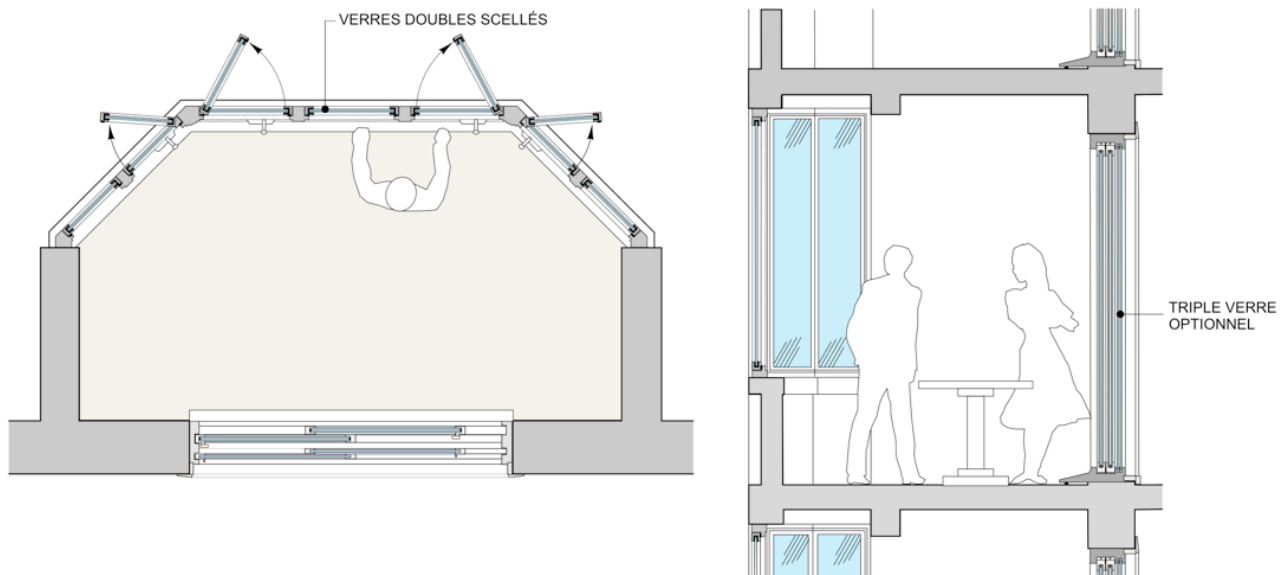


Figure N° 4.9.2 : Exemple de fermeture d'un grand balcon pour constituer un oriel très fenêtré

4.9.3 Usage d'un solarium pour constituer une double enveloppe localisée

Comme le montre la figure N° 4.9.3, un oriel peut s'apparenter à un solarium ou à une petite serre accolée à l'habitation. Tous les points mentionnés précédemment s'appliquent, en particulier le fait que ce type de local constitue une barrière très efficace pour éviter la pénétration du bruit vers les autres pièces d'habitation. La mécanique et les contrôles devront être adaptés suivant l'usage de l'espace ou la présence d'une végétation importante. Dans ce dernier cas, il sera nécessaire de considérer l'humidité et le contrôle de la condensation. Pour une vraie serre, la condensation n'est qu'un moindre mal, mais dans un contexte d'habitation, il importe de l'éviter le plus possible.



Figure N° 4.9.3 : Exemple d'ajout d'un solarium avec différentes parties ouvrantes

4.9.4 Double enveloppe totale pour un bâtiment résidentiel

Depuis une dizaine d'années, on voit de nouveaux immeubles, surtout institutionnels, finis avec une double enveloppe de verre. Cette disposition vise à offrir un contrôle climatique très poussé et à réduire les besoins énergétiques des immeubles concernés (voir figure N° 4.9.4 a). Au Québec, plusieurs projets de doublage des façades ont été entrepris dans un autre but, soit celui de préserver des bâtiments existants de qualité, tout en bénéficiant évidemment des avantages énergétiques et acoustiques associés. Plusieurs de ces projets ont utilisé des murs rideaux sans ouvertures, ce qui convient bien pour des édifices avec un système de ventilation climatisation CVCA central. Comme le montre la figure N° 4.9.4 b, il est cependant possible de doubler la façade d'un immeuble résidentiel existant en ajoutant une nouvelle façade fenêtrée avec des ouvertures.



Figure N° 4.9.4 a : Exemple de double enveloppe complète d'un bâtiment (édifice Castelar situé à Madrid, Espagne, architecte : Rafael de La-Hoz Castanys)
[Migneron et collab., GRAP]

Comme pour des oriels séparés, le contrôle thermique dans une construction à double enveloppe pourrait s'avérer assez complexe (en hiver : chauffage au besoin pour les périodes froides alterné avec un contrôle de la surchauffe lors des journées ensoleillées; puis en été : contrôle plus évolué pour la surchauffe et la ventilation adéquate). Ce type de construction devrait néanmoins constituer une protection acoustique très efficace, notamment pour le voisinage d'une autoroute. De plus, une disposition judicieuse des parties ouvrantes et de leurs angles d'ouverture devrait permettre une ventilation indirecte, tout en évitant la pénétration du bruit. On notera qu'il sera toujours possible d'ajouter des matériaux absorbants à chaque étage et notamment sur les plafonds, afin de contrôler les réflexions. Il faut également ajouter que puisqu'il s'agit d'une pièce supplémentaire d'habitation, cette disposition pourrait faire l'objet de certaines exigences réglementaires, notamment quant à la protection incendie.

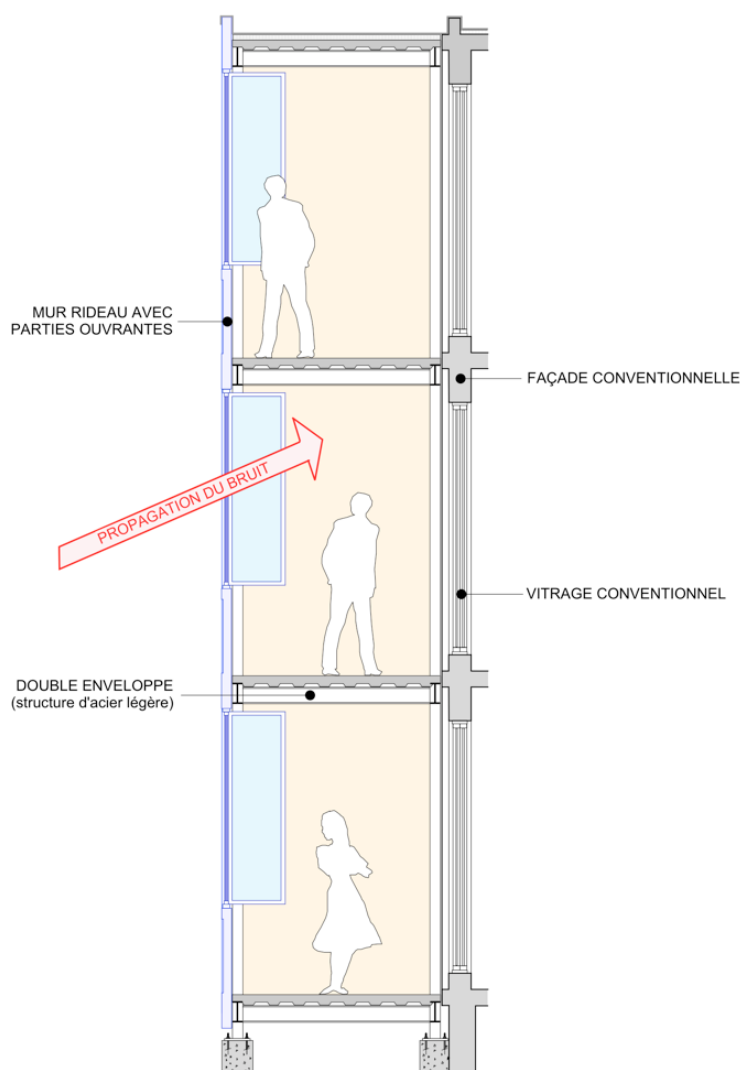


Figure N° 4.9.4 b : Ajout, sur la façade d'un édifice existant, d'une double enveloppe accessible et fenêtrée

Le doublage de la façade d'un immeuble résidentiel existant peut être également réalisé

avec un mur rideau vitré conventionnel, muni de quelques parties ouvrantes, c'est ce que montre la figure N° 4.9.4 c. Les espaces ainsi créés ne seront pas habitables et n'auront pas de vrai plancher (un simple caillebotis métallique), ce n'est donc pas une nécessité absolue d'avoir des portes dans les logements concernés. En revanche, il faudrait garder un accès vertical à l'une des extrémités du mur rideau pour l'entretien et la commande des ouvertures. On notera qu'avec cette disposition, un tel espace pourrait éventuellement servir d'issue de secours, ce qui en réduirait passablement les coûts de construction conditionnellement au respect des autres aspects réglementaires (résistance au feu, distances de parcours, signalisation, etc.). Comme le montre la figure N° 4.9.4 c, une ventilation globale pourrait permettre de contrôler la surchauffe par fort ensoleillement. Là encore, des matériaux absorbants pourraient être ajoutés pour réduire les éventuelles réflexions. L'isolation acoustique ainsi obtenue devrait être excellente, surtout en regard de la distance séparant la façade existante du vitrage supplémentaire.

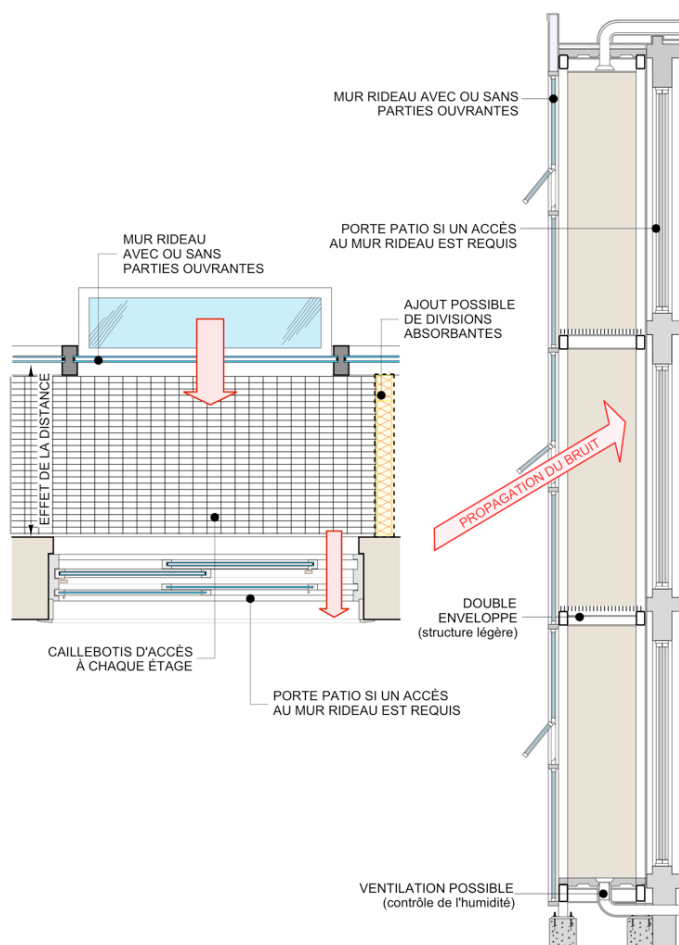
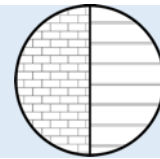


Figure N° 4.9.4 c : Exemple de doublage d'une façade existante avec une double enveloppe partiellement accessible, ventilée ou non

4.10 Traitement acoustique des murs de façade



4.10.1 Constitution des murs de façade

Les murs extérieurs des bâtiments d'habitation sont tous constitués de parois multiples. En dehors du système structural, on peut distinguer trois parties principales : le parement extérieur, l'isolation thermique et le parement de finition intérieur. Les matériaux de parement extérieur est celui qui présente le plus de variation quant aux disponibilités et aux résultats. On peut néanmoins différencier deux grandes catégories, les murs avec ou sans maçonnerie. Cette variation se reflète dans l'indice d'isolation acoustique correspondant, parce que les matériaux de maçonnerie sont généralement plus lourds que tous les autres matériaux de parement des façades.

En ce qui concerne l'isolation acoustique pour le bruit extérieur, le paramètre le plus important est la masse surfacique totale de l'ensemble du mur. Ensuite, les dispositions susceptibles de valoriser l'isolement contre le bruit extérieur sont l'épaisseur totale du mur, la répartition de la masse en plusieurs couches, la présence de matériaux d'isolation thermique qui soient également d'excellents matériaux absorbants, la présence d'une ou plusieurs lames d'air et le degré de désolidarisation des parois. Toutefois, concernant ce dernier point, les murs de façade ne sont pas spécialement prévus pour une désolidarisation mécanique de leurs différentes parties. Il existe cependant des exemples intéressants, comme les murs de briques qui sont souvent reliés au reste de la structure par des bandes de tôle galvanisée ondulée. On peut également mentionner l'usage des barres résilientes pour fixer la finition intérieure (généralement constituée de panneaux de gypse).

Le type de structure porteuse n'a pas beaucoup d'influence sur les résultats en matière d'isolation contre le bruit, sauf dans les constructions en pièces sur pièces ou en bois massif. Pour les bâtiments résidentiels avec charpente en bois, les montants verticaux sont pratiquement toujours des 2" x 6" (38 x 140 mm). On notera à ce sujet que les montants en 2" x 4" ont été remplacés pour permettre une construction plus résistante et afin de disposer d'un isolant thermique plus épais (l'indice RSI passant par exemple de 2,1 à 3,5 pour la laine minérale, soit dans le système impérial les types R-12 et R-20). Pour les bâtiments résidentiels en béton ou en acier, les montants de façade en « C » sont généralement en tôle galvanisée, de 3"5/8 à 6" de largeur (92 à 152 mm). Dans la charpente en bois, le contreventement des façades est souvent réalisé à l'aide du premier panneau cloué du côté extérieur (contreplaqué, panneau de copeaux OSB de 11 mm, panneau de gypse extérieur ou panneau de fibre de bois goudronné de 13 mm).

Suivant les matériaux constituant le mur, comme le montre la figure N° 4.10.1, l'isolant thermique se retrouve principalement entre les montants, il est généralement constitué de nattes de fibre de verre. Pour satisfaire les exigences du Code de construction, il doit être complété par un autre produit isolant du côté intérieur ou du côté extérieur du mur (polyuréthane, polystyrène expansé, polyisocyanurate, etc., voir figure précédente N° 4.1.4 a).³² Les isolants rigides ne constituent pas des barrières acoustiques très intéressantes, du fait de leur faible masse surfacique, mais les isolants fibreux peuvent réduire les pertes à la fréquence critique (début de la coïncidence entre l'onde incidente et la vibration d'un panneau homogène constitutif du mur) ou les résonances masse-air-masse.

Finalement, les murs extérieurs doivent comporter également une ou deux membranes servant de pare-air (souvent placée du côté extérieur) et de pare-vapeur. On notera qu'une de ces membranes peut être combinée avec l'un des isolants rigides, à condition qu'il soit scellé avec un ruban adhésif de construction.

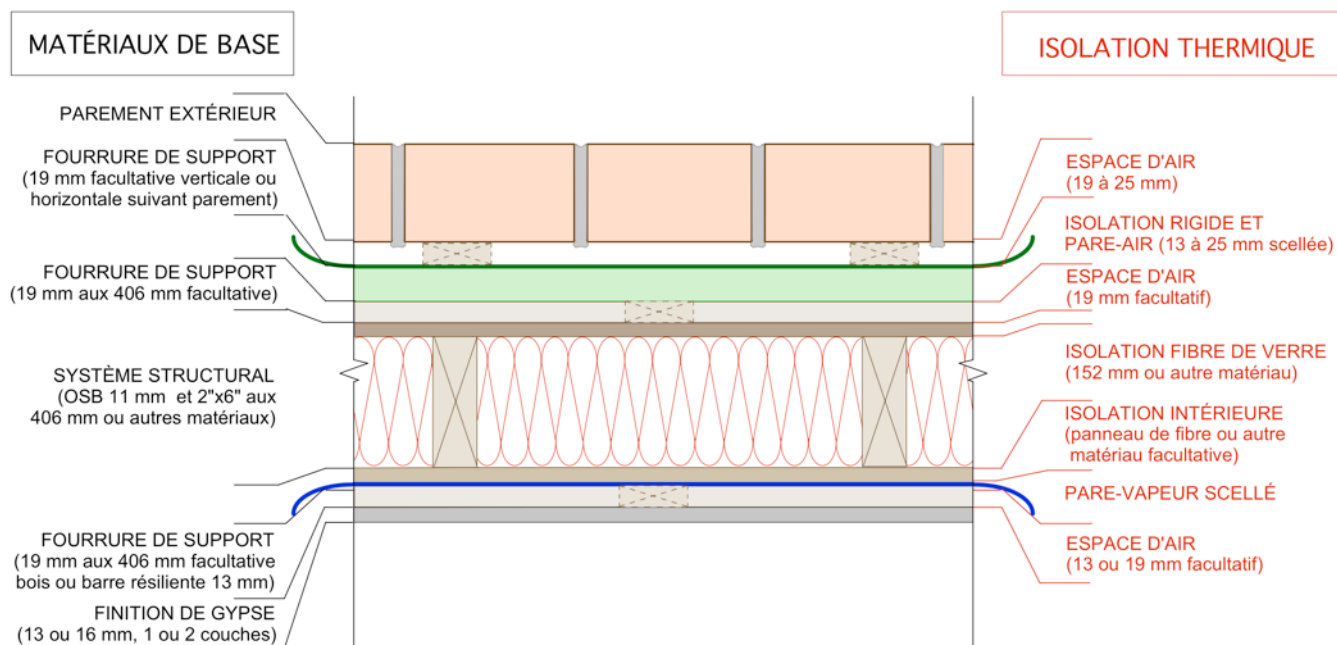


Figure N° 4.10.1 : Constitution d'un mur de façade et localisation des différentes parties

4.10.2 L'influence de la masse pour l'isolement et pour la protection contre les basses fréquences

Le plus souvent, la finition intérieure consiste en une pellicule de coupe-vapeur, une fourrure aux 16" (406 mm) et une feuille de gypse cartonée de 1/2" ou 5/8" (13 ou 16 mm). En comptant le panneau extérieur cloué aux montants structuraux et l'isolation, le mur de base correspond à une masse surfacique d'environ 20 kg/m² et à un indice d'isolement STC de 30 à 35. Avec la finition extérieure, il reste à trouver les 50 à 100 kg/m² restant pour dépasser un indice STC de 45 et même atteindre un STC de 50 ou 55.

Un premier moyen pour augmenter l'indice d'isolement acoustique applicable à tous les murs de façade consiste à remplacer les fourrures de bois sous le gypse intérieur par des barres résilientes disposées aux 24" (610 mm), ensuite à doubler cette feuille de gypse intérieur, ce qui augmente la masse surfacique totale de 8 à 13 kg/m² suivant l'épaisseur et la nature du gypse utilisé (feuille de 13 mm, 16 mm ou 16 mm type X). On peut également ajouter un panneau de fibre de bois de 13 ou 16 mm sous le pare-vapeur. Parmi ces interventions, la désolidarisation mécanique de la paroi intérieure de gypse résultant de l'ajout des barres résilientes semble la plus utile. Tous ces traitements intérieurs à la structure d'un mur de façade seront d'ailleurs repris à propos des murs avec parement extérieur léger.

Du côté extérieur, après le panneau structural, on retrouve généralement un panneau d'isolant rigide d'environ 1" (25 mm), s'il n'est pas du côté intérieur, un pare-air scellé (qui peut être l'isolant lui-même) et une fourrure de bois verticale ou horizontale pour recevoir la finition extérieure (voir figure précédente N° 4.10.1). Cette dernière peut être constituée d'une très grande variété de matériaux, d'épaisseur et de masse surfacique extrêmement variable, en bois, en aggloméré, en tôle d'aluminium ou d'acier, en stucco, acrylique ou de ciment, et bien entendu en maçonnerie, de briques, de pierres naturelles ou reconstituées, etc. À partir des 20 kg/m² de base déjà identifiés pour un mur de façade sur ossature de bois, l'isolation acoustique finale va dépendre de l'élévation de la masse totale du mur et du degré de désolidarisation mécanique entre les différentes couches de matériaux qui le constituent. En ce qui concerne la désolidarisation structurale, on peut utiliser une structure porteuse avec montants décalés, sur des lisses en 2" x 8" (épaisseur totale de la structure 190 mm, montants de 140 mm alternés sur chacun des bords). Cependant, cette construction est plus complexe à mettre en œuvre et plus coûteuse, du fait de la quantité de bois, des deux coussins de fibre de verre et de l'épaisseur requise pour la fondation de béton.

Pour une intervention sur la partie extérieure du mur, il reste donc surtout le choix du matériau de parement. À ce sujet, le tableau N° 4.10.2 donne un aperçu du gain d'isolement possible suivant les matériaux de parement, il montre également le gain approximatif d'isolement dans la bande de fréquence de 125 Hz. Comme on peut le constater, les gains en basses fréquences sont beaucoup plus faibles, ce qui veut dire que des matériaux de parement lourds seront toujours requis pour isoler les façades des bruits de basse fréquence, tels que ceux produits par les camions lourds, les motrices diesel ou les gros transformateurs électriques.

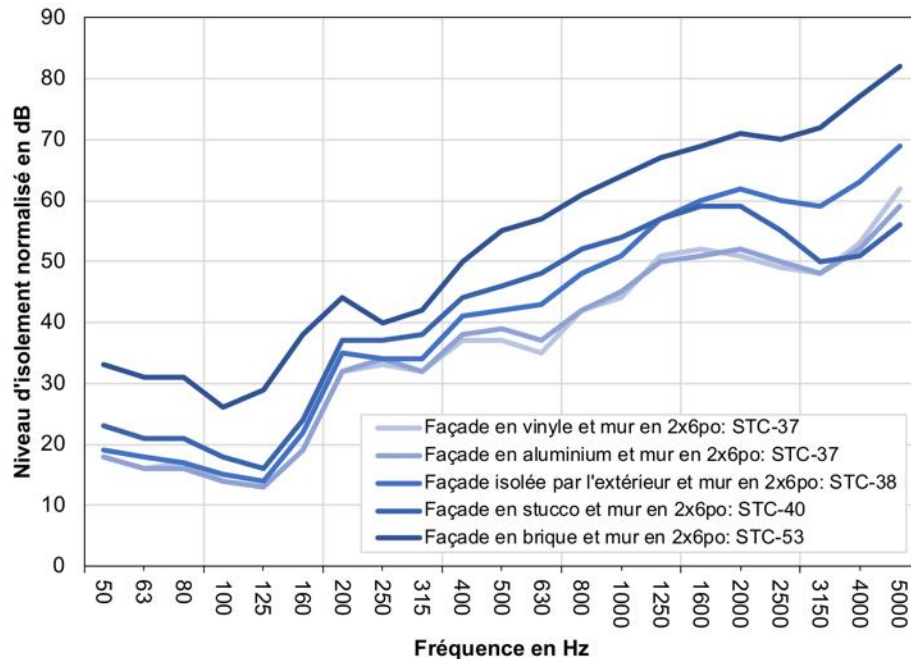


Figure N° 4.10.2 : Influence du choix du parement extérieur sur l'isolement normalisé par bandes au tiers d'octave (adapté de CNRC, 2000)²²

Tableau N° 4.10.2 : Aperçu des isolements des matériaux de parement extérieur et le leur comportement en basses fréquences

Type de parement extérieur	Masse surfacique supplémentaire en kg/m ²	Gain d'isolement approximatif en dBA	Gain d'isolement approximatif en dB à 125 Hz
Planches de bois pin embouvetées 3/4"	8,8	8	3
Déclin bois d'ingénierie	12	8	3
Déclin d'aluminium jauge 22	3,2	6	1
Panneaux de ciment 12 mm	23	11	6
Tôle d'acier ondulée jauge 22	8,4	8	3
Tôle d'acier ondulée jauge 18	12,9	9	4
Enduit de ciment 25 mm	49	14	9
Enduit acrylique 12 mm	9	8	3
Brique pleine 4"	171 (191)	23	18
Blocs de béton 6" (suivant densité)	151/244 (220)	24	19
Blocs de béton 8" (suivant densité)	186/283 (275)	25	20
Pierre naturelle (<i>Limestone</i>) 6"	269	26	21
Pierre naturelle (<i>Sandstone</i>) 4"	239	25	20

De façon plus précise, le graphique de la figure N° 4.10.2, montre des résultats similaires, avec des mesures d'isolement normalisées par bandes au tiers d'octave réalisées par l'Institut de recherche en construction du CNRC (*Bradley et Birta, CNRC, 2000*)²². Ce graphique concerne cinq types de murs de façade, avec les parements extérieurs suivants (du plus léger au plus lourd) :

- bardage léger d'aluminium, mur de 19,1 kg/m² (STC-37, OITC-25);
- bardage léger de vinyle, mur de 20 kg/m² (STC-37, OITC-25);
- enduit acrylique 6 mm sur polystyrène expansé, mur de 26,6 kg/m² (STC-38, OITC-27);
- stucco de ciment 9,5 mm, mur de 35,2 kg/m² (STC-40, OITC-29);
- parement de briques de 89 mm, mur de 151 kg/m² (STC-53, OITC-40).

Comme on peut le constater sur ce graphique, seule la brique procure une isolation importante dans les basses fréquences.

Pour l'isolation contre les basses fréquences, ce qui compte principalement c'est la

masse surfacique totale d'un mur de façade, donc l'emploi d'un parement extérieur lourd.

4.10.3 Les murs avec maçonnerie massive

Généralement, les murs de maçonnerie de briques ou de pierres procurent un très bon isolement acoustique. Il faut néanmoins s'assurer de la continuité du matériau, par exemple un parement de pierre d'ingénierie, conçu sans aucun joint de mortier, présente de nombreuses petites ouvertures qui peuvent affecter l'isolement acoustique. De la même manière, un mur de brique qui se termine à son sommet avec un solin de tôle pourra présenter une faiblesse à cet endroit. Pour conserver la pleine efficacité d'un parement de maçonnerie, il est important que tous les joints de mortier soient bien remplis (à l'exception des chantepleures exigées). Également, pour bénéficier de l'espace d'air derrière la maçonnerie, il faut éviter les surplus de mortier susceptibles de créer des liens mécaniques avec le reste de la structure (ou bien de remplir le bas du mur). À moins qu'elles aient une nécessité bien définie pour la ventilation du mur, toutes les ouvertures identifiables doivent être soigneusement scellées avec un produit de calfeutrage acoustique.

Comme le montre la figure N° 4.10.3, avec la construction résidentielle contemporaine, on retrouve beaucoup de discontinuités dans les matériaux de finition extérieure, ce qui peut amener de grandes variations dans l'efficacité acoustique des murs de façade. Un parement de pierre ou de brique peut être interrompu par un revêtement en tôle prépeinte ou par une finition en bois, quand ce n'est pas trois ou quatre matériaux différents. Or la structure, l'isolation thermique et les matériaux intérieurs restent souvent les mêmes en arrière de ces différentes finitions. En ce qui concerne l'isolation contre le bruit extérieur, il importe donc d'éviter les changements de matériaux de finition. En cas de grandes différences, il pourrait être souhaitable de traiter les parties plus légères. Toujours à propos des discontinuités de matériaux, on remarquera également que les lignes de changement verticales ou horizontales, entre les différents parements, peuvent constituer autant de fuites acoustiques possibles.

En cas de discontinuités dans un mur extérieur de maçonnerie, il pourrait être requis de renforcer l'isolement des parties plus légères et le Code de construction exige un calfeutrage des lignes de changement.



Figure N° 4.10.3 : Exemple de discontinuités dans la finition extérieure d'une façade ³³

[Communauté River Oaks d'Oakville, Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, photographie obtenue auprès du Secrétariat des initiatives de croissance de l'Ontario, ministère des affaires municipales, 8 sept. 2014]

4.10.4 Les murs de façade plus légers, enduits ou avec finition extérieure de vinyle, de bois ou de métal

En dehors de la maçonnerie, les finitions extérieures peuvent être constituées de différents matériaux de masses surfaciques très variables : bois, bois d'ingénierie, fibrociment, tôle d'acier, déclin d'aluminium ou de vinyle, stucco acrylique ou cimentaire, etc. Lorsqu'il sera possible, on pourra choisir un matériau de parement équivalent aux plans visuel et esthétique, mais un peu plus lourd. C'est par exemple le cas pour un revêtement de tôle d'acier, pour lequel il existera plusieurs jauges d'épaisseur, quitte à se tourner vers un matériel d'usage industriel (tôle de jauge 24 : masse surfacique $4,8 \text{ kg/m}^2$, tôle de jauge 18 : $9,8 \text{ kg/m}^2$, tôle de jauge 11 : $24,4 \text{ kg/m}^2$). Dans le cas d'un enduit acrylique, on pourra le poser sur un panneau de ciment de 13 mm, plutôt que sur un isolant rigide de polystyrène expansé (masse surfacique passant ainsi de 10 à 32 kg/m^2). On peut également remplacer l'enduit acrylique par un stucco de ciment, de bonne épaisseur, posé sur un treillis de métal déployé et un papier de construction goudronné (18 kg/m^2 pour 10 mm et 46 kg/m^2 pour 25 mm).

S'il n'est pas possible de changer le parement extérieur d'un mur de façade ni d'ajouter de la masse sur la partie extérieure de la structure (ce qui est bien souvent le cas d'un mur existant), le seul moyen pour augmenter l'indice d'isolement acoustique global de ce mur consistera à intervenir du côté intérieur. Tel que déjà mentionné, le traitement le plus efficace consiste à installer des barres résilientes disposées aux 24" (610 mm) sous le gypse intérieur. C'est ce que montre en détail la figure N° 4.10.4 avec, en plus des barres résilientes conventionnelles, un autre dispositif constitué de supports antivibratoires en néoprène vissés directement dans les montants et retenant des fourrures métalliques (plusieurs modèles disponibles). Ensuite, il est possible de doubler la feuille de gypse intérieure, ce qui augmente la masse surfacique totale, en passant ainsi de 8 à 16, même 25 kg/m², suivant l'épaisseur et la nature du gypse utilisé (feuilles de 13 mm, 16 mm ou 16 mm de type X). On peut également ajouter un panneau de fibre de bois de 13 ou 19 mm sous le pare-vapeur (directement sur les montants structuraux). C'est cette disposition qui est illustrée à la partie supérieure de la figure N° 4.10.5, il s'agit dans ce cas-ci d'un panneau de fibres de bois (du type *Soundsmart*, *Enermax*, *Sonopan*, etc.). Tous ces traitements intérieurs à la structure d'un mur de façade complètent les interventions possibles pour augmenter l'isolation acoustique.

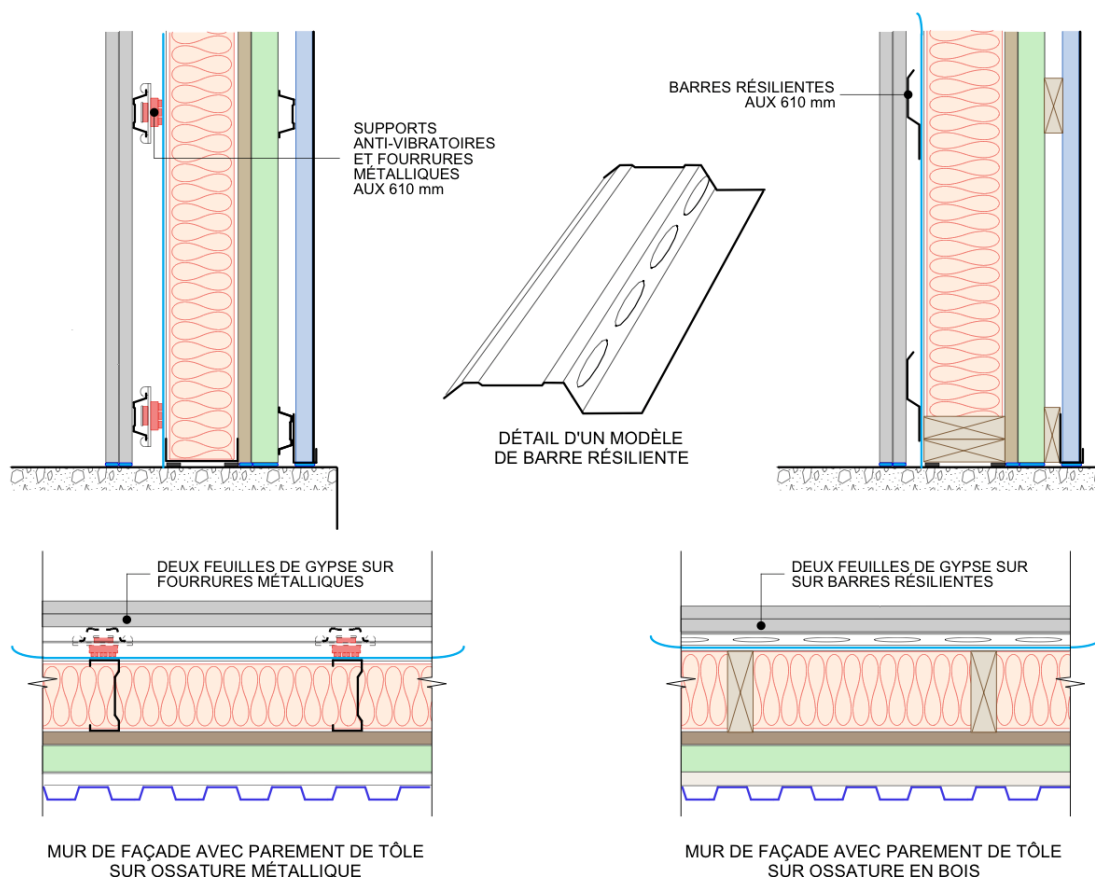


Figure N° 4.10.4 : Usage des barres résilientes ou autre dispositif antivibratoire pour la désolidarisation de la finition intérieure de gypse d'un mur de façade

4.10.5 Traitement acoustique des murs de façade (résumé)

On peut résumer les différentes solutions possibles pour améliorer l'isolation acoustique des murs de façade de la manière suivante (on peut se référer à la figure N° 4.10.5 pour la localisation des différents traitements) :

- Utiliser un parement extérieur lourd en maçonnerie, ou si possible augmenter la masse surfacique du parement choisi (enduit de ciment, tôle plus épaisse, etc.);
- Utiliser une double ossature, en décalant les montants de bois (ou d'acier);
- remplir l'ossature avec des nattes de matériau fibreux plutôt qu'une mousse giclée;
- ajouter un panneau plus lourd, en ciment par exemple, dans les matériaux de base du mur
(de préférence à l'extérieur ou en remplacement du panneau structural de contreplaqué ou de copeaux OSB);
- ajouter un panneau acoustique perforé de fibre de bois de 19 mm du côté intérieur de la structure (placé sous le pare-vapeur);
- désolidariser la feuille de gypse intérieure à l'aide d'une barre résiliente (ou à l'aide d'un dispositif antivibratoire approprié avec fourrures métalliques) aux 610 mm;
- remplacer la feuille de gypse intérieure de 13 mm par une feuille de 16 mm résistante au feu (de type X un peu plus lourde);
- et finalement, ajouter une seconde feuille de gypse de 16 mm du côté intérieur.

On notera, à ce propos, que la barre résiliente (ou le dispositif mécanique d'isolation) ne devrait pas être installée entre les deux feuilles de gypse ou entre un panneau de ciment et une feuille de gypse (à cause d'une possible résonance masse-air-masse). D'autre part, il serait souhaitable de tirer sommairement les joints de la première couche de gypse avant d'installer la seconde couche (en croisant les joints des feuilles).

Lorsqu'on ne peut augmenter aisément la masse surfacique du parement extérieur d'un mur de façade, il sera toujours possible de renforcer son isolation acoustique, notamment en ajoutant des barres résilientes et en doublant la feuille de gypse intérieur (voir également les autres solutions).

On remarquera, finalement, que plusieurs des dispositions acoustiques proposées pourront également renforcer l'isolation thermique des murs ainsi traités. De même, le tableau N° 5.7, en annexe, donne les indices d'isolement STC et OITC de nombreux modèles de murs de façade.

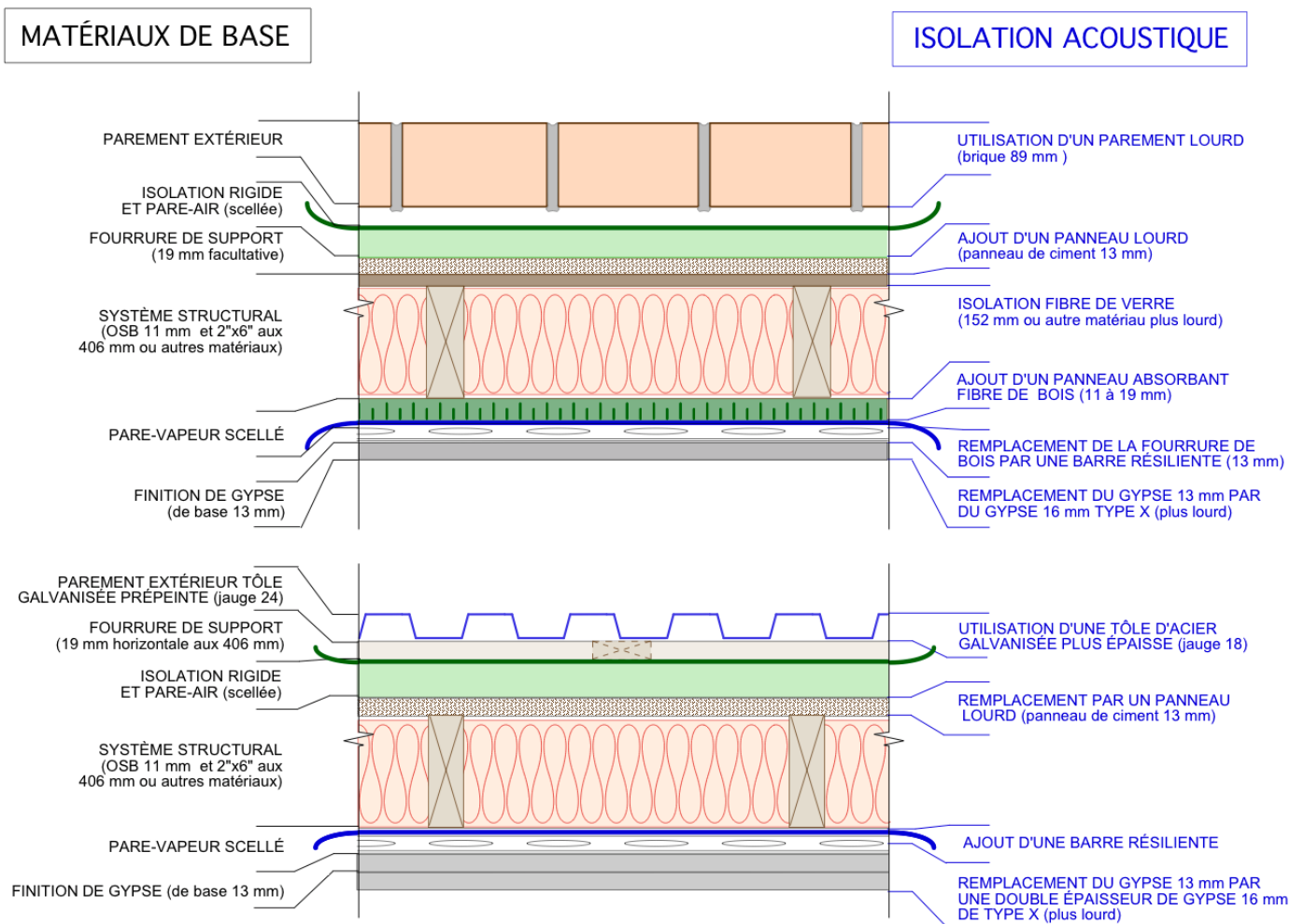


Figure N° 4.10.5 : Localisation des interventions possibles pour améliorer l'isolation d'un mur de façade

4.10.6 Traitement possible dans le cas particulier d'un porte-à-faux

Pour en terminer avec les traitements acoustiques possibles pour les façades dans la construction résidentielle, il faut en dernier lieu mentionner les planchers en porte-à-faux vers l'extérieur. Comme le montre la figure N° 4.6.10, cette disposition architecturale peut provoquer une faiblesse acoustique importante (une faiblesse thermique également), éventuellement combinée avec des conductions indirectes, surtout si la surface extérieure exposée sous le plancher est grande. Le seul traitement acoustique possible consiste à augmenter la masse, tant sur l'extrémité des solives que sous le porte-à-faux du plancher (avec un panneau de ciment lourd par exemple). Si la surface du porte-à-faux est très grande, il faudra prévoir, sous le panneau OSB assurant la fermeture des solives ou des poutrelles, une structure légère (par exemple, 2" x 3" aux 406 mm, perpendiculaire aux solives en dépassement, pour pouvoir installer les panneaux de ciment, l'isolation thermique, le pare-air et la finition extérieure (fermée) avec des fourrures de support. Il sera aussi possible d'ajouter un coussin de laine minérale à haute densité entre les 2" x 3".

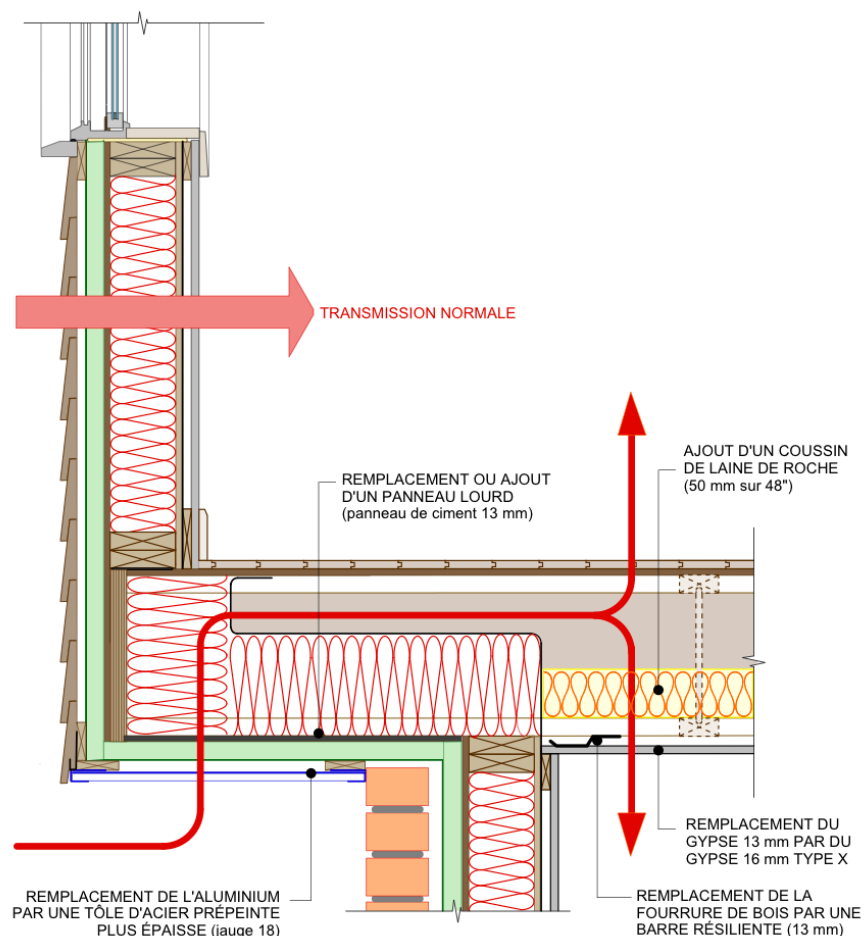
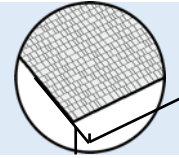


Figure N° 4.10.6 : Traitement acoustique particulier pour l'isolation d'un porte-à-faux

4.11 Traitement acoustique des toitures



La toiture peut être un point faible de l'enveloppe globale d'un bâtiment résidentiel soumis à l'impact du bruit, que ce soit dans un quartier résidentiel très achalandé ou bien dans le voisinage d'un aéroport. Des résidences sont même soumises à ces deux impacts en même temps, par exemple lorsqu'elles se trouvent à la fois sous un corridor aérien et voisines d'une autoroute. Dans le cas des tours d'habitation en milieu urbain, leur hauteur protège les toitures du bruit de la circulation automobile, mais il reste encore le trafic aérien et aussi bien souvent, la présence de plusieurs gros équipements de ventilation ou de climatisation.

4.11.1 Les toitures avec charpente

La finition extérieure d'un toit avec une charpente en bois peut être constituée de différents matériaux assez usuels : contreplaqué ou panneau de copeaux OSB, de 11 à 13 mm, membrane autocollante ou papier asphalté, bardeaux de toiture en asphalte ou plus rarement en acier ou en cèdre, tôle d'acier prépeinte ou tôle galvanisée et plus rarement, tôle de cuivre. Les ardoises et les tuiles mécaniques de terre cuite ne sont pas utilisées au Québec. Jusqu'au vide entre les fermes de la charpente (généralement préfabriquées), la composition de la toiture est assez constante et sa masse surfacique également. On peut compter environ 12 kg/m^2 , ou un peu plus, dépendant des matériaux de revêtement. Le problème avec ce type de couverture c'est qu'elle comporte généralement de nombreuses ouvertures vers l'extérieur, avec la ventilation des avant-toits et la présence d'aérateur(s) en partie supérieure (pour éviter de réchauffer la toiture, tant en été qu'en hiver). L'isolation acoustique s'en trouve compromise, il reste donc seulement le plafond pour s'opposer sérieusement à la pénétration du bruit.

Comme le montre la figure N° 4.11.1, le plafond sous un toit avec charpente comporte une ossature composée des entrants inférieurs des fermes (2" x 4" ou 2" x 6" pour les grandes portées). Les entrants sont généralement distants de 24" (610 mm) et remplis du matériel isolant thermique : laine en nattes, fibre de verre en vrac ou cellulose avec une valeur isolante thermique de RSI 7.2 (ou R-41, soit environ 11" d'épaisseur pour la cellulose et 14" pour la fibre de verre soufflée). En écartant les fuites dans la charpente, pour un tel ensemble de toiture avec des bardeaux d'asphalte sur contreplaqué ou panneau de copeaux OSB, fermes préfabriquées et plafond fini avec coupe-vapeur et une feuille de gypse de 13 mm, l'isolement acoustique devrait théoriquement atteindre un indice de STC-40.

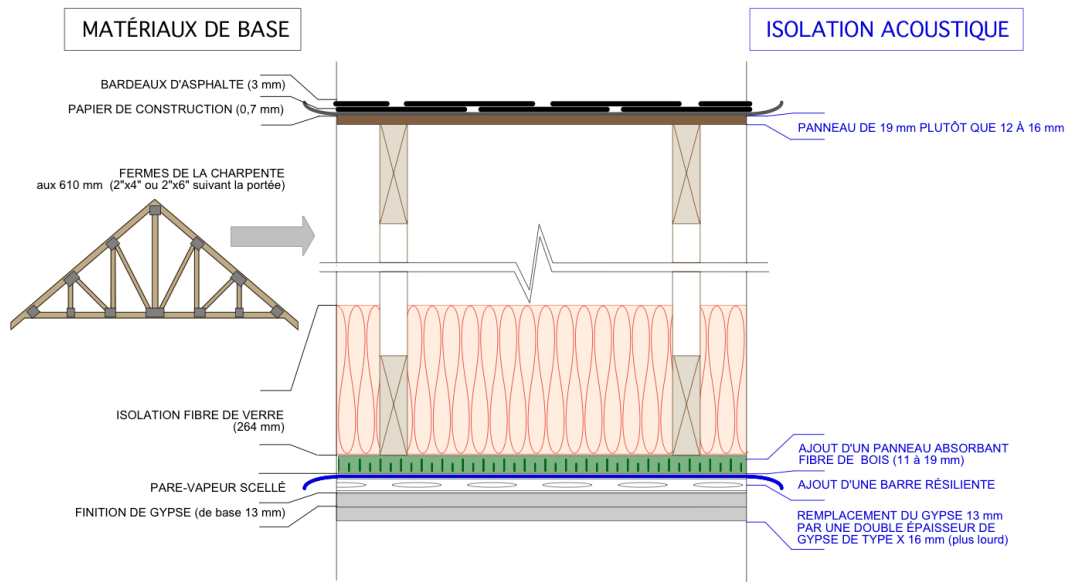


Figure N° 4.11.1 : Localisation des interventions possibles pour améliorer l'isolation d'une toiture sur charpente

Pour améliorer cette performance, il est très difficile d'intervenir sur le toit lui-même, de plus il n'est pas possible de fermer les avant-toits. On peut au mieux installer un silencieux simplifié sous les événements de toiture (voir figure N° 4.12 b). Mis à part l'ajout d'une couche de matériel isolant, il n'est guère possible de travailler dans les fermes. Les interventions acoustiques seront donc surtout faites du côté du plafond, elles consisteront par exemple à :

- Substituer le panneau de bois en toiture (contreplaqué ou panneau de copeaux OSB) par un modèle plus épais de 19 mm par exemple;
- ajouter un panneau acoustique de fibre de bois d'environ 19 mm (perforé ou non) directement sous les entrants des fermes préfabriquées (placé sous le pare-vapeur);
- de la même manière, ajouter un panneau plus lourd, en ciment par exemple;
- désolidariser le panneau de gypse du plafond à l'aide d'une barre résiliente ou à l'aide de suspentes antivibratoires avec fourrures métalliques aux 610 mm;
- remplacer la feuille de gypse du plafond de 13 mm par une feuille de 16 mm résistante au feu (de type X, un peu plus lourd);
- et finalement, ajouter une seconde feuille de gypse de 16 mm.

On notera à ce propos que la barre résiliente (ou le dispositif mécanique d'isolation) ne devrait pas être installée entre les deux feuilles de gypse ni entre un panneau de ciment et une feuille de gypse (à cause d'une possible résonance masse-air-masse). D'autre part, il serait souhaitable de tirer sommairement les joints de la première couche de gypse avant d'installer la seconde couche (en croisant les joints des feuilles).

Il est toujours possible de renforcer l'isolation acoustique d'une toiture avec charpente, notamment en ajoutant des barres résilientes et en doublant la feuille de gypse intérieur (voir également les autres solutions).

La figure N° 4.11.1 montre à ce sujet quelques dispositions visant à renforcer l'isolation acoustique d'une toiture avec charpente. On notera que plusieurs de ces dispositions conviendront également pour renforcer l'isolation thermique. Finalement, le tableau N° 5.9, en annexe, donne les indices d'isolement STC et OITC de plusieurs modèles de toitures sur charpente.

4.11.2 Les toitures plates ou de type cathédrale

Les toitures plates sont beaucoup plus variées en fonction du système structural ou d'un éventuel accès à la toiture (terrasse, jardin, etc.). La structure peut être en bois, avec solives ordinaires ou d'ingénierie, en acier, avec poutrelles et pontage d'acier, avec ou sans béton, et finalement, complètement en béton. On peut mentionner à ce sujet que les toitures en béton, du fait de leur masse, présentent déjà une bonne isolation contre le bruit extérieur : une couche de béton d'au minimum 3" (75 mm) représente déjà une masse surfacique de 180 kg/m². Les toitures en bois, sur solives ou sur poutrelles préfabriquées, sont plus légères, donc un peu moins efficaces sur le plan acoustique. Il faut néanmoins considérer que les matériaux d'étanchéité, souvent combinés avec l'isolation thermique, représentent un poids non négligeable, plus élevé notamment que celui des bardeaux d'asphalte ordinaires. Par exemple, une couche de gravier est souvent utilisée pour stabiliser et sécuriser l'étanchéité ainsi que l'ensemble du platelage isolant. L'accès à la toiture peut également augmenter la masse totale requise, avec l'ajout de matériaux de protection, un surplus de substrat, ou même des bacs de terre pour les projets de toiture verte. Comme le montre la figure N° 4.11.2 a, les toits-terrasses avec dalles de ciment ou les toits verts constituent bien évidemment une excellente solution pour des constructions neuves placées sous un corridor aérien.



Figure N° 4.11.2 a : Exemple de toit-terrasse et de toit vert ³⁴
[par TonyTheTiger, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5236408>]

Dans ce qui suit, on développera plutôt les corrections acoustiques envisageables pour les toitures plates légères, sur ossature de bois ou sur poutrelles d'acier sans dalle de béton. Comme pour les toitures à charpente, ces solutions ne tiennent pas compte d'un traitement potentiel du côté extérieur. Ce dernier serait néanmoins possible, en ajoutant par exemple des panneaux de ciment sous l'isolation et la multicouche d'étanchéité. La plupart des interventions devraient donc être faites du côté du plafond, elles pourraient consister à :

- Ajouter un panneau plus lourd, en ciment par exemple, sur le contreplaqué ou le panneau de copeaux (OSB) extérieur;
- ajouter des nattes de fibre de verre ou de roche entre les solives ou les poutrelles (l'isolation thermique rigide restant du côté extérieur);
- ajouter un panneau acoustique de fibre de bois d'environ 19 mm directement sous les solives de bois (placé sous le pare-vapeur, pas recommandé pour des poutrelles d'acier);
- installer des suspentes antivibratoires, avec isolateurs en néoprène ou avec ressorts;
- installer des fourrures métalliques aux 610 mm, directement sur les isolateurs ou sur des barres en « C » (avec ressorts au 1,22 m ou 48" par exemple);
- ajouter des nattes de fibre de verre ou de roche sur les fourrures métalliques (si l'espace le permet);
- désolidariser la feuille de gypse du plafond à l'aide d'une barre résiliente;
- remplacer la feuille de gypse du plafond de 13 mm par une feuille de 16 mm résistante au feu de type X (un peu plus lourde) ;
- et finalement, ajouter une seconde feuille de gypse de 16 mm.

On rappellera à ce propos que la barre résiliente ne devrait pas être installée entre les deux feuilles de gypse (à cause d'une possible résonance masse-air-masse). D'autre part, il serait souhaitable de tirer sommairement les joints de la première couche de gypse avant d'installer la seconde couche (en croisant les joints des feuilles).

Il est toujours possible de renforcer l'isolation acoustique d'une toiture plate, notamment en ajoutant des suspentes résilientes et en doublant la feuille de gypse intérieur (voir également les autres solutions).

La figure N° 4.11.2 b montre à ce sujet quelques dispositions visant à renforcer l'isolation acoustique d'une toiture plate sur solives de bois ou poutrelles d'acier. On notera que plusieurs de ces dispositions conviendront également pour renforcer l'isolation thermique. Finalement, le tableau N° 5.8, en annexe, donne les indices d'isolement STC et OITC de plusieurs modèles de toitures plates ou cathédrale.

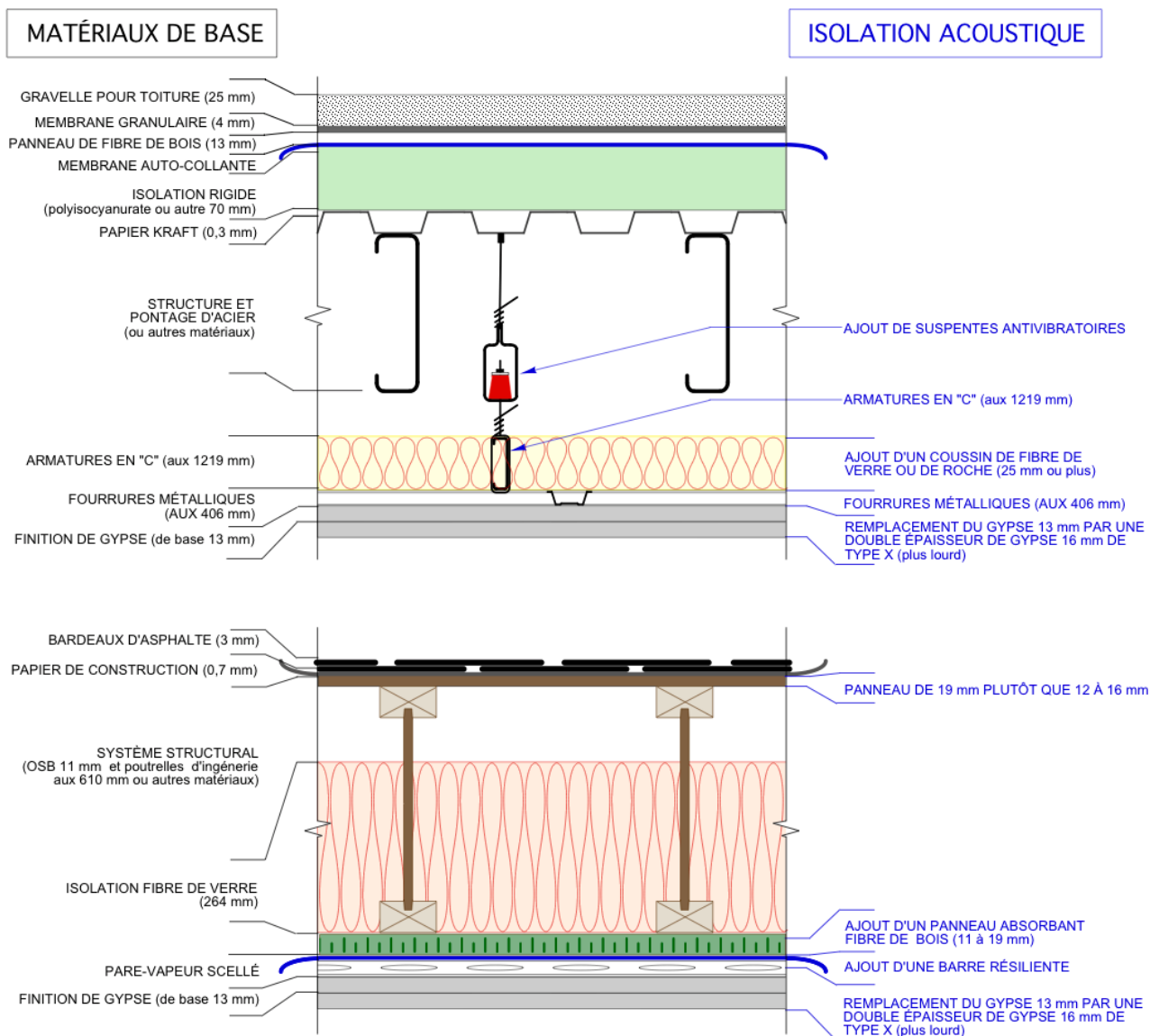
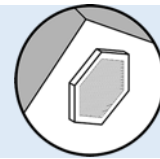


Figure N° 4.11.2 b : Localisation des interventions possibles pour améliorer l'isolation d'une toiture plate ou cathédrale

4.12 Le traitement des différentes ouvertures pour éviter la pénétration du bruit



Il existe un grand nombre d'ouvertures dans l'enveloppe extérieure d'une unité d'habitation moderne, elles sont liées aux diverses obligations du Code de construction et aux nombreux équipements mécaniques associés. On peut évoquer quelques-unes de ces ouvertures de la manière suivante :

- Les ouvertures d'aération des toitures pour les sections non chauffées;
- les conduits d'entrée et de sortie d'air d'un échangeur d'air ou d'un récupérateur de chaleur;
- l'entrée d'air frais d'un système central de chauffage/ventilation/climatisation;
- l'entrée d'air frais d'un foyer intégré;
- le conduit d'évacuation d'une cheminée;
- la sortie d'air d'une hotte de cuisine;
- les sorties d'air des salles de bain et des toilettes (si indépendantes de l'échangeur d'air);
- la sortie d'air d'une sècheuse;
- l'évent du système de plomberie pour les conduites d'eaux usées;
- et toutes les sorties d'air additionnelles (bain-tourbillon, piscine, solarium, événements, etc.);

Beaucoup de ces ouvertures doivent être installées dans les murs, d'autres sortent en toiture ou bien dans les avant-toits (voir localisations sur la figure N° 4.12 a). La plupart des conduits correspondants doivent être traités pour les pertes de chaleur ou pour éviter la condensation. À ce sujet, certains sont recouverts intérieurement ou extérieurement d'un coussin de laine minérale et beaucoup comportent des volets de fermeture, qui se referment généralement lorsque le flux d'air est interrompu. Du point de vue de l'isolation acoustique, c'est surtout à l'arrêt ou encore lorsque l'air pénètre dans le conduit que le bruit extérieur peut se faire entendre. La longueur du conduit peut jouer un rôle d'atténuation, surtout s'il est traité avec un isolant thermique. Au contraire, lorsque la distance est courte entre la bouche d'air et l'intérieur du logement, le bruit extérieur peut pénétrer aisément. Par exemple, le conduit de sècheuse, qui traverse directement un élément de façade, peut conduire le bruit lorsque la machine est arrêtée. La présence de coudes (jusqu'à atteindre la longueur maximale de conduit équivalente) réduit de façon notable la pénétration du bruit et surtout un revêtement intérieur insonorisant. Au contraire, un conduit de cheminée de large section qui monte directement au toit pourra laisser entendre les bruits de circulation incluant les passages d'aéronefs, de même que les coups de vent.

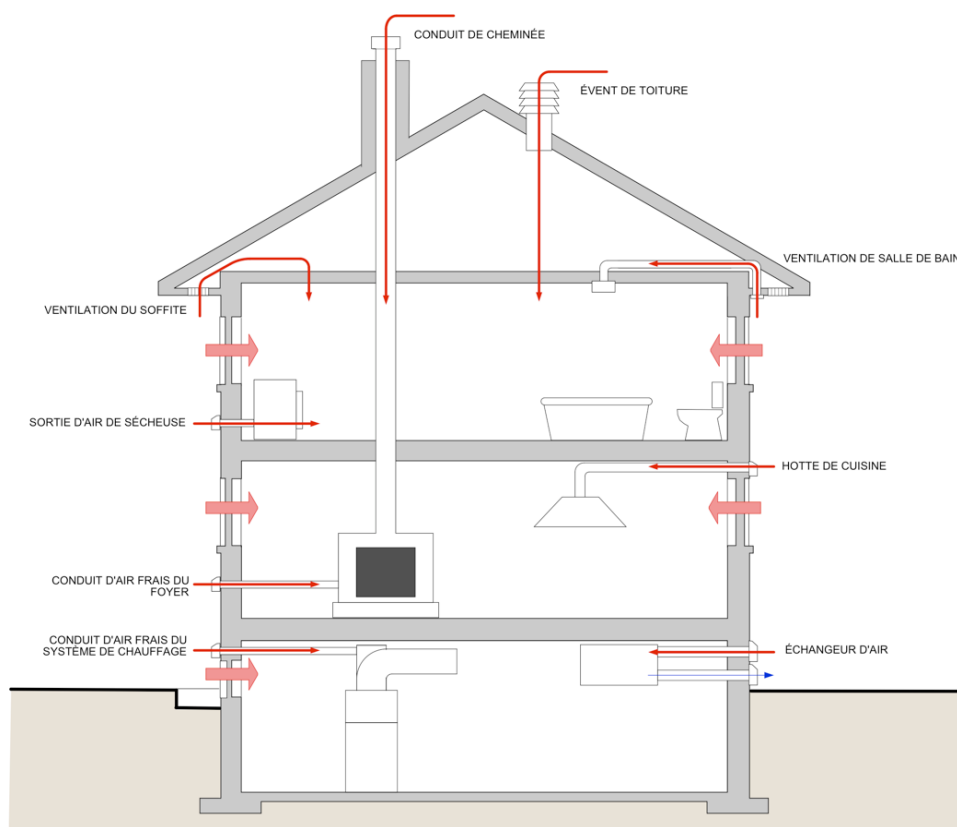


Figure N° 4.12 a : Les différentes ouvertures généralement présentes dans les murs et la toiture d'une habitation unifamiliale

La figure N° 4.12 b montre des exemples de traitements acoustiques pour les événements de toiture ou les entrées d'air dans les avant-toits. Cette figure montre également un traitement possible pour un conduit de sècheuse avec une traversée directe vers l'extérieur (lorsque la sècheuse est placée le long d'un mur de façade), ainsi qu'un traitement acoustique pour divers conduits techniques reliés vers l'extérieur, ronds ou rectangulaires. De façon générale, le traitement insonorisant de l'intérieur de tous les conduits de ventilation en tôle galvanisée pliée peut se faire à l'aide d'un coussin de fibre de verre, généralement de 25 mm d'épaisseur, recouvert d'un revêtement néoprène ou autre (précaution requise pour éviter l'accumulation de charpies dans les conduits de sècheuse insonorisés). On notera que ce dernier exemple peut également s'appliquer à la prise d'air frais d'un système central de chauffage / ventilation / climatisation. En plus de ces entrées possibles du bruit extérieur, il faut mentionner les conductions aériennes éventuelles à l'intérieur même de la façade ou les faiblesses acoustiques comme les conduits de plomberie (surtout les événements), les entrées ou les boîtes électriques, etc. Enfin, tous les calfeutrages peuvent constituer des faiblesses pour le bruit, ils doivent être soigneusement réalisés, cadrages des portes ou des fenêtres, raccords des murs et des planchers, tours des conduits de ventilation ou des tuyaux, boîtes électriques, etc. Les exigences thermiques tendent néanmoins à réduire ces problèmes, les fuites d'air sont souvent pourchassées et même vérifiées par mesurage par les entrepreneurs consciencieux.

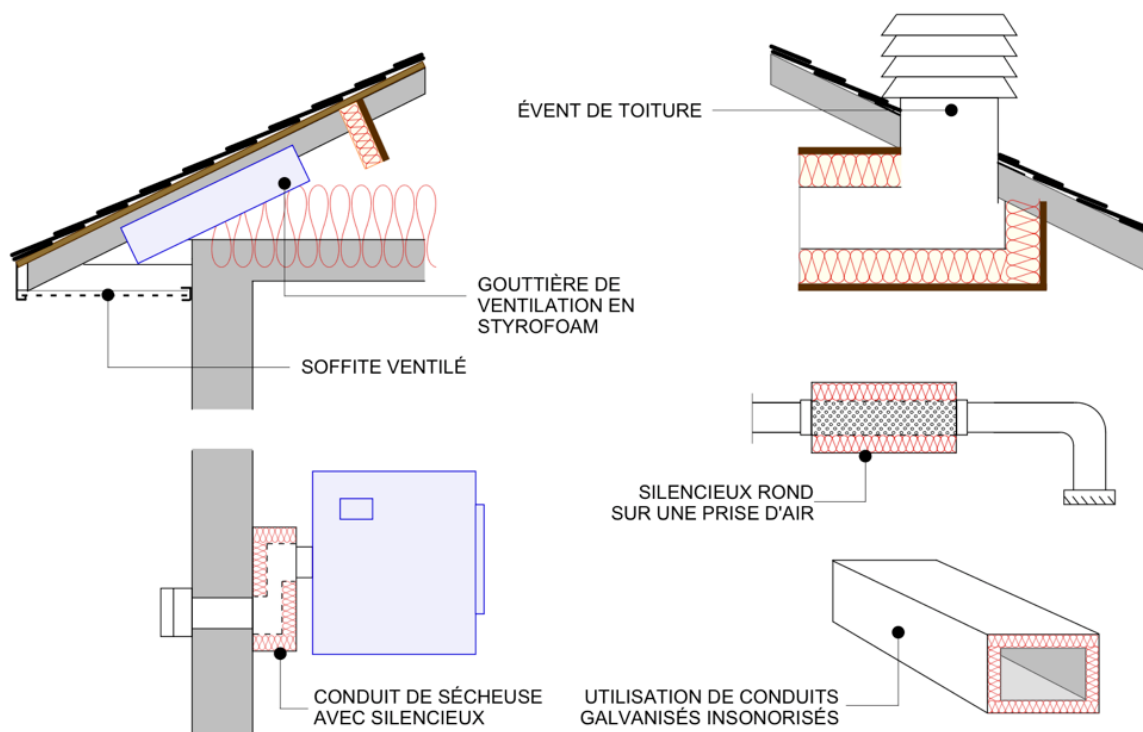


Figure N° 4.12 b : Traitement des différentes ouvertures pour éviter la pénétration du bruit

PARTIE 5 — ANNEXES

5.1 Rappel des indices utilisés pour la mesure des bruits fluctuants



Pour l'analyse dynamique des niveaux de bruit fluctuant, tels que ceux produits par la circulation automobile, c'est-à-dire l'analyse des variations des niveaux de pression acoustique en fonction du temps, on utilise généralement le dBA. Ceci signifie qu'on introduit en permanence dans la mesure du niveau global de bruit la courbe de pondération « A », courbe qui correspond approximativement à la sensibilité de l'oreille humaine aux différentes fréquences du domaine audible ³⁵.

5.1.1 Indices statistiques de bruit

Pour une période de mesure déterminée, on peut employer tout d'abord l'analyse statistique en centiles des niveaux de bruit mesurés selon un intervalle d'acquisition donné (par exemple une mesure aux 125 ms). Il en résulte les niveaux statistiques dits en $L_n\%$ dont les principaux sont les suivants :

- **L_{max}** niveau maximum pendant la période de mesure;
- **$L_{1\%}$** niveau de bruit de pointe (*atteint ou dépassé pendant 1 % du temps*);
- **$L_{10\%}$** niveau atteint ou dépassé pendant 10 % du temps;
- **$L_{50\%}$** niveau de bruit médian ou moyen (*atteint ou dépassé pendant 50 % du temps*);
- **$L_{90\%}$** niveau atteint ou dépassé pendant 90 % du temps;
- **$L_{95\%}$ ou $L_{99\%}$** niveau de bruit de fond considéré dans différents règlements de bruit (*atteint ou dépassé pendant 95 % ou 99 % du temps*);
- **L_{min}** niveau minimum pendant la période de mesure.

La figure N° 5.1.1 montre de façon graphique la position de ces différents indices pour un même bruit fluctuant d'une durée de 15 min.

5.1.2 Indices énergétiques de bruit

La seconde approche consiste en une intégration des niveaux de pression pour la période de temps considérée, il s'agit du niveau continu équivalent (énergétiquement équivalent dans le temps). Le niveau continu équivalent Leq est l'indice le plus utilisé pour les études de bruit environnemental. Il peut être établi sur une courte période, d'une minute par exemple, ou bien sur une journée complète de 24 heures. Pour une durée de mesure déterminée (du temps t_1 au temps t_2), le niveau continu équivalent Leq correspond à la valeur moyenne du bruit ambiant à partir de l'échantillonnage temporel de niveaux de pression acoustique $L(t)$. On l'obtient donc à partir de la formule suivante :

dB(A)

$$Leq = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} 10^{(L(t)/10)} dt \right] \quad \text{Éq. 2}$$

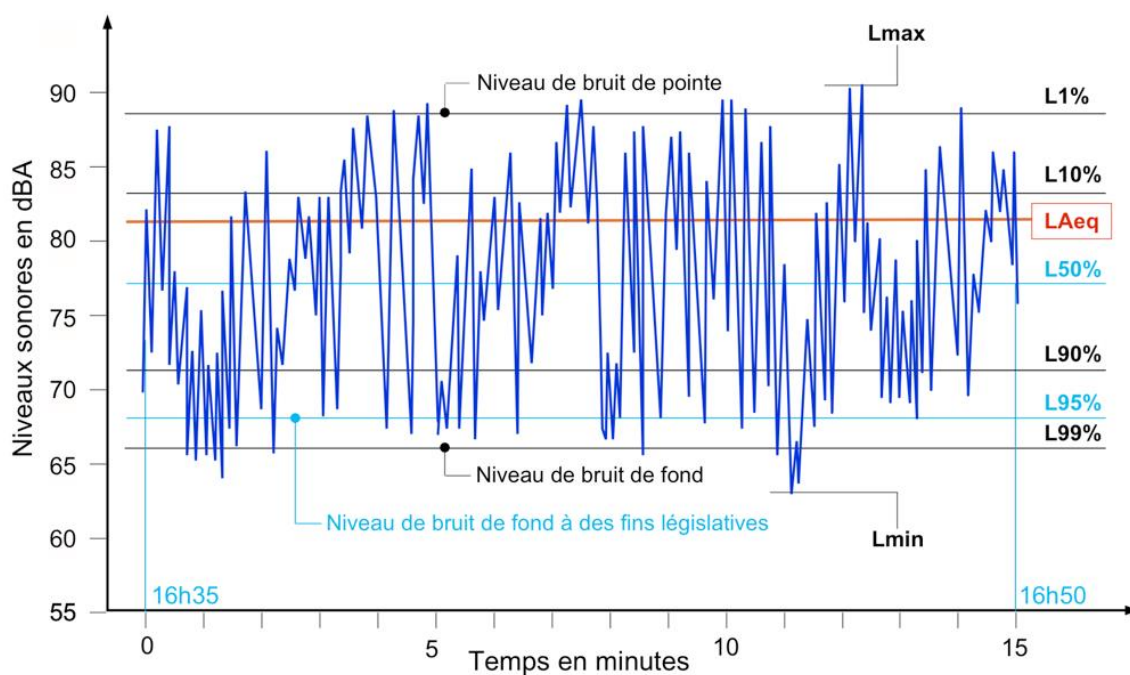


Figure N° 5.1.2 : Analyse dynamique d'un bruit fluctuant et principaux indices statistiques de niveau de bruit

On notera que tous les précédents indices, même s'ils sont généralement compilés en dBA, peuvent être également analysés dans les différentes bandes d'octave. Lorsque le niveau continu équivalent est compilé en dBA, on peut l'appeler simplement LAeq.

Les autres indices de bruit communautaire associés au niveau équivalent en dBA sont les suivants :

- **LAeq 24h** niveau continu équivalent mesuré sur une période de 24 heures;
- **LAeq jour** niveau continu équivalent mesuré sur une période de 12 à 16 heures (*en incluant ou pas une partie de la soirée*);
- **LAeq soir** niveau continu équivalent mesuré sur une période de 3 à 4 heures (*soit de 19 h à 22 h ou 23 h*);
- **LAeq nuit** niveau continu équivalent mesuré sur une période de 6 à 12 heures (*dépendamment de la considération spécifique de la soirée*);
- **L_{dn}** niveau continu équivalent de 24 heures pondéré selon deux périodes distinctes, correspondant à la somme quadratique de LAeq jour et LAeq nuit avec une pondération de +10 dBA pour la nuit :

$$L_{dn} = 10 \log_{10} \frac{1}{24} \left[15 \times 10^{(LAeq_{jour}/10)} + 9 \times 10^{((LAeq_{nuit}+10)/10)} \right] \quad \text{Éq. 3}$$

- **L_{den}** niveau continu équivalent de 24 heures pondéré selon trois périodes distinctes, il s'agit de la somme quadratique de LAeq jour, LAeq soir et LAeq nuit, avec des pondérations respectives de +5 et +10 dBA pour la soirée et pour la nuit :

$$L_{den} = 10 \log_{10} \frac{1}{24} \left[12 \times 10^{(LAeq_{jour}/10)} + 4 \times 10^{((LAeq_{soir}+5)/10)} + 8 \times 10^{((LAeq_{nuit}+10)/10)} \right] \quad \text{Éq. 4}$$

Relativement aux plages horaires applicables à ces termes, les définitions peuvent changer d'une norme à l'autre. Communément, le jour couvre l'intervalle de 7 h à 19 h, le soir, de 19 h à 23 h, puis la nuit entre 23 h et 7 h, comme dans la répartition utilisée dans le calcul du L_{den} à la dernière équation. Il convient donc de s'assurer si une exigence réglementaire comporte ou pas de critères liés aux périodes du jour. Certaines villes peuvent donc déterminer que la période de nuit s'étend entre 22 h et 6 h afin de mieux protéger les heures dédiées au sommeil pour les habitudes rencontrées sur leur territoire, tandis que le MELCC divise une journée en deux segments de 12 heures.

5.1.3 Addition ou soustraction de niveaux équivalents

Lorsque deux sources de bruit, de niveaux $LAeq\ 1$ et $LAeq\ 2$, viennent s'ajouter pendant une même période et en un même point d'impact, on peut obtenir le niveau équivalent total de la manière suivante :

$$LAeq_{tot} = 10 \log_{10} [10^{(LAeq_1/10)} + 10^{(LAeq_2/10)}]$$

Éq. 5

On peut également enlever la contribution d'une source émettant en même temps qu'une autre et mesurée au même point d'écoute (*donc de durées similaires*). C'est cette relation qu'on peut utiliser à propos d'un bruit perturbateur et de son « émergence », cette dernière étant la différence arithmétique entre les bruits ambiant et résiduel.

$$\text{Émergence en } dB(A) = LAeq_{ambiant} - LAeq_{résiduel}$$

Éq. 6

$$LAeq_{perturbateur} = 10 \log_{10} [10^{(LAeq\ ambiant/10)} - 10^{(LAeq\ résiduel/10)}]$$

Éq. 7

S'il était possible d'interrompre le bruit résiduel, le résultat de cette dernière différence correspondrait au bruit perturbateur seul, tel que mesuré au point d'impact. On peut par ailleurs ajouter que le terme « bruit particulier » est équivalent, comme dans les définitions du MELCC et l'équation 14 (Ni 98-01 ⁹).

Finalement, lorsque des sources de bruit ont été mesurées pendant des périodes distinctes, mais en un même point d'impact, on peut obtenir le niveau équivalent total, en tenant compte de leurs durées respectives, de la manière suivante :

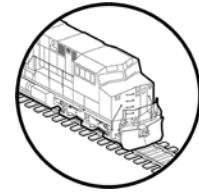
$$LAeq_{tot} = 10 \log_{10} \frac{1}{T_{tot}} \left[t_1 \times 10^{\left(\frac{LAeq_1}{10}\right)} + t_2 \times 10^{\left(\frac{LAeq_2}{10}\right)} \dots + t_n \times 10^{\left(\frac{LAeq_n}{10}\right)} \right]$$

Éq. 8

Équation dans laquelle les durées respectives des périodes de niveaux $LAeq_1$, $LAeq_2$ et $LAeq_n$ sont t_1 , t_2 et t_n (avec $T_{tot} = t_1 + t_2 + \dots + t_n$).

5.1.4 Indices événementiels de bruit pour les trains

Pour un événement limité dans le temps, comme un passage de train, on peut utiliser le niveau d'exposition au bruit ou l'indice SEL (*Sound Exposure Level* ou *Single Event Level*). Pour cet indice, on doit considérer l'intégration du bruit mesuré uniquement dans la période de passage limitée à -10 dB du maximum (soit entre les instants $t_{début}$ et t_{fin}). La formulation de cet indice est la suivante :



$$SEL = 10 \log_{10} \left[\int_{t_{début}}^{t_{fin}} 10^{(L(t)/10)} dt \right]$$

Éq. 9

Elle correspond à une source d'énergie totale équivalente, mais d'une durée de 1 s. Ainsi, il est possible de cumuler simplement N événements identiques sur une période totale T_{total} en secondes, suivant la relation :

$$Leq_{total} = SEL + 10 \log_{10}(N) - 10 \log_{10}(T_{total})$$

Éq. 10

Toujours pour le bruit des trains, la norme ISO-3095 ³⁶ a défini un nouveau paramètre, soit le niveau sonore de transit avec l'indice TEL (*Transit Exposure Level*), ainsi que le niveau $LAeq T_p$, soit le niveau continu équivalent pendant le temps de passage T_p , ce dernier temps correspondant à la longueur du train divisée par la vitesse. Comme le montre la figure N° 5.1.4, la période de mesure totale T correspond à -10 dBA du niveau $LAeq T_p$. Finalement, l'indice TEL peut être obtenu à l'aide de la relation :

$$TEL = LAeq T + 10 \log_{10} \left(\frac{T}{T_p} \right) \quad \text{Éq. 11}$$

On notera que cet indice n'est pas énergétique comme le SEL, le niveau d'un train selon l'indice TEL ne croîtra pas avec sa longueur, alors qu'avec l'indice SEL, le niveau grimpera de 3 dBA lorsque la longueur du train doublera.

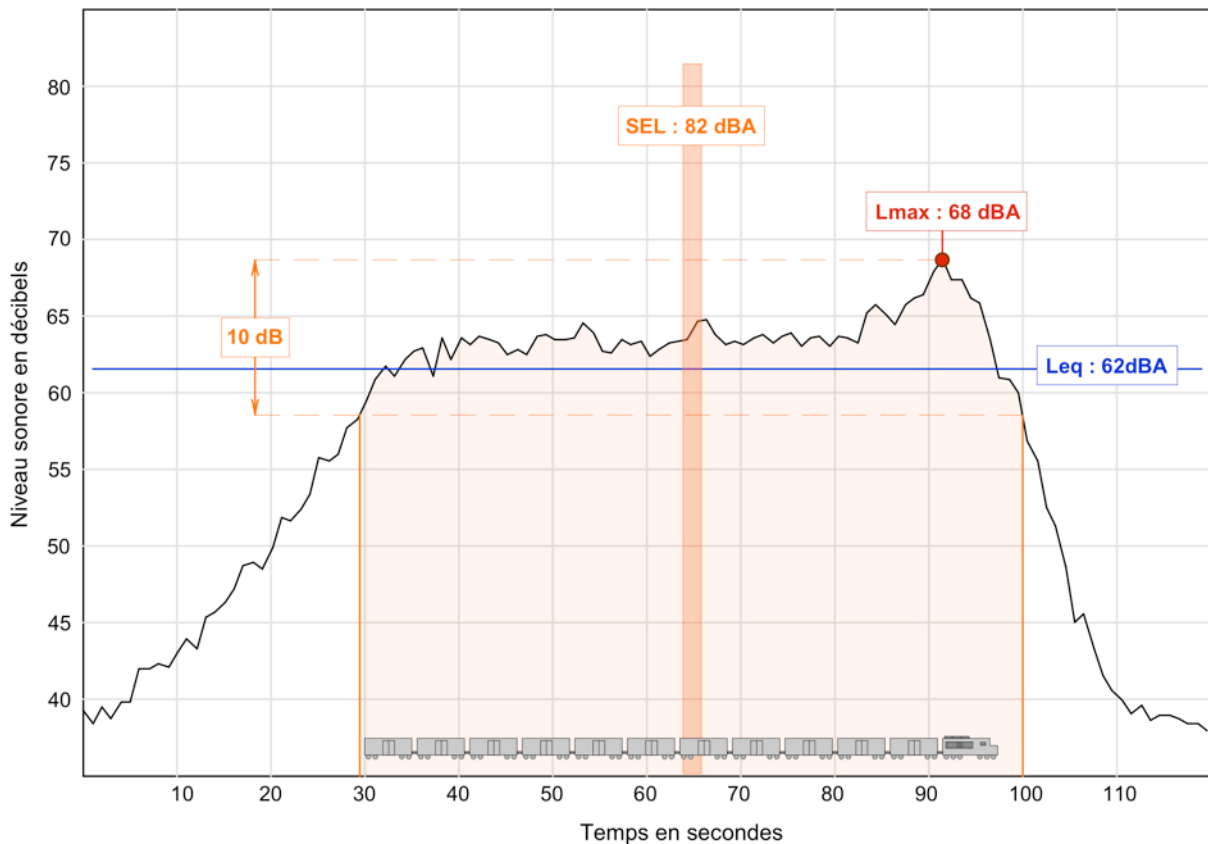


Figure N° 5.1.4 : Détermination de l'indice événementiel de bruit pour le passage d'un train

5.1.5 Indices événementiels de bruit pour les aéronefs et zones réservées

Pour l'évaluation des survols d'avions en Amérique du Nord, on utilise comme unité de niveau de bruit le EPNL (*Effective Perceived Noise Level*). Cet indice résulte des niveaux mesurés à toutes les 0,5 s à l'aide du PNdB, puis il est corrigé en fonction du temps de perturbation et des composantes tonales des différents aéronefs. Le PNdB (*Perceived Noise Decibel*) est une unité qui tient compte de l'effet de la composition spectrale sur l'oreille humaine (de façon plus précise que le dBA, conformément à la sonie de Stevens et à l'ancienne norme ISO-R507). Comme le montre la figure N° 5.1.5, une correction de durée limite l'intégration des valeurs mesurées pendant un passage d'avion à la période comprise entre les deux instants t_1 et t_2 correspondant à -10 dB du niveau maximum PNdBmax, et la rapporte à une durée de référence T_o égale à 10 s (OACI, 1971). Ce qui donne finalement la relation :



$$EPNL = PNL_{max} + 10 \log_{10} \left[\frac{(t_2 - t_1)}{2T_o} \right] + F \quad \text{Éq. 12}$$

Dans laquelle F est une correction tonale suivant le type d'appareil et T_o le temps de référence de 10 s. Pour toutes les opérations de vols autour d'un aéroport, on doit utiliser l'indice NEF (*Noise Exposure Forecast*). Cet indice permet de cumuler l'impact du bruit des aéronefs, en une journée et en un point donné du territoire. Il peut être obtenu selon la relation :

$$NEF = EPNL + 10 \log_{10}(N_d + 16,7 \times N_n) - 88 \quad \text{Éq. 13}$$

Dans laquelle N_d est le nombre de survols le jour et N_n le nombre de survols de nuit, la période de nuit étant fixée par exemple de 22 h à 7 h. C'est cet indice NEF qui est utilisé pour établir les cartes de bruit admissible autour des aéroports canadiens.

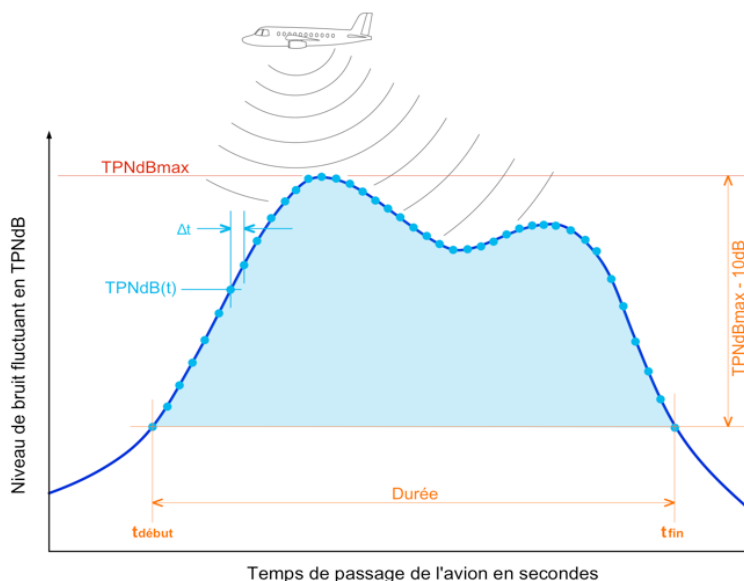


Figure N° 5.1.5 a : Détermination de l'indice événementiel de bruit pour le passage d'un aéronef

À titre indicatif, la figure N° 5.1.6 (à la prochaine section) montre un exemple de cartographie des niveaux NEF valable pour l'interprétation de l'exposition des bâtiments d'habitation par la SCHL.

Complémentairement au résumé présenté en section 2.1.4, on suggère par ailleurs de se référer à la publication de Transports Canada⁶ pour mieux comprendre les restrictions en vigueur. Le document définit de manière générale les contraintes applicables à l'utilisation des terrains au voisinage des aéroports, comme le reprend la figure N° 5.1.4 b pour l'identification des zones réservées.

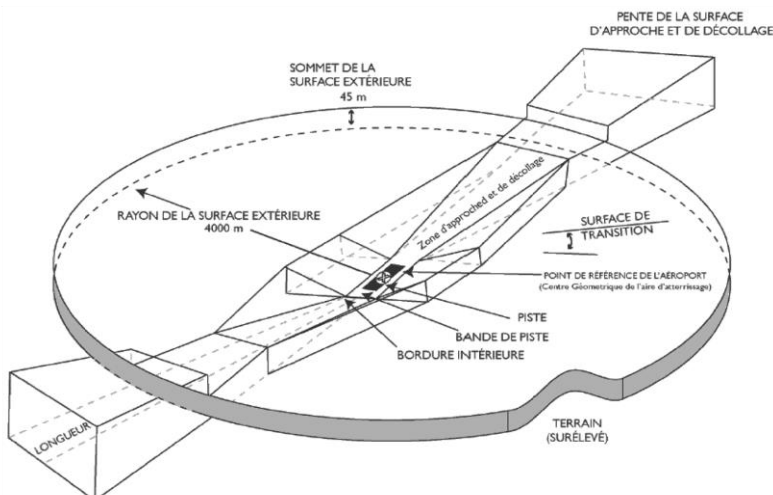


Figure N° 5.1.5 b : Corridors réservés dans le cadre d'un règlement de zonage d'aéroport (tel que publié par Transports Canada)⁶

5.1.6 Rappel de la position de la SCHL pour l'habitation au voisinage des corridors routiers ou ferroviaires et des aéroports

En ce qui concerne les bruits routier et ferroviaire, on rappelle que la SCHL a publié des recommandations accompagnées de méthodes détaillées de calcul (rééditées en 1981)¹⁰. Avec les modèles informatiques, les tables de référence proposées ont perdu un peu de leur pertinence, mais elles offrent la possibilité de faire des approximations rapides sans engendrer de frais, tandis que les recommandations restent toujours d'actualité. Le document commence par fixer les niveaux de bruit extérieurs admissibles pour l'habitation en général, ces niveaux étant basés sur l'indice LAeq 24h. Il désigne également les niveaux de bruit admissibles à l'intérieur des logements, en précisant qu'un niveau intérieur paisible varie de 25 à 35 dBA et **que la valeur acceptable maximale dans les chambres à coucher devrait être de 35 dBA**. Le tableau N° 5.1.6 résume les diverses limites mentionnées dans le document de la SCHL.



Tableau N° 5.1.6 : Niveaux maximaux acceptables des bruits de la circulation routière et ferroviaire dans les quartiers d'habitation (SCHL, 1981)¹⁰

Localisation	Niveau de bruit maximal en dBA	Remarques
Chambre à coucher	35 (intérieur)	Les chambres à coucher doivent être placées du côté le plus tranquille
Salles de séjour, à manger ou de divertissement	40 (intérieur)	Ce niveau correspond à 55 dBA à l'extérieur
Cuisines, salles de bain, halls d'entrée, débarras	45 (intérieur)	
Extérieur de l'habitation, espaces de divertissement	55 (extérieur)	Espaces extérieurs tels que patio ou balcon à protéger éventuellement du bruit
Espaces extérieurs sans distinction	55-75 (extérieur)	La construction de logement n'est possible que si l'on insonorise de façon adéquate
	> 75 (extérieur)	La construction de logements est à déconseiller

À propos de la circulation routière, pour moins de 2000 véhicules par jour et des vitesses de 50 km/h ou moins, les calculs détaillés d'impact ne seront pas nécessairement requis. En ce qui concerne le voisinage des voies de chemin de fer, à moins de 100 m de distance, il faut s'attendre à un fort niveau de vibration du sol. On doit donc construire solidement et vérifier les dispositions appropriées pour contrôler les vibrations. Le document aborde également la ventilation de l'habitation, en précisant que **l'ouverture des fenêtres est possible jusqu'à un niveau de 55 dBA à l'extérieur**. La réduction de bruit au travers d'une fenêtre entrouverte serait d'environ 15 dBA, ouverture suffisante pour assurer le minimum requis de 0,28 m² (norme de construction de l'époque). En fait, le « facteur d'insonorisation » d'une fenêtre ouverte varierait entre 9 et 17 dBA, suivant la surface de la pièce à ventiler (de 5 à 32 m², la valeur moyenne de 15 dBA correspondant à une pièce de 20 m² (d'après le Conseil national de recherches Canada, 1980).

Il ne faut pas oublier le rapport sur l'isolation acoustique des résidences ¹¹ (réédité en 1989), dans lequel la SCHL confirme les niveaux de bruit admissibles dans les habitations et donne une série de conseils très judicieux pour l'isolation des habitations par rapport au bruit extérieur. **La plupart de ces recommandations ont été reprises de façon détaillée dans le présent document.**

En ce qui concerne le voisinage des aéroports, pour le contrôle de l'urbanisation et la protection de l'habitation, la SCHL se réfère aux cartes de bruit produites par le ministère des Transports du Canada ou le ministère de la Défense nationale, ces cartes sont dites de projection de bruit perçu ou de NEF (*Noise Exposure Forecast*)⁷. La figure N° 5.1.6 montre un exemple de ce type de carte, avec complémentaires les dispositions pour les petits aéroports. Les cartes de bruit en NEF délimitent trois zones qui sont les suivantes :

- Au-dessus de **35 NEF**, soit la zone dite supérieure, le financement au terme de la loi nationale de l'habitation n'est pas autorisé;
- entre **30 et 35 NEF**, soit la zone intermédiaire, la SCHL ne finance que les habitations dont les critères d'insonorisation sont reconnus comme suffisants et Transports Canada considère que « *les nouveaux projets de construction résidentielle ne sont pas compatibles avec la courbe NEF 30 et au-dessus, et on ne devrait pas entreprendre de tels projets* »;
- entre **25 et 30 NEF**, soit la zone dite inférieure il est simplement recommandé de prévoir une insonorisation adéquate et dans le cas de nouveaux aéroports Transports Canada « *recommande que l'utilisation d'aucun terrain sensible au bruit ne soit permise au-dessus de 25 NEF [...]* ».

Pour les petits aéroports civils ou certaines bases de l'aviation canadienne, il existe également des dispositions simplifiées, là où les cartes de bruit exprimées selon l'indice NEF ne sont pas disponibles. Les restrictions de la SCHL sont liées à la capacité de l'aéroport à desservir des avions à réaction. Comme le montre la figure N° 5.1.6, on voit qu'il existe deux recommandations, l'une concerne les aéroports dont la piste d'envol est de longueur égale ou supérieure à 5000 pieds (1500 m), et l'autre, les aéroports dont la longueur de piste est inférieure à 5000 pieds. Dans le cas d'une piste capable de recevoir des long-courriers à réaction, soit de plus de 5000 pieds, la zone restrictive pour l'habitation est obtenue en portant une distance de 6,5 km moins la longueur de la piste, de part et d'autre des deux extrémités, et une largeur égale à 600 m de chaque côté de l'axe. Au total, ceci équivaut à une bande de 1,2 km de largeur par environ 11,5 km de longueur qui se trouve interdite à l'habitation subventionnée. Enfin, dans le cas des petits aéroports pour les seuls avions à hélices, c'est-à-dire avec une piste d'envol inférieure à 5000 pieds, la zone restrictive a une longueur égale à 3 km plus la longueur de la piste, et une largeur totale de 600 m.

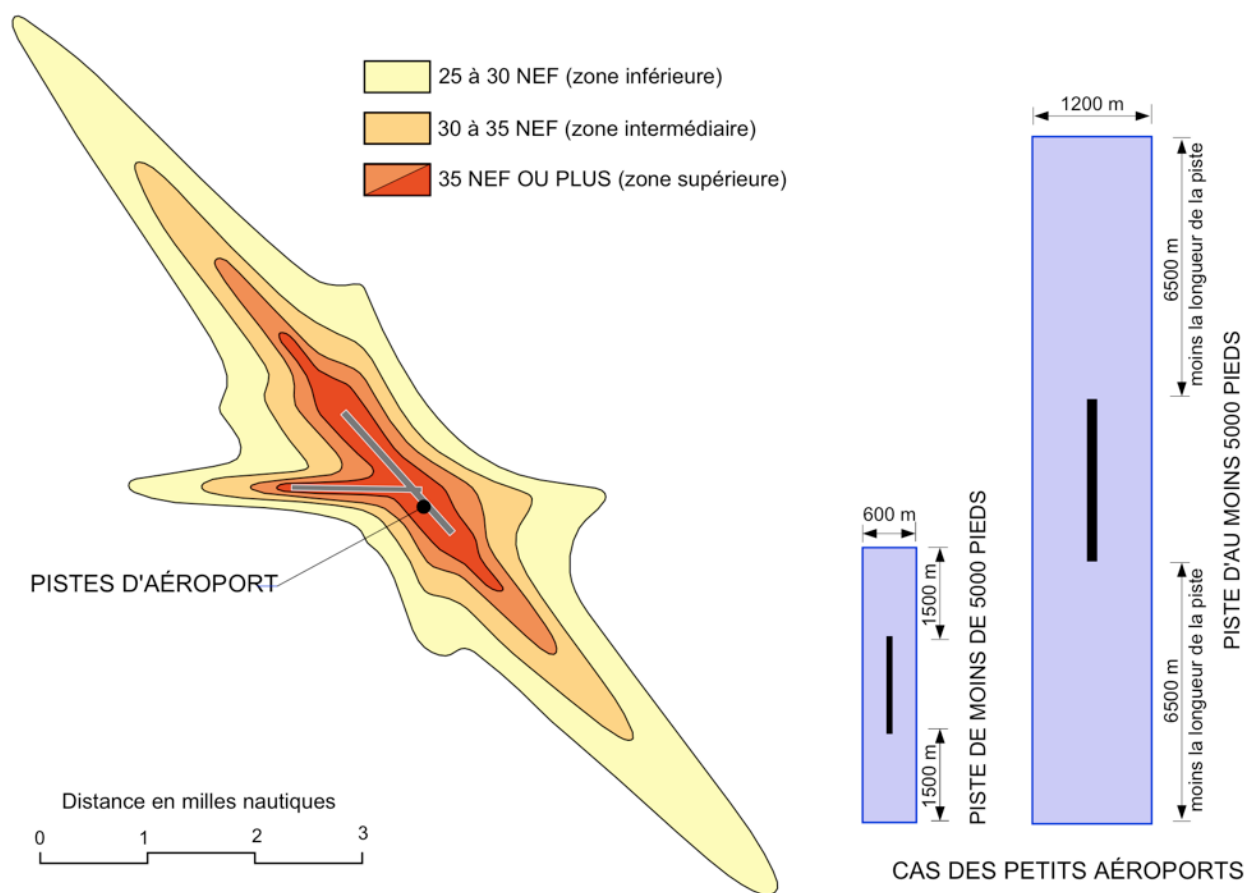


Figure N° 5.1.6 : Exemple de carte de bruit en NEF autour d'un aéroport et dispositions retenues pour les petits aéroports (adapté de la SCHL, 1981) ⁷

5.1.7 Rappel de la position du MTQ pour le voisinage des corridors routiers

Le ministère des Transports dispose d'une politique⁸ sur le bruit routier qui se divise en deux parties, soit une approche corrective et une approche préventive. **Dans le cas d'une situation existante, le Ministère peut mettre en œuvre des mesures correctives lorsque le niveau de bruit extérieur atteint un seuil jugé problématique.** Les mesures seront mises en œuvre en fonction des demandes des municipalités et selon les ressources financières disponibles. Il faut que les zones affectées par le bruit correspondent à des habitations, des établissements institutionnels ou des zones à vocation récréatives. **Pour être réalisables, les mesures d'atténuation, généralement des écrans antibruit, doivent respecter certains critères de performance liés à l'efficacité acoustique de la mesure proposée ainsi qu'au nombre de logements visés et la densité linéaire de ces derniers.** Les coûts sont partagés entre le Ministère et les municipalités.



Concernant de nouveaux projets, le Ministère met en œuvre son approche préventive en rappelant tout d'abord la responsabilité des municipalités régionales de comtés (MRC) et des villes. Conformément à la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme, dans le cadre de la révision des schémas d'aménagement et de développement, les MRC doivent « *déterminer les voies de circulation dont la présence, actuelle ou projetée, dans un lieu fait en sorte que l'occupation du sol à proximité de ce lieu est soumise à des contraintes majeures pour des raisons de sécurité publique, de santé publique ou de bien-être général* » (chapitre A-19.1, section II, alinéa 5.5). Selon l'approche normative, les regroupements régionaux ou les communautés métropolitaines peuvent établir les usages du sol à préconiser pour les constructions, les ouvrages ou les opérations cadastrales à autoriser ou non en fonction des distances minimales à respecter par rapport aux infrastructures routières. **Les MRC doivent prohiber les usages sensibles dans les secteurs où le bruit de la circulation dépasse la limite d'un climat sonore jugé acceptable. Ces usages peuvent être cependant permis lorsque des mesures d'atténuation auront été mises en œuvre.** Pour évaluer l'impact de la construction de nouvelles routes ou d'une reconstruction ayant pour effet une augmentation de la capacité routière ou bien encore un changement de vocation, le MTQ propose une grille d'évaluation basée sur le climat sonore existant et l'augmentation anticipée des niveaux de bruit.

Selon la grille d'évaluation publiée en annexe à la politique sur le bruit routier, plus le niveau de bruit actuel est élevé, moins l'augmentation de bruit doit être importante pour qu'un impact sonore significatif soit reconnu et que l'on doive mettre en œuvre des mesures de mitigation.

5.1.8 Rappel de la position du ministère de l'Environnement et de la note d'instructions 98-01

En l'absence de réglementations spécifiques, comme celles des carrières et sablières ou des usines de béton bitumineux, le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques a proposé il y a une vingtaine d'années une note concernant les niveaux de bruit admissibles, applicable dans différentes situations et pour différentes sortes de bruits, mais toujours relevés à l'extérieur des habitations. La *note d'instructions 98-01* ⁹ a fait l'objet de plusieurs révisions et tend à faire force de loi (en fonction des pouvoirs conférés au ministre dans les articles 94 et 20 de la Loi sur la qualité de l'environnement), notamment pour les sources fixes de bruit et pour tous les impacts provenant des activités industrielles (les activités rurales étant couverte par la note 01-13). On entend par « source fixe » une industrie, une manufacture, une centrale génératrice d'énergie, une ligne à haute tension, un poste de transformation électrique, un lieu d'enfouissement, un champ de tir et toute entreprise qui exploite un procédé bruyant (incluant les équipements mobiles se déplaçant uniquement sur son terrain). Les niveaux admissibles en dBA, s'appliquent à trois catégories de zones sensibles, plus une catégorie de zones dites non sensibles. L'appartenance à ces différentes zones se réfère au règlement de zonage dans la municipalité concernée ou à l'usage reconnu pour l'utilisation du sol. Le niveau considéré doit être mesuré en tout point de réception (en considérant le point « le plus sensible », donc à la limite de la propriété perturbée) en LAeq 1h. Le tableau N° 5.1.8 donne les limites maximales de bruit recommandées en distinguant la période diurne de la période nocturne (de 7 h à 19 h et de 19 h à 7 h). Il faut bien comprendre que les recommandations de la *note d'instructions 98-01* s'adressent au niveau du bruit particulier (ou perturbateur) et non pas au niveau de bruit résiduel.



Tableau N° 5.1.8 : Niveaux de bruit recommandés selon la note d'instructions 98-01

Catégorie de zone sensible	Période	Horaire	Niveau maximal de bruit normalisé LAeq
Type I (Territoire destiné à des habitations unifamiliales isolées ou jumelées, écoles, hôpitaux ou autres établissements d'enseignement, de santé ou de convalescence. Terrain d'une habitation existante en zone agricole)	Jour	7 h à 19 h	45 dBA (ou bruit résiduel si plus élevé)
	Nuit	19 h à 7 h	40 dBA (ou bruit résiduel si plus élevé)
Type II (Territoire destiné à des habitations en unités de logements multiples, des parcs de maisons mobiles, des institutions ou des campings)	Jour	7 h à 19 h	50 dBA (ou bruit résiduel si plus élevé)
	Nuit	19 h à 7 h	45 dBA (ou bruit résiduel si plus élevé)
Type III (Territoire destiné à des usages commerciaux ou à des parcs récréatifs) *	Jour	7 h à 19 h	55 dBA (ou bruit résiduel si plus élevé)
	Nuit	19 h à 7 h	50 dBA (ou bruit résiduel si plus élevé)
Type IV (non sensible) (Territoire zoné pour des fins industrielles ou agricoles) **	Jour	7 h à 19 h	70 dBA
	Nuit	19 h à 7 h	70 dBA

(*) Toutefois, le niveau de bruit prévu la nuit ne s'applique que dans les limites de propriété des établissements utilisés à des fins résidentielles. Dans les autres cas, le niveau maximal prévu de jour s'applique également la nuit.

(**) Toutefois, sur le terrain d'une habitation existante en zone industrielle et établie conformément aux règlements municipaux en vigueur au moment de sa construction, les critères sont de 50 dBA la nuit et de 55 dBA le jour.

Lorsque le bruit résiduel (mesuré en l'absence de la source) est plus élevé que le bruit estimé ou modélisé de la source, c'est ce niveau de bruit résiduel qui devient le critère de bruit admissible. Par ailleurs, la contribution d'une source existante peut être obtenue à l'aide de la relation :

$$LAeq_{particulier} = 10 \log_{10} \left[10^{\left(\frac{LAeq_{ambiant}}{10}\right)} - 10^{\left(\frac{LAeq_{résiduel}}{10}\right)} \right] \quad \text{Éq. 14}$$

Enfin, lorsque la source visée augmente le bruit résiduel de plus de 10 dBA, le bruit ambiant peut être utilisé pour établir la contribution de la source.

Lorsque requis, les niveaux sonores mesurés doivent être normalisés en fonction de différents critères d'évaluation du bruit, dont le spectre sonore ou le caractère particulier du bruit (bruit d'impact, bruit porteur d'information, prédominance de basses fréquences). Les annexes de la *note d'instructions 98-01* présentent donc différents facteurs pouvant pénaliser quantitativement le niveau de bruit attribuable aux activités d'une industrie. Le niveau acoustique d'évaluation étant obtenu à l'aide de la formule :

$$LAeq_{évaluation} = -LAeq_t + K_i + K_t + K_s \quad \text{Éq. 15}$$

La dernière version des annexes présente également de nombreuses informations sur les procédures, l'appareillage, les localisations, les durées de mesures, les conditions météorologiques, etc. On ne retiendra ici que les principaux points applicables aux termes correctifs K_i , K_t et K_s .

- Annexe III : Le terme correctif pour les bruits d'impact K_i peut être obtenu à l'aide de la relation :

$$K_i = LA_{FTm5} - LAeq_t \quad \text{Éq. 16}$$

Dans laquelle LA_{FTm5} est la moyenne des « Taktmaximal » par intervalles de 5 s pendant la durée T où il y a des bruits d'impact (*normes allemandes TA Lärm et VDI 2058*). Ce paramètre correspond aux valeurs de L_{max} mesurés par périodes de 5 s, avec la vitesse d'intégration rapide du sonomètre. Aucune correction n'est applicable si la différence est inférieure à 2 dBA.

- Annexe IV : Le terme correctif pour le bruit à caractère tonal $K_t = 5$ dBA peut être appliqué lorsqu'une bande au tiers d'octave dépasse ses voisines de 15 dB pour les bandes de 125 Hz et moins, 8 dB entre 160 et 400 Hz et 5 dB pour 500 Hz et plus. Aucune correction n'est appliquée si le niveau en dBA de la bande émergente est inférieur de 15 dB au niveau global en dBA.
- Annexe V : Le terme correctif pour les bruits de basse fréquence $K_s = 5$ dBA peut être appliqué lorsque les caractéristiques fréquentielles font que :

$$LC_{eq\ t} - LA_{eq\ t} \geq 20\text{ dB}$$

Éq. 17

Enfin, ce même terme correctif $K_s = 5$ dBA peut être également appliqué lorsque le bruit particulier comporte des éléments verbaux, musicaux ou porteurs d'informations.

5.1.9 Exemples de règlements municipaux qui font appel à des mesures dans les logements perturbés

De nombreux règlements municipaux parlent de l'impact du bruit, mais ils ne donnent pas beaucoup de précisions quant aux niveaux de bruit admissibles, et quand ils le font, les valeurs mentionnées concernent uniquement les niveaux de bruit maximaux à l'extérieur (comme le bruit des thermopompes par exemple). Les règlements de bruit des villes de Montréal et de Québec, assez similaires entre eux, diffèrent cependant des autres approches, parce qu'ils s'intéressent à la pénétration du bruit dans les logements perturbés, en prenant en compte l'ouverture possible des fenêtres en période estivale, et parce qu'ils modulent les niveaux admissibles en fonction du niveau de bruit de fond du voisinage. Le règlement originel de la Ville de Montréal N° 4996 date de 1977. Depuis, il a été réédité ou intégré par différents arrondissements (par exemple, à Verdun avec son *Ordonnance OAC11 210001*, 2011)³⁸, tandis que certains autres y ont apporté différents changements allant généralement dans le sens de la simplification. On peut rappeler que ces règlements municipaux ne s'appliquent pas au bruit produit lors des opérations de déneigement, au bruit produit par la circulation routière, ferroviaire, aérienne ou navale, ni au bruit produit par une autorité publique, dans le cas d'activités de protection civile ou de santé publique. De façon générale, ils concernent les bruits produits sur une autre propriété que celle de l'habitation perturbée, ou bien qui résultent de diverses activités localisées dans l'espace public (le bruit des livraisons par exemple).



Le règlement de bruit de la Ville de Montréal comporte un double intérêt, d'abord parce que tous les niveaux de bruit admissibles sont modulés par le niveau de bruit de fond diurne ou nocturne du quartier considéré. Le niveau du bruit de fond du quartier est obtenu à l'aide de la moyenne des indices $L_{95\%}$ relevés en trois points du voisinage, points non perturbés par la source de bruit. Ensuite, les mesures de vérification peuvent se prendre directement dans les locaux perturbés, à commencer dans les chambres à coucher. La durée généralement requise pour ces mesures est de 60 minutes. En plus de l'habitation, le règlement de Montréal s'intéresse aux locaux de bureaux, aux ateliers et aux hôpitaux. Pour les relevés à l'extérieur, les mesures peuvent être prises à 1 m devant la porte ou la fenêtre du local perturbé, ou bien à 3 m de tout mur et 3 m d'une voie de circulation pour les autres analyses requises à l'extérieur. **Pour les mesures à l'intérieur, elles doivent être relevées au centre de la pièce perturbée et, du 1^{er} mai au 31 octobre, la porte doit être fermée et les fenêtres normalement ouvertes.** Le tableau N° 5.1.9 a, indique les limites de bruit admissibles dans les différents locaux d'habitation, de bureau et d'hôpitaux et le tableau N° 5.1.9 b, donne les corrections à apporter aux limites admissibles dans les différents locaux, en fonction du bruit de fond du quartier environnant. À ce sujet, on peut mentionner que **la limite admissible de 38 dBA dans une chambre à coucher de nuit se trouve modulée entre 35 et 43 dBA par l'application de la correction de bruit de fond du quartier environnant. Cette limite supérieure absolue de 43 dBA a été testée et choisie pour permettre encore l'endormissement dans un quartier très bruyant.** Elle tient compte de la réduction significative de la dynamique d'un bruit de circulation lors de sa pénétration par une fenêtre entrouverte. Le tableau N° 5.1.9 c, donne ensuite les corrections requises pour les bruits impulsifs, les bruits porteurs d'information et les bruits présentant des sons purs audibles (soit une pénalité de 5 dBA dans les trois circonstances). De même, le tableau N° 5.1.9 d, indique la correction requise en fonction de la durée des bruits intermittents. Finalement, un dernier tableau paraît moins important; il donne la durée de l'analyse spectrale requise pour la détermination des sons purs audibles. La composition spectrale mesurée doit être comparée aux courbes NR (ou de *Noise Rating*, conformément à la norme ISO 1996), un dépassement d'une bande d'octave de plus de 4 dB requiert la correction de 5 dBA indiquée au tableau N° 5.1.9 c.

Tableau N° 5.1.9 a : Niveaux de bruit admissibles suivant la localisation
(Leq en dBA Règlement 4996, Ordonnance N° 2, Ville de Montréal, reprise par les arrondissements)

Lieu habité	Description des locaux	Plage horaire		
		7 h à 19 h	19 h à 23 h	23 h à 7 h
Bâtiment d'habitation	1a-Chambre à coucher	40	40	38
	1b-Salle de séjour	45	40	40
	1c-Autres parties	45	45	45
Autres bâtiments	2a-Bureau dans lequel le public n'est pas ordinairement reçu	45	45	45
	2b-Bureau dans lequel le public est ordinairement reçu	50	50	50
	2c-Atelier ou local utilisé à des fins de fabrication, de réparation ou d'entretien	55	55	55
	2d-Chambre à coucher d'un hôpital ou établissement analogue dans lequel des patients séjournent	45	45	38
	2e-Autres parties d'un hôpital ou établissement analogue dans lequel des patients séjournent	45	45	45
Espace non bâti	3a-Parc, cour ou terrain servant à des fins de récréation, sport ou campement	60	60	50

Tableau N° 5.1.9 b : Normalisation selon le niveau de bruit de fond
(L_{95%} en dBA et correction en dBA, Règlement 4996, Ordonnance N° 2, Ville de Montréal)

COLONNE I Jour et soir	COLONNE II Nuit	COLONNE III (1a, 1b, 1c, 3a)	COLONNE IV (2d, 2e)	COLONNE V (2a, 2b, 2c)
<44	<41	+3	+4	0
44-47	41-44	+2	+4	0
48-53	45-48	0	0	0
54-59	49-52	-2	-2	-2
>59	>52	-5	-2	-5

Tableau N° 5.1.9 c : Normalisation selon le type de bruit mesuré
(en dBA Règlements 1996, Ordonnance N° 2, Ville de Montréal et R.V.Q. 978, Ville de Québec)

COLONNE I Nature du bruit	COLONNE II Correction dBA
1. Bruit impulsif	+5
2. Bruit porteur d'information	+5
3. Bruit comportant des sons purs audibles	+5

Tableau N° 5.1.9 d : Normalisation selon la durée d'émission
 (Correction en dBA, Règlement 4996, Ordonnance N° 2, Ville de Montréal)

COLONNE I Durée en minutes	COLONNE II Jour et soir	COLONNE III Nuit
60-34	0	0
34-11	-5	-5
11-4	-10	-10
4-1	-15	-10
1-0,4	-20	-10
0,4-0,1	-25	-10
<0,1	-30	-10

Le règlement de la Ville de Québec, R.V.Q. 978 (harmonisé en 2005, avec quelques amendements depuis)³⁹ est similaire à celui de Montréal, cependant il ne s'intéresse qu'à l'habitation. Pour les mesures extérieures, elles doivent toutes être relevées à 3 m des murs, même devant un local perturbé (ce qui pose un problème pour les balcons). Et pour les mesures intérieures, relevées au milieu du local d'habitation perturbé, le règlement précise que **les fenêtres doivent être ouvertes à 50 %, de la surface vitrée, entre le 1^{er} mai et le 31 octobre**. Les bruits fluctuants doivent être mesurés sur une période minimale de 20 minutes et les bruits intermittents pour toute leur durée d'émission. Cependant, pour les bruits stables comme une ventilation ou une thermopompe, cinq courtes mesures conviennent (en dBA et en bandes de fréquence). Le tableau N° 5.1.9 e, indique les limites de bruit admissibles dans les différents locaux d'habitation, chambre à coucher, séjour et autres espaces. Le tableau N° 5.1.9 f, donne les corrections à apporter aux limites précédentes en fonction du bruit de fond du quartier environnant. Ensuite, les corrections requises pour les bruits impulsifs, les bruits porteurs d'information et les bruits présentant des sons purs audibles sont les mêmes que pour Montréal, soit une pénalité de 5 dBA (voir tableau N° 5.1.9 c).

Le règlement de Québec définit un bruit impulsif comme « *un bruit perturbateur formé par des chocs mécaniques de corps solides, tels un marteau ou une cloche, ou par des impulsions dont la durée entre chacune des répétitions est égale ou supérieure à une seconde* ». Il ajoute aussi une formule de calcul du niveau équivalent de bruit impulsif $Leq I$, soit :

$$Leq I = L_m + 10 \log_{10} \left(\frac{M}{120} \right) \quad \text{Éq. 18}$$

Dans lequel L_m est le niveau moyen du bruit impulsif (moyenne quadratique des valeurs relevées dans une période de 20 minutes ou pour 50 impulsions), et M est le nombre d'impacts par heures (maximum 720).

Tableau N° 5.1.9 e : Niveau maximal de bruit normalisé
(*Leq en dBA règlement R.V.Q. 978, Ville de Québec*)³⁸

COLONNE I Lieu habité	COLONNE II 7 h à 19 h	COLONNE III 19 h à 23 h	COLONNE IV 23 h à 7 h
Chambre à coucher	45	40	38
Salle de séjour	45	40	40
Autre pièce	45	45	45
Espace non bâti	60	55	50

Tableau N° 5.1.9 f : Normalisation selon le niveau de bruit de fond
(*L_{95%} en dBA règlement R.V.Q. 978, Ville de Québec*)³⁸

COLONNE I Jour et soir	COLONNE II Nuit	COLONNE II Correction dBA
< 40	< 35	+7,5
= 40 < 44	= 35 < 40	+5
= 44 < 48	= 40 < 45	+2
= 48 < 54	= 45 < 48	0

5.1.10 Position et recommandations de l'OMS

L'Organisation mondiale de la santé s'est intéressée très activement à l'effet du bruit sur la santé et les activités humaines et plus particulièrement sur la communication et sur le sommeil. Le tableau N° 5.1.10 a, donne à ce sujet les directives et les limites concernant la protection des lieux habités. Il concerne autant les logements que les écoles, les garderies, les hôpitaux, les commerces ou les industries (révisions de 1999 et 2009)^{2,39}. Après des modifications et des ajouts en 1998, l'organisme mentionne que ces anciennes valeurs émises pour les bruits intérieurs et pour les bruits en zone industrielle ou commerciale restent pertinentes et qu'elles sont valables à l'échelle mondiale.



Tableau N° 5.1.10 a : Résumé des valeurs recommandées par l’OMS pour la protection des lieux habités contre le bruit (révisées en 1999 et 2009)

<i>Environnement spécifique</i>	<i>Effet critique sur la santé</i>	<i>Limite LAeq</i>	<i>Base de temps</i>	<i>Lmax</i>
Zones résidentielles extérieures	Gêne sérieuse pendant la journée et la soirée Gêne modérée pendant la journée et la soirée	55 dBA 50 dBA	16 h 16 h	- -
Intérieur des logements Intérieur des chambres à coucher	Intelligibilité de la parole et gêne modérée pendant la journée et la soirée Perturbation du sommeil la nuit	35 dBA 30 dBA	16 h 8 h	- 45 dBA
À l’extérieur des chambres à coucher	Perturbation du sommeil, fenêtre ouverte	45 dBA	8 h	60 dBA
Salles de classe et jardins d’enfants, à l’intérieur	Intelligibilité de la parole, perturbation de l’extraction de l’information, communication des messages	35 dBA	Pendant la classe	-
Salles de repos des jardins d’enfants, à l’intérieur	Perturbation du sommeil	30 dBA	Temps de repos	45 dBA
Hôpitaux, salles ou chambres à l’intérieur	Perturbation du sommeil pendant la nuit Perturbation du sommeil pendant la journée et la soirée	30 dBA 30 dBA	8 h 16 h	40 dBA -
Zones industrielles, commerciales, marchandes, de circulation, extérieur et intérieur	Perte d’audition	70 dBA	24 h	110 dBA

Les chiffres à retenir pour l'habitation sont surtout les indices LAeq 8h (de nuit) limité à 30 dBA, pour permettre le sommeil dans une chambre à coucher, tandis qu'on suggère au plus 45 dBA à l'extérieur pour la même période devant une fenêtre ouverte, et un LAeq 16h (de jour) de 35 dBA mesurable dans le reste d'un logement. On peut retenir également les niveaux maximaux absolus correspondants de 45 et 60 dBA dans la chambre à coucher et devant la fenêtre ouverte.

Le bureau européen de l'OMS a publié en octobre 2018 une mise à jour de ses lignes directrices sur le bruit environnemental¹. Ces nouvelles valeurs font l'objet du tableau N° 5.1.10 b, elles concernent les niveaux de bruit extérieurs admissibles en fonction des diverses sources de bruit susceptibles de perturber les espaces urbanisés. L'OMS précise encore, à ce sujet, que ces valeurs européennes sont adaptables à l'échelle mondiale.

Tableau N° 5.1.10 b : Résumé des valeurs recommandées par l'OMS en fonction des diverses sources de bruit (adapté de l'OMS 2018, analyse de R. Martin et M. Gauthier, INSPQ, 2019) ⁴⁰

Sources de bruit environnemental	Niveaux d'exposition recommandés à l'extérieur sauf pour les loisirs (indicateurs de mesure)		Remarques
	Journée entière	Nuit	
Circulation routière	53 dBA (Lden)	45 dBA (Lnuit)	Forte recommandation de réduire l'exposition au bruit moyen le jour et la nuit.
Trafic aérien	45 dBA (Lden)	40 dBA (Lnuit)	Forte recommandation de réduire l'exposition au bruit moyen le jour et la nuit.
Trafic ferroviaire	54 dBA (Lden)	44 dBA (Lnuit)	Forte recommandation de réduire l'exposition au bruit moyen le jour et la nuit.
Bruit d'éoliennes	45 dBA (Lden)	Qualité de preuve trop faible	Recommandation conditionnelle de mesures adaptées pour réduire l'exposition de bruit de jour.
Bruit des loisirs (en considérant l'ensemble des sources)	70 dBA (LAeq 24h)	NA	Recommandation conditionnelle de réduire l'exposition moyenne annuelle à 70 dBA LAeq 24h, résultant de toutes les sources combinées de bruit de loisirs pour limiter les pertes d'audition. Forte recommandation aux responsables politiques (postes de décision) d'appliquer des mesures de prévention. Sources combinées : discothèques, boîtes de nuit, pubs, salle d'entraînement, événements sportifs, concerts, spectacles et musique et écoute à niveau élevé sur appareil personnel.
Bruits impulsionnels et d'impact (feux d'artifices, armes à feu, etc.)	Adultes : 140 dB crête Enfants : 120 dB crête	NA	Recommandation conditionnelle de suivre les lignes directrices et la législation existante, incluant le niveau d'action de 135 dB (C) pour l'exposition au bruit dû à un événement unique et aux bruits impulsionnels.

Il est proposé que ces lignes directrices puissent servir de guide pour les responsables des

normes et règlements en matière de bruit et pour les autorités en matière de transport et d'urbanisme. Les valeurs mentionnées concernent une exposition à long terme et les indicateurs L_{den} et $L_{Aeq\text{ nuit}}$ réfèrent à des mesures extérieures sur les façades exposées au bruit. On peut remarquer, au plan pratique, qu'il pourrait être difficile d'organiser des mesures à très long terme sur des façades exposées au bruit. En plus de l'équipement autonome et plus ou moins automatisé nécessaire pour l'obtention de telles données, il reste à se demander, à quel endroit de la façade faut-il s'installer pour effectuer une vérification. Enfin, l'indice L_{den} ne représente pas uniquement la situation diurne, il est affecté suivant l'évolution du trafic au cours de la soirée ou de la nuit. Il serait peut-être approprié de considérer les valeurs d'exposition de jour de la première colonne du tableau N° 5.1.10 b comme des recommandations de 24 heures, par opposition à la colonne adjacente consacrée uniquement à la période nocturne.

5.2 Normes et calculs applicables à l'isolation des matériaux et des éléments de construction

5.2.1 Isolation et transmission acoustiques

L'isolation acoustique s'intéresse à l'ensemble des phénomènes propagatifs entre un espace donné et tous les espaces contigus, y compris l'extérieur. De façon générale, le degré d'isolation acoustique correspond à la différence des niveaux de pression qui peuvent régner dans deux locaux contigus, l'un étant considéré comme la source sonore et l'autre comme le récepteur.

Le flux acoustique Φ transmis entre deux locaux (identifiés 1 et 2 ou émetteur et récepteur) est linéaire et proportionnel à la surface S commune de la paroi considérée. Le ratio des niveaux d'intensité acoustique I correspond donc au facteur de transmission (ou de *transparence*) τ qui est égal à :

$$\tau = \frac{\Phi_2}{\Phi_1} = \frac{I_2 \times S}{I_1 \times S} = \frac{I_2}{I_1} \quad \text{Éq. 19}$$

L'indice d'affaiblissement acoustique R traduit en décibels (échelle logarithmique) le facteur de transmission (échelle linéaire) :

$$R = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{\tau} \right) \quad \text{Éq. 20}$$

Dans une paroi multiple comme un mur de façade, les phénomènes de transmission acoustique peuvent être décomposés de la manière suivante (*pour une source de bruit dite aérienne*) :

- l'absorption d'une partie de l'énergie par la paroi du côté extérieur;
- la pénétration des ondes acoustiques du fait de la porosité ou des ouvertures de la paroi;
- la mise en vibration des éléments de la paroi par les ondes acoustiques;
- la perte de l'énergie vibratoire dans les éléments de la paroi (ou leur possible mise en résonance ce qui correspond au phénomène de « coïncidence »);
- la transmission mécanique de la vibration par l'ossature de la paroi;
- l'amortissement de la transmission mécanique à l'aide d'un dispositif antivibratoire;
- la transmission aérienne de la vibration par la lame d'air incluse entre deux éléments de la paroi (avec encore d'éventuelles résonances);
- l'amortissement des vibrations de la lame d'air par un matériau poreux fibreux;
- et finalement, la réémission des ondes acoustiques par la paroi du côté intérieur.

Il faut mentionner également les phénomènes secondaires de transmission, correspondant à la transmission d'une proportion de l'énergie vibratoire vers les autres éléments de la construction voisins de la paroi considérée (planchers, divisions intérieures, murs mitoyens ou autres éléments). Ces phénomènes sont généralement désignés comme des transmissions latérales ou indirectes (« *flanking paths* »). On notera aussi qu'en certaines circonstances, la propagation de l'énergie acoustique vers les autres parties de la construction peut également se faire par des ondes aériennes (cas des constructions en « *balloon framing* » ou par une transmission dans les murs rideaux par exemple).

5.2.2 Isolement brut et isolement normalisé (norme ASTM E90)

Il est toujours possible d'évaluer l'écart entre le niveau de pression moyen dans un local source (L_{p1}) et les niveaux de pression moyens dans un local récepteur (L_{p2}), il s'agit de l'isolement brut entre les deux locaux notés :

$$\text{Isolement brut : } I = L_{p1} - L_{p2} \quad \text{Éq. 21}$$

Cette valeur correspond bien à la situation dans un édifice entre deux locaux désignés, mais elle ne caractérise pas forcément le comportement de la paroi mitoyenne. Le flux transmis va dépendre de la surface de la paroi de transmission et le niveau résultant de la quantité d'absorption présente dans le local récepteur, ainsi on peut établir l'isolement normalisé TL (*Transmission Loss*) à l'aide de la relation :

$$\text{Isolement normalisé : } TL = L_{p1} - L_{p2} + 10 \log_{10} S - 10 \log_{10} A_2 \quad \text{Éq. 22}$$

Dans laquelle S est la surface de la paroi et A_2 est l'absorption acoustique totale du local

récepteur noté comme le local 2 (voir figure N° 5.2.2). Conformément à la norme ASTM E90 ⁴¹, les résultats doivent être compilés dans les 16 bandes au tiers d'octave de 125 à 4000 Hz. L'absorption acoustique totale correspond à la somme des absorptions des différents matériaux présents dans le local récepteur. Elle peut être reliée au temps de réverbération Tr_{60} à l'aide de la formule de Sabine, d'où les relations :

$$\text{Absorption totale : } A_2 = \sum \alpha_n \times S_n = \frac{0,161V}{Tr_{60}} \quad \text{Éq. 23}$$

Dans lesquelles α_n est le coefficient d'absorption d'un matériau de surface S_n et V est le volume en m^3 du local récepteur. Pour déterminer l'absorption totale A_2 dans une bande de fréquence donnée, il suffit de mesurer le temps de réverbération Tr_{60} dans cette même bande de fréquence. Ensuite, à partir de l'isolement brut ($Lp1 - Lp2$), on peut déterminer l'isolement normalisé.

On notera qu'il est possible de faire un calcul simplifié avec $Lp1$ et $Lp2$ en dBA et en considérant uniquement l'absorption dans la bande de 500 Hz et/ ou une réverbération moyenne de 0,5 s.

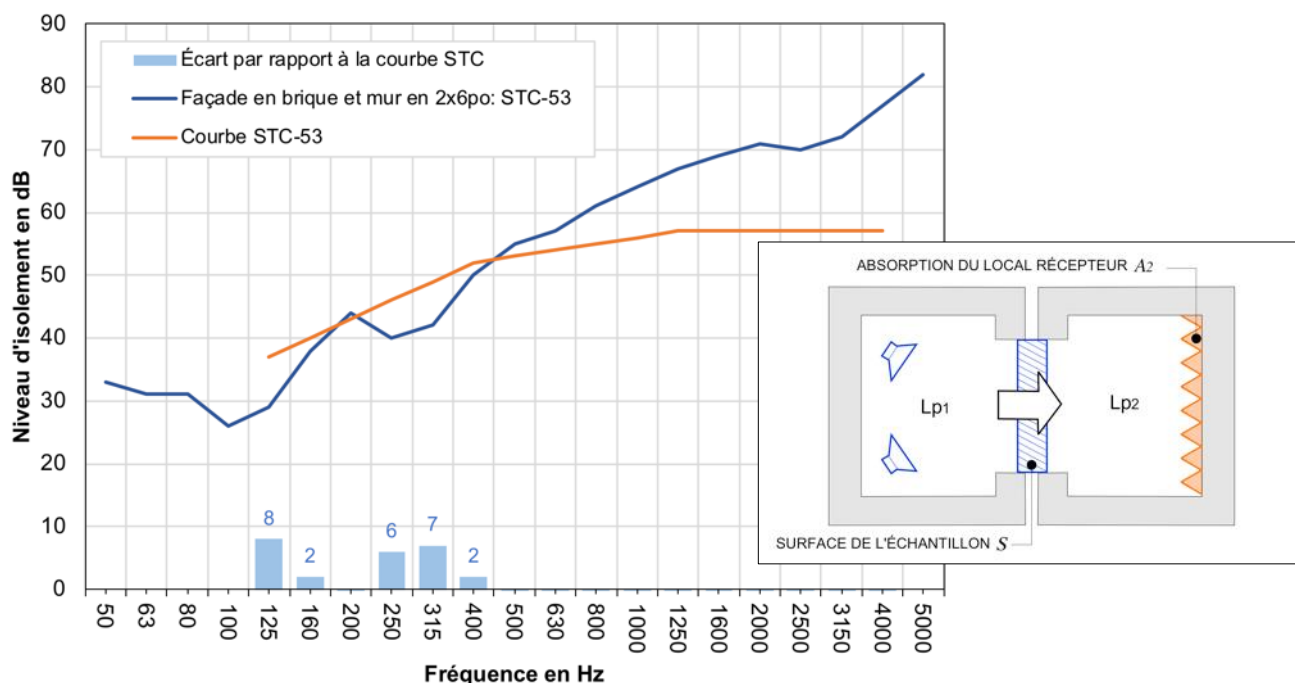


Figure N° 5.2.2 : Établissement de l'indice d'isolement STC d'un mur de façade (adapté des mesures du CNRC, 2000) ²²

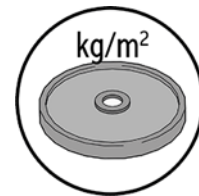
5.2.3 Établissement de l'indice d'isolement STC (norme ASTM E413)

L'indice d'isolement STC (*Sound Transmission Class*) peut être établi en laboratoire (généralement entre deux chambres réverbérantes) ⁴¹ ou bien *in situ* dans les locaux

concernés (conformément à la norme ASTM E336)⁴², dans ce dernier cas il s'agit alors d'un indice d'isolement ASTC (*Apparent Sound Transmission Class*). Dans les deux cas, on part des valeurs de l'isolement normalisé obtenues dans les 16 bandes de fréquence au tiers d'octave, de 125 Hz à 4 kHz. Il faut mesurer la différence moyenne des pressions acoustiques $L_{p1} - L_{p2}$ (en veillant à suivre un échantillonnage statistiquement représentatif), la surface de la paroi commune S et l'absorption acoustique du local récepteur A_2 (donc le temps de réverbération comme à l'équation 24), puis calculer les 16 isoléments normalisés (en valeurs entières). Les courbes de référence STC sont telles que leur pente est de 9 dB/octave de 125 à 400 Hz) de 3 dB/octave de 400 à 1250 Hz et ensuite de 0 dB/octave jusqu'à 4000 Hz. La valeur STC correspond à la valeur de la courbe à 500 Hz. Pour le choix d'une courbe STC, il ne doit pas y avoir de bande qui valorise le mur de plus de 8 dB et la somme des écarts qui valorise le mur pour les 16 bandes au tiers d'octave doit être inférieure ou égale à 32 dB (ce qui concerne donc les résultats situés en dessous de la courbe de référence choisie)²³. Voir à ce sujet le graphique de la figure N° 5.2.2 qui correspond à l'établissement de l'indice STC d'un mur de façade avec parement de brique.

5.2.4 Fréquence critique et fréquence de résonance masse-air-masse

La capacité d'isolation acoustique de toute paroi simple (ou paroi constitutive d'une paroi multiple) et affectée à la « fréquence critique » et pour les fréquences immédiatement supérieures à cette dernière. C'est-à-dire, à **la fréquence pour laquelle commence les phénomènes de coïncidence entre l'onde acoustique incidente et l'onde vibratoire qui se développe dans la paroi**. Pour une paroi d'un matériau donné, la fréquence critique est inversement proportionnelle à l'épaisseur e exprimée en millimètres. La valeur de f_c pour 1 mm d'épaisseur dépend du matériau et l'ampleur de la perte d'isolement à la fréquence critique également (de -6 à -10 dB suivant que les pertes internes sont faibles ou élevées).



Fréquence critique d'une paroi : $f_c = f_{c,1mm} / e$: avec

Éq.
24

Tableau N° 5.2.4 : Fréquences critiques pour une épaisseur de 1 mm des matériaux courants

Matériau	Masse volumique en kg/m ³	Fréquence critique en Hz pour 1 mm ($f_{c,1mm}$)
Polystyrène expansé	14	140000
Acier	7800	10000
Aluminium	2700	13000
Verre	2500	12000
Brique pleine	2000 à 2500	25000 à 50000
Béton	2300	18000
Plâtre	1000	40000
Bois	600	60000 à 180000

En simplifiant les calculs de mécanique des matériaux par la précédente formule, un panneau de gypse de 13 mm (1/2") aura par exemple une fréquence critique autour de 3,1 kHz (soit avec la donnée du tableau : 40000 Hz/1mm ÷ 13mm). En comparaison, un panneau d'une épaisseur de 16 mm résonnera avec une excitation centrée à environ 2,5 kHz, tandis qu'un vitrage de 6 mm présente une $f_c \approx 2$ kHz, soit en plein dans la gamme de sensibilité de l'oreille humaine.

Les parois multiples sont le siège d'autres résonances qui peuvent affecter leur isolation totale, soit la résonance « masse-air-masse » et la résonance de la lame d'air. **En dessous de la fréquence de résonance masse-air-masse, la lame d'air fonctionne en piston** (même comportement qu'une paroi simple de masse égale). Au-dessus de cette fréquence, la lame d'air amortit partiellement la transmission (on peut ajouter de la laine minérale pour amortir les vibrations de la lame d'air).

La fréquence de résonance masse-air-masse ou f_r d'une paroi double en champ diffus peut être obtenue à l'aide de la relation :

$$f_r = 2660 \left[\frac{1}{d} \times \left(\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2} \right) \right]^{1/2} \quad \text{Éq. 25}$$

Dans laquelle les masses surfaciques des parois m_1 et m_2 sont en kg/m² et la distance d entre les parois se trouve être exprimée en millimètres.

5.2.5 Isolement total d'une paroi composite

L'isolation d'une paroi composite (paroi non homogène, composée d'un mur et d'une fenêtre par exemple) peut être établie à partir du flux total transmis qui traverse chacun des éléments de la paroi soit dans l'exemple illustré F_m pour le mur opaque, F_f pour la fenêtre fermée, F_o pour la section ouverte, tandis que l'on connaît parallèlement le flux incident F_i (voir figure N° 5.2.5). Le facteur de transmission total t_{tot} est donc linéairement proportionnel à la surface totale de transmission S_{tot} , ainsi qu'avec flux total F_{tot} . La performance globale de la paroi composite comprenant jusqu'à n éléments distincts peut donc être cumulée en répétant les relations suivantes :

$$\text{pour le mur } \tau_m = \frac{\phi_i}{\phi_m} = \frac{I_i \times S_m}{I_m \times S_m} \quad \text{Éq. 26 a}$$

$$\text{pour la fenêtre } \tau_f = \frac{\phi_i}{\phi_t} = \frac{I_i \times S_f}{I_f \times S_f} \quad \text{Éq. 26 b}$$

$$\text{total de la façade } \tau_{tot} = \frac{\phi_i}{\phi_{tot}} = \frac{I_i \times S_{tot}}{I_{tot} \times S_{tot}} \quad \text{Éq. 26 c}$$

$$\text{avec } \phi_{tot} = \phi_m + \phi_f(\dots + \phi_n) \quad \text{Éq. 26 d}$$

$$\text{et } S_{tot} = S_m + S_f(\dots + S_n) \quad \text{Éq. 26 e}$$

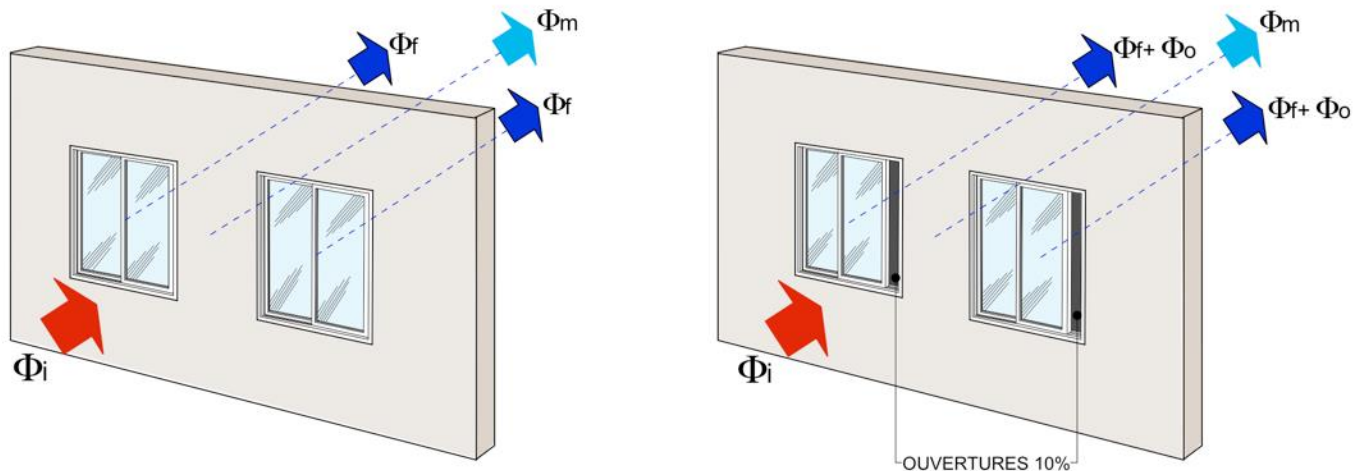


Figure N° 5.2.5 : Détermination de l'indice d'isolement d'une paroi composite

Les indices d'affaiblissement acoustique correspondants t_m (mur opaque) et t_f (fenêtre fermée) peuvent être établis à partir de leurs indices STC respectifs comme suit (somme étendue jusqu'à un nième matériau) :

$$\tau_m = \frac{1}{10^{\left(\frac{STC_{mur}}{10}\right)}} \quad \text{Éq. 27}$$

D'où l'isolement total de la paroi composite :

$$STC_{total} = 10 \log_{10} \left[\frac{S_{tot}}{\tau_m \times S_m + \tau_f \times S_f + \dots + \tau_n \times S_n} \right] \quad \text{Éq. 28}$$

Complémentairement, on peut ajouter aux différentes parties d'une paroi composite une certaine surface d'ouverture complète qui n'offrira aucune atténuation ($STC = 0$), résultant alors en un facteur de transmission $t_o = 1$ (ou 100% de transmission théorique).

EXEMPLE D'UN MUR DE FAÇADE :

Le mur de façade considéré pour cet exemple correspond à la figure N° 5.2.5, il a une surface totale de 30 m² (indice d'isolement STC-54) et inclut deux fenêtres de chacune 3,6 m² (indice d'isolement STC-32), le pourcentage d'ouverture des fenêtres correspond à 10 % de leur surface.

Détermination des facteurs de transmission :

$$\tau_m = \frac{1}{10^{\left(\frac{54}{10}\right)}} = 4 \times 10^{-6} \quad \tau_f = \frac{1}{10^{\left(\frac{32}{10}\right)}} = 6,3 \times 10^{-4} \quad \tau_o = \frac{1}{10^{\left(\frac{0}{10}\right)}} = 1$$

Isolement total avec les fenêtres fermées :

$$STC_{total(FERMÉ)} = 10 \log_{10} \left[\frac{(22,8 + 3,6 + 3,6)}{4 \times 10^{-6} \times 22,8 + 6,3 \times 10^{-4} \times (3,6 + 3,6)} \right] = 38,1$$

Isolement total avec les fenêtres ouvertes à 10 % :

$$STC_{total(OUVERT)} = 10 \log_{10} \left[\frac{\left(\frac{22,8 + 3,6(\times 90\%) + 3,6(\times 10\%)}{3,6(\times 90\%) + 3,6(\times 10\%)} \right)}{\left(\frac{4 \times 10^{-6} \times 22,8 + (6,3 \times 10^{-4} \times 3,6 \times 90\%) + (1 \times 3,6 \times 10\%)}{(6,3 \times 10^{-4} \times 3,6 \times 90\%) + (1 \times 3,6 \times 10\%)} \right)} \right] = 16,2$$

5.3 Vérification de l'isolation acoustique des façades

La vérification de l'isolation acoustique des façades prend tout son sens lorsqu'on veut attester la qualité d'une construction ou le respect d'un cahier des charges. De plus, lorsqu'elle est effectuée à partir d'un bruit généré à l'aide d'un haut-parleur, on se soustrait alors à la variabilité de toute autre source de bruit environnementale présente sur le site. Cette source peut être instable, ou ne pas convenir aux relevés, ou bien être tout simplement inexistante.

5.3.1 Procédure normalisée de vérification de l'isolation acoustique d'une façade (indice OITC)

En Amérique du Nord, la norme ASTM E966 propose six méthodes différentes pour évaluer l'isolation acoustique d'une façade *in situ*²⁵. Ces méthodes sont les suivantes :

- Avec un haut-parleur préalablement calibré;
- avec un haut-parleur, la mesure extérieure étant relevée à environ 2 m de la paroi concernée;
- avec un haut-parleur, la mesure extérieure étant relevée à 17 mm de la paroi concernée;
- plus trois autres méthodes avec une source linéaire constituée d'un flot de véhicules ou d'un passage d'aéronef.

Seules les méthodes utilisant un haut-parleur seront abordées de façon détaillée. Il est cependant simple de remplacer le haut-parleur par une autoroute, avec un flot continu de circulation, la calibration préalable se faisant en terrain dégagé, à la même distance que la façade étudiée. Ensuite, les relevés autour de 2 m ou à 17 mm d'une fenêtre peuvent également être utilisés. La figure N° 5.3.1 montre la position du haut-parleur, avec son angle d'incidence θ par rapport à la façade, ainsi que la méthode de calibration préalable du haut-parleur qui doit être réalisée en terrain dégagé. Les relevés selon l'angle d'incidence peuvent se faire de trois manières différentes :

- Directement dans la pièce réceptrice (moyenne de plusieurs points), le haut-parleur ayant été préalablement calibré à la même distance que la façade;
- dans la pièce réceptrice (moyenne de plusieurs points) et la mesure à l'extérieur étant relevée à environ 2 m de la fenêtre concernée;
- dans la pièce réceptrice (moyenne de plusieurs points) et la mesure à l'extérieur étant relevée en 5 points à 17 mm du vitrage.

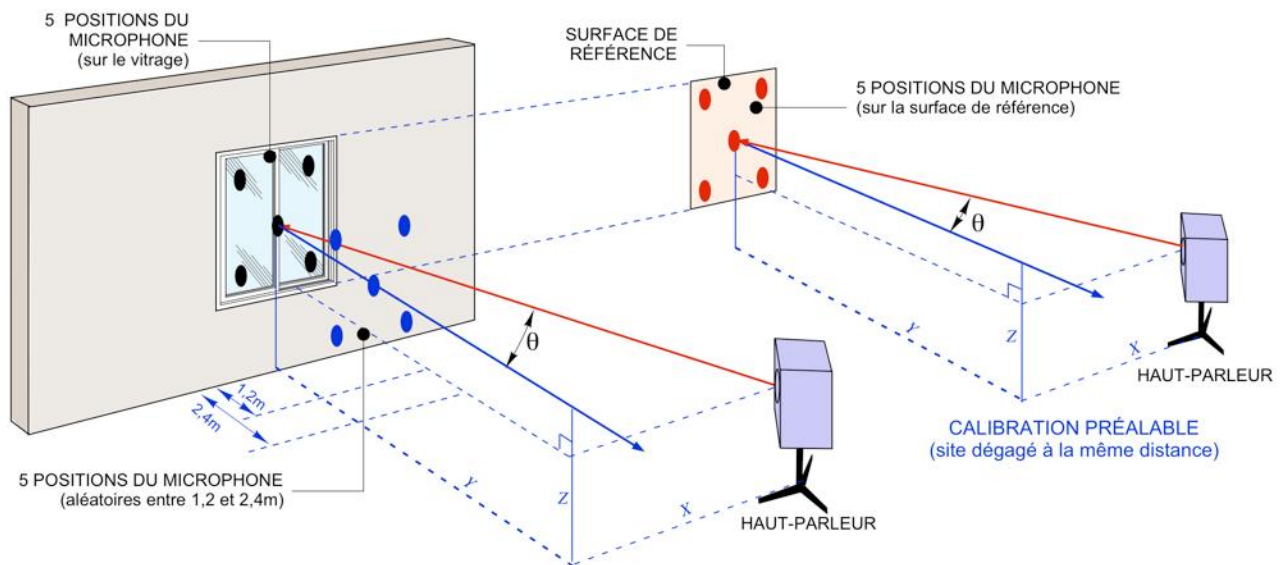


Figure N° 5.3.1 : Vérification de l'isolation acoustique d'une façade selon la procédure normalisée (inspiré de la norme ASTM E966)

Suivant la méthode de mesure et suivant l'angle d'incidence q , l'isolation brute dans chaque bande de fréquence au tiers d'octave OINR (*Outdoor-Indoor Noise Reduction*) est donnée par les équations :

$$\text{Isolement haut-parleur calibré} \quad OINR(\theta) = L_{cal} - L_{int}(\theta) \quad \text{Éq. 29}$$

$$\text{Isolement mesure extérieure à 2 m} \quad OINR(\theta) = L_{cal} - L_{int}(\theta) - 2 \text{ dB} \quad \text{Éq. 30}$$

$$\text{Isolement mesures extérieures à 17 mm} \quad OINR(\theta) = L_{cal} - L_{int}(\theta) - 5 \text{ dB} \quad \text{Éq. 31}$$

On peut ensuite calculer l'isolement normalisé par bande au tiers d'octave de 80 Hz à 4000 Hz, cet isolement est appelé OITL() (*Outdoor-Indoor Transmission Loss*) et plus pratiquement, AOITL() (*Apparent Outdoor-Indoor Transmission Loss*), notamment lorsqu'on n'a pas pris en compte les transmissions latérales possibles. Ce calcul se fait selon la relation :

$$(A) \text{ OITL}(\theta) = OINR(\theta) + 10 \log_{10} \left(\frac{S \times \cos(\theta)}{A_2} \right) + 6 \text{ dB} \quad \text{Éq. 32}$$

Les diverses valeurs obtenues pour différents angles d'incidence (par exemple pour 34, 60 et 80°) peuvent être ensuite moyennées par bande au tiers d'octave. Ce sont ces valeurs qui permettront d'établir finalement l'indice FOITL() (*Field Outdoor-Indoor Transmission Loss*) pour une série d'angles d'incidence q .

Cet indice peut être converti en un indice unique OITC (*Outdoor-Indoor Transmission Class*), à l'aide de la procédure développée dans la norme ASTM E1332²⁴. Cette dernière norme propose un spectre de référence, de 80 à 4000 Hz, correspondant au bruit des infrastructures de transport. On peut utiliser ce spectre pour établir un indice unique, après lui avoir appliqué la correction de fréquence (A) pour l'oreille humaine (selon la référence de la CEI³⁵). On notera qu'il est possible de procéder de la même manière, à partir de l'isolement normalisé TL (*Transmission Loss*) obtenu en laboratoire pour 18 bandes au tiers d'octave (2 de plus que la méthode STC). L'indice OITC serait plus représentatif du comportement global d'une façade soumise aux bruits, routiers, ferroviaires ou aériens que l'indice initial STC (ou ASTC si mesuré sur place). Le tableau N° 5.3.1 montre, à ce sujet, un exemple de calcul de l'indice OITC conformément à l'exemple utilisé précédemment à la figure de la section 4.1.3.

Tableau N° 5.3.1 : Exemple de calcul pour la détermination de l'indice OITC
(basé sur l'utilisation de la norme ASTM E1332)

Centre des bandes de fréquence en Hz	Spectre de référence en dB	Correction (A) en dB	Spectre de référence corrigé (A)	TL isolement normalisé de la paroi en dB	Référence corrigée (A) moins l'isolement mesuré
80	103	-22,5	80,5	31	49,5
100	102	-19,1	82,9	26	56,9
125	101	-16,1	84,9	29	55,9
160	98	-13,4	84,6	38	46,6
200	97	-10,9	86,1	44	42,1
250	95	-8,6	86,4	40	46,4
315	94	-6,6	87,4	42	45,4
400	93	-4,8	88,2	50	38,2
500	93	-3,2	89,8	55	34,8
630	91	-1,9	89,1	57	32,1
800	90	-0,8	89,2	61	28,2
1000	89	0	89,0	64	25,0
1250	89	0,6	89,6	67	22,6
1600	88	1,0	89,0	69	20,0
2000	88	1,2	89,2	71	18,2
2500	87	1,3	88,3	70	18,3
3150	85	1,2	86,2	72	14,2
4000	85	1,0	85,0	77	8,0
Sommes quadratiques résultantes (cumul des décibels dans les bandes de 80 à 4000 Hz)			100,13 dBA	–	60,50 dBA
OITC			40 (ou 100,13 – 60,50 dBA)		

Il est alors possible de déduire l'indice OITC global à l'aide de la relation :

$$OITC = 100,13 - 10 \log_{10} \sum 10^{\left[\frac{(L_{ref} - TL_f + A_f)}{10} \right]} \quad \text{Éq. 33}$$

Dans laquelle L_{ref} est le niveau de référence dans la bande de fréquence f , TL_f l'indice normalisé d'isolement de la paroi dans la même bande f et A_f la correction (A) également dans la même bande. D'où l'indice unique OITC-40 qui résulte pour les valeurs du tableau N° 5.3.1 à arrondir la soustraction des niveaux en dBA ($100,13 - 60,50 = 39,63$) à l'entier près. Cette dernière valeur est très éloignée de l'indice STC déterminé précédemment pour la même paroi, soit STC-53 (exemple cité pour une façade en brique, voir la figure N° 4.1.3)²². Dans ce cas particulier, cela signifie que cette façade n'est globalement pas aussi performante pour contrer le bruit de basses fréquences propre aux infrastructures de transport par rapport à sa capacité à contrer les bruits aériens dont la composition spectrale est plus uniforme.

Comme on peut le constater, l'indice OITC est facile à calculer lorsqu'on a obtenu l'isolement normalisé, mais les mesures relevées sous différents angles d'incidence ne semblent pas très faciles à réaliser, surtout lorsqu'on doit s'élever au-dessus du sol.

5.3.2 Mesure simplifiée de l'isolation d'une façade ou de l'enveloppe d'un édifice

On peut considérer, à titre d'exemple, la norme belge NBN S01-400-1 qui porte sur les exigences de performance pour l'isolement acoustique des façades des habitations. Elle propose une procédure simplifiée facilement applicable sur le terrain (basée sur l'ancienne norme ISO 140-5 et reprise dans la norme ISO 16283).⁴³ Le niveau de bruit extérieur doit être mesuré en un seul point, à une distance de 2 m de la façade. Le haut-parleur utilisé doit produire un bruit « rose », avec un niveau de ± 100 dBA et être orienté selon un seul et même angle d'incidence de 45° . L'isolement acoustique dit « standardisé » est obtenu à l'aide de la simple relation :

$$D_{2mnt} = L_{ext\ 2m} - L_{int} + 10 \log_{10} \left(\frac{T}{T_0} \right) \quad \text{Éq. 34}$$

Dans laquelle D_{2mnt} est le niveau d'isolement « standard » par bande au tiers d'octave, $L_{ext\ 2m}$ et L_{int} , les niveaux extérieur et intérieur en dB, T le temps de réverbération $Tr\ 60$ de la pièce réceptrice et T_0 , un temps de réverbération de référence de 0,5 s. On notera que ce temps de réverbération de référence T_0 est valable lorsque le volume de la pièce est supérieur ou égal à 30 m^3 . Cette correction pour le temps de réverbération ramène la pièce intérieure mesurée à une pièce ordinaire meublée. On notera également que la norme ISO 16283 propose une seconde valeur d'isolement dite « normalisée » obtenu à l'aide de la relation :

$$D_{2mn} = L_{ext\ 2m} - L_{int} + 10 \log_{10} \left(\frac{A}{A_0} \right) \quad \text{Éq. 35}$$

Dans laquelle $D2mn$ est le niveau d'isolement « normalisé » par bande au tiers d'octave, A l'absorption du local récepteur en m^2 et A_0 une absorption de référence égale à $10 m^2$. Finalement, en suivant la norme ISO 717-1, le niveau d'isolement standard ou normalisé, mesuré sur 16 bandes au tiers d'octave, de 100 à 3150 Hz, peut être converti en une seule valeur DA_{tr} , incluant un terme de correction de fréquence pour des sources particulières comme le bruit routier (se référer à ISO 16283-3 pour les différentes corrections)⁴³. La valeur unique est celle obtenue à 500 Hz par glissement de la courbe de référence (changements de pentes de la courbe à 400 et 1250 Hz, valeur de référence à 500 Hz et usage similaire à celui des courbes STC).

$45^\circ \pm 5^\circ$

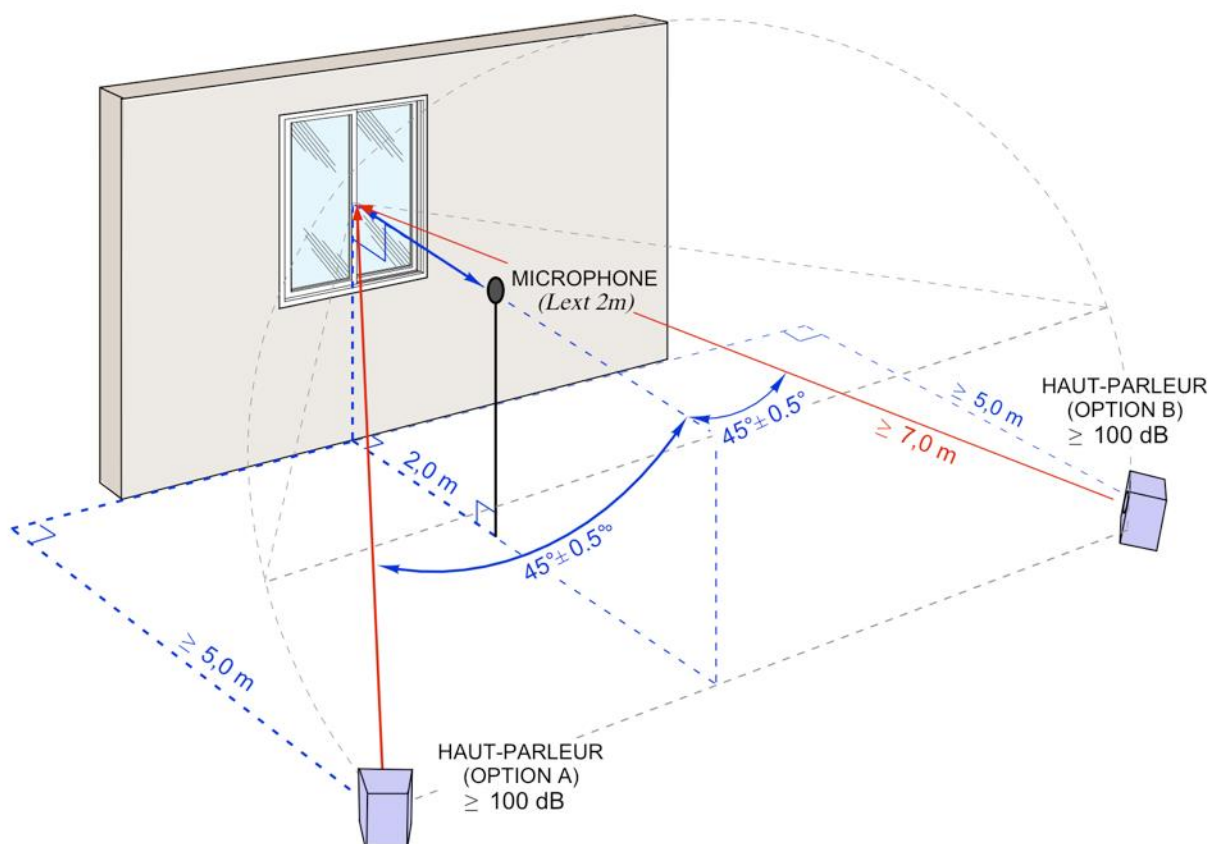


Figure N° 5.3.2 : Vérification de l'isolation acoustique d'une façade selon une procédure simplifiée avec un haut-parleur au sol à 45° de l'axe

5.4 Isolement acoustique et principales caractéristiques de différents matériaux de construction

Le tableau N° 5.4 présente l'isolement acoustique des principaux matériaux de construction avec les densités, le tout pour une ou plusieurs épaisseurs typiques et considérées comme une paroi simple.

Tableau N° 5.4 : Isolement acoustique approximatif et principales caractéristiques de différents matériaux de construction

Matériau	Densité en kg/m ³	Épaisseur en mm	STC (ou R_w selon ISO)
Béton	2200 à 2400	100	48
		120	51
		140	54
		150	55
		160	57
		170	58
		180	59
		190	60
		200	60
		210	61
		220	62
		230	63
		240	64
		250	65
Blocs de béton creux	1400 à 1500	100	43
		125	45
		150	48
		175	52
		200	55
Blocs de béton pleins	2100 à 2400	100	50
		125	53
		150	56
		200	62
Briques creuses	1300 à 1650	150	46
		200	52
Briques pleines	1500 à 2000	110	45
		220	59
Blocs de béton cellulaire	550 à 725	100	41
		150	44

Matériau	Densité en kg/m ³	Épaisseur en mm	STC (ou R_w selon ISO)
		200	49
Panneau de gypse	680 à 860	12,7 (1/2")	25 à 30
		15,9 (5/8")	27 à 31
Panneau en bois lamellé croisé (CLT)	450	90	35
		135	39
		145	39
Bois de construction	440	38	29
Panneau de carton fibre	270 à 300	11 (7/16")	16
Panneau de carton fibre de haute densité	350 à 400	12,7 (1/2")	19
Panneau de fibres de moyenne densité (MDF)	700 à 750	12,7 (1/2")	27
Panneau de fibres de haute densité (HDF)	850 à 950	5	23
Panneau de copeaux orientés (OSB)	590	11 (7/16")	24
Contreplaqué	550 à 650	11 (3/8 ")	21
		12,7 (1/2 ")	22
		15,9 (5/8 ")	23
		19 (3/4 ")	23
Tôle d'acier	7800	0,0008 (jauge 22)	26
		0,001 (jauge 19)	28
		0,0035 (jauge 10)	35
		0,007 (jauge 1)	39
Tôle d'aluminium	2700	0,0005 (jauge 24)	14
		0,001 (jauge 18)	20
		0,002 (jauge 14)	24
		0,0095 (jauge 00)	29
Isolant Polyuréthane Type 1	27	51 (2")	10 ^a

Matériau	Densité en kg/m ³	Épaisseur en mm	STC (ou R_w selon ISO)
Isolant Polyuréthane Type 2	31	51 (2")	11 ^a
Polyisocyanurate	125	51 (2")	23 ^a
Polystyrène extrudé Types 2-3-4	24	51 (2")	9 ^a
Polystyrène expansé Type 2	24	51 (2")	9 ^a
Laine de fibre de verre	9	152 (6")	10 ^a
Laine de roche	40	100	19 ^a
Fibre de cellulose	48	100	22 ^a
Fibre de verre soufflée	15	254 (10")	18 ^a

Note : ^a estimation approximative

5.5 Isolement acoustique des différents vitrages

Les tableaux N° 5.5 a et 5.5 b montrent des résultats de mesure du CNRC, pour l'effet de la distance entre les verres et pour l'ajout d'un troisième vitrage. Le tableau N° 5.5 c présente les spécifications acoustiques de différents vitrages, telles qu'établies principalement par la firme européenne Glas Trösh AG. Il s'agit de verres scellés doubles ou triples, d'épaisseurs très variées, certains de ces verres étant lamellés (verres de sécurité).

Tableau N° 5.5 a : Isolement acoustique de différents vitrages doubles en fonction de la distance entre les verres (non scellés)
(J.D. Quirt, CNRC, 1981)²⁹

Distance entre les verres en mm	STC pour 2 verres de 3 mm	STC pour 2 verres de 4 mm	STC pour 2 verres de 6 mm	STC pour 1 verre de 3 mm et 1 de 6 mm
10	32	33	35	36
13	32	33	36	37
19	33	34	37	37
25	35	39	39	39
35	37	39	41	40
41	38	40	41	41
50	38	41	42	42
63	40	42	43	43
100	42	43	44	45
150	44	45	47	47

Tableau N° 5.5 b : Isolement acoustique de vitrages doubles scellés avec ajout d'un troisième verre simple
(J.D. Quirt, CNRC, 1981)²⁹

Distance du troisième verre en mm	STC pour un verre 3-6-3 scellé + un verre 3 mm	STC pour un verre 3-6-3 scellé + un verre 6 mm
19	36	39
25	38	41
35	40	43
41	41	43
50	41	43
100	45	46

Tableau N° 5.5 c : Isolement acoustique des différents vitrages scellés doubles et triples
(d'après Glas Trösh AG, 2010⁴⁴, CNRC, 1981²⁹ et MJM/SCHL, 1997⁴⁵)

Verre 1 extérieur en mm	Espace 1 en mm	Verre intérieur ou 2 en mm	Espace 2 en mm	Verre intérieur ou 3 en mm	Épaisseur totale en mm	Gaz de remplis- sage	Masse surfactive totale en kg/m ²	Indice STC
Vitrages scellés doubles								
3	13	3			19	air	15	27
3	13	3			19	Ar	15	28
3	16	3			22	air	15	29
3	19	3			25	air	15	30
4	16	4			24	Ar	20	30
3	16	6			25	air	22,5	31
5	38	5			48	air	25	32
6	9	8			23	air	35	34
6	16	6			26	Ar	30	34
6	18	4			28	Ar	25	35
8	12	4			24	Ar	30	35
8	12	6			26	Ar	35	36
8	16	8			28	Ar	40	35
4	16	8-2			28	Ar	30	36
8	20	4			32	Ar	30	37
10	16	4			30	Ar	35	37
10	16	10			36	Ar	50	37
10	20	4			34	Ar	35	38
10	16	4			30	Ar	35	38
10	12	6-2P			28	Ar	40	38
10	16	6			32	Ar	40	39
8	27	6			41	Ar	35	39
6	16	10-6			32	Ar	40	39
10	16	8			34	Ar	45	40
10	20	6			36	Ar	40	41
10	12	8-2P			30	Ar	45	42
8-1	20	6-1			34	Ar	35	43
6	12	8-1P			26	Kr	35	43
10	16	8-1P			34	Ar	45	45

**Tableau N° 5.5 c : Isolement acoustique des différents vitrages scellés doubles et triples
(suite)**

(d'après Glas Trösh AG, 2010⁴⁴, CNRC, 1981²⁹ et MJM/SCHL, 1997⁴⁵)

Verre 1 extérieur en mm	Espace 1 en mm	Verre intérieur ou 2 en mm	Espace 2 en mm	Verre intérieur ou 3 en mm	Épaisseur totale en mm	Remplis- sage	Masse surfactive totale en kg/m ²	Indice STC
<i>Vitrages scellés triples</i>								
3	6	3	6	3	21	air	22,5	30
4	10	4	10	4	32	Ar	30	32
4	16	4	16	4	44	Ar	30	33
6	12	4	12	4	38	Ar	35	36
6	12	6	12	8-2	44	Ar	50	38
8	12	4	12	4	40	Ar	40	39
8	14	4	14	6	46	Ar	45	40
6	12	6	12	10-2	48	Ar	55	40
10	12	4	12	6	44	Ar	50	41
6	10	4	10	8-1P	38	Kr	45	43
8	12	6	12	12-1P	50	Ar	65	46
8-1P	12	6	12	8-1P	46	Ar	55	47

5.6 Isolement acoustique de différents types de fenêtres

Le tableau N° 5.6 a présente les spécifications acoustiques de différentes fenêtres, telles qu'établies par la firme MJM pour le compte de la SCHL. Toutes les fenêtres mesurées ont 1,2 x 1,6 m, les cadrages sont en bois, en aluminium, en PVC ou en bois recouvert de PVC, les modes d'ouverture et les verres scellés sont également variables. Le second tableau N° 5.6 b montre les résultats de mesure du CNRC, pour six fenêtres différentes, en bois, aluminium ou vinyle, les joints étant fermés normalement et avec tous les joints scellés par du ruban adhésif (pour détecter d'éventuelles fuites acoustiques). Les verres scellés doubles restent les mêmes, soit 2 x 3 mm et espace de 13 mm, mais trois des fenêtres ont reçu en plus une protection extérieure en acrylique, installée à 25 ou 76 mm de distance.

Tableau N° 5.6 a : Isolement acoustique de différents types de fenêtres
(d'après MJM/SCHL, 1997⁴⁵)

Type de fenêtre	Matériau du cadrage (1200 x 1600 mm)	Vitrage et espacement en mm	Épaisseur totale du vitrage mm	Indice STC	Remarques
Fenêtre à battant, 2 vitrages (1 fixe)	Cadre et châssis en aluminium	3-19-3	25	30	Fenêtre standard
Fenêtre à battant, 2 vitrages (1 fixe)	Châssis PVC, cadre bois recouvert PVC	3-16-3	22	28	Fenêtre standard
Fenêtre à battant, 2 vitrages (1 fixe)	Cadre et châssis en bois	3-16-3	22	29	Fenêtre standard
Fenêtre à battant, 2 vitrages (1 fixe)	Cadre et châssis en aluminium	3-16-6	25	35	Vitrage plus performant dans un châssis standard en aluminium
Fenêtre à battant, 2 vitrages (1 fixe)	Châssis PVC, cadre bois recouvert PVC	3-13-6	22	33	Vitrage plus performant dans un châssis standard en PVC
Fenêtre à battant, 2 vitrages (1 fixe)	Cadre et châssis en bois	3-13-6	22	34	Vitrage plus performant dans un châssis standard en bois
Fenêtre coulissante, 4 vitres coulissantes	Cadre et châssis en aluminium	3-108-3	114	41	Fenêtre standard
Fenêtre coulissante, 4 vitres coulissantes	Cadre et châssis en pin recouvert de vinyle	5-34-5	44	32	Fenêtre coulissante à 4 vitres la plus économique
Fenêtre à guillotine, 2 vitres coulissantes	Cadre et châssis en pin recouvert de vinyle	3-13-3	19	27	Fenêtre la plus économique

Tableau N° 5.6 b : Isolement acoustique de différents types de fenêtres, avec ou sans scellement complémentaire des joints
(J.S. Bradley et J.A. Birta, CNRC, 2000)²²

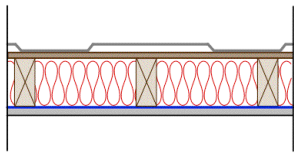
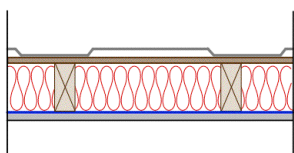
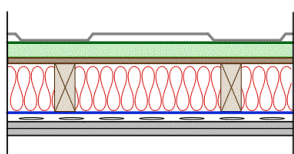
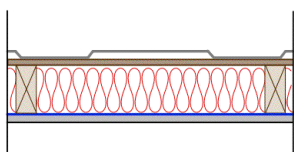
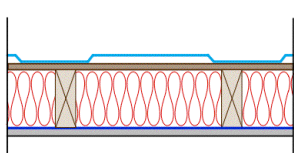
Type de fenêtre	Matériau du cadrage	Vitrage en mm	Joints scellés		Joints non scellés	
			Indice STC	OITC	Indice STC	OITC
Coulissante double	Vinyle	3-13-3	29	24	27	23
Coulissante simple	Vinyle	3-13-3	30	25	30	25
Fenêtre à battants	Aluminium	3-13-3	29	24	28	23
Fenêtre à battants	Bois recouvert de vinyle	3-13-3	31	26	31	25
Fenêtre à battants	Bois	3-13-3	31	25	31	25
Fenêtre à battants	Vinyle	3-13-3	31	25	31	25
Coulissante double + fenêtre de protection (*)	Vinyle	3-13-3 (+25 mm)	-	-	35	27
Coulissante simple + fenêtre de protection (*)	Vinyle	3-13-3 (+25 mm)	-	-	34	26
Fenêtre à battants + fenêtre de protection (*)	Aluminium	3-13-3 (+25 mm)	-	-	34	25
Fenêtre à battants + fenêtre de protection (*)	Aluminium	3-13-3 (+76 mm)	-	-	40	30

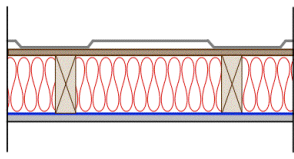
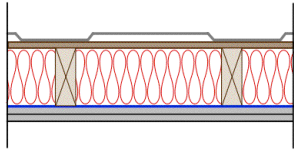
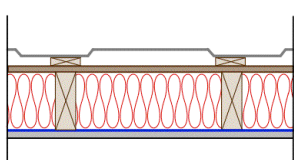
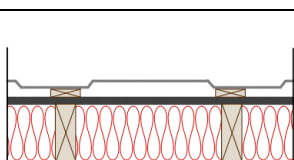
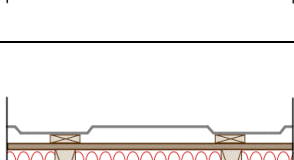
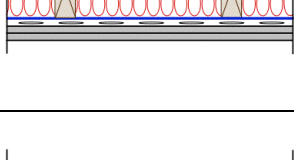
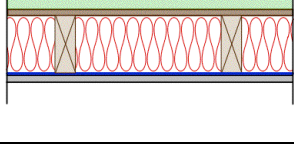
(*) Fenêtre de protection « storm window » (panneau d'acrylique) installée à l'extérieur à 25 ou 76 mm de distance

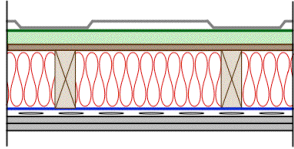
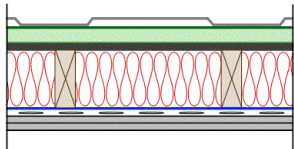
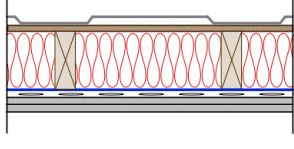
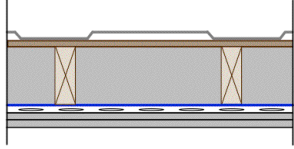
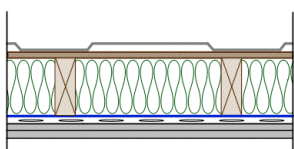
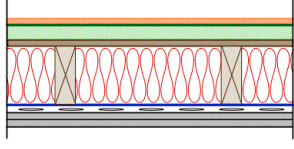
5.7 Isolement acoustique de différents types de murs

Tous les résultats du tableau N° 5.7 sont tirés des travaux de l'Institut de recherche en construction du CNRC (énuméré arbitrairement en suivant l'ordre du rapport cité). Les échantillons de murs testés comportent différentes structures porteuses, avec des montants de bois de 2" x 4" ou de 2" x 6", distants de 305, 406 ou 610 mm, certains de ces échantillons ayant des montants décalés. La dimension de l'ouverture utilisée pour les tests en laboratoire était de 3,785 x 4,700 m.

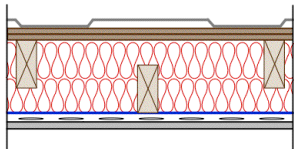
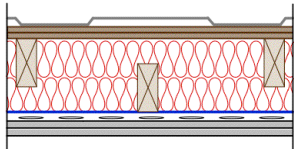
Tableau N° 5.7 : Isolement acoustique de différents types de murs de façade
(J.S. Bradley et J.A. Birta, CNRC, 2000)²²

Croquis de la paroi	Description de la paroi	Masse surfacique totale en kg/m ²	Indice STC	Indice OITC
	Parement de vinyle 1 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 4" à 305 mm, isolation fibre de verre 89 mm, gypse 13 mm	17,2	31	23
	Parement de vinyle 1mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 4" à 406 mm, isolation fibre de verre 89 mm, gypse 13 mm	17,4	36	24
	Parement de vinyle 1 mm, panneau fibre de verre rigide 25 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 4" à 406 mm, isolation fibre de verre 89 mm, barre résiliente 13 mm, 2 x gypses 13 mm	27,6	48	32
	Parement de vinyle 1 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 4" à 610 mm, isolation fibre de verre 89 mm, gypse 13 mm	17,3	38	27
	Parement d'aluminium 0,6 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm, isolation fibre de verre 152 mm, gypse 13 mm	19,1	37	25

<i>Croquis de la paroi</i>	<i>Description de la paroi</i>	<i>Masse surfactive totale en kg/m²</i>	<i>Indice STC</i>	<i>Indice OITC</i>
	Parement de vinyle 1 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm, isolation fibre de verre 152 mm, gypse 13 mm	20,0	37	25
	Parement de vinyle 1 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm, isolation fibre de verre 152 mm, 2 x gypses 13 mm	28,1	39	27
	Parement de vinyle 1 mm, fourrures 19 mm à 406 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm, isolation fibre de verre 152 mm, gypse 13 mm	20,5	37	25
	Parement de vinyle 1 mm, fourrures 19 mm à 406 mm, panneau fibre de bois 13 mm, montants 2" x 6" à 406 mm, isolation fibre de verre 152 mm, gypse 13 mm	16,8	37	25
	Parement de vinyle 1 mm, fourrures 19 mm à 406 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm, isolation fibre de verre 152 mm, barre résiliente 13 mm, 2 x gypses 13 mm	28.4	49	34
	Parement de vinyle 1 mm, panneau polystyrène expansé 25 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm, isolation fibre de verre 152 mm, gypse 13 mm	20,4	37	25
	Parement de vinyle 1 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm, isolation fibre de verre 152 mm, barre résiliente 13 mm, gypse 13 mm	20,1	47	32

<i>Croquis de la paroi</i>	<i>Description de la paroi</i>	<i>Masse surfacique totale en kg/m²</i>	<i>Indice STC</i>	<i>Indice OITC</i>
	Parement de vinyle 1 mm, panneau fibre de verre rigide 25 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm, isolation fibre de verre 152 mm, barre résiliente 13 mm, 2 x gypses 13 mm	29,2	50	35
	Parement de vinyle 1 mm, panneau fibre de verre rigide 25 mm, panneau de fibre de bois 13 mm, montants 2" x 6" à 406 mm, isolation fibre de verre 152 mm, barre résiliente 13 mm, 2 x gypses 13 mm	25,8	51	33
	Parement de vinyle 1 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm, isolation fibre de verre 152 mm, barre résiliente 13 mm, 2 x gypses 13 mm	27,9	50	34
	Parement de vinyle 1 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm, isolation cellulose soufflée 140 mm, barre résiliente 13 mm, 2 x gypses 13 mm	34,3	51	35
	Parement de vinyle 1 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm, isolation laine de roche 140 mm, barre résiliente 13 mm, 2 x gypses 13 mm	31,9	52	36
	Finition extérieure (EIF) 6 mm, polystyrène expansé 25 mm, papier de construction 0,7 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm, isolation fibre de verre 152 mm, barre résiliente 13 mm, 2 x gypses 13 mm	35,4	52	35

<i>Croquis de la paroi</i>	<i>Description de la paroi</i>	<i>Masse surfacique totale en kg/m²</i>	<i>Indice STC</i>	<i>Indice OITC</i>
	Stucco de ciment 9,5 mm, papier de construction 0,7 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm, isolation fibre de verre 152 mm, gypse 13 mm	35,2	40	29
	Stucco de ciment 9,5 mm, papier de construction 0,7 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm, isolation fibre de verre 152 mm, barre résiliente 13 mm, 2 x gypses 13 mm	43,5	60	41
	Brique 89 mm, espace d'air 16 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm, isolation fibre de verre 152 mm, gypse 13 mm	151,2	53	40
	Parement de vinyle 1 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm décalés , isolation fibre de verre 2 x 65 mm, gypse 13 mm	19,0	49	33
	Parement de vinyle 1 mm, panneau OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm décalés , isolation fibre de verre 2 x 65 mm, 2 x gypses 13 mm	26,7	52	39
	Parement de vinyle 1 mm, 2 x panneaux OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 406 mm décalés , isolation fibre de verre 2 x 65 mm, 2 x gypses 13 mm	33,4	53	43
	Parement de vinyle 1 mm, 2 x panneaux OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 610 mm décalés , isolation fibre de	25,6	51	37

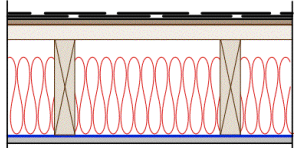
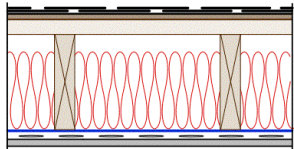
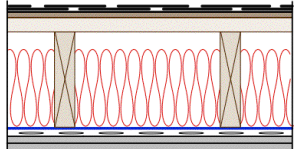
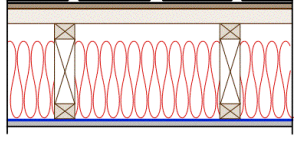
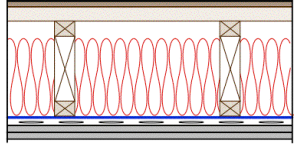
<i>Croquis de la paroi</i>	<i>Description de la paroi</i>	<i>Massesurfacique totale en kg/m²</i>	<i>Indice STC</i>	<i>Indice OITC</i>
	verre 2 x 65 mm, gypse 13 mm			
	Parement de vinyle 1 mm, 2 x panneaux OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 610 mm décalés , isolation fibre de verre 2 x 65 mm, barre résiliente 13 mm, gypse 13 mm	25,2	54	38
	Parement de vinyle 1 mm, 2 x panneaux OSB 11 mm, montants 2" x 6" à 610 mm décalés , isolation fibre de verre 2 x 65 mm, barre résiliente 13 mm, 2 x gypses 13 mm	33,1	58	44

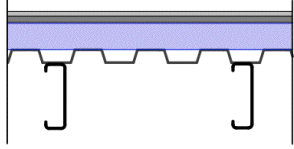
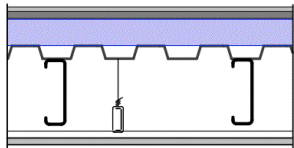
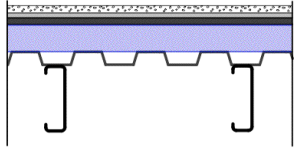
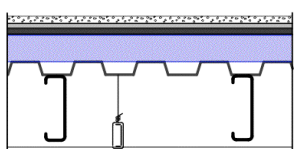
5.8 Isolement acoustique de différentes toitures

Tous les résultats des tableaux N° 5.8 a et N° 5.8 b sont tirés des travaux de l'Institut de recherche en construction du CNRC (énuméré arbitrairement en suivant l'ordre du rapport cité). Les échantillons testés comportent différentes structures porteuses (solives, poutrelles de bois ou d'acier) convenant pour des toits plats ou des toits « cathédrale ». La dimension de l'ouverture pour les tests en laboratoire était de 3,785 x 4,700 m.

Tableau N° 5.8 a : Isolement acoustique de différents types de toitures plates ou cathédrales

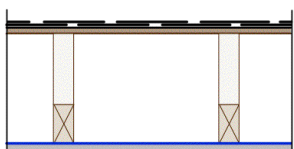
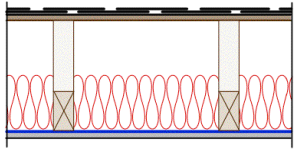
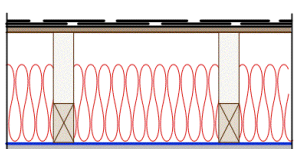
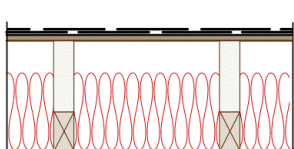
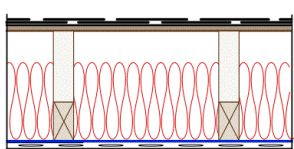
(J.S. Bradley et J.A. Birta, CNRC, 2000)²²

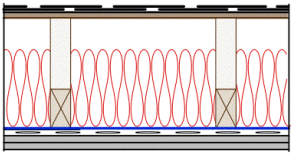
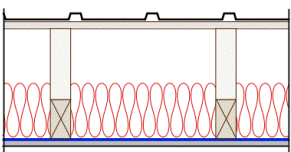
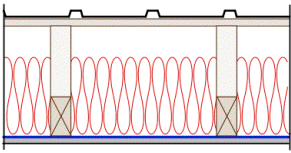
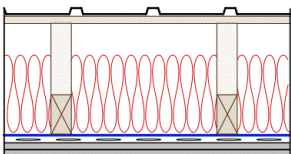
Croquis de la paroi	Description de la toiture	Masse surfacique totale en kg/m^2	Indice STC	Indice OITC
	Bardeaux d'asphalte 3 mm, papier asphalté 0,7 mm, panneau OSB 11 mm, liteaux 1" 1/2 à 406 mm solives 2" x 10" à 406 mm, isolation fibre de verre 203 mm, gypse 13 mm	34,4	42	30
	Bardeaux d'asphalte 3 mm, papier asphalté 0,7 mm, panneau OSB 11 mm, liteaux 1" 1/2 à 406 mm solives 2" x 10" à 406 mm, isolation fibre de verre 203 mm, barre résiliente 13 mm, gypse 13 mm	34,6	55	40
	Bardeaux d'asphalte 3 mm, papier asphalté 0,7 mm, panneau OSB 11 mm, liteaux 1" 1/2 à 406 mm solives 2" x 10" à 406 mm, isolation fibre de verre 203 mm, barre résiliente 13 mm, 2 x gypses 13 mm	42,6	58	42
	Bardeaux d'asphalte 3 mm, papier asphalté 0,7 mm, panneau OSB 11 mm, solives d'ingénierie 356 mm à 406 mm, isolation fibre de verre 264 mm, gypse 13 mm	36,1	46	32
	Bardeaux d'asphalte 3 mm, papier asphalté 0,7 mm, panneau OSB 11 mm, solives d'ingénierie 356 mm à 406 mm, isolation fibre de verre 264 mm, barre résiliente 13 mm, 2 x gypses 13 mm	44,2	59	44

<i>Croquis de la paroi</i>	<i>Description de la toiture</i>	<i>Masse surfacique totale en kg/m²</i>	<i>Indice STC</i>	<i>Indice OITC</i>
	Membrane granulaire 4 mm, membrane autocollante 2 mm, panneau de fibre de bois 13 mm, isolation polyisocyanurate 70 mm, papier kraft 0,3 mm, platelage d'acier 0,7 mm, solives d'acier 254 mm aux 1610 mm	30,0	34	26
	Membrane granulaire 4 mm, membrane autocollante 2 mm, panneau de fibre de bois 13 mm, isolation polyisocyanurate 70 mm, papier kraft 0,3 mm, platelage d'acier 0,7 mm, solives d'acier 254 mm aux 1610 mm, tuiles à plafond 16 mm	33,3	43	29
	Gravier lavé 25 mm, membrane granulaire 4 mm, membrane autocollante 2 mm, panneau de fibre de bois 13 mm, isolation polyisocyanurate 70 mm, papier kraft 0,3 mm, platelage d'acier 0,7 mm, solives d'acier 254 mm aux 1610 mm	75,3	46	37
	Gravier lavé 25 mm, membrane granulaire 4 mm, membrane autocollante 2 mm, panneau de fibre de bois 13 mm, isolation polyisocyanurate 70 mm, papier kraft 0,3 mm, platelage d'acier 0,7 mm, solives d'acier 254 mm aux 1610 mm, tuiles à plafond 16 mm	78,6	55	41

De la même façon les résultats du tableau N° 5.8 b décrivent les résultats correspondant à des échantillons de toitures testés en laboratoire qui comportent tous la même charpente, avec des demi-fermes à croisillons, construites en 2" x 4" avec une pente de 4 dans 12, le toit étant initialement couvert avec un panneau OSB de 11 mm.

Tableau N° 5.8 b : Isolement acoustique de différents types de toitures sur charpente
(J.S. Bradley et J.A. Birta, CNRC, 2000)²²

Croquis de la paroi	Description de la toiture	Masse surfacique totale en kg/m^2	Indice STC	Indice OITC
	Bardeaux d'asphalte 3 mm, papier asphalté 0,7 mm, panneau OSB 11 mm, charpente 1626 mm	25,2	22	19
	Bardeaux d'asphalte 3 mm, papier asphalté 0,7 mm, panneau OSB 11 mm, charpente 1626 mm, gypse 13 mm	33,1	41	33
	Bardeaux d'asphalte 3 mm, papier asphalté 0,7 mm, panneau OSB 11 mm, charpente 1626 mm, isolation fibre de verre 152 mm, gypse 13 mm	34,5	51	39
	Bardeaux d'asphalte 3 mm, papier asphalté 0,7 mm, panneau OSB 11 mm, charpente 1626 mm, isolation fibre de verre 264 mm, gypse 13 mm	37,1	54	41
	Bardeaux d'asphalte 3 mm, papier asphalté 0,7 mm, panneau OSB 11 mm, charpente 1626 mm, isolation fibre de verre 264 mm, 2 x gypses 13 mm	45,0	55	41
	Bardeaux d'asphalte 3 mm, papier asphalté 0,7 mm, panneau OSB 11 mm, charpente 1626 mm, isolation fibre de verre 264 mm, barre	37,3	57	40

<i>Croquis de la paroi</i>	<i>Description de la toiture</i>	<i>Masse surfacique totale en kg/m²</i>	<i>Indice STC</i>	<i>Indice OITC</i>
	résiliente 13 mm, gypse 13 mm			
	Bardeaux d'asphalte 3 mm, papier asphalté 0,7 mm, panneau OSB 11 mm, charpente 1626 mm, isolation fibre de verre 264 mm, barre résiliente 13 mm, 2 x gypses 13 mm	45,2	60	43
	Tôle galvanisée prépeinte 0,3 mm, fourrures 19 mm aux 406 mm, charpente 1626 mm, isolation fibre de verre 152 mm, gypse 13 mm	19,4	47	33
	Tôle galvanisée prépeinte 0,3 mm, fourrures 19 mm aux 406 mm, charpente 1626 mm, isolation fibre de verre 264 mm, gypse 13 mm	22,0	50	34
	Tôle galvanisée prépeinte 0,3 mm, fourrures 19 mm aux 406 mm, charpente 1626 mm, isolation fibre de verre 264 mm, barre résiliente 13 mm, 2 x gypses 13 mm	30,1	56	39

5.9 Absorption acoustique des matériaux pouvant être utilisés à l'extérieur

La plupart des matériaux listés arbitrairement dans le tableau N° 5.9 peuvent être utilisés à l'extérieur, soit pour des parties de façades qui devraient être acoustiquement absorbantes, soit pour le traitement des balcons (sur les plafonds, pour les divisions latérales ou à l'intérieur du garde-corps). Plusieurs de ces matériaux comportent une finition capable de les protéger de l'humidité, également des finitions noires qui peuvent être aisément dissimulées derrière un parement perforé. Pour protéger les différents modèles de coussins de fibre de verre proposés, il est en effet possible d'installer une tôle perforée (avec 23 % d'ouverture) ou bien un lattage de bois traité, ou même d'acier galvanisé prépeint (avec de 30 à 50 % d'ouverture). Une protection supplémentaire pour l'humidité ou la poussière peut être également incorporée sous le parement perforé, avec un film en polymère ou un géotextile. Enfin, pour les murs latéraux des balcons et pour les faces intérieures des garde-corps, il faut prévoir, en plus des caractéristiques acoustiques, une résistance mécanique et une durabilité suffisante du parement de finition. Le tableau rassemble donc les coefficients d'absorption acoustique par bande de fréquence en octave, de même que la moyenne arrondie correspondant à la gamme moyenne (250 à 2000 Hz) définie comme le *Noise Reduction Coefficient* ou NRC dans la norme ASTM C423.

Tableau N° 5.9 : Absorption acoustique des matériaux pouvant être utilisés à l'extérieur

Matériel	Épaisseur mm	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	NRC
Brique nue	100	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,07	0,05
Brique lisse	100	0,01	0,01	0,01	0,02	0,05	0,07	0,00
Enduit de ciment sur métal déployé	25	0,04	0,05	0,06	0,08	0,04	0,06	0,05
Terrazzo	-	0,01	0,01	0,01 5	0,02	0,02	0,02	0,00
Béton lisse	-	0,01	0,01	0,01	0,02	0,05	0,07	0,00
Bloc acoustique Soundblox	203	0,74	0,57	0,45	0,35	0,36	0,34	0,45
Bloc acoustique Acoustade (Proudfoot)	203	0,67	0,89	0,51	0,75	0,77	0,69	0,75
Contreplaqué (avec espace d'air)	25	0,30	0,20	0,15	0,12	0,10	0,05	0,15
Panneaux de bois mince (avec espace d'air)	6	0,50	0,20	0,10	0,05	0,05	0,05	0,10
Tuile acoustique à coller	19	0,26	0,33	0,65	0,82	0,70	0,50	0,60
Laine minérale à coller (type Duct Liner)	25	0,08	0,25	0,49	0,72	0,86	0,80	0,60

Matériel	Épaisseur mm	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	NRC
Laine minérale à coller (type Duct Liner)	51	0,20	0,53	0,79	0,94	0,96	0,91	0,80
Tuile minérale (pour plafond suspendu)	19	0,43	0,38	0,53	0,77	0,87	0,97	0,65
Tuile fibre de verre (pour plafond suspendu)	19	0,68	0,93	0,65	0,88	0,97	0,98	0,85
Cellulose projetée	25	0,06	0,29	0,75	0,98	0,93	0,76	0,75
Laine semi-rigide en chanvre 45 kg/m ³	25	0,52	0,96	1,18	1,07	1,05	1,05	1,05
Panneau de fibre de verre 24 kg/m ³	25	0,17	0,33	0,64	0,83	0,90	0,92	0,70
Panneau de fibre de verre 24 kg/m ³	51	0,22	0,67	0,98	1,02	0,98	1,00	0,90
Panneau de fibre de verre 48 kg/m ³	25	0,11	0,28	0,68	0,90	0,93	0,96	0,70
Panneau de fibre de verre 48 kg/m ³	51	0,17	0,86	1,14	1,07	1,02	0,98	1,00
Panneau de fibre de verre avec panneau perforé (pegboard *)	25 + 6	0,08	0,35	1,17	0,58	0,24	0,10	0,60
Panneau de fibre de verre et tôle perforée (**)	51 + 0,6	0,18	0,73	1,14	1,06	0,97	0,93	1,00
Panneau de fibre de verre avec panneau perforé (pegboard *)	51 + 6	0,80	1,19	1,00	0,71	0,38	0,13	0,80
Panneau en fibres de bois durcies	38	0,07	0,22	0,48	0,82	0,64	0,96	0,55
Panneau en fibres de bois durcies	76	0,21	0,41	1,00	0,75	1,00	0,97	0,80
Panneau de fibre de verre 48 kg/m ³ (avec foil)	25	0,17	0,71	0,59	0,68	0,54	0,30	0,65
Panneau de fibre de verre 48 kg/m ³ (avec foil)	51	0,47	0,62	1,01	0,81	0,51	0,32	0,75
Isolation pour bâtiment d'acier (MBI) 8 kg/m ³ , avec vinyle	51	0,21	0,63	1,10	0,74	0,33	0,17	0,70
Fibre de verre enduit de néoprène	25	0,14	0,55	0,67	0,97	0,90	0,85	0,75
Fibre de verre enduit de néoprène	38	0,17	0,71	0,89	0,99	0,93	0,88	0,90
Fibre de verre enduit de néoprène	51	0,39	0,78	0,94	0,96	0,85	0,84	0,90

() Existe en polypropylène 1/4" ou en acier jauge 20, trous diamètre 9/32", espacés 1"*

*(**) Tôle perforée jauge 24, trous diamètre 3/32" espacés 9/32" quinconce, 13 % d'ouverture*

Liste des figures

Figure N° 1.4.3 :	Exemple de propagation et pénétration du bruit dans une habitation, changement de niveau et de dynamique	10
Figure N° 2.1.1 a :	Propagation du bruit au voisinage d'une autoroute, atténuation de 3 dBA par doublement de la distance	14
Figure N° 2.1.1 b :	Exemples des traitements acoustiques possibles au voisinage immédiat des voies d'une autoroute	15
Figure N° 2.1.1 c :	Influence de la hauteur et de la longueur d'un mur antibruit le long d'axes routiers	17
Figure N° 2.1.1 d :	Exemple de murs antibruit de construction économique avec des matériaux standards	18
Figure N° 2.1.2 a :	Influence du gradient de température et du vent sur la propagation du bruit	20
Figure N° 2.1.2 b :	Influence de la topographie sur la propagation du bruit	21
Figure N° 2.1.3 a :	Enregistrement de passages de trains et compositions spectrales correspondantes	23
Figure N° 2.1.3 b :	Exemple de mur antibruit au voisinage des voies de chemin de fer (pour le contrôle des bruits de roulement sur les rails)	24
Figure N° 2.1.3 c :	Contrôle des vibrations d'une voie de chemin de fer	25
Figure N° 2.1.4 :	Courbes d'impact du bruit en NEF autour de l'aéroport international de Montréal P.-E. Trudeau	27
Figure N° 2.1.5 :	(A) exemple à gauche d'un nouvel immeuble résidentiel construit dans un quartier commercial existant et (B) exemple à droite d'un immeuble existant soumis à l'impact du bruit d'un nouvel équipement	29
Figure N° 2.1.6 a :	Protection d'une habitation contre le bruit industriel, interventions au niveau de l'urbanisme	31
Figure N° 2.1.6 b :	Protection d'une habitation contre le bruit industriel, interventions de la compagnie responsable du bruit	32
Figure N° 2.2 :	Exemple d'utilisation d'un écran translucide près des habitations	33
Figure N° 3.1.1 a :	Propagation du bruit et disposition des immeubles d'habitation parallèles à une voie de circulation ou perpendiculaires	35
Figure N° 3.1.1 b :	Notion d'épannelage des bâtiments en vue de réduire l'impact du bruit et atténuations résultant de la présence d'un ou deux écrans	36

Figure N° 3.1.1 c :	Exemples de diverses dispositions d'immeubles d'habitation au voisinage d'un corridor routier droit ou courbe et identification des réflexions nuisibles	37
Figure N° 3.1.2 a :	Réflexions sur les façades des édifices bordant une rue en « U », influence des balcons	38
Figure N° 3.1.2 b :	Exemples de différents blocs de béton avec un fort pouvoir diffusant	39
Figure N° 3.1.2 c :	Façade texturée avec de nombreux décrochements pour le contrôle des réflexions	39
Figure N° 3.1.2 d :	Exemple de panneaux en béton préfabriqués partiellement diffusant	40
Figure N° 3.1.3 a :	Exemples de disposition intérieure d'un appartement ou d'une maison en rangée pour protéger les chambres et les séjours du bruit de la circulation	42
Figure N° 3.1.3 b :	Exemple d'une façade close pour éviter la propagation du bruit d'une voie de chemin de fer	43
Figure N° 3.1.3 c :	Exemples de dispositions destinées à protéger les chambres du bruit des aéronefs	44
Figure N° 3.1.4 a :	Protection d'un immeuble en hauteur à l'aide d'un basilaire	45
Figure N° 3.1.4 b :	Protection d'un immeuble en hauteur à l'aide de loggias et d'attiques	46
Figure N° 3.1.4 c :	Effet de protection procuré par un balcon et passage du balcon à l'oriel	47
Figure N° 3.1.5 a :	Exemple d'effet de cour dans le Vieux Québec	48
Figure N° 3.1.5 b :	Cour du conservatoire de musique de Québec, vues en coupe et en plan	49
Figure N° 3.1.5 c :	Exemples de divers aménagements urbains destinés à réduire le bruit	50
Figure N° 3.2 a :	Modélisation de l'impact du bruit d'une voie de circulation sur un développement résidentiel cartographié à 1,5 m du sol	53
Figure N° 3.2 b :	Modélisation de l'impact du bruit d'une voie de circulation sur un développement résidentiel en coupe verticale	53
Figure N° 3.2 c :	Exemple de modélisation 3D pour calculer l'impact du bruit selon les différents étages d'un immeuble	54
Figure N° 4.1.1 :	Exemples de transmissions indirectes qui peuvent affecter la façade d'une habitation	57
Figure N° 4.1.2 :	Détermination de l'indice STC pour un échantillon de mur de façade	58
Figure N° 4.1.3 :	Détermination de l'indice OITC pour un échantillon de mur de façade	60
Figure N° 4.1.4 a :	Exemples de murs de façade qui respectent les exigences du Code de construction en matière d'isolation thermique	61

Figure N° 4.1.4 b :	Résumé des exigences du Code de construction pour l'isolation d'une maison unifamiliale	64
Figure N° 4.1.4 c :	Exemple de gradient de température à l'intérieur d'un mur de façade et détermination de la localisation du point de rosée	66
Figure N° 4.2.3 :	Augmentation du niveau intérieur de bruit en fonction du pourcentage d'ouverture de la fenêtre avec un niveau de pointe en façade de 75 dBA	71
Figure N° 4.3.2 :	Exemples de différents vitrages scellés	75
Figure N° 4.3.3 :	Exemple de vitrages spéciaux à forte isolation acoustique	76
Figure N° 4.4 :	Les principaux modèles de fenêtres et leurs modes d'ouverture	77
Figure N° 4.4.1 :	Modes d'aération direct et indirect avec une fenêtre coulissante à triple vitrage	78
Figure N° 4.4.3 :	Exemple de fenêtre à battant simple ou double et réflexion possible du bruit de la circulation	81
Figure N° 4.4.5 :	Exemple de porte-patio avec un troisième verre intérieur	84
Figure N° 4.5.1 :	Exemples de ventilations mécaniques insonorisées locales, hybride avec système CVCA central et hybride technologique	86
Figure N° 4.5.2 :	Exemple d'utilisation des pavés de verre et doublage possible	87
Figure N° 4.6.1 :	Exemple de fenêtre patrimoniale avec double cadrage et carreau ouvrant	89
Figure N° 4.6.2 :	Traitements de fenêtres (A) ajout d'un vitrage supplémentaire directement sur le volet d'une fenêtre (B) ajout d'une doublure de tempête en acrylique (C) doublage intérieur d'une fenêtre existante	91
Figure N° 4.6.3 :	Exemples de doublages d'une fenêtre coulissante	92
Figure N° 4.6.4 a :	Exemple de doublage d'une fenêtre à auvent, avec la possibilité d'une ventilation indirecte	94
Figure N° 4.6.4 b :	Exemple de doublage d'une fenêtre à auvent (A), puis à guillotine par l'ajout d'un écran de verre (B) ou par une contre-fenêtre (C), avec la possibilité d'une ventilation indirecte	95
Figure N° 4.6.6 a :	Exemple d'ajout d'une fenêtre en saillie devant une fenêtre à battant	97
Figure N° 4.6.6 b :	Exemple d'ajout d'un mini solarium devant une fenêtre à double battant	98
Figure N° 4.7.2 :	Exemple d'une porte d'entrée vitrée avec imposte et fenêtres latérales	101
Figure N° 4.7.3 :	Exemples de joints supplémentaires à ajouter à une porte d'entrée et joint d'astragale pour une double porte	102
Figure N° 4.7.4 :	Traitement acoustique d'une porte d'entrée exposée au bruit	104

Figure N° 4.8.1 :	Pénétration du bruit dans un balcon et paramètres requis pour caractériser l'atténuation résultante	105
Figure N° 4.8.4 a :	Analyse des propagations suivant la disposition des immeubles et traitements acoustiques requis pour les côtés des balcons, diverses situations	110
Figure N° 4.8.4 b :	Exemple de balcons superposés et traitement des parois	111
Figure N° 4.8.5 :	Différentes parois absorbantes (A) briques et cavités de résonateurs, (B) panneau perforé de parement et (C) finition avec lattes de bois traité	113
Figure N° 4.9 :	Exemple d'intégration d'un oriel sur les balcons d'un immeuble résidentiel d'Outremont à Montréal	115
Figure N° 4.9.1 a :	Exemple d'usage des oriels dans les pays européens pour des balcons peu profonds	116
Figure N° 4.9.1 b :	Ajout d'un oriel sur un balcon étroit avec porte-fenêtre ouvrant à la française	117
Figure N° 4.9.2 :	Exemple de fermeture d'un grand balcon pour constituer un oriel très fenêtré	118
Figure N° 4.9.3 :	Exemple d'ajout d'un solarium avec différentes parties ouvrantes	119
Figure N° 4.9.4 a :	Exemple de double enveloppe complète d'un bâtiment	120
Figure N° 4.9.4 b :	Ajout, sur la façade d'un édifice existant, d'une double enveloppe accessible et fenêtrée	121
Figure N° 4.9.4 c :	Exemple de doublage d'une façade existante avec une double enveloppe partiellement accessible, ventilée ou non	122
Figure N° 4.10.1 :	Constitution d'un mur de façade et localisation des différentes parties	124
Figure N° 4.10.2 :	Influence du choix du parement extérieur sur l'isolement normalisé par bandes au tiers d'octave	126
Figure N° 4.10.3 :	Exemple de discontinuités dans la finition extérieure d'une façade	128
Figure N° 4.10.4 :	Usage des barres résilientes ou autre dispositif antivibratoire pour la désolidarisation de la finition intérieure de gypse d'un mur de façade	130
Figure N° 4.10.5 :	Localisation des interventions possibles pour améliorer l'isolation d'un mur de façade	132
Figure N° 4.10.6 :	Traitement acoustique particulier pour l'isolation d'un porte-à-faux	133
Figure N° 4.11.1 :	Localisation des interventions possibles pour améliorer l'isolation d'une toiture sur charpente	135
Figure N° 4.11.2 a :	Exemple de toit-terrasse en béton et de toit vert	137

Figure N° 4.11.2 b :	Localisation des interventions possibles pour améliorer l'isolation d'une toiture plate ou cathédrale	139
Figure N° 4.12 a :	Les différentes ouvertures généralement présentes dans les murs et la toiture d'une habitation unifamiliale	141
Figure N° 4.12 b :	Traitement des différentes ouvertures pour éviter la pénétration du bruit	142
Figure N° 5.1.2 :	Analyse dynamique d'un bruit fluctuant et principaux indices statistiques de niveau de bruit	144
Figure N° 5.1.4 :	Détermination de l'indice événementiel de bruit pour le passage d'un train	148
Figure N° 5.1.5 a :	Détermination de l'indice événementiel de bruit pour le passage d'un avion	149
Figure N° 5.1.5 b :	Corridors réservés dans le cadre d'un règlement de zonage d'aéroport	150
Figure N° 5.1.6 :	Exemple de carte de bruit en NEF autour d'un aéroport et dispositions retenues pour les petits aéroports	153
Figure N° 5.2.2 :	Établissement de l'indice d'isolement STC d'un mur de façade	165
Figure N° 5.2.5 :	Détermination de l'indice d'isolement d'une paroi composite	168
Figure N° 5.3.1 :	Vérification de l'isolation acoustique d'une façade selon la procédure normalisée	171
Figure N° 5.3.2 :	Vérification de l'isolation acoustique d'une façade selon une procédure simplifiée avec un haut-parleur au sol à 45° de l'axe	175

Liste des tableaux

Tableau N° 1.4.3 :	Niveaux sonores moyens jugés comme tolérables en habitation et remarques relatives à la protection des bâtiments résidentiels	11
Tableau N° 1.4.4 :	Isolements acoustiques approximatifs recommandés dans les habitations suivant l'exposition au bruit exprimée en dBA	12
Tableau N° 2.1.2 a :	Atténuation atmosphérique suivant la température et l'humidité relative	19
Tableau N° 2.1.2 b :	Atténuation suivant la couverture végétale du sol	20
Tableau N° 3.1.3 :	Disposition des différentes pièces ou fonctions dans une résidence en regard de la pénétration du bruit à partir de la façade la plus exposée	41
Tableau N° 4.1.4 a :	Correspondance entre les facteurs d'isolation thermique	62
Tableau N° 4.1.4 b :	Résistances thermiques suggérées pour les parties exposées des constructions	63
Tableau N° 4.1.4 c :	Contribution acoustique des principaux matériaux d'isolation thermique	65
Tableau N° 4.2.1 a :	Influence de l'isolement du mur de façade sur le niveau intérieur résultant	68
Tableau N° 4.2.1 b :	Influence de l'isolement de la fenêtre sur le niveau intérieur résultant	68
Tableau N° 4.2.2 a :	Influence de la surface de la fenêtre fermée sur le niveau intérieur résultant	69
Tableau N° 4.2.2 b :	Indice d'isolement requis lorsque la surface de la fenêtre augmente	70
Tableau N° 4.3.1 :	Influence de la distance entre les verres doubles sur l'indice d'isolement STC	74
Tableau N° 4.6.7 :	Résumé des traitements possibles pour les fenêtres neuves ou existantes	99
Tableau N° 4.7.1 :	Indice d'isolement acoustique des quelques portes d'entrée	100
Tableau N° 4.10.2 :	Aperçu des isolements des matériaux de parement extérieur et le leur comportement en basses fréquences	126
Tableau N° 5.1.6 :	Niveaux maximaux acceptables des bruits de la circulation routière et ferroviaire dans les quartiers d'habitation (SCHL)	151
Tableau N° 5.1.8 :	Niveaux de bruit recommandés selon la note d'instructions	98-01 155
Tableau N° 5.1.9 a :	Niveaux de bruit admissibles suivant la localisation (Ville de Montréal)	158
Tableau N° 5.1.9 b :	Normalisation selon le niveau de bruit de fond (Ville de Montréal)	158
Tableau N° 5.1.9 c :	Normalisation selon le type de bruit mesuré (Villes de Montréal et Québec)	159
Tableau N° 5.1.9 d :	Normalisation selon la durée d'émission (Ville de Montréal)	159
Tableau N° 5.1.9 e :	Niveau maximal de bruit normalisé (Ville de Québec)	160
Tableau N° 5.1.9 f :	Normalisation selon le niveau de bruit de fond (Ville de Québec)	160

Tableau N° 5.1.10 a :	Résumé des valeurs recommandées par l'OMS pour la protection des lieux habités contre le bruit	161
Tableau N° 5.1.10 b :	Résumé des valeurs recommandées par l'OMS en fonction des diverses sources de bruit	162
Tableau N° 5.2.4 :	Fréquences critiques pour une épaisseur de 1 mm des matériaux courants	166
Tableau N° 5.3.1 :	Exemple de calcul pour la détermination de l'indice OITC	172
Tableau N° 5.4 :	Isolement acoustique approximatif et principales caractéristiques de différents matériaux de construction	176
Tableau N° 5.5 a :	Isolement acoustique de différents vitrages doubles en fonction de la distance entre les verres (non scellés)	178
Tableau N° 5.5 b :	Isolement acoustique de vitrages doubles scellés avec ajout d'un troisième verre simple	178
Tableau N° 5.5 c :	Isolement acoustique des différents vitrages scellés doubles et triples	179
Tableau N° 5.6 a :	Isolement acoustique de différents types de fenêtres	181
Tableau N° 5.6 b :	Isolement acoustique de différents types de fenêtres, avec ou sans scellement complémentaire des joints	182
Tableau N° 5.7 :	Isolement acoustique de différents types de murs de façade	183
Tableau N° 5.8 a :	Isolement acoustique de différents types de toitures plates ou cathédrales	187
Tableau N° 5.8 b :	Isolement acoustique de différents types de toitures sur charpente	188
Tableau N° 5.9 :	Absorption acoustique des matériaux pouvant être utilisés à l'extérieur	190

Références bibliographiques ou visuelles

1. World Health Organization, Regional office for Europe. *Environmental noise guidelines for the European Region*. Genève; 2018.
2. Berglund B, Lindvall T, Schwela DH, World Health Organization. Occupational and Environmental Health Team. *Guidelines for community noise*. Genève; 1999.
3. Littré É. *Dictionnaire de la langue française*. Hachette L, éd. Paris; 1873-1874.
4. CDPQ Infra inc. *Réseau électrique métropolitain – Étude de l'impact sur l'ambiance sonore*. Montréal; novembre 2016.
5. Dialog, J.E. Coulter Associates Ltée, Association des chemins de fer du Canada, Fédération canadienne des municipalités. *Lignes directrices applicables aux nouveaux aménagements à proximité des activités ferroviaires*. Ottawa; 2013. (<https://www.proximityissues.ca/fr/>)
6. Transports Canada. *TP 1247F Aviation - Utilisation des terrains au voisinage des aérodromes*. Ottawa; publié 2014. (<https://www.tc.gc.ca/fra/aviationcivile/publications/tp1247-menu-1418.htm>)
7. Société canadienne d'hypothèques et de logement, Conseil national de recherches du Canada, Division des recherches sur le bâtiment. *Nouveaux secteurs résidentiels à proximité des aéroports*. Ottawa; 1981.
8. Ministère des Transports du Québec, Service de l'environnement. *Politique sur le bruit routier*. Québec; 1998.
9. Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. *Note d'instructions 98-01, Traitement des plaintes sur le bruit et exigences aux entreprises qui le génèrent*. Québec; 2006. (<http://www.environnement.gouv.qc.ca/publications/note-instructions/98-01.htm>)
10. Société canadienne d'hypothèques et de logement. *Le bruit du trafic routier et ferroviaire : ses effets sur l'habitation*. 2^e édition. Ottawa; 1981.
11. Société canadienne d'hypothèques et de logement. *L'isolement acoustique*. Collection Constructions. Ottawa; 1987.
12. Martin R, Gauthier M, Chaussé K, Thibault C, Sassine M-P, Institut national de santé publique du Québec. *Meilleures pratiques d'aménagement pour prévenir les effets du bruit environnemental sur la santé et la qualité de vie : guide*. Québec; 2018.
13. Conseil d'agglomération de Montréal. *Schéma d'aménagement et de développement de l'agglomération de Montréal*. 2015.
14. Edil Leca. *Barriere Acustiche*. Valvasone-Arzene, Italie; 2020. (https://www.edilleca.com/it/cat_catalogo/infrastrutture/barriere-acustiche-it/)
15. Downtowngal, Own work, 1960s apartment building facade brick detail, Oxford Avenue between 1st and 2nd Streets, Koreatown, Los Angeles, CC BY-SA 4.0, 2021. (<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=99285431>)
16. Migneron J-G. *Acoustique urbaine*. Masson et Presses de l'Université Laval. Paris; 1980.
17. Université McGill, École des sciences de l'information. *Publications - Ville sonore*, Montréal; 2021. (<https://www.sounds-in-the-city.org/fr/publications-fr/>).

18. Rubio CC-I S, Sánchez-Pérez J V, Candelas P, Belmar F, Uris A. *Open Acoustic Barriers: A New Attenuation Mechanism*. dans: *Advances in Noise Analysis, Mitigation and Control*, Ahmed N, éd.; 2016.
19. Ministère des Transports du Québec. *Documents contractuels - Transports Québec*. Québec; 2020. (<https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/entreprises-partenaires/entreprises-reseaux-routier/contrats/Pages/Documents-contractuels.aspx>)
20. Federal Highway Administration. *FHWA Traffic Noise Model Version 3.0*. U.S. Department of Transportation. États-Unis; 2020. (https://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/traffic_noise_model/tnm_v30/)
21. Conseil national de recherches du Canada, Régie du bâtiment du Québec. *Code de construction du Québec - chapitre 1, bâtiment et Code national du bâtiment - Canada 2010 (modifié)*. 3^e édition. Ottawa; 2015.
22. Bradley JS, Birta JA. *Mesures en laboratoire de l'isolation acoustique des éléments de la façade des bâtiments*. Conseil national de recherches Canada, Institut de recherche en construction. Ottawa; 2000. (<https://doi.org/10.4224/20386467>)
23. American Society for Testing and Materials. *ASTM E413 – 16 Classification for Rating Sound Insulation*. ASTM International. West Conshohocken, PA, États-Unis; 2016.
24. American Society for Testing and Materials. *ASTM E1332 – 16 Standard Classification for Rating Outdoor-Indoor Sound Attenuation*. ASTM International. West Conshohocken, PA, États-Unis; 2016.
25. American Society for Testing and Materials. *ASTM E966 – 18a Standard Guide for Field Measurements of Airborne Sound Attenuation of Building Facades and Facade Elements*. ASTM International. West Conshohocken, PA, États-Unis; 2018.
26. Association des professionnels de la construction et de l'habitation du Québec. *Guide chantier - Résumé des exigences en matière d'efficacité énergétique (révision 2015)*. Montréal; 2015.
27. Transition énergétique du Québec. *Exigences techniques - Maison et Petit bâtiment multilogement*. Québec; 2018. (https://transitionenergetique.gouv.qc.ca/fileadmin/medias/pdf/novoclimat-maison-PBM/EN_Exigences_techniques_Novoclimat-M-PBM_2018-01-31.pdf)
28. Quirt JD, Conseil national de recherches du Canada. *Sound transmission through windows*. Canadian Building Digest; no CBD-240. Ottawa; 1988.
29. Quirt JD, Conseil national de recherches du Canada. *Measurements of the Sound Transmission Loss of Windows*. Ottawa. 1981.
30. Stryjenski J. *L'acoustique appliquée à l'urbanisme*. Les éditions techniques . Genève; 1967.
31. Canadian Standards Association. *CSA A500-16 Garde-corps*. CSA Group. Toronto; 2016.
32. Commission canadienne des codes du bâtiment et de prévention des incendies, Conseil national de recherches du Canada. *Code national de l'énergie pour les bâtiments : Canada 2011*. 2^e édition. Ottawa; 2011. (ou version ultérieure)

33. Imprimeur de la Reine pour l'Ontario, *Communauté River Oaks d'Oakville (5)*, Secrétariat des initiatives de croissance de l'Ontario, ministère des affaires municipales, CC BY 2.0, 2014.
(<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=118752492>)
34. TonyTheTiger, *Green roof of Chicago City Hall*, CC BY-SA 3.0, 2008
(<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=5236408>)
35. Commission Électrotechnique Internationale (IEC). *Electroacoustics – Sound level meters – Part 1: Specifications*. Genève; 2013.
36. Organisation internationale de normalisation (ISO). *Acoustique – Applications ferroviaires – Mesurage du bruit émis par les véhicules circulant sur rails*. Genève; 2013. (<https://www.iso.org/fr/standard/55726.html>)
37. Ville de Montréal, Arrondissement de Verdun. *Ordonnance OCA11 21001*. Montréal; 2011. (http://www1.ville.montreal.qc.ca/banque311/webfm_send/381)
38. Ville de Québec. *Règlement R.V.Q. 978 sur le bruit*. Québec; 2005.
(<https://reglements.ville.quebec.qc.ca/fr/ShowPdf/an/R.V.Q.978.pdf>)
39. World Health Organization, Regional Office for Europe. *Night noise guidelines for Europe*. 2009.
40. Martin R, Gauthier M, Institut national de santé publique du Québec. *Nouvelles lignes directrices de l'Organisation mondiale de la Santé sur le bruit environnemental : changement d'approche*. Résumé scientifique. Québec; Publié en 2019. (<https://www.inspq.qc.ca/bise/nouvelles-lignes-directrices-de-l-organisation-mondiale-de-la-sante-sur-le-bruit-environnemental-changement-d-approche>)
41. American Society for Testing and Materials. *ASTM E90-09(2016) Standard Test Method for Laboratory Measurement of Airborne Sound Transmission Loss of Building Partitions and Elements*. ASTM International. West Conshohocken, PA, États-Unis; 2016.
42. American Society for Testing and Materials. *ASTM E336-20 Standard Test Method for Measurement of Airborne Sound Attenuation between Rooms in Buildings*. ASTM International. West Conshohocken, PA, États-Unis; 2020.
43. Organisation internationale de normalisation (ISO). *Acoustique – Mesurage in situ de l'isolement acoustique des bâtiments et des éléments de construction – Partie 3 : Isolement aux bruits de façades*. Genève; 2016.
(<https://www.iso.org/fr/standard/59748.html>)
44. Glas Trösch AG. *Isolation acoustique Acoustique: Ces bruits qui ne nous laissent pas en paix*. Bützberg, Suisse; 2010.
45. Morin M, Société canadienne d'hypothèques et de logement. *Projet de recherche sur l'isolation sonore procurée par les fenêtres des projets résidentiels*. NH15-304/1997F. Ottawa; 1997.
(https://publications.gc.ca/collections/collection_2011/schl-cmhc/nh18-1-2/NH15-304-1997-fra.pdf)

NOTES

This image shows a full page of blank, lined paper. It features approximately 20 evenly spaced horizontal blue lines across its entire width. The lines are thin and consistent in color, set against a plain white background. There are no margins, text, or other markings present on the page.

