

TABLE DES MATIÈRES

10.1. CARACTÉRISATION DES ÉLÉMENTS URBAINS	3
10.1.1. Les sources	3
10.1.2. Les récepteurs	3
10.1.3. Les espaces sonores	4
10.2. ACOUSTIQUE D'UN LIEU EXTÉRIEUR : SOLUTIONS URBANISTIQUES	6
10.2.1. Actions possibles	6
10.2.1.1. Agir à la source du bruit	6
10.2.1.2. Agir au niveau de l'affectation du sol	6
10.2.1.3. Agir sur l'agencement des bâtiments	6
10.2.1.4. Choisir les matériaux	7
10.2.1.5. Mettre à profit l'effet de masque	8
10.2.2. Les lieux extérieurs en ville	8
10.2.2.1. Les parcs et espaces verts	8
10.2.2.2. Les places et espaces publics	9
10.2.2.3. Les jardins privés	10
10.3. VIVRE EN VILLE : SOLUTIONS ARCHITECTURALES	11
10.3.1. Recommandations en ce qui concerne le bruit routier	11
10.3.2. Notions d'isolation acoustique	11
10.3.2.1. Transmission du bruit et isolation acoustique	11
10.3.2.2. Indice d'affaiblissement en transmission R	11
10.3.2.3. Fréquence critique f_c	13
10.3.2.4. L'isolement acoustique normalisé D_n	13
10.3.2.5. Relation entre D_n et R	15
10.3.3. En pratique, au sein de l'habitat	15
10.3.3.1. Les fuites acoustiques	15
10.3.3.2. Les fenêtres et portes extérieures	16
10.3.3.3. Les toitures	19
10.3.3.4. Les murs de façades	21
10.3.3.5. Profil des façades	22
10.3.3.6. Problèmes inhérents à l'isolation acoustique	23
10.3.4. Estimation des coûts	27
10.3.4.1. Coûts comparatifs	27
10.3.4.2. Subsidés en Région de Bruxelles-Capitale	28
10.4. RÉFÉRENCES	30

10.1. CARACTÉRISATION DES ÉLÉMENTS URBAINS

Le bruit en ville caractérise de nombreux phénomènes, il fait partie intégrante de la ville. Il se compose de tous les bruits qui existent en un site urbain et qui proviennent des animations et activités présentes en ce lieu, de la vie qui s'y déroule.

Le bruit est un indicateur de présence de vie, une expression de l'échange, une marque du temps, un moyen d'exister.

Le bruit en ville n'a donc pas que des aspects négatifs, il s'avère parfois agréable et souvent utile. Il est cependant évident que certains bruits en ville peuvent susciter des gênes significatives. Ceci est principalement vrai pour le bruit routier.

L'urbanisme et l'architecture de la ville sont deux éléments qui peuvent empêcher le bruit routier de pénétrer tout lieu et toute habitation. En effet, le tissu urbain permet au bruit de passer ou non, le réfléchit, l'absorbe, le redirige.

Etudier la propagation du bruit routier en ville revient à étudier la configuration urbanistique de celle-ci et à répondre à des questions architecturales qui elles aussi définissent l'ambiance sonore de l'endroit considéré.

10.1.1. Les sources

Le bruit routier est dû à un ensemble de véhicules empruntant des voies de circulation. Celles-ci sont alors identifiées comme sources sonores.

Différents facteurs influencent l'émission du bruit routier :

- ◆ la composition du trafic (voiture individuelle, poids lourds, etc.);
- ◆ le nombre de véhicules empruntant la voirie;
- ◆ le type d'écoulement (fluide, saturé, embouteillage, etc.);
- ◆ la vitesse des véhicules;
- ◆ le revêtement de la voirie;
- ◆ le comportement du conducteur.

10.1.2. Les récepteurs

Les récepteurs du bruit urbain seront à la fois des lieux extérieurs :

- ◆ les places;
- ◆ les parcs;
- ◆ les jardins privés;
- ◆ les rues résidentielles;

mais aussi des espaces intérieurs :

- ◆ les habitations;
- ◆ les classes d'écoles, les hôpitaux, etc.

Ces récepteurs peuvent être rassemblés en îlots ou se répartir de part et d'autre d'une voirie dans le cas d'une traversée d'agglomération. La conception des rues ou des quartiers nécessite une attention particulière pour se prémunir de désagréments acoustiques que peut engendrer la circulation routière (voir la fiche 8 relative aux aménagements locaux de voiries et la fiche 9 relative aux zones à statut spécifique).

Dans les villes, les bâtiments, les parcs, les places constituent des unités (les îlots dans nos villes traditionnelles) séparées par les voies de circulation.

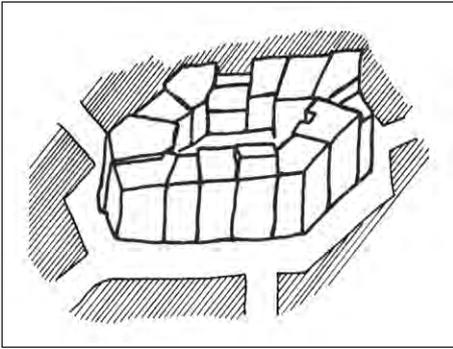


Figure 1 : Représentation d'un îlot traditionnel



Figure 2 : Îlot Mahillon-Emeraude, Schaerbeek

10.1.3. Les espaces sonores

La ville est un espace sonore au sens où son organisation, sa structure urbanistique et son architecture déterminent la propagation du bruit routier.

La 'géométrie' de la ville, c'est-à-dire la forme du tissu urbain, peut présenter plus ou moins d'« ouvertures », de « trous », qui permettent la propagation du bruit. On parle alors de la perméabilité acoustique du milieu urbain.

Selon leur perméabilité, les tissus urbains peuvent être ouverts ou fermés d'un point de vue acoustique.

Définir le type de tissu urbain rencontré nécessite la définition préalable de champ libre et de champ diffus.

La notion de champ libre caractérise un milieu où le bruit se propage sans rencontrer d'obstacle. L'intensité du bruit diminue donc avec l'éloignement à la source.

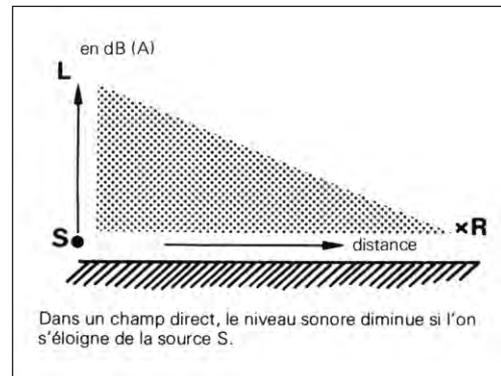


Figure 3 : Champ libre (ou direct)

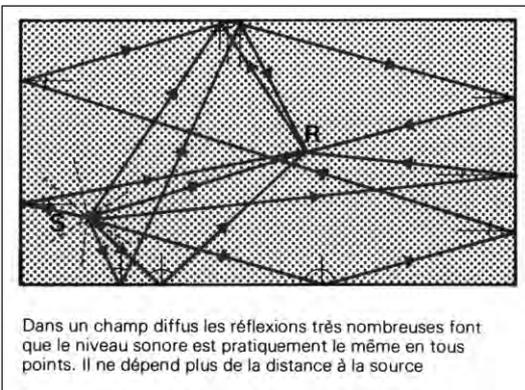


Figure 4 : Champ diffus

Il faut opposer au concept de champ libre, celui de champ diffus. Dans ce cas, le son rencontre des obstacles et se réfléchit sur ceux-ci.

Le niveau sonore d'un bruit dans un champ diffus dépend alors de la puissance de la source et de la capacité d'absorption du milieu.

En effet, le niveau sonore perçu en champ diffus s'obtient par l'addition du niveau sonore de chaque bruit présent dans le champ diffus, c'est-à-dire le niveau sonore de la source et les niveaux sonores de tout bruit réfléchi dans le milieu.

Ces deux notions appliquées au tissu urbain permettent de définir les tissus urbains ouverts et fermés acoustiquement. Pour illustrer ces concepts, définissons les différents profils de rues.

Une rue est l'ensemble formé par la voie de circulation et la première rangée de façades la bordant.

- ◆ Le profil en U correspond à une rue bordée par deux rangées de façades en vis-à-vis. Ce profil est comparable à un tissu urbain acoustiquement fermé.



Figure 6 : Rue en U à Bruxelles, quartier européen

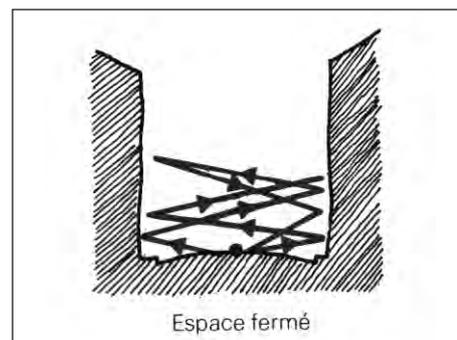


Figure 5 : Rue en U représentative d'un espace urbain fermé

Les rues en U ont une caractérisation géométrique. En effet, une rue est dite en U si le rapport entre la hauteur des bâtiments de la rue (H) et la largeur entre les façades longeant de part et d'autre l'axe de circulation (l) est supérieur à 0,2.

$$\frac{H}{l} \geq 0,2$$

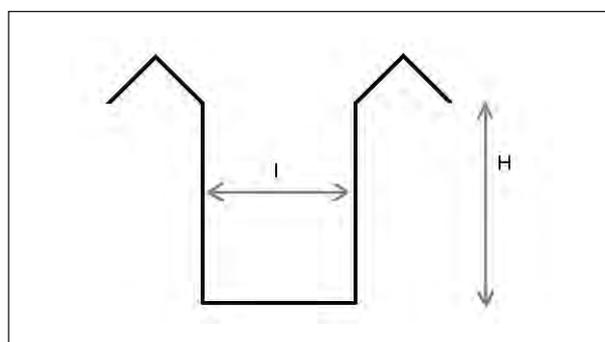


Figure 7 : Caractérisation géométrique d'une rue en U

- ◆ Le profil en L correspond à une rue bordée par une seule rangée de façades. Ce profil est comparable à un tissu urbain acoustiquement ouvert.

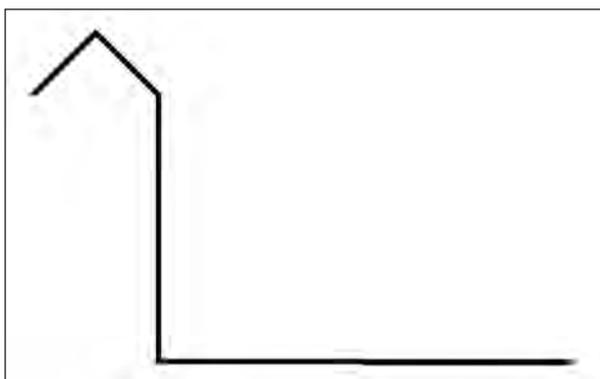


Figure 8 : illustration d'une rue ayant un profil en L

10.2. ACOUSTIQUE D'UN LIEU EXTÉRIEUR : SOLUTIONS URBANISTIQUES

10.2.1. Actions possibles

Pour agir sur l'acoustique ou l'ambiance sonore d'un milieu urbain, plusieurs moyens sont à disposition :

- ◆ agir à la source;
- ◆ agir au niveau de l'affectation du sol;
- ◆ agir sur l'agencement des bâtiments;
- ◆ choisir les matériaux;
- ◆ mettre à profit l'effet de masque.

10.2.1.1. Agir à la source du bruit

Une première solution pour lutter contre le bruit routier réside évidemment dans les actions possibles au niveau des sources sonores.

Les actions envisageables peuvent être :

- ◆ la mise en œuvre d'aménagements locaux de voirie (ralentisseurs de vitesse, plateaux, déviements latéraux, etc.) , et l'installation de zones à statut spécifique (zone 30, etc.);
- ◆ le changement du revêtement routier ayant plus ou moins d'influence en fonction des vitesses en jeu.

La fiche 7 relative aux revêtements routiers, la fiche 8 relative aux aménagements locaux de voiries et la fiche 9 relative aux zones à statut spécifiques traitent spécifiquement des actions envisageables au niveau des sources sonores.

10.2.1.2. Agir au niveau de l'affectation du sol

Attribuer une zone à telle ou telle activité particulière (industries, commerces, bureaux) ou à l'habitat, voir à une mixité des fonctions, conditionnera inévitablement le type de bruit généré par ces activités et l'ambiance sonore des lieux.

Le trafic (intensité, composition) ainsi que le cadre bâti (emplacement, type et hauteur des bâtiments : voir plus loin), éléments influençant tous deux le bruit en ville, sont en effet dépendants de l'affectation proposée.

10.2.1.3. Agir sur l'agencement des bâtiments

Le tissu urbain est constitué d'obstacles qui dévient le son ou le laissent passer mais avec un niveau sonore atténué. Il est donc possible, en modifiant le tissu urbain, d'agir sur la perméabilité des lieux afin de redéfinir l'acoustique extérieure.

Jouer sur les obstacles du tissu urbain et leur épaisseur aide à se protéger des sources de bruit et il est possible d'ajouter, d'enlever ou même de décaler ces obstacles qui se présentent sous diverses formes : bâtiments, murs, murets, etc.

La création d'espaces tampons est également utile. Ce sont des espaces intermédiaires entre la source de bruit et l'endroit où le calme est recherché. Dans cette optique, l'ajout de porches, d'arcades, et d'autres éléments de la sorte permettent de dévier ou conduire le son.



Figure 9 : Mont des Arts, présence de porches créant une rupture acoustique et conférant une atmosphère calme dans le parc

10.2.1.4. Choisir les matériaux

Les éléments constitutifs du tissu urbain possèdent des qualités acoustiques réfléchissantes ou absorbantes variables selon les matériaux utilisés.

Agir sur la qualité des matériaux permet de modifier l'ambiance sonore d'un site :

- ◆ L'utilisation de matériaux réfléchissants améliore la perception de certain son.
- ◆ L'utilisation de matériaux absorbants sur de grandes surfaces permet de rendre un tissu fermé, ouvert d'un point de vue acoustique. En effet, les matériaux absorbants empêchent la réflexion du bruit et donc l'augmentation de son niveau sonore due à la superposition du bruit émis et du bruit réfléchi.

Le pouvoir absorbant d'un matériau est défini par son coefficient d'absorption. Au plus une paroi absorbe au moins elle réfléchit et inversement.

Lorsqu'une onde sonore rencontre une paroi, celle-ci absorbe plus ou moins l'énergie acoustique de l'onde.

Le coefficient d'absorption α détermine la quantité d'énergie absorbée par une paroi par rapport à la quantité d'énergie incidente.

$$\alpha = \frac{\text{Energie absorbée}}{\text{Energie incidente}}$$

Coefficient d'absorption α		Type de matériau
Totalement réfléchissant	$\alpha = 1$	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Plan d'eau ◆ Dalle bétonnée ◆ Plaques métalliques ◆ Bois vernis ◆ Marbre
Semi réfléchissant	$\alpha = 0.8$	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bois non poncé et peu jointif ◆ Pierres plates régulières ◆ Crépi ◆ Blocs de béton rugueux ◆ Sols revêtus de matériaux bitumineux
Semi absorbant	$\alpha = 0.5$	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Bois non jointifs et non poncés ◆ Gravier, matières granuleuses répandues sur le sol ◆ Sol en terre avec gazon
Absorbant	$\alpha = 0.3$	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Sol naturel très irrégulier comportant une végétation dense

Table 1 : coefficient d'absorption et caractéristique réfléchissante de différents matériaux

10.2.1.5. Mettre à profit l'effet de masque

Le bruit de fond est le bruit résultant du mélange des différents bruits présents de manière continue sur le lieu étudié. Il permet de définir l'ambiance sonore de ce lieu.

Un son est entendu dans un lieu quelconque quand deux conditions sont réunies : son niveau sonore doit être supérieur au seuil d'audibilité et avoir un niveau égal ou supérieur au niveau de bruit de fond. Certains sons de niveau légèrement inférieur au bruit de fond peuvent aussi être perçus.

On dit qu'un bruit est masqué quand son niveau sonore est inférieur de 10 dB[A] au niveau sonore d'un autre bruit produit simultanément.

Ce phénomène a déjà été expliqué à la fiche 1, lorsque l'on considérait l'addition des niveaux sonores.

Cela implique qu'un observateur, en présence de plusieurs bruits, entende uniquement un certain bruit lorsque le niveau sonore de celui-ci surpasse d'au moins 10 dB[A] le niveau sonore des autres sources. On dit qu'il masque les autres bruits.

L'effet de masque appliqué au tissu urbain permet de masquer un son que l'on ne veut pas entendre en augmentant le bruit de fond suffisamment pour qu'il masque le bruit parasite.

De même, l'effet de masquage permet de mettre en évidence certains sons plus agréables. On utilise par exemple à cet effet des fontaines qui augmentent le bruit de fond.

L'effet de masque dépend de la fréquence, celui-ci est plus vite atteint dans les basses fréquences car l'écart de niveau entre le bruit de fond et le bruit parasite doit être faible pour obtenir un effet de masque.

Fréquence centrale des octaves (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Différence entre le bruit de fond et un bruit parasite (dB)	2	6	9	12	13	13

Table 2 : Valeurs approchées de l'écart de niveau entre le bruit de fond et un bruit parasite suivant le spectre de fréquences pour obtenir un effet de masquage.

10.2.2. Les lieux extérieurs en ville

Le but recherché dans les espaces publics urbains tels les parcs, jardins ou places, est de rendre dominants les sons en général dominés. Cet enjeu est atteint en traitant acoustiquement les sons dominés afin que ceux-ci puissent rendre leur définition sonore aux lieux auxquels ils appartiennent.

10.2.2.1. Les parcs et espaces verts

Les espaces verts sont des lieux situés en ville où il est possible de trouver calme et tranquillité, protéger ces espaces verts du bruit routier est indispensable pour la définition même de ces lieux privilégiés.

◆ Mettre à profit l'effet de masque :

L'utilisation de plantations intervient dans la définition sonore de tels espaces.

Les écrans d'arbres n'arrêtent pas le bruit mais interviennent dans l'ambiance sonore. Les arbres parcourus par le vent masquent les bruits gênants en participant au bruit de fond du lieu.

L'ajout de fontaines participe également au bruit de fond et permettra donc aussi de masquer d'autres bruits moins agréables.



Figure 10 : Parc de Bruxelles, la fontaine masque le bruit de la route longeant le parc

◆ L'utilisation de matériaux absorbants :

Les végétaux, arbustes ne protègent pas efficacement contre la propagation du bruit. Les pelouses ont un pouvoir réfléchissant moins important que le revêtement dur, tel les revêtements routiers, et absorbent donc partiellement l'énergie sonore. Les espaces verts peuvent aussi être protégés du bruit par l'utilisation de murs écrans paysagers ou en étant entourés de façon homogène par un ensemble de bâtiments ou encore en jouant sur la topographie du site en l'entourant d'une butte.



Figure 11 : Parc de Bruxelles, des buttes y ont été aménagées

10.2.2.2. Les places et espaces publics

La place est le lieu caractéristique d'une ville, son centre. C'est sur la place de la ville qu'ont lieu, marchés en tout genre et activités culturelles variées. Ces espaces gagnent à être protégés du bruit routier afin de leur conférer une ambiance sonore propre aux activités qu'ils peuvent accueillir.

◆ Mise en place d'espaces tampons :

Un ensemble de bâtiments entourant de façon homogène la place joue le rôle de barrière contre le bruit.

Les épaisseurs des fronts bâtis, porches, cours... et l'utilisation d'espaces tampons permettent d'intervenir sur la propagation du bruit et de définir de la sorte l'ambiance sonore de la place.



Figure 12 : place des Béguines, la place est entourée de façon homogène par des bâtiments, constituant une coupure entre le bruit de la ville et l'espace sonore créé sur la place

◆ Intervenir à la source :

On peut réduire la source du bruit qui parcourt la place en appliquant des contraintes de circulations (aménagement locaux de voiries, zone 30, etc.) aux alentours des places.

Il est conseillé au lecteur de se rapporter aux fiches 8 et 9 du même ouvrage.

10.2.2.3. Les jardins privés

Protéger les jardins privés en ville est indispensable pour qu'ils gardent leur rôle de lieu de quiétude. On peut contrôler la propagation du bruit par :

- ◆ les murs des clôtures;
- ◆ le traitement des sols en matériaux absorbants;
- ◆ des murs d'enceinte constitués de bâtiments annexes comme les garages;
- ◆ le modelage du terrain en créant une butte le plus près possible de la source;
- ◆ des murs écrans paysagers (voir fiche 11).



Figure 13 : Jardin dans Bruxelles, présence de végétation et de murs

10.3. VIVRE EN VILLE : SOLUTIONS ARCHITECTURALES

10.3.1. Recommandations en ce qui concerne le bruit routier

Les recommandations d'application en ce qui concerne le bruit routier en Région de Bruxelles-Capitale ont comme objectif à long terme les recommandations de l'OMS qui conseillent les valeurs limites suivantes pour les niveaux de pression acoustique équivalents :

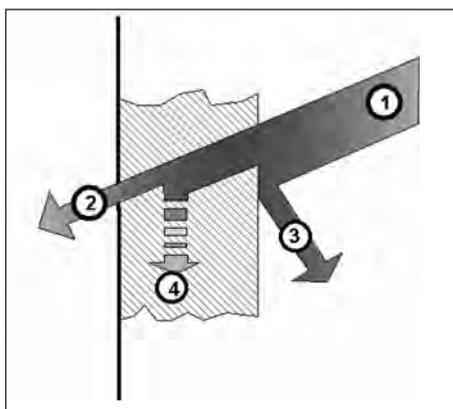
- ◆ $L_{Aeq} = 35 \text{ dB(A)}$ pour l'intérieur des logements, salles de classes et jardins d'enfants;
- ◆ $L_{Aeq} = 30 \text{ dB(A)}$ pour l'intérieur des chambres à coucher, salles de repos des jardins d'enfants, ainsi que pour les salles et chambres d'hôpitaux.

Tout élément constituant la façade de l'habitation transmet le bruit de l'extérieur vers l'intérieur. La façade doit s'opposer à la transmission du bruit.

10.3.2. Notions d'isolation acoustique

10.3.2.1. Transmission du bruit et isolation acoustique

Une onde sonore arrivant sur un obstacle (1), tel une paroi, est réfléchi(3), absorbée (4) et transmise (2) à travers l'obstacle.



Se protéger du bruit consiste à s'en isoler en diminuant le phénomène de transmission à travers la paroi. On parle alors d'isolation acoustique.

10.3.2.2. Indice d'affaiblissement en transmission R

L'indice d'affaiblissement en transmission (R), aussi appelé performance acoustique, d'une paroi définit sa capacité d'isolation acoustique, son opposition sur le milieu acoustique extérieur.

Des modèles mathématiques et des mesures en laboratoire ont conduit à une formulation simplifiée pour l'estimation de cet indice en affaiblissement, c'est la loi des masses pratiques.

L'efficacité d'une paroi à isoler du bruit dépend de la masse de la paroi et de la fréquence du bruit dont on veut s'isoler.

$$R = 13.3 \log (m * f) - 22.4 \quad (\text{dB})$$

où

m est la masse par unité de surface de la paroi (kg/m^2);

f est la fréquence du bruit (Hz).

Doubler la masse de la paroi ne conduit qu'à une augmentation de 4 dB de l'indice d'affaiblissement en transmission. Il n'est donc pas judicieux d'améliorer l'isolation acoustique d'une paroi en ne faisant qu'augmenter son épaisseur.

Pour une façade composée de deux parois différentes, l'indice d'affaiblissement dépend à la fois de l'indice d'affaiblissement de chacune des parois et de la surface de celles-ci.

$$R = 10 \log \frac{S_1 + S_2}{S_1 10^{-0.1R_1} + S_2 10^{-0.1R_2}} \quad (\text{dB})$$

où

S_1 et S_2 sont les surfaces des deux parois ;

R_1 et R_2 leur indice d'affaiblissement respectif.

Il faut en premier lieu renforcer les éléments les plus faibles (ceux ayant un R petit) de la façade (portes, fenêtres).

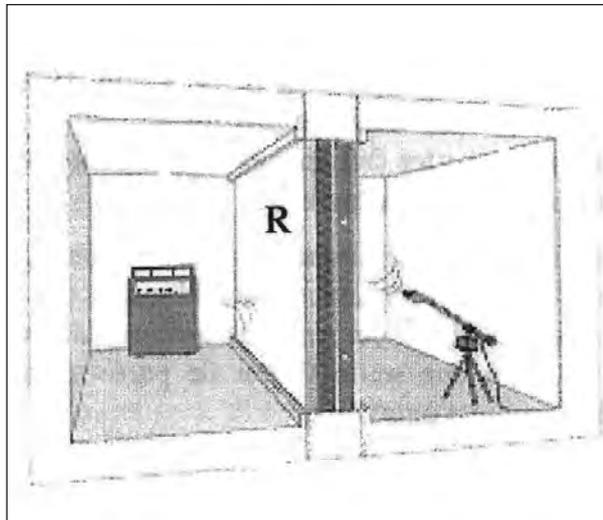


Figure 14 : L'indice d'affaiblissement acoustique R caractérise la paroi

L'indice d'affaiblissement en transmission (R) d'une paroi définit sa capacité d'isolation acoustique. L'indice d'affaiblissement en transmission pour le bruit routier, noté R_{route} , d'une paroi définit sa capacité d'isolation acoustique face au bruit routier.

Il est à noter qu'il existe une autre définition de l'indice d'affaiblissement acoustique, noté R_w . Ce facteur a été établi à partir d'une courbe de référence préconisée par la norme ISO 717-7. R et R_w ne sont en général pas corrélés entre eux.

$$R_w = L_E - L_R + 10 \log \frac{S}{A} \quad (\text{dB})$$

où

L_E est le niveau sonore dans le local d'émission

L_R , le niveau sonore dans le local de réception

S est la surface de la parois en m^2

A est l'aire d'absorption de la pièce de réception en m^2 .

R_w exprimé avec la loi des masses est défini comme suit :

$$R_w = 13,3 \log (m \cdot f) - 22,6 \quad (\text{dB})$$

10.3.2.3. Fréquence critique f_c

La loi des masses prouve que l'affaiblissement acoustique croît lorsque la masse de la paroi ou la fréquence du bruit augmente.

Cependant, ce facteur dépend également d'un autre paramètre : la rigidité de la paroi.

La paroi simple, aux environs de certaines fréquences critiques, rayonne de façon maximale le bruit dans le milieu récepteur. L'atténuation du bruit est donc plus faible que ce que la loi des masses ne prévoit. La résonance aux fréquences critiques provoque donc une diminution de la performance acoustique de la paroi. Cette diminution de performance est limitée par l'amortissement du matériau. En effet, la fréquence critique varie comme l'inverse de l'épaisseur pour un même matériau.

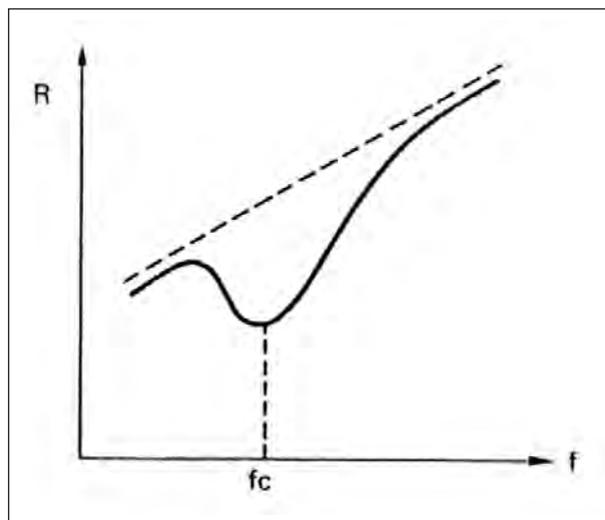


Figure 15 : Représentation de l'évolution de R aux alentours de la fréquence critique

Matériau (1 cm d'épaisseur)	Fréquence critique f_c (Hz)	Diminution de la performance d'isolation acoustique à la fréquence critique (dB[A])
Béton	1800	8
Plâtre	4000	8
Verre	1200	10
Acier	1200	10

Table 3 : Diminution des performances acoustiques de différents matériaux à leur fréquence critique.

10.3.2.4. L'isolement acoustique normalisé D_n

L'isolement acoustique brut D_b définit la performance des parois dans leur contexte, c'est à dire sur le site réel où elles sont utilisées. D_b définit donc la performance in situ.

D_b est la différence de niveau sonore entre un local où une source sonore a été placée (émission) et un autre local (réception).

$$D_b = L_1 - L_2 \quad (\text{dB[A]})$$

Dans le cas d'une étude relative au bruit routier, L_1 est le niveau de bruit en façade d'un immeuble et L_2 est le niveau de bruit dans le local de réception, tous deux exprimés en décibel A.

Plus un local de réception est réverbérant, plus le niveau sonore dans celui-ci est important.

Un son émis par une source située dans un local est en partie réfléchi par les parois du local, cela donne naissance à des sons réverbérés.

La durée de réverbération d'un local correspond au temps mis par le son pour que son niveau d'intensité diminue de 60 décibels après l'interruption de l'émission de la source sonore. Cette durée de réverbération dépend du volume du local et de l'absorption des diverses parois.

Une loi simplifiée à pu être mise en évidence de façon empirique.

$$T = 0.16 \frac{V}{A} \quad (\text{s}) \quad \text{Formule de Sabine}$$

où

A est l'aire d'absorption équivalente en m²

V est le volume du local m³

T est le temps de réverbération

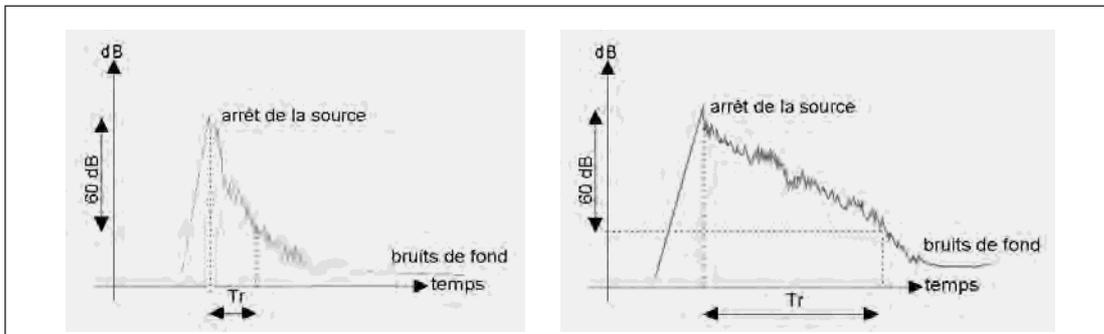


Figure 16 : Mesure du temps de réverbération dans une pièce peu réverbérante et très réverbérante

Pour des chambres normalement meublées, les expériences indiquent une durée de réverbération de 0.5 secondes à toutes les fréquences. Cette durée définit la durée de réverbération de référence T₀.

Pour comparer les parois quel que soit le local dans lequel elles se trouvent, on définit l'isolement acoustique normalisé D_{nTroute} par rapport au bruit routier. Il s'agit de l'isolement acoustique brut corrigé par un paramètre tenant compte du caractère réverbérant du local de réception.

$$D_{nTroute} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{T}{0.5} \quad (\text{dB[A]})$$

La mesure de D_{nTroute} ne dépend donc plus du local de référence.

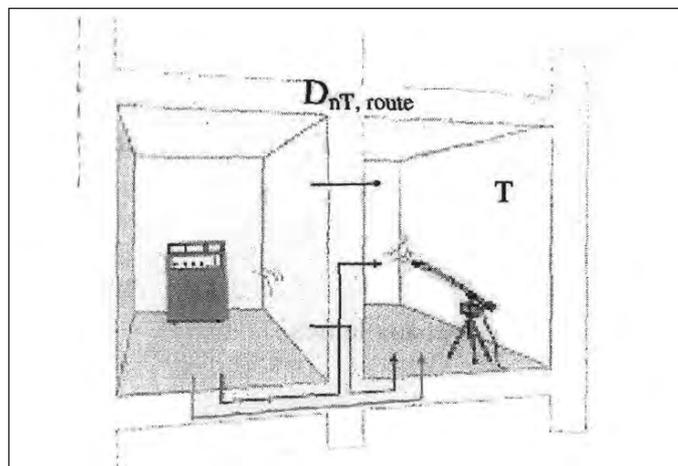


Figure 17 : L'isolement acoustique brut normalisé D_{nTroute} caractérise l'isolement entre deux locaux

10.3.2.5. Relation entre D_n et R

Sous l'hypothèse d'un champ diffus, lorsque la façade considérée subit les incidences sonores suivant toutes les directions, en posant également que le champ est diffus dans le local de réception et que l'absorption est très faible, la relation entre D_n et R est la suivante :

$$D_n = R + 10 \log \frac{V}{S} - 5 \quad (\text{dB[A]})$$

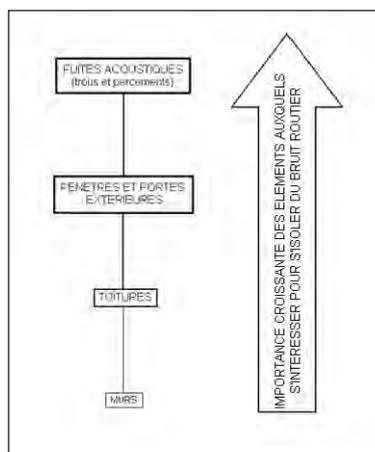
Sous une incidence unique des rayons sonores, D_n dépend d'un indice d'affaiblissement acoustique qui doit être mesuré en laboratoire pour cette incidence particulière. La formule précédente n'est également pas applicable pour un champ sonore rasant.

10.3.3. En pratique, au sein de l'habitat

Les matériaux constitutifs de l'habitat n'ont pas tous les mêmes performances d'isolation acoustique. L'amélioration de l'isolation acoustique d'une paroi passe d'abord par l'augmentation des performances d'isolation des points les plus faibles, pour ensuite s'attaquer aux matériaux de plus en plus performants afin d'obtenir les objectifs d'isolation escomptés.

Dans l'ordre, on considère donc :

- ◆ les fuites de tout genre;
- ◆ les fenêtres et les portes;
- ◆ les toitures;
- ◆ les murs.



10.3.3.1. Les fuites acoustiques

Les fuites acoustiques sont dues généralement à des trous, des percements, des cheminées, des boîtes aux lettres,...

Il existe trois grandes causes de fuites :

- ◆ les trous et percements qu'il faut reboucher en tenant compte de leur éventuel rôle d'aération;

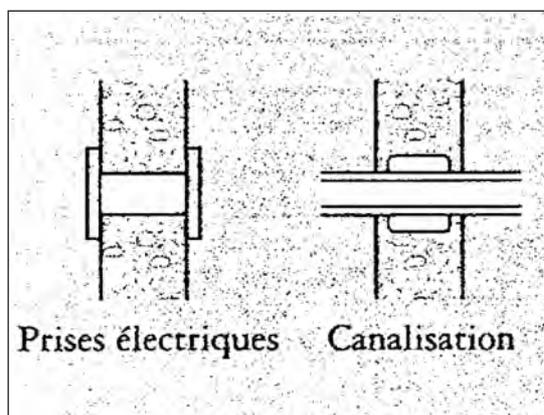


Figure 18 : Trous et percements provoquant des fuites acoustiques

- ◆ les bouches et gaines d'aération pour lesquelles il existe des dispositifs silencieux et adaptés;
- ◆ les dispositifs insérés et peu isolants (boîtes aux lettres et coffres à volets) pour lesquels des alternatives existent (boîtes aux lettres extérieures, caissons à volets insonorisés ou en extérieur).

Les entrées d'air traitées acoustiquement sont constituées de chicanes où circule l'air, ayant sur toutes les faces un absorbant acoustique.

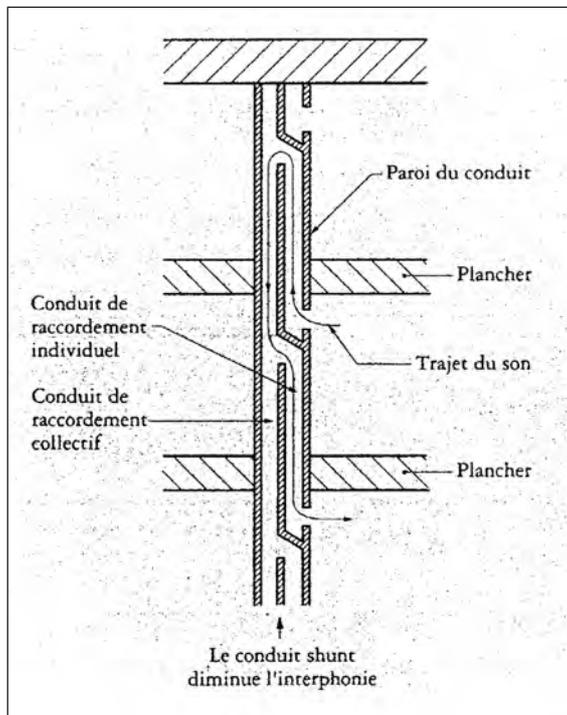


Figure 19 : Conduit spécifique imposant un trajet particulier au son entre deux locaux superposés

10.3.3.2. Les fenêtres et portes extérieures

LES CHÂSSIS

Le problème majeur concernant les portes et les fenêtres sont les fuites acoustiques qu'elles engendrent à cause de leur châssis. Il y a des fuites entre la partie ouvrante du châssis et son cadre dormant. La résistance d'un châssis ou de toute autre paroi au bruit routier est définie par son indice d'affaiblissement en transmission pour le bruit routier R_{route} (voir plus haut).

Les fuites acoustiques sont dues :

- ◆ à la présence d'une seule battée, qui est la partie du dormant contre laquelle l'ouvrant vient s'appuyer;
- ◆ à l'absence de joints;
- ◆ au gauchissement de la partie ouvrante, en effet le bois travaille et le PVC et l'aluminium s'affaissent.

Des solutions simples s'imposent alors, utiliser des châssis à plusieurs battées (2 ou 3), ajouter des joints et utiliser des matériaux qui ne gauchissent pas.

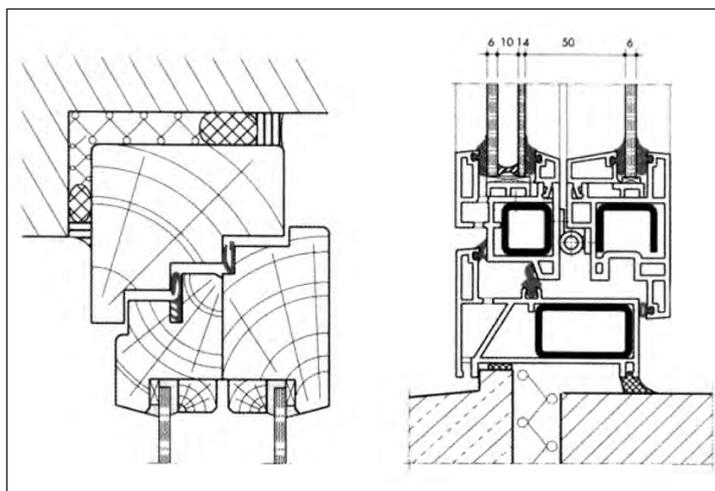


Figure 20 : Châssis double en bois et en matière plastique

Les châssis en PVC et aluminium sont étudiés afin de ne pas gauchir. On ajoute à cette fin des points de support pour les ouvrants ainsi que des systèmes de fermeture à plusieurs points.

LES VITRAGES

Il existe trois types de vitrage, le vitrage simple, le vitrage thermique et le vitrage acoustique.

◆ Le vitrage simple :

Il est d'épaisseur variable. En Région de Bruxelles-Capitale, le plus fréquemment rencontré a une épaisseur de 3 mm. Sa performance est limitée à $R_{route} = 27 \text{ dB(A)}$. La performance globale de la fenêtre risque d'être diminuée à cause de châssis inadéquats.

◆ Le vitrage thermique:

Il est composé de deux vitres de même épaisseur qui sont séparées par une couche d'air intercalaire (ex : 4-15-4).

Il faut remarquer que ce type de vitrage n'a pas été inventé dans le but d'une isolation acoustique.

Il est alors important de souligner qu'un vitrage thermique de type 4-12-4 est 6 dB[A] moins performant qu'un vitrage simple de 8 mm d'épaisseur.

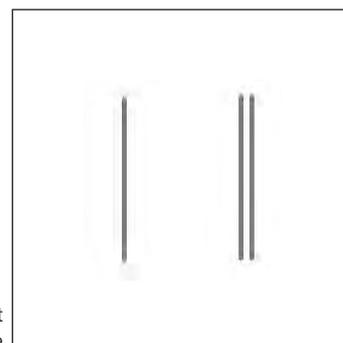


Figure 21 : Représentation d'un vitrage simple et d'un double vitrage thermique

◆ Le vitrage acoustique :

C'est un vitrage spécialement étudié pour l'isolation acoustique.

Il s'agit en fait d'un double vitrage asymétrique.

Citons :

- le 8-12-5 ayant une performance $R_{route} = 32 \text{ dB(A)}$
- le 10-15-6 dont la performance vaut $R_{route} = 34 \text{ dB(A)}$
- le 6-12-66,2 dont la deuxième vitre du double vitrage est feuilletée par 2 feuilles de verre de 6 mm chacune, sa performance R_{route} vaut 36 dB(A)

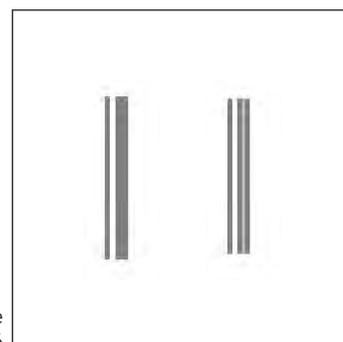


Figure 22 : Représentation d'un vitrage acoustique et d'un vitrage acoustique feuilleté

Il est conseillé lors de l'achat de tout type de vitrage de demander le procès verbal de sa performance R_{route} .

Suivant le type de vitrage, R_{route} varie de 27 à 36 dB(A).

Il est préférable que le double vitrage soit composé de 2 verres d'épaisseur différente. En effet, ceci est dû au fait que le verre possède des fréquences critiques. A ces fréquences, la transmission d'énergie acoustique par le vitrage est augmentée et l'isolement acoustique diminue dans un domaine de fréquence voisin de ces fréquences critiques.

Ces fréquences critiques correspondent aux différents modes d'excitation de la vitre. Ces modes d'excitation sont dus à la vibration à la même fréquence de tous les points constitutifs de la vitre.

La masse d'air intercalaire dans les doubles vitrages constitue une liaison élastique, elle joue le rôle d'un ressort entre deux masses. Le système ainsi constitué a une fréquence propre, la fréquence masse-air-masse.

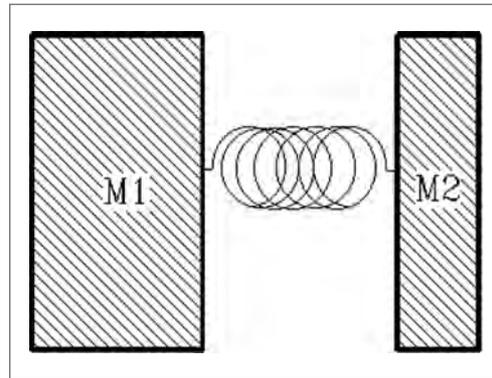


Figure 23 : Liaison élastique entre deux masses correspondant à la situation du double vitrage

Il en résulte qu'un vitrage isolant composé de deux verres de même épaisseur, c'est-à-dire de même caractéristique, n'aura pas une très bonne performance d'isolement acoustique. Il est donc plus approprié pour un objectif acoustique que le double vitrage soit composé de deux verres d'épaisseurs différentes.

L'épaisseur de la lame d'air intercalaire entre les deux vitres n'a que peu d'importance d'un point de vue acoustique. Des mesures en laboratoires ont montré que l'on a un gain de 1 dB[A] lorsque la lame d'air passe de 6 mm à 12 mm. Une épaisseur supérieure à 12 mm entraîne des problèmes d'échauffement de l'air intercalaire provoquant au cours du temps une dégradation du vitrage isolant.

LES FEUILLES DE PORTES

Il existe des portes ayant des performances R_{route} allant de 30 à 45 dB[A]. Ces performances sont maximales pour des portes avec battées ou seuil.

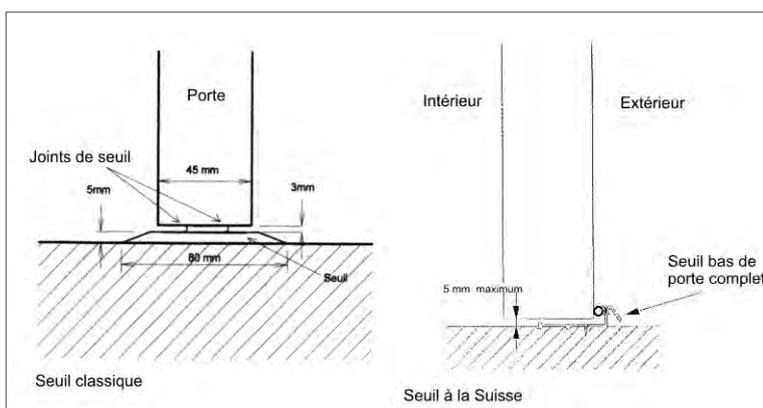


Figure 24 : Différents types de seuil

10.3.3.3. Les toitures

En Région de Bruxelles-Capitale, trois types de toiture sont essentiellement rencontrés :

- ◆ la toiture en pente avec combles habités;

Le principal problème d'isolation acoustique des toitures en pente avec combles habités est dû au manque d'étanchéité des tuiles et ardoises. Pour améliorer l'isolation acoustique, il faut alors agir sur les matériaux sous couverture en faisant attention au problème éventuel de surcharge qu'occasionnerait l'ajout de matériaux.

La solution réside alors dans la pose de matériaux sous couverture tels des matériaux isolants ou des agglomérés.

Description de quelques types de complexes isolants intéressants, de la face exposée vers le toit jusqu'à leur face tournée vers l'intérieur :

Complexe isolant	R _{route} (dB[A])
Aggloméré d'une épaisseur de 18 mm + Vide de 50 mm + Laine minérale de 100 mm + Pare vapeur + Deux plaques de plâtres de type BA 13	45
Deux agglomérés de 22 mm + Vide de 50 mm + Laine minérale de 100 mm + Deux agglomérés de 22 mm	45
Deux agglomérés de 18 mm + Vide de 50 mm + Laine minérale de 150 mm + Pare vapeur + Une plaque de plâtre de type BA 13	47
Deux agglomérés de 18 mm + Vide de 50 mm + Laine minérale de 150 mm + Pare vapeur + Deux plaques de plâtre de type BA 13	50

- ◆ la toiture en pente avec combles non habités;

Bien que ce type de toitures présente des combles non habités ceux-ci peuvent toutefois transmettre du bruit à d'autres pièces de l'habitation. Deux solutions se présentent alors, soit traiter la toiture comme si le comble était habité et agir sur les matériaux sous couverture, soit traiter l'interface entre les combles et le reste de l'habitation en ne négligeant pas la trappe d'accès qui est source de fuites acoustiques.

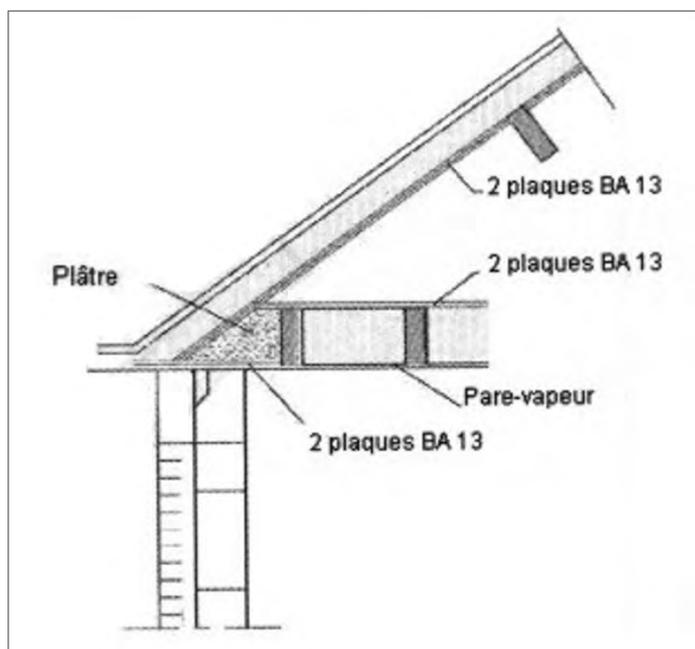


Figure 25 : Isolation acoustique des toitures avec comble non habité

On peut aussi envisager la pose d'un complexe métallique auto-porté.

◆ la toiture plate;

Des solutions existent aussi pour les toitures plates.

Description de quelques types de toitures plates et de leur performance acoustique :

Toiture légère	R_{route} (dB[A])
Simple roofing placé sur un aggloméré sans isolation acoustique	20
Simple roofing sur un aggloméré de 18 mm + un vide d'air de 200 mm + une plaque de plâtre	28
Simple roofing sur un aggloméré de 18 mm + laine minérale de 100 mm + une plaque de plâtre	36
Toiture lourde	R_{route} (dB[A])
Simple roofing sur hourdis béton de 15 cm	42
Simple roofing sur hourdis béton de 15 cm + laine minérale de 60 mm + plaque de plâtre	46
Toiture isolée avec une perte de la hauteur effective du local	R_{route} (dB[A])
Deux plaques de plâtre de 13 mm + laine minérale de 100 mm + deux plaques de plâtres de 13 mm	51
Simple roofing sur aggloméré de 18 mm + vide de 50 mm + laine minérale de 100 mm + deux plaques de plâtres de 15 mm	54

On peut aussi agir sur le plafond de l'habitation par la pose d'un faux plafond. La pose d'une toiture en acier est une solution encore plus radicale pour augmenter l'isolation acoustique, R_{route} varie alors de 40 à 47 dB[A] et peut atteindre jusqu'à 70 dB[A].

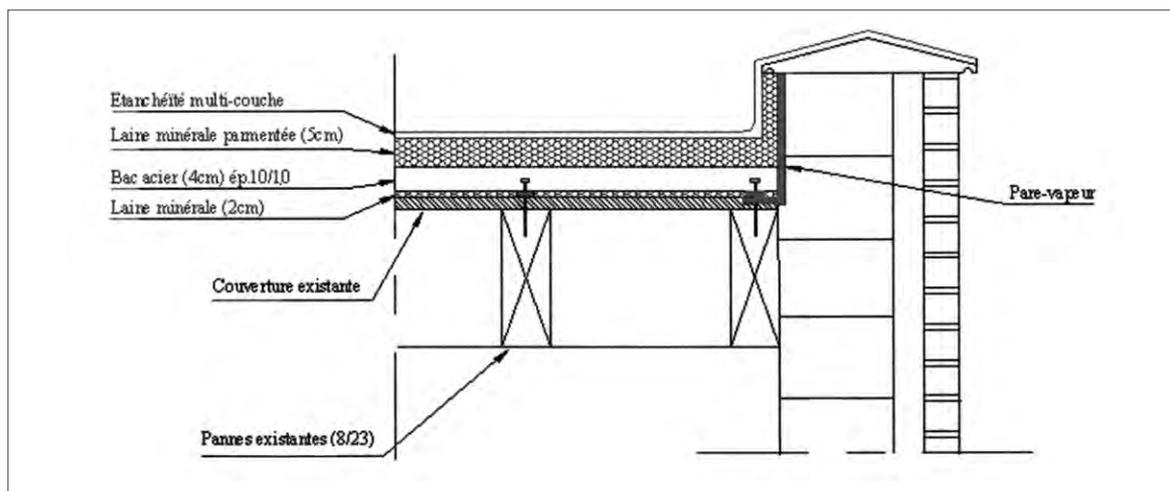


Figure 26 : Isolation acoustique des toitures plates

10.3.3.4. Les murs de façades

Les murs sont les meilleurs isolants acoustiques des façades.

Il existe en Région de Bruxelles-Capitale trois types de murs, les murs légers, pleins et doubles.

- ◆ Les murs légers sont constitués de bois, laine, plaque de plâtre.
- ◆ Les murs pleins sont faits de briques de 26 à 50 cm d'épaisseur.
- ◆ Les murs doubles sont faits de briques de parement, de laine minérale et de béton.

Les performances acoustiques de ces différents murs varient de 39 à 55 dB(A).

Les murs ne nécessitent, en général, pas de renforcement car ils sont suffisamment lourds. Il existe néanmoins différentes solutions pour isoler acoustiquement un mur.

Action sur le mur	En pratique	Apport à l'indice d'affaiblissement en transmission (dB[A])
Remplissage de l'interstice entre 2 parois	Remplissage avec de la laine de verre	3
Pose d'une isolation extérieure	Application sur le mur extérieur d'un enduit plastique ou d'un parement léger	3 à 4
Pose d'un parement en briques	Pose du côté extérieur d'un parement en brique avec lame d'air	10 à 15
Pose d'un complexe de doublage	Collage et rejointoiement de panneau de laine minérale du côté extérieur	32 à 35
Pose d'un parement sur ossature	Parement en plâtre ou panneau en bois, fixé sur une ossature en métal ou en bois, indépendante de la paroi à doubler. Le vide est rempli de fibres minérales	35 à 40

Si les murs sont légers, une amélioration peut être envisagée. Il faut tenir compte du fait qu'augmenter l'épaisseur suppose que la structure puisse supporter l'augmentation de masse. La solution à apporter réside dans l'utilisation de parois multiples (parois séparées par de l'air intercalaire).

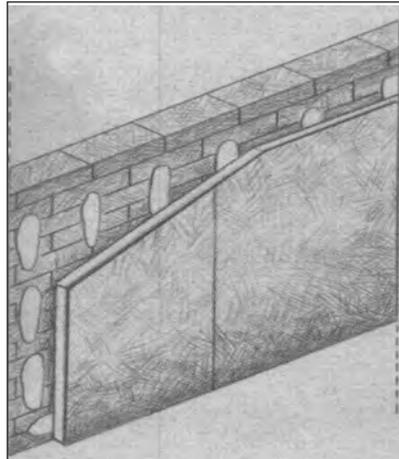


Figure 27 : Pose d'un complexe de doublage sur un mur léger

10.3.3.5. Profil des façades

La façade joue le rôle d'une frontière entre un espace fortement exposé au bruit et un espace où le bruit parvient de façon atténuée. La façade doit s'opposer à la transmission de bruit.

La problématique de l'isolation acoustique peut amener à envisager des modifications de l'architecture des façades et ainsi créer de nouveaux volumes en excroissance tels des balcons, des loggias, des cour-sives.

Pour augmenter l'efficacité de ces espaces tampons, il faut agir sur les matériaux (absorbants pour les faces et les sous-faces).

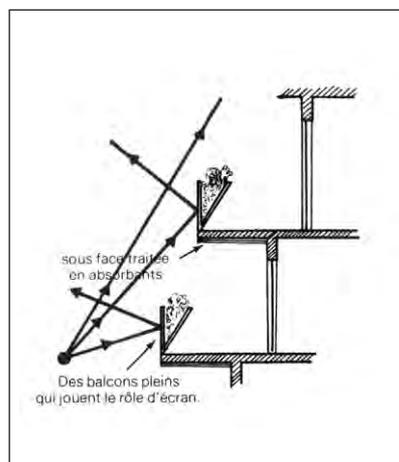


Figure 28 : Les balcons réfléchissent les ondes sonores incidentes avant qu'elles ne pénètrent les habitations

Une autre solution pour agir contre le bruit consiste à porter une attention particulière à l'organisation de pièces au sein de l'habitat. Pourquoi ne pas disposer les pièces de vie (cuisine, salle de bain, séjour) ou de rangement à la façade exposée ?

Une autre solution architecturale à envisager est l'effet d'attique c'est à dire le recul de la paroi de la façade.

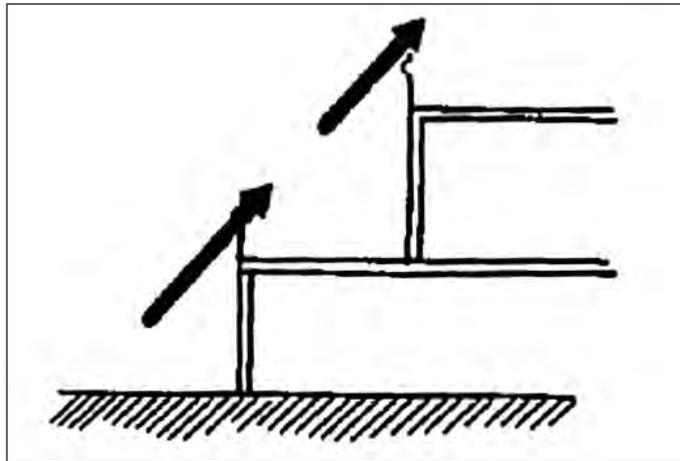


Figure 29 : effet d'attique

10.3.3.6. Problèmes inhérents à l'isolation acoustique

Une habitation isolée d'un point de vue acoustique doit faire face à deux problèmes créés par l'isolation :

- ◆ la ventilation des locaux insonorisés ;
- ◆ l'augmentation de l'intelligibilité des bruits mitoyens.

10.3.3.6.1. La ventilation des locaux insonorisés

Il est nécessaire d'avoir une bonne ventilation des locaux d'une habitation pour renouveler l'air vicié et éviter les problèmes de condensation.

En général, la ventilation a lieu par les points de fuite entre les locaux et l'extérieur, ces mêmes fuites qui sont sources de diminution de l'isolation acoustique du local.

Trois solutions existent pour envisager la problématique de la ventilation tout en conservant les performances acoustiques d'un lieu :

- ◆ Ventilation simple flux naturelle : bouche d'aération insonorisée en façade ou en toiture avec une circulation d'air naturelle due au flux provoqué par la présence d'une cheminée.

La ventilation naturelle est due à l'effet cheminée causé par le vent et le tirage thermique (pression motrice proportionnelle à l'écart de température entre l'extérieur et l'intérieur et à la hauteur de tirage).

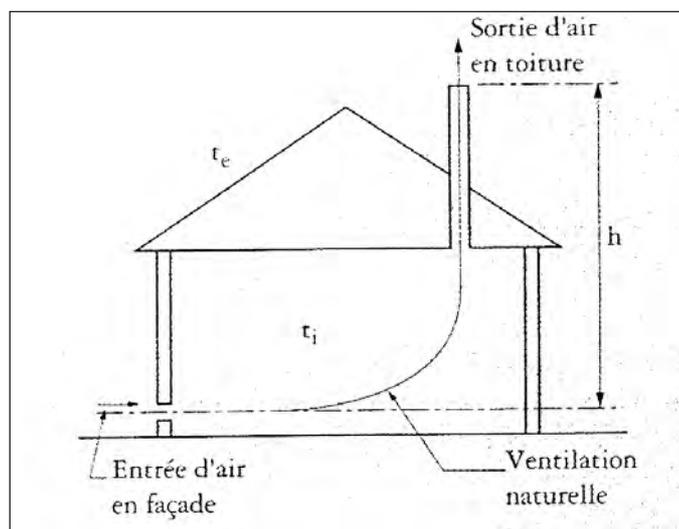


Figure 30 : Ventilation naturelle par effet cheminée

- ◆ Ventilation simple flux motorisé : bouche d'aération insonorisée utilisée avec une ventilation motorisée pour améliorer l'échange d'air intérieur/extérieur.

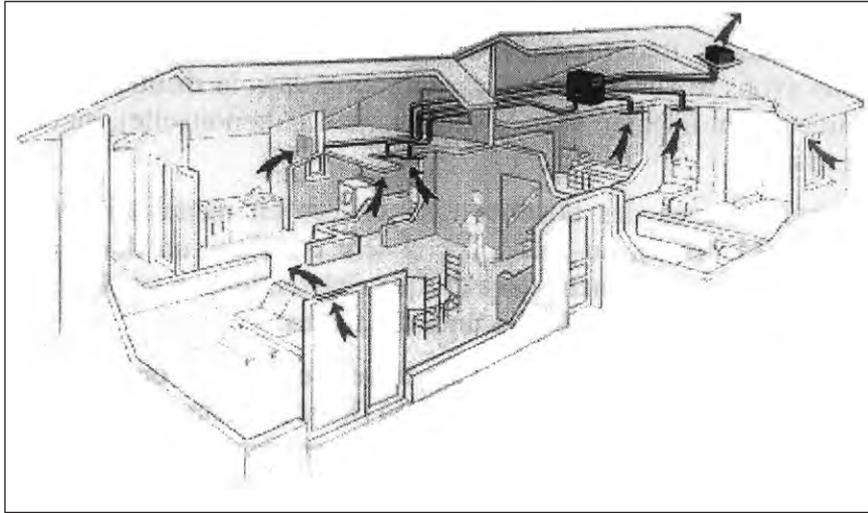


Figure 31 : Ventilation motorisée simple flux

- ◆ Ventilation double flux motorisé : apport d'air frais et extraction d'air vicié par une centrale de ventilation, il n'y a plus ici la présence de bouches d'aération.

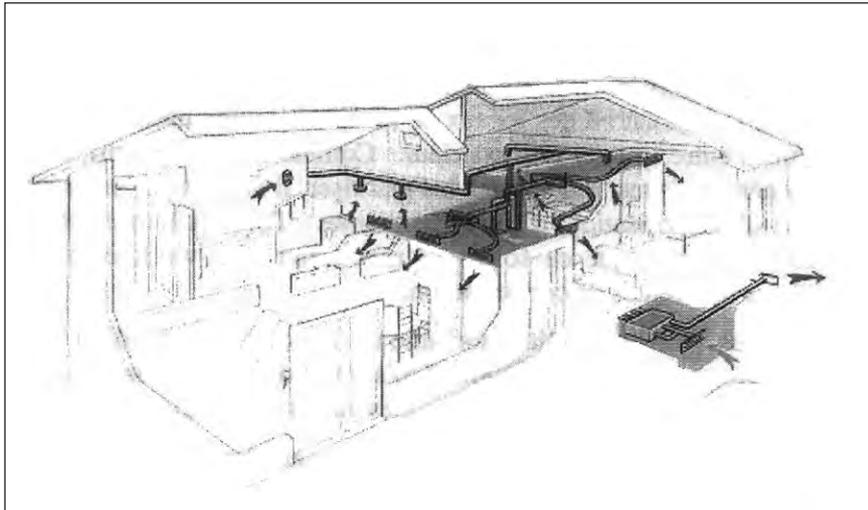


Figure 32 : ventilation motorisée double flux

Ventilations envisageables de la moins performante à la plus performante :

Installation	Type de flux
Simple châssis avec bouche insonorisée en menuiserie	simple flux
Simple châssis avec bouche insonorisée en traversée de mur	simple flux
Simple châssis sans bouche	double flux
Double châssis avec bouche insonorisée en tête bêche dans chaque châssis	simple flux
Double châssis et une ventilation motorisée	double flux

Remarquons que les bouches d'aération insonorisées se situent soit dans la menuiserie des châssis soit en traversée de mur.

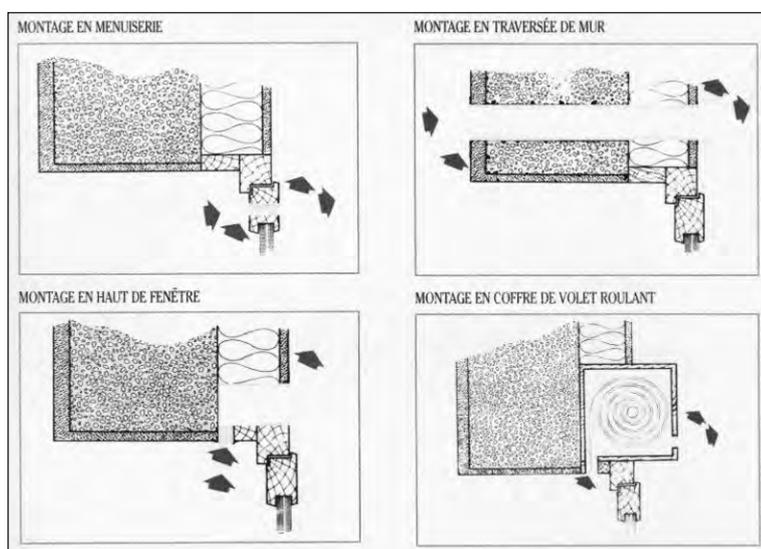


Figure 33 : Illustration de différents types de mise en oeuvre de bouches d'aération

10.3.3.6.2. Renforcement de l'intelligibilité des bruits mitoyens

Une remarque importante est à formuler : renforcer l'insonorisation d'une façade extérieure provoque une réduction du bruit ambiant à l'intérieur de l'habitation.

Le bruit ambiant dans l'habitation peut alors atteindre des niveaux sonores qui ne seront plus assez élevés pour masquer le bruit que peuvent éventuellement faire les voisins.

Les bruits qui peuvent gêner l'habitant sont de différents types :

- ◆ Les bruits aériens qui sont des bruits transmis par une source à l'air, tels une conversation;
- ◆ Les bruits d'impact qui sont des bruits provoqués par des chocs sur les parois, tels des bruits de pas;
- ◆ Les bruits d'équipements collectifs (ventilation, chauffage, etc.) ou individuels (aspirateur, télévision, chaîne HIFI, etc.).

A. Transmission du bruit aérien

Lorsque une onde acoustique rencontre une paroi, celle-ci beaucoup plus lourde que l'air en vibration, renvoie les ondes acoustiques vers la source. Une grande partie de l'énergie acoustique est réfléchi sur la paroi. Mais cette dernière, subissant les surpressions et dépressions véhiculées par les ondes sonores, est mise en vibration. La paroi vibre, elle se déforme et absorbe une partie de l'énergie acoustique. La

vibration de la paroi est transmise à l'air qui à son contact se met à osciller autour d'une position d'équilibre. Le son est transmis de l'autre côté de la paroi par voie directe.

De l'autre côté de la paroi, on cherche à diminuer le phénomène de transmission pour augmenter l'isolation entre le milieu d'émission et celui d'immission.

L'isolement au bruit aérien doit tenir compte de trois types de transmissions :

- ◆ Les transmissions directes par les parois séparatives;
- ◆ Les transmissions latérales par les parois liées aux parois séparatives;
- ◆ Les transmissions parasites par des points faibles tels des trous ou autres.

B. Transmission de bruit d'impact

La mesure des niveaux de bruit d'impact se fait à l'aide d'une machine à choc normalisée (norme NBN S01-005 et 006).

Les bruits d'impact sont caractérisés par la force communiquée à la matière frappée et par la vitesse vibratoire de celle-ci, un rayonnement sonore dans le local adjacent est alors produit.

Le bruit d'impact se transmet de façon directe et latérale. La transmission par les parois séparatives est due au phénomène physique d'excitation mécanique par la mise en vibration à l'émission du bruit d'impact et le rayonnement sonore dans le local de réception. La transmission par les parois latérales est due à la mise en vibration de ces parois par la propagation de l'onde vibratoire aux jonctions des parois.

Pour atténuer ces bruits, on peut modifier la transmission en agissant sur l'isolement acoustique des parois, sur les revêtement de sol afin d'absorber les bruit d'impact.

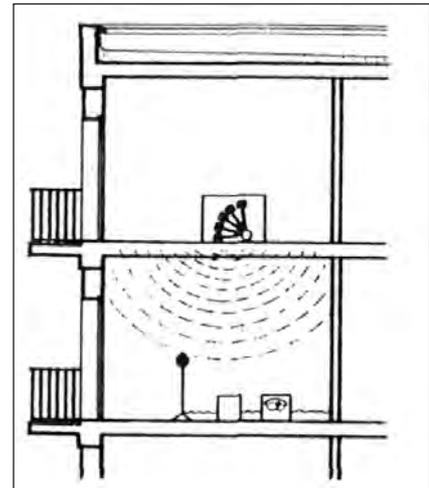


Figure 34 : mesure de bruit : machine à choc normalisée

C. Transmission du bruit d'équipements collectifs

Les bruits dus aux équipements collectifs tels les canalisations, les bouches d'aération, etc., se transmettent par un manque d'homogénéité de la paroi séparative, dû à des défauts tels des trous, des prises électriques,...

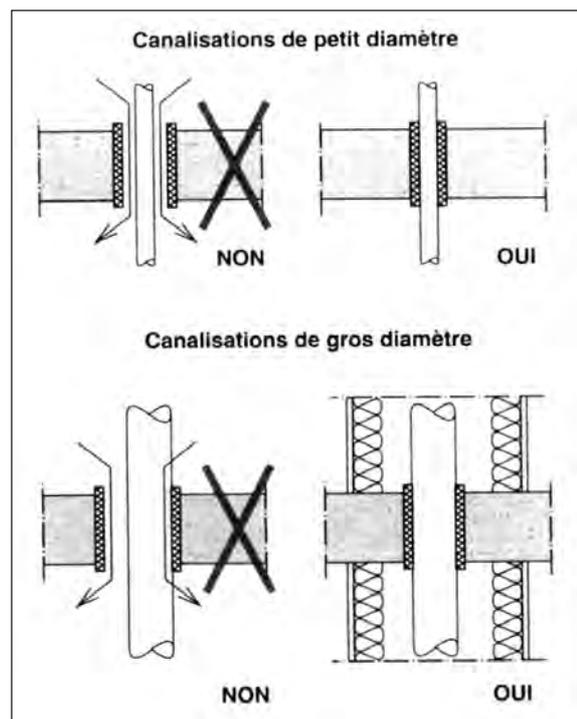


Figure 35 : Exemple de bruit dû aux équipements individuels ou collectifs

10.3.4. Estimation des coûts

Une étude menée par l'IBGE concernant 58 habitations en Région de Bruxelles-Capitale a permis de tirer des conclusions quant à des travaux d'amélioration envisageables pour augmenter l'isolation acoustique de ces habitations face au bruit routier.

Les habitations ont été choisies de sorte à être les plus représentatives possible de l'habitat en Région de Bruxelles-Capitale. Les constructions choisies datent de différentes époques et comprennent donc des bâtis dont les techniques de construction anciennes ne prenaient pas en compte l'isolation acoustique.

Rappelons que les recommandations de l'OMS en ce qui concerne le bruit routier, conseillent les valeurs limites suivantes, à l'intérieur des bâtiments :

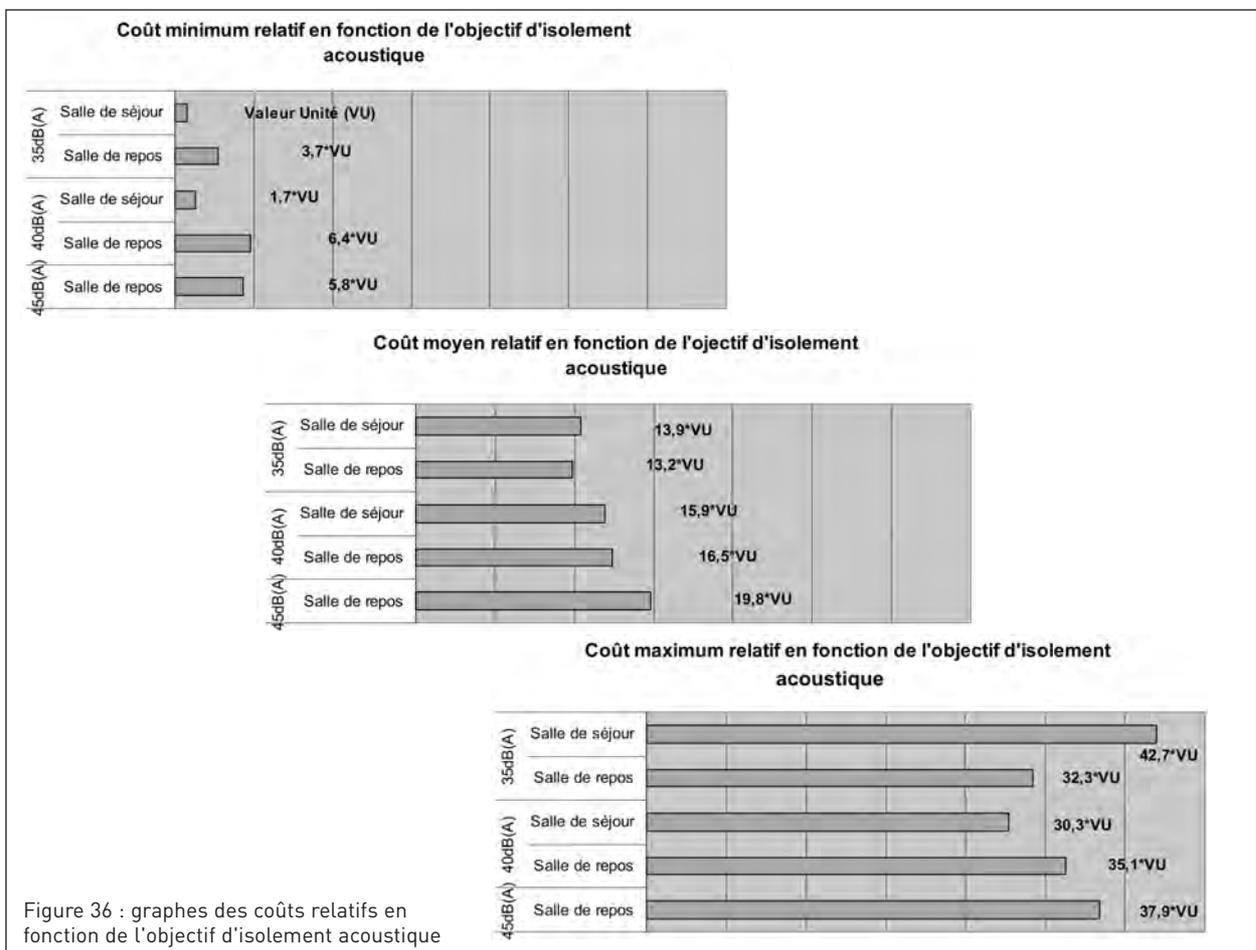
- ◆ $L_{Aeq} = 30 \text{ dB[A]}$ pour les pièces de repos
- ◆ $L_{Aeq} = 35 \text{ dB[A]}$ pour les pièces de séjour

10.3.4.1. Coûts comparatifs

Une estimation des coûts d'amélioration de l'isolation acoustique des habitations étudiées en Région Bruxelles-Capitale est présentée ici pour les trois objectifs d'isolement acoustique normalisé $D_{nTroute} = 35 \text{ dB[A]}$, $D_{nTroute} = 40 \text{ dB[A]}$ et $D_{nTroute} = 45 \text{ dB[A]}$.

Trois types de coût sont envisagés pour chaque objectif :

- ◆ coût minimum qui est le coût nécessaire au renforcement des ouvertures en façade exposée : châssis, vitrage, ventilation;
- ◆ coût moyen qui est le coût nécessaire au renforcement des éléments de la construction autres que les fenêtres;
- ◆ coût maximum qui est le coût nécessaire au renforcement total de la façade exposée.



Renforcer complètement une façade d'habitat peut être 43 fois plus onéreux que de ne s'attaquer qu'aux vitres et châssis pour un même objectif d'isolation. Au vue de l'étude, il ressort qu'un bon isolement acoustique se préoccupe d'abord aux fenêtres et châssis, ce qui d'un point de vue financier reste le plus intéressant.

10.3.4.2. Subsidés en Région de Bruxelles-Capitale

Des subsidés sont octroyés en Région de Bruxelles-Capitale pour les travaux visant à l'isolation acoustique des façades des logements exposés au bruit routier. Les propriétaires des logements peuvent demander ces subsidés si leur habitation est située le long des liserés d'intervention acoustique définis dans l'arrêté gouvernemental du 13 juin 2002 et si le logement répond à certaines conditions (bâtiment construit avant 1945, etc.).

Les travaux subsidiables pour l'amélioration de l'isolation acoustique de l'habitation sont les suivants :

D'une part :

- ◆ la réparation, le renforcement ou le remplacement des caissons à volets existants ;
- ◆ l'obturation ou le remplacement des boîtes au lettre et des ouvertures en façade en assurant une ventilation naturelle des locaux.

Les subsidés octroyés pour ce type de travaux s'élèvent à 2300 euros par logement.

D'autre part :

- ◆ le placement d'un double vitrage acoustique ;
- ◆ le remplacement ou l'adaptation des châssis et portes extérieurs y compris leur dispositif de ventilation.

Les subsidés octroyés pour ces travaux s'élèvent à 300 euros par m² réalisé.

Zones d'intervention acoustique en Région de Bruxelles-Capitale :

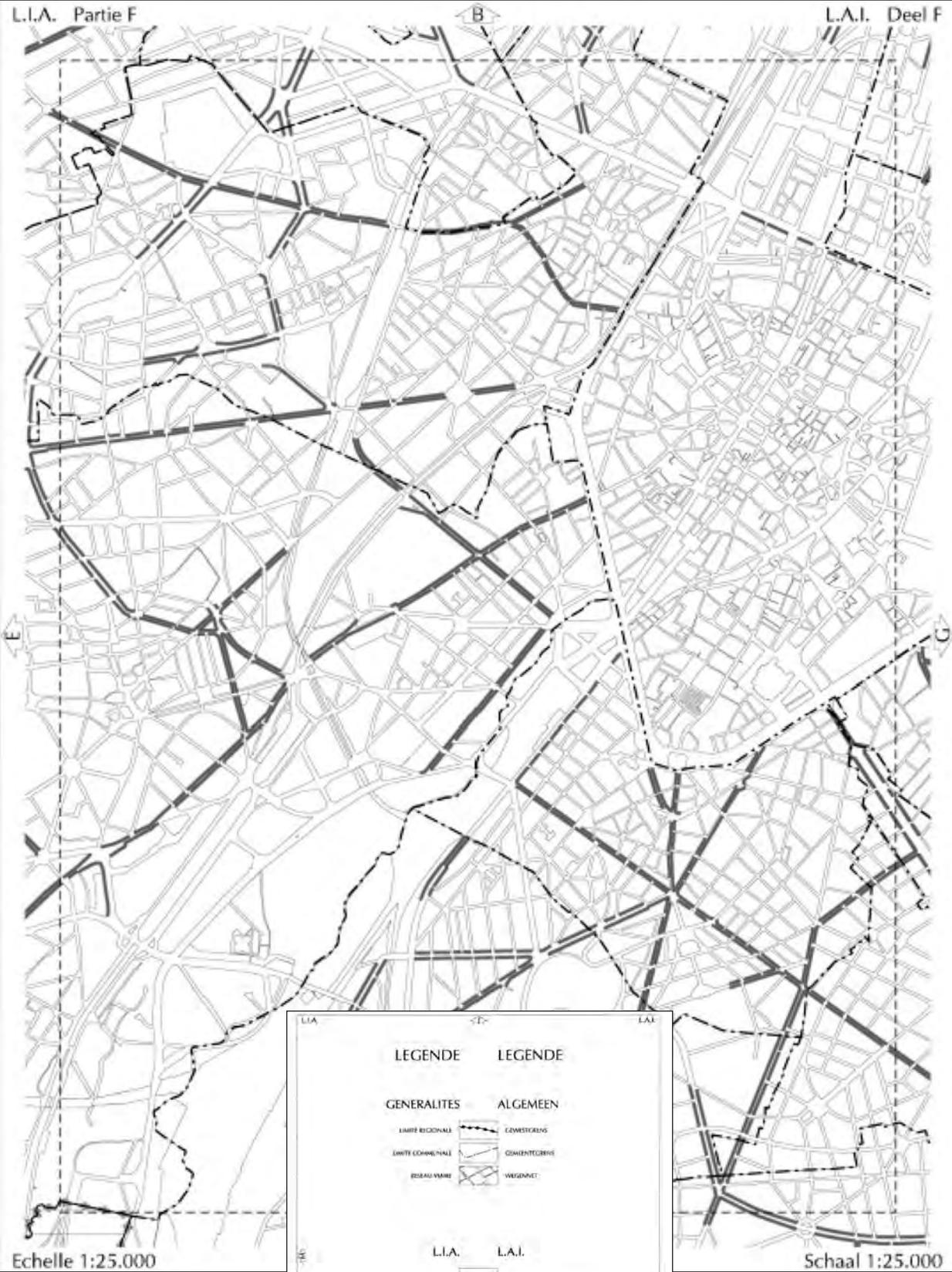
Un plan complet de la zone d'intervention acoustique en Région de Bruxelles-Capitale est repris dans le Moniteur belge (25-06-2002).

Un exemple est illustré ci-contre, la zone représentée est la zone F.

L.I.A.=liserés d'intervention acoustique (en trait noir sur la carte).

L.I.A. Partie F

L.A.I. Deel F



Echelle 1:25.000

Schaal 1:25.000

LEGENDE		LEGENDE													
GENERALITES		ALGEMEEN													
LIMITE REGIONALE		EGWISTERING													
LIMITE COMMUNALE		OSHERINGEBE													
ESBAU VRIJE		WEGNET													
L.I.A.		L.A.I.													
TABLEAU D'ASSEMBLAGE		BLADINDELING													
<table border="1"> <tr> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> <td>D</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>F</td> <td>G</td> <td>H</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>J</td> <td>K</td> <td>L</td> </tr> </table>				A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
A	B	C	D												
E	F	G	H												
I	J	K	L												

10.4 RÉFÉRENCES

- ◆ Bruit et formes urbaines, Propagation du bruit routier dans les tissus urbains, CETUR, Paris (1981)
- ◆ Le bruit dans la ville, Avis et rapport du conseil économique et social, Journal officiel de la république française (1998)
- ◆ Normes et techniques d'isolation acoustique des bâtiments d'habitation, A-Tech/AGORA, IBGE (2001)
- ◆ Qualisound Référentiel de Formation, Edsi, Namur (2001)
- ◆ Amélioration de l'isolation acoustique des façades, CETUR, Paris (sept 2003)
- ◆ Le Moniteur belge (25-06-2002) : Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale relatif à l'octroi de primes à la rénovation de l'habitat (13-06-2002)
- ◆ Le Moniteur belge (25-06-2002) : Arrêté ministériel relatif aux modalités d'application de l'arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale relatif à l'octroi de primes à la rénovation de l'habitat (13-06-2002)