

Insonorisation des logements proches des aéroports



direction générale
de l'Aviation civile

service technique
de l'Aviation civile

NOTE TECHNIQUE
Points de repères
Octobre 2006

Insonorisation des logements proches des aéroports. Points de repères techniques

Direction des affaires stratégiques et techniques

Service technique de l'aviation civile
département Bâtiments

Octobre 2006

En couverture

Sterne de la Caspienne

© Photothèque STAC / Alain HOGUE

Aéroport de Nice-Côtes-d'Azur

© Photothèque STAC / Véronique PAUL

Bandeau

Aéroport de Nice-Côtes-d'Azur

© Photothèque STAC / Gabrielle VOINOT



Présentation générale

Le dispositif d'aide à l'insonorisation des logements des riverains des dix grands aéroports français métropolitains a pour objectif de diminuer les nuisances dues au bruit produit par le survol des avions à l'intérieur des bâtiments.

Dans le cadre des orientations retenues par le ministre des transports, de l'équipement, du tourisme et de la mer pour assurer un développement durable des aéroports franciliens, ce dispositif a été profondément renforcé afin d'en améliorer l'efficacité, d'en garantir le financement et d'en clarifier le fonctionnement pour les populations exposées aux nuisances sonores générées par le transport aérien. Ainsi :

- tous les plans de gêne sonore sont révisés afin d'élargir les territoires éligibles au dispositif d'aide considéré ;
- la loi de finances rectificative pour 2002 a revalorisé le montant de la taxe finançant le dispositif d'aide ;
- la loi de finances rectificative pour 2003 a confié, à compter du 1^{er} janvier 2004, la gestion du dispositif d'aide précité aux exploitants des aéroports concernés et créé, au 1^{er} janvier 2005 une taxe affectée au financement des aides précitées.

L'objectif de ce document est de fournir des points de repères techniques à tous les acteurs de la procédure d'insonorisation des logements des riverains des grands aéroports afin d'en faciliter la mise en œuvre et d'en optimiser les résultats sur le plan technique et financier.

Il ne vise donc aucune vocation normative, mais présente simplement, à travers des cas de figure, les résultats qu'il est possible d'obtenir et à quelles conditions, sans préjudice d'autres solutions. En d'autres termes il ne prétend pas dire ce qu'il « faut » faire, et ce encore moins de manière exclusive, mais il présente ce que l'on « peut » faire.

La particularité du sujet traité, la réhabilitation acoustique de logements existants, implique une part d'incertitude liée à l'état du bâti rencontré. Pour obtenir les meilleurs résultats souhaités, il est indispensable d'avoir recours à un ou des professionnels du bâtiment particulièrement dans le domaine de l'acoustique. Leur expérience, les prescriptions faites et les travaux réalisés dans le cadre de leurs missions permettront d'homogénéiser les résultats recherchés et rendront plus lisibles la pertinence des travaux financés pour les riverains.

La partie 2, « des exemples de solutions », emprunte des éléments au document du CERTU (Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques) intitulé « Isolation acoustique des façades ». Cet emprunt, concerté bien sûr avec le CERTU, est fondé notamment sur un souci de cohérence entre les réflexions techniques pour le traitement des différentes sources de bruit.



Sommaire

Présentation générale	5
0 - Notions de base	8
0.1 - Le bruit	8
0.1.1 - Le son et le bruit	8
0.1.2 - Description du bruit	8
0.2 - Perception par les individus: la pondération A	9
0.3 - La propagation du bruit	9
0.3.1 - Atténuation géométrique	9
0.3.2 - Absorption atmosphérique	10
0.3.3 - Effet de sol	10
0.3.4 - Effet de réflexion	10
0.3.5 - Effet des conditions atmosphériques	10
0.3.6 - Effet d'écran	10
0.4 - Le bruit des avions	11
0.4.1 - Les causes du bruit avion	11
0.4.2 - Spectres de bruits d'avion	11
0.4.3 - Les niveaux du bruit avion	12
0.4.4 - L'évolution temporelle du bruit d'avion	12
1 - S'isoler par rapport aux bruits extérieurs	13
1.1 - Le problème général	13
1.1.1 - Transmission par une paroi (indice R)	13
1.1.2 - Transmission par une ouverture (isolement D_{ne})	13
1.1.3 - Isolement d'un local par rapport à l'extérieur	13
1.1.4 - Calcul de l'isolement: la norme de calcul européenne	13
1.1.5 - Performances des produits et performances d'ouvrage: les spectres de référence	14
1.2 - Les particularités dans le cas du bruit d'avion	14
1.2.1 - Exposition d'un bâtiment au bruit d'avion: spectre de référence et objectifs d'isolement	14
1.2.2 - Local avec une façade unique: similarités des solutions relatives au bruit de trafic routier	15
1.2.3 - Local avec plusieurs faces (façade, toiture) exposées au bruit d'avion	15
1.2.4 - La particularité des toitures	15
1.2.5 - Les chemins parasites	17
2 - Exemples de solutions	18
2.1 - Les différentes parties pouvant être traitées dans un bâtiment pour améliorer les performances acoustiques	18
2.1.1 - Les parois opaques	18
2.1.2 - Les parois vitrées	18
2.1.3 - Les équipements	19
2.1.4 - Les toitures et les toitures terrasses	19
2.2 - Types d'intervention possible par composants	20
2.2.1 - Les parois opaques	20
2.2.2 - Les parois vitrées	20
2.2.3 - Les équipements	21
2.2.4 - Les toitures et les toitures terrasses	21
2.3 - Exemples d'exigences par éléments en fonction des performances recherchées	22
2.3.1 - Les entrées d'air	22
2.3.2 - Les fenêtres	22
2.3.3 - Les toitures et fenêtres de toit	23
2.3.4 - Autres ouvertures	24



2.4 - Exemples de combinaisons d'exigence : cas de locaux avec une face exposée au bruit extérieur	25
2.4.1 - Préambule	25
2.4.2 - Description des locaux étudiés et hypothèses	26
2.4.3 - Isolement acoustique de 30 dB	27
2.4.4 - Isolement acoustique de 35 dB	28
2.4.5 - Isolement acoustique de 38 dB	29
2.4.6 - Exemple d'isolement acoustique de 40 dB avec blocs baies certifiés AC3	30
2.5 - Exemples de combinaisons d'exigence : cas de locaux sous toiture	30
2.5.1 - Préambule	30
2.5.2 - Locaux sous toiture avec combles perdus	30
2.5.3 - Locaux sous toiture avec combles aménagés	32
3 - Maîtrise d'œuvre	34
3.1 - La démarche	34
3.1.1 - Éviter des mesures acoustiques	34
3.1.2 - Pour les diagnostics sans mesures: liste de points de vérification nécessaires	34
3.2 - Missions du maître d'œuvre	35
3.2.1 - Diagnostic de l'existant	35
3.2.2 - Définition des solutions techniques et dimensionnement des travaux	36
3.2.3 - Consultation et choix des entreprises	36
3.2.4 - Réalisation des travaux	36
3.2.5 - Réception des travaux	36
4 - La mesure des isollements sur site	37
5 - Fiches Techniques	38
5.1 - Préambule	38
5.2 - Contexte	38
5.3 - Types des toitures existantes	38
5.4 - Phase expérimentale	40
5.4.1 - Caractérisation des toitures	40
5.4.2 - Résultats des mesures en laboratoire	42
Références	46
Internet	46
Ouvrages	46
Normes	46
Règlements	46



0 - Notions de base

0.1 - Le bruit

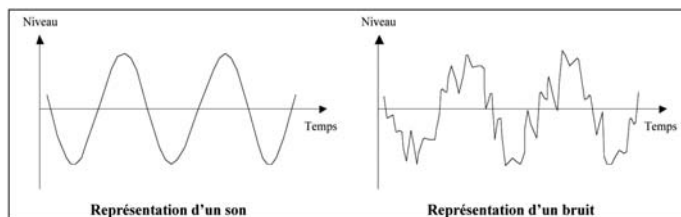
0.1.1 - Le son et le bruit

Le son est une vibration acoustique capable d'éveiller une sensation auditive. Par extension physiologique, le son désigne la sensation auditive à laquelle cette vibration est susceptible de donner naissance.

Le son se caractérise avec deux paramètres :

- le niveau : ou niveau de pression acoustique qui caractérise l'amplitude du son. L'unité est le décibel (dB),
- sa fréquence : ou sa hauteur qui correspond au nombre de vibrations par seconde. L'unité est le Hertz (Hz).

Que nous parlions de gênes ou de nuisances liées aux avions, nous faisons immédiatement référence à un bruit. Le bruit est une vibration acoustique, à tonalité marquée comme celui d'un transformateur, aléatoire comme celui d'une chute d'eau, stationnaire comme celui d'un ventilateur, ou transitoire comme celui d'une rafale de vent dans les arbres. C'est un mélange de sons ayant des fréquences et des niveaux différents.



Nous préférons le terme de nuisance (ensemble de facteurs d'origine technique (bruits, pollutions), qui rendent la vie malsaine ou pénible) que celui de gêne (degré de nuisance, déterminé par des enquêtes sur le terrain.). L'état actuel des connaissances ne permet pas de prendre la gêne comme un paramètre objectif.

0.1.2 - Description du bruit

Le bruit a trois composantes :

- un spectre,
- un niveau, ou niveau de pression acoustique,
- une dynamique, ou variation de niveau dans le temps.

Le bruit peut être décrit par son évolution dans le temps ou par son contenu spectral. Dans les deux cas le niveau de pression acoustique décrit son amplitude.

Dans le domaine du temps, ce peut être l'amplitude instantanée ou l'amplitude quadratique moyenne sur une durée donnée. Dans le domaine des fréquences, il s'agit de l'amplitude dans une bande de fréquences donnée et sur un temps moyen donné.

0.1.2.1 - Le spectre

Pour un bruit, composé de plusieurs sons, nous ne parlons pas de fréquence, mais de spectre.

Les spectres présentés dans ce guide représentent la distribution de l'énergie sonore du bruit considéré dans les différentes bandes de fréquences ; aux fréquences faibles correspondent des sons graves et aux fréquences élevées des sons aigus. En acoustique du bâtiment, les spectres sont généralement présentés en bandes standards de tiers d'octave ou d'octave (une octave est un intervalle entre les fréquences f et $2f$; un tiers d'octave est un intervalle entre f et $\sqrt[3]{2}f$).

Tout être vivant doté d'une ouïe ne peut percevoir qu'une partie du spectre sonore. L'oreille humaine moyenne ne perçoit les sons que dans une certaine plage de fréquence située environ (selon l'âge, la culture, etc.), entre 30Hz (en deçà les sons sont qualifiés d'infrasons) et 15kHz (au-delà les sons sont qualifiés d'ultrasons).

0.1.2.2 - Niveau sonore

Habituellement la pression est mesurée en pascals (Pa), en acoustique le niveau de pression acoustique se mesure en décibels (dB). C'est une unité qui utilise le logarithme du rapport de la pression produite sur une pression de référence ($2 \cdot 10^{-5}$ Pa), exprimées en pascals. Elle a été choisie ainsi parce que cela permet d'avoir des chiffres aisément manipulables, qui ne deviennent pas extrêmement grands ou petits, et parce que cette approche correspond mieux à ce que perçoit l'oreille humaine en termes de sensation sonore.

0.1.2.3 - Évolution du bruit dans le temps

Les bruits d'avion ont un certain caractère aléatoire. Le niveau sonore de ces bruits, tel qu'il est mesuré par un sonomètre, correspond à une moyenne quadratique de la pression acoustique sur une certaine durée relativement courte (quelques secondes ou moins). Ce niveau global évolue au cours du temps (moyenne glissante) et cette évolution est appelée signature temporelle du bruit. Des



exemples de signatures temporelles sont donnés section 0.4.4. Un grand nombre de sonomètres sont également des analyseurs en fréquence.

L'évolution temporelle précédente est alors donnée pour chaque bande de fréquences.

0.2 - Perception par les individus : la pondération A

D'un point de vue physiologique, le son est une sensation, et le mouvement vibratoire de l'air est le stimulus qui produit cette sensation. Généralement, le mot bruit est utilisé pour désigner tout son indésirable. L'impression de gêne qu'il produit dépend de nombreux facteurs physiques, dont le niveau sonore, le spectre en fréquence, la durée, la vitesse d'accroissement du niveau lors d'un bruit transitoire...

La psychoacoustique est l'étude des sensations auditives de l'homme. Elle se situe donc à la frontière entre l'acoustique, la physiologie et la psychologie. L'acoustique étudiera la nature et les propriétés des ondes sonores qui arrivent au tympan. La psychoacoustique étudiera comment elles sont captées par le système auditif et la manière dont elles sont interprétées par le cerveau. La recherche en psychoacoustique nous aide à saisir le lien qui existe entre les propriétés physiques d'un son et la manière dont l'oreille humaine perçoit ce son.

La sensibilité de l'oreille varie selon la fréquence. Elle perçoit deux sons de même niveau, donc de même énergie, mais de fréquences différentes à des volumes différents. En pratique, on observe que globalement, l'oreille perd une grande partie de sa sensibilité dans les basses fréquences.

On est donc conduit à imaginer une échelle qui représente la perception de l'oreille; pour cela, les niveaux sonores physiques doivent être pondérés différemment suivant les bandes de fréquences; cette pondération est appelée pondération A et l'unité correspondant au niveau global du signal ainsi pondéré est appelée dB (A). Notons également que 0 dB correspond au minimum que l'oreille humaine peut percevoir appelé seuil d'audibilité, et non au silence absolu. Cette valeur a été choisie par expérimentation; des personnes peuvent avoir un seuil d'audibilité supérieur à 0 dB. Le seuil de douleur est de 130 dB, mais l'oreille peut subir des dommages à partir de 85 dB.

0.3 - La propagation du bruit

La perturbation produite par une source de bruit donne naissance à une onde acoustique qui se propage dans les milieux à une vitesse qui dépend de la compressibilité du milieu (340 m/s dans l'air, 1500m/s dans l'eau). Localement on peut observer des variations de pression et des vibrations de particules composant le milieu de propagation. Un haut-parleur, par exemple, utilise ce mécanisme. Notons que seule la compression se déplace et non les molécules d'air, si ce n'est de quelques micromètres. Lorsque l'on observe des ronds dans l'eau, les vagues se déplacent mais l'eau reste au même endroit, elle ne fait que se déplacer verticalement et non suivre les vagues (un bouchon placé sur l'eau reste à la même position sans se déplacer). Pour cette raison, il n'y a pas de « vent » devant un haut-parleur. Le son se propage également dans les solides sous forme de vibrations des atomes appelées phonons. Là encore, seule la vibration se propage, et non les atomes qui ne font que vibrer très faiblement autour de leur position d'équilibre.

Lorsque la distance de l'observateur à la source sonore varie, le niveau de bruit observé varie en faisant intervenir plusieurs phénomènes, qui permettent de caractériser la propagation du signal sonore. Ces phénomènes sont essentiellement les suivants

0.3.1 - Atténuation géométrique

Un son émis par une source sonore omnidirectionnelle se propage dans un espace homogène, de façon identique dans toutes les directions de l'espace. Son énergie par unité de surface décroît de façon inversement proportionnelle à la distance et son niveau décroît de 6 dB par doublement de distance.

Si on a mesuré un niveau L_1 à la distance d_1 de la source, on mesurera à la distance d un niveau L tel que :

$$L = L_1 - 20 \cdot \log \left\{ \frac{d}{d_1} \right\}$$

Cette formule résume la loi d'atténuation géométrique. On voit en particulier que si la distance double, le niveau sonore diminue de 6 dB ($20 \cdot \log(2) = 6$).



0.3.2 - Absorption atmosphérique

A l'atténuation géométrique qui vient de la répartition de l'énergie dans l'espace, s'ajoute une déperdition d'énergie connue sous le nom d'absorption atmosphérique. Ainsi, dans la réalité, la loi d'atténuation de 6 dB par doublement de distance constitue-t-elle une loi minimale.

Cette absorption dépend essentiellement de la fréquence du son et, au second degré, des conditions météorologiques (température, humidité). Aux fréquences élevées elle est importante, pouvant dépasser 10 dB par 100 mètres, alors qu'aux basses fréquences elle est pratiquement négligeable. Pour un bruit quelconque la propagation se traduit par une atténuation du niveau dans chaque bande de fréquences, plus accentuée dans les aiguës que dans les graves, ce qui entraîne une déformation du spectre lors de la propagation.

A titre indicatif, voici quelques valeurs d'atténuation :

Fréquence (Hz)	1000	2000	3150	4000
Atténuation (dB/km)	4.08	8.75	17.7	26.4

0.3.3 - Effet de sol

Lorsque les rayons sonores arrivent au sol sous un angle faible, l'atténuation constatée est plus forte que celle due aux effets conjugués de l'atténuation géométrique et de l'absorption atmosphérique. Cette différence dépend du trajet de propagation, de l'angle des rayons sonores avec le sol et des caractéristiques du sol.

Il existe des formulations empiriques de cet effet, qui devient négligeable lorsque l'angle des rayons sonores avec le sol est supérieur à 30 degrés. Lorsque cet angle est faible, par contre, l'atténuation est importante : plus de 10 dB, par exemple, à 1000 mètres de la source sonore.

0.3.4 - Effet de réflexion

Si l'observateur est placé en espace libre, il entend seulement le bruit résultant de l'onde directement émise par la source. S'il est placé près d'un sol réfléchissant (ou d'une paroi réfléchissante), à l'onde directe s'ajoute une onde réfléchie dont les effets sonores se composent avec ceux de la première.

Pratiquement, ceci déformera le spectre d'émission et se traduira par une augmentation de 0 à 6 dB du niveau global de pression acoustique, selon que le sol (ou la paroi) est un absorbant parfait ou un bon réflecteur.

0.3.5 - Effet des conditions atmosphériques

La vitesse du vent et la température changent avec l'altitude ce qui a pour effet d'incurver les rayons acoustiques vers le haut ou le bas selon les cas. Pour une source située en altitude, cela ne modifie pas de façon importante le bruit perçu car il y a toujours un rayon qui fini par parvenir au sol. Lorsque la source est proche du sol, cela peut apporter des variations importantes, selon que l'effet de sol décrit précédemment est annulé ou pas par la courbure des rayons.

0.3.6 - Effet d'écran

Si un écran est placé entre l'observateur et la source de bruit, il se produira une atténuation d'autant plus forte que l'observateur est proche de l'écran et placé dans la zone d'ombre de cet écran par rapport à la source.



0.4 - Le bruit des avions

0.4.1 - Les causes du bruit avion

Le bruit des avions vient de deux choses, principalement du bruit des moteurs, des réacteurs, et également un peu de bruit aérodynamique.

Le bruit des moteurs, des réacteurs :

Le principe de propulsion le plus courant est la réaction. Au moyen d'une combustion, une énergie cinétique est communiquée à une masse d'air réchauffée et éjectée vers l'arrière à travers une tuyère. Une partie de l'énergie est récupérée par une turbine et sert à entraîner les parties tournantes du moteur qui sont le compresseur et la soufflante (fan). On distingue donc le bruit de jet et les bruits internes (bruit des parties tournantes et bruit de combustion).

Dans le domaine de la réduction du bruit des moteurs, on parle essentiellement du jet du moteur, du jet directeur qui produit ce bruit, et plus on est capable de ralentir le jet du moteur, sans ralentir la vitesse, plus on baisse, et de manière très sensible, la perception du bruit au sol. Donc, il s'agit d'assurer une dilution du jet du réacteur dans l'air extérieur, et plus on avance dans cette technique et plus on réduit le bruit. La production sonore d'un avion est principalement déterminée par la taille de l'avion et par le type de moteur.

Le bruit aérodynamique :

Il est dû aux turbulences aérodynamiques créées autour de l'avion.

Le bruit des volets, becs et train d'atterrissages peuvent être des exemples typiques. Le paramètre vitesse de l'avion est un paramètre très important directement lié au niveau de bruit produit.

Le bruit induit par un même type d'avion augmentera proportionnellement à sa charge. Il est possible de réduire la production sonore d'un type d'avion bruyant de trois manières, à savoir :

- équiper les moteurs d'avions d'un réducteur de bruit (dénommé « hushkit »),
- remplacer les moteurs bruyants par de nouveaux moteurs plus silencieux,
- limiter le poids maximal de l'avion.

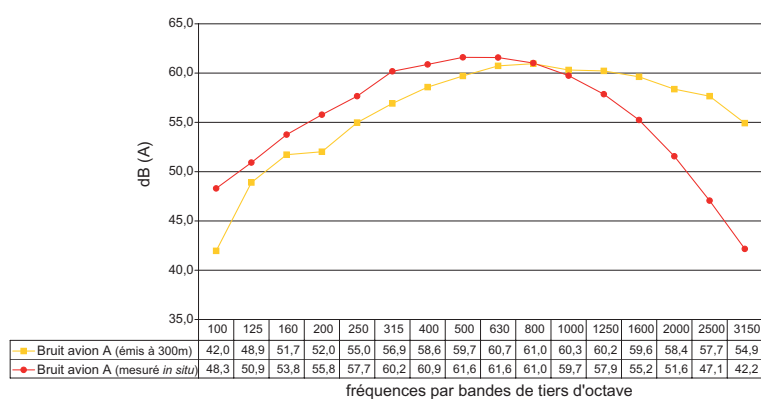
Notons enfin qu'un avion est une source sonore avec une directivité plus ou moins prononcée suivant le type d'avion et la phase de vol considérée. Cela signifie qu'il émet de l'énergie sonore différemment suivant la direction considérée par rapport à l'axe de l'avion ; cette directivité dépend de la fréquence.

0.4.2 - Spectres de bruits d'avion

Afin de faciliter l'étude des problèmes acoustiques, nous parlerons d'un « bruit avion » qui est la moyenne statistique du bruit des avions que nous retiendrons.

Le graphique ci-dessous présente :

- un spectre moyen calculé à partir de spectres de bruits d'avion émis à 300 m de l'avion et ramenés à un même niveau global (courbe jaune),
- un spectre moyen calculé à partir de spectres de bruits d'avion mesurés dans les communes autour d'Orly et de Roissy CDG, toute distance confondue et ramenés à un même niveau global (courbe rouge).



Comparaison des spectres pour un niveau équivalent de 70dB(A)

La différence entre les deux spectres est essentiellement due à la propagation dans l'air, les fréquences aiguës étant plus atténuées que les fréquences basses (absorption atmosphérique).

Notons que le spectre du bruit d'un avion lors de la phase de décollage est sensiblement différent du bruit d'un avion lors de sa phase approche.



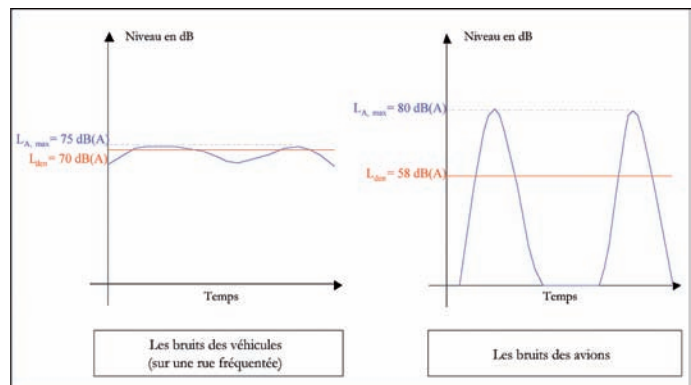
0.4.3 - Les niveaux du bruit avion

Le niveau qui nous intéresse n'est pas le niveau d'émission d'un avion, mais le niveau d'exposition au bruit des avions des riverains; ce niveau dépend fortement de la distance qui sépare le riverain et l'avion. Les valeurs les plus courantes de niveau de pression acoustique maximale dans les zones concernées par l'aide à l'insonorisation (les zones du plan de gêne sonore ou PGS) sont comprises entre 70 dB (A) et 80 dB (A).

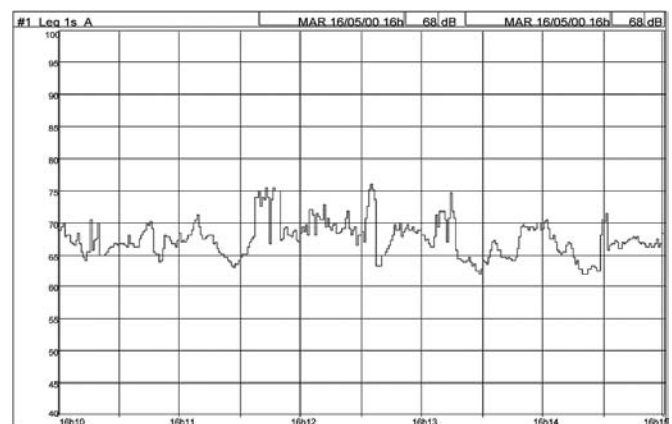
0.4.4 - L'évolution temporelle du bruit d'avion

La dynamique d'un bruit est très difficile à caractériser. Si nous nous restreignons à l'évolution temporelle du niveau global, nous pouvons décrire le bruit avion comme intermittent par opposition à un bruit continu (comme c'est le cas pour un trafic routier continu).

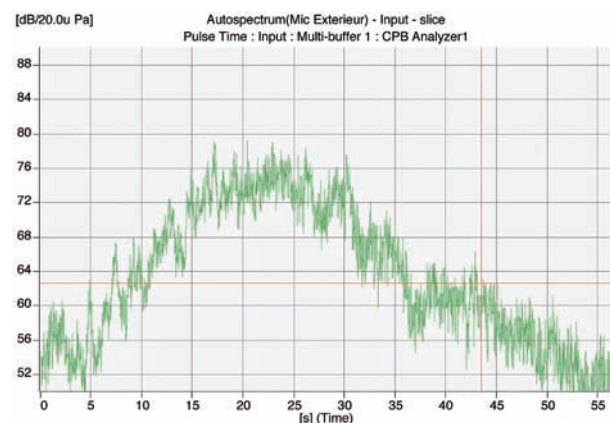
Il serait bien audacieux de s'aventurer plus en détail sur la dynamique, une grande partie de son interprétation étant très subjective puisque liée à la perception et à l'interprétation que nous en faisons. Rappelons pour s'en convaincre que l'étude d'une branche de la dynamique du bruit est la musique !



Le « bruit de trafic routier » est généralement continu ce qui n'est pas le cas pour le « bruit des avions » qui est ponctuel.



a) Bruit de trafic routier : exemple d'évolution temporelle mesurée



b) Bruit d'avion : exemple d'évolution temporelle mesurée



1 - S'isoler par rapport aux bruits extérieurs

1.1 - Le problème général

Isoler un local des bruits extérieurs nécessite de considérer toutes les faces du local exposées au bruit et pour chaque face, tous les éléments constitutifs de l'ouvrage concernés (les parois opaques, les fenêtres, les entrées d'air...). La réglementation française exprime les objectifs à atteindre en terme d'isolement (exigence de performances). Pour bâtir des solutions pour un objectif d'isolement donné, il est nécessaire de savoir calculer cet isolement à partir de la performance des éléments de l'ouvrage concerné. Cette section précise comment la performance des éléments est exprimée et mesurée et par quelle méthode l'isolement de l'ouvrage peut être calculé.

1.1.1 - Transmission par une paroi (indice R)

La performance des éléments surfaciques (parois opaques telles que murs de façade et toitures, fenêtres...) s'exprime par un indice d'affaiblissement acoustique R , mesuré en laboratoire par bande de fréquences sur l'élément isolé. L'énergie sonore transmise est alors :

- d'autant plus faible que l'indice R est fort,
- proportionnelle à la surface de l'élément.

1.1.2 - Transmission par une ouverture (isolement D_{ne})

La performance des ouvertures (entrée d'air, coffre de volet roulant, conduit de ventilation...) s'exprime par un isolement D_{ne} , mesuré en laboratoire par bande de fréquences sur l'élément isolé. L'énergie sonore transmise est alors :

- d'autant plus faible que l'indice D_{ne} est fort,
- dans le cas des coffres de volet roulant, proportionnelle à la longueur de l'élément.

1.1.3 - Isolement d'un local par rapport à l'extérieur

L'isolement d'un local par rapport à l'extérieur s'exprime par une différence entre le niveau sonore en façade et le niveau dans le local. Pour une énergie sonore donnée transmise, le niveau sonore dans le local est d'autant plus fort que le local est plus réverbérant (ondes sonores réfléchies par les parois du local). Pour définir un objectif d'isolement, il est donc nécessaire de préciser la réverbé-

ration du local considéré : la réglementation française considère un local d'habitation moyennement réverbérant (temps de réverbération $T = 0.5s$) et l'isolement correspondant est noté D_{nT} .

Note technique : différence entre indice R et isolement D_{nT}

Dans le cas d'une transmission sonore par une paroi d'indice R_{paroi} (et de surface S_{paroi}) et d'un local avec un temps de réverbération de 0.5 secondes (et de volume V_{local}), l'isolement D_{nT} s'exprime simplement par :

$$D_{nT} = R_{paroi} + 10 \cdot \log \frac{0.32 V_{local}}{S_{paroi}}$$

Dans le cas d'un local parallélépipédique, le rapport V_{local}/S_{paroi} correspond à la profondeur du local, souvent de l'ordre de 3 ou 4 m ; le deuxième terme de l'expression ci-dessus est alors voisin de zéro ou légèrement positif et l'isolement standardisé est donc voisin de l'indice R de la paroi.

Cette relation est discutée section 1.2.4 dans le cas de combles aménagés.

1.1.4 - Calcul de l'isolement : la norme de calcul européenne

Une méthode de calcul de l'isolement acoustique d'un local par rapport à l'extérieur, à partir des performances des éléments constitutifs de l'ouvrage est définie dans la norme européenne EN 12354-3 (Cette norme fait l'objet d'un consensus au niveau européen. Cependant, elle n'est pas un règlement et il est possible d'avoir recours à d'autre mode d'évaluation des performances d'un ouvrage. Nous nous limiterons, dans ce document, à la méthode présentée dans cette norme).

Les données d'entrée sont les indices d'affaiblissements acoustiques (R) des éléments surfaciques, les isolements acoustiques normalisés (D_{ne}) des ouvertures et les données géométriques nécessaires.

Les données en sortie peuvent être assimilées (de manière abusive mais sans trop d'imprécision) aux isolements (D_{nT}) des différents chemins de propagation et à l'isolement acoustique normalisé pondéré (tel que défini par la NRA). Les données d'entrée et la méthode de prévision ne sont pas parfaites et les résultats d'isolement obtenu ne sont qu'une estimation à utiliser avec précaution (voir section 2.4.1). Les calculs sont, comme les



mesures en laboratoire, effectués par bande de fréquences.

Notons que les murs de façade sont liés aux parois intérieures (planchers, refends, cloisons) qui peuvent générer des transmissions supplémentaires appelées transmissions latérales. Ces transmissions sont prises en compte dans cette méthode de calcul. Les transmissions latérales ne sont significatives que pour les objectifs d'isolement élevés (40 dB et au-delà).

Les exemples d'exigences par éléments ou de combinaisons d'exigences données dans ce document ont été mises au point à l'aide de cette méthode de calcul des performances acoustiques, mise en œuvre dans le logiciel ACOUBAT développé par le CSTB. Ces solutions ont été validées expérimentalement par un certain nombre de mesures sur site.

1.1.5 - Performances des produits et performances d'ouvrage : les spectres de référence

Afin de pouvoir comparer les produits ou les ouvrages entre eux, leurs performances mesurées ou calculées par bandes de fréquence doivent être réduites à un indice unique.

Ces indices uniques prennent en compte différemment les différentes bandes de fréquence et dépendent donc du type de bruit considéré et de son contenu fréquentiel (bruit industriel, bruit d'avions...).

Ces indices uniques sont de plus normalisés au niveau européen (tous les pays européens les utilisent pour exprimer la performance des éléments et des ouvrages).

Afin de caractériser ces indices, il existe deux bruits de référence utilisés couramment par les fabricants de produits et matériaux de construction :

- le "bruit rose"
- le "bruit route"

1.2 - Les particularités dans le cas du bruit d'avion

Dans la suite du document, lorsque nous parlerons du spectre d'un bruit avion, il faut comprendre qu'il est fait référence au spectre de ce bruit à l'instant t où le niveau sonore est maximal (noté $L_{\max}$) dans l'événement sonore considéré.

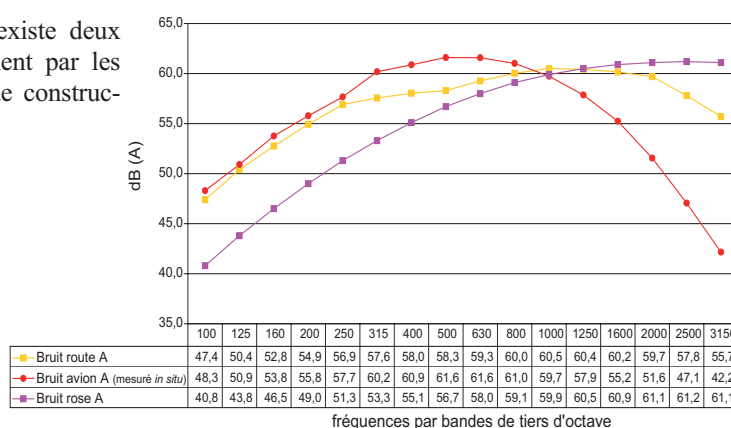
1.2.1 - Exposition d'un bâtiment au bruit d'avion : spectre de référence et objectifs d'isolement

Il est montré section 1.1.5 que performances de produit et performances d'ouvrage sont exprimées par des indices uniques qui dépendent du type de bruit considéré. Concernant les bruits d'avion, le spectre moyen (mesuré sur site, toute distance confondue) est assez semblable au spectre de référence « bruit route ». Aussi la référence bruit route a-t-elle été retenue pour le bruit d'avion (le bruit d'avion n'étant pas normalisé).

Notons que les cas de forte exposition correspondent à des distances bâtiment-avion plutôt faibles et que les spectres de bruit sont alors plus proches de la référence bruit route que le spectre moyen donné ci-dessous.

Concernant les bruits d'avion, les indices uniques utilisés dans ce guide sont les mêmes que ceux utilisés pour le bruit de trafic routier :

- 1) l'indice $R_w + C_{tr}$ pour la performance des éléments surfaciques,
- 2) l'indice $D_{ne,w} + C_{tr}$ pour celle des ouvertures,
- 3) l'indice $D_{nT,w} + C_{tr}$ pour les isollements de l'ouvrage sur site.



Comparaison des spectres pour un niveau équivalent de 70dB(A)



Les objectifs d'isolement considérés dans ce document sont, comme le bruit de trafic routier, exprimés en indice $D_{nT,w} + C_{tr}$ et sont de 35 et 40 dB.

1.2.2 - Local avec une façade unique : similarités des solutions relatives au bruit de trafic routier

Tout bâtiment est plus ou moins exposé au bruit de trafic routier. Ce type de bruit a fait l'objet de nombreuses études et un certain nombre de documents existent dans lesquels des exemples de solutions techniques sont donnés pour s'en protéger (guide du CERTU en particulier). Ces solutions sont-elles applicables au bruit d'avion ? On l'a vu, les isollements sont exprimés par les mêmes indices et dans certains cas, les objectifs réglementaires peuvent être les mêmes (l'objectif $D_{nT,w} + C_{tr}$ de 35 dB par exemple). Toutefois, les situations peuvent être différentes : une seule face d'un local (la façade) est couramment exposée au bruit de trafic routier alors que plusieurs faces (façades et toitures) sont généralement exposées au bruit d'avion, en particulier dans le cas de maisons individuelles. Au moins deux problèmes peuvent alors être résolus de la même façon :

- le choix des entrées d'air car la ventilation ne dépend que de la nature et du volume du local considéré et non du nombre de faces du local exposée au bruit extérieur,
- le cas simple d'un local avec une seule façade exposée (par exemple une chambre au RdC avec un local aménagé au dessus).

Des exemples de solutions sont donnés section 2.4.

1.2.3 - Local avec plusieurs faces (façade, toiture) exposées au bruit d'avion

Dans le cas courant d'un local avec plusieurs faces exposées au bruit d'avion (par exemple une chambre avec une façade verticale et un chemin de transmission toiture - comble perdu - plafond), les énergies sonores transmises par chaque face s'ajoutent, si bien que pour un objectif d'isolement donné, l'isolement relatif à chaque face doit être supérieur à cet objectif et donc nécessite l'utilisation d'éléments plus performants que si la face considérée était seule. Par exemple, avec l'hypothèse simple de deux chemins de transmission ayant chacun le même isollement, cet isollement devra être de 3 dB supérieur à l'objectif fixé.

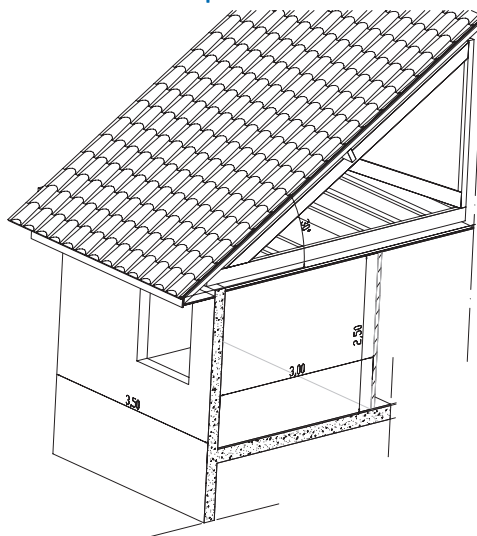
Avec la même hypothèse et dans le cas de trois chemins de transmission, l'isolement de chaque chemin devrait être de 5 dB supérieur à l'objectif fixé.

1.2.4 - La particularité des toitures

Deux cas doivent être différenciés :

- celui du comble perdu : le local possède un faux plafond et conserve sa forme parallélépipédique. Les combles deviennent alors un local tampon qui participe à l'isolement de la toiture,
- celui du comble aménagé : le local est situé directement sous la toiture. Celle-ci est alors doublée pour des raisons variées (visuelles, acoustiques, thermiques...) et la forme du local épouse la forme de la toiture.

1.2.4.1 - Cas du comble perdu



Dessin de la configuration géométrique

L'isolement du système toiture-comble-plafond est d'autant plus grand que l'indice R de la toiture est grand, que l'indice R du plafond est grand et que l'absorption acoustique du comble est grande, le comble jouant le rôle de local tampon.

La présence de laine minérale dans le comble sur le plafond est donc favorable à une bonne isolation comme le montre l'exemple donné section 2.3.



Note technique: L'isolement par les combles s'écrit :

$$D_{nT} = R_{\text{toiture}} + 10 \cdot \log \frac{A_{\text{comble}}}{S_{\text{toiture}}} + R_{\text{plafond}} + 10 \cdot \log \frac{0.32 V_{\text{local}}}{S_{\text{plafond, local}}}$$

On retrouve ici la relation entre indice R et isolement D_{nT} : les 3 premiers termes de l'expression ci-dessus représentent l'indice R équivalent du chemin par la toiture et les combles. A_{comble} est l'aire d'absorption équivalente du comble et se calcule à partir des surfaces des différentes parois du comble et de leurs coefficients d'absorptions mesurés en laboratoire :

$$A_{\text{comble}} = \alpha_{S, \text{plafond}} \cdot S_{\text{plafond, comble}} + \alpha_{S, \text{toiture}} \cdot S_{\text{toiture}}$$

La relation donnant l'isolement montre en particulier que dans le cas d'un comble perdu, une façon d'améliorer l'indice R équivalent du chemin toiture-comble-plafond consiste à augmenter l'aire d'absorption A_{comble} du comble.

1.2.4.2 - Cas du comble aménagé

L'isolement d'un comble aménagé par rapport à l'extérieur se différencie de celui d'un local parallélépipédique avec façade verticale, par la forme du local et par la taille des éléments surfaciques (toiture et fenêtre de toit) mis en jeu ; la note technique suivante permet de quantifier ces différences en termes d'isolement.

Note technique

- relation entre indice R et isolement

En reprenant la relation entre indice R et isolement de la section 2.1.3, l'isolement par la toiture s'écrit

$$D_{nT} = R_{\text{toiture}} + 10 \cdot \log \frac{0.32 V_{\text{comble}}}{S_{\text{toiture}}}$$

Dans le cas d'un comble, en particulier si la toiture est de faible pente (par exemple 30°), le terme V/S est voisin de 1 et le terme $10 \cdot \log \frac{0.32 V_{\text{comble}}}{S_{\text{toiture}}}$ est de l'ordre de -5 dB.

L'isolement standardisé D_{nT} est alors inférieur de 5 dB à l'indice R de la toiture avec doublage (cette différence était nulle dans le cas d'un local parallélépipédique avec façade verticale!).

Notons que si le comble est aménagé, la configuration extrême présentée ci-dessus (pente de toit de 30° et rapport V/S de l'ordre de 1) est certainement excessive ; toutefois un isolement standardi-

sé inférieur de 2 à 3 dB à l'indice R de la toiture est certainement réaliste.

En supposant que la toiture est le chemin principal (transmission par façade verticale aveugle négligée), un système toiture avec doublage intérieur ayant une performance en terme d'indice $R_w + C_{tr}$ de 37-38 dB est donc nécessaire pour atteindre un isolement de 35 dB ; cette configuration est bien sûr peu réaliste puisque sans ouverture et sans ventilation.

- cas avec fenêtre de toit

Dans le cas d'une fenêtre en toiture, la composition des isolements s'écrit en terme de facteur de transmission τ :

$$S_{\text{total}} \cdot \tau = S_{\text{toiture}} \cdot \tau_{\text{toiture}} + S_{\text{velux}} \cdot \tau_{\text{velux}} \text{ avec } R = 10/\log(1/\tau)$$

En général, le rapport surface vitrée/surface de toiture est bien inférieur à celui d'une façade verticale (typiquement $S_{\text{toiture}} \approx 10 \cdot S_{\text{velux}}$) ; l'équilibre en transmission (même énergie transmise par la toiture et par le vitrage) est alors obtenu pour $R_{\text{toiture}} \approx R_{\text{velux}} + 10 \text{ dB}$ et l'indice résultant vaut alors $R \approx R_{\text{toiture}} - 3 \text{ dB}$.

Dans ce cas, une toiture avec doublage d'indice $R_w + C_{tr}$ voisin de 40 dB et une fenêtre de toit voisine de 30 dB sont nécessaires pour atteindre un isolement de 35 dB (notons qu'il existe des fenêtres de toit plus performantes mais non certifiées ACO-THERM).

Remarque 1 : la performance des fenêtres de toit est limitée pour une question de poids (épaisseur de verre). Pratiquement une performance maximale de l'ordre de 33 dB (classe AC2) en indice peut être atteinte (composition de type 33.1/14/4).

Remarque 2 : Il existe des fenêtres de toit avec entrée d'air intégrée dans le système de fermeture. La performance de l'entrée d'air peut-être alors en générale un peu inférieure (de quelques dB) à celle d'une entrée d'air standard en menuiserie.

Des exemples de calculs sont donnés section 2.3.



1.2.5 - Les chemins parasites

Certains chemins de transmission sonore parasites peuvent être générés par des équipements traversant la toiture. Deux exemples ont été considérés dans ce guide : le cas d'un système de ventilation mécanique contrôlée (VMC) installé en comble perdu et celui d'un conduit de cheminée

1.2.5.1 - VMC installé en comble perdu

La fonction de ces systèmes est d'extraire l'air des pièces de types cuisine, WC et salle d'eau et de le rejeter en toiture. Le chemin de transmission est composé généralement de bouches d'extraction dans le local considéré, de conduits de raccordement jusqu'à l'unité motorisée située dans les combles, et d'un conduit d'échappement qui part de l'unité motorisée, traverse la toiture et se termine par une sortie de toiture.

Un tel système complet a été testé en laboratoire (poste d'interphonie du LABE), installé entre deux locaux et son isolement ($D_{ne,w} + C_{tr}$) mesuré. L'indice obtenu est de 57 dB dans le cas pénalisant d'un conduit en cuisine (le diamètre du conduit est alors supérieur à ceux utilisés pour les salles d'eau et WC), valeur élevée qui rend ce chemin négligeable par rapport aux autres chemins considérés dans ce guide.

1.2.5.2 - Cheminées à foyer ouvert

Il semble évident que les cheminées représentent un chemin de transmission sonore important dans le cas du bruit d'avion. Parmi les maisons testées dans le cadre de cette étude, certaines configurations avec cheminée ont été mesurées plus finement en exposant plus particulièrement au bruit l'extrémité de la cheminée au niveau de la toiture de façon à isoler ce chemin et pouvoir en donner une estimation dans ce document. Les résultats sont présentés en annexe 2 (mesures sur site) et montrent que ce chemin peut être très important et que l'interposition de simples parois légères courantes ne suffit pas à l'atténuer correctement.



2 - Exemples de solutions

Les deux premiers chapitres de cette partie (2.1 et 2.2) sont des reprises du guide élaboré par le Certu (Isolation acoustique des façades, guide technique et administratif pour le traitement des points noirs bruit). Ces deux parties servent à décrire les différents éléments sur lesquels nous pouvons intervenir et le type d'intervention qui sont les mêmes que pour le cas du bruit routier. En revanche les exigences de performances pour chacun des éléments et leurs combinaisons ont été traitées en tenant compte de la nature spécifique du bruit des avions.

2.1 - Les différentes parties pouvant être traitées dans un bâtiment pour améliorer les performances acoustiques

2.1.1 - Les parois opaques

2.1.1.1 - Les parois lourdes

Réalisées en maçonnerie ou en béton, ces éléments de façade répondent, du point de vue acoustique, à la loi de masse. Ils ont un indice d'affaiblissement acoustique bien supérieur à celui des fenêtres qui y sont insérées. Ces parois sont généralement complétées par un doublage thermique intérieur ou extérieur qui, suivant la nature de l'isolant, améliore (cas des isolants à cellules ouvertes tels la laine minérale et les isolants polystyrènes expansés élastifiés) ou diminue (cas des isolants à cellules fermées tels le polystyrène expansé ou le polyuréthane), les performances acoustiques.

2.1.1.2 - Les parois légères à ossatures bois

Elles se rencontrent dans la construction de logements individuels et de petits collectifs. Il s'agit de murs composés d'éléments modulaires réalisés en atelier, associant une structure porteuse en bois de petites sections, des panneaux raidisseurs en particules de bois agglomérés et un remplissage en laine minérale.

Ces modules reçoivent un habillage intérieur en plaque de plâtre le plus souvent monté sur ossature métallique indépendante. L'habillage extérieur peut être de diverses natures : bardage bois, panneaux peints ou enduits,.... Le comportement acoustique de ces parois est celui des parois doubles. Le niveau des performances acoustiques obtenues dépend de la nature des composants, du

dimensionnement des parois, de l'étanchéité à l'air des jonctions entre éléments et de la qualité de la réalisation.

2.1.1.3 - Les façades légères de type « panneaux sandwichs »

Elles sont réalisées à partir d'éléments de remplissage de faible épaisseur (35 à 50 mm), préfabriqués en usine. Ce type de façade se rencontre fréquemment dans la construction de bâtiments tertiaires mais également en logements collectifs.

Les panneaux utilisés sont constitués de parements, produits verriers, tôle, bois, amiante, ciment,... et d'un remplissage en mousse rigide. Ils sont souvent intégrés à l'intérieur d'éléments menuisés. Compte tenu de leur composition, ces parois présentent généralement des affaiblissements acoustiques ($R_{A, tr}$) peu importants, de l'ordre de 20 à 35 dB.

2.1.2 - Les parois vitrées

2.1.2.1 - Les simples vitrages

Les simples vitrages, du point de vue acoustique, se distinguent essentiellement par leur masse et leur rigidité, donc par leur épaisseur.

Le verre possède une fréquence critique. Au voisinage de cette dernière, la transmission d'énergie acoustique par le vitrage est augmentée - l'isolement acoustique est donc diminué.

2.1.2.2 - Les doubles vitrages

Les doubles vitrages sont aujourd'hui montés sur la quasi-totalité des fenêtres proposées sur le marché. Ils se composent de deux feuilles de verre séparées de quelques millimètres par une lame d'air ou de gaz (argon en général) et maintenues par un joint périphérique souple ou un profilé métallique monté en usine. La transmission des sons par un double vitrage dépend, comme pour le simple vitrage, de la masse et de la rigidité, et également de la résonance « masse - air - masse » de la double paroi.

Le double vitrage apporte, en plus d'un gain acoustique, des propriétés thermiques aux parois vitrées en divisant par deux les déperditions, grâce à la résistance thermique de la lame d'air ou d'un gaz présentant une conductivité thermique plus faible (argon). Un gain thermique peut également



être apporté par une mince couche peu émissive déposée sur la face d'une des vitres, réfléchissant ainsi le rayonnement infrarouge intérieur.

2.1.2.3 - Des vitrages feuilletés acoustiques

Des vitrages feuilletés acoustiques sont développés aujourd'hui de manière à atténuer l'effet de la fréquence critique. Ce sont des vitrages composés de deux ou plusieurs feuilles de verre assemblées entre elles par un ou plusieurs films de polyvinyle ou couches de résine de synthèse. Montés en double vitrage, il est ainsi possible de gagner jusqu'à 3 dB d'indice d'affaiblissement par rapport à des doubles vitrages d'épaisseurs similaires. En plus de leurs qualités thermique et acoustique, certains de ces vitrages possèdent des caractéristiques mécaniques permettant de répondre à des exigences de sécurité (protection contre la chute des personnes, anti-intrusion).

2.1.3 - Les équipements

2.1.3.1 - Les menuiseries

Les menuiseries sont constituées d'un dormant et d'un ou plusieurs ouvrants, d'un dispositif de manœuvre et de condamnation ainsi que de joints d'étanchéité entre l'ouvrant et le dormant. Leur mode d'ouverture peut être à frappe :

- à la française,
- basculante,
- oscillo-battante,
- coulissant,
- mixte (pivotement et translation).

Tous les types de menuiseries n'atteignent pas les mêmes capacités d'isolation acoustique. Comparées aux châssis coulissants ordinaires, les menuiseries ouvrant à frappe, exercent une pression sur le joint à sa fermeture pour une meilleure étanchéité. De nouvelles conceptions de châssis coulissants, munis de dispositifs de manœuvre spécifiques assurent une mise en pression du joint lors de la fermeture. Si le choix de profils rigides a une influence sur les capacités acoustiques des menuiseries, le choix du matériau (bois, PVC ou aluminium) repose sur d'autres critères : durabilité, entretien, étanchéité à l'eau, esthétique, coût.

2.1.3.2 - Les coffres de volets roulants et les fermetures

Les volets ou persiennes assurent l'occultation des baies et protègent des intrusions par effraction. Ils jouent également un rôle favorable au confort thermique d'été.

Les fermetures n'ont pas a priori pour fonction de renforcer l'isolation acoustique de la fenêtre ou de la porte. Le contrôle de l'isolation acoustique de la façade est d'ailleurs réalisé « volets ouverts » (conformément à la norme EN ISO 10 052). Dans certains cas de figure, ces fermetures peuvent même dégrader l'isolement acoustique de la façade.

Par ailleurs, les coffres de volets roulants peuvent être une voie de propagation du bruit extérieur vers l'intérieur lorsqu'ils ne sont pas adaptés.

2.1.3.3 - Les entrées d'air

Les entrées d'air assurent le renouvellement de l'air à l'intérieur du logement. Ils sont également nécessaires au bon fonctionnement du système de chauffage du logement. Elles peuvent être de différentes sortes, intégrées ou non aux menuiseries, avec ou sans système acoustique.

2.1.4 - Les toitures et les toitures-terrasses

2.1.4.1 - Les toitures en pentes

Pour les combles non aménagés

Pour les combles non aménagés, on considère la capacité d'isolation acoustique de l'ensemble constitué par la couverture, le volume non habité et le plafond, qui fonctionne comme une double paroi.

Pour les combles aménagés

Pour les combles aménagés, le volume habité, situé en sous toiture, est protégé de l'extérieur par un ensemble constitué :

- d'un matériau de toiture,
- d'un espace plus ou moins important contenant généralement un matériau isolant,
- d'un habillage intérieur, qui fonctionne sur le plan acoustique comme une double paroi.

2.1.4.2 - Les toitures-terrasses

Les toitures-terrasses lourdes utilisent un plancher en béton comme support.



2.2 - Types d'intervention possible par composants

Nous ne présenterons pas de manière descriptive les composants d'un bâtiment, mais nous nous contenterons de décrire succinctement les possibilités d'intervention sur les composants en vue d'améliorer l'insonorisation d'un bâtiment.

Il est possible de diminuer le niveau des pressions acoustiques dans une pièce en augmentant le coefficient d'absorption de cette pièce (c.a.d. en diminuant la réverbération) mais les performances obtenues pour l'insonorisation dans le cadre la procédure ne doivent pas prendre en compte ce « surplus d'isolation » (qui n'en n'est pas un et qui dépend de l'occupation des lieux). Nous traiterons des points qui concernent uniquement l'isolation acoustique brute.

2.2.1 - Les parois opaques

2.2.1.1 - Les parois lourdes

Pour améliorer l'acoustique d'une façade, ce n'est généralement pas sur les parois lourdes qu'il faudra agir, le gain possible étant faible comparé aux autres voies de transmission.

2.2.1.2 - Les parois légères à ossatures bois

Pour ce type de constructions, il est préférable, suivant les cas :

- de vérifier et de renforcer l'étanchéité à l'air de l'enveloppe au niveau des liaisons avec les autres éléments de la construction (maçonneries, menuiseries, planchers, éléments de toiture),
- d'augmenter la masse de la paroi intérieure en appliquant plusieurs plaques de plâtres superposées,
- de désolidariser la paroi intérieure de l'ossature et d'augmenter l'espace entre les parois.

Ce type d'intervention peut correspondre à d'importants travaux ; une étude acoustique spécifique est nécessaire pour s'assurer du résultat.

2.2.1.3 - Les façades légères de type « panneaux sandwichs »

Pour ce type de façade, il est déconseillé de procéder à un renforcement de l'isolation acoustique par un doublage intérieur par exemple (risque de

condensation entre le panneau sandwich et le doublage, création d'une triple paroi souvent décevante du point de vue acoustique,...). Une dépose des panneaux est nécessaire pour les remplacer par des éléments plus performants. Dans ce cas, un gain d'isolement acoustique substantiel suppose des interventions « lourdes ».

2.2.2 - Les parois vitrées

Lorsque le défaut d'isolation acoustique se situe au niveau des fenêtres ou des portes, différentes techniques peuvent être utilisées, suivant les performances recherchées :

- améliorer l'étanchéité à l'air,
- remplacer le vitrage,
- remplacer la fenêtre,
- réaliser une double-fenêtre.

2.2.2.1 - Améliorer l'étanchéité à l'air

Deux actions élémentaires :

- procéder tout d'abord au réglage des jeux entre ouvrants et dormants au niveau des ferrures,
- pour une étanchéité plus poussée, le joint existant, inadapté ou détérioré par l'action du rayonnement solaire et de l'humidité, peut être remplacé.

Ces solutions restent économiques, pour un gain acoustique qui peut atteindre 5 dB. Leur application suppose un bon état et une parfaite stabilité dimensionnelle des menuiseries pour garantir la pérennité des performances acoustiques.

Il convient également de vérifier l'absence de vides et de fuites d'air entre le dormant et la maçonnerie.

2.2.2.2 - Remplacer le vitrage

L'étanchéité à l'air pourra être complétée par le remplacement du verre existant par un verre plus épais ou un double vitrage si la menuiserie le permet.

2.2.2.3 - Mettre en place un survitrage

Cette solution peut être adoptée pour un surcroît d'isolement de quelques dB, mais le résultat final dépendra essentiellement du soin apporté à la pose (risque de buée entre les vitrages) et de la capacité de la fenêtre d'origine à supporter la surcharge tout en restant étanche à l'air.



2.2.2.4 - Remplacer la fenêtre

Par rapport aux solutions précédentes, cette solution présente les meilleures garanties en ce qui concerne le renforcement acoustique. Deux solutions sont possibles :

- remplacer la totalité de la fenêtre existante,
- conserver le dormant existant et installer une fenêtre de réhabilitation à profils d'adaptation.

2.2.2.5 - Réaliser une double-fenêtre

La double-fenêtre permet de répondre aux exigences acoustiques les plus importantes.

Avantages :

- très bonne isolation acoustique (l'indice d'affaiblissement R peut atteindre 50 dB pour un espacement entre les deux fenêtres suffisamment important, proche de 250 mm),
- bonne isolation thermique,
- intervention conciliable avec des travaux d'isolation des murs par l'intérieur ou l'extérieur,
- facilité du traitement acoustique de l'entrée d'air.

Inconvénients :

- tendance à réduire l'éclairage des pièces,
- surface de nettoyage doublée et interventions délicates, si la menuiserie posée est coulissante,
- système généralement mal perçu par les occupants,
- problèmes de compatibilité avec la présence d'équipements (persiennes, stores, barres d'appui, barreaux,...).

2.2.3 - Les équipements

Dans le cas de la ventilation naturelle par exemple, une entrée d'air constituée d'un simple orifice dégrade fortement l'isolement acoustique de façade.

2.2.3.1 - Les fermetures

Les fermetures n'ont pas a priori pour fonction de renforcer l'isolation acoustique de la fenêtre ou de la porte. Le contrôle de l'isolation acoustique de la façade est d'ailleurs réalisé « volets ouverts ». Dans certains cas de figure, ces fermetures peuvent même dégrader l'isolement acoustique de la façade.

Dans un souci de gain acoustique, il convient de préconiser des fermetures de masse surfacique suffisante (exemple : lames en aluminium profilées à double paroi) et un sens d'enroulement du tablier (lorsque le coffre est placé à l'extérieur) permettant une distance plus importante de la fenêtre à la fermeture.

2.2.3.2 - Les coffres de volets roulants

Si la fenêtre est munie d'un volet roulant, le coffre peut constituer un chemin de transmission préférentiel pour les bruits extérieurs, notamment lorsque le coffre du volet est placé au-dessus de la fenêtre, sous le linteau ou derrière celui-ci.

2.2.3.3 - Les entrées d'air

Pour améliorer les performances acoustiques d'une entrée d'air, il est conseillé de les remplacer par des systèmes avec une chicane acoustique, laissant passer l'air mais diminuant la propagation du son à travers.

2.2.4 - Les toitures et les toitures terrasses

2.2.4.1 - Les toitures en pentes

Pour améliorer l'indice d'affaiblissement acoustique d'une toiture en pente on cherchera à :

- améliorer l'étanchéité à l'air de la couverture,
- augmenter la masse de la toiture ou du plafond,
- introduire un matériau absorbant (laine minérale) dans le volume du comble.

L'amélioration de l'étanchéité à l'air de la toiture doit prendre en compte la nécessité de ventiler la toiture pour assurer la pérennité des bois de charpente et de couverture.

2.2.4.2 - Les toitures terrasses

Les toitures-terrasses lourdes utilisent un plancher en béton comme support. Si elles sont totalement opaques, leur indice d'affaiblissement peut être considéré comme suffisamment élevé pour répondre aux objectifs acoustiques. Les points à surveiller concernent essentiellement le traitement des fenêtres zénithales (lanterneaux,...), des conduits et des sorties d'air.

Les terrasses légères utilisant des couvertures métalliques sont souvent peu performantes du point de vue acoustique. Pour ce type de terrasses, il convient de se rapprocher des solutions proposées pour les toitures en pente avec combles aménagés.



2.3 - Exemples d'exigences par éléments en fonction des performances recherchées

Dans cette partie, nous ne chercherons pas à donner des exemples d'exigences pour toutes les configurations possibles avec les éléments décrits précédemment. Nous nous limitons par exemple à des cas de parois lourdes de type parpaing creux. Il s'agit de considérer les cas les plus fréquents. Il est important de noter que dans les configurations retenues, les exemples d'exigences ne sont pas exhaustifs, un acousticien pouvant proposer une autre approche le cas échéant.

2.3.1 - Les entrées d'air

La ventilation ne dépend que de la nature et du volume du local considéré et non du nombre de faces exposées au bruit d'avion. Les solutions sont alors les mêmes que celles proposées pour le bruit routier.

Le tableau suivant donne quelques repères en terme de performance d'entrée d'air à utiliser, exprimés en indice $D_{ne,w} + C_{tr}$ pour 3 objectifs d'isolement :

Isolement $D_{nT,w} + C_{tr}$	30 dB (NRA*)	35 dB	40 dB	45 dB
Une entrée d'air maxi par 10 m ² au sol	36 dB (ESA4)	41 dB ⁽¹⁾	46 dB ⁽²⁾	Étude spécifique avec mesures <i>in situ</i> nécessaire
Plus d'une entrée d'air par 10 m ² au sol	39 dB (ESA5) (+ 3 dB)	44 dB ⁽²⁾	49 dB ⁽²⁾	

(*) NRA : nouvelle réglementation acoustique, exigence dans le neuf.

(1) Limite supérieure pour les entrées d'air en menuiserie ;

(2) Entrée d'air en mur de façade (avec manchon) ; performances courantes de l'ordre de 55 dB

La première colonne du tableau (isolement de 30 dB) correspond aux valeurs d'isolement indiquées dans le document ESA (Exemples de Solutions Acoustiques) publié par la DGUHC et relatif à la réglementation acoustique 2000.

La première ligne du tableau correspond à un local normalement ventilé ; elle indique par exemple que pour un local de 10 m² avec une entrée d'air ou pour un local de 20 m² avec 2 entrées d'air, la solution est la même.

Pour les forts isollements (objectif de 40 dB), aucune entrée d'air en menuiserie ne peut convenir et une entrée d'air en mur de façade (avec manchon) est nécessaire. Notons qu'il existe aussi des baies vitrées performantes avec entrée d'air intégrée dans le coffre de volet roulant.

2.3.2 - Les fenêtres

Nous retenons l'exemple d'un local en RdC avec un local aménagé au dessus. Les solutions sont alors les mêmes que celles proposées pour le bruit routier.

2.3.2.1 - Configuration sans coffre de volet roulant

Les objectifs de performance de fenêtre à utiliser, exprimés en indice $R_w + C_{tr}$ sont donnés dans le tableau suivant pour 3 objectifs d'isolement :

Isolement $D_{nT,w} + C_{tr}$	30 dB (NRA*)	35 dB	40 dB	45 dB
$S_{fenêtre}/S_{sol} < 0.2$	28 dB (mini AC1)	33 dB (mini AC2)	38 dB (AC3)	Étude spécifique avec mesures <i>in situ</i> nécessaire
$S_{fenêtre}/S_{sol} > 0.2$	31 dB (AC1)	36 dB (mini AC3)	41 dB (AC4)	

(*) NRA : nouvelle réglementation acoustique, exigence dans le neuf.

La première ligne du tableau correspond à un local avec une surface de vitrage moyenne ; elle indique par exemple que pour une chambre de 10 m² avec une fenêtre ou pour un séjour de 20 m² avec 2 fenêtres, la solution est la même.

Le tableau précise la classe de certification Acotherm des fenêtres proposées. Les exemples ci-dessous donnent une indication sur le type de vitrage nécessaire (mais pas suffisant) pour appartenir aux différentes classes Acotherm :

- AC2 : 10/6/4, 10/10/4, 8/12/4,
- AC3 : feuilleté 44.1/12/10 minimum,
- AC4 : seuls quelques vitrages atteignent la performance de 40 dB (seuil de la classe). Ex : 64.2/20/44.2 (très lourd avec 18 mm de verre au total).

Remarque : dans le cas où les fenêtres ont simplement fait l'objet d'un essai de type et ne sont pas certifiées (et donc pas soumises à des contrôles réguliers de qualité), une augmentation de la performance de 2 dB est alors recommandée par rapport aux valeurs indiquées dans le tableau précédent.



2.3.2.2 - Configurations avec coffre de volet roulant (blocs baies)

Il existe également une certification Acotherm pour les blocs baies (ensemble fenêtre et coffre de volet roulant). Un tableau analogue à celui donné précédemment pour les fenêtres peut alors être donné :

Isolement $D_{nT,w} + C_{tr}$	30 dB (NRA*)	35 dB	40 dB	45 dB
$S_{fenêtre}/S_{sol} < 0.2$	28 dB (mini AC1)	33 dB (mini AC2)	38 dB (AC3)	Étude spécifique avec mesures <i>in situ</i> nécessaire
$S_{fenêtre}/S_{sol} > 0.2$	31 dB (AC1)	36 dB (mini AC3)	-	

(*) NRA : nouvelle réglementation acoustique, exigence dans le neuf.

Note 1 : si le logement a des fenêtres qui ne sont pas assez performantes avec volets roulants, une solution peut être de remplacer l'ensemble par un bloc baie certifié.

Note 2 : il existe des blocs baies performants avec entrée d'air intégrée dans le coffre de volet roulant. Un isolement $D_{nT,w} + C_{tr}$ de 40 dB (sans marge de sécurité par calcul) peut même être atteint si la surface du vitrage est raisonnable (2 m² maxi) comme le montre l'exemple donné section 2.4.6.

2.3.3 - Les toitures et fenêtres de toit

Remarque préalable : L'état des connaissances concernant les toitures et les fenêtres de toit est beaucoup moins avancé que celui concernant les éléments composant une façade verticale. Pratiquement, les connaissances sur les systèmes de couvertures ayant servi à l'élaboration de ce guide se résument à l'ensemble des composants testés en laboratoire présentés en annexe 1, ainsi que les mesures d'expertise sur site présentées en annexe 2. Ce peu d'éléments nous a tout de même permis de cibler des performances de composants pour l'objectif d'isolement $D_{nT,w} + C_{tr}$ de 35 dB, et cela pour les deux types de configuration de bâtiment considérés : la configuration d'un local sous toiture avec combles perdus et celle de combles aménagés. Par contre, l'objectif d'isolement $D_{nT,w} + C_{tr}$ de 40 dB nous semble beaucoup plus difficile à atteindre et seule une configuration de local sous toiture avec comble perdu et avec un plafond très performant a pu atteindre un isolement (calculé) de 40 dB (voir section 2.5).

2.3.3.1 - Local sous toiture avec combles perdus

L'idée générale proposée consiste à avoir en façade verticale exposée, des éléments (fenêtre, entrée d'air...) de même performance que ceux proposés pour un local avec une seule face exposée (voir section 2.3.2.1). Cette solution nécessite alors, pour un objectif $D_{nT,w} + C_{tr}$ de 35 dB, que l'indice d'isolement $D_{ne,w} + C_{tr}$ du chemin par la toiture et les combles soit supérieur ou égal à 40 dB.

Parmi les produits donnés en annexe 1, les 4 toitures (tuiles béton, tuiles canal, tuiles oméga et ardoise), combinées à un plafond existant de base (une plaque de plâtre fixée sur solive) peuvent satisfaire à cet objectif, à condition d'avoir 20 cm de laine minérale sur le plafond dans les combles (solution justifiée section 1.2.4.1 et calculée section 2.5).

Notons enfin que si l'objectif d'isolement est de 40 dB et si l'on en reste à une façade verticale avec une performance d'isolement de 40 dB, l'indice d'isolement $D_{ne,w} + C_{tr}$ du chemin par la toiture et les combles doit alors être voisin de 50 dB.

2.3.3.2 - Combles aménagés

Les systèmes de toiture

Dans le cas de combles aménagés, comme indiqué section 1.2.4.2 et vérifié par calcul section 2.5, un indice d'affaiblissement $R_w + C_{tr}$ du système de toiture avec doublage supérieur à 40 dB est nécessaire pour atteindre l'objectif $D_{nT,w} + C_{tr}$ de 35 dB.

Parmi les produits donnés en annexe 1, 3 types de solutions peuvent être alors trouvées :

- soit la toiture est suffisamment performante (ex. ardoise) et l'ensemble toiture + doublage intérieur existant a la performance demandée ($R_w + C_{tr}$ de 42 dB avec l'ardoise),
- soit la toiture à une performance moyenne (ex. tuile oméga) et le doublage intérieur existant est laissé en place : un traitement suffisamment performant par l'extérieur est inséré entre chevron et toiture. Par exemple le système tuile oméga + rockciel + doublage intérieur (annexe 1) a la performance demandée ($R_w + C_{tr}$ de 42 dB),
- soit la toiture à une performance moyenne (ex. tuile oméga) et le doublage intérieur existant est déposé et remplacé par un doublage plus performant. Par exemple le système tuile oméga + doublage intérieur avec 2 plaques de plâtre et laine minérale (annexe 1) a la performance demandée ($R_w + C_{tr}$ de 41 dB).



Les ouvertures

Dans le cas de combles aménagés, les ouvertures (fenêtre et entrée d'air) peuvent être situées soit au niveau de la toiture avec une fenêtre de toit et une entrée d'air intégrée dans le système de fermeture, soit en pignon avec fenêtre et entrée d'air classiques, soit en chien-assis avec fenêtre souvent de taille plus réduite et entrée d'air classique intégrée dans la menuiserie. Pour ces 3 cas et pour l'objectif d'isolement global de 35 dB, les performances de ces éléments, peuvent être de même ordre que celles proposées dans le cas d'un local avec une façade verticale exposée: objectif $R_w + C_{tr}$ de 33 dB pour la fenêtre ou la fenêtre de toit et objectif $D_{ne,w} + C_{tr}$ de 41 dB pour l'entrée d'air.

2.3.4 - Autres ouvertures

Deux autres types d'ouverture ont été considérés: le chemin de transmission par une VMC installée en comble perdu et le chemin de transmission par une cheminée à foyer ouvert. Ces deux types de chemins sont décrits section 1.2.5 (chemins parasites).

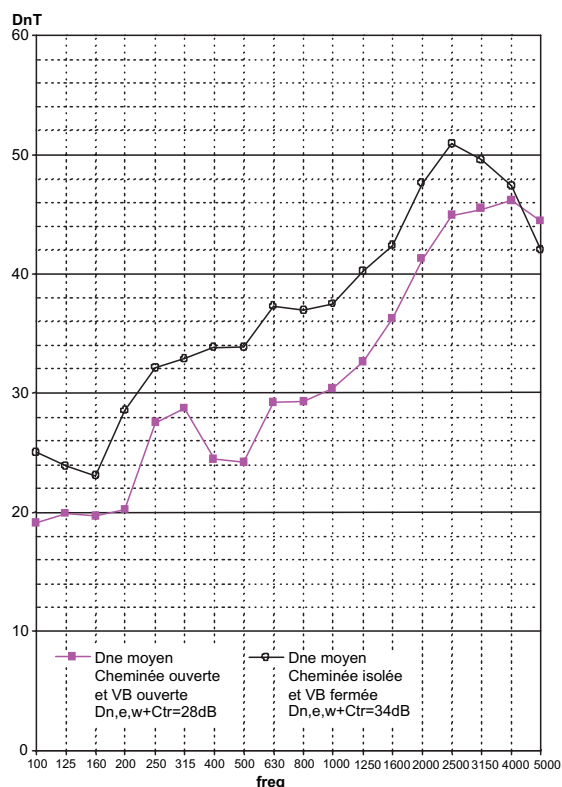
VMC

Un système complet de VMC a été testé en laboratoire (poste d'interphonie du LABE), installé entre deux locaux et son isolement D_{ne} mesuré. Les résultats sont donnés en annexe 1. L'indice $D_{ne,w} + C_{tr}$ obtenu est de 57 dB dans le cas pénalisant d'un conduit en cuisine (le diamètre du conduit est alors supérieur à ceux utilisés pour les salles d'eau et WC), valeur élevée qui rend ce chemin négligeable par rapport aux autres chemins considérés dans ce guide.

Cheminées

Certaines maisons avec cheminée à foyer ouvert ont été mesurées sur site en exposant plus particulièrement au bruit l'extrémité de la cheminée au niveau de la toiture de façon à isoler ce chemin et pouvoir en donner une estimation en terme d'indice D_{ne} . Les résultats présentés ci-dessous représentent une moyenne sur deux cheminées mesurées, soit ouvertes, soit avec trappe (tôle) en place (dans le conduit) fermée et ajout d'un doublage de type plaque de plâtre avec laine minérale pour améliorer l'isolement. L'indice $D_{ne,w} + C_{tr}$ obtenu est de 29 dB pour une cheminée ouverte et de 34 dB pour la même cheminée fermée. Ces résultats montrent que ce chemin est dominant, même avec

l'interposition de simples parois légères courantes. Un indice $D_{ne,w} + C_{tr}$ minimum de l'ordre de 40 dB pour une cheminée traitée peut conduire à une solution acceptable.



Spectre D_{ne} type de cheminée ouverte ou obturée avec trappe en place renforcée avec des matériaux légers



2.4 - Exemples de combinaisons d'exigences : cas de locaux avec une face exposée au bruit extérieur

2.4.1 - Préambule

Cette partie propose des exemples de solutions pour des objectifs d'isolation de 30, 35, 38 et 40 dB dans le cas où le local considéré n'a qu'une face exposée au bruit extérieur. Ces exemples sont donc semblables à ceux proposés dans le cas d'une exposition au bruit routier.

Les calculs ont été réalisés avec ACOUBAT (CSTB), logiciel de calcul des isollements aux bruits aériens et des bruits d'impact dans les bâtiments. Dans ce logiciel, les calculs des performances d'un bâtiment à partir des propriétés des composants sont conformes à la norme NF EN 12354-3.

Ce document n'est qu'une illustration pour un exemple de pièces bien déterminées ; les solutions proposées peuvent donc être optimisées dans chaque cas particulier. Seules, des mesures effectuées a posteriori suivant les normes en vigueur permettent de vérifier la conformité des isollements. L'obtention effective des résultats reste de la responsabilité du maître d'œuvre pour ce qui est du dimensionnement et des entreprises pour ce qui est de la mise en œuvre.

Les calculs ont été réalisés avec une marge de sécurité de 1 dB (à l'exception de l'exemple pour l'objectif de 40 dB) pour tenir compte des incertitudes liées à l'imperfection des méthodes prévisionnelles employées et des variations des performances liées à la mise en œuvre, dans l'hypothèse d'une mise en œuvre réalisée selon les règles de l'art. La dispersion des produits est prise en compte différemment selon qu'il est fait appel à une certification ou un essai de type.



2.4.2 - Description des locaux étudiés et hypothèses

Les locaux choisis sont décrits ci dessous. Il s'agit de pièces principales type séjour d'un volume de 50 m³ et des chambres d'un petit volume de 24 m³.

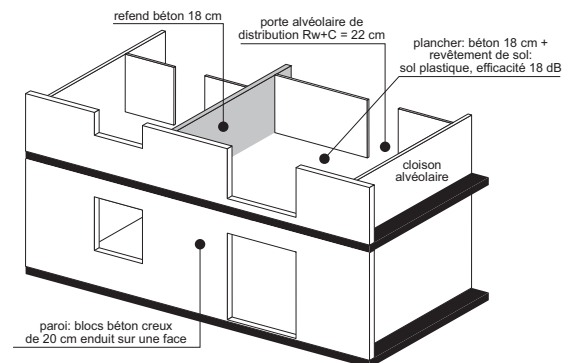
Les composants sont les suivants :

- les planchers haut et bas et le refend sont en béton de 18 cm d'épaisseur,
- la façade est en béton de 16 cm d'épaisseur avec un complexe de doublage d'efficacité,

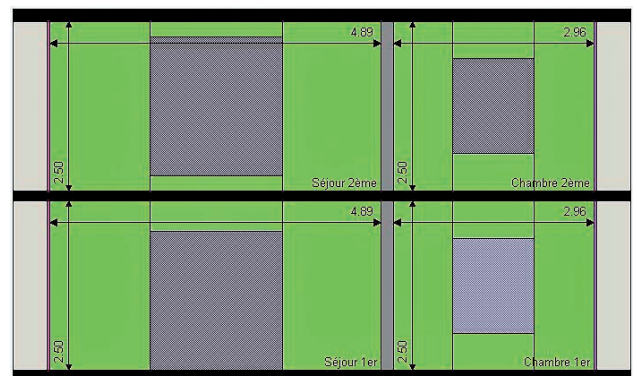
$$\Delta (R_w + C_{tr}) > 0,$$

- les cloisons intérieures sont du type cloisons alvéolaires,
- pour le séjour, la surface vitrée est de 4 m², pour la chambre elle est de 1,68 m².

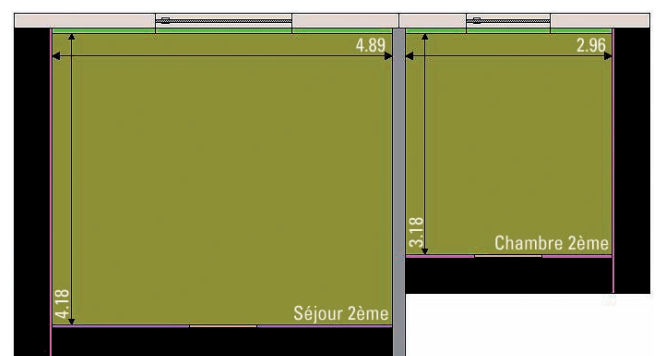
Pour les objectifs visés inférieurs à 40 dB, le calcul ne prend pas en compte les transmissions latérales par la structure. Ces transmissions sont négligeables par rapport aux transmissions directes par la fenêtre, l'entrée d'air et le coffre de volet roulant.



Locaux modélisés: Vue en trois dimensions



Locaux modélisés: vue de face

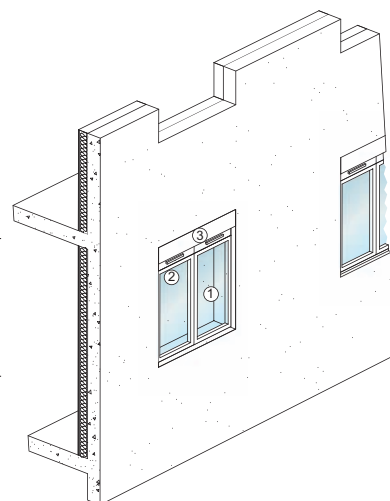


Locaux modélisés: vue en coupe



2.4.3 - Isolement acoustique de 30 dB

- 1 Fenêtre ou porte-fenêtre avec ou sans coffre de volet roulant
Certifié Acotherm AC1
Ou fenêtre testée en laboratoire $R_w + C_{tr} \geq 30$ dB
Ou fenêtre de classe d'étanchéité A3 équipée d'un vitrage
CEKAL AR2 ou double vitrage 4/6/6 ou 6/6/8
- 2 Si $\left(\frac{\text{Nbr d'entrée d'air} \cdot 10}{\text{Surface au sol m}^2} \right) \leq 1$ Entrée d'air certifiée NF $D_{n,e,w} + C_{tr} \geq 36$ dB.
Ou Entrée d'air essai de type $D_{n,e,w} + C_{tr} \geq 38$ dB.
Si $1 \leq \left(\frac{\text{Nbr d'entrée d'air} \cdot 10}{\text{Surface au sol m}^2} \right) \leq 2$ ajouter 3 dB aux valeurs précédentes
- 3 Coffre de volet roulant traversant (si non inclus dans le bloc fenêtre):
 $D_{n,e,w} + C_{tr} \geq 42$ dB



Limites:

Local: rapport surface fenêtre/surface au sol $< 0,2$

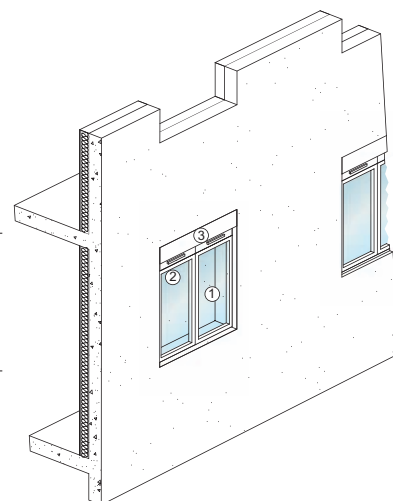
Mur de façade: masse surfacique ≥ 180 kg/m² ou $R_w + C_{tr}$ équivalent de 40 dB

Isolement 30 dB, séjour 2ème étage	Isolement 30 dB, chambre 2ème étage
<p>■ Global : $D_{nT,A,Tr} = 31$ dB</p> <p>● Paroi : $D_{nT,A,Tr} = 53$ dB</p> <p>◆ Fenêtre $R_w + C_{tr} = 28$ dB : $D_{nT,A,Tr} = 34$ dB</p> <p>○ Entrée d'air N°1 sur menuiserie $D_{n,e,w} + C_{tr} = 36$ dB $D_{nT,A,Tr} = 38$ dB</p> <p>⊖ Entrée d'air N°2 sur menuiserie $D_{n,e,w} + C_{tr} = 36$ dB $D_{nT,A,Tr} = 38$ dB</p> <p>⊞ Coffre de volet roulant $D_{n,e,w} + C_{tr} = 42$ dB $D_{nT,A,Tr} = 43$ dB</p>	<p>■ Global : $D_{nT,A,Tr} = 31$ dB</p> <p>● Paroi : $D_{nT,A,Tr} = 51$ dB</p> <p>◆ Fenêtre $R_w + C_{tr} = 28$ dB : $D_{nT,A,Tr} = 35$ dB</p> <p>○ Coffre de volet roulant $D_{n,e,w} + C_{tr} = 42$ dB $D_{nT,A,Tr} = 41$ dB</p> <p>⊞ Entrée d'air sur menuiserie $D_{n,e,w} + C_{tr} = 36$ dB $D_{nT,A,Tr} = 35$ dB</p>
$D_{nT,A,Tr} = 31$ dB	$D_{nT,A,Tr} = 31$ dB



2.4.4 - Isolement acoustique de 35 dB

- 1 Fenêtre ou porte-fenêtre avec ou sans coffre de volet roulant
Certifié Acotherm AC2
Ou fenêtre testée en laboratoire $R_w + C_{tr} \geq 35$ dB
Ou fenêtre de classe d'étanchéité A3 équipée d'un vitrage
CEKAL AR4 ou double vitrage 10/6/8 ou 55-2/8/6
- 2 Si $\left(\frac{\text{Nbr d'entrée d'air} \times 10}{\text{Surface au sol m}^2} \right) \leq 1$ Entrée d'air certifiée NF $D_{n,e,w} + C_{tr} \geq 41$ dB.
Ou Entrée d'air essai de type $D_{n,e,w} + C_{tr} \geq 42$ dB.
Si $1 \leq \left(\frac{\text{Nbr d'entrée d'air} \times 10}{\text{Surface au sol m}^2} \right) \leq 2$ solutions à étudier au cas par cas
- 3 Coffre de volet roulant traversant (si non inclus dans le bloc fenêtre):
 $D_{n,e,w} + C_{tr} \geq 47$ dB



Limites :

Local : rapport surface fenêtre/surface au sol $< 0,2$

Mur de façade : masse surfacique ≥ 180 kg/m² ou $R_w + C_{tr}$ équivalent de 40 dB

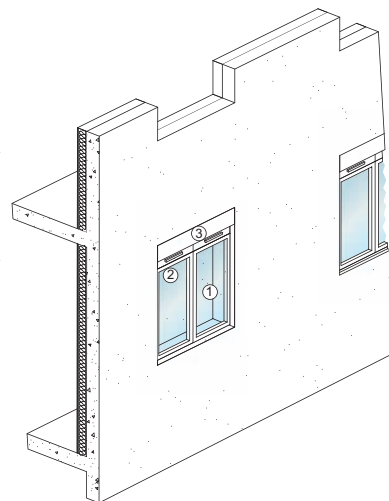
Exemples de calcul pour un isolement aux bruits extérieurs, contributions pour chacun des éléments :

Isolement 35 dB, séjour 2ème étage	Isolement 35 dB, chambre 2ème étage
<p>■ Global : $D_{nT,A,Tr} = 36$ dB</p> <p>● Paroi : $D_{nT,A,Tr} = 53$ dB</p> <p>◆ Fenêtre $R_w + C_{tr} = 33$ dB : $D_{nT,A,Tr} = 39$ dB</p> <p>⊖ Entrée d'air N°1 avec auvent acoustique et entretoise $D_{n,e,w} + C_{tr} = 41$ dB $D_{nT,A,Tr} = 43$ dB</p> <p>⊕ Entrée d'air N°1 avec auvent acoustique et entretoise $D_{n,e,w} + C_{tr} = 41$ dB $D_{nT,A,Tr} = 43$ dB</p> <p>⊖ Coffre de volet roulant $D_{n,e,w} + C_{tr} = 47$ dB $D_{nT,A,Tr} = 48$ dB</p> <p>$D_{nT,A,Tr} = 36$ dB</p>	<p>■ Global : $D_{nT,A,Tr} = 36$ dB</p> <p>● Paroi : $D_{nT,A,Tr} = 51$ dB</p> <p>◆ Fenêtre $R_w + C_{tr} = 33$ dB : $D_{nT,A,Tr} = 39$ dB</p> <p>⊖ Entrée d'air N°1 avec auvent acoustique et entretoise $D_{nT,A,Tr} = 40$ dB</p> <p>⊕ Coffre de volet roulant $D_{n,e,w} + C_{tr} = 47$ dB $D_{nT,A,Tr} = 46$ dB</p> <p>$D_{nT,A,Tr} = 36$ dB</p>



2.4.5 - Isolement acoustique de 38 dB

- 1 Fenêtre ou porte-fenêtre avec ou sans coffre de volet roulant
Certifié Acotherm AC3
Ou fenêtre testée en laboratoire $R_w + C_{tr} \geq 38$ dB
- 2 Si $\left(\frac{\text{Nbr d'entrée d'air} \times 10}{\text{Surface au sol m}^2} \right) \leq 1$ $D_{n,e,w} + C_{tr} \geq 44$ dB (entrée d'air en maçonnerie).
Si $1 \leq \left(\frac{\text{Nbr d'entrée d'air} \times 10}{\text{Surface au sol m}^2} \right) \leq 2$ solutions à étudier au cas par cas
- 3 Coffre de volet roulant traversant (si non inclus dans le bloc fenêtre):
 $D_{n,e,w} + C_{tr} \geq 50$ dB



Limites:

Local: rapport surface fenêtre/surface au sol $< 0,2$

Mur de façade: masse surfacique ≥ 180 kg/m² ou $R_w + C_{tr}$ équivalent de 40 dB

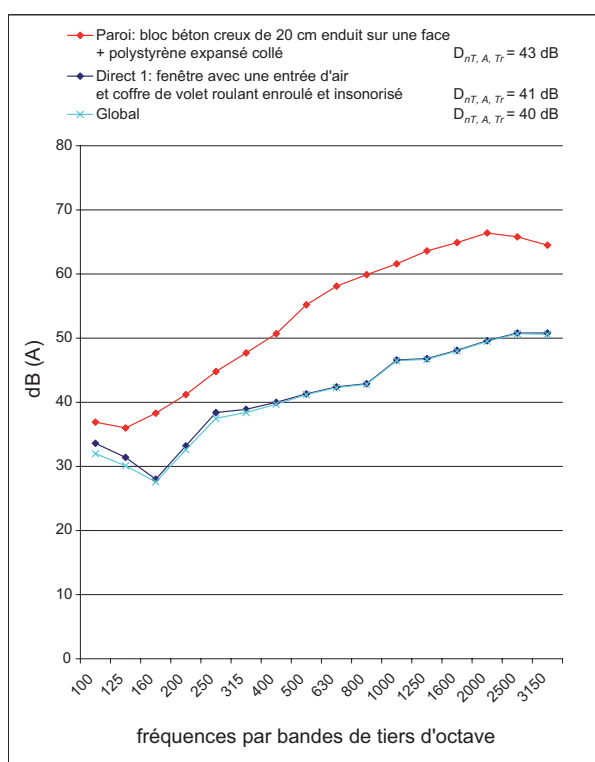
Exemples de calcul pour un isolement aux bruits extérieurs, contributions pour chacun des éléments :

Isolement 38 dB, séjour 2ème étage	Isolement 38 dB, chambre 2ème étage
<p>■ Global : $D_{nT,A,Tr} = 39$ dB</p> <p>● Paroi : $D_{nT,A,Tr} = 53$ dB</p> <p>◆ Fenêtre $R_w + C_{tr} = 36$ dB : $D_{nT,A,Tr} = 42$ dB</p> <p>⊖ Entrée d'air N°1 - $D_{n,e,w} + C_{tr} = 44$ dB $D_{nT,A,Tr} = 46$ dB</p> <p>⊞ Entrée d'air N°2 - $D_{n,e,w} + C_{tr} = 44$ dB $D_{nT,A,Tr} = 46$ dB</p> <p>⊕ Coffre de volet roulant $D_{n,e,w} + C_{tr} = 48$ dB $D_{nT,A,Tr} = 49$ dB</p> <p>$D_{nT,A,Tr} = 39$ dB</p>	<p>■ Global : $D_{nT,A,Tr} = 38$ dB</p> <p>● Paroi : $D_{nT,A,Tr} = 51$ dB</p> <p>◆ Fenêtre $R_w + C_{tr} = 36$ dB : $D_{nT,A,Tr} = 43$ dB</p> <p>⊖ Coffre de volet roulant $D_{n,e,w} + C_{tr} = 46$ dB $D_{nT,A,Tr} = 45$ dB</p> <p>⊞ Entrée d'air - $D_{n,e,w} + C_{tr} = 44$ dB $D_{nT,A,Tr} = 43$ dB</p> <p>$D_{nT,A,Tr} = 38$ dB</p>



2.4.6 - Exemple d'isolement acoustique de 40 dB avec blocs baies certifiés AC3

Notons que l'objectif de 40 dB est atteint sans marge de sécurité. Dans l'exemple présenté ci-dessous, le chemin noté paroi représente une façade standard de blocs de béton creux de 20 avec doublage acoustique intérieur et le chemin noté direct 1, un bloc baie certifié AC3 avec entrée d'air dans le coffre de volet roulant ($R_w + C_{tr}$ de 34 dB pour l'ensemble)



2.5 - Exemples de combinaisons d'exigence : cas de locaux sous toiture

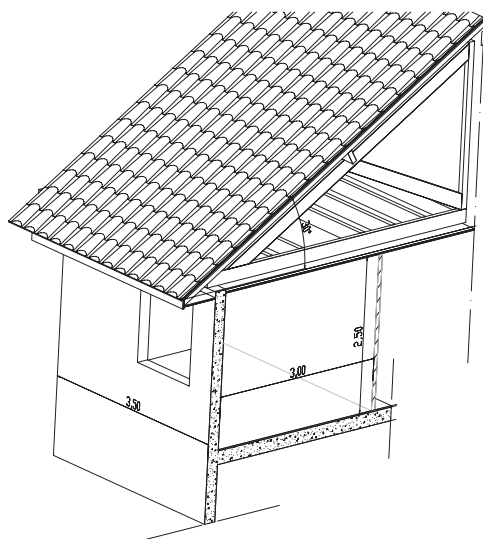
2.5.1 - Préambule

Cette partie propose des exemples de configurations calculés pour l'objectif d'isolement $D_{nT,w} + C_{tr}$ de 35 dB, dans le cas de locaux sous toiture (combles aménagés ou combles perdus) et obtenus par combinaison des éléments de bâtiment figurant en annexe 1 ainsi qu'un exemple calculé pour l'objectif $D_{nT,w} + C_{tr}$ de 40 dB, dans le cas de locaux sous combles perdus. L'approche est, comme précédemment, conforme à la norme EN 12354-3 et les calculs sont effectués par le logiciel Acoubat, mais avec certains chemins pré calculés, car la version actuelle du logiciel ne prend pas en compte les locaux avec plusieurs faces exposées ainsi que les chemins de transmission de type « local tampon » (cas de la toiture en comble perdu).

2.5.2 - Locaux sous toiture avec combles perdus

2.5.2.1 - Objectif d'isolement à 35 dB

Le tableau ci-après présente des résultats de calcul dans des cas de locaux sous toiture avec combles perdus, avec les toitures et le plafond « existant » de l'annexe 1 (une plaque de plâtre) et sans ou avec laine minérale (LM) sur le plafond dans les combles. Les ouvertures en façade (fenêtre et entrée d'air) ont les mêmes performances que dans le cas d'un local avec une seule face verticale exposée ($R_w + C_{tr}$ de 33 dB pour la fenêtre et $D_{nT,w} + C_{tr}$ de 41 dB pour l'entrée d'air). La configuration géométrique calculée est indiquée sur le dessin ci-après.



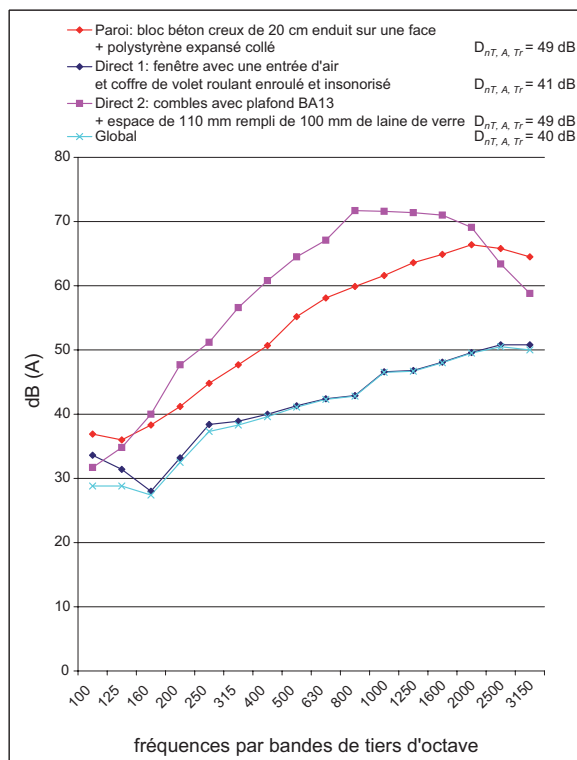
Dessin de la configuration géométrique

Les résultats montrent que la présence de laine minérale dans les combles est nécessaire pour obtenir par calcul un isolement de 35 dB (sans marge de sécurité pour la toiture la moins performante). Les 3 chemins, par les combles, par la fenêtre et par l'entrée d'air, sont alors du même ordre de grandeur. Une amélioration conséquente de l'isolement nécessiterait dans ce cas d'améliorer non seulement les combles, mais également la fenêtre et l'entrée d'air.

2.5.2.2 Objectif d'isolement à 40 dB

L'exemple ci-contre correspond à un local sous toiture avec comble perdu et avec en façade verticale le même bloc baie qu'en section 2.4.6.

Le chemin noté paroi représente une façade standard de blocs de béton creux de 20 avec doublage acoustique intérieur, le chemin noté direct 1, un bloc baie certifié AC3 avec entrée d'air dans le



coffre de volet roulant ($R_w + C_{tr}$ de 34 dB pour l'ensemble) et le chemin noté direct 2, le chemin par la toiture (tuile Oméga) et un plafond performant sous comble (2 plaques de plâtre sur ossature métallique et laine minérale par-dessus dans les combles, voir annexe 1).

Notons que l'objectif de 40 dB est atteint sans marge de sécurité. Notons également que le chemin dominant est la baie vitrée et qu'une amélioration de l'isolement nécessiterait d'améliorer la baie vitrée, la solution double fenêtre pouvant être alors envisagée.

		Façade (R)	Chemin par les combles (Dne)	Fenêtre (R)	Entrée d'air (Dne)	Isolement global
Tuile canal (toiture la moins performante), doublage intérieur existant sans LM dans les combles	Performance produit (*) DnTw+Ctr (isolement)	51 dB 48 dB	28 dB 27 dB	33 dB 42 dB	41 dB 41 dB	27 dB
Ardoise (toiture la plus performante), doublage intérieur existant sans LM dans les combles	Performance produit (*) DnTw+Ctr (isolement)	51 dB 48 dB	38 dB 37 dB	33 dB 42 dB	41 dB 41 dB	34 dB
Tuile canal (toiture la moins performante), doublage intérieur existant avec LM dans les combles	Performance produit (*) DnTw+Ctr (isolement)	51 dB 48 dB	40 dB 39 dB	33 dB 42 dB	41 dB 41 dB	35 dB
Ardoise (toiture la plus performante), doublage intérieur existant avec LM dans les combles	Performance produit (*) DnTw+Ctr (isolement)	51 dB 48 dB	48 dB 47 dB	33 dB 42 dB	41 dB 41 dB	36 dB

(*) performance en indice $R_w + C_{tr}$ ou $D_{ne,w} + C_{tr}$ suivant produit



2.5.3 - Locaux sous toiture avec combles aménagés

2.5.3.1 Combles sous rampant

Le tableau ci-dessous présente des résultats de calcul dans des cas de locaux sous toiture de type combles aménagés, avec des systèmes de toitures figurant en annexe 1. Comme dit en section 2.3.3.2, quelle que soit la position des ouvertures (au niveau de la toiture, en pignon en chien-assis), les objectifs sur leur performance sont les mêmes: $R_w + C_{tr}$ de 33 dB pour la fenêtre ou la fenêtre de toit et $D_{nT,w} + C_{tr}$ de 41 dB pour l'entrée d'air intégrée en menuiserie ou dans le système de fermeture (fenêtre de toit).

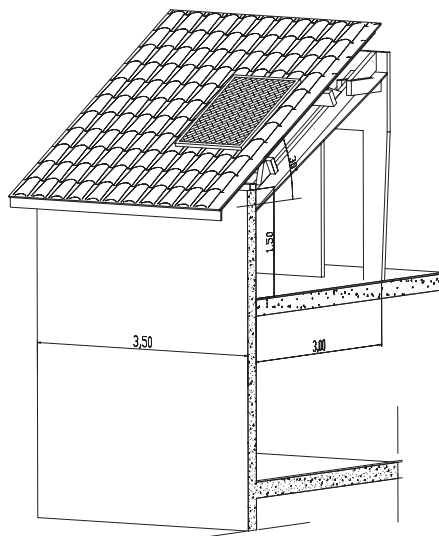
Les calculs d'isolement sont effectués sur la toiture la plus représentative (tuile oméga) et deux

exemples de traitement de toiture sont considérés : un traitement par l'extérieur avec l'insertion du système Rockciel entre chevrons et toiture et un traitement par l'intérieur avec dépose du doublage existant et remplacement par un doublage plus performant (2 plaques de plâtre de 13 mm sur ossature métallique et 2 épaisseurs de laine minérale de 100 mm dans un plénum de 200 mm).

La configuration géométrique calculée est indiquée sur le dessin ci-contre.

Les résultats montrent que l'objectif de 35 dB est atteint sans marge de sécurité.

Les 3 chemins, par la toiture, par la fenêtre et par l'entrée d'air, sont alors du même ordre de grandeur ; une amélioration conséquente de l'isolement nécessiterait dans ce cas d'améliorer non seulement la toiture, mais également la fenêtre et l'entrée d'air.



Dessin de la configuration géométrique Combles sous rampant

		Murs	Système de toiture	Fenêtre ou fenêtre de toit	Entrée d'air	Isolement global
Système tuiles oméga et doublage intérieur performant	Performance produit (*)	51 dB	41 dB	33dB	41dB	
	$D_{nT,w} + C_{tr}$ (isolement)	48 dB	39 dB	42 dB	41 dB	35 dB
Système tuiles oméga, produit Rockciel (entre chevrons et toiture) et doublage intérieur existant	Performance produit (*)	51 dB	42 dB	33dB	41dB	
	$D_{nT,w} + C_{tr}$ (isolement)	48 dB	39 dB	42 dB	41 dB	35dB

(*) performance en indice $R_w + C_{tr}$ ou $D_{nT,w} + C_{tr}$ suivant produit



2.5.3.2 - Combles « mixtes »

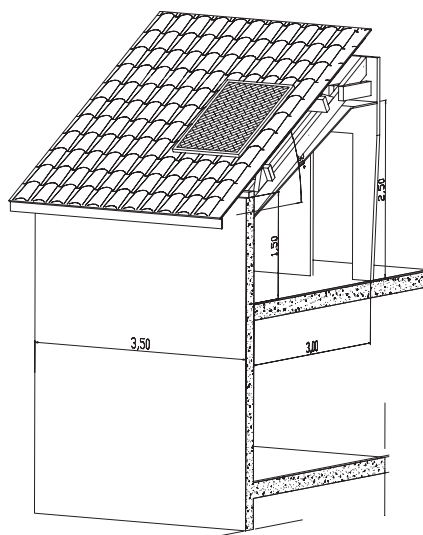
Des calculs ont été faits dans une configuration (voir dessin ci-contre) où une partie du comble est sous rampant (2/3 de la toiture) et la partie restante est en comble perdu.

Les résultats montrent (voir tableau ci-dessous) que l'isolement global est inchangé.

2.5.3.3 - Recomposition de performances de toiture avec ouverture

Les calculs précédents ont été effectués en calculant séparément le chemin par le système de toiture et celui par une fenêtre de toit, ces deux éléments étant mesurés séparément en laboratoire (toiture seule et fenêtre de toit montée dans une dalle en béton avec trémie). Pour vérifier la validité de cette recombinaison par calcul, un ensemble toiture + fenêtre de toit a été testé en laboratoire

(voir annexe 1) dans les deux cas sans et avec entrée d'air. Le résultat de cette mesure exprimé en indice R a été comparé avec l'indice R du même système toiture + fenêtre de toit, recomposé (avec la méthode indiquée section 1.2.4.2) à partir des indices R de chaque élément mesuré séparément. Dans les deux cas, l'indice recomposé est supérieur de 1 à 2 dB à celui de l'ensemble toiture + fenêtre de toit testé en laboratoire; il semble donc que la recombinaison par calcul de la performance d'un ensemble toiture + fenêtre de toit surestime cette performance. En conséquence, dans le tableau de résultats de la section 2.5.3.1, si la performance de l'ensemble toiture + fenêtre de toit est surestimée de 2 dB, alors l'isolement global obtenu est surestimé de 1 dB (isolement effectif de 34 dB au lieu de 35 dB comme indiqué dans le tableau).



Dessin de la configuration géométrique combles « mixtes »

		Murs	Système de toiture	Partie comble perdu	Fenêtre ou fenêtre de toit	Entrée d'air	Isolation globale
Système tuiles oméga et doublage intérieur performant	Performance produit (*)	51 dB	41 dB	41 dB	33dB	41dB	
	DnTw+Ctr (isolement)	48 dB	40 dB	40 dB	42 dB	41 dB	35 dB

(*) performance en indice $R_w + C_{tr}$ ou $D_{ne,w} + C_{tr}$ suivant produit



3 - maîtrise d'œuvre

Le rôle du maître d'œuvre est de concevoir et de faire réaliser les travaux d'insonorisation des logements riverains des aéroports. L'intervention d'un maître d'œuvre est nécessaire lorsque les travaux envisagés nécessitent d'obtenir des performances acoustiques élevées. Pour les cas plus simples, une mission d'assistance technique au maître d'ouvrage peut suffire. Le maître d'œuvre est un bureau d'études spécialisé en acoustique ou, pour les opérations les plus complexes, une équipe technique pilotée par un architecte, associé à des bureaux d'études dont celui spécialisé en acoustique du bâtiment, mais aussi dans les domaines connexes aux travaux liés à l'amélioration de l'isolation acoustique des façades : ventilation et aération des logements, confort thermique.

Le CIDB, centre d'information et de documentation sur le bruit, édite chaque année un annuaire où l'on peut trouver une liste non exhaustive de bureaux d'études et ingénieurs conseils en acoustique.

Il est recommandé de formaliser les missions et les responsabilités du maître d'œuvre dans un contrat de maîtrise d'œuvre. Ce contrat usuel précisera les conditions d'intervention et définira les modalités de prise en charge des honoraires des professionnels dans le cadre des missions arrêtées.

3.1 - La démarche

3.1.1 - Éviter des mesures acoustiques

Le prestataire de service cherchera à éviter la mise en place de mesures acoustiques systématiques, celles-ci sont par nature longues et coûteuses à mettre en œuvre. Elles nécessitent un protocole précis conforme aux normes en vigueur afin de simuler au mieux les nuisances générées.

Ces mesures coûteuses pourront de préférence être retenues pour :

- des opérations précises complexes par la taille ou le nombre de logements concernés,
- des pathologies de constructions délicates à appréhender ou mal connues (parois composites, matériaux expérimentaux etc.),
- des vérifications éventuelles des dispositions mises en œuvre pour un examen a posteriori notamment dans le cas de pathologies particulières (cf. point ci-dessus).

L'un des objectifs du présent document est de conduire à la recherche de solutions simples qui regroupent le plus grand nombre de cas à traiter, dans le cadre de constructions existantes sans engager des dépenses démesurées au regard de la nature des travaux à réaliser. Les mesures sont toujours possibles mais doivent, encore une fois, être faites avec discernement compte tenu de leur longueur d'exécution et de leur coût.

3.1.2 - Pour les diagnostics sans mesures : liste de points de vérification nécessaires

Les solutions proposées en matière de traitement acoustique s'accompagnent toujours de modifications de l'isolation thermique des logements.

Les traitements proposés touchent :

- les façades avec mise en place de compléments d'isolants,
- les reprises des menuiseries extérieures avec changement et mise en place de menuiseries certifiées avec vitrage isolant,
- la reprise des volets et coffres,
- la mise en place d'isolants en plafonds ou sous rampant de toiture,
- la mise en œuvre de solutions innovantes en toiture et en façade par des procédés développés dans ce document,
- le traitement des points singuliers, cheminées, ventilations, prises d'air etc.

Le traitement de ces points contribue en fonction des constructions retenues à améliorer le confort acoustique des riverains au sens du présent document. Il est cependant indéniable que l'amélioration acoustique génère une amélioration du confort thermique car les produits employés sont souvent similaires.

Le présent document se propose de traiter exclusivement du problème acoustique, les améliorations thermiques induites ne seront pas optimisées dans le cadre des travaux d'insonorisation réalisés.

Les solutions classiques de traitement des parois verticales, horizontales et en rampant de toiture se traitent dans la majeure partie des cas par l'intérieur. Ces solutions énumérées précédemment contribuent largement à régler les problèmes d'insonorisation des logements existants, elles représentent souvent l'approche la plus économique



pour traiter les problèmes car les solutions sont éprouvées, connues des professionnelles et ne modifient pas l'aspect des façades.

Des interventions par l'extérieure sont toutefois envisageables dans certains cas en façade et en toiture afin d'améliorer les performances acoustiques des logements, ces solutions sont sensiblement plus chères mais elles ne bouleversent en rien l'aménagement intérieur des constructions ce qui est un avantage pour les riverains concernés. Ces solutions sont à examiner au coup par coup en tenant compte des points suivants :

- état des aménagements intérieurs,
- performances acoustiques apportées nécessaires au regard de l'état et de l'aspect de la construction concernée,
- coût des solutions retenues avec comparaison avec le coût de solutions intérieures de qualité équivalente.

Le document répertorie différentes solutions innovantes à mettre en place pour le traitement des combles.

3.2 - Missions du maître d'œuvre

Les données minimales remises au maître d'œuvre sont les résultats des expositions sonores, la localisation des logements éligibles et locaux à traiter ainsi que les coordonnées du maître d'ouvrage.

Les 5 principales étapes des différentes missions attribuées au maître d'œuvre sont :

3.2.1 - Diagnostic de l'existant

La première étape du diagnostic consiste à valider les pièces des logements ou locaux à traiter, sachant que l'identification du logement a été faite lors des études préalables.

Il s'agit ensuite de réaliser un diagnostic de l'isolement acoustique existant, ainsi que de tous les autres points du logement et du bâtiment sur lesquels les travaux de renforcement de l'isolation acoustique ont une influence.

Des mesures d'isolement acoustique vis-à-vis de l'extérieur peuvent éventuellement être réalisées (quelques sondages), notamment pour vérifier l'isolement acoustique existant des situations « presque conformes ». Ces mesures seront réalisées selon la norme ISO 140-5 méthode globale, mesurage avec HP ou source réelle.

Le diagnostic est réalisé par un spécialiste en acoustique du bâtiment, maîtrisant les différents aspects techniques liés à ce type d'intervention et ayant, notamment, suffisamment d'expérience pour évaluer les performances d'isolement acoustique d'éléments de construction courants. Il est mené conformément à une méthodologie commune qui peut être formalisée par un document de type « Cahier des charges » destiné aux acousticiens chargés de cette mission. Le rapport de diagnostic est réalisé suivant un cadre de type « Rapport de Diagnostic Acoustique Simplifié » contenant au moins les éléments suivants :

- un rappel du contexte de la mission,
- une description sommaire de la méthodologie employée,
- une présentation du bâtiment traité (adresse, nom du bénéficiaire, zone du PGS, type d'habitation, nb de pièces, etc),
- une description de l'état des lieux (plans schématiques des logements, photos, destination des pièces, emplacement des ouvertures, etc),
- une description des menuiseries (nombre, type, dimensions, vétusté, entrées d'air, volets roulants, etc), des façades, des toitures, des équipements de chauffage et ventilation, etc.

NB : Dans le cadre d'un diagnostic sans mesure, ce descriptif doit être le plus précis possible, afin d'évaluer les performances approximatives des différents éléments de façades et toitures. Les indices d'affaiblissement acoustiques, de même que l'évaluation de l'isolement des locaux, sont alors donnés à titres indicatifs, afin de déterminer les « points faibles » à traiter et de fournir une estimation du gain attendu à l'issue des travaux.

Dans une seconde partie, le rapport de diagnostic simplifié définit un « programme de travaux » comprenant une description des travaux à réaliser (remplacement des menuiseries, entrées d'air, doublage de toiture, etc), ainsi qu'un estimatif des coûts de travaux.

NB : A noter que les travaux relatifs à la ventilation des logements doivent être validés par un organisme compétent, notamment pour les contraintes de sécurité liées à la présence de gaz.



3.2.2 - Définition des solutions techniques et dimensionnement des travaux

À partir du diagnostic, le maître d'œuvre préconise les travaux à réaliser. Les travaux sont repérés sur un plan (ou schéma) et sont décrits dans une notice technique. Les travaux proposés sont soumis au maître d'ouvrage pour validation sur les choix de matériaux (nature, coloris, aspect esthétique). Le maître d'œuvre effectue un calcul prévisionnel de l'isolement acoustique, ainsi qu'un premier chiffrage des travaux.

3.2.3 - Consultation et choix des entreprises

Le maître d'œuvre rédige le dossier de consultation des entreprises, décrivant de manière détaillée tous les travaux à réaliser, puis mène cette consultation en veillant à obtenir les prix les plus avantageux.

Le maître d'ouvrage effectue le choix des entreprises en fonction des résultats de la consultation menée par son maître d'œuvre.

Le maître d'œuvre rédige un contrat de travaux entre le maître d'ouvrage et les entreprises.

3.2.4 - Réalisation des travaux

Le maître d'œuvre assure le suivi des travaux des différentes entreprises en veillant notamment à leur bonne exécution, à leur bonne coordination et à leur conformité au cahier des charges. Il sera également attentif au respect des délais.

3.2.5 - Réception des travaux

Lors de cette dernière étape de la mission du maître d'œuvre, il s'agit de vérifier la bonne mise en oeuvre des travaux réalisés par les différentes entreprises. Des mesures d'isolement acoustique vis-à-vis de l'extérieur peuvent être réalisées selon la norme ISO 140-5 méthode globale, mesurage avec HP ou source réelle.

Cette réception est dirigée par le maître d'œuvre en présence du maître d'ouvrage et des entreprises.

La réception est prononcée lorsque la totalité des travaux réalisés est conforme au cahier des charges établi dans les contrats de travaux.

Un procès-verbal est établi.



4 - La mesure des isolements sur site

Deux normes de mesure sur site d'isolement de locaux par rapport aux bruits extérieurs doivent être considérées : (1) la méthode NF S 31057 (remplacée depuis septembre 2005 par la norme NF EN ISO 10052), norme en vigueur assez ancienne, et (2) la méthode ISO 140-5, norme plus récente mais pas encore dans les textes réglementaires.

Il existe des différences entre ces deux normes, en particulier sur la position du haut-parleur lorsque la mesure est effectuée avec source artificielle ; sans entrer dans les détails, les remarques suivantes peuvent être faites :

- dans la pratique, la norme NF S 31057 (remplacée depuis septembre 2005 par la norme NF EN ISO 10052) est appliquée avec des simplifications de façon à pouvoir réduire durée de mesure et coûts associés ; dans le cas d'isolements par rapport au bruit d'avion, on peut trouver des rapports d'essais où les mesures ont été effectuées avec haut-parleur au sol et mesure directe en dB (A), avec 3 ou 4 maisons mesurées par 1/2 journée, mais avec des écarts jusqu'à 6 dB (A) par rapport à des mesures soignées avec source réelle,

- si les deux normes sont appliquées avec soin, elles donnent des résultats très voisins (à 1 dB (A) près) ; toutefois la méthode ISO est relativement plus simple à mettre en œuvre, est mieux adaptée à la mesure d'isolement par rapport au bruit d'avion (voir § suivant) mais reste assez longue si des mesures soignées sont effectuées, et sur plus d'un local par site (1/2 journée par maison en mesurant 2 ou 3 locaux). Nous recommandons cette méthode, mais vu son coût, il faut à notre avis limiter les mesures de contrôle aux seuls cas où des mesures sont indispensables et proscrire toute mesure rapide simplifiée,

- La mesure ISO offre deux possibilités :

- soit une mesure avec source réelle ; dans ce cas, un microphone est placé à l'extérieur devant chaque face du local exposée au bruit de l'avion, un microphone tournant mesure le bruit moyen à l'intérieur du local considéré et l'isolement est estimé par la différence entre le niveau sonore extérieur (moyenne des microphones extérieurs) et le niveau sonore intérieur ;

- soit une mesure avec source artificielle (haut parleur) ; dans ce cas, il y a souvent la possibilité d'exposer une face à la fois (y compris les toitures) et de mesurer séparément l'isolement de chaque face, permettant ainsi d'identifier les faces les moins performantes ; l'isolement global est alors obtenu par « sommation » des isolements de chaque face (addition des énergies sonores transmises par chaque face).

Notons que cette méthode d'analyse n'est plus valide si une face est vraiment très dominante par rapport aux autres.



5 - Fiches Techniques

5.1 - Préambule

De l'enveloppe du bâtiment, la toiture reste, après un demi-siècle de caractérisation, le composant le moins bien connu sur le plan acoustique. Nous avons donc profité de ce guide pour explorer les systèmes de couvertures les plus représentatifs en cherchant à trouver des solutions d'insonorisations adaptées aux différentes contraintes liées à cet ouvrage.

5.2 - Contexte

Le guide portant sur la réhabilitation de logement en zone aéroportuaire, nous avons pris comme référence le bâti du XX^{ème} siècle antérieur aux années 1980. Ceci nous a amenés à définir un certain nombre de configurations « génériques » représentant au mieux le bâti existant de cette époque en France.

5.3 - Types des toitures existantes

Cette étude n'a pas la prétention d'être exhaustive mais de balayer les techniques de toitures les plus courantes. Nous avons retenu quatre grands types de couvertures, montées sur une même ossature en prenant en compte deux configurations de comble (perdu et aménagé).

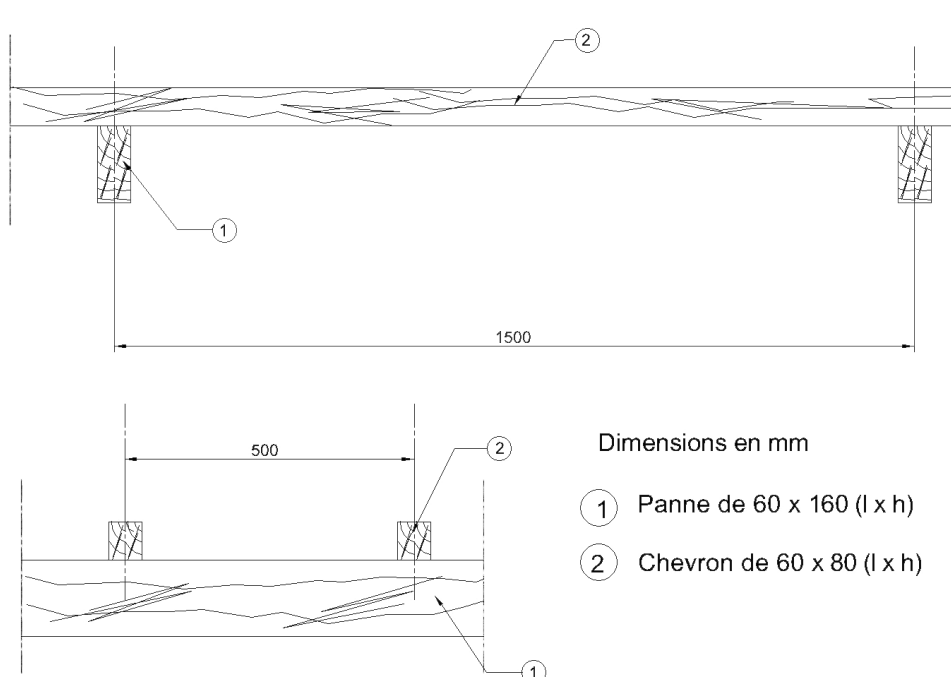
Couverture :

Tuile terre cuite à emboîtement, grand moule fortement galbée. Mise en œuvre avec des liteaux 27x27 avec un pureau de 400 mm	
Tuile canal terre cuite. Mise en œuvre avec des liteaux 27x27 avec un pureau de 350 mm	
Tuile béton à emboîtement, grand moule faiblement galbée. Mise en œuvre avec des liteaux 27x27 avec un pureau de 350 mm	
Ardoise naturelle 32x22 cm épaisseur 3-4 mm. Mise en œuvre au crochet avec des liteaux 15x50 avec un pureau de 117,5 mm	



Charpente support :

Les couvertures citées ci-contre sont traditionnellement réalisées sur une ossature chevrons sur panne. La section et l'entraxe de ceux-ci varient, nous avons cependant retenu une unique charpente : panne de 60 x 160 mm avec un entraxe de 1500 mm et chevron 60x80 mm tous les 500 mm. L'ossature n'a a priori pas une influence forte, nous avons fait un choix d'entraxes faibles pour se mettre dans le cas d'une ossature la plus rigide et donc a priori acoustiquement moins favorable.



coupe verticale de l'ossature de la toiture

Combles rampants ou perdus :

Plafond :

Il est très hétérogène (pour le bâti cible) aussi bien au niveau de la matière que du type de pose. Nous avons donc retenu une plaque de plâtre de 12,5 mm comme référence avec les deux montages suivants :

- comble perdu : Vissé directement sous solive (160x60) avec un entraxe de 500,
- comble aménagé : Sur ossature métallique 100 mm sous chevron.

Isolant thermo-acoustique :

Les réglementations thermiques successives ont fait évoluer fortement les pratiques au niveau de ces produits. Nous avons retenu ici 100 mm de laine minérale (ISOCONFORT 32 de chez ISOVER).

Ces huit configurations ont été choisies pour représenter le bâti existant en France des années 1900 à 1980.



5.4 - Phase expérimentale

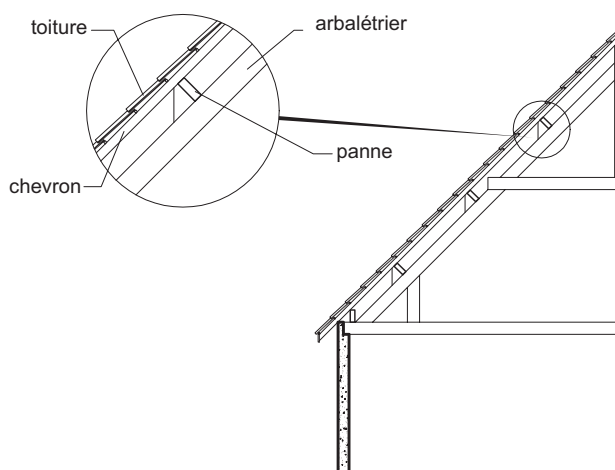
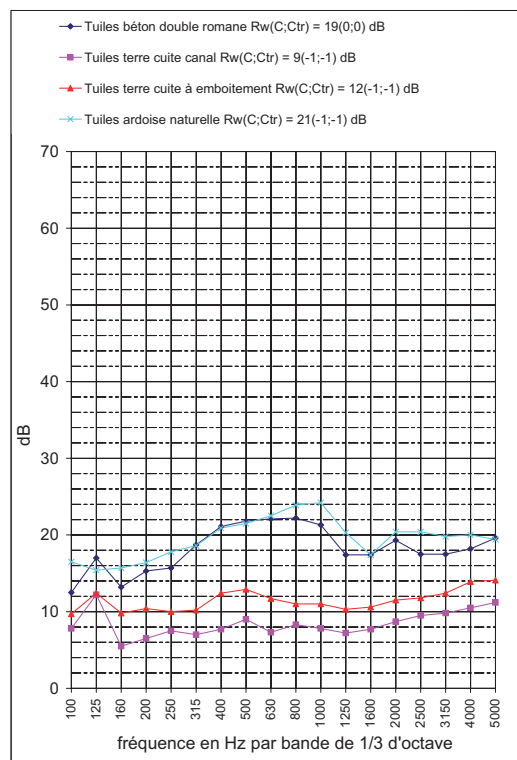
Cette phase a pour objectif de trouver des solutions d'insonorisations types en s'appuyant, comme situation existante, sur les huit systèmes définis ci-dessus.

Pour cela une caractérisation de ces configurations est tout d'abord nécessaire.

Nous avons ensuite retenu une couverture de référence, la tuile terre cuite à emboîtement fortement galbée car elle est la plus représentative du marché Français. À partir de cette configuration, nous avons recherché différents types de traitements acoustiques en tenant compte au maximum des différentes contraintes de la démarche (efficacité acoustique, coûts, gêne pour l'occupant, ventilation, thermique...).

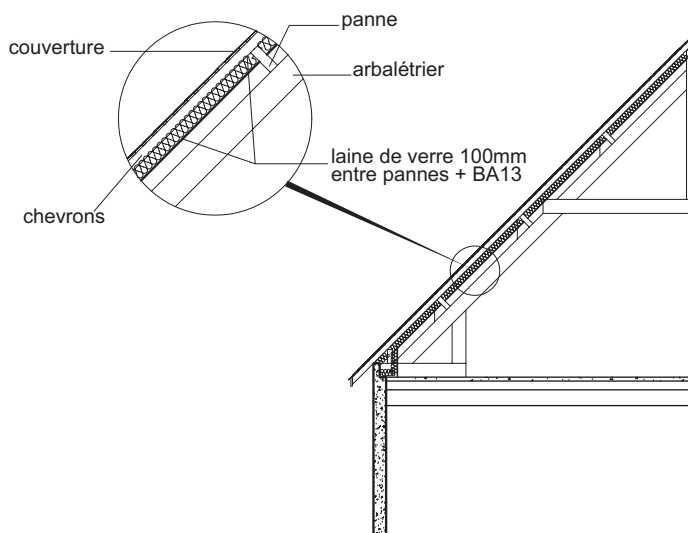
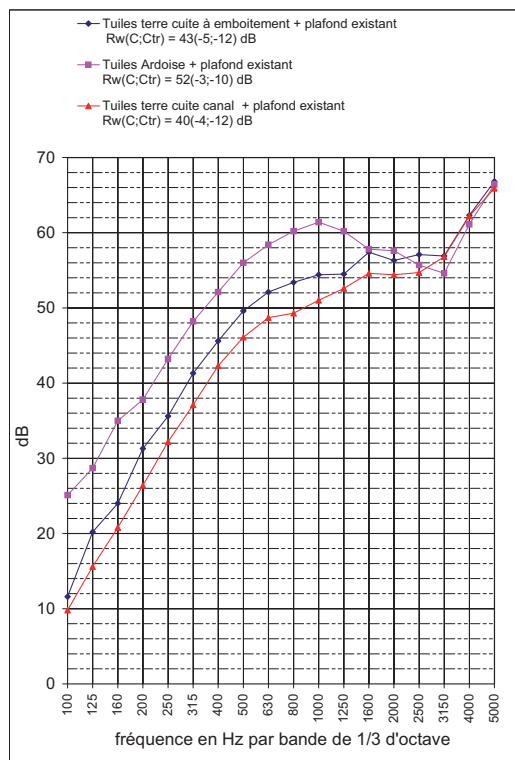
5.4.1 - Caractérisation des toitures

5.4.1.1 - Toitures nues



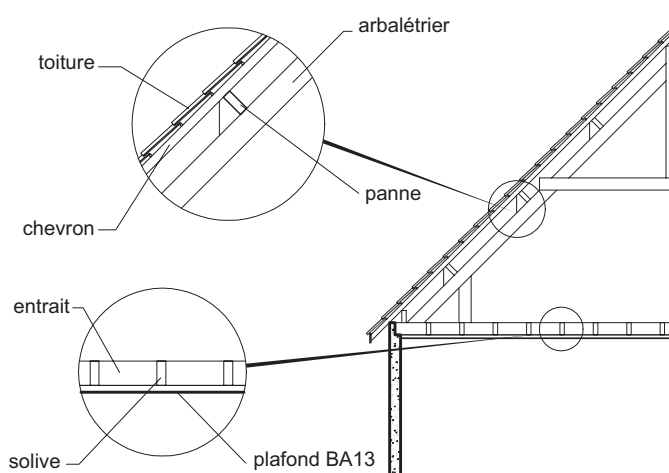
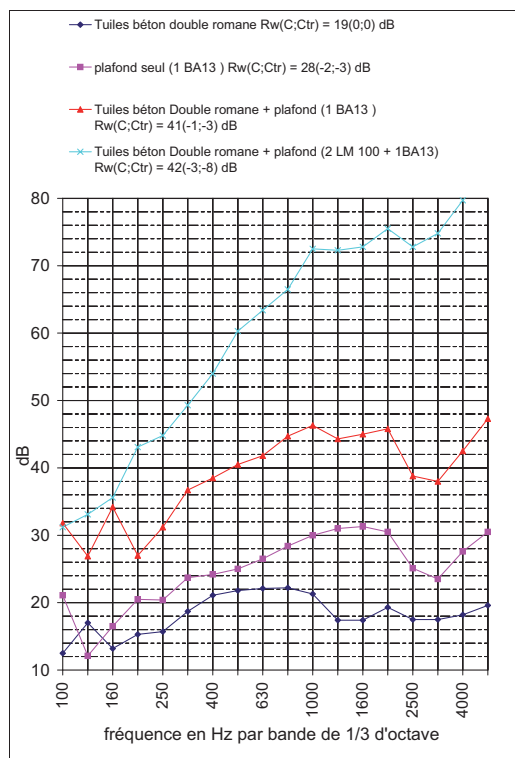


5.4.1.2 - Toitures existantes en comble aménagé



5.4.1.3 - Toitures existantes en combles perdus

Afin de ne pas multiplier les essais inutilement, nous avons recherché, en s'appuyant sur une démarche expérimentale, à recomposer par calcul la performance d'une toiture avec un comble perdu.





5.4.2 - Résultats des mesures en laboratoire

5.4.2.1 - Traitement acoustique étudiés

Trois types d'interventions ont été envisagées :

Combles aménagés :

- traitement par l'extérieur avec conservation du plafond existant
- traitement par l'intérieur avec conservation de la couverture existante.

Combles perdus :

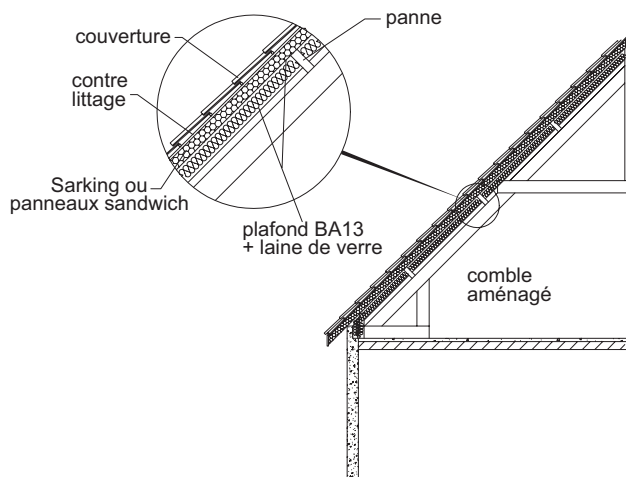
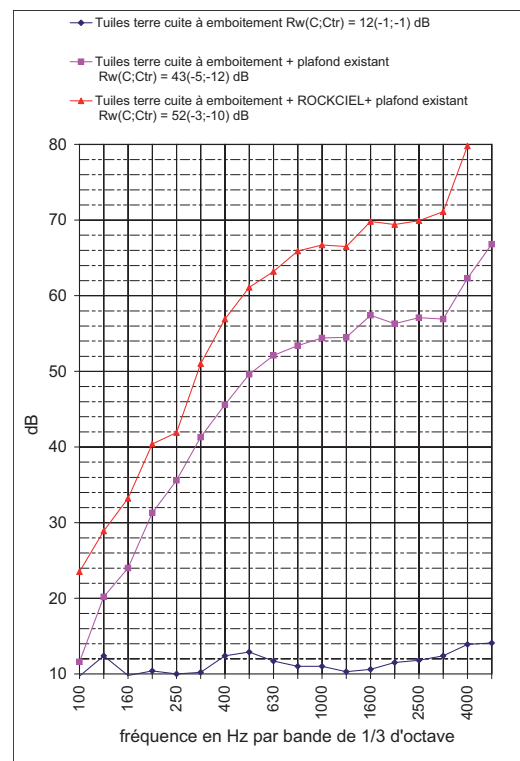
- traitement du plafond du comble perdu.

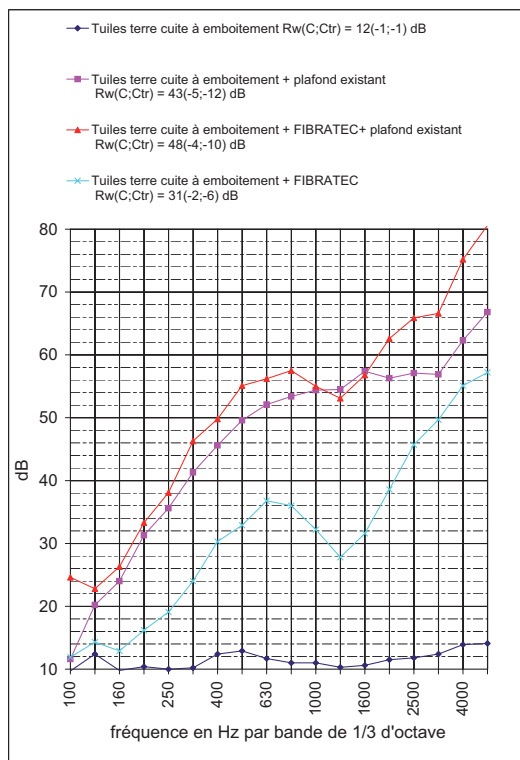
Le cas de traitement intérieur et extérieur a été exclu pour des raisons de coûts.

5.4.2.2 - Traitement par l'extérieur avec conservation du plafond existant: (combles aménagés)

Cette approche permet une insonorisation de la toiture tout en minimisant les désagréments auprès des occupants. Deux types de traitements ont été testés. Ces deux systèmes sont des solutions industrielles bien maîtrisées (sous Avis Technique) adaptées à la pose sur chevron en réhabilitation.

Sarking: Rockciel 444 de chez Rockwool



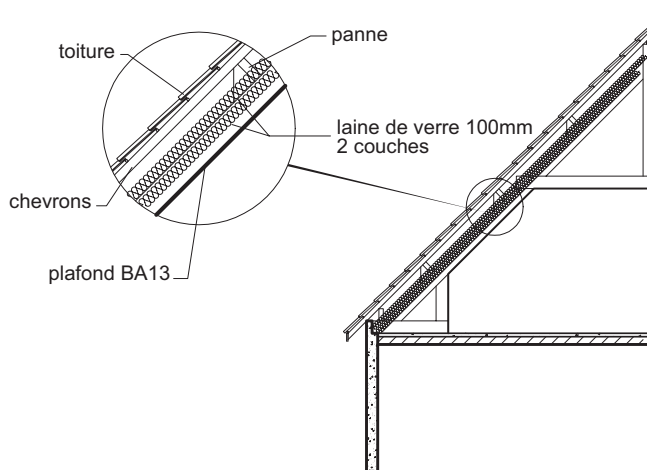
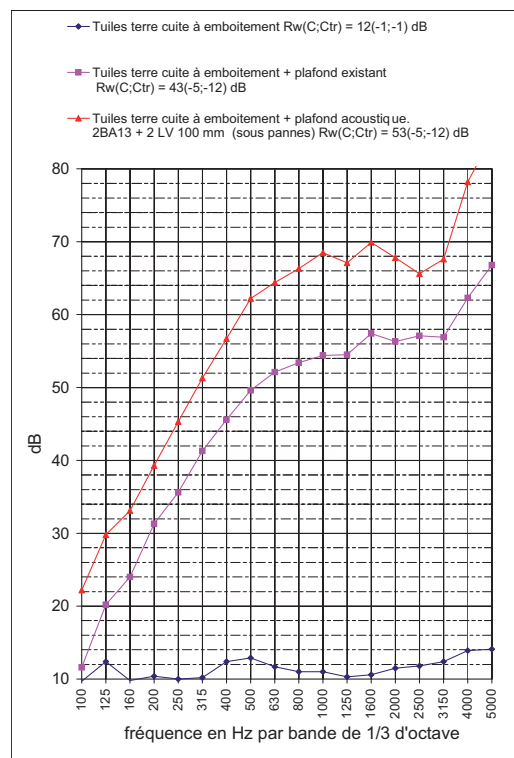


Panneau Sandwich : Fibratex de chez Knauf

5.4.2.3 - Traitement intérieur avec conservation de la couverture existante avec ou sans fenêtre de toit (combles aménagés)

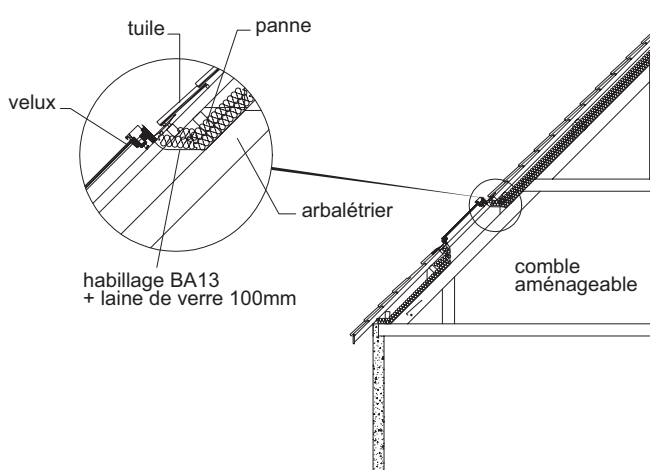
Cas sans fenêtre de toit

A été testée ici une configuration avec un traitement amélioré en sous face de toiture par deux BA13 sur ossature métallique (fixation sur chevron) à 200 mm sous les chevrons.

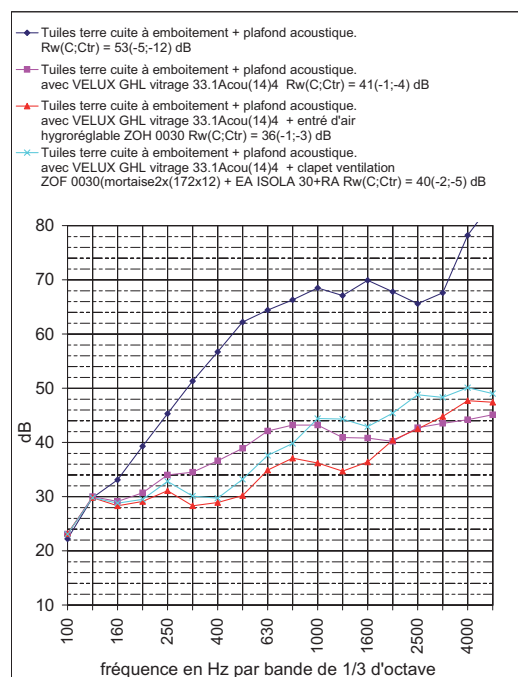




Cas avec une fenêtre de toit



Puis nous avons inséré un VELUX avec un vitrage 33.1/14/4 (Certifié ACOTHERM AC2 à 33 dB) et plusieurs configurations d'entrée d'air, dans la toiture précédente. Ces essais permettent d'appréhender la problématique de la recomposition par calcul d'une toiture avec fenêtre de toit (exposé au § 2.5.3.3).

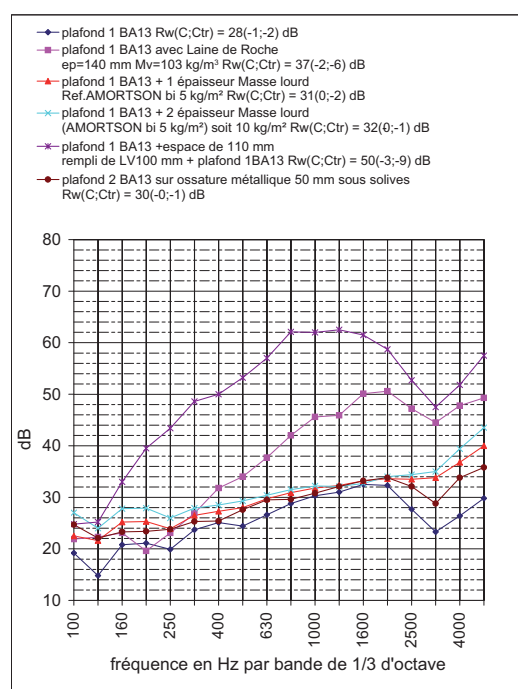


5.4.2.4 - Traitement du plafond du comble perdu

En conservant le plafond existant, nous avons envisagé un traitement basé uniquement sur un complément rapporté, par les combles, entre solives. Trois traitements ont été testés : Laine minérale dense (100 kg/m³), masse lourde viscoélastique de 5 kg/m³ en une, puis deux couches.

Toujours en conservant le plafond existant, nous avons regardé l'effet de la pose d'un nouveau plafond constitué d'une plaque de plâtre de 12,5 sur ossature métallique à 110 mm du premier avec 100 mm de laine minérale dans le plénum.

Une dernière configuration a enfin été testée, en déposant le plafond existant et en remontant un plafond sur ossature métallique constitué de deux plaques de plâtre de 12,5 mm.



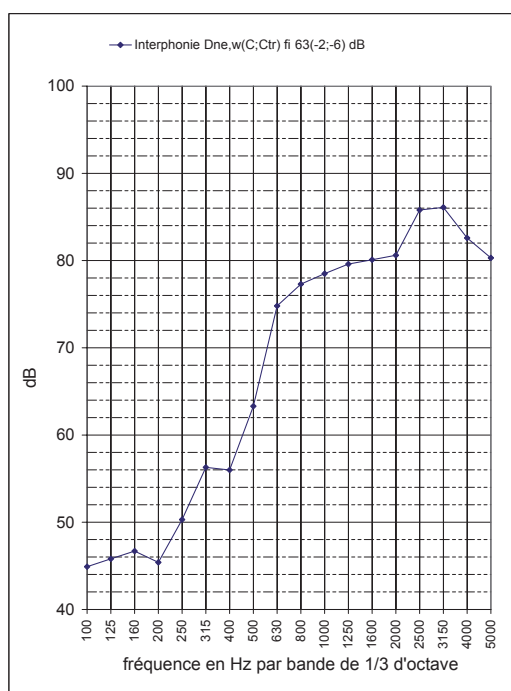


5.4.2.5 - Traitement des points singuliers

La toiture comporte un certain nombre de chemins de transmissions supplémentaires du bruit. Nous nous attacherons ici à caractériser trois chemins principaux :

- La cheminée (caractérisation *in-situ* ; ACOUPHEN),
- Le réseau de VMC entre la bouche cuisine et le chapeau de toiture via le groupe (interphonie en laboratoire).

5.4.2.6 - Interphonie





Références

Internet

<http://www.crc.ca/fr/html/aas/home/psychoacoustics/psychoacoustics>

http://fr.wikipedia.org/wiki/Perception_acoustique

http://fr.wikipedia.org/wiki/Son_physique

Ouvrages

Confort des habitations, isolation acoustique, Afnor, 2000.

Isolation Acoustique aux bruits aériens, CATED, juin 2001.

L'acoustique du bâtiment par l'exemple (deuxième édition), le Moniteur, 1994.

Isolation acoustique des façades, guide technique et administratif pour le traitement des Points Noirs Bruits, Certu, juin 2003.

Rapport d'activité 2003 de l'ACNUSA, ACNUSA, 2003.

Impacts sanitaires du bruit, états des lieux indicateurs bruit-santé, AFSSE, mai 2004.

INM 6.0 Technical Manual,

Exemples de solutions acoustiques, Réglementation acoustique 2000, METL/DGHUC et CSTB, mai 2002.

Résumé d'orientation des directives de l'OMS relatives au bruit dans l'environnement,

Le bruit, les moyens de la combattre efficacement, guide pratique, ADEME, mars 2001.

Normes

EN 12354-3

NF EN ISO 10052

ISO 140-5

Règlements

Circulaire du 25 mai 2004 relative aux bruits des infrastructures terrestres

Décret n° 2003-1392 du 23 décembre 2003 modifiant le décret n° 2002-867 du 3 mai 2002 relatif aux subventions accordées par l'État concernant les opérations d'isolation acoustique des points noirs du bruit des réseaux routier et ferroviaire nationaux

Plan national d'actions contre le bruit du 6 octobre 2003

Recommandation de la commission du 6 août 2003 relative aux lignes directrices sur les méthodes provisoires révisées de calcul du bruit industriel, du bruit des avions, du bruit du trafic routier et du bruit des trains, ainsi qu'aux données d'émission correspondantes. (2003/613/CE)

Arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les hôtels

Arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement

Arrêté du 25 avril 2003 relatif à la limitation du bruit dans les établissements de santé

Circulaire du 25 avril 2003 relative à l'application de la réglementation acoustique des bâtiments autres que d'habitation

Directive 2002/49/CE du parlement européen et du conseil du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement

Décret du 3 mai 2002 relatif aux subventions accordées par l'État concernant les opérations d'isolation acoustique des points noirs du bruit des réseaux routier et ferroviaire nationaux.

Circulaire du 12 juin 2001 observatoire du bruit des transports terrestres ; résorption des points noirs du bruit des transports terrestres

Arrêté du 30 mai 1996 relatif au classement des infrastructures de transports terrestres et à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit

Arrêté du 23 février 1983 relatif à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation contre les bruits de l'espace extérieur.

Arrêté du 30 juin 1999 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation (NRA)

Arrêté du 06 octobre 1978 relatif à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation contre les bruits de l'espace extérieur.

Rédacteur et relecteur de ce guide :

Pour Acouphen :

Denis BOZZETTO

Olivier SERVONNAT

Pour le centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) :

Jean Baptiste CHENE

Jacques ROLAND

Michel VILLOT

Pour le Service technique de l'aviation civile (STAC) :

Dominique CREVOISIER

Guillaume FAYOLLE

Georges HEBERT

Alain ROUDAUT

**Les parties 2.1 et 2.2 de ce guide sont issues du guide réalisé par le CERTU :
Isolation acoustique des façades (Guide technique et administratif pour le traitement
des Points Noirs Bruit)**

Ce guide est accessible sur le site du CERTU (www.certu.fr)

Conception : groupe Documentation, diffusion des connaissances (DDC) du STAC

Octobre 2006

direction générale
de l'Aviation civile

**service technique
de l'Aviation civile**

31, avenue du Maréchal Leclerc
94381 Bonneuil-sur-Marne cedex
téléphone : 01 49 56 80 00
télécopie : 01 49 56 82 19
www.stac.aviation-civile.gouv.fr

ISBN 2-11-094296-7