HAL open science

Concilier efficacité énergétique et acoustique dans le bâtiment : Guide

Jean-Jacques Akoua, Jean-Baptiste Chene, Salem Farkh, Rémi Foret, Catherine Guigou-Carter, Roland Wetta, Michel Villot

To cite this version:

Jean-Jacques Akoua, Jean-Baptiste Chene, Salem Farkh, Rémi Foret, Catherine Guigou-Carter, et al.. Concilier efficacité énergétique et acoustique dans le bâtiment : Guide. CSTB, 2010. hal-04067947

HAL Id: hal-04067947

https://cstb.hal.science/hal-04067947

Submitted on 13 Apr 2023

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Liberté • Égalité • Fraternité
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Ministère
de l'Écologie,
de l'Énergie,
du Développement
durable
et de la Mer

CSTB
le futur en construction

GUIDE

CONCILIER EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE ET ACOUSTIQUE DANS LE BÂTIMENT

Avec le soutien de la DGALN
Référence Y09 12 0000494

SOMMAIRE

1 INTRODUCTION 4

2 LES EXIGENCES À ATTEINDRE EN THERMIQUE ET EN ACOUSTIQUE 5

2.1 THERMIQUE 5

2.2 ACOUSTIQUE.....7

3 LA CONCEPTION ARCHITECTURALE..... 10

3.1 L'IMPLANTATION SUR LA PARCELLE ET L'ORIENTATION DES FAÇADES 11

3.2 LA FORME DU BÂTIMENT (COMPACITÉ,…) 14

3.3 ORGANISATION DES ESPACES INTÉRIEURS 15

4 UN BÂTIMENT BIEN « ISOLÉ » 17

4.1 SYSTÈME D'ISOLATION THERMIQUE RAPPORTÉE PAR L'INTÉRIEUR (ITI) 17

4.2 SYSTÈME D'ISOLATION THERMIQUE RAPPORTÉE PAR L'EXTÉRIEUR (ITE) 31

4.3 SYSTÈME CONSTRUCTIF À ISOLATION THERMIQUE RÉPARTIE (ITR) 37

4.4 RUPTEUR DE PONT THERMIQUE 41

4.5 TOITURE : PROCÉDÉ D'ISOLATION THERMIQUE PAR-DESSUS LA CHARPENTE 46

4.6 TOITURE : PROCÉDÉ D'ISOLATION THERMIQUE ENTRE ET/OU SOUS LA CHARPENTE... 52

4.7 PLANCHERS BAS : PROCÉDÉS D'ISOLATION THERMIQUE PAR LA SOUS FACE 56

4.8 PLANCHERS BAS : PROCÉDÉS D'ISOLATION THERMIQUE PAR CHAPE FLOTTANTE THERMO-ACOUSTIQUE 65

4.9 CHOISIR SES BAIES 76

4.10 RÉFLEXIONS ET PERSPECTIVES 85

5 VENTILATION / PERMÉABILITÉ À L'AIR..... 87

5.1 DESCRIPTION SUCCINCTE DES SYSTÈMES DE VENTILATION RENCONTRÉS ET DE LEUR ENVIRONNEMENT TECHNIQUE, AINSI QUE DES PROBLÈMES DE PERMÉABILITÉ À L'AIR..... 87

5.2 PERFORMANCE THERMIQUE 90

5.3 LEURS EFFETS SUR L'ACOUSTIQUE 91

6 CONFORT D'ÉTÉ 98

6.1 LA PROTECTION SOLAIRE DU BÂTIMENT 98

6.2 L'INERTIE THERMIQUE 99

6.3 UTILISER LA FRAICHEUR DU SOIR ET DE LA NUIT 100

6.4 LA TAILLE ET L'ORIENTATION DES PAROIS VITRÉES..... 101

6.5 UTILISER LA FRAICHEUR DU SOL 102

ANNEXE 1 - NOTION DE THERMIQUE 104

ANNEXE 2 - CHOIX ACOUSTIQUE D'UN ISOLANT THERMIQUE EN FONCTION DE SA DESTINATION 107

ANNEXE 3 - PASSERELLES ENTRE LA PERFORMANCE DES PRODUITS ET LA PERFORMANCE DE L'OUVRAGE 110

ANNEXE 4 - MÉTHODES D'ESSAIS ACOUSTIQUES EN LABORATOIRE..... 114

ANNEXE 5 - MÉTHODES D'ESSAIS ACOUSTIQUES IN - SITU..... 116

ANNEXE 6 – GLOSSAIRE ACOUSTIQUE..... 117

REMERCIEMENTS 119

1 INTRODUCTION

RT 2005, 2010, 2012, Grenelle de l'environnement, bâtiments basse consommation, bâtiments à énergie positive… autant d'éléments qui révolutionnent, en ce moment et pour longtemps, notre rapport à notre environnement et notamment à notre cadre bâti.

Le bâtiment d'aujourd'hui évolue, et celui de demain bougera encore plus vite et ce sont les économies, voire les créations d'énergies qui seront le fer de lance de cette dynamique. Le neuf bien sûr, mais l'ancien, qui constitue l'immense majorité du parc bâti et la plus grande source de gaspillage énergétique, y vient aussi. La prise de conscience de l'importance de ce changement ainsi que de sa nécessité, est maintenant bien ancrée chez les différents acteurs de la construction et difficilement contestable.

Cependant, ces nouveaux bâtiments, ou ces bâtiments rénovés, doivent aussi continuer à remplir les autres fonctions qu'on est en droit d'attendre d'eux : stabilité mécanique, sécurité au feu et confort acoustique satisfaisant à leurs occupants.

L'objet de ce document est de sensibiliser les différents acteurs de la construction à la nécessité d'avoir une vision d'ensemble du bâtiment, afin d'arriver à des solutions optimales, en prenant l'exemple de l'impact sur la performance acoustique, des choix constructifs destinés à améliorer les performances énergétiques d'un bâtiment.

Ce document n'a pas pour vocation à donner des règles d'utilisation, de dimensionnement ou de calcul, il est uniquement là pour sensibiliser les acteurs de la construction à cette problématique. L'acoustique et la thermique ne sont pas antinomiques, il s'agit juste de problèmes physiques différents avec des phénomènes et des approches différents, qui nécessitent de ne jamais en négliger l'un au détriment de l'autre ; ces domaines sont interdépendants.

La trame que nous avons retenue ici est un écho volontaire à celle du guide « Réussir un projet de bâtiment à basse consommation » publié par le collectif EFFINERGIE.

2 LES EXIGENCES À ATTEINDRE EN THERMIQUE ET EN ACOUSTIQUE

2.1 Thermique

Le bâtiment est au cœur du Grenelle de l'environnement puisqu'il consomme près de 40 % de l'énergie finale et contribue pour près du quart aux émissions nationales de gaz à effet de serre. Le projet de Loi Grenelle 1 fixe des objectifs ambitieux en matière de réduction de la consommation d'énergie dans les bâtiments neufs mais aussi dans les bâtiments existants faisant l'objet de travaux de rénovation.

Pour les bâtiments neufs, la RT 2012 va limiter la consommation d'énergie primaire maximale à partir de début 2011 pour les bâtiments tertiaires et début 2013 pour les bâtiments résidentiels, à 50 kWhep/m².an en moyenne (la définition de la surface de référence sera dans l'arrêté, à priori, ce ne sera pas la SHON). Ce seuil, même modulé en fonction de différents paramètres comme le type d'énergies, la localisation, les caractéristiques et l'usage du bâtiment, et les émissions des gaz à effet de serre, reste au moins deux fois plus contraignant que le niveau de la réglementation thermique de 2005 (130 à 250 kWhep/m²SHON.an en zone H1 tous types d'énergie confondus, voir tableau ci-après). Sont concernés par ces mesures, les bâtiments publics et tertiaires à partir de début 2011 et tous les bâtiments neufs à partir de début 2013.

Type de chauffage	**Zone climatique**	**Consommation d'énergie maximale pour le chauffage, le refroidissement et l'eau chaude sanitaire) en kWhep/m²SHON.an**
Combustibles fossiles	H1	130
	H2	110
	H3	80
Chauffage électrique (PAC inclus)	H1	250
	H2	190
	H3	130

Tableau 2.1.1 Exigence RT2005 : Consommation d'énergie maximale admissible pour les bâtiments résidentiels

La loi Grenelle 1 va encore plus loin puisqu'elle prévoit la généralisation des bâtiments à énergie positive (production d'énergie à partir de sources renouvelables, au moins égale à la consommation) dès la fin 2020.

Pour les bâtiments existants, la loi Grenelle 1 vise la réduction des consommations d'énergie du parc existant de 38% environ d'ici 2020. Elle prévoit entre autres une rénovation, à un rythme soutenu, de l'ensemble du parc de logements sociaux d'ici 2020 soit près de 800 000 logements.

Toutes ces mesures seront accompagnées par des incitations financières adaptées au neuf et à l'existant comme des prêts à taux privilégiés, crédits d'impôts, aide à l'accession à la propriété, prêt à taux zéro pour les acquéreurs anticipant les objectifs, etc.

Même si ces mesures ont pour objectif principal la réduction de la consommation d'énergie et la protection de l'environnement par la réduction des émissions de gaz à effet de serre, elles ne doivent en aucun cas dégrader la santé, la sécurité ni le confort des occupants aussi bien dans les bâtiments neufs qu'existants (confort d'été, confort acoustique, …)

Pour atteindre les objectifs annoncés, il faut commencer par réduire les déperditions énergétiques à travers l'enveloppe du bâtiment par le renforcement de l'isolation thermique tout en récupérant et stockant, dans la limite du possible, le maximum d'apports gratuits (conception bioclimatique et bonne inertie thermique du bâtiment). Ensuite il faut équiper systématiquement le bâtiment de systèmes énergétiques performants faisant appel, de préférence, aux énergies renouvelables. Pour améliorer le confort d'été il faut mettre en place des protections solaires adaptées et veiller à ne pas dégrader l'inertie thermique du bâtiment.

L'effort est donc considérable, d'ailleurs dans le Grenelle on parle de 'rupture' par rapport aux pratiques courantes (niveau RT2005).

RT2005 et RT global pour bâtiments existants (grandes surfaces (>1000m²) et travaux importants (25% valeur du bâtiment))	**Exigences minimales R en m².K/W**	**Valeurs recommandées R en m².K/W**
Murs	2.05	2.6
Rampants de toitures	3.43	4.86
Plafonds de combles perdus	3.43	4.86

Tableau 2.1.2 Valeurs réglementaires (thermiques) sur les parois opaques

La consommation d'énergie liée au chauffage varie entre 50 et 70 % de la consommation globale du bâtiment. Pour atteindre les objectifs du Grenelle il faut au moins réduire de moitié la part du chauffage d'ici fin 2010. Pour y arriver, et à apports solaires équivalents, il va falloir doubler en moyenne le niveau d'isolation thermique des bâtiments. Ceci implique l'utilisation d'isolants de plus faibles conductivités thermiques et de fortes épaisseurs. Ça implique également le traitement les ponts thermiques intégrés aux parois qui pourraient court-circuiter la résistance thermique de l'isolant en partie courante.

Pour arriver à relever ce défi, les pertes énergétiques à travers les parois opaques, vitrées et les ponts thermiques, des liaisons pourraient être réduites de moitié. Les ponts thermiques les plus importants doivent être traités faute de quoi le respect des objectifs du Grenelle ne peut être atteint.

2.2 Acoustique

La réglementation acoustique française impose des exigences acoustiques à atteindre en termes de performances de l'ouvrage, c'est-à-dire des exigences de résultats sur le bâtiment fini. Le contrôle de la conformité d'un bâtiment à la réglementation est réalisé à l'aide de mesures acoustiques *in-situ*, une fois ce dernier construit. La rubrique acoustique du guide CRC (Contrôle des Règles de Construction, publié par la DHUP) est pour cela un appui méthodologique précieux.

La réglementation acoustique du 30 juin 1999 impose ainsi des valeurs chiffrées pour différents indices acoustiques nécessaires pour garantir une qualité acoustique minimum d'un logement et d'un ouvrage.

Les différents indices concernent donc les sources de gênes acoustiques pouvant altérer le confort d'un logement, que celle-ci soit d'origine aérienne intérieure (bruit d'équipement, voix, télévision), aérienne extérieure (circulation routière, train, avion) ou des bruits de choc (bruit de pas, ballon, …). Les exigences réglementaires à atteindre concernent ainsi :

- Isolement aux bruits aériens intérieurs
- Niveau de bruit de choc,
- Isolement aux bruits extérieurs,
- Traitement acoustique des parties communes,
- Bruits d'équipements.

Isolement aux bruits aériens intérieurs	Isolement aux bruits extérieurs	Niveau de bruit de choc	Traitement acoustique des circulations communes	Bruits d'équipements
$D_{nT,A}$	$D_{nT,A,Tr}$	$L'_{nT,w}$	A ou Tr	$L_{nA,T}$
Isolement acoustique standardisé pondéré	Isolement acoustique standardisé pondéré	Niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé	Surface d'absorption équivalente ou Temps de réverbération	Niveau de pression acoustique normalisé
dB	dB	dB	m²	dB(A)
$D_{nT,A} \geq 53^*$ dB entre 2 pièces principales	$D_{nT,A,Tr} \geq 30^*$ dB	$L'_{nT,w} \leq 58^*$ dB	A ≥ ¼ de la surface au sol*	$L_{nA,T} \leq 30^*$ dB(A)

(*) Principales exigences réglementaires pour un logement.

Tableau 2.2.1 Principales exigences réglementaires acoustiques pour un bâtiment d'habitation

Dans certains cas, les exigences à atteindre peuvent être plus élevées si le logement se trouve dans une zone particulièrement exposée aux bruits extérieurs (par exemple aéroport, autoroutes) ou s'il se trouve à proximité d'un local d'activité ou d'un garage.

Il est aussi important de rappeler qu'avec l'arrêté de 1999, les indices ont changé tout comme les unités. Le dB(A) ne doit, par exemple, plus être utilisé sauf pour quantifier les niveaux de bruits d'équipements.

Par ailleurs, il est important de noter que suivant le type d'activités : santé, enseignement, tertiaire les exigences peuvent différer (CF arrêtés du 25 avril 2003).

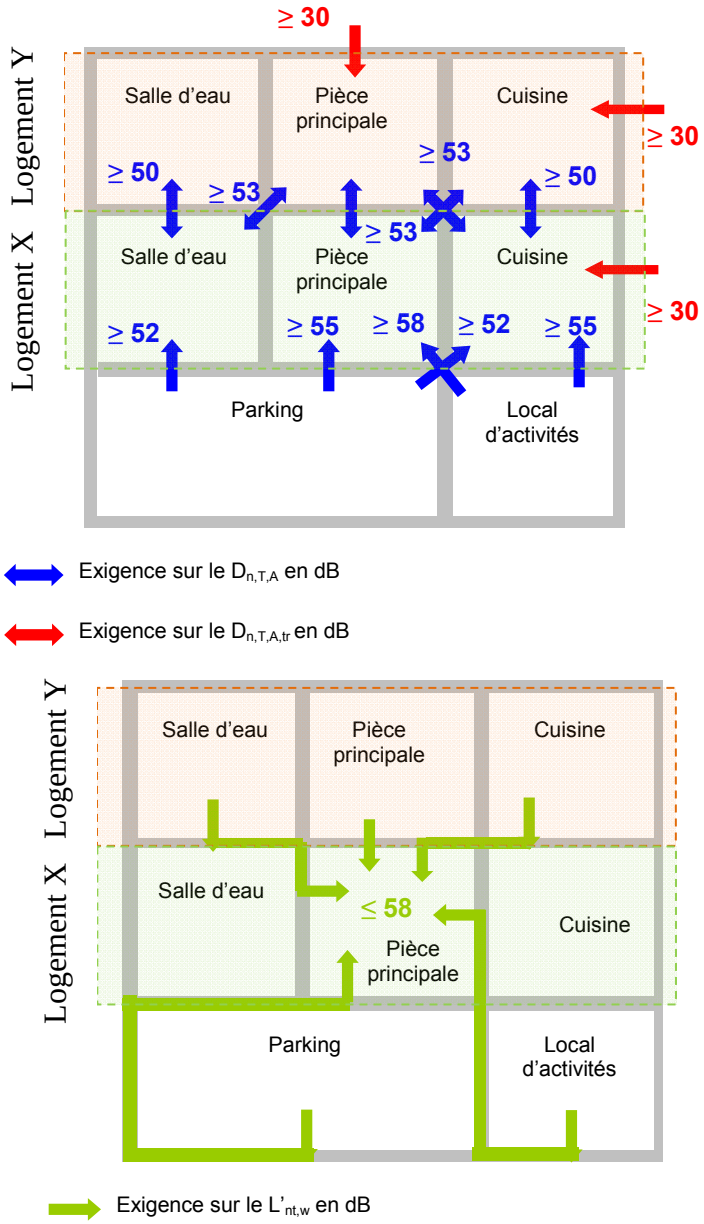


Figure 2.2.1 : Exigences réglementaires pour les bâtiments d'habitation (non exhaustif)

Références réglementaires pour les bâtiments d'habitation :

- Arrêté du 30 juin 1999 relatif aux caractéristiques acoustiques des bâtiments d'habitation,
- Arrêté du 30 juin 1999 relatif aux modalités d'application de la réglementation acoustique,
- Arrêté du 30 mai 1996 relatif aux modalités de classements des infrastructures de transports terrestres et à l'isolation acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit
- Arrêté du 6 octobre 1978 relatif à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation contre les bruits de l'espace extérieur (article 2 bruit autour des aérodromes).
- Rubrique Acoustique du guide du CRC publié par la DHUP.

3 LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

Avec le durcissement des exigences sur la consommation d'énergie dans le bâtiment et sur le confort d'été des occupants, la conception architecturale devient un facteur prépondérant dans le bilan énergétique global d'une construction. Une bonne conception architecturale est exigée par la RT2012 au travers d'une limitation des besoins d'énergie liés au chauffage, au refroidissement et à l'éclairage. Cette limitation se fera par le biais d'un coefficient appelé Bbio qui se calcule en fonction des besoins de chauffage (isolation + renouvellement d'air + apports gratuits internes et externes) de refroidissement (isolation + renouvellement d'air + apports internes et externes) et d'éclairage (niveau d'éclairement requis par local + orientation et transmission lumineuse des baies).

La RT2012 valorise à travers ce coefficient Bbio :

- La compacité du bâtiment afin de réduire, à volume constant, les surfaces de contact entre l'ambiance climatisée (chauffée ou refroidie) et l'ambiance extérieure. Ça va se traduire sur le terrain par plus de bâtiments collectifs de forme géométrique simple et compacte et par plus de maisons individuelles jumelées ou en bandes.

- Une meilleure isolation thermique du bâti.

- L'orientation, la surface et le type des baies vitrées afin de capter le maximum d'apports solaires gratuits en saison de chauffage, et de faire entrer le maximum de lumière naturelle en toute saison.

- L'inertie thermique du bâtiment qui pourrait servir au stockage-déstockage de l'énergie en périodes chaude et froide. Une ventilation traversante en période chaude.

- L'étanchéité à l'air de l'enveloppe qui va dans le même sens que celui de l'isolement acoustique aux bruits aériens extérieurs.

Les qualités d'un bâtiment prennent souvent naissance dès les premières esquisses lors du choix du parti pris architectural ainsi que celui du système constructif. Ceci est bien sûr vrai pour qu'un bâtiment soit économe en énergie (forme du bâtiment, compacité, orientation des baies, …), mais ça l'est aussi pour le confort acoustique de celui-ci. En effet, l'implantation du bâtiment dans la parcelle et l'orientation de ses façades, par rapport aux nuisances sonores extérieures ; la forme des bâtiments ; l'organisation interne des espaces sont autant de points cruciaux qui rendront confortable ou non un bâtiment, sur le plan acoustique.

On voit ici poindre le rôle essentiel d'assembleur que porte l'architecte dès l'origine de toute construction, ainsi que le difficile travail de compromis technique (et financier) qu'il aura à mener tout au long du projet.

On peut aussi remarquer que cette démarche reste pertinente à plusieurs échelles, ville et quartier notamment. Vous pouvez vous reporter pour cela à l'excellent guide « Plan Local d'Urbanisme & Bruit – La boîte à outils de l'aménageur » (financé par le Ministère de l'Écologie et du Développement Durable et par le Ministère de la Santé et rédigé par Véronique POIROT (DDE 38) et Marc ESMENJAUD (DDASS38).

Dans ce chapitre, nous illustrerons, le rôle incontournable de cette phase de l'acte de construction, en prenant quelques exemples ciblés qui nécessiteront des arbitrages entre économie d'énergie et confort acoustique.

3.1 L'implantation sur la parcelle et l'orientation des façades

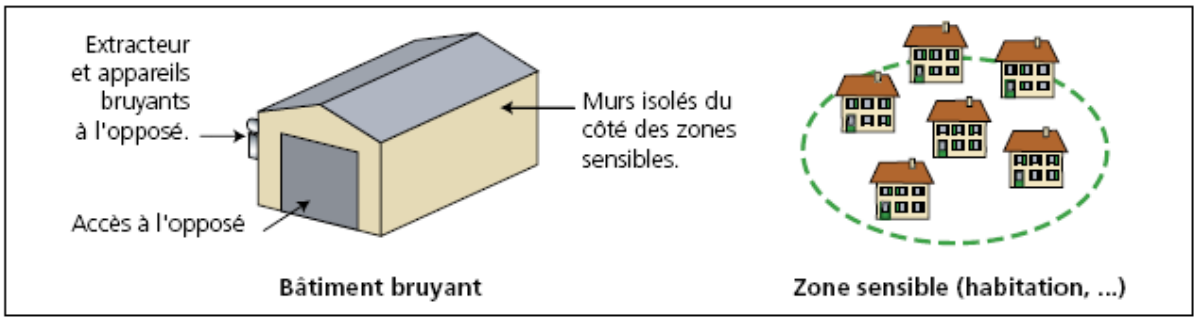
Tout bâtiment, toute infrastructure et toute activité peut être tour à tour « agressé » ou « agresseur » sur le plan acoustique, il est donc primordial de bien analyser l'environnement sonore autour de la parcelle, la proximité du voisinage et les gênes acoustiques que pourrait générer l'exploitation du bâtiment que l'on a à construire au regard de la destination de celui-ci.

Se présentent alors plusieurs outils à notre disposition pour répondre à la problématique du projet :

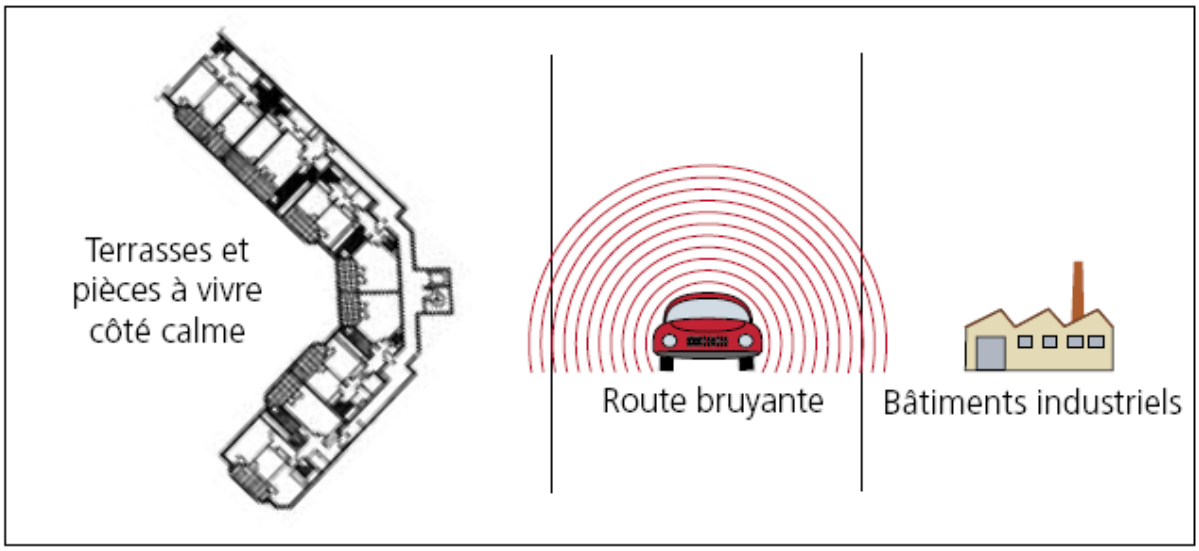
- S'éloigner au maximum de la source de bruit. Pour une source ponctuelle (usine, discothèque,…) on gagnera 6 dB en doublant notre distance à la source, alors qu'on ne gagnera que 3 dB pour une source continue (Route, voie ferrée,…).

- S'orienter au mieux par rapport à la source (Cf. Figure 3.1.1)

1 – Orienter les bâtiments et les équipements bruyants par rapport aux bâtiments et zones sensibles au bruit en utilisant l'effet d'écran du bâtiment.



2 – Orienter les logements et les autres bâtiments sensibles aux nuisances sonores en fonction des sources de bruit existantes.



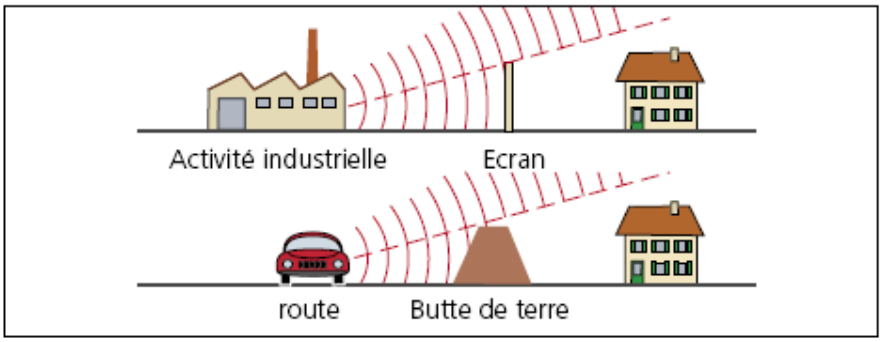
Avantages	Inconvénients
Permet une bonne utilisation de l'espace sans exposer les pièces sensibles aux nuisances sonores. Permet la mixité habitat - activité	Une façade reste directement exposée aux bruits Solution utilisable seulement lorsqu'elle est compatible avec les contraintes d'ensoleillement et de vue

Figure 3.1.1 S'orienter : Extrait du guide « Plan Local d'Urbanisme & Bruit – La boîte à outils de l'aménageur »

- Se protéger de la source par l'interposition d'une « protection » entre la source et l'habitat. (Cf. Figure 3.1.2)

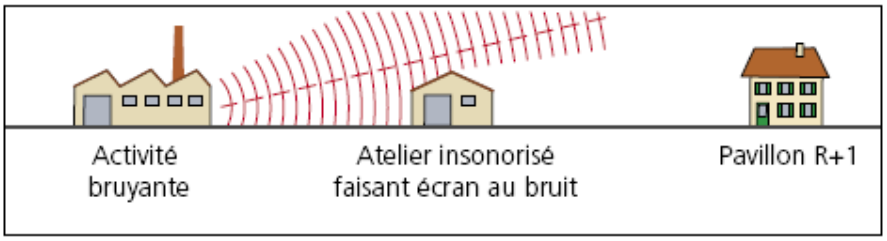
1 – Ecrans et merlons :

L'efficacité d'un écran ou d'un merlon sera essentiellement fonction de sa hauteur, de sa longueur et de la position respective de la source et du récepteur



ATTENTION : écrans végétaux inefficaces

Une haie ou un rideau d'arbres est inefficace pour faire obstacle au bruit. Une bande forestière de 100 m de largeur pourra apporter une atténuation supplémentaire de 3 à 5 dB(A) par rapport à l'atténuation liée à la distance.



Type de protection	Avantages	Inconvénients
Toutes	Protège aussi les espaces extérieurs	Coût Contraintes d'insertion paysagère Absence de protection des étages élevés
Ecran	Emprise réduite	
Merlon	Aménagement paysager	Emprise importante
Bâtiment écran	Très efficace Utilisation optimale de l'espace	Nécessité d'une approche globale à l'échelle d'un secteur entier

Figure 3.1.2 Se protéger : Extrait du guide « Plan Local d'Urbanisme & Bruit – La boîte à outils de l'aménageur »

- Isoler, soit la source (plus efficace, mais plus onéreuse ; ex : couverture du périphérique), soit les bâtiments (ne protège pas l'espace extérieur et peut conduire à réduire la taille des fenêtres).

Quand on parle d'implantation de bâtiment, il est difficile de passer sous silence les autres contraintes. On peut noter l'orientation du bâtiment par rapport au soleil évidement (Cf. Figure 3.1.3), l'orientation des vents dominants, mais aussi des aspects moins techniques mais tout aussi primordiaux comme la vue.

Même si le Grenelle environnement valorise davantage une bonne orientation du bâtiment vis-à-vis du soleil, il en reste néanmoins difficile de modifier le plan urbanisme en conséquence. Le jeu consiste donc à optimiser l'orientation du bâtiment dans une parcelle de terrain donnée, en tenant compte tant que possible des contraintes acoustiques et énergétiques.

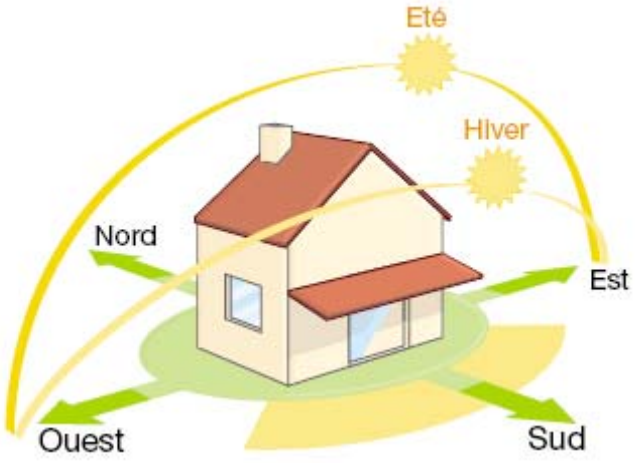


Figure 3.1.3 Extrait du guide « Réussir un projet de bâtiment à basse consommation » (collectif EFFINERGIE)

3.2 La forme du bâtiment (compacité,…)

La compacité consiste à minimiser la surface des parois déperditives et ceci à volume chauffé constant réduisant ainsi les déperditions thermiques par transmission et par renouvellement d'air.

La compacité des bâtiments est donc un concept très prisé quand on cherche à rendre des bâtiments moins énergivores, la Figure 3.2.1 illustre bien le propos.

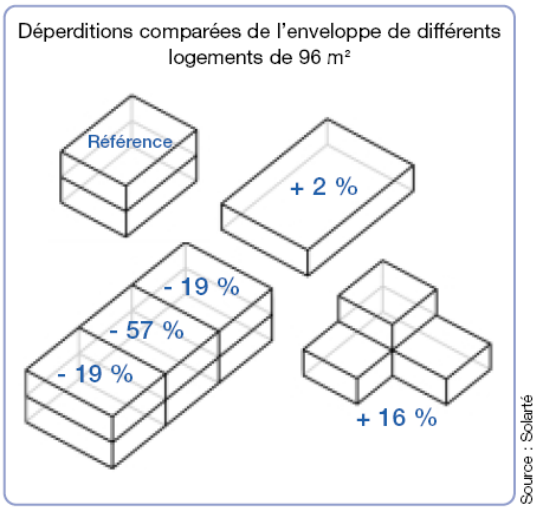


Figure 3.2.1 Extrait du guide « Réussir un projet de bâtiment à basse consommation » (collectif EFFINERGIE)

Malheureusement en acoustique, on ne raisonnera pas de la même manière. Par exemple, la configuration générant le moins de déperditions énergétiques, est aussi celle qui sera la plus sensible sur le plan de l'acoustique intérieur (contigüité forte avec le voisinage) et qui nécessitera donc le plus de soins sur ce dernier point (zonage, produits plus performants, …).

Si l'on ne regarde le problème que sous l'angle des problèmes de nuisances entre logements, il est évident que l'ordre croissant des difficultés techniques est le suivant : Maison individuelle => Maison en bande => bâtiment collectif.

Les conclusions ne seraient pas forcément les mêmes pour optimiser les dispositions architecturales d'un ensemble de logements à proximité d'infrastructures de transports bruyantes.

On voit ainsi la complexité et la multiplicité de la problématique acoustique elle-même.

3.3 Organisation des espaces intérieurs

En acoustique, le principe est assez simple, éloigner les pièces sensibles (chambre à coucher, salon,…) des zones bruyantes. Si vous avez un immeuble en bord d'infrastructure de transport terrestre bruyant (train, autoroute, route passante,…) il est généralement avantageux de positionner les espaces sensibles (chambres, salon) sur la façade opposée à celle exposée. On retrouvera ainsi les circulations, les salles de bain ou les cuisines côté exposé, attention toutefois car l'isolement acoustique réglementaire de façade porte aussi sur la cuisine.

Les sources intérieures au bâtiment font généralement (ou devraient faire) l'objet d'une réflexion similaire. Par exemple il faut éviter les chambres contiguës à la cage d'ascenseur, aux locaux techniques bruyants ou aux gaines techniques.

Or d'un point de vue consommation d'énergie, il est généralement préconisé de :

- privilégier l'orientation sud pour les pièces de jour,
- disposer au nord les pièces pas ou peu chauffées (garage, cellier,…).

Ces deux approches n'orientent pas toujours vers des solutions opposées, mais il est nécessaire d'être conscient des différentes contraintes pour pouvoir réaliser et assumer des compromis en toute connaissance de cause.

4 UN BÂTIMENT BIEN « ISOLÉ »

Malheureusement, le terme même d' « isolé » n'est pas très approprié, ou tout du moins pas suffisamment précis. Ambigüité entre « Isolation thermique » et « Isolation acoustique », qui ne vont pas systématiquement dans le même sens. Mais également sur la multiplicité des phénomènes recouverts par le terme même d'isolation acoustique (Bruit d'impact, isolement au bruit aérien vis-à-vis de l'extérieur, ou entre locaux). Il est donc nécessaire de faire un effort de précision dans le vocabulaire que nous utilisons tous pour ne pas avoir de mauvaises surprises. En acoustique comme en thermique, il est important de traiter les jonctions entre parois ainsi que l'inclusion des fluides et réseaux, on retrouve là une similitude.

Dans ce chapitre, nous allons balayer les grandes techniques permettant d'isoler thermiquement un bâtiment. Nous suivrons pour chacune d'elles, la trame d'analyse suivante :

- Marché auquel s'adresse la technique : (neuf, réhabilitation ou les deux à la fois).
- Description succincte des systèmes rencontrés et de leur environnement technique.
- Performance thermique.
- Description de leurs effets sur l'acoustique :
    - Performance du produit,
    - Performance in situ du bâtiment.
- Quel avenir pour cette technique avec le renforcement des réglementations ?

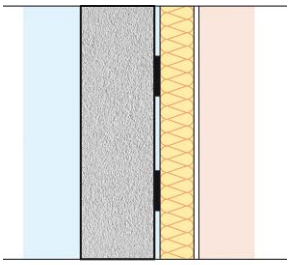
Les propos sont illustrés par des exemples qui ne pourront être pris comme des généralités. De plus, nous n'avons pas la prétention d'avoir été exhaustifs dans les systèmes décrits.

4.1 Système d'isolation thermique rapportée par l'intérieur (ITI)

Marché : neuf et réhabilitation quand la qualité et la nature du support d'origine le permettent. Il est à signaler que l'isolation par l'intérieur des parois existantes 'refroidit' généralement le mur support et accentue le risque de condensation superficielle dans la masse. Dans certains cas la mise en place d'un pare-vapeur côté intérieur pourrait s'avérer nécessaire.

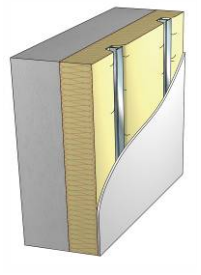
4.1.1 Description succincte des systèmes rencontrés et de leur environnement technique

4.1.1.1 Doublage collé :



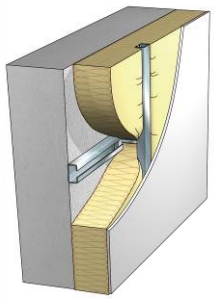
- Composition : Primitif isolant thermique (Laine de verre, laine de roche, PSEE, PSE, PU, XPS) collé en plein ou par filet sur une plaque de plâtre (ép. 10 ou 13 mm).
- Pose : Collage par plots sur le mur support.
- Textes de référence : NF DTU N°25.42; ATec ou DTA (La performance acoustique y est mentionnée lorsque cette performance est revendiquée).
- Certification CSTBat Complexes et sandwiches d'isolation thermique (**La performance acoustique n'y est pas certifiée**).
- Moins adapté au doublage de murs supports ayant des irrégularités de support très importantes supérieures à 10 mm que le doublage sur ossature.

4.1.1.2 Doublage sur ossature indépendante du mur support : parement plaque :



- Composition : Ossature bois ou métallique; parement en plaque (plâtre, fibre ciment, bois, …) et isolant thermique (laine minérale, mousse rigide de type PSE, PU ou XPS), ou autres isolants thermiques à base de fibre végétale ou animale comme la laine de chanvre, plume de canard, laine de mouton, ouate de cellulose….
- Pose : Mise en œuvre sur ossature bois ou métallique
- Textes de référence : N DTU 25.41 (solution courante), ATec ou DTA

4.1.1.3 Doublage sur ossature dépendante du mur support :



- Composition : Ossature bois ou métallique; parement en plaque (plâtre, fibre ciment, bois, …) et isolant thermique (laine minérale, mousse rigide de type PSE, PU ou XPS), ou autres isolants thermiques à base de fibres végétales ou animales comme la laine de chanvre, plume de canard, laine de mouton, ouate de cellulose….
- Pose : Mise en œuvre sur ossature bois ou métallique
- Textes de référence : NF DTU 25.41 (solution courante); ATec ou DTA
- Ces systèmes peuvent comporter un pont thermique (intégré) et acoustique plus ou moins important selon le type de point d'ancrage. L'utilisation de connexion non métallique et plus souple associée à des isolants thermiques, permet de pallier cela en grande partie.

4.1.2 Performances thermiques

La performance thermique des murs doublés par l'intérieur dépend essentiellement de la résistance thermique effective de l'isolant thermique après déduction de l'impact des ponts thermiques intégrés.

Les techniques d'isolation thermique par l'intérieur, présentées ici comportent peu de ponts thermiques intégrés, (découpes pour le passage de câbles électriques, lisses métalliques comprimant localement l'isolant thermique, tiges ponctuelles traversantes).

L'impact de l'ensemble de ces ponts thermiques intégrés peut être négligé si aucun élément métallique ne vient transpercer l'isolant thermique. Le cas échéant, une dégradation de 10 % environ est à considérer.

Technique d'isolation thermique par l'intérieur	**Dégradation de l'isolation thermique**
Doublage collé	Négligeable
Doublage sur ossature indépendante du mur support	Négligeable si faible compression de l'isolant thermique
Doublage sur ossature dépendante du mur support	10 % si tige métallique Négligeable si tige plastique
Doublage avec contre cloison en briques	Négligeable si contre cloison indépendante et isolant thermique non transpercé par des fixations métalliques

Tableau 4.1.1 Impact des ponts thermiques intégrés sur un ITI

Avec le Grenelle et la RT2012 on s'oriente vers une utilisation d'isolants thermiques de plus faible conductivité thermique ou/et en plus forte épaisseur.

L'isolation thermique par l'intérieur implique l'interruption de celle-ci au droit des parois intérieures (planchers et des refends) générant ainsi d'importants ponts thermiques au niveau des liaisons. Le traitement de ces ponts thermiques est nécessaire dans la grande majorité des cas afin de rendre le bâtiment compatible avec les exigences du Grenelle. Les techniques non traditionnelles doivent faire l'objet de validations techniques appropriées.

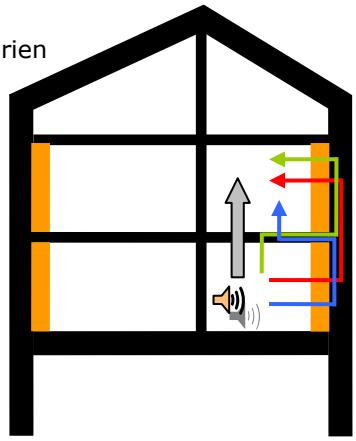
L'isolation thermique par l'intérieur masque l'inertie du mur support. Le stockage –déstockage de l'énergie été comme hiver se trouve diminué. L'effet sur la consommation d'énergie et le confort d'été pourrait être néfaste. De ce fait l'inertie thermique des autres parois (planchers et refends) doit être renforcée dans la limite du possible.

4.1.3 Leurs effets sur l'acoustique

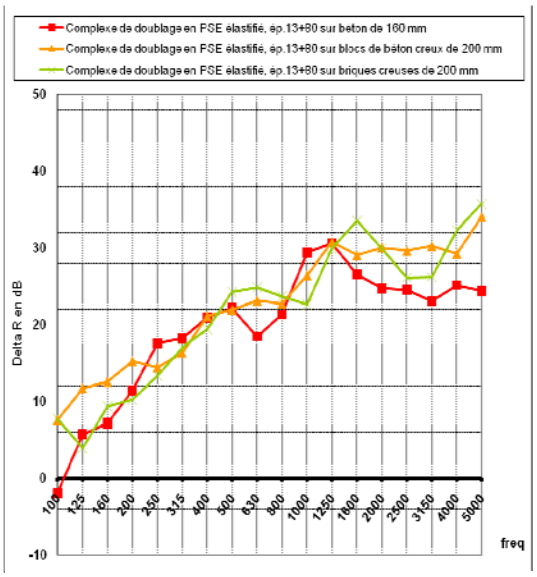
Contrairement à ce que l'on pourrait intuitivement penser, les doublages intérieurs ont un impact principalement sur l'isolement acoustique entre logements en modifiant la transmission latérale par la façade. L'influence sur l'isolement acoustique entre l'intérieur et l'extérieur d'un bâtiment d'une ITI, n'intervient généralement que lorsqu'on recherche des isolements acoustiques très élevés, donc en présence d'un environnement extérieur très bruyant.

Les propos sont illustrés par des exemples qui ne pourront être pris comme des généralités. De plus, nous n'avons pas la prétention d'avoir été exhaustifs dans les systèmes décrits.

4.1.3.1 Modification des transmissions latérales (Isolement acoustique entre locaux) :



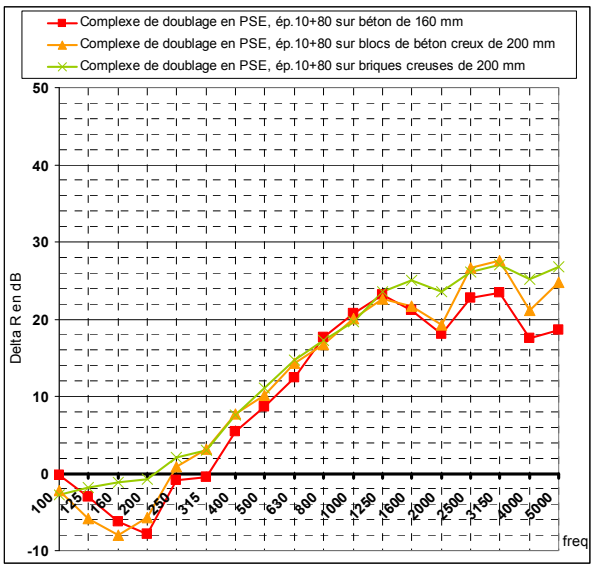
- *Performance du produit :* Efficacité au bruit aérien Δ(Rw + C) en dB. Vous trouverez ci-dessous un ensemble de facteur influant sur cette performance. Les exemples retenus pour illustrer ces phénomènes, n'ont qu'une vocation pédagogique, des produits industriels pourraient présenter des performances différentes de celles-ci.
- Elle (performance du produit) est fonction du mur support, les Figure 4.1.1 à Figure 4.1.3 illustrent ce phénomène pour trois doublages types sur les trois murs supports faisant référence en France (béton 160 mm, brique creuses de 200 mm, bloc creux de 200 mm). Il est à noter que plus le mur support sera performant et moins la performance du doublage sera importante. Le béton de 160 mm, qui est aussi le mur support lourd de référence au niveau européen pour l'évaluation des doublages (EN ISO 140-16), correspond au support amenant à la valeur la plus sécuritaire.



Mur support :	béton 160 mm	blocs de béton creux 200 mm enduit côté extérieur	briques creuses 200 mm enduit côté extérieur
Mur support $R_w(C;C_{tr})$	60 (-2;-6)	56 (-1;-4)	47 (-1;-3)
Mur doublé $R_w(C;C_{tr})$	72 (-5;-12)	74 (-3-10)	65 (-2;-7)
$\Delta (R_w+C)_{directe}$*	(9)	16	17
$\Delta (R_w+C)_{lourd}$ *	11	-	-

(*) Voir Annexe 4 pour l'explicitation de ces indices récents.

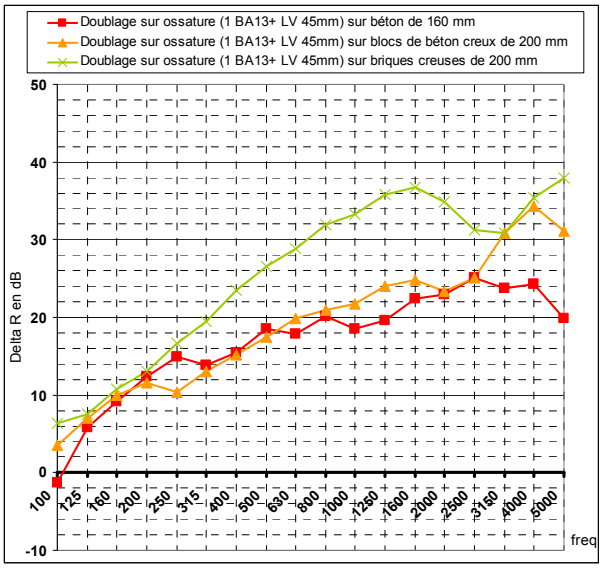
Figure 4.1.1 Influence du mur support pour un doublage collé thermo-acoustique en PSE élastifié ép. 13+80



Mur support	béton 160 mm	blocs de béton creux 200 mm enduit côté extérieur	sur briques creuses 200 mm enduit côté extérieur
Mur support $R_w(C;C_{tr})$	60 (-2;-6)	56 (-2;-4)	52 (-1;-3)
Mur doublé $R_w(C;C_{tr})$	58 (-3;-8)	59 (-3-9)	59 (-1;-6)
$\Delta (R_w+C)_{directe}$*	(-3)	2	8
$\Delta (R_w+C)_{lourd}$*	-2	-	-

(*) Voir Annexe 4 pour l'explicitation de ces indices récents.

Figure 4.1.2 Influence du mur support pour un doublage collé thermique en PSE ép. 13+80

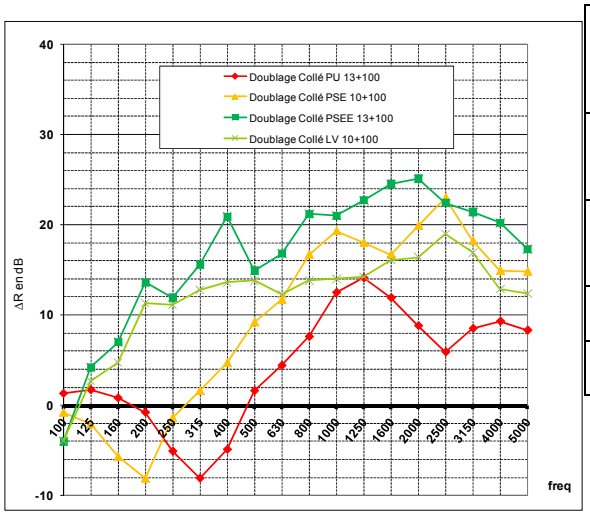


Murs supports	béton 160 mm	blocs de béton creux 200 mm enduit coté extérieur	briques creuses 200 mm enduit coté extérieur
Mur support $R_w(C;C_{tr})$	60 (-2;-6)	56 (-2;-4)	45 (0;-2)
Mur doublé $R_w(C;C_{tr})$	71 (-3;-10)	70 (-2-7)	68 (-2;-8)
$\Delta (R_w+C)_{directe}$*	(10)	14	21
$\Delta (R_w+C)_{lourd}$ *	11	-	-

(*) Voir Annexe 4 pour l'explicitation de ces indices récents.

Figure 4.1.3 Influence du mur support pour un doublage sur ossature indépendante thermo-acoustique (1 BA 13 + laine de verre de 45 mm)

- Elle (performance du produit) dépend de la nature de l'isolant thermique (cellule fermée/ouverte, épaisseur, raideur dynamique,…) et peut être négative notamment pour les mousses rigides. La Figure 4.1.4 illustre ce phénomène sur un mur béton de 160 mm.



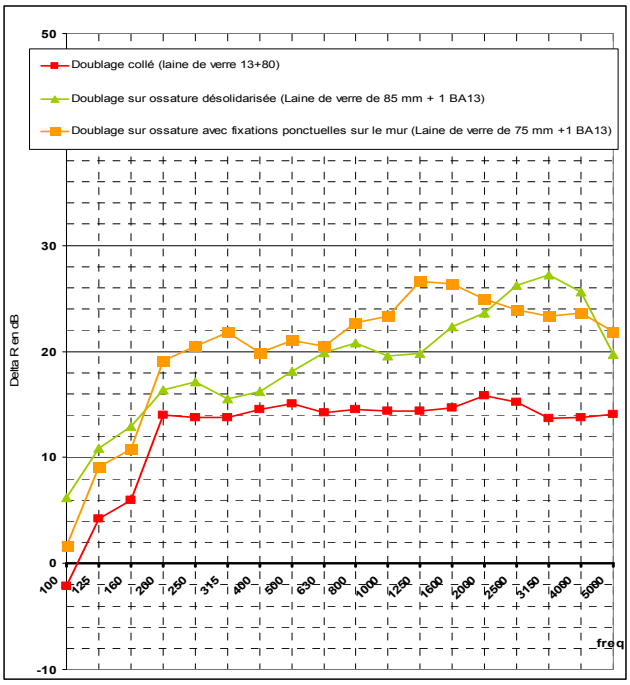
support béton 160mm	Doublage collé PU 13+100	Doublage collé PSE 10+100	Doublage collé PSEE 13+100	Doublage collé LV 10+100
Mur support $R_w(C;C_{tr})$	58(-2;-5)	60(-1;-5)	58(-2;-5)	59(-1;-5)
Mur doublé $R_w(C;C_{tr})$	55(-2;-6)	59(-4;-9)	69(-3;-10)	68(-3;-10)
$\Delta (R_w+C)_{directe}$*	(-3)	(-4)	(10)	(7)
$\Delta (R_w+C)_{lourd}$ *	-3	-2	10	8

(*) Voir Annexe 4 pour l'explicitation de ces indices récents.

Figure 4.1.4 Influence du type de doublage sur un mur béton de 160 mm

Note : Un même type de mur support peut légèrement varier (ici 3dB), sans que cela ait d'influence significative sur le ΔR mesuré.

- Influence du type de pose (Collé, ossature indépendante ou non) : La Figure 4.1.5 montre l'importance de ce paramètre, on peut ainsi observer que plus le doublage est désolidarisé de son mur support, meilleur sera le résultat. Le doublage sur ossature désolidarisée est effectivement plus performant que celui présentant quelques points de fixations ponctuelles qui est lui-même plus performant que le doublage collé par plots.

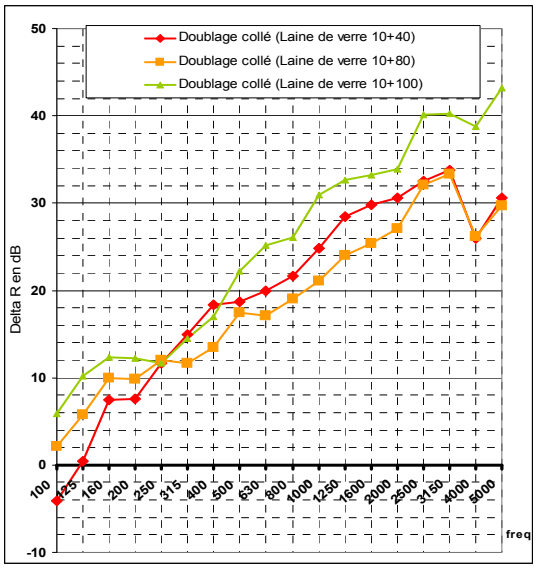


Mur support : Béton de 160 mm	Doublage collé (laine de verre 13+80)	Doublage sur ossature désolidarisée (LV 85+1BA13)	Doublage sur ossature avec fixations ponctuelles sur le mur (LV75+1 BA13)
Mur support $R_w(C;C_{tr})$	60(-2;-6)	60(-2;-6)	58(-2;-6)
Mur doublé $R_w(C;C_{tr})$	70(-4;-10)	74(-2;-7)	74(-5;-11)
$\Delta (R_w+C)_{directe}$*	(8)	(14)	(13)
$\Delta (R_w+C)_{lourd}$ *	10	15	15

(*) Voir Annexe 4 pour l'explicitation de ces indices récents.

Figure 4.1.5 Influence du mode de pose du doublage sur un mur en béton de 160 mm

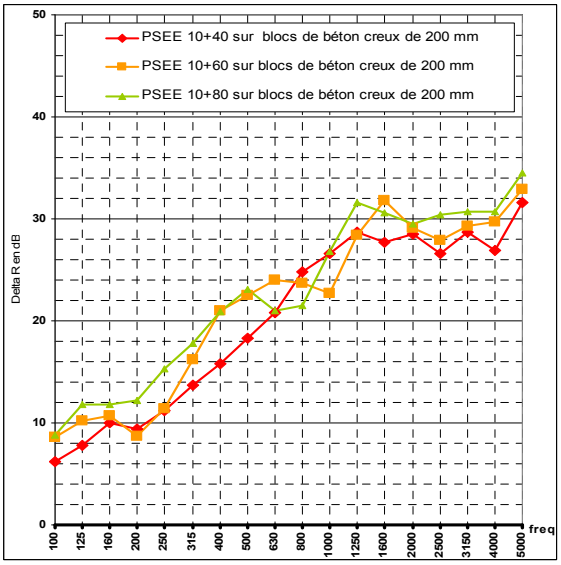
- Influence de l'épaisseur d'un doublage collé : Globalement plus l'épaisseur du primitif sera importante, plus la fréquence de résonnance du doublage sera faible, ce qui se traduit généralement par une amélioration de la performance acoustique. Les Figure 4.1.6, Figure 4.1.7, Figure 4.1.8 et Figure 4.1.9 présentant des résultats avec des doublages thermo-acoustique, les fréquences de résonnances sont inférieures ou égales à 100 Hz. On peut cependant voir avec la pente de la courbe à 100 Hz et le niveau de ΔR à cette même fréquence, que la fréquence de résonnance des systèmes se déplace vers les basses fréquences avec l'augmentation de l'épaisseur du primitif.



Mur support : Blocs de béton creux de 200 mm enduit coté extérieur	Doublage collé (Laine de verre 10+40)	Doublage collé (Laine de verre 10+80)	Doublage collé (Laine de verre 10+100)
Mur support $R_w(C;C_{tr})$	53 (-1;-3)	56 (-2;-5)	53 (-1;-3)
Mur doublé $R_w(C;C_{tr})$	67(-6;-14)	68(-3;-11)	72 (-3;-10)
$\Delta (R_w+C)_{directe}$	9	11	17

(*) Voir Annexe 4 pour l'explicitation de ces indices récents.

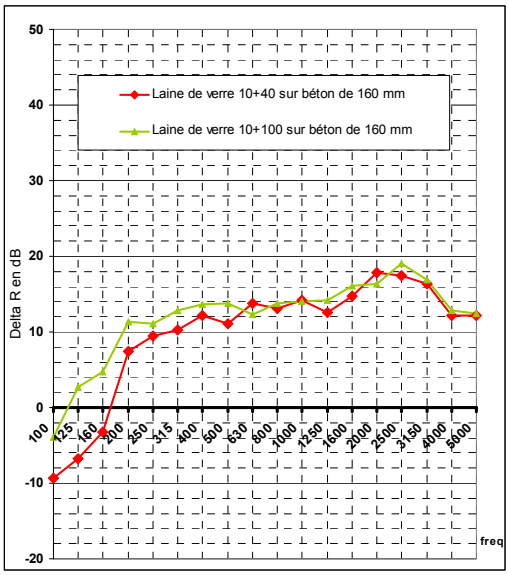
Figure 4.1.6 Influence de l'épaisseur du doublage collé en laine de verre sur un mur en blocs de béton creux de 200 mm



Mur support : Blocs de béton creux de 200 mm enduit coté extérieur	Doublage collé (PSEE 10+40)	Doublage collé (PSEE 10+60)	Doublage collé (PSEE 10+80)
Mur support Rw(C;Ctr)	55 (-1;-3)	55 (-1;-4)	56 (-2;-4)
Mur doublé Rw(C;Ctr)	70 (-2;-7)	72 (-3;-10)	74 (-3;-10)
$\Delta (Rw+C)_{directe}$*	14	15	17

(*) Voir Annexe 4 pour l'explicitation de ces indices récents.

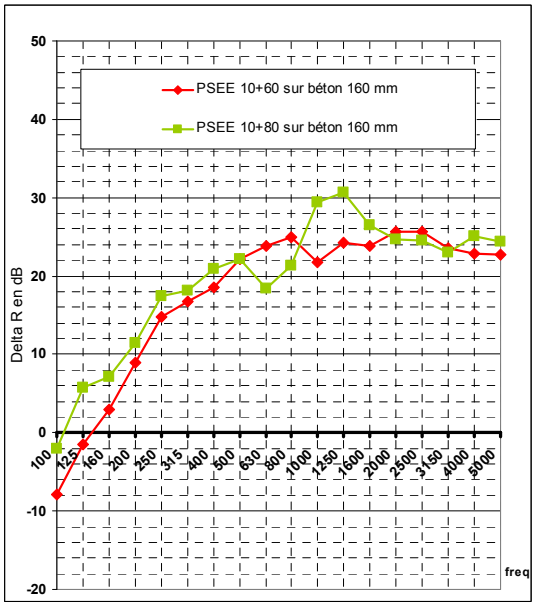
Figure 4.1.7 Influence de l'épaisseur du doublage collé en PSEE sur un mur en blocs de béton creux de 200 mm



Mur support : Béton 160 mm	Doublage collé (laine de verre 10+40)	Doublage collé (laine de verre 10+100)
Mur support $R_w(C;C_{tr})$	59 (-1;-5)	59 (-1;-5)
Mur doublé $R_w(C;C_{tr})$	63(-5;-11)	68 (-3;-10)
$\Delta (R_w+C)_{directe}$*	(0)	(8)
$\Delta (R_w+C)_{lourd}$ *	2	8

(*) Voir Annexe 4 pour l'explicitation de ces indices récents.

Figure 4.1.8 Influence de l'épaisseur du doublage collé en laine de verre sur un mur en béton de 160 mm



Mur support : Béton 160 mm	Doublage collé (PSEE 10+60)	Doublage collé (PSEE 10+80)
Mur support $R_w(C;C_{tr})$	60 (-2;-6)	60 (-2;-6)
Mur doublé $R_w(C;C_{tr})$	67(-6;-12)	72(-5;-12)
$\Delta (R_w+C)_{directe}$*	(3)	(9)
$\Delta (R_w+C)_{lourd}$*	6	11

(*) Voir Annexe 4 pour l'explicitation de ces indices récents.

Figure 4.1.9 Influence de l'épaisseur du doublage collé en PSEE sur un mur en béton de 160 mm

- Nouveaux indices globaux, quelle influence ?
    - Trois supports types sont définis dans la norme ISO 10140-5 : Mur lourd (béton 160 mm), mur léger et plancher lourd (béton 140 mm). L'indice sera alors le $\Delta(R_w+C)_{lourd/léger}$
    - Pour les autres supports, l'indice utilisé sera le $\Delta(R_w+C)_{directe}$, soit la différence directe entre le R_w+C du mur (ou plancher) doublé et celui du mur (ou plancher) seul.

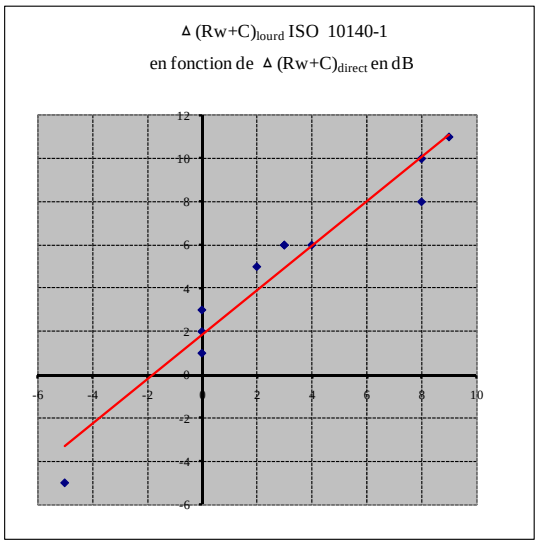


Figure 4.1.10 Impact de l'ISO 10140-1 sur l'expression de l'indice unique :

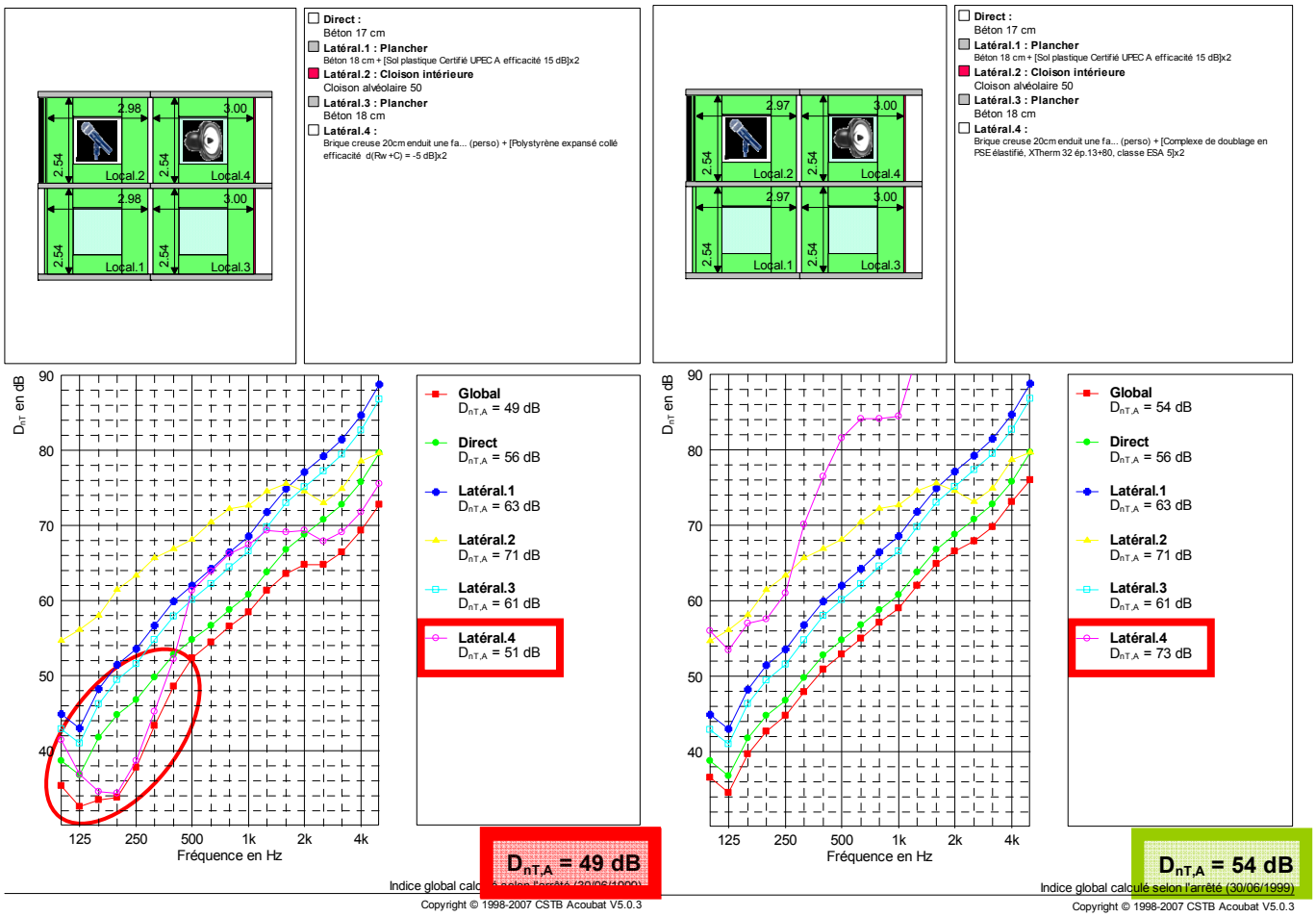
$\Delta(R_w+C)_{lourd}$ / $\Delta(R_w+C)_{directe}$

- Distinction entre un doublage thermique et thermo-acoustique :
    - Thermique : il est caractérisé par un ΔR négatif ou nul sur béton de 160 mm. Il s'agit principalement des doublages collés à base de mousse rigide.
    - Thermo-acoustique : il est caractérisé par un ΔR positif. Il s'agit ici des produits à base de primitif, de laine minérale ou PSEE d'épaisseur généralement supérieure ou égale à 50 mm pour les doublages collés et d'éléments de remplissage poreux suffisamment résistifs (au passage de l'air) et épais pour les doublages sur ossatures.
    - Attention les doublages ayant des primitifs de faible épaisseur (< 50 mm) même en laine minérale ou PSEE ne sont généralement pas considérés comme acoustiques et ils peuvent même dégrader l'indice d'affaiblissement acoustique du mur support. Il existe cependant des systèmes de doublage acoustiques minces de parois qui ont été conçus pour cela, leur apport acoustique reste cependant limité par rapports aux doublages thermo-

acoustiques décrits précédemment, il s'agit d'améliorer une situation existante avec un doublage de faible encombrement. Leurs performances thermiques sont généralement peu élevées. Ils servent surtout pour les séparations entre logements (plafond et mur séparatif).

- Une nouvelle génération de doublages se profile avec des isolants thermiques sous vide, des matériaux à changement de phase, … Nous manquons de recul tant pour les performances acoustiques que thermiques à long terme, et l'aptitude à l'emploi sur ces produits qui ne sont pas encore à un stade d'industrialisation de masse. Mais il y a des chances pour qu'ils soient assez peu favorables à l'acoustique étant donné leur définition actuelle (Faible épaisseur, léger, souvent rigide,…).

- *Performance in situ :* Isolement au bruit aérien $D_{nTA}=D_{nTw}+C$ en dB
  - Niveau réglementaire : 53 dB entre pièces principales de logements, 55 dB entre logement et parking et 58 dB entre logement et local d'activité.
  - Cette performance dépend d'un grand nombre de paramètres et notamment de la transmission directe par le plancher ou le refend, mais on oublie trop souvent le rôle primordial joué par les transmissions latérales. La transmission latérale façade / façade peut être très pénalisante en fonction de la performance du doublage, notamment en pignon de bâtiment en transmission verticale (Cf. Figure 4.1.11). En réhabilitation de logement collectif, le choix d'un doublage thermo-acoustique en façade permet de limiter grandement les risques de dégradation de la performance existante. En neuf, nous verrons par la suite qu'en présence de rupteur il est très souvent nécessaire de faire le même choix, tout comme nombre d'autres configurations.



Doublage de façade $\Delta(R_w+C)_{direct}$=-5dB

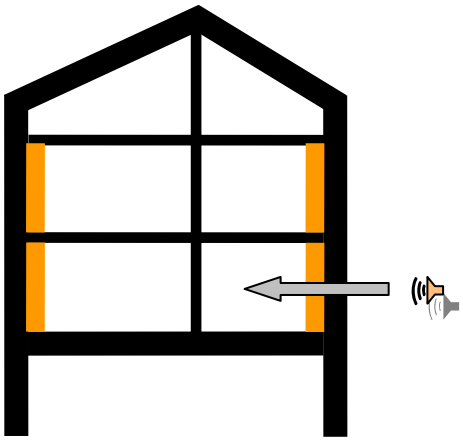
Doublage de façade $\Delta(R_w+C)_{direct}$ =+8dB

(Chemin de transmission « Latéral 4 »)

Figure 4.1.11 Illustration de l'importance de la performance acoustique du doublage en façade sur l'isolement acoustique entre deux logements contigus au même étage (simulations ACOUBAT V6.0).

4.1.3.2 Modification de la transmission directe (Isolement acoustique intérieur / extérieur) :

- *Performance produit :* Efficacité au bruit aérien $\Delta(R_w + C_{tr})$ en dB
  - Les principes de fonctionnement sont identiques à ceux pour le point précédent portant sur la modification de la transmission latérale.
  - Il faut cependant noter que l'indice unique $\Delta(R_w+C_{tr})$ est généralement inférieur au $\Delta(R_w+C)$, dans certains cas le premier pourra être négatif alors que le second sera positif.



- *Performance in situ :* Isolement acoustique de façade $D_{n,T,A,tr}=D_{n,T,w}+C_{tr}$ en dB
  - Niveau réglementaire : 30 dB à 45 dB entre intérieur et extérieur.
  - L'impact de cette dégradation de l'indice d'affaiblissement acoustique du mur doublé sur l'isolement acoustique de façade est généralement négligeable par rapport aux transmissions au travers des éléments faibles (Châssis vitré, coffre de volet roulant et entrées d'air). Cependant, dans des zones de bruits importants (isolement acoustique de façade $D_{n,T,A,tr} \geq$ 37-38 dB), il y a lieu d'être vigilant car la contribution au travers de la paroi opaque deviendra non négligeable. Ceci est d'autant plus vrai que la surface de façade pour une pièce sera importante, par exemple pour les pièces en pignon. Dans l'exemple ci-dessous (Cf. Figure 4.1.12) un doublage thermique sur une façade béton contribue à la transmission aux basses fréquences.

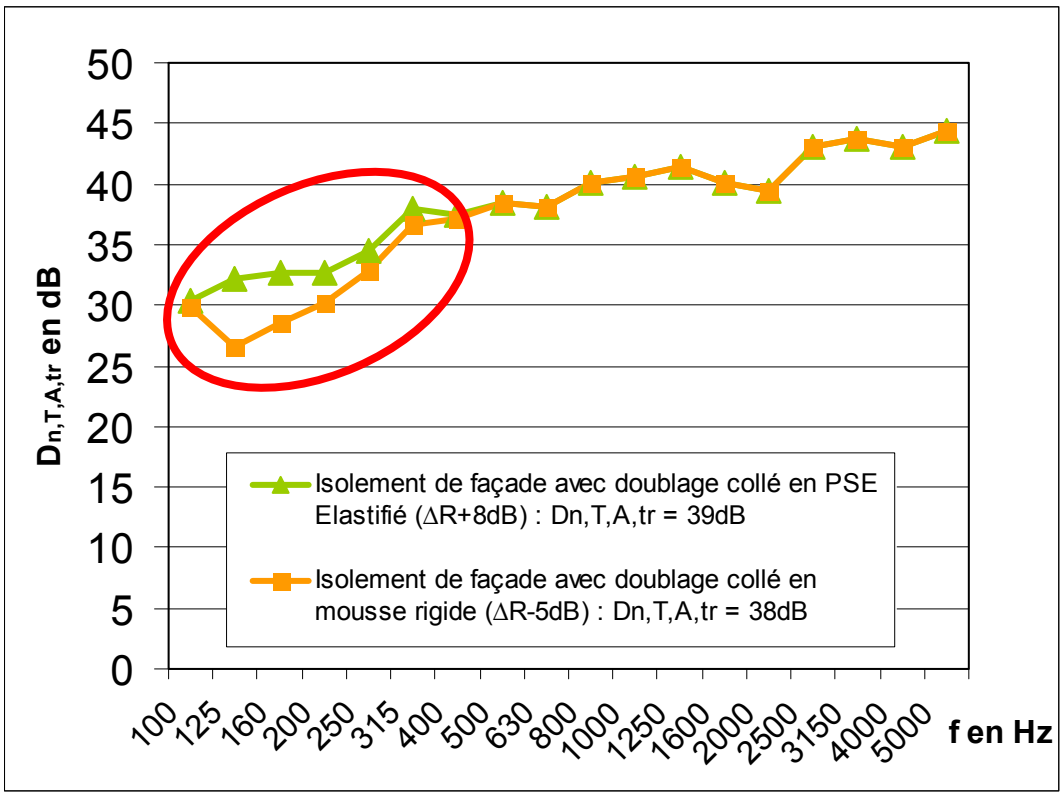
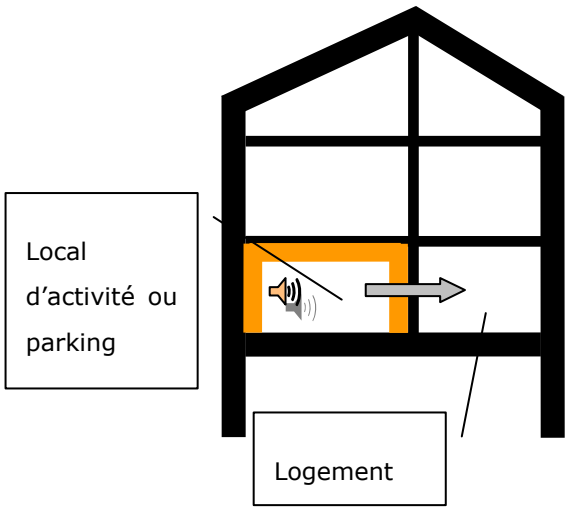


Figure 4.1.12 Impact du type de doublage (Thermique ou Thermo-acoustique) sur l'isolement acoustique de façade d'une pièce de 10 m² en pignon (simulations ACOUBAT V6.0) avec façade en béton de 160 mm

4.1.3.3 Modification de la transmission directe (Isolement acoustique entre locaux) :

- *Performance produit :* Efficacité au bruit aérien $\Delta(R_w + C)$ en dB
  - Les phénomènes physiques en jeux sont les mêmes que pour la modification de l'isolement acoustique direct entre l'intérieur et l'extérieur.



- *Performance in situ :* Isolement au bruit aérien entre pièces $D_{n,T,A}=D_{n,T,w}+C$ en dB
  - Niveau réglementaire : 55 dB entre pièce principale de logement et parking ; 58 dB entre pièce principale de logement et local d'activité.

- L'utilisation de doublage thermo-acoustique efficace, est généralement nécessaire dans cette configuration.

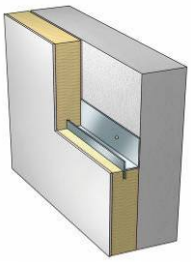
- **Référence :**
  - L'ensemble des données présentées dans les figures 4.1.1 à 10 sont issues de la base de données du logiciel d'ACOUBAT V6.0.

4.2 Système d'isolation thermique rapportée par l'extérieur (ITE)

Marché : neuf : notamment en bardages de bâtiments tertiaires mais une part de marché en croissance dans le secteur résidentiel. Ancien : Rénovation des bâtiments collectifs sans avoir à reloger les occupants.

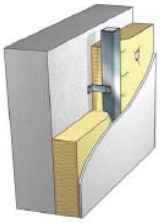
4.2.1 Description succincte des systèmes rencontrés et de leur environnement technique

4.2.1.1 ETICS : Système d'isolation thermique par l'extérieur enduit :



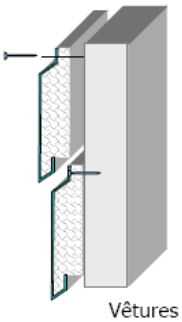
- Composition : Primitif isolant thermique (PSE, PU, XPS, laine de roche),…) collé ou fixé mécaniquement sur le mur support puis enduit.
- Pose : Collé ou fixé mécaniquement
- Texte de référence : ETAG 004 ; ATec

4.2.1.2 Vêture / Bardage / Vêtage :



Bardages

- Composition : isolant thermique (laine minérale, PSEE, mousses rigides de types PSE, PU ou XPS,…) sur parement extérieur rigide, le tout fixé mécaniquement sur le mur support
- Pose : Fixé mécaniquement
- Texte de référence : ETAG 17 ; ATec



Vêtures

4.2.2 Performance Thermique

- La performance thermique des murs isolés thermiquement par l'extérieur dépend de la résistance thermique effective de l'isolant thermique après déduction de l'impact des ponts thermiques intégrés.
- Contrairement à l'isolation thermique par l'intérieur, certaines techniques d'isolation thermique par l'extérieur, comportent d'importants ponts thermiques intégrés. Les techniques concernées intègrent généralement des fixations métalliques qui transpercent la couche d'isolant thermique. On cite notamment les bardages, les vêtures, vêtages et les ETICS chevillés. Pour ces systèmes les ponts thermiques intégrés pourraient doubler les transmissions énergétiques à travers la paroi.

- En revanche, pour les ETICS collés ou fixés sur rail PVC, l'impact des ponts thermiques intégrés peut être négligé.

Technique d'isolation thermique par l'extérieur	Dégradation de l'isolation thermique
ETICS collés, fixés sur PVC ou chevillés (tiges plastiques)	négligeable
ETICS chevillés (tiges métalliques, densité= 8 /m²)	5% si tige en inox 15 à 30 % si tige en acier galvanisé
Bardages	<u>Ossature bois :</u> 10 à 15 % si équerre en acier galvanisé 20 à 35 % si équerre en aluminium <u>Ossature métallique :</u> 15 à 20 % si équerre en acier galvanisé 30 à 60 % si équerre en aluminium
Vêtures, vêtages	15 à 30 % environ liés notamment aux fixations ponctuelles à travers l'isolant thermique

Tableau 4.2.1 Impact des ponts thermiques intégrés sur un ITE

Avec le Grenelle et la RT2012 on s'oriente vers une utilisation d'isolants thermiques de plus faible conductivité thermique ou/et en plus forte épaisseur. Dans ce dernier cas il est très probable que la densité des fixations augmente et par conséquence l'impact des ponts thermiques intégrés.

L'isolation thermique par l'extérieur a tout à fait sa place aussi bien dans la rénovation des bâtiments existants que dans la construction des bâtiments neufs. Elle permet en effet, un traitement efficace des ponts thermiques des liaisons les plus courants (façade/planchers courants et façade/refends). Les autres ponts thermiques (encadrement des baies, façade/plancher bas, balcons, acrotère) nécessitent un traitement spécifique.

L'isolation thermique par l'extérieur ne masque pas l'inertie du mur support qui contribue ainsi, selon sa nature et sa surface d'échange avec l'ambiance intérieure, au stockage –déstockage de l'énergie été comme hiver. Il en résulte un effet bénéfique sur la consommation d'énergie et le confort d'été.

4.2.3 Leurs effets sur l'acoustique

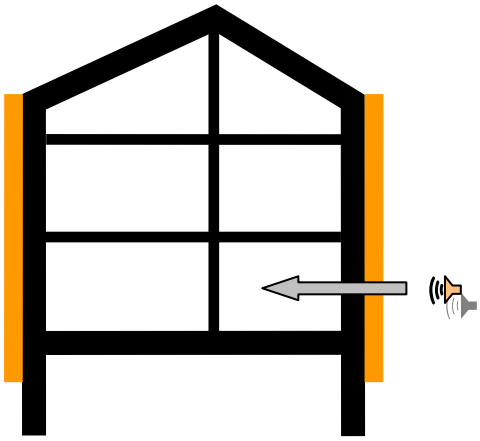
Contrairement à l'ITI, l'ITE n'impacte physiquement que l'isolement acoustique entre l'intérieur et l'extérieur du logement. Cependant, nous allons vous montrer que ces procédés impactent indirectement l'isolement acoustique entre logements.

Les propos sont illustrés par des exemples qui ne pourront être pris comme des généralités. De plus, nous n'avons pas la prétention d'avoir été exhaustifs dans les systèmes décrits.

4.2.3.1 Modification de la transmission directe (Isolement acoustique intérieur / extérieur) :

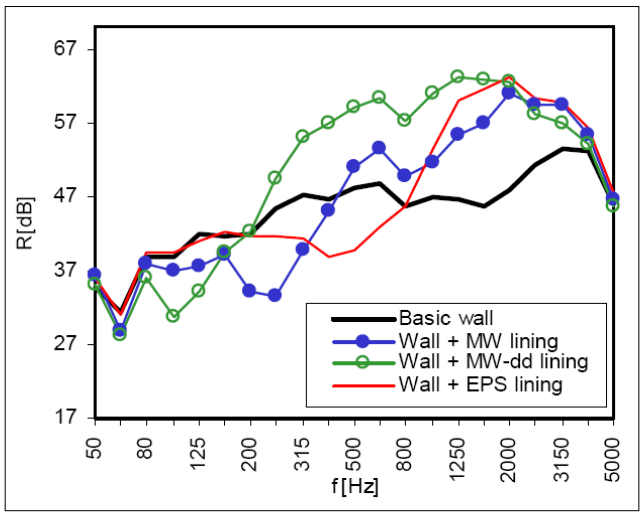
- *Performance du produit :* Efficacité au bruit aérien $\Delta(R_w + C_{tr})$ en dB

L'approche et les phénomènes physiques sont assez proches de ceux d'un doublage par l'intérieur. Cependant les systèmes étant relativement différents, leur comportement acoustique le sera aussi. Attention aussi à certains interfaces avec les fenêtres ou les entrées d'air murales par exemple qui ne sont plus tout à fait les mêmes que dans une isolation thermique par l'intérieur.



Très peu de données de performances de produits ou de systèmes sont disponibles sur le marché Français.

On peut cependant voir sur les trois exemples (Figure 4.2.1, Figure 4.2.2 et Figure 4.2.3) issus de publications scientifiques récentes, que certains systèmes peuvent dégrader sensiblement la performance de leur mur support. D'autres systèmes permettent cependant une amélioration de l'indice d'affaiblissement acoustique. Comme pour les ITI, on constate l'impact des murs supports sur la performance des ITE (Figure 4.2.1 et Figure 4.2.2).



Lining	f_0 Hz	$\Delta R_{w,direct}$ dB	$\Delta(R_w+C)_{direct}$ dB	$\Delta(R_w+C_{tr})_{direct}$ dB
EPS	400	0	-1	-1
MW	250	2	0	-2
MW-dd	100	8	6	2

Table 6 Single number quantities for different linings applied to hollowed ceramics wall, results of test.

Fig. 6 Results of laboratory tests, hollow ceramics wall with linings made of EPS, mineral wool (MW) and soft mineral wool (MW-dd).

Figure 4.2.1 : Exemple de comportement d'ITE sur un mur en briques creuses de 380 mm avec enduit intérieur (Source : J. Nurzinsky ; ITB Pologne ; Acoustics'08)

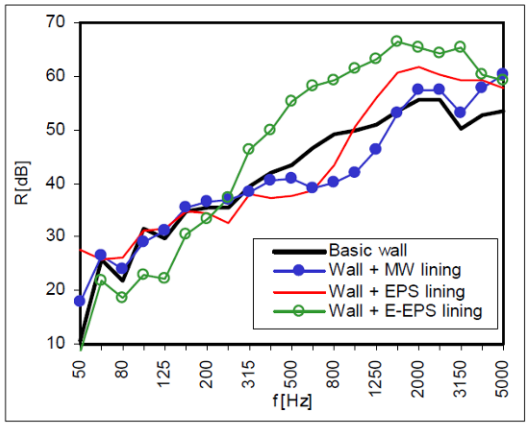
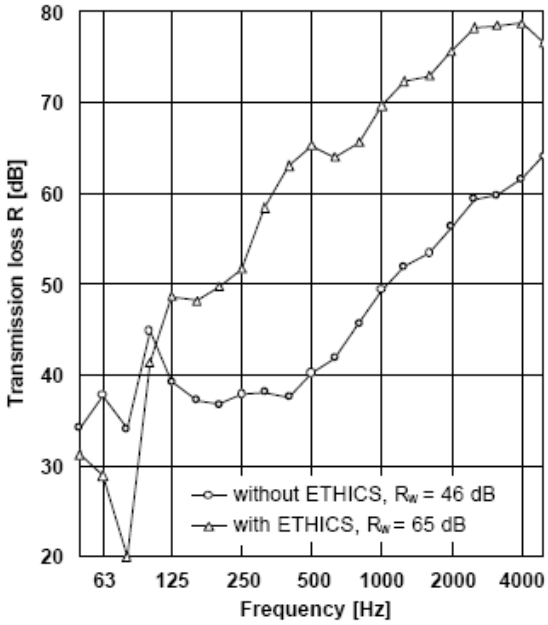


Fig. 5 Results of laboratory tests, cellular concrete wall with linings made of EPS, E-EPS and mineral wool (MW).

Lining	f_0 Hz	$\Delta R_{w,direct}$ dB	$\Delta(R_w+C)_{direct}$ dB	$\Delta(R_w+C_{tr})_{direct}$ dB
EPS	630	-4	-3	-2
E-EPS	80	0	-1	-5
MW	800	-4	-3	-3

Table 5 Single number quantities for different linings applied to cellular concrete wall, results of measurements.

Figure 4.2.2 : Exemple de comportement d'ITE sur un mur en béton cellulaire de 250 mm avec enduit intérieur (Source : J. Nurzinsky ; ITB Pologne ; Acoustics'08)



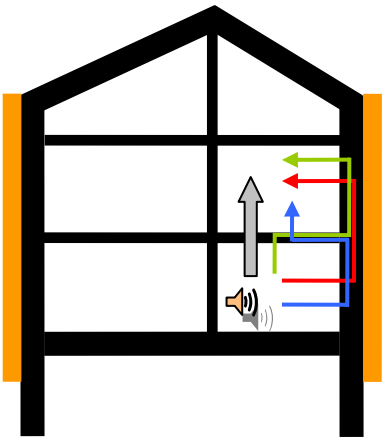
Transmission loss of wall 1a (see Tab. 2) with and without ETHICS.

Figure 4.2.3 : Exemple de comportement d'ITE sur un mur en briques pleines de 115 mm sans enduit intérieur (Source : "Influence of Wall Construction on the Acoustical Behaviour of ETHICS"; L. Weber, Y. Zhang, D. Brandstetter ; Fraunhofer Institute of Building Physics (IBP), Stuttgart)

- *Performance in situ :* Isolement acoustique de façade $D_{n,T,A,tr}=D_{n,T,w}+C_{tr}$ en dB
  - Les phénomènes et les conclusions sont identiques à celles des doublages par l'intérieur.

4.2.3.2 <u>Modification des transmissions latérales (Isolement acoustique entre locaux) :</u>

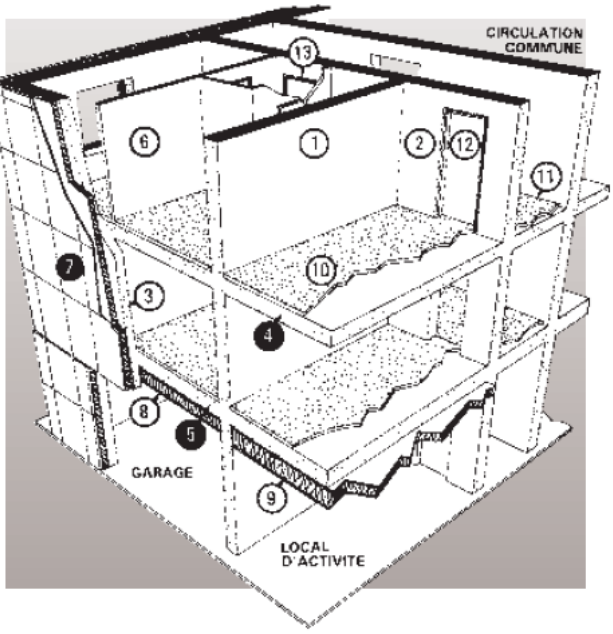
- *Performance du produit :* Non pertinent
- *Performance in situ :* Isolement au bruit aérien entre pièce $D_{n,T,A}=D_{n,T,w}+C$ en dB
  - Les exigences sont les mêmes que pour l'ITI
  - Le doublage par l'extérieur n'a pas d'influence sur la transmission latérale de façade. C'est, selon le cas de figure, un point positif ou négatif. En réhabilitation, il n'y aura pas de dégradation de la performance existante contrairement à certains doublages thermiques par l'intérieur, par contre il n'y aura pas non plus



d'amélioration possible contrairement à certains doublages thermo-acoustiques par l'intérieur. En neuf, certaines façades (briques creuses ou béton cellulaire par exemple) ont des transmissions latérales assez pénalisantes qu'il faut diminuer. Pour cela on utilise généralement un doublage thermo-acoustique par l'intérieur, ce qui fait alors doublon avec le doublage par l'extérieur. On peut ainsi voir, dans l'extrait ci-dessous (Figure 4.2.4) des « Exemples de Solutions Acoustiques » publiés par la DGUHC en 2002, qu'il n'existe pas de solution standard avec une isolation thermique par l'extérieur pour une façade en briques creuses ou en béton cellulaire de 200 mm. Sur ce même extrait on peut aussi voir qu'il est dans tous les cas, nécessaire de sur-dimensionner les dalles de plancher (200 mm de béton au lieu des 180 mm standard).

I
1

Solution 3 : isolation extérieure de façade ou isolation thermique répartie



❹ ❺ ❼ modifiés par rapport à la solution de base

① ②
Refends (plus doublage ESA 4 ou contre-cloison ESA 4 si nécessaire en thermique) :
- Béton 18 cm
- Blocs de béton NF pleins perforés 20 cm enduits
- Briques pleines de 22 cm apparentes ou enduites.

③ ❼
Façade avec doublage extérieur indifférent :
- Béton 16 cm
- Blocs de béton NF pleins perforés 20 cm enduits côté intérieur
- Briques perforées en terre cuite de 22 cm apparentes ou enduites.

Ou façade avec isolation thermique répartie
- Béton cellulaire de 30 cm (400 kg/m³)

❹ Dalle de béton 20 cm
❺ Dalle de béton 22 cm
⑥ Cloison ESA 4
⑧ Plafond ESA 4
⑨ Plafond ESA 5
⑩ Revêtement de sol ESA 3 ou chape flottante ESA 3 et revêtement de sol indifférent
⑪ Revêtement de sol ESA 2
⑫ Porte-palière ESA 4
⑬ Entrée avec sas et porte-palière ESA 3

Figure 4.2.4 Extrait des Exemples de Solutions Acoustiques (DGUHC - 2002)

- ***Références :***
  - L. Weber, Y. Zhang, D. Brandstetter (IBP – Germany) "*Influence of Wall Construction on the Acoustical Behaviour of ETHICS*"
  - J. Nurzinsky (ITB - Pologne), "*The effect of additional thermal lining on the acoustic performance of a wall*", Acoustics'08, Paris, France, 2008

4.3 Système constructif à isolation thermique répartie (ITR)

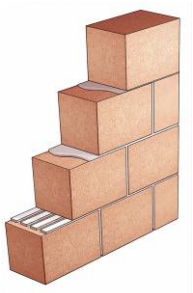
Marché : neuf notamment en maison individuelle et en petit collectif.

4.3.1 Description succincte des systèmes rencontrés et de leur environnement technique

Il existe d'autres types de maçonneries isolantes thermiquement que celles qui sont présentées ci-dessous, mais les volumes sont à ce jour marginaux et les données acoustiques inexistantes (pierre ponce, briques creuses avec remplissage des alvéoles par des mousses rigides,…).

4.3.1.1 Monomur en terre cuite :

- Épaisseur entre 300 mm et 500 mm à ce jour
- Masse entre 250 kg/m² et 400 kg/m²
- Mise en œuvre généralement avec des joints minces (pour des raisons thermiques), le passage des planchers et des refends nécessite une attention toute particulière, notamment en collectif, en raison de l'encastrement nécessaire des 2/3 de l'épaisseur du mur ainsi que la mise en place d'une bande d'isolant thermique (laine minérale en nez en cas d'exigence acoustique) de dalle et de refend.
- Texte de référence : Sous ATec



4.3.1.2 Monomur en béton cellulaire :

- Épaisseur entre 300 mm et 500 mm à ce jour
  - Masse entre 300 kg/m3 et 500 kg/m3
  - Mise en œuvre avec des joints minces (pour des raisons thermiques), le passage des planchers et des refends nécessite une attention toute particulière, notamment en collectif, en raison de l'encastrement nécessaire des 2/3 de l'épaisseur du mur ainsi que la mise en place d'une bande de d'isolant thermique (laine minérale en nez en cas d'exigence acoustique) en nez de dalle et de refend.
- Texte de référence : Sous ATec

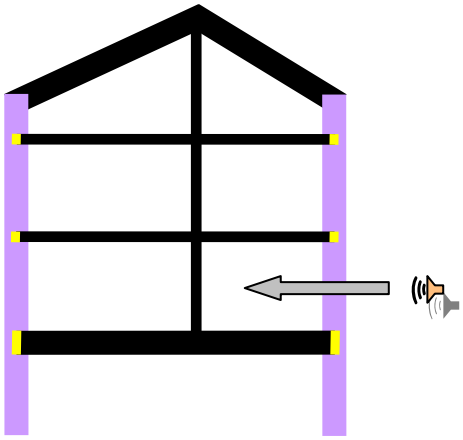
4.3.2 Performance thermique

- La performance thermique des murs à isolation thermique répartie dépend essentiellement de la résistance thermique des blocs ou briques ainsi que de l'épaisseur et de la nature du joint utilisé. Pour les briques en terre cuite, la résistance thermique est fortement liée à la conductivité thermique du tesson mais aussi à la configuration géométrique des cloisons et des cavités d'air.
- Les ponts thermiques intégrés sont dus à la présence des joints entre éléments. Pour les minimiser certains produits subissent une rectification (notamment toutes les briques monomur en terre cuite) des surfaces de pose afin de permettre le remplacement du joint traditionnel de 1 à 1,5 cm d'épaisseur par un joint mince d'un millimètre environ. Ce joint mince nécessite bien évidemment un montage soigné et bien précis à réaliser forcément par des professionnels spécialisés. L'amélioration des performances thermiques qui en résulte varie de 20 % à 50%.
- Avec le Grenelle et la RT2012 on s'oriente vers des niveaux de résistance thermique plus élevés et donc très probablement une augmentation de l'épaisseur des blocs avec ou sans intégration d'isolant thermique dans l'épaisseur.
- Le point fort de l'isolation thermique répartie reste la possibilité de traiter les ponts thermiques dans l'épaisseur du mur. En effet, compte tenu de la forte épaisseur du mur épaisseur (> à 250 mm et allant jusqu'au 500 mm), l'isolation thermique répartie permet d'interposer entre le nez de plancher et la planelle, quelques centimètres d'isolant thermique traditionnel. La valeur du pont thermique qui en résulte ne représente ainsi que 20 % environ de la valeur correspondant à une liaison courante non traitée entre un plancher lourd et un mur isolé par l'intérieur.
- L'isolation thermique répartie ne masque pas l'inertie du mur support qui contribue ainsi, selon sa nature et sa surface d'échange avec l'ambiance intérieure, au stockage – déstockage de l'énergie été comme hiver. Il en résulte un effet bénéfique sur la consommation d'énergie et le confort d'été.

4.3.3 Leurs effets sur l'acoustique

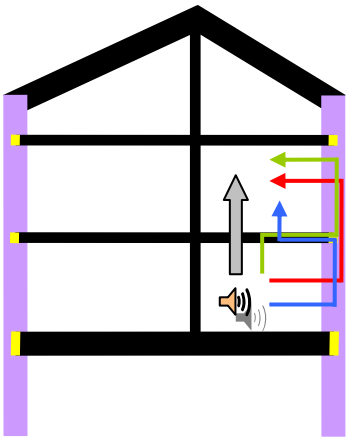
Les propos sont illustrés par des exemples qui ne pourront être pris comme des généralités. De plus, nous n'avons pas la prétention d'avoir été exhaustifs dans les systèmes décrits.

4.3.3.1 Impact sur la transmission directe (Isolement acoustique entre l'intérieur et l'extérieur) :



- *Performance produit :* Indice d'affaiblissement acoustique $R_{A,tr}$ = R_w+C_{tr} en dB
  - Pour les produits homogènes (béton cellulaire notamment) elle dépend principalement de la masse, du module d'élasticité, du facteur de perte et de l'épaisseur.
  - Le comportement acoustique des monomurs en terre cuite est assez difficile à prévoir car on est en présence de corps creux avec des parois légères, rigides et peu amorties. La loi de masse ne s'applique plus du tout dans ces conditions. Une thèse est actuellement en cours au CTMNC (en collaboration avec le CSTB) sur ce sujet ainsi que des investigations à l'aide de méthode éléments finis (au CSTB).
  - Ces systèmes ont des indices d'affaiblissement acoustique R_w+C_{tr} typiquement compris entre 38 et 45 dB.
- *Performance in situ :* Isolement acoustique de façade $D_{n,T,Atr}$=$D_{n,T,w}$+C_{tr} en dB
  - Niveau réglementaire : 30 dB à 45 dB entre intérieur et extérieur.
  - Cette performance dépend d'un grand nombre de paramètres et principalement de la performance du châssis vitré, de l'entrée d'air et du coffre de volet roulant. Cependant l'indice d'affaiblissement acoustique de ces systèmes n'étant pas très élevé (R_w+C_{tr} entre 38 et 45 dB), il est nécessaire de prendre en compte la performance de ceux-ci quand on recherche des isolements acoustiques de façade supérieurs à 30 dB. Ceci est d'autant plus important que la surface de façade est importante par rapport au volume de la pièce, c'est le cas par exemple des pièces en pignon.

4.3.3.2 Modification des transmissions latérales (Isolement acoustique entre locaux) :



- *Performance du produit :* K_{ij} (et R_w(C ;C_{tr}) voir paragraphe précédant)
  - L'évaluation de cette performance se fait suivant la norme : NF EN ISO 10848-4.
  - Elle dépend de la nature et de l'épaisseur du plancher ou du refend, de la profondeur de l'encastrement, de l'épaisseur du mur…
- *Performance in situ :* Isolement au bruit aérien $D_{n,T,A}$=$D_{n,T,w}$+C en dB

- Niveau réglementaire (Bâtiment d'habitation) :
  - 53 dB entre pièces principales de deux logements différents,
  - 55 dB entre pièce principale de logement et parking ;
  - 58 dB entre pièce principale de logement et local d'activité.
- Cette performance dépend d'un grand nombre de paramètres et notamment de la transmission directe par le plancher ou le refend, mais aussi de ses transmissions latérales. Les murs à isolation thermique répartie ont tendance à favoriser la transmission latérale façade/façade. Seules quelques configurations bien étudiées permettent de répondre aux exigences de logements collectifs (53 dB uniquement). Les isolements acoustiques entre pièces superposées en pignon sont encore plus sensibles (il n'y a quasiment pas de solution standard à ce jour sauf entre cuisine ou pièces d'eau). Il est très compliqué d'envisager ces systèmes pour des isolements acoustiques supérieurs (55 et 58 dB). Ceci est lié à un couple de facteurs : faiblesse de l'indice d'affaiblissement acoustique des monomurs et K_{ij} défavorables dans la transmission façade/façade. Certaines dispositions de mise en œuvre (jonction avec la dalle ou avec le refend) peuvent limiter les problèmes de transmission latérale.

Voici par exemple la méthode de prise en compte des ITR par QUALITEL. Figure 4.3.1 pour les ITR en blocs de béton cellulaire et Figure 4.3.2 pour ceux en briques creuses.

B/ Façade à isolation répartie (sans doublage thermique intérieur) en blocs de béton cellulaire

DnT,A = 53 dB avec façade à isolation répartie (sans doublage thermique intérieur) en blocs de béton cellulaire (1)

façade en blocs de béton cellulaire (BCA)	épaisseur des blocs BCA en façade (2)	
	30 cm	36,5 cm
enduit intérieur sur les blocs BCA en façade	enduit plâtre (ou pelliculaire) avec primaire spécifique pour blocs BCA (3).	enduit plâtre (ou pelliculaire) avec primaire spécifique pour blocs BCA (3).
planchers séparatifs	béton de 22 cm minimum.	béton de 20 cm minimum
longueur d'encastrement des planchers séparatifs dans la façade	20 cm + mise en œuvre d'un résilient en laine minérale de 2 cm en about de plancher	24,5 cm + mise en œuvre d'un résilient en laine minérale de 2 cm en about de plancher
murs séparatifs	béton de 20 cm minimum.	
longueur d'encastrement des murs séparatifs dans la façade	3 à 5 cm + mise en œuvre d'un résilient en laine minérale de 2 cm en about de mur	
cloisons de distribution	de type alvéolaire ou plaques de plâtre sur ossature métallique.	
essais acoustiques en fin de chantier	il devra être stipulé dans les pièces écrites que des mesures acoustiques pour des cas représentatifs de configurations défavorables en transmission horizontale et verticale seront réalisées en fin de chantier, de façon que toute insuffisance d'isolement constatée puisse conduire à terme à la mise en conformité de la réalisation avec l'exigence acoustique. En bâtiment collectif, des essais en transmission verticale au bruit aérien pour des locaux situés en angle de bâtiment doivent systématiquement être réalisés.	

(1) Les dispositions présentées dans ce tableau sont valables uniquement pour des isolements acoustiques standardisés inférieurs ou égaux à 53 dB.
(2) Il n'existe pas de solution acceptée par CERQUAL pour des blocs BCA d'épaisseur inférieure à 30 cm.
(3) Les plaques de plâtre collées par plots ne sont pas acceptées.

Figure 4.3.1 Prise en compte d'ITR en blocs de béton cellulaire par QUALITEL (Extrait du référentiel QUALITEL 2008)

En présence de façade à isolation répartie (sans doublage thermique intérieur) en briques creuses, les dispositions correspondant à la méthode d'évaluation par tableaux de résultats forfaitisés et à la méthode d'évaluation par le calcul ne s'appliquent pas. Dans ce cas, on se reporte soit aux solutions techniques descriptives présentées ci-dessous, soit à des résultats d'essais acoustiques dont les conditions expérimentales sont utilisables pour le cas étudié. Dans les autres cas, il y a lieu de se rapprocher de CERQUAL pour connaître les dispositions d'évaluation.

On examine ensuite une ou plusieurs transmissions parasites selon les dispositions constructives rencontrées. Celles-ci peuvent éventuellement modifier l'évaluation, si les prestations mises en œuvre ne permettent pas de conserver la valeur d'isolement déjà atteinte (cf. § « Transmissions parasites » à la page AI-28 du référentiel Qualitel et/ou H&E millésime 2008).

DnT,A = 53 dB avec façade à isolation répartie (sans doublage thermique intérieur) en briques creuses (1)

épaisseur des briques creuses en façade	30 cm minimum (2).
enduit intérieur sur les briques creuses en façade	plâtre 12 mm minimum (3).
longueur d'encastrement des planchers dans la façade	conforme au minimum DTU 20.1
longueur d'encastrement des murs séparatifs dans la façade	jonction par pénétration toute hauteur sur au moins 16 cm de profondeur, avec un isolant en laine de roche de 40cm devant le séparatif, soit une réservation totale minimum de 20 cm. Rebouchage préalable de la jonction au mortier avant application de l'enduit.
planchers séparatifs	béton de 20 cm minimum.
murs séparatifs	béton de 20 cm minimum.
cloisons de distribution	de type alvéolaire ou plaques de plâtre sur ossature métallique.
essais acoustiques en fin de chantier	il devra être stipulé dans les pièces écrites que des mesures acoustiques pour des cas représentatifs de configurations défavorables en transmission horizontale et verticale seront réalisées en fin de chantier, de façon que toute insuffisance d'isolement constatée puisse conduire à terme à la mise en conformité de la réalisation avec l'exigence acoustique. En bâtiment collectif, des essais en transmission verticale au bruit aérien pour des locaux situés en angle de bâtiment doivent systématiquement être réalisés.

(1) Les dispositions présentées dans ce tableau sont valables uniquement pour des isolements acoustiques standardisés inférieurs ou égaux à 53 dB.
(2) Il n'existe pas de solution acceptée par CERQUAL pour des briques creuses d'épaisseur inférieure à 30 cm.
(3) Les plaques de plâtre collées par plots ne sont pas acceptées.

Figure 4.3.2 Prise en compte d'ITR en briques creuses par QUALITEL (Extrait FIC 2009-A112 de QUALITEL)

Nous pouvons noter ici la nécessité de faire très attention à l'environnement constructif, plancher et refend en béton plutôt surdimensionné (200 mm minimum) par rapport à ce qui se fait classiquement (180 mm) et mise en œuvre précise, notamment au niveau de l'encastrement. Ce dernier point est en effet assez délicat en termes de mise en œuvre, il faut aussi faire attention à la compatibilité de cet encastrement avec les autres règles de constructions, notamment en ce qui concerne les règles parasismiques. De plus, ces solutions étant acceptées en collectif par QUALITEL depuis peu de temps et sans marge de manœuvre, ces derniers ont mis sous surveillance ces technologies en demandant des essais systématiques en fin de chantier. Ceci permettra un retour d'expérience important.

4.4 Rupteur de pont thermique

Marché : neuf notamment en bâtiments résidentiel (MI et collectif)

4.4.1 Description succincte des systèmes rencontrés et de leur environnement technique

- Il existe de nombreux procédés de rupteurs de ponts thermiques. Ils sont situés à l'interface entre une paroi froide (façade généralement) et une paroi chaude (refend ou plancher entre locaux chauffés). Cette technique est principalement

utilisée dans des bâtiments isolés par l'intérieur. Il en existe aussi pour des systèmes d'isolation thermique par l'extérieur au niveau des balcons par exemple. Ces produits sont des compromis, thermique, feux, mécanique et acoustique, seuls quelques procédés en logements collectifs et un peu plus pour les maisons individuelles, sont à ce jour sous avis technique valides en France métropolitaine.

- Le principe consiste à insérer un isolant thermique sur toute ou une partie de la section de la dalle (ou du refend) au niveau de sa jonction avec la façade.

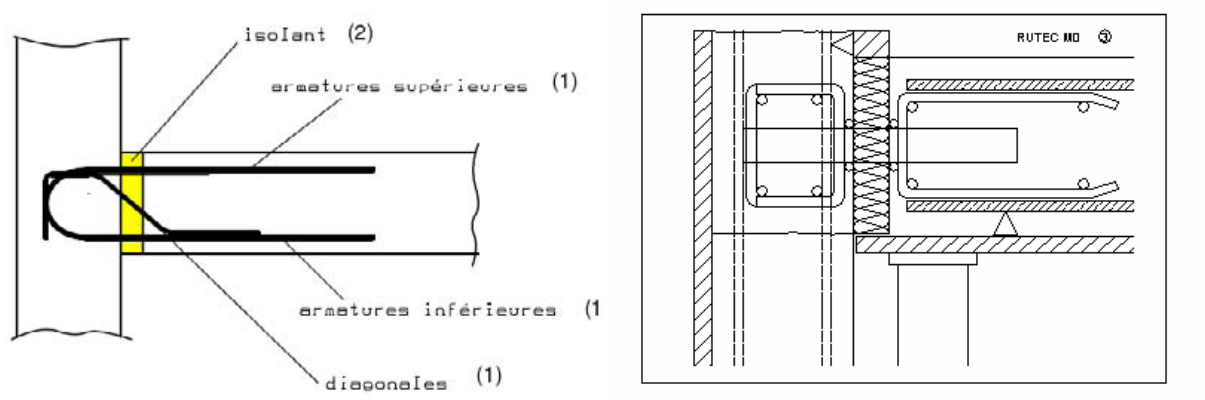


Figure 4.4.1 : Exemples de rupteurs thermiques sous Avis Technique

- Texte de référence : Relève de la procédure d'Avis Technique

4.4.2 Performance thermique

La performance thermique des rupteurs dépend essentiellement de la résistance thermique du matériau isolant thermique, mesurée dans le sens du flux thermique. Elle dépend également de la présence d'autres matériaux de plus forte conductivité thermique et qui sont intégrés aux rupteurs pour des raisons le plus souvent liées à la résistance mécanique et à la sécurité au feu (métal, béton, ..). Généralement les déperditions par transmission thermique à travers une liaison équipée de rupteurs de ponts thermiques, sont réduites de 60 à 80 % par rapport à la même liaison non équipée de rupteur.
L'autre avantage des rupteurs est la limitation des risques de condensation superficielle sur les surfaces intérieures des locaux. Cependant le risque de condensation dans la masse derrière le rupteur pourrait être accentué et nécessite ainsi une étude spécifique pour être évalué.

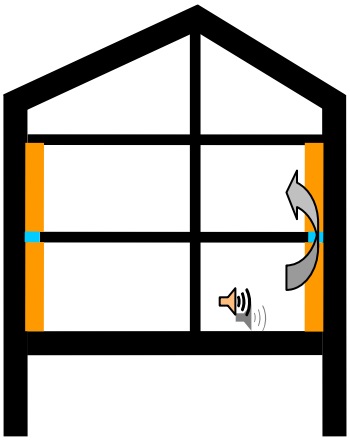
La RT2012 fixe comme objectif la réduction de l'impact des ponts thermiques au travers d'une exigence minimale prévue dans la réglementation. Les rupteurs permettent très probablement de répondre à cet objectif. Cependant leur domaine d'utilisation reste pour l'instant limité, pour la grande majorité des rupteurs, aux zones de faible sismicité et aux bâtiments comportant moins de 8 étages environ.

Enfin et en dehors de l'aspect thermique, un rupteur doit impérativement être conçu comme une partie intégrante de la structure du bâtiment vis à vis des sollicitations mécaniques et de la sécurité au feu.

4.4.3 Leurs effets sur l'acoustique

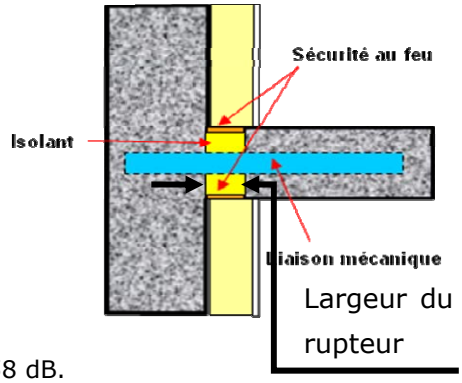
Les propos sont illustrés par des exemples qui ne pourront être pris comme des généralités. De plus, nous n'avons pas la prétention d'avoir été exhaustifs dans les systèmes décrits.

4.4.3.1 Modification de la transmission directe (Isolement acoustique entre locaux) :



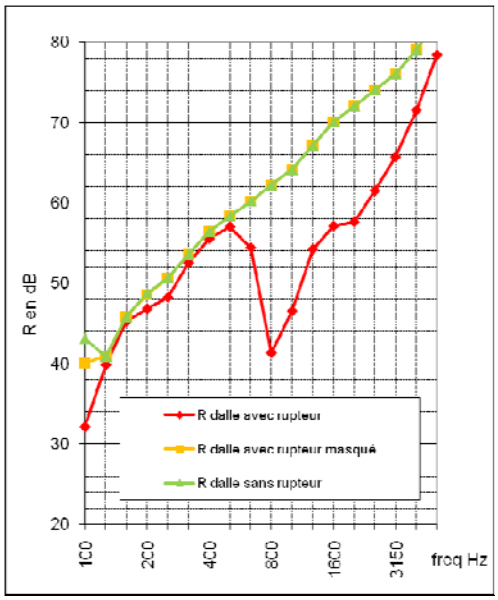
Introduction d'une faiblesse dans l'isolement acoustique direct au travers du plancher ou du refend.

- *Performance produit :* $D_{n,e,w}$ + C en dB
- *Performance in situ :* Isolement acoustique intérieur au bruit aérien $D_{n,T,A}=D_{n,T,w}+C$ en dB
  - Quand la largeur du rupteur de pont thermique est inférieure à l'épaisseur du doublage utilisé, et que ce dernier est un thermo-acoustique, cette faiblesse n'impacte pas sur l'isolement acoustique direct à condition que l'indice $D_{n,e,w}$ + C du rupteur masqué par le doublage soit égal ou supérieur à 58 dB.



  - Ce point fait systématiquement l'objet d'investigation lors de l'étude acoustique nécessaire à toute demande d'avis technique pour des rupteurs de ponts thermiques destinés aux bâtiments collectifs ;

Comparaison d'indices R de plancher béton de 180 mm sans rupteur, avec rupteur et avec rupteur et masquage par un doublage thermo-acoustique.



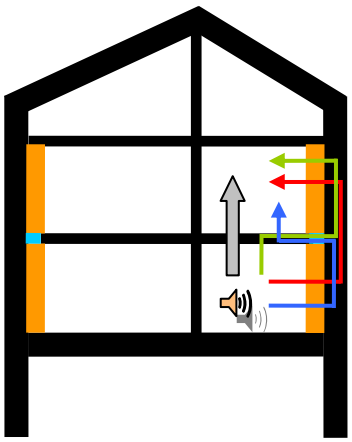
Le rupteur proposé dans cet exemple est composé d'un isolant en laine minérale sans parement ; son indice d'isolement D_{ne} a été mesuré en laboratoire. Le doublage masquant le rupteur est un doublage collé en laine minérale + plaque de plâtre (10+80).

Les résultats exprimés en indice unique R_w+C sont les suivants :

Dalle sans rupteur : 60 dB

Figure 4.4.2 Exemple de la prise en compte de l'impact du $D_{n,e}$ d'un rupteur sur l'indice d'affaiblissement acoustique du plancher.

4.4.3.2 Modification des transmissions latérales (Isolement acoustique entre locaux) :



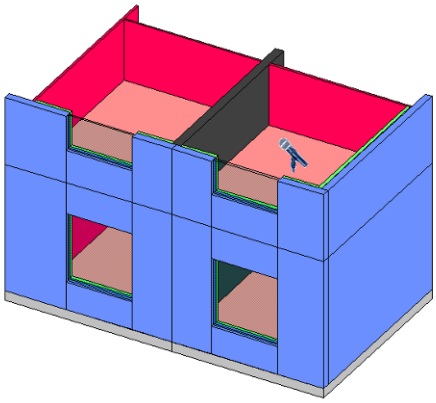
- *Performance du produit :* Indice d'affaiblissement vibratoire de jonction, K_{ij} en dB
  - L'évaluation de cette performance se fait suivant la norme : pr EN ISO 10848 - 4
  - Ces systèmes ont tendance à limiter les transmissions latérales façade / plancher (ou refend) et plancher (ou refend) / façade, mais aussi à renforcer fortement celle façade / façade.

- *Performance in situ :* Isolement acoustique intérieur au bruit aérien $D_{n,T,A}$=$D_{n,T,w}$+C en dB
  - Il faut être très vigilant sur le choix du doublage intérieur en cas d'utilisation de rupteur thermique. En effet il est fortement conseillé d'utiliser des doublages thermo-acoustiques, car dans le cas contraire vous auriez une transmission latérale façade/façade qui

serait triplement renforcée (deux fois par les doublages (émission et réception) et une fois par le rupteur).

- Dans le cas courant de paroi de façade de 160 mm de béton, et si le local est en pignon (présence de deux façades), soit des doublages améliorés d'efficacité $\Delta(R_w+C)_{lourd}$ supérieure ou égale à 7 dB (Voir Annexe 4 pour l'explicitation de ces indices récents) doivent être utilisés, soit le séparatif lourd concerné doit être épaissi (200 mm de béton au lieu de 180 mm, solution sans marge de manœuvre).

Comparaison d'isolements $D_{n,T,A}$ calculés avec le logiciel ACOUBAT de configurations de locaux courants (une façade) ou en pignon (2 façades) avec et sans rupteur et avec un doublage thermique ou un doublage thermo acoustique ; **modifications des transmissions latérales seules**.



Configuration de base :

- refends et dalles de 180 mm de béton
- façade de 160 mm de béton avec doublages intérieurs
- cloisons alvéolaires

Local courant (une façade)	Doublage thermique ($\Delta(R_w+C)_{lourd}$ ≥-1 dB)*		Doublage thermo acoustique ($\Delta(R_w+C)_{lourd}$ ≥ 3 dB)*	
	Sans rupteur	Avec rupteur	Sans rupteur	Avec rupteur
Isolement $D_{n,T,A}$	52,1 dB	50,3 dB	54,2 dB	53,7 dB

Local en pignon (deux façades)	Doublage thermique ($\Delta(R_w+C)_{lourd}$ ≥-1 dB)*		Doublage thermo acoustique ($\Delta(R_w+C)_{lourd}$ ≥ 3 dB)*	
	Sans rupteur	Avec rupteur	Sans rupteur	Avec rupteur
Isolement $D_{n,T,A}$	50,2 dB	47,3 dB	53,3 dB	52,1 dB

Local en pignon (deux façades)	Doublage thermo acoustique amélioré ($\Delta(R_w+C)_{lourd}$ ≥ 7 dB)*		Doublage thermo acoustique ($\Delta(R_w+C)_{lourd}$ ≥ 3 dB)* et séparatif épaissi de 20 mm	
	Sans rupteur	Avec rupteur	Sans rupteur	Avec rupteur
Isolement $D_{n,T,A}$	54,8 dB	54,7 dB	54,5 dB	52,8 dB

(*) Voir Annexe 4 pour l'explicitation de ces indices récents.

4.5 Toiture : Procédé d'isolation thermique par-dessus la charpente

Marché : neuf ou réhabilitation pour des combles aménagés.

4.5.1 Description succincte des systèmes rencontrés et de leur environnement technique

4.5.1.1 Isolant thermique support de couverture (sarking):

- Constitué de panneau isolant thermique de type PSE, XPS, PU ou laine minérale dense (> 100 kg/m^3)
- Épaisseur classique de l'isolant thermique : entre 60 et 200 mm
- Mise en œuvre type : Chaque constituant est mis en œuvre sur site, contrairement aux deux autres procédés (panneau sandwich et caisson chevronné). La fixation des contre-liteaux se fait directement dans les chevrons au travers de l'isolant thermique généralement avec des fixations métalliques (attention au pont thermique réparti).
- Ce système peut être utilisé comme seul élément isolant thermiquement avec la charpente (pannes et chevrons) visible dans le comble aménagé, ou avec un plafond rapporté.
- Texte de référence : Certification ACERMI (de l'isolant thermique, hors acoustique), Avis technique.

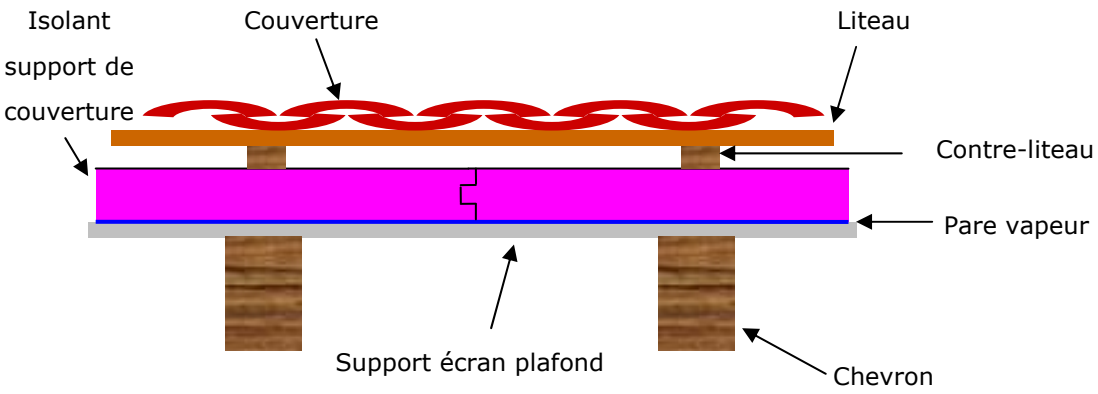


Figure 4.5.1 Exemple de schéma d'isolation thermique de toiture par l'extérieur : Isolant thermique support de couverture

4.5.1.2 Panneau sandwich :

- Constitué d'une âme en isolant thermique de type PSE, PU, ou XPS, il comporte un parement collé en sous face (plaque de plâtre, panneau de particule, lambris,…) et, selon le type de produit, un parement en surface (généralement un panneau à base de bois) seul ou avec les contre-liteaux intégrés, ou directement des contre-liteaux collés sur l'isolant thermique.
- Épaisseur type d'isolant thermique : entre 60 et 200 mm.

- Mise en œuvre : la mise en œuvre se fait directement sur les pannes avec des fixations mécaniques (généralement métalliques) traversantes, et on réalise l'étanchéité entre les panneaux (généralement mousse expansive rigide). Il suffit ensuite de poser les contre-liteaux (s'ils ne sont pas intégrés en usine) puis les liteaux (avec éventuellement entre les deux un écran de sous toiture) et de poser les éléments de couverture de façon traditionnelle.
- Ce système peut être utilisé comme seul élément isolant thermiquement avec la sous face de l'élément visible dans le comble aménagé, ou avec un plafond rapporté.
- Texte de référence : Avis technique, Certification ACERMI (de l'isolant thermique, hors acoustique).

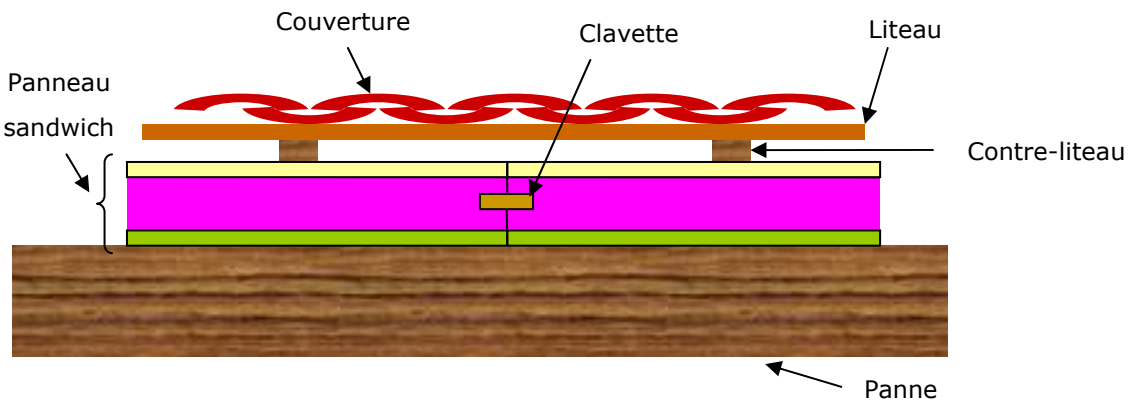


Figure 4.5.2 Exemple de schéma d'isolation thermique de toiture par l'extérieur : Panneau sandwich

4.5.1.3 Caisson chevronné

- Constitué d'un parement en sous face (plaque de plâtre, panneau de particules, lambris,…), de deux demi chevrons latéraux et d'une âme en isolant thermique de type PSE, PU, XPS ou laine de roche, ajout ou non d'un panneau à base de bois en face supérieure.
- Épaisseur type d'isolant thermique : entre 60 et 200 mm.
- Mise en œuvre : Similaire à un panneau sandwich.
- Ce système peut être utilisé comme seul élément isolant thermiquement avec la sous face de l'élément visible dans le comble aménagé, ou avec un plafond rapporté.

- Texte de référence : Certification ACERMI (de l'isolant thermique, hors acoustique), Avis technique.

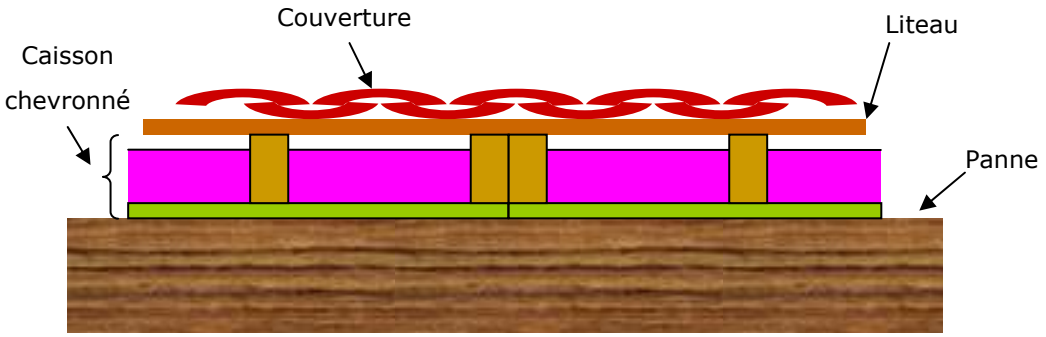


Figure 4.5.3 Exemple de schéma d'isolation thermique de toiture par l'extérieur : Caisson chevronné

4.5.2 Performance thermique

La performance thermique des trois techniques d'isolation thermique des rampants, dépend essentiellement de la résistance thermique effective de l'isolant thermique après déduction de l'impact des ponts thermiques intégrés.

Les ponts thermiques intégrés sont notamment dus aux chevrons (cas des caissons chevronnés) et/ou aux dispositifs ponctuels de fixation des éléments sur la charpente (section et densité par m² des clous métalliques).

La dégradation moyenne de l'isolation thermique en partie courante des trois techniques, est donnée ci-après :

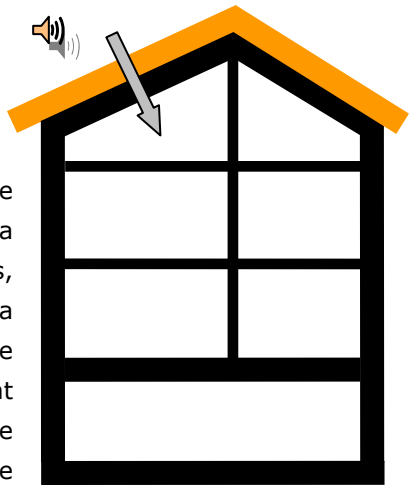
Élément de couverture	**Dégradation moyenne de l'isolation thermique en partie courante**
Isolant thermique support de couverture	10 à 20 %
Caissons chevronnés	30 à 50 %
Panneaux sandwichs	$\leq$ 5%

Tableau 4.5.1 Impact des ponts thermiques répartis sur un système d'isolation thermique de toiture par-dessus la charpente.

4.5.3 Leurs effets sur l'acoustique

Les propos sont illustrés par des exemples qui ne pourront être pris comme des généralités. De plus, nous n'avons pas la prétention d'avoir été exhaustifs dans les systèmes décrits.

4.5.3.1 Modification de la transmission directe (Isolement acoustique intérieur / extérieur) :



- *Performance produit :* $R_w + C_{tr}$ en dB
  - La performance de toitures équipées de ces systèmes dépend :
    - de la nature des éléments de couverture utilisés. Le guide de la DGAC, référencé ci-dessous, montre assez bien que la différence de performance entre les toitures nues est directement liée à la nature des éléments de couvertures, et que celle-ci se reporte intégralement (± 2 dB) sur la performance des toitures isolées (voir Figure 4.5.4).

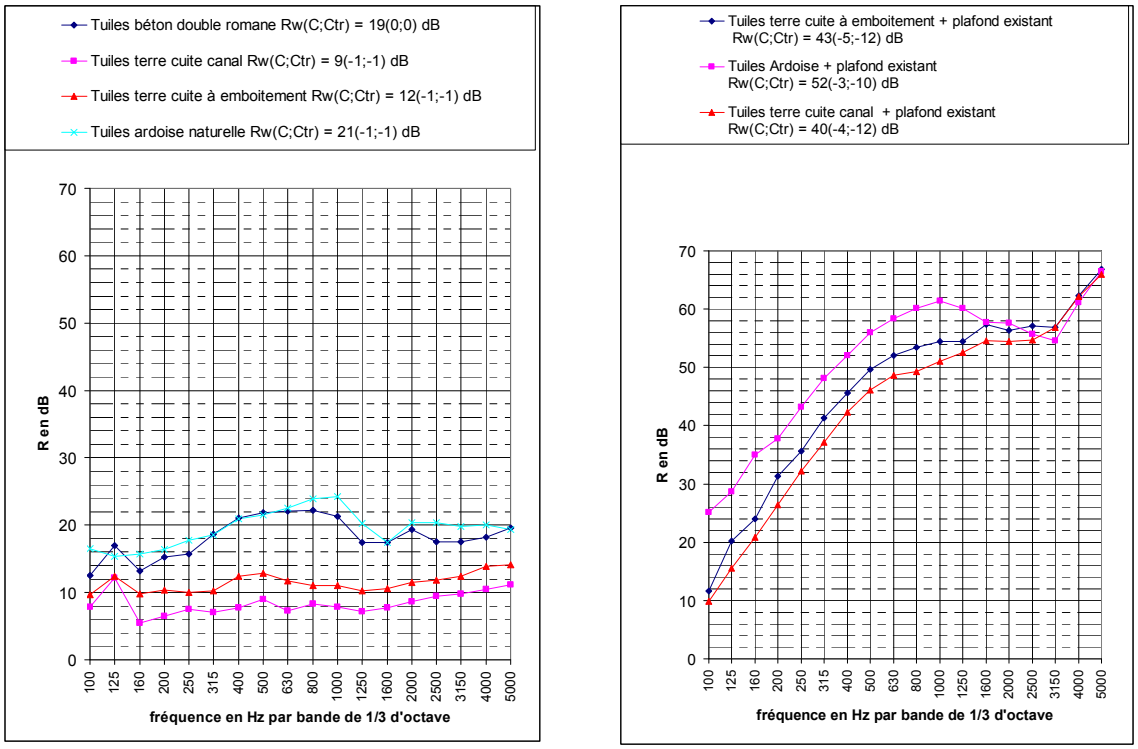


Figure 4.5.4 Extrait du guide DGAC, montrant l'importance de la performance des éléments de couverture sur la performance du complexe de toiture.

    - De l'utilisation ou non d'un plafond en sous face et de la conception de celui-ci (Cf. Figure 4.5.5). Ce plafond peut

être sous les pannes, il sera d'autant plus performant que le plénum sera grand. Il pourra aussi être entre pannes, mais sera alors moins efficace, c'est ce cas qui est dénommé « plafond existant » Figure 4.5.4, Figure 4.5.5 et Figure 4.5.6.

- La majorité des systèmes de toitures isolées par-dessus les pannes, sans plafond rapporté en sous face, ont une performance comprise entre 20 dB et 35 dB en $R_{A,tr}$. Dans l'exemple de gauche de la Figure 4.5.5, il est de 25 dB (courbe bleu clair).

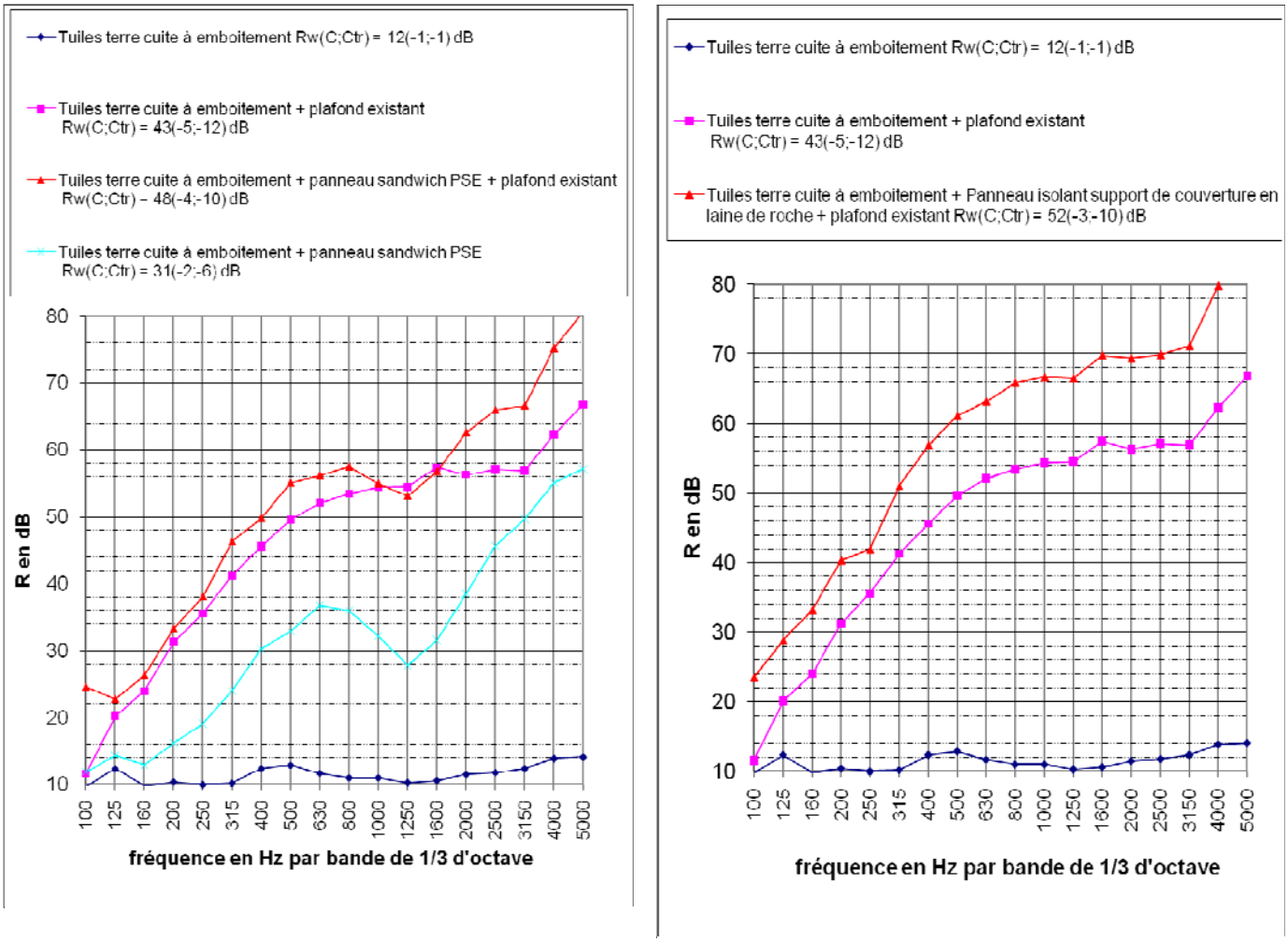


Figure 4.5.5 Extrait du guide DGAC, montrant l'importance de l'utilisation d'un plafond complémentaire en sous face du système d'isolation thermique par l'extérieur (ici panneau sandwich à gauche et panneau isolant thermique support de couverture en LR à droite) pour atteindre un isolement acoustique satisfaisant

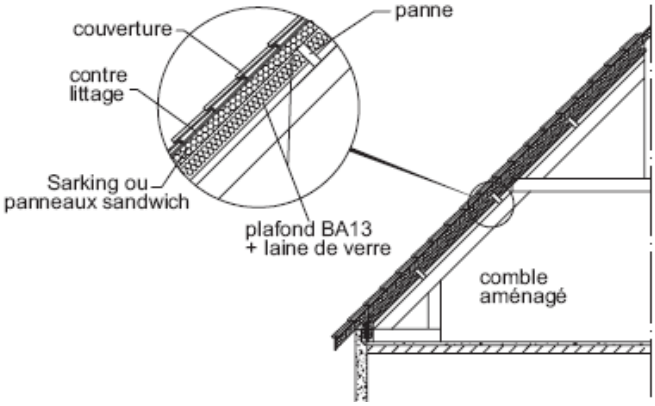
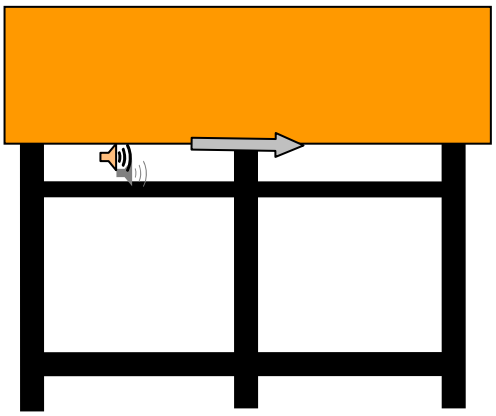


Figure 4.5.6 Schéma type d'une réhabilitation de toiture par l'extérieur (avec panneaux sandwich ou panneau isolant thermique support de couverture) en conservant le plafond coté intérieur.

- *Performance in situ :* Isolement au bruit aérien $D_{n,T,Atr}=D_{n,T,w}+C_{tr}$ en dB
  - Niveau réglementaire : 30 dB à 45 dB entre intérieur et extérieur.
  - Le respect de cette exigence (y compris le 30 dB) est impossible à atteindre dans la très grande majorité des cas de combles aménagés, en l'absence de plafonds complémentaires bien dimensionnés en sous face. Il faudrait des produits permettant un $R_{A,tr}$ du complexe de toiture supérieur à 35 dB pour trouver des solutions réglementaires.
  - L'utilisation de ces procédés peut s'avérer intéressante en comble perdu, notamment en présence de matériaux poreux dans le comble.
  - Dans les cas de réhabilitation par l'extérieur sans dépose du plafond existant, une amélioration acoustique pourra être éventuellement apportée.

4.5.3.2 ***Modification de la transmission latérale entre deux logements par la toiture :***



- *Performance produit :* $D_{n,f,w}$ + C en dB
  - La performance de toitures équipées de ces systèmes dépend : de la continuité ou non des éléments au niveau du séparatif. En aucun cas les éléments pourront être filants et il faudra être très attentif à cette jonction.

- Performance in situ : Isolement au bruit aérien $D_{n,T,A}=D_{n,T,w}+C$ en dB
  - Niveau réglementaire : 53 dB entre pièce principale de deux logements différents ;

- Cette performance dépend d'un grand nombre de paramètres et notamment de la transmission directe par le mur séparatif, mais aussi de ses transmissions latérales. Les systèmes de toiture types panneau sandwich, caisson chevronné ou sarking généreront une transmission latérale toiture/toiture très forte s'ils sont montés de façon continue au dessus du séparatif.
- Une discontinuité franche est donc nécessaire au droit du séparatif pour que la transmission latérale par la toiture ne rende pas impossible le respect de l'exigence réglementaire entre logements.

- **Quel avenir pour ces produits avec le renforcement des réglementations ?**
  - Une augmentation de l'épaisseur d'isolant thermique et ou amélioration de son λ est à prévoir, ou alors une association avec un plafond en sous face permettant de faire le complément thermique et d'améliorer l'efficacité acoustique de l'ensemble. Dans ce cas l'équilibre hygrothermique de la paroi doit être vérifié. Si cela s'opère en conservant des produits à cellules fermées et sans possibilité d'augmenter la masse des éléments (panneau sandwich ou caisson chevronné), cela n'améliorera pas l'acoustique.
  - Améliorer les ponts thermiques répartis (ponctuel au niveau des fixations traversantes des sandwichs et surtout des sarkings (plus forte densité de fixation) ainsi que linéique pour les chevrons des caissons chevronnés).

- ***Référence :*** Notes technique « Insonorisation des logements proches des aéroports » publié par la DGAC avec le concours du GIAC et du CSTB.

4.6 Toiture : Procédé d'isolation thermique entre et/ou sous la charpente

Marché : neuf et réhabilitation

4.6.1 Combles perdus

4.6.1.1 La configuration est composée :

- D'une toiture avec couverture sur écran de sous toiture ou non.
- D'un comble perdu sur plafond léger de type plaques de plâtre sur ossature ou plancher bois, avec un isolant thermique (laine minérale, ou autre isolant thermique généralement poreux) sur le plafond (ou plancher) pour des raisons thermiques. Il est aussi possible de rencontrer des planchers hauts en maçonnerie lourde.
- D'un local habité en dessous avec en général une façade verticale munie d'une fenêtre et d'une entrée d'air.

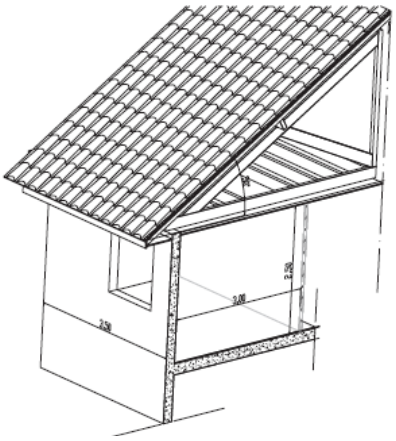


Figure 4.6.1 Configuration type d'un local sous toiture avec combles perdus

4.6.1.2 Performance thermique :

La performance thermique d'un plancher léger de comble perdu, dépend essentiellement de la résistance thermique effective de l'isolant thermique après déduction de l'impact des ponts thermiques intégrés.

Les ponts thermiques intégrés sont dus aux ossatures et dispositifs de fixation des plafonds, notamment les solives et les suspentes métalliques servant à fixer les plaques intérieures de parement sur des rails métalliques suspendus.

La dégradation moyenne de l'isolation thermique en partie courante du plancher est généralement comprise entre 20 et 30 %.

Les planchers légers isolés entre et sous la charpente génèrent de faibles ponts thermiques de liaison avec la façade et le pignon.

4.6.1.3 Leurs effets sur l'acoustique :

- Le bruit extérieur est en général transmis dans le local par deux faces exposées au bruit : une façade verticale et la toiture.
- Pour obtenir un isolement acoustique global de 30 dB, chaque chemin de transmission (la façade verticale et la toiture) doit avoir un isolement acoustique de 33 dB.
- La performance acoustique du chemin par la façade verticale est liée à la performance en transmission de la fenêtre (éventuellement du coffre de volet roulant (indice $D_{n,e,w}+C_{tr}$)), du mur de façade (indice R_w+C_{tr}), et de l'entrée d'air (indice $D_{n,e,w}+C_{tr}$) (voir tableau 4.6.1).
- La performance acoustique du chemin par la toiture est liée à la performance en transmission (indice R_w+C_{tr}) de la toiture et du plafond

ainsi que de la quantité d'absorbant acoustique (aire d'absorption A) dans le comble (voir tableau 4.6.1).

Un exemple de configuration avec un isolement acoustique global par rapport au bruit extérieur $D_{n,T,A,tr} = D_{n,T,w} + C_{tr}$ de 30 dB est donné dans le tableau ci-dessous ; les performances (laboratoire) des composants utilisés y sont données.

Composant	Indice de performance	Performance ou composition	
Toiture :	R_w+C_{tr}	$R_w+C_{tr} \geq 11$ dB*	Ou complexe de toiture de performance : $R_w+C_{tr} \geq 35$ dB
Plafond : 1 plaque de plâtre BA13 avec laine minérale (e > 200 mm**) dans les combles			
Fenêtre :	R_w+C_{tr}	Classement ACOTHERM AC1 ($R_w + C_{tr} \geq 28$ dB)	
Entrée d'air :	$D_{n,e,w}+C_{tr}$	Certifiée NF avec $D_{n,e,w}+C_{tr} \geq 36$ dB	
Mur de façade :	R_w+C_{tr}	$R_w+C_{tr} \geq 45$ dB / ex. : Blocs de béton creux de 150 mm avec doublage thermo-acoustique	

* pour les toitures moins performantes (entre 8 et 11dB), rajouter une plaque de plâtre supplémentaire au plafond

** besoin thermique et acoustique

Tableau 4.6.1 : Performances acoustiques d'une configuration de type local sous toiture avec combles perdus

4.6.2 Comble aménagé

4.6.2.1 La configuration est composée :

- D'un système de toiture avec parement de finition intérieur nécessaire en thermique et en acoustique,
- D'une fenêtre (de toit ou en façade) avec entrée d'air,
- De façades verticales.

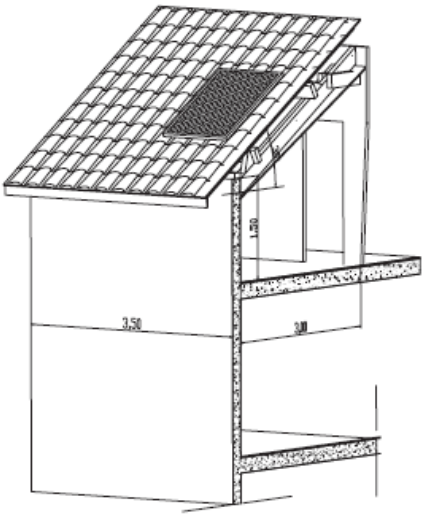


Figure 4.6.2 Configuration type d'un local sous toiture avec combles aménagés

4.6.2.2 Performance thermique :

La performance thermique d'un rampant isolé entre et/ou sous les chevrons, dépend essentiellement de la résistance thermique effective de l'isolant thermique après déduction de l'impact des ponts thermiques intégrés.

Les ponts thermiques intégrés sont dus notamment aux chevrons, aux pannes et aux suspentes métalliques servant à fixer les plaques intérieures de parement sur des rails métalliques suspendus.

La dégradation moyenne de l'isolation thermique en partie courante du rampant est généralement comprise entre 20 et 30 %.

Les planchers légers isolés entre et sous la charpente génèrent de faibles ponts thermiques de liaison avec la façade et le pignon.

La sous face des tuiles étant ventilée sur l'extérieur, les isolants thermiques fibreux installés en toiture doivent de préférence être protégés des circulations d'air parasites par un écran de sous toiture faute de quoi leurs performances pourraient être dégradées.

La présence systématique de fenêtres de toit nécessite une attention particulière quant aux risques de confort en périodes chaudes ensoleillées. Il est fortement conseillé d'équiper la fenêtre de toit par une protection solaire de préférence côté extérieur.

4.6.2.3 Leurs effets sur l'acoustique :

- Le bruit extérieur est en général transmis dans le local par deux faces exposées au bruit : une façade verticale et la toiture.

- La performance acoustique du chemin par la façade verticale est liée à la performance en transmission du mur de façade (indice R_w+C_{tr}) (voir tableau 4.6.2) (et de la fenêtre (indice R_w+C_{tr}), et de l'entrée d'air (indice $D_{n,e,w}+C_{tr}$) si elles sont en façade).
- La performance acoustique du chemin par la toiture est liée à la performance en transmission du système toiture avec plafond intérieur (et de la fenêtre de toit (indice R_w+C_{tr}), et de l'entrée d'air (indice $D_{n,e,w}+C_{tr}$) (voir tableau 4.6.2) si elles sont en toiture).

Un exemple de configuration avec un isolement acoustique global par rapport au bruit extérieur $D_{n,T,A,tr} = D_{n,T,w} + C_{tr}$ de 30 dB est donné dans le tableau ci-dessous ; les performances (laboratoire) des composants utilisés y sont données.

Composant	Indice de performance	Performance ou composition	
Toiture :	R_w+C_{tr}	$R_w+C_{tr} \geq 11$* dB	Ou complexe de toiture de performance : $R_w+C_{tr} \geq 35$ dB
Plafond intérieur de la toiture : 1 plaque de plâtre BA13 avec laine minérale de 200 mm**			
Fenêtre ou Fenêtre de toit :	R_w+C_{tr}	Classement ACOTHERM AC1 ($R_w + C_{tr} \geq 28$ dB)	
Entrée d'air :	$D_{n,e,w}+C_{tr}$	Certifiée NF avec $D_{n,e,w}+C_{tr} \geq 36$ dB	
Mur de façade :	R_w+C_{tr}	$R_w+C_{tr} \geq 45$ dB / ex. : Blocs de béton creux de 150 mm avec doublage thermo-acoustique	

* en cas de toiture inférieure entre 8 et 11 dB, ajouter une plaque
** besoin thermique et acoustique

Tableau 4.6.2 : Performances acoustiques d'une configuration de type local sous toiture avec comble aménagé

Des solutions pour des isolements acoustiques supérieurs (35 et 38 dB) sont décrites dans la note technique de la DGAC référencée ci-dessous.

Références : - « *Note technique, Points de repères sur l'insonorisation des logements proches des aéroports* », DGAC octobre 2006
- Étude DHUP / CSTB, « Révision des Exemples de Solutions Acoustiques », rapport intermédiaire, novembre 2008.

4.7 Planchers bas : Procédés d'isolation thermique par la sous face

Marché : neuf et réhabilitation

4.7.1 Description succincte des systèmes rencontrés et de leur environnement technique

4.7.1.1 Fond de coffrage (neuf uniquement) :

- Constitué de différents matériaux (ou association de matériaux) isolants thermiquement principalement laine de roche, PSE, fibre de bois,…
- Ils sont mis en œuvre sur le coffrage, avant le coulage du plancher, ils comportent des ancrages, généralement métalliques, qui seront pris dans le béton au moment du coulage.
- Selon les systèmes, un découplage entre le fond de coffrage et le béton est recherché (interposition de polyane, …) ou non
- C'est en général un compromis thermique, feu, acoustique.
- Il n'y a pas de textes spécifiques (normes, ATec,…) sur ce type de système.

4.7.1.2 Flocage :

- Constitué de fibres (laine de roche, cellulose,…) mélangées à un liant et projetées sur des parois (verticales ou horizontales).
- D'épaisseur variable en fonction de l'effet recherché, quand des performances thermiques sont requises, l'épaisseur courante est 100 mm.
- Certains systèmes permettent une désolidarisation partielle en fixant préalablement sur la sous face du plancher un grillage fin et en projetant directement dessus.
- Ils sont en général un compromis thermique, feu, acoustique.
- Texte de référence : Guide d'ATE 18 pour les produits ayant une fonction feu et DTU 27.2.

4.7.1.3 Panneau rapporté mécaniquement :

- Constitué de différents matériaux (ou association de matériaux) isolants thermique principalement laine de roche, PSE, laine de verre, fibres de bois,…
- Ils sont mis en œuvre une fois le plancher terminé, ils sont fixés mécaniquement par des fixations généralement métalliques.
- Ils sont en général un compromis thermique, feu, acoustique.
- Il n'y a pas de textes spécifiques (normes, ATec,…) sur ce type de produit.

4.7.2 Performance thermique

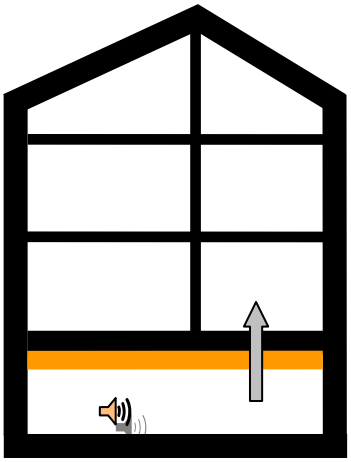
- La performance thermique des planchers isolés en sous face dépend essentiellement de la résistance thermique effective de l'isolant thermique après déduction de l'impact des ponts thermiques intégrés.

- Les ponts thermiques intégrés sont notamment dus aux dispositifs de fixation ponctuelle de l'isolant thermique (nature, section et densité des fixations).
- La dégradation moyenne de l'isolation thermique en partie courante du plancher isolé en sous face, varie entre 10 et 20 % selon la section et la densité des fixations ou ancrages métalliques. En cas de flocage l'impact des ponts thermiques intégrés peut être négligé.
- La technique d'isolation thermique en sous face du plancher lourd ne permet pas de corriger les ponts thermiques des liaisons avec les murs extérieurs sauf intégration de rupteurs thermiques. Quant aux ponts thermiques avec les cloisons intérieurs, ils sont généralement traités sauf pour les refends porteurs qui se prolongent sous la dalle. L'isolation thermique des poutres à retombées à une épaisseur plus faible que celle utilisée en partie courante, il en résulte ainsi des ponts thermiques supplémentaires.

Le surdimensionnement nécessaire du plancher bas pour améliorer ses performances acoustiques, augmente le pont thermique de la jonction avec le mur extérieur.

4.7.3 Leurs effets sur l'acoustique

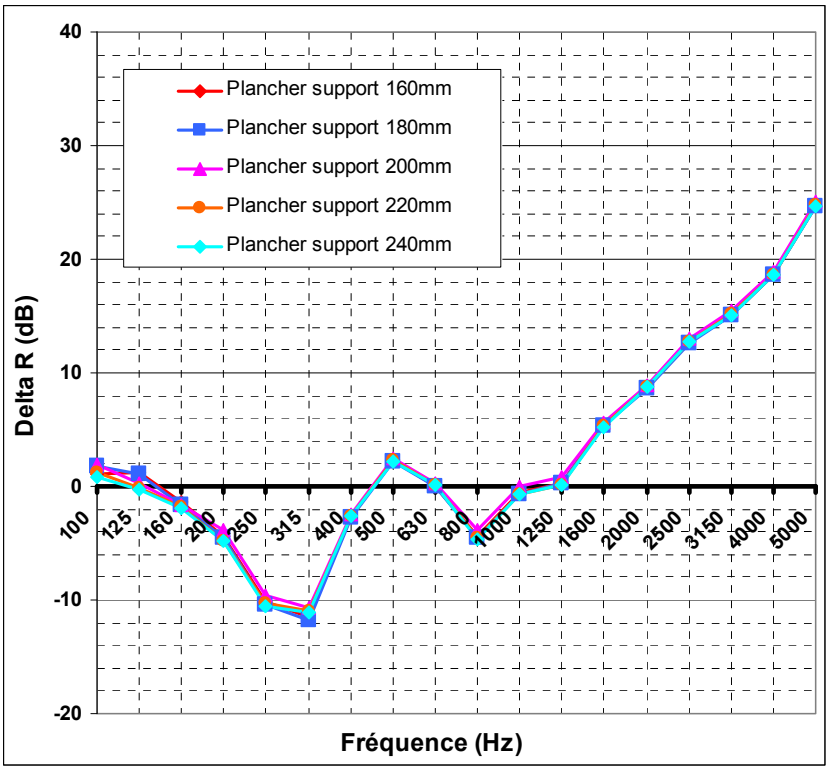
Les propos sont illustrés par des exemples qui ne pourront être pris comme des généralités. De plus, nous n'avons pas la prétention d'avoir été exhaustifs dans les systèmes décrits.



4.7.3.1 Modification de la transmission directe (Isolement acoustique entre locaux chauffés et non chauffés) :

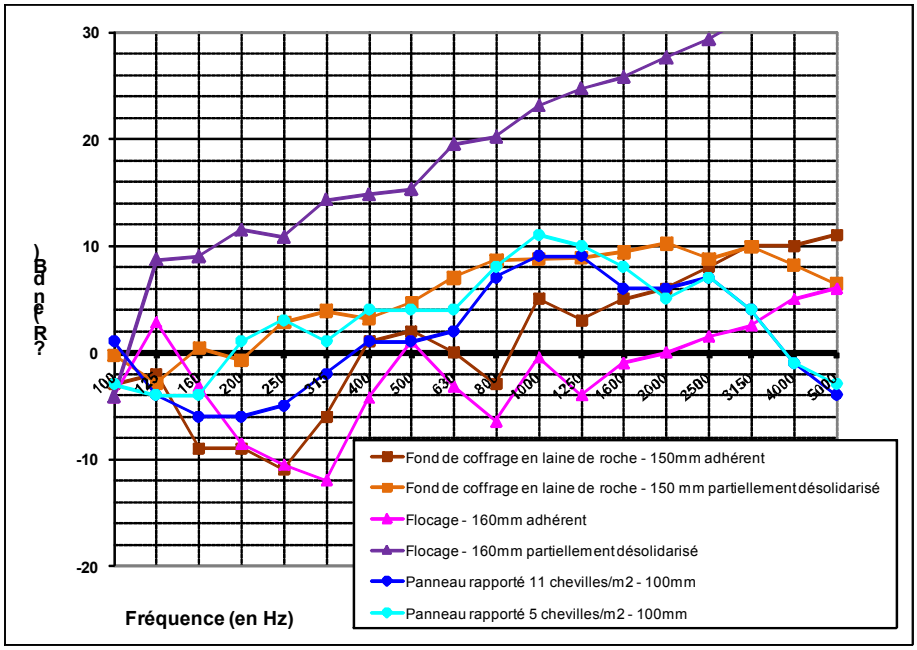
- *Performance produit :* $\Delta(R_w+C)$ en dB
  - La majorité de ces systèmes dégradent l'isolement au bruit aérien de leur plancher support.
  - Cela dépend du plancher support (voir Figure 4.7.1)
  - Cela dépend de la nature des produits (cellules ouvertes / fermées, densité, épaisseur, module d'élasticité, …) (Voir Figure 4.7.2, Figure 4.7.3 et Figure 4.7.4)
  - Cela dépend aussi de la nature du contact fond de coffrage / plancher. Une désolidarisation maximale sera recherchée sur le plan acoustique, mais le feu et la mécanique limitent fortement les possibilités (voir Figure 4.7.5). En suivant ce principe, certains industriels ont ainsi trouvé des solutions permettant de ne pas dégrader la performance de la dalle nue, voire dans certains cas de l'améliorer (voir Figure 4.7.2). Une approche prédictive de ce

contact partiel sera présentée par P. JEAN à Internoise 2010 à Lisbonne



Système	$\Delta(R_w+C)_{direct}$ dB
Plancher support 160 mm + laine de roche de 100 mm	-6
Plancher support 180 mm + laine de roche de 100 mm	-6
Plancher support 200 mm + laine de roche de 100 mm	-5
Plancher support 220 mm + laine de roche de 100 mm	-6
Plancher support 240 mm + laine de roche de 100 mm	-6

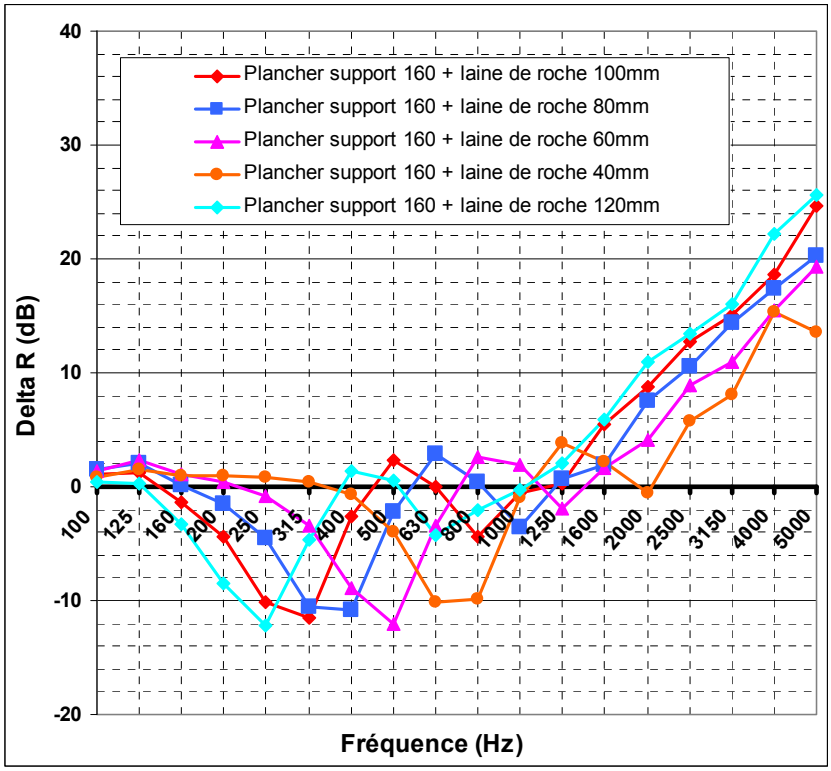
Figure 4.7.1 Fond de coffrage (laine de roche de 100 mm d'épaisseur et de densité 110 kg/m^3) - Effet de l'épaisseur du plancher support (calculs AcouSYS)



Système	$\Delta(R_w+C)_{direct}$ dB
Fond de coffrage en laine de roche - 150 mm adhérent	-7
Fond de coffrage en laine de roche - 150 mm partiellement désolidarisé	2
Flocage - 160 mm adhérent	-7
Flocage - 160 mm partiellement désolidarisé	7
Panneau rapporté 100 mm - 11 attaches/m²	-2
Panneau rapporté 100 mm - 5 attaches/m²	2

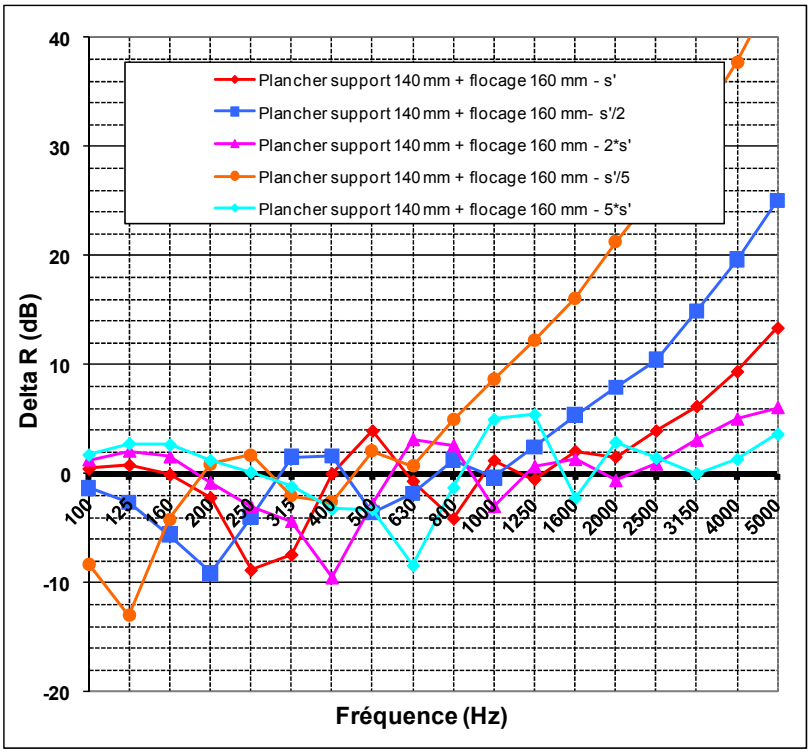
Figure 4.7.2 Exemple des différents types de système d'isolation thermique sous plancher béton* (mesurés)

(*) Ces essais n'ont pas tous été réalisés sur le même plancher support mais la Figure 4.7.1 illustre l'influence faible de ce paramètre sur le ΔR.



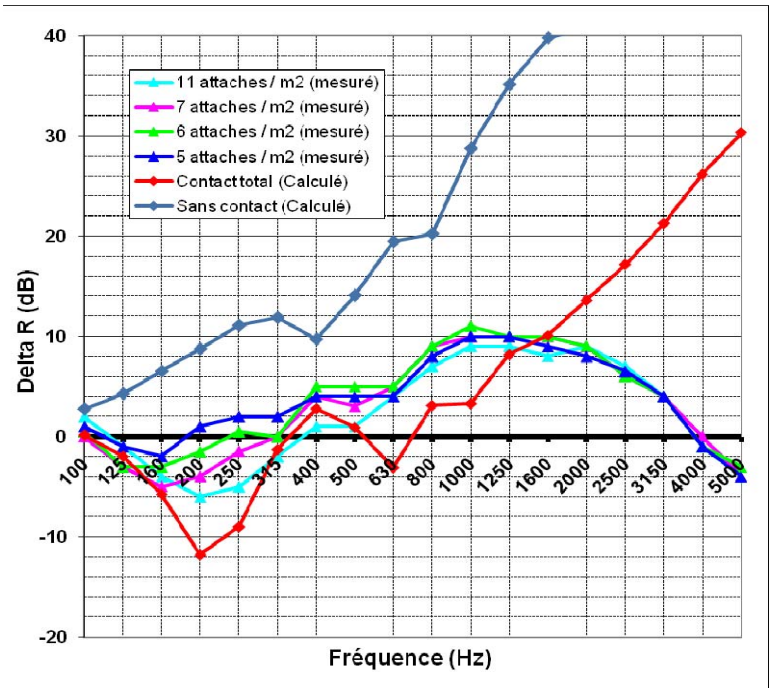
Système	$\Delta(R_w+C)_{plancher\ lourd}$ dB
Plancher support 160 mm + laine de roche de 120 mm	-7
Plancher support 160 mm + laine de roche de 100 mm	-6
Plancher support 160 mm + laine de roche de 80 mm	-5
Plancher support 160 mm + laine de roche de 60 mm	-5
Plancher support 160 mm + laine de roche de 40 mm	-3

Figure 4.7.3 Fond de coffrage (laine de roche de densité 110 kg/m^3) et dalle 160 mm - Effet de l'épaisseur de la couche de laine de roche (Calculs AcouSYS)



Système	$\Delta(R_w+C)_{plancher\ lourd}$ dB
Plancher support 140 mm + flocage 160 mm - s'	-5
Plancher support 140 mm + flocage 160 mm- s'/2	-4
Plancher support 140 mm + flocage 160 mm - 2*s'	-4
Plancher support 140 mm + flocage 160 mm - s'/5	-3
Plancher support 140 mm + flocage 160 mm - 5*s'	-3

Figure 4.7.4 Flocage (à base de laine minérale de densité 150 kg/m^3) et dalle 140 mm - Effet de la raideur dynamique du squelette du flocage (calculs AcouSYS)



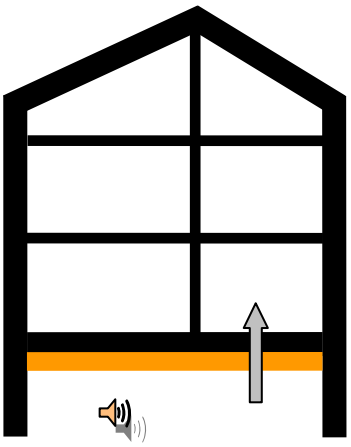
Système	$\Delta(Rw+C)_{direct}$ dB
Plancher support 220 mm + laine de roche de 100 mm - 11 attaches/m2	-2
Plancher support 220 mm + laine de roche de 100 mm - 7 attaches/m2	-1
Plancher support 220 mm + laine de roche de 100 mm - 6 attaches/m2	0
Plancher support 220 mm + laine de roche de 100 mm - 5 attaches/m2	2
Plancher support 220 mm + laine de roche de 100 mm - Contact total	-6*
Plancher support 220 mm + laine de roche de 100 mm - Sans contact	8*

Figure 4.7.5 Plaques de laine de roche de 100 mm d'épaisseur et densité 110 kg/m^3 rapportées sous une dalle 220 mm - Effet du nombre d'accroches métalliques par m^2 ((*) performances calculées avec le logiciel AcouSYS)

- *Performance in situ :* Isolement acoustique au bruit aérien $D_{n,T,A}=D_{n,T,w}+C$ en dB
  - Niveau réglementaire : 55 dB entre pièce principale de logement et parking ; 58 dB entre pièce principale de logement et local d'activité.
  - Pour obtenir ces niveaux d'isolements acoustiques, il est nécessaire de sur-dimensionner l'épaisseur du plancher bas, et choisir une technique d'isolation thermique en sous face la moins dégradante possible.
  - Dans la pratique, la mesure de cet isolement acoustique n'est pas aisée étant donné les volumes généralement présents (parking, local d'activité,…).

4.7.3.2 Modification de la transmission directe (Isolement acoustique entre locaux chauffés et extérieur ; par exemple, un passage ouvert sous un immeuble) :

- *Performance produit :* $\Delta(R_w+C_{tr})$ en dB
  - La majorité de ces systèmes dégradent l'isolement au bruit aérien de leur plancher support.



- *Performance in situ :* Isolement au bruit aérien $D_{n,T,A,tr}=D_{n,T,w}+C_{tr}$ en dB
  - Niveau réglementaire : 30 dB à 45 dB entre intérieur et extérieur.
  - Le respect de cette exigence ne pose généralement pas de souci étant donné les planchers généralement utilisés.

- ***Articles en référence :***

J.B. CHENE et C. GUIGOU-CARTER, « Prediction method for the acoustic performance of permanent form systems », Acoustics'08, Paris, Juillet 2008.

J.B. CHENE et C. GUIGOU-CARTER, « Performance Acoustique des systèmes de type flocage et fond de coffrage », Acoustique & Technique N°59 P5-12, 4ème trimestre 2009.

P. JEAN, C. GUIGOU-CARTER et R. FORET « Using finite elements to model porous materials in buildings », Internoise 2010, Lisbonne, Juin 2010. (A venir)

4.8 Planchers bas : Procédés d'isolation thermique par chape flottante thermo-acoustique

Marché : neuf

4.8.1 Description succincte des systèmes rencontrés et de leur environnement technique : Chape flottante

- Constituée de différents matériaux isolants thermiquement (épaisseur généralement entre 60 mm et 100 mm) principalement, PSE, PU, XPS, … associés ou non avec des sous-couches acoustiques (épaisseur généralement entre 2 mm et 40 mm) (voile de verre + bitume, fibres de polyester non tissé, laine de roche, laine de verre,…) sur lequel on vient couler une chape.
- Textes spécifiques (normes, ATec,…) : DTU 26/2-52/1 (NF P 61 203) et certification ACERMI (pour les sous-couches épaisses, > 10 mm), CSTBat sous-couche acoustique mince (pour les sous-couches minces ≤ 10 mm) et CSTBat dalle à plots (pour les systèmes de dalle à plots pour plancher chauffant).

4.8.2 Performance Thermique

- La performance thermique des planchers bas isolés sous chape flottante dépend essentiellement de la résistance thermique de l'isolant thermique. L'impact des ponts thermiques intégrés étant négligeable puisqu'aucun matériau de forte conductivité relative ne vient transpercer la couche d'isolant thermique. Les seuls ponts thermiques intégrés présents sont très faibles et se limitent aux joints entre les plaques d'isolants thermiques.

- Avec le Grenelle et la RT2012 on s'oriente vers une utilisation d'isolants thermiques de plus forte résistance thermique. L'épaisseur étant limitée par la hauteur sous plafond, il est courant d'utiliser des matériaux isolants thermiques de faible conductivité thermique et de forte résistance à la compression.

- En isolation thermique par l'intérieur des murs, l'isolation thermique des planchers bas sous chape flottante permet de traiter le pont thermique de liaison à la jonction avec le mur à condition d'assurer une bonne continuité entre l'isolation thermique horizontale et verticale (retour de l'isolant thermique en about de la chape). En isolation thermique par l'extérieur des murs, la chape flottante ne permet pas de traiter le pont thermique avec le mur.

- Le procédé permet également de traiter les ponts thermiques à la jonction du plancher avec les éléments de structure présents au sous-sol comme les poutres à retombées et les refends qui ne se prolongent pas dans l'ambiance chauffée. Il permet également de traiter la liaison avec des cloisons en cas de pose sur la chape (non interruption de la couche d'isolant thermique).

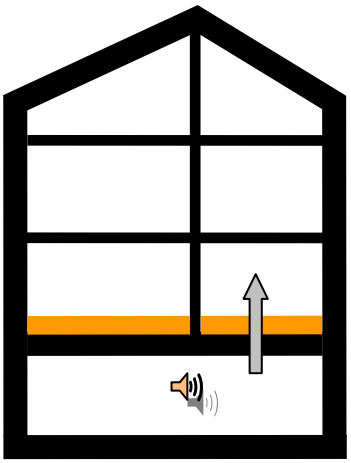
- S'il est appliqué par-dessus un plancher à entrevous PSE, le procédé permet de réduire l'impact des ponts thermiques liés aux poutrelles en béton.

- La présence de la chape flottante lourde confère au plancher une inertie thermique bénéfique pour le confort d'été et pour la réduction de la consommation d'énergie.

4.8.3 Leurs effets sur l'acoustique

Les propos sont illustrés par des exemples qui ne pourront être pris comme des généralités. De plus, nous n'avons pas la prétention d'avoir été exhaustifs dans les systèmes décrits.

4.8.3.1 Modification de la transmission directe (Isolement acoustique entre locaux chauffés et non chauffés) :



- *Performance produit :* $\Delta(R_w+C)$ en dB
  - La majorité de ces systèmes améliore l'isolement au bruit aérien de leur plancher support.
  - La performance dépend de la nature du primitif (cellules fermées/ouvertes, densité, épaisseur, raideur dynamique …).
  - Si une association de deux sous-couches est utilisée, la performance dépendra de la combinaison choisie.
  - Les illustrations qui vont suivre pour illustrer le comportement physique de ces systèmes ,sont issues principalement d'une étude ADEME/SNPA/AFSCAM/CSTB (superposition d'une sous-couche thermique avec une Sous-Couches Acoustique Mince (SCAM ; ép.<10mm)). Il peut cependant y avoir d'autres produits permettant d'obtenir des performances thermiques et acoustiques intéressantes (PSEE, laine de roche, laine de verre,…) il faudra à minima, s'assurer qu'ils respectent le DTU 26-2/52-1.

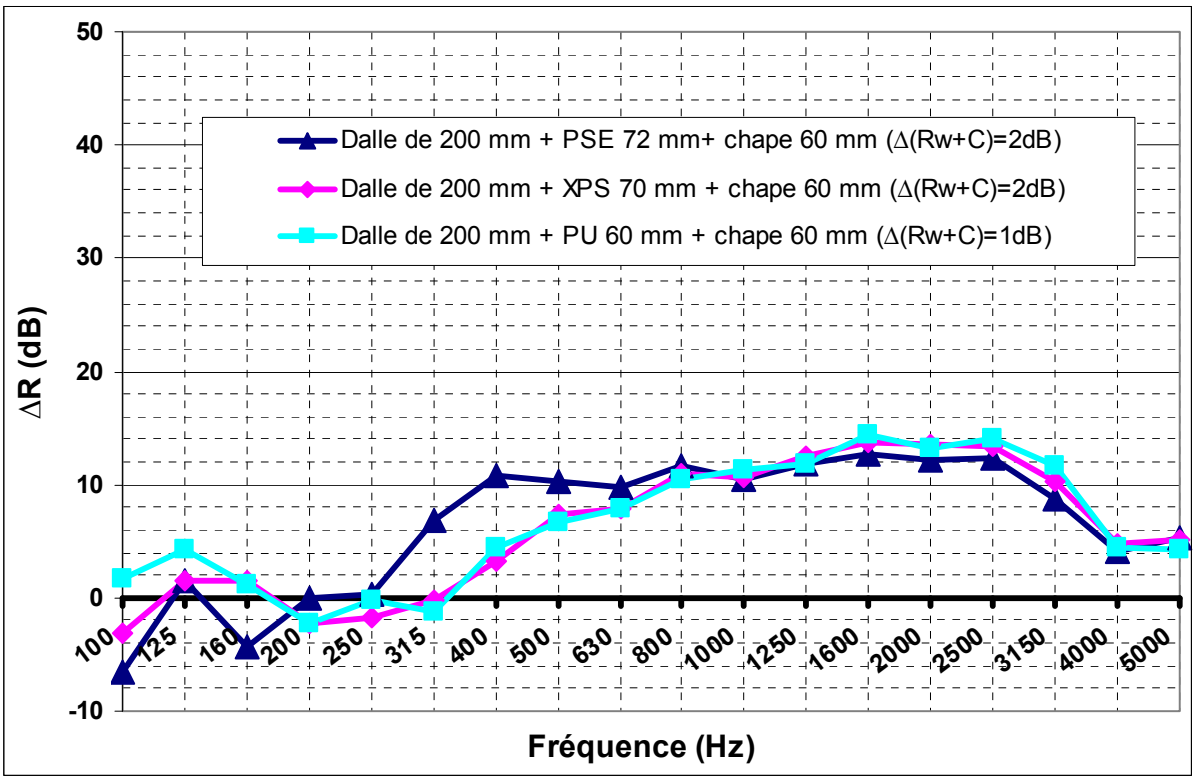


Figure 4.8.1 Exemple du ΔR (mesuré) de trois chapes flottantes thermiques (PSE 72 mm, PU 60 mm et XPS 70 mm) avec chape de 60 mm et plancher de 200 mm

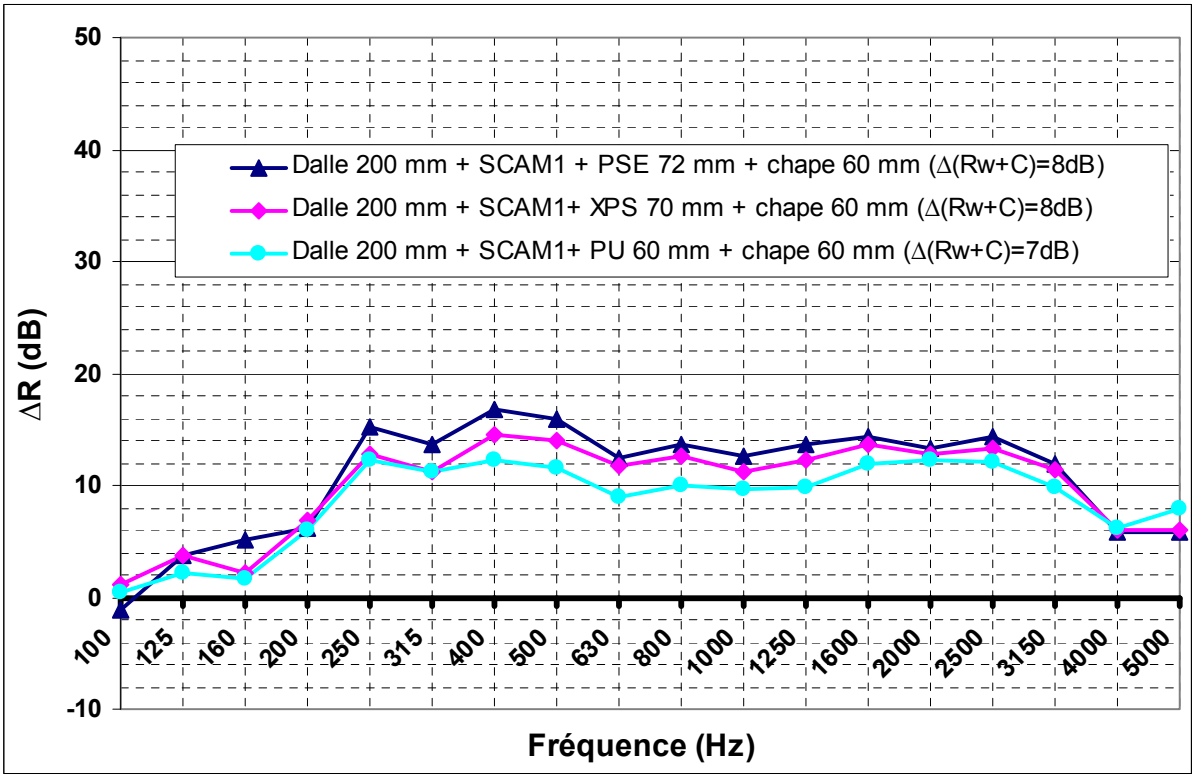


Figure 4.8.2 Exemple du ΔR (mesuré) de trois chapes flottantes Thermo-acoustiques (PSE 72 mm, PU 60 mm et XPS 70 mm superposés avec une SCAM) avec chape de 60 mm et plancher de 200 mm

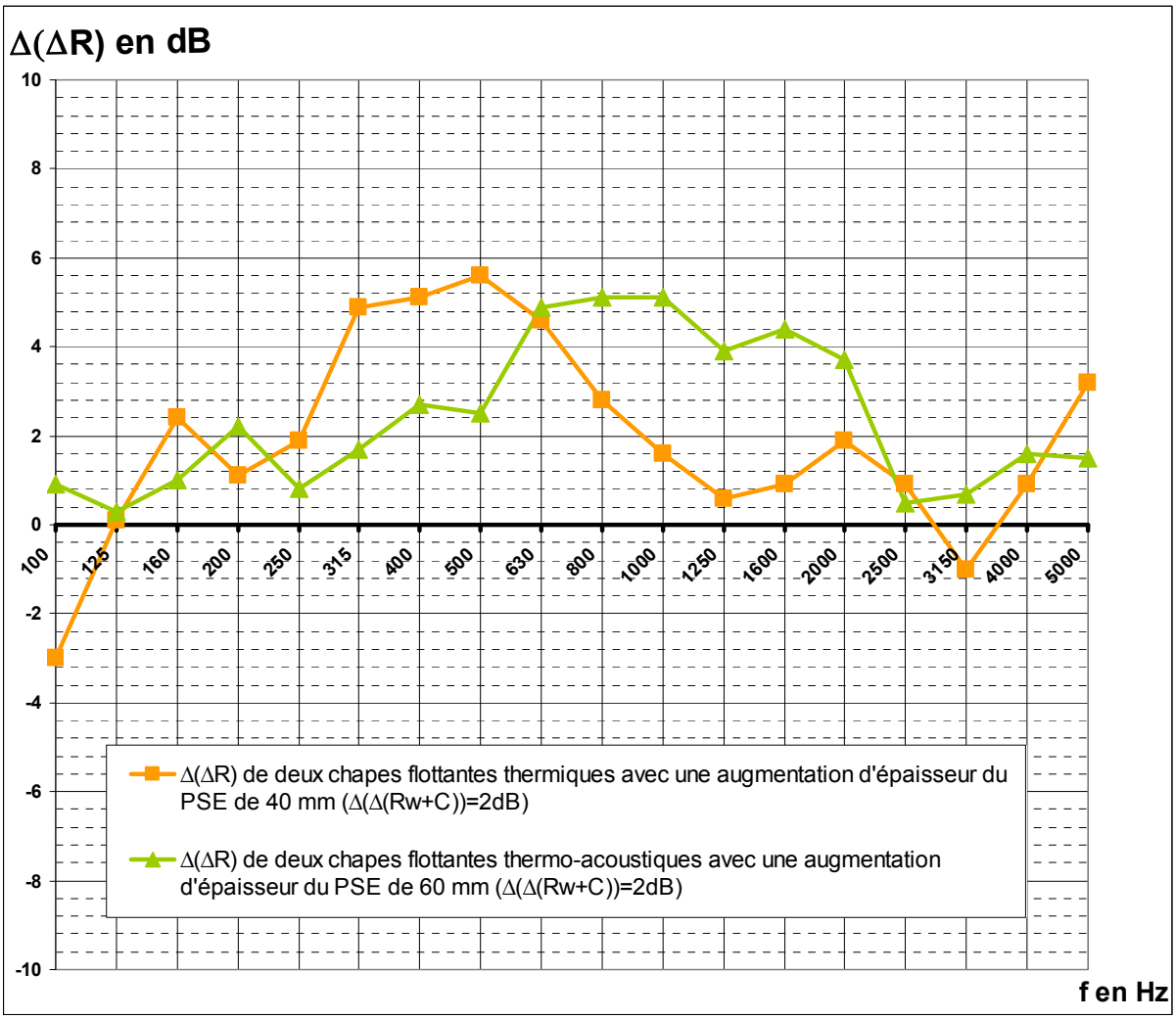


Figure 4.8.3 Influence de l'épaisseur de la sous-couche thermique (PSE) sur le ΔR (mesuré) de deux chapes flottantes, l'une étant uniquement thermique (PSE) et l'autre thermo-acoustique (PSE+SCAM)

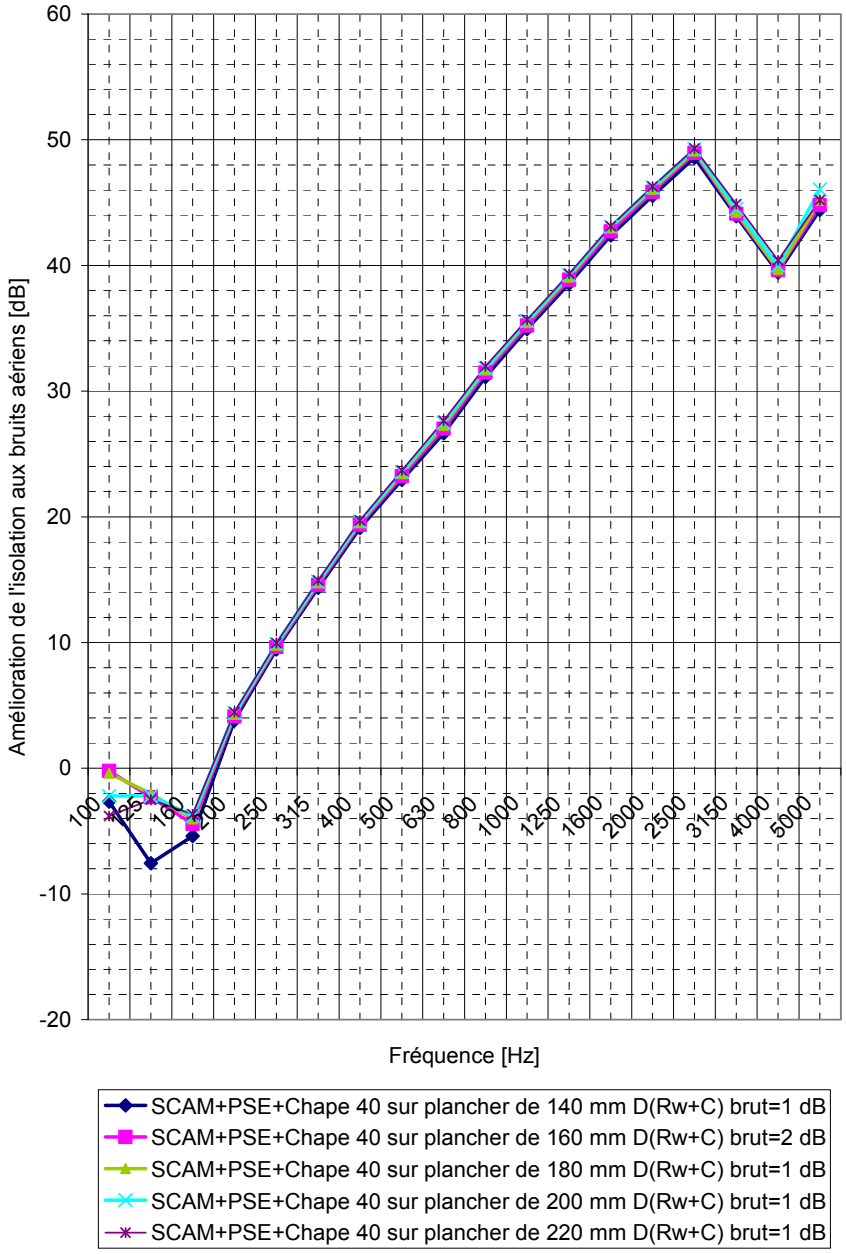


Figure 4.8.4 Influence de l'épaisseur du plancher sur le Δ(R_w+C) de la chape (Calcul par le logiciel AcouSYS)

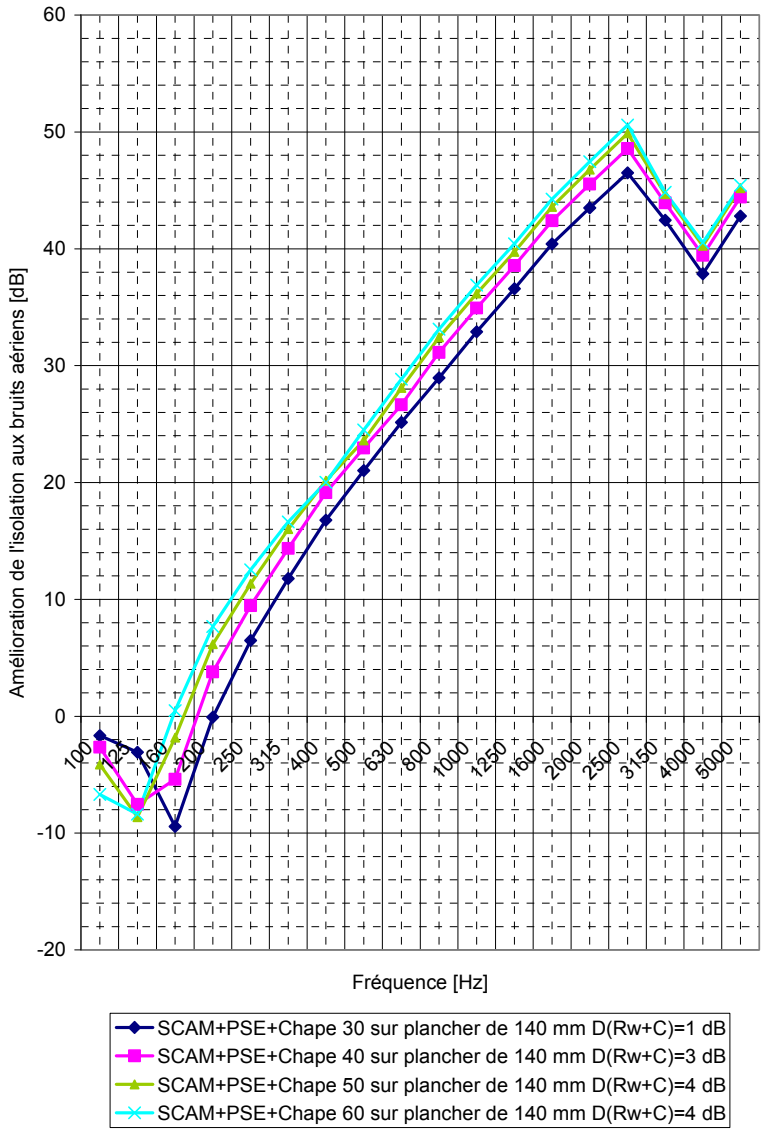


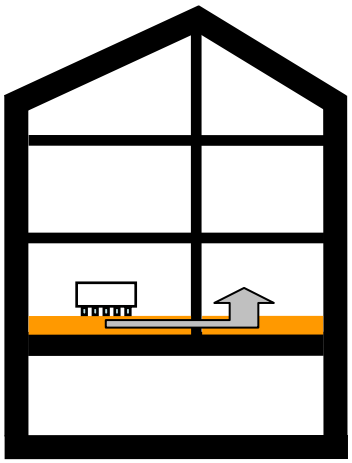
Figure 4.8.5 Influence de l'épaisseur de la chape sur son $\Delta(R_w+C)$ (Calcul par le logiciel AcouSYS)

- Étant donné l'impact opposé de la variation d'épaisseur de plancher et de celle de la chape, sur son $\Delta(R_w+C)$, il est possible de faire une équivalence (à plus ou moins un ou deux dB) sur le $\Delta(R_w+C)$ pour les systèmes suivants :
  - Plancher de 140 mm chape de 40 mm
  - Plancher de 180 mm chape de 50 mm
  - Plancher de 200 mm chape de 60 mm

- *Performance in situ :* Isolement au bruit aérien $D_{n,T,A}=D_{n,T,w}+C$ en dB
  - Niveau réglementaire : 55 dB entre pièce principale de logement et parking ; 58 dB entre pièce principale de logement et local d'activité.

- Il existe des chapes thermo-acoustiques permettant de répondre à ce niveau d'exigence. Cela a fait l'objet d'une jurisprudence QUALITEL et devrait faire l'objet d'un Exemple de Solution Acoustique dans la future révision de ce document.
- Dans la pratique, la mesure de cet isolement acoustique n'est pas aisée étant donné les volumes généralement présents (parking, local d'activité,…)

4.8.3.2 ***Modification de la transmission latérale des bruits de chocs :***



- *Performance produit :* ΔL_w en dB
  - Ces systèmes améliorent l'isolement au bruit d'impact (de leur plancher support).
  - La performance dépend de la nature du primitif (cellules fermées / ouvertes, densité, épaisseur, raideur dynamique …).
  - Si une association de deux sous-couches est utilisée, la performance dépendra de la combinaison choisie.

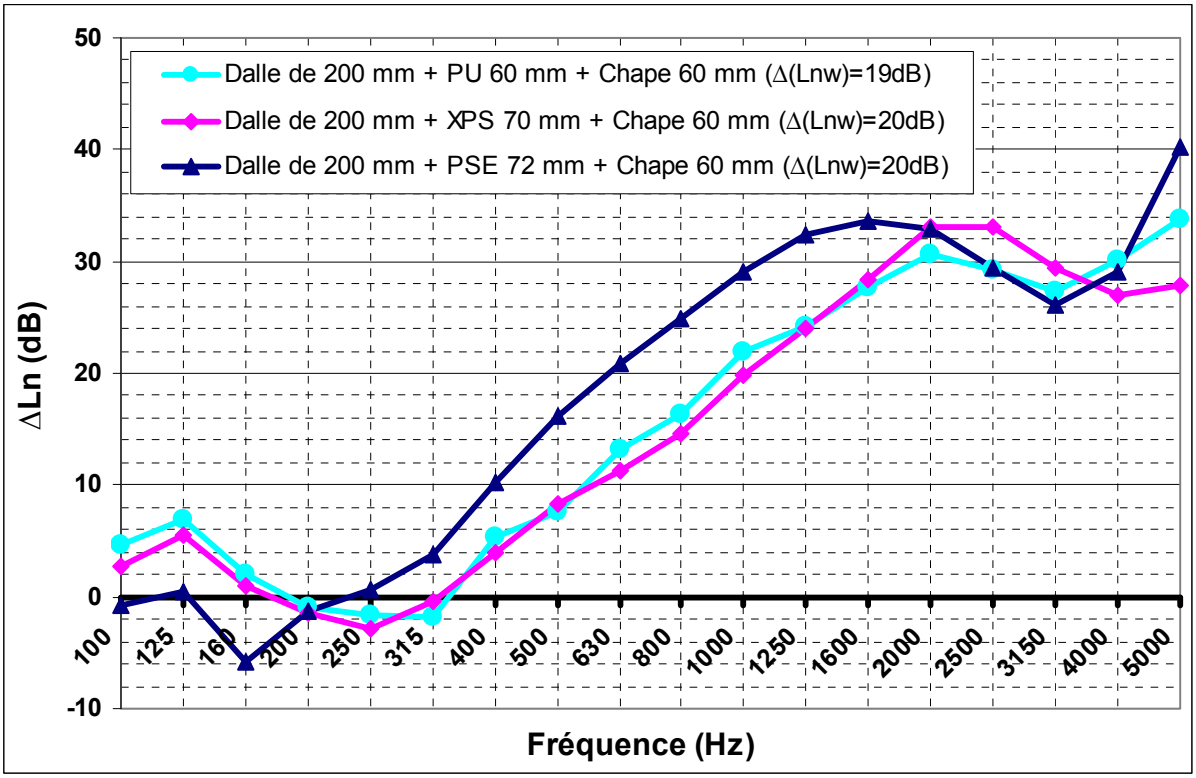


Figure 4.8.6 Exemple du ΔL_n (mesuré) de trois chapes flottantes thermiques (PSE 72 mm, PU 60 mm et XPS 70 mm) avec chape de 60 mm et plancher de 200 mm

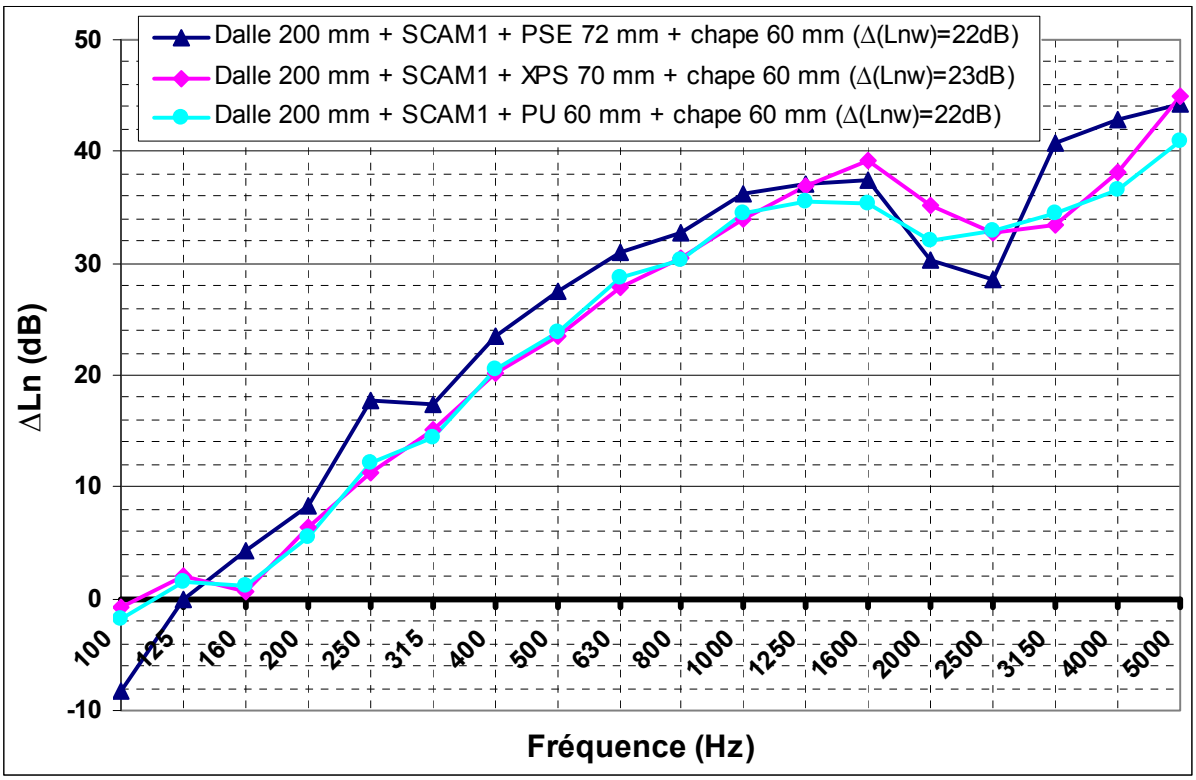


Figure 4.8.7 Exemple du ΔL_n (mesuré) de trois chapes flottantes Thermo-acoustiques (PSE 72 mm, PU 60 mm et XPS 70 mm superposés avec une SCAM) avec chape de 60 mm et plancher de 200 mm

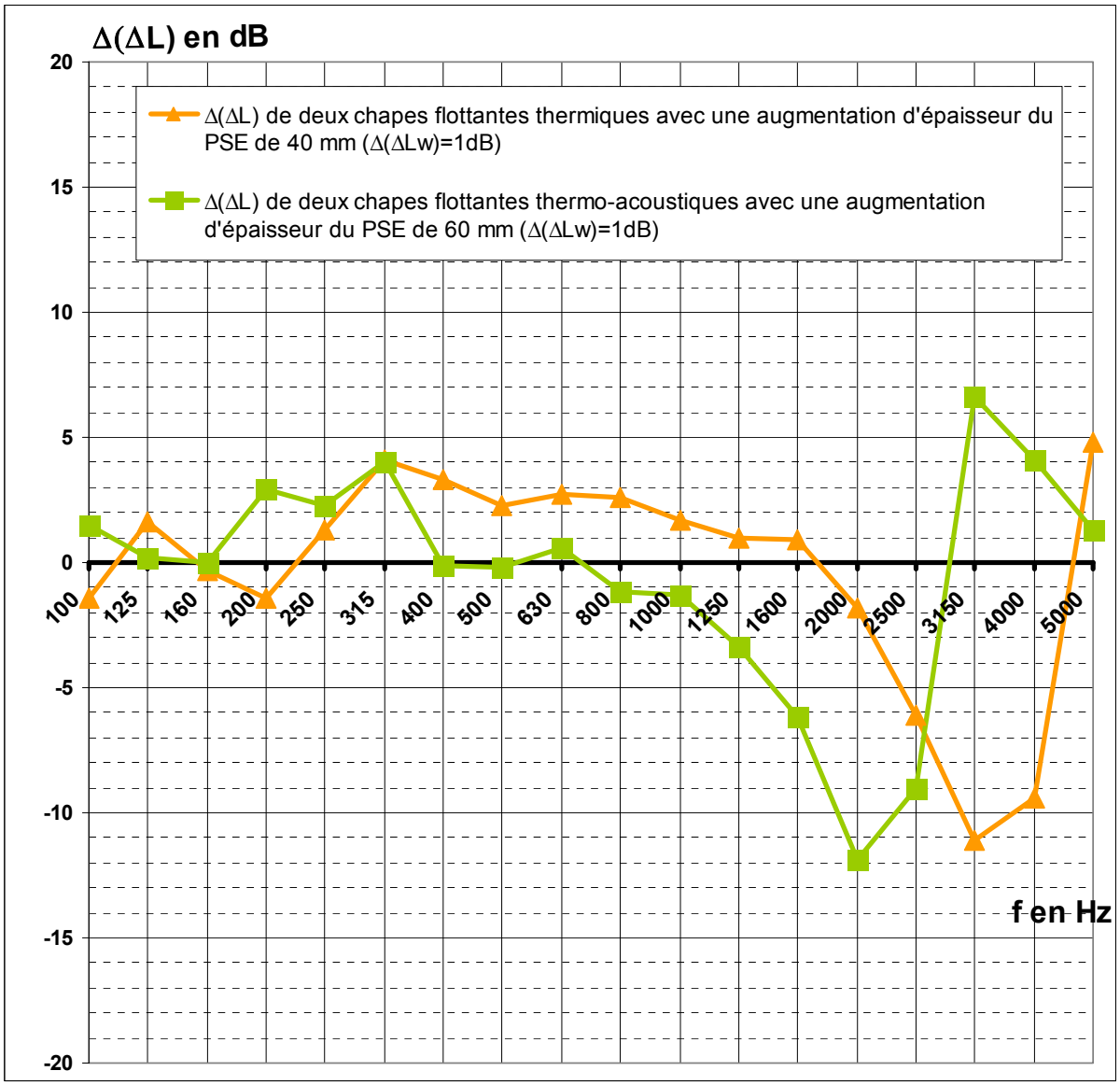


Figure 4.8.8 Influence de l'épaisseur de la sous-couche thermique (PSE) sur le ΔL (mesuré) de deux chapes flottantes, l'une étant uniquement thermique (PSE) et l'autre thermo-acoustique (PSE+SCAM)

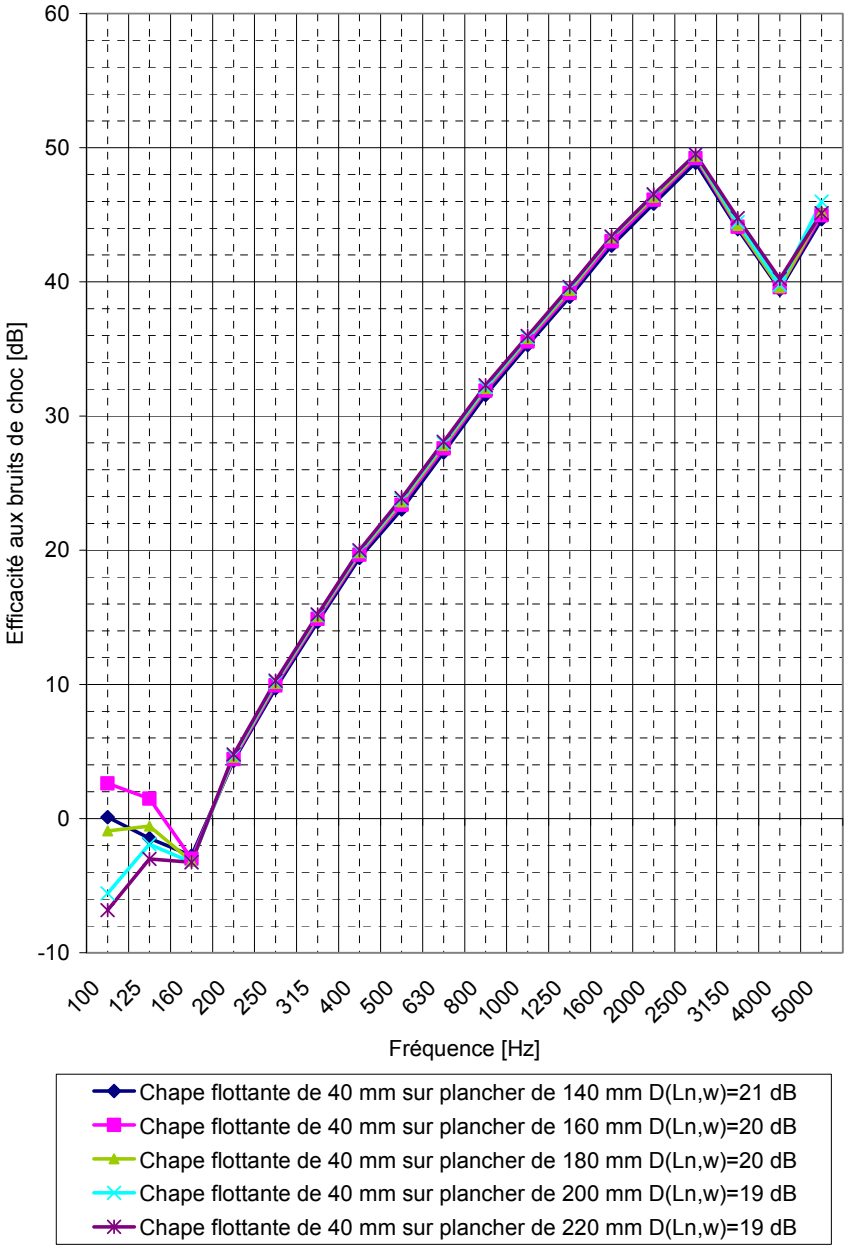


Figure 4.8.9 Influence de l'épaisseur du plancher sur le $\Delta(L_{n,w})$ de la chape (Calcul par le logiciel AcouSYS)

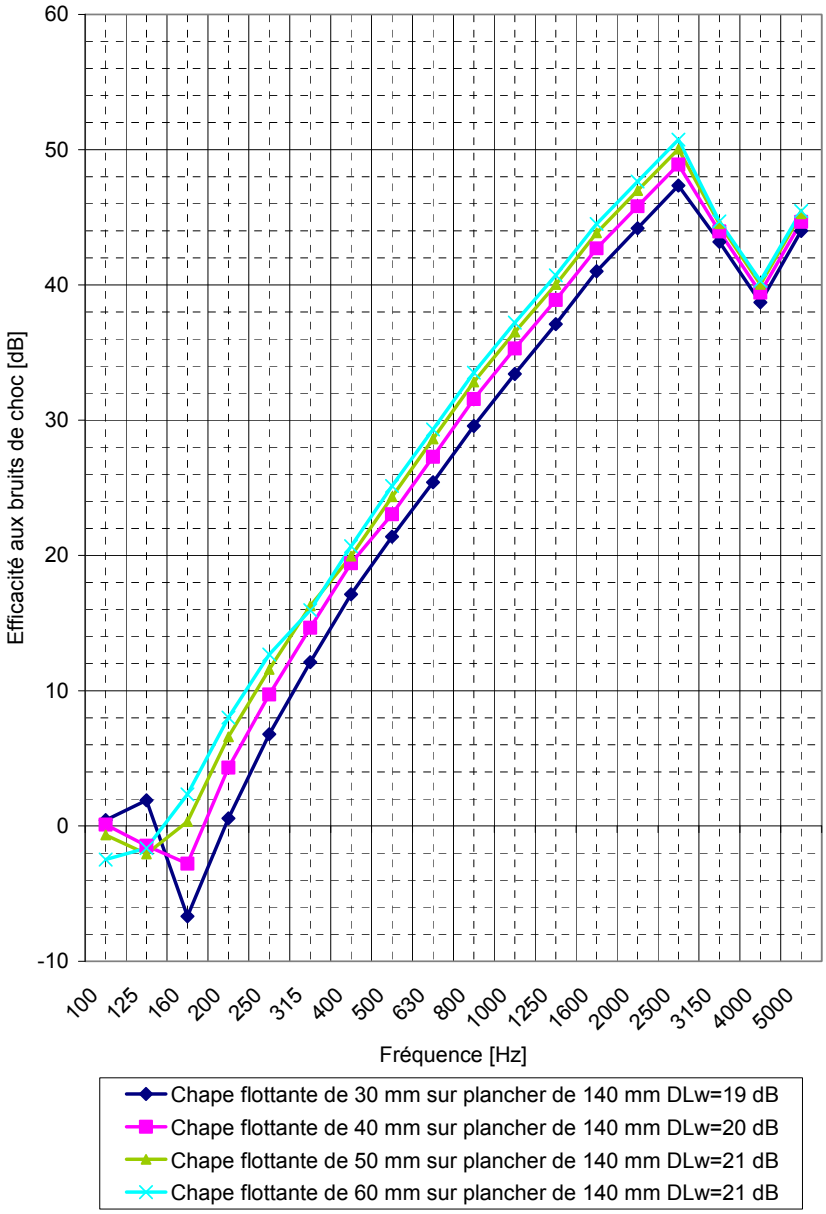


Figure 4.8.10 Influence de l'épaisseur de la chape sur son ΔL_w (Calcul par le logiciel AcouSYS)

- Étant donné l'impact opposé de la variation d'épaisseur de plancher et de celle de la chape, sur son ΔL_w, il est possible de faire une équivalence (à plus ou moins un ou deux dB) sur le ΔL_w pour les systèmes suivants :
  - Plancher de 140 mm chape de 40 mm
  - Plancher de 180 mm chape de 50 mm
  - Plancher de 200 mm chape de 60 mm

- *Performance in situ :* Niveau de bruit d'impact $L'_{n,T,w}$ en dB
  - Niveau réglementaire : 58 dB entre pièce principale de logements différents.
  - S'agissant ici de niveau de bruit de choc généré en latéral (Source au même niveau que le local de réception), la performance requise pour le système flottant est moindre que celle qui serait nécessaire pour une transmission verticale. Un système dont le ΔL_w de 15 dB sera généralement suffisant pour atteindre le niveau réglementaire en plancher bas.

- ***Articles en référence :***
  - C. GUIGOU-CARTER et J.B. CHÉNÉ, « Development of thermo-acoustic floating floors for use between parking and dwellings », Acoustics'08, Paris, Juillet 2008.
  - C. GUIGOU-CARTER et J.B. CHÉNÉ, « Recherche de solutions thermiques répondant à la RT2005 compatibles avec la NRA : cas des planchers entre locaux d'activité ou parking et logements », Rapport d'étude ADEME-SNPA-AFSCAM-CSTB, Décembre 2007.

4.9 Choisir ses baies

- **Préambule** : Le choix des baies pour atteindre les performances thermiques réglementaires est important car les déperditions thermiques par les parois vitrées peuvent atteindre 18 % de la déperdition totale du bâtiment. Par ailleurs leur impact acoustique sur l'isolement acoustique de façade $D_{n,T,A,tr}$ est majeur. L'impact des entrées d'air sera discuté au niveau du chapitre ventilation.
- **Marché** : neuf et existant

4.9.1 Description des systèmes rencontrés et de leur environnement technique

4.9.1.1 Fenêtre :

- Mode d'ouverture : Il existe plusieurs modes d'ouvertures possibles que l'on classera en deux catégories. La première, dénommée menuiserie à frappe (ouvrant à la française, oscillo-battante, soufflet, …). La seconde correspond aux menuiseries coulissantes. Les menuiseries à frappe présentent en général des performances d'étanchéité à l'air et à l'eau meilleures que les menuiseries coulissantes.
- Il existe un grand nombre de profilés pour réaliser une menuiserie, les principales matières utilisées sont le PVC, l'aluminium et le bois, mais il existe aussi des profilés mixtes : bois/aluminium, bois/PVC, PVC/aluminium.
- Vitrage isolant :
  - Il peut être soit un double vitrage, soit un triple.

- Il comporte de façon de plus en plus généralisée une couche peu émissive disposée côté lame d'air.
- Le gaz remplissant la cavité peut-être de l'air ou un gaz rare de type argon ou krypton (remplissage au minimum à 85%).
- Type de système de scellement :
  - « Traditionnel » : Espaceur aluminium + joint de scellement (principalement PU) + joint d'étanchéité (Butyle) (Cf. Figure 4.9.1 dessin de gauche)
  - Espaceur isolant (thermique) dit « Warm-edge » : ayant une conductivité inférieure aux espaceurs aluminium standard. Ceux-ci peuvent soit avoir une structure traditionnelle avec un espaceur tubulaire dans une matière moins conductrice que l'aluminium, soit avoir une architecture spécifique (Cf. Figure 4.9.1 dessin de droite).

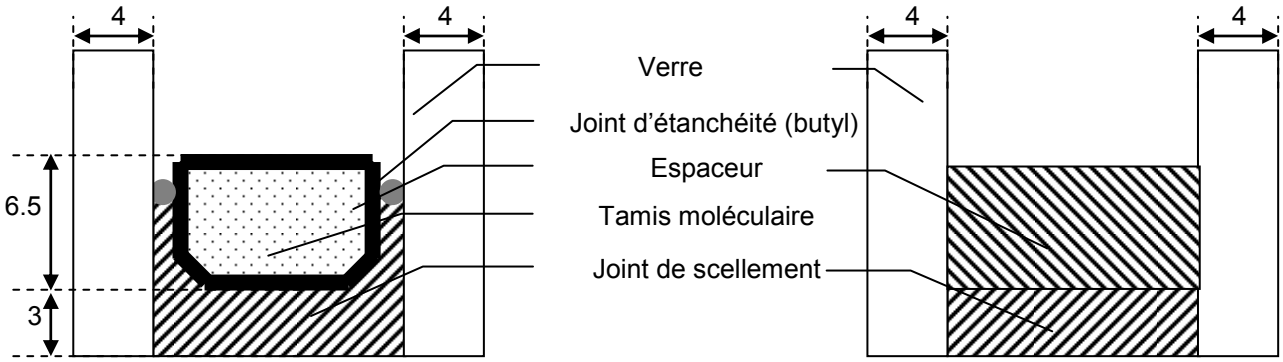


Figure 4.9.1 Description de deux conceptions de système de scellement, l'un standard (dessin de gauche) et l'autre innovant avec espaceur intégrant un déshydratant (dessin de droite)

- Certification thermique et acoustique de la fenêtre seule et/ou du bloc baie, avec ou sans entrée d'air : ACOTHERM
- Certification de la pose (se renseigner auprès de l'UFME et du SNFA)
- Texte de mise en œuvre des fenêtres : DTU 36.1, 37.1, 37.1 A1 et 37.2 ; Cahier CSTB N°3521 et ATec

4.9.1.2 Coffre de volet roulant :

Seuls les cas des coffres en applique intérieure (type bloc baie) ou traversant (type rénovation ou coffre tunnel) seront décrits ici.

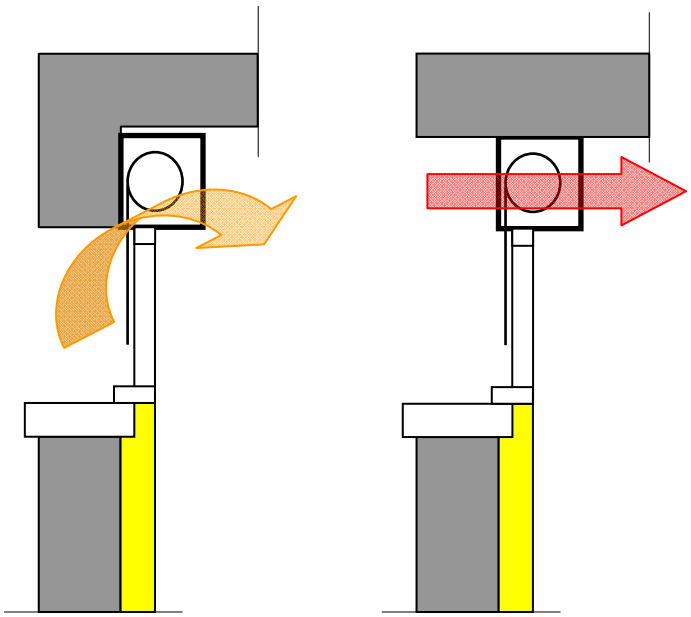


Figure 4.9.2 Illustration de la problématique des coffres de volets roulants

- Il existe deux grandes familles de coffres :
  - les coffres tunnels (ou linteau) incorporés à la maçonnerie
  - les coffres menuisés (PVC, bois, aluminium,…).
- Ils sont souvent associés à des compléments d'isolation thermique (généralement à l'aide d'une coque en PSE) ou acoustique (principalement mousse de mélamine, ou laine de roche pour l'absorption dans la cavité et des masses lourdes, bitume ou EPDM, pour l'isolement acoustique des parois).
- L'étanchéité à l'air du coffre est aussi primordiale (en acoustique et en thermique).

4.9.2 Performance thermique

4.9.2.1 Fenêtre :

- L'isolation thermique : elle est représentée par le coefficient de transmission surfacique Uw en W/(m².K), elle dépend à la fois du vitrage, de l'espaceur du vitrage et des profilés (châssis). Une bonne isolation thermique de la fenêtre contribue à la réduction de la consommation d'énergie et élimine l'effet de la paroi froide.
  - Le vitrage : le niveau d'isolation thermique du vitrage (Ug) dépend essentiellement :
    - du nombre de lames d'air présentes dans le vitrage (double vitrage ou triple vitrage). L'isolation thermique du vitrage augmente avec le nombre de lames d'air.
    - de l'épaisseur de la lame d'air. La résistance thermique de la lame d'air augmente avec l'épaisseur de la lame d'air. Au delà d'une épaisseur de

20 mm environ la résistance thermique de la lame d'air se stabilise voire se dégrade légèrement.

- de la présence d'une couche à basse émissivité et de la valeur de l'émissivité correspondante. La résistance thermique de la lame d'air est meilleure avec des faibles émissivités. Les couches les plus performantes ont une émissivité inférieure à 0,05.
- de la présence d'un gaz de remplissage autre que l'air comme l'argon, le krypton ou le Xénon et du taux de remplissage correspondant. La résistance thermique du vitrage augmente avec le taux de remplissage. Les taux de remplissage les plus élevés déclarés par les industriels varient entre 85 et 95 %. Le gaz argon est le plus utilisé.

- L'espaceur : Il est généralement le point thermique faible du vitrage. Il est le siège de déperditions thermiques supplémentaires. Les espaceurs améliorés permettent de diviser par deux ces déperditions et d'améliorer le coefficient de déperdition de la fenêtre (Uw) de 5 à 15 % environ selon le cas. Il est à noter que ces déperditions sont relativement plus importantes quand l'isolation du vitrage est élevée.
- Les profilés : Le niveau d'isolation thermique des profilés dépend à la fois des matériaux constitutifs, de leur épaisseur, du nombre de chambres pour les châssis en PVC, et de la présence des ruptures de ponts thermiques en cas de profilés métalliques ou de renforts métalliques en cas de profilés plastiques. Du fait de la faible conductivité thermique du bois et du plastique, les profilés en bois ou en PVC ont des performances thermiques proches. Les profilés métalliques à rupture de pont thermique viennent en deuxième position. La conception et le positionnement des barrettes 'isolantes', sont déterminants quant à la performance thermique des profilés métalliques. Enfin, la mise en place d'une fermeture qui ménage une lame d'air avec la fenêtre augmente le niveau d'isolation thermique de la baie vitrée. Cette amélioration augmente avec la résistance thermique de la fermeture et son étanchéité à l'air.

- La transmission de l'énergie solaire : le facteur solaire représente la capacité de la fenêtre ou de la baie vitrée à laisser passer l'énergie solaire vers l'intérieur des locaux. Il varie entre 0 et 1. En période froide un facteur solaire important permet de capter les apports solaires gratuits réduisant ainsi la consommation d'énergie pour le chauffage. En revanche en période chaude il faut privilégier les faibles facteurs solaires par le déploiement de protections solaires adaptées.
- La transmission lumineuse : Le facteur de transmission lumineuse illustre la capacité de la fenêtre à transmettre la lumière naturelle à l'intérieur des locaux. Il est fonction du vitrage (clair du vitrage et de ses caractéristiques lumineuses) et également de la largeur des

profilés de la fenêtre. Une bonne transmission lumineuse qui assure un bon confort visuel des occupants permet de limiter le recours à l'éclairage artificiel. Elle permet ainsi de faire des économies d'énergie importantes notamment dans les bâtiments à usage non résidentiel comme dans les immeubles de bureaux par exemple.

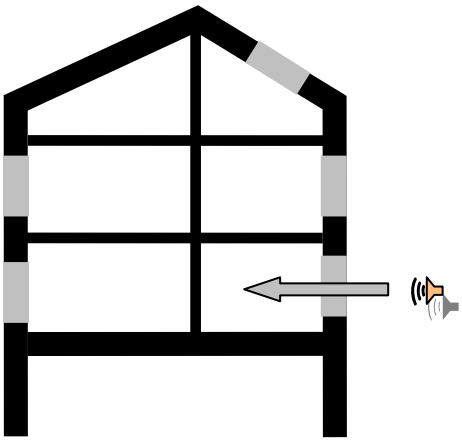
4.9.2.2 Coffre de volet roulant :

La performance thermique d'un coffre de volet roulant dépend essentiellement de l'épaisseur et de la continuité de l'isolant thermique sur les faces donnant sur le local chauffé. Un autre facteur influent est celui de la perméabilité à l'air du coffre qui dépend essentiellement de la section de passage du tablier. Une forte perméabilité ramène de l'air frais dans le coffre et dégrade ses performances thermiques.

4.9.3 Leurs effets sur l'acoustique

Les propos sont illustrés par des exemples qui ne pourront être pris comme des généralités. De plus, nous n'avons pas la prétention d'avoir été exhaustifs dans les systèmes décrits.

4.9.3.1 Modification de l'isolement acoustique de façade au travers de la fenêtre (isolement aux bruits extérieurs) :



- *Performance produit :* indice d'affaiblissement acoustique $R_{A,tr}=R_w+C_{tr}$ en dB.
  - Elle dépend du type d'ouverture. Une menuiserie coulissante traditionnelle est moins performante ($R_{A,tr} \leq 33$ dB) qu'une menuiserie à frappe ($R_{A,tr} \leq 40$ dB).
  - Le profilé en tant que tel n'aura quasiment pas d'impact pour les fenêtres ayant des performances inférieures à 35 dB. Au dessus, on peut commencer à voir des effets. Mais c'est surtout la conception de la gamme, le type d'assemblage (soudage, sertissage,…), le nombre de barrières d'étanchéité, leur nature, l'équilibrage de pression, le nombre et l'emplacement des trous de drainages… qui auront un impact d'autant plus marqué que le vitrage utilisé sera performant.
  - Le vitrage isolant
    - La nature du gaz (air ou argon) utilisé dans la cavité aura une influence négligeable sur la performance acoustique de la fenêtre, l'épaisseur de la cavité aura elle une influence modérée mais non négligeable.

- Globalement, plus les épaisseurs des verres composant le double vitrage seront fortes et dissymétriques, plus les performances acoustiques seront importantes (Cf. Figure 4.9.3).
- Pour une même largeur de feuillure de fenêtre (exemple, 24 mm), l'augmentation de l'épaisseur de verre et donc la diminution de l'épaisseur de la lame de gaz sera favorable sur le plan acoustique, mais pas sur le plan thermique (Cf. Figure 4.9.4).
- Il est préférable de créer une dissymétrie dans l'épaisseur des vitrages afin que la fréquence critique (fc) de chaque glace soit le plus éloignée possible l'une de l'autre. On peut voir sur la Figure 4.9.4 que l'inflexion de la courbe au niveau des fréquences critiques est plus importante quand elles sont identiques ou proches pour les deux glaces du vitrage (4/16/4 et 4/14/6) que lorsqu'elles sont éloignées de plus d'un tiers d'octave (4/12/8 et 4/10/10).
- L'utilisation de vitrages feuilletés acoustiques (deux verres monolithiques assemblés à l'aide un film de PVB acoustique) peut sensiblement améliorer les performances.
- Le triple vitrage n'est pas une solution pertinente pour obtenir des performances acoustiques. Marc REHFELD propose dans un article présenté à ACOUSTICS'08 (référencé à la fin de ce chapitre), une équivalence (à ± 1 à 2 dB) entre la performance du triple vitrage et celle du double vitrage équivalent sans la glace centrale (exemple 4/12/4/12/4 et 4/24/4). La Figure 4.9.5, compare un 4/16/4 et un triple vitrage 4/12/4/12/4, ce dernier présente un décibel de moins que le premier. Sur cette même figure, nous avons aussi placé un 4/12/8 qui présente la même masse de verre que le triple vitrage 4/12/4/12/4, mais un R_w+C_{tr} supérieur de six décibels.
- Les couches peu émissives n'ont pas d'impact acoustique.

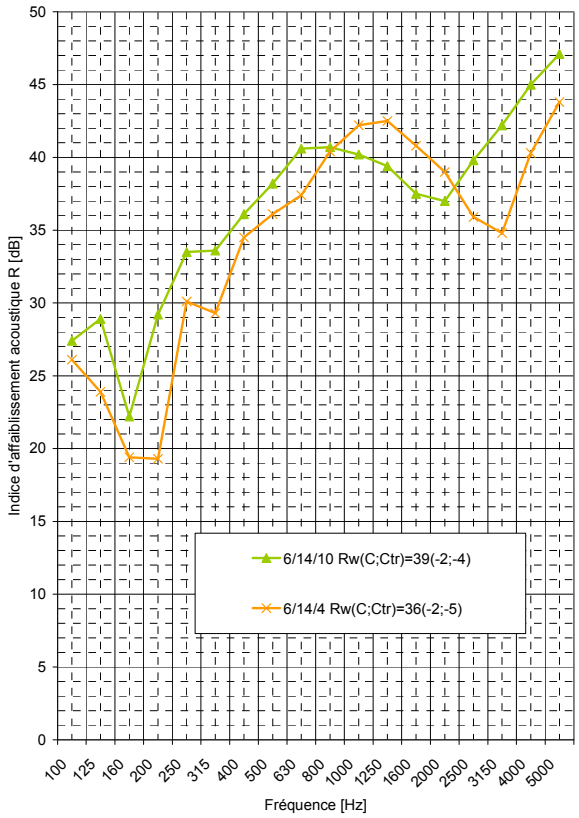


Figure 4.9.3 Impact de l'épaisseur de verre sur l'indice d'affaiblissement acoustique

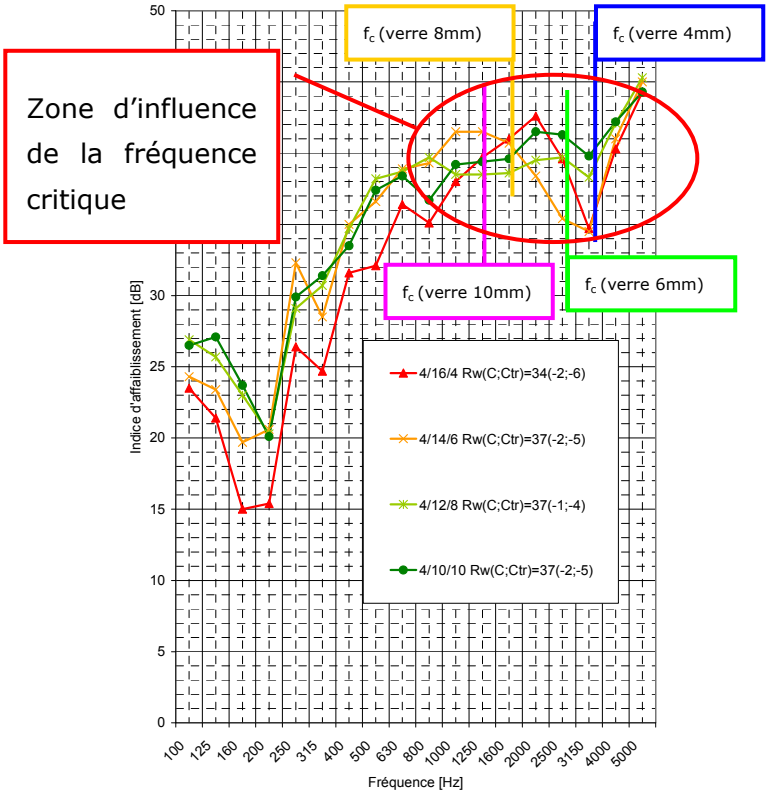


Figure 4.9.4 Impact de la fréquence critique des glaces

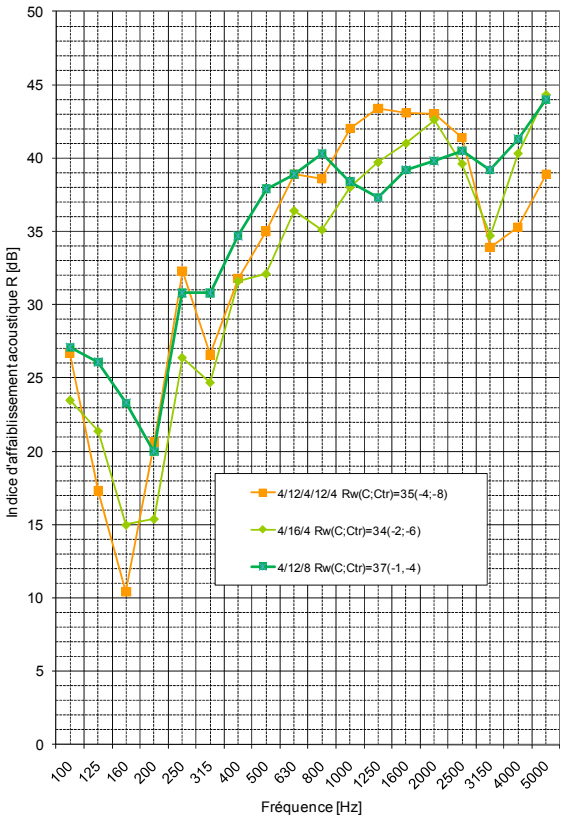


Figure 4.9.5 Comparaison entre l'indice d'affaiblissement acoustique d'un triple vitrage standard 4(12)4(12)4 et de deux double vitrage standard 4(16)4 et 4(16)8

- L'espaceur
  - La nature de l'espaceur et des éléments constituants (type d'espaceur, joint de scellement, joint d'étanchéité) influencent la performance finale du vitrage de façon significative.
  - Les changements technologiques des espaceurs engendrés par des exigences thermiques en forte croissance ont des impacts acoustiques non négligeables.
  - Le CSTB a réalisé une étude sur le sujet afin de balayer l'ensemble des systèmes et produits existant à ce jour sur le marché. L'étude porte sur la composition de vitrage la plus courante qui est aussi la plus efficace thermiquement (4/16/4). Des espaceurs standards ainsi que des espaceurs isolants (thermique) de différents types ont été testés. La variabilité rencontrée est importante et du même ordre de grandeur que celle que peut apporter un feuilleté acoustique, c'est-à-dire trois

décibels (Cf. Figure 4.9.6). Des investigations complémentaires restent cependant à mener afin d'isoler les facteurs influents.

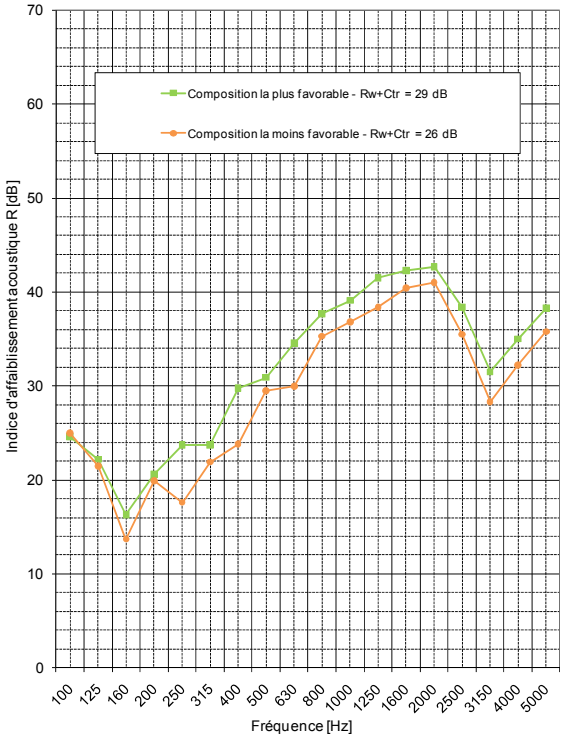
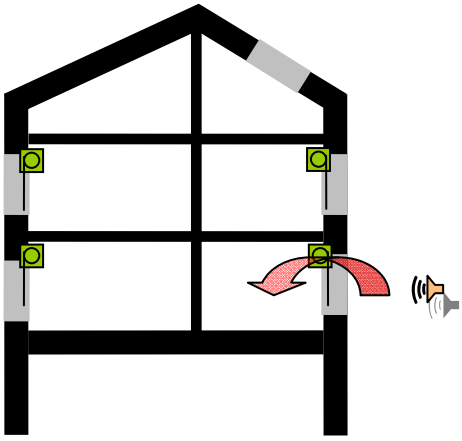


Figure 4.9.6 Variabilité de l'indice d'affaiblissement acoustique d'une fenêtre équipée de 4 (16)4 en fonction de son système de scellement (même menuiserie, même épaisseur de verre (entre 3,8 et 3,9 mm))

- *Performance in-situ :* isolement acoustique de façade (pour les transports terrestres) $D_{n,T,A,tr}=D_{n,T,w}+C_{tr}$ en dB
  - Niveau réglementaire : 30 dB à 45 dB entre extérieur et intérieur.
  - Celle-ci dépend de nombreuses voies de transmissions, mais principalement (pour les isolements acoustique < 38 dB) de la transmission directe au travers des châssis vitrés, des coffres de volets roulants et des entrées d'air. Le choix de la fenêtre, ne peut pas être dissocié de celui des autres éléments (coffre de volet roulant et entrée d'air). En effet, il ne sert à rien de mettre une fenêtre très performante avec une entrée d'air et ou un coffre de volet roulant peu performant.

4.9.3.2 ***Modification de l'isolement acoustique de façade au travers des coffres de volets roulants (isolement aux bruits extérieurs) :***



- *Performance produit :* Isolement acoustique normalisé $D_{n,e,w}+C_{tr}$ en dB
  - Cette performance dépend:
    - du type de pose : derrière linteau (ou en applique ; on la rencontre souvent dans le neuf) ; traversant (coffre tunnel ou configuration réhabilitation).
    - de l'étanchéité à l'air du coffre.
    - de la matière des parois du coffre (bois, PVC, alu ou pour les coffres linteaux : terre cuite, béton bois, béton,…).
    - de la présence ou non de matière absorbante dans sa cavité (mousse de mélamine, laine de roche).
    - de la présence ou non de masse lourde sur ses parois.
    - De la présence ou non d'une entrée d'air sur le coffre.

- *Performance in-situ :* isolement acoustique de façade $D_{n,T,A,tr}=D_{n,T,w}+C_{tr}$ en dB (Voir le paragraphe identique pour les fenêtres).
  - La présence d'une entrée d'air sur le coffre de volet roulant peut s'avérer plus avantageuse qu'avec la pose de cette même entrée d'air en menuiserie. On peut ainsi répondre à des isolements acoustiques de façade de 38 dB sans passer par une entrée d'air murale. Cependant, il est alors nécessaire que l'essai acoustique soit complété par un essai aéraulique satisfaisant.

- **Articles en référence** :
  - M. REHFELD, D. FOURNIER, *Acoustic behaviour of triple glazings*, Acoustics 08, Paris, 2008
  - R. FORET, J.B. CHÉNÉ, C. GUIGOU-CARTER, P. JEAN, *Effect of spacer designs on acoustic performance of windows*, EURONOISE 2009, Edinburgh
  - L'ensemble des données présentées dans les figures 4.9.3 à 5 sont issues de la base de données du logiciel d'ACOUBAT V6.0

4.10 Réflexions et perspectives

Les différentes solutions utilisées pour améliorer l'efficacité énergétique d'un bâtiment ont jusqu'à présent été pensées et développées selon une culture unique. Par exemple, pour une isolation thermique de façade (hors ossature légère) les solutions poussées par les acteurs de la construction étaient à choisir entre ITI, ITE ou ITR. Or chacune de ces solutions présente, comme nous venons de le voir, des atouts et des inconvénients tant sur

le plan acoustique que thermique (hiver ou été). S'il est encore possible d'améliorer cette approche mono culturelle, il est probable que l'efficacité des bâtiments de demain passera (aussi) par des approches mixant les techniques pour en tirer le meilleur compromis.

Il semble ainsi intéressant, en alternative à l'amélioration thermique intrinsèque des ITR actuels (nécessaire pour les futures RT), d'envisager les compléter par un ITI thermo-acoustique. Ceci pourra à la fois faire un complément d'isolation thermique, mais aussi limiter les transmissions acoustiques latérales et ainsi faciliter l'utilisation de cette technique dans le collectif. Si de plus les planchers haut et bas sont en matériaux à forte inertie thermique, l'impact du masquage par l'ITI de l'inertie thermique de l'ITR (réduction de la classe d'inertie de l'ITR lourde à moyenne ou moyenne à petite) sur le confort d'été dans la pièce sera négligeable. L'équilibre financier fourni posé de la solution n'est pas forcément mauvais.

La même démonstration pourrait être réalisée entre ITE et ITI ou entre isolation d'un plancher bas par la sous face et par la surface. Attention tout de même au comportement des triples parois qui en découleront sur le plan acoustique.

Si la démarche intellectuelle n'est pas toujours simple quand on a « l'habitude » de travailler avec l'une de ces solutions, elle n'en reste pas moins assez prometteuse et un certain nombre d'acteurs de la construction ont d'ores et déjà fait le pas.

Tout un domaine émergeant a été passé sous silence dans ce document, il s'agit des bâtiments à ossature légère. Ceux-ci présentent de nombreuses spécificités, ils font à ce jour l'objet de nombreux projets de recherches appliquées. Un projet devrait permettre de faire émerger des solutions et des outils pour mieux appréhender ce type de bâtiment : ACOUBOIS (FCBA/CSTB/QUALITEL avec le concours de la DHUP et des industriels du domaine). Ce projet devrait s'achever d'ici fin 2011, des solutions techniques seront alors validées ainsi que les bases de méthodes de calculs réalistes. C'est la raison pour laquelle nous n'abordons pas ce sujet dans ce document. Le cas particulier de la façade légère non porteuse sur un bâtiment à ossature lourde n'a pas non plus été développé ici. Il est cependant plus simple à aborder (indice d'affaiblissement acoustique $R_w(C ;C_{tr})$ et isolement acoustique latéral $D_{n,f,w}(C ;C_{tr})$ suffisent à le caractériser en laboratoire et les normes de calculs européennes EN 12354, tout comme ACOUBAT V6.0 sont valides pour ce cas) et offrent des perspectives intéressantes (aussi bien thermiquement qu'acoustiquement) notamment pour rénover des bâtiments à ossature lourde et façades non porteuses d'après guerre.

5 VENTILATION / PERMÉABILITÉ À L'AIR

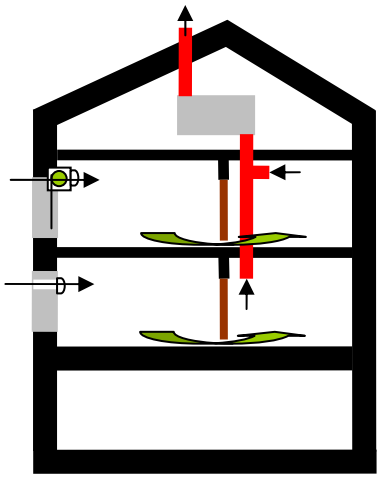
Marché : neuf et réhabilitation individuel ou collectif

5.1 Description succincte des systèmes de ventilation rencontrés et de leur environnement technique, ainsi que des problèmes de perméabilité à l'air

5.1.1 Ventilation

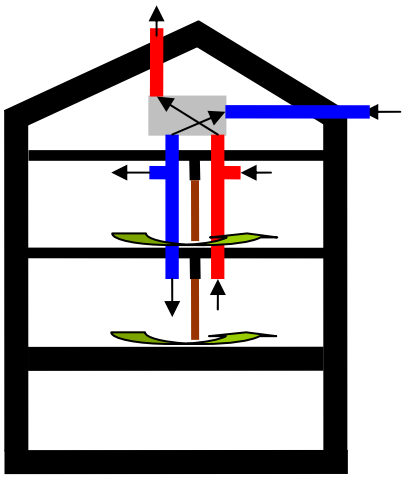
5.1.1.1 Ventilation simple flux :

- Ce système de ventilation est composé principalement de trois organes : les entrées d'air qui permettent l'arrivée d'air frais dans les pièces principales, les bouches d'extraction qui permettent l'évacuation de l'air vicié par les pièces humides et enfin le groupe d'extraction (individuel ou collectif) qui permet de créer la dépression nécessaire à l'extraction de l'air vicié. Les bouches d'extraction et les entrées d'air sont les deux organes de régulation du système. Cette régulation peut soit se faire en fonction de différences de pression (système auto-réglable) soit en fonction de l'hygrométrie de l'air (système hygroréglable, plus économe en énergie). Sur le plan acoustique, ces deux systèmes de régulation sont à prendre en compte de façon identique.



- En ventilation mécanique contrôlée auto-réglable il existe une certification de produit (y compris caractéristiques acoustiques) pour chacun des trois organes de ce système (NF Entrée d'air Auto-réglables, NF VMC bouche et NF VMC groupe).
- En ventilation hygroréglable il est important ici de raisonner en système, celui-ci relève de la procédure d'Avis Technique associée à une certification de produit (CSTBat ventilation hygroréglable,) cette certification porte notamment sur les caractéristiques acoustiques de ces composants.

5.1.1.2 Ventilation double flux :



- Ce système de ventilation est composé principalement de trois organes : les bouches d'insufflation qui permettent l'arrivée d'air frais dans les pièces principales, les bouches d'extraction qui permettent l'évacuation de l'air vicié par les pièces humides et enfin le groupe d'extraction/insufflation (individuel ou collectif) qui permet, outre l'extraction et l'insufflation, une récupération d'énergie au travers d'échangeur thermique. La régulation peut soit se faire en fonction de différences de pression (système auto-réglable) soit en fonction de l'hygrométrie de l'air (système hygroréglable, plus économe en énergie). Les organes de régulation peuvent être les bouches d'extraction et d'insufflation et / ou le groupe. Sur le plan acoustique, ces deux systèmes de régulation sont à prendre en compte de façon identique.
- Le système peut être complété d'une pompe à chaleur réversible assurant également le rafraichissement l'été ou d'un puits canadien (voir § 6.3 Utiliser la fraicheur du soir et de la nuit).
- Un très grand nombre de systèmes existe sur le marché avec des régimes de fonctionnement très étendus, plusieurs types de réseaux possibles, des associations multiples et variées avec d'autres systèmes, des échangeurs thermiques en tous genres, ce qui rend souvent compliqué son évaluation acoustique en laboratoire ainsi que la prévision de son impact sur site.
- Il existe une certification de produits NF VMC double flux et une NF Pompe A Chaleur incluant chacune quelques performances acoustiques.

5.1.1.3 Ventilation naturelle :

Le principe de ce type de ventilation est une extraction de l'air vicié réalisée par un conduit principal. La dépression dans celui-ci est assurée par le gradient de température entre sa base et son débouché en toiture, des grilles situées dans les locaux humides assurent le passage de l'air vicié vers ce conduit, le renouvellement d'air neuf extérieur est assuré par l'ensemble des fuites aérauliques (ouvertures non étanches, grilles en façade, etc..) il n'y a, généralement, pas d'extracteur mécanique. (Cf. Figure 5.1.1).

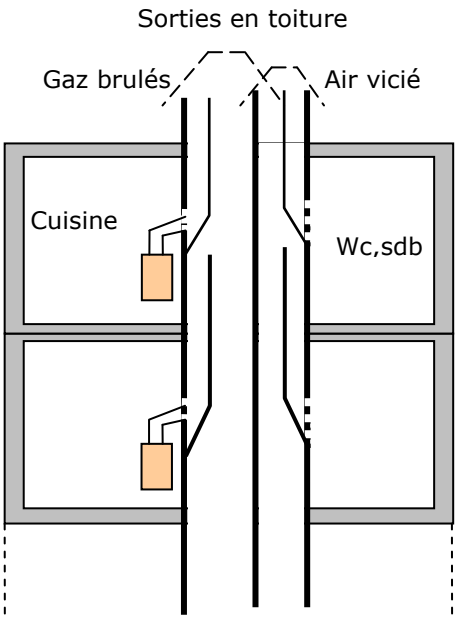


Figure 5.1.1 Schéma de principe d'une installation avec conduits shunt

À noter que lors des opérations de réhabilitation, il est souvent procédé à la mécanisation de la ventilation naturelle en installant des extracteurs stato mécaniques basse pression sur les souches de haut de gaine, en particulier pour assurer les débits convenables pour les installations de chauffage à gaz. À cette occasion les réseaux existants peuvent être tubés, et la nouvelle installation s'apparente à une VMC classique avec les mêmes contingences acoustiques.

5.1.2 Perméabilité à l'air du bâtiment

Dans ce chapitre, nous n'évoquerons que les problèmes de perméabilités qui ne sont pas liés à un produit de façon intrinsèque (Ex : l'impact acoustique du défaut de perméabilité à l'air d'un coulissant bien monté est déjà pris en compte dans l'essai d'indice d'affaiblissement de celui-ci). Il s'agit donc ici d'évoquer l'impact acoustique des défauts d'étanchéité à l'air des bâtiments. Dans le neuf, généralement, ce sont les défauts de conception et de mise en œuvre (mauvaise pose d'une fenêtre ou d'une porte, mauvais traitement des combles, mauvais traitement des points singuliers comme les passages de câbles ou de canalisation…) qui vont générer une mauvaise étanchéité à l'air du bâtiment.

Dans le bâtiment existant, on cumule les défauts d'étanchéité inhérents à la fois aux techniques constructives de l'époque (combles, portes, fenêtres, …) et au vieillissement des différents composants (joints, jeux de fonctionnements,…), aux rénovations mal mises en œuvre (doublage devant une ventilation basse non rebouchée ou une plaque de plâtre devant un vide ordure / une cheminée / une gaine technique /… abandonné(e) et non comblé(e),…).

Les impacts acoustiques de toutes ces sources sont toujours très difficiles à quantifier, cependant il faut s'avoir que ceux-ci influent principalement sur l'isolement acoustique entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment ainsi que celui entre logements. La recherche d'une perméabilité à l'air du bâtiment maîtrisée va de paire avec une qualité acoustique elle aussi mieux contrôlée.

5.2 Performance thermique

Le rôle principal de la ventilation est de renouveler l'air intérieur afin de garantir une bonne qualité de l'air et préserver le bâti.

De par ce renouvellement de l'air intérieur, la ventilation induit des déperditions énergétiques. La consommation électrique des ventilateurs impacte aussi sur les performances énergétiques des bâtiments.

Par conséquent, afin que la ventilation participe efficacement aux performances énergétiques des bâtiments, on dispose des voies suivantes :

- Recours non permanent aux dispositifs motorisés (ventilateurs, etc.) pour limiter les consommations des auxiliaires. C'est cette stratégie que permettent les systèmes de ventilation hybride (cf. : § 5.1.1.3),
- Modulation des débits en les asservissant à la présence et/ou à la qualité de l'air intérieur (humidité relative, CO_2, etc.). Exemple : ventilation hygroréglable.
- Préchauffage de l'air neuf. Les systèmes de VMC double flux sont par exemple conçus pour optimiser le préchauffage.

Pour toutes ces stratégies, un soin particulier doit être mis sur la perméabilité à l'air pour que le système prenne autorité sur les fuites ou infiltrations dues aux défauts d'étanchéité de l'enveloppe. Par exemple, même avec la perméabilité de référence de 0,8 $m^3/h.m^2$ de la RT 2005, les calculs de la Th-CE 2005 montrent qu'avec la VMC double flux, la part des déperditions liées au traversant est importante et pourrait annihiler le bénéfice du préchauffage de l'air neuf que permet l'emploi du double flux.

Note et définition :

Le **débit traversant** est le débit sortant du logement par la transparence de l'enveloppe (défauts d'étanchéité et entrée d'air) sous l'effet de deux forces motrices :

- Celle liée au vent qui crée une surpression ou dépression sur une façade,
- Celle du tirage thermique créé par la différence de température intérieure/extérieure du logement.

Le débit traversant est donc dépendant des paramètres suivants :

- Formes géométriques du bâtiment (hauteur, forme et surface des façades)

- Perméabilité à l'air du bâtiment
- Conditions météorologiques (vitesse et incidence du vent, température extérieure)
- Système de ventilation présent dans le logement (équilibre des pressions).

5.3 Leurs effets sur l'acoustique

Les propos sont illustrés par des exemples qui ne pourront être pris comme des généralités. De plus, nous n'avons pas la prétention d'avoir été exhaustifs dans les systèmes décrits.

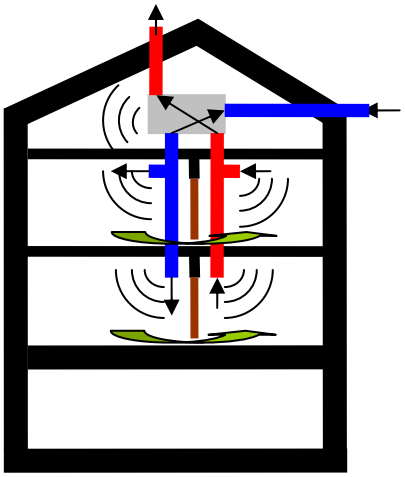
5.3.1 Génération de bruit dans les pièces d'un logement

- *Performance du produit :*
  - Plusieurs éléments sont à prendre en compte :
    - Le bruit généré par les bouches d'extraction ou d'insufflation sous une dépression donnée. On considère que ce bruit n'est que d'origine aérienne et on mesure alors un niveau de puissance de la bouche (sous une dépression donnée) : L_{wA} en dB(A).
    - Le bruit généré par le groupe d'extraction (et la PAC, s'il y en a une) se propageant au travers de la gaine (conduit court pour l'essai) et rayonnant dans une pièce au travers d'une bouche (généralement la bouche cuisine qui est la plus défavorable). On considère là aussi que ce bruit n'est que d'origine aérienne et on mesure alors un niveau de puissance du groupe : L_{wA} en dB(A). Un niveau de puissance en conduit peut aussi être réalisé, il faudra ensuite par calcul, prédire le niveau généré aux bouches du réseau. Un silencieux en sortie du groupe ou de la PAC peut s'avérer indispensable dans certaines situations.
    - Le bruit aérien rayonné directement par le groupe d'extraction ou la PAC dans l'environnement où ils se trouvent.
    - Le bruit solidien généré dans la structure par les vibrations du groupe. Il peut se caractériser en termes de puissance vibratoire (selon l'EN 15657-1). Mais peut être résolu par des préconisations de poses (suspendre le groupe dans le comble, le positionner sur un mur lourd plutôt qu'un mur léger, le découpler à l'aide de plots anti-vibratiles de son support, l'éloigner des pièces principales,

découpler les conduites rigides de leur groupe ainsi que du passage de mur ou de plancher,…).

- Optimiser les choix de gaines : les gaines souples ont un isolement acoustique plus faible que les conduits rigides donc un bruit rayonné plus important, mais elles transmettent moins de vibrations et ont une meilleure perte en ligne.

- *Performance de l'ouvrage :* Bruit d'équipement L_{nAT} en dB(A)
  - Niveau réglementaire (bâtiment d'habitation) : 30 dB en pièce principale et 35 dB en pièce humide.
  - Ces niveaux sont relativement faibles, notamment en chambre, il faut donc être très vigilant. En double flux, l'introduction de bouche d'insufflation dans les chambres notamment est à surveiller tout particulièrement. En effet on risque même d'avoir de nombreuses opérations qui seront conformes à la réglementation mais qui seront très mal vécues par leurs occupants. La Figure 5.3.1illustre une situation où le bruit de fond dans la pièce étant très faible, la bouche d'insufflation, tout en restant en dessous du seuil réglementaire, émerge très significativement du bruit de fond et sera donc totalement audible et pourra perturber le sommeil de l'occupant.



FREQ	Chambre	séjour	Bdf chambre	Bdf séjour
50	35.8	43.7	31.2	31.6
63	32.5	41.5	31.4	34.4
80	29.9	35.9	26.7	29.3
100	30.3	41.3	23.6	26.2
125	24.0	26.2	22.6	22.4
160	25.9	24.7	24.4	24.7
200	24.0	23.4	21.6	21.6
250	23.2	26.6	17.7	24.0
315	21.0	24.3	15.7	20.8
400	20.8	22.7	14.1	19.2
500	18.9	18.4	10.7	13.7
630	15.9	16.2	10.2	15.6
800	14.3	14.6	9.8	13.8
1000	14.0	14.6	10.0	14.0
1250	12.7	12.9	10.8	12.5
1600	11.8	11.9	10.2	11.6
2000	11.4	10.7	11.0	10.8
2500	10.5	10.2	10.3	10.2
3150	10.7	10.2	10.6	10.3
4000	10.9	10.0	10.5	10.2
5000	10.3	9.3	10.1	9.9
LnAT dB(A)	**26**	**28**	**23**	**25**

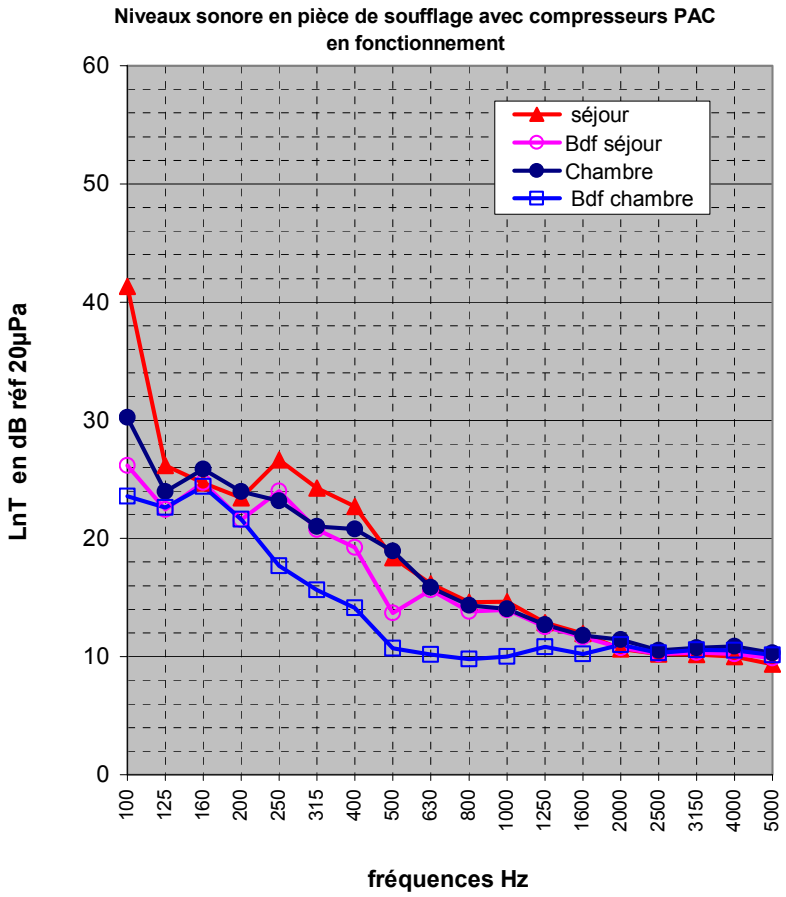
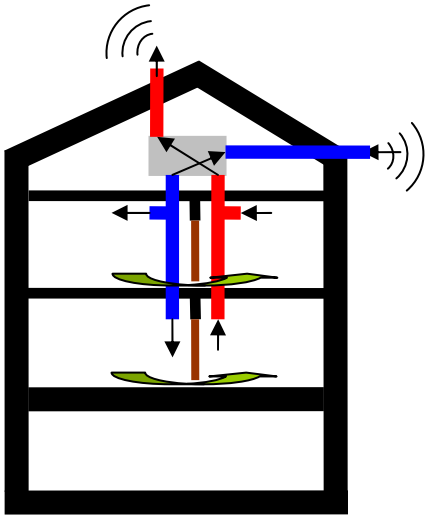


Figure 5.3.1 Illustration d'une mesure de niveau de bruit d'un système de ventilation double flux + PAC sur site conforme sur le plan réglementaire, mais présentant des émergences significatives par rapport au bruit de fond

- Prévoir un isolement acoustique et vibratoire suffisant entre le local technique (groupe extracteur/soufflage et PAC) et les locaux d'habitation attenants (situés directement en dessous par exemple lors d'une installation en comble).
- Les solutions de base sont identiques pour le double flux à celles à mettre en œuvre pour la VMC classique. Elles consistent en priorité à dimensionner correctement les installations sur le plan aéraulique et optimiser les caractéristiques des groupes moto-ventilateurs, du réseau et des bouches en fonction des contraintes aérauliques et des spécifications acoustiques associées telles que :
  - Puissance acoustique en conduit du ventilateur, puissance rayonnée ventilateur et PAC, bruit propre des bouches, interphone (isolement normalisé acoustique) d'une paire de bouches.

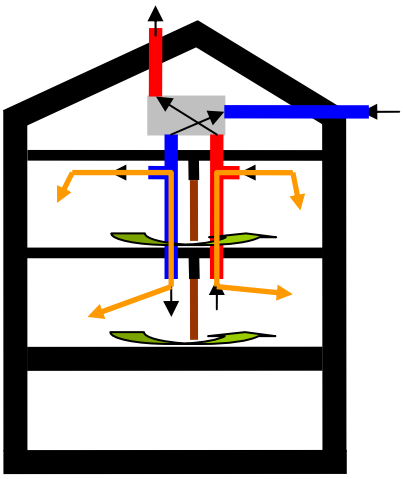
5.3.2 Génération de bruit dans l'environnement extérieur



- *Performance du produit :* identique à celle du bruit intérieur.
- *Performance de l'ouvrage :* Bruit de voisinage.
  - Notion d'émergence spectrale du bruit dans un logement lié à un équipement d'un autre logement (Réglementation bruit de voisinage).
  - C'est souvent le cas de modules (PAC par exemple) posés en façade, ou de groupe collectif en toiture terrasse.
  - Une optimisation du positionnement des bouches d'évacuation de l'air vicié ou d'entrée d'air frais est à réaliser pour minimiser leur impact sur le voisinage, ou si nécessaire implantation de silencieux.

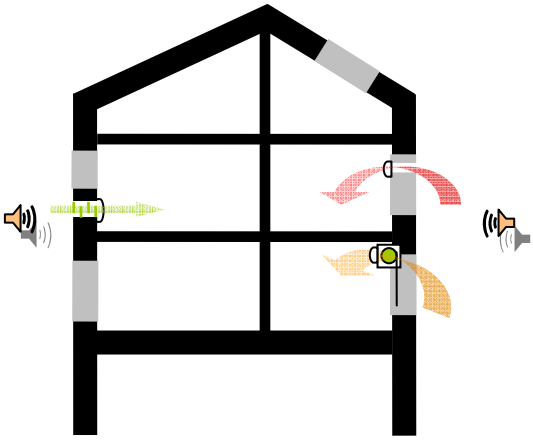
5.3.3 Modification de l'isolement acoustique entre logements au travers du réseau de ventilation (extraction ou insufflation)

- *Performance du produit :* $D_{n,e,w}(C ;C_{tr})$ en dB
  - Interphone d'un couple de bouches (extraction ou insufflation).
  - Elle est généralement comprise entre 45 et 60 dB ($D_{n,e,w}$+C)
  - Attention, en ventilation naturelle, les choses pourraient être assez largement modifiées. En effet, les faibles dépressions aux grilles d'extraction imposent une grande ouverture pour passer les débits nécessaires, ce qui n'est pas favorable aux transmissions de type interphonie entre locaux ou avec l'extérieur surtout dans les locaux en étages supérieurs.
  - Cette performance dépend des bouches et de leur ouverture, de la longueur du piquage avec le collecteur, de la distance entre les deux bouches, du diamètre du collecteur,….



- *Performance de l'ouvrage :* Isolement au bruit aérien $D_{n,T,A}=D_{n,T,w}$+C en dB.
  - L'interphonie de bouche n'est qu'un des très nombreux chemins de transmission entre deux pièces (exemple deux cuisines superposées), mais il est indispensable de le prendre en compte pour s'assurer de la conformité réglementaire de l'isolement acoustique.
  - À noter que l'interphonie due aux bouches de soufflage peut affecter les locaux principaux d'un même logement (selon le type de réseau) : les ouvertures peuvent être importantes pour diminuer les vitesses d'air insufflé. Bien que ceci ne soit pas réglementé, cela peut être fort dérangeant, notamment vis-à-vis des chambres à coucher.

5.3.4 Modification de l'isolement acoustique de façade : (Isolement au bruit aérien entre l'intérieur et l'extérieur)



- *Performance du produit :*
  - En double flux, aucune, car il n'y a pas d'entrée d'air direct en façade
  - En simple flux : $D_{n,e,w}(C ;C_{tr})$
    - On distinguera trois utilisations différentes :
      - En menuiserie : la performance de ces entrées d'air est actuellement limitée à 41-42 dB ($D_{n,e,w}+C_{tr}$)
      - En coffre de volet roulant : la performance n'est pas dissociable de celle du coffre, mais cette association permet généralement un meilleur compromis si tant est que le débit aéraulique est aussi validé par essai.
      - En mural : la performance peut atteindre de très forts niveaux, en présence de traversées de murs efficaces (jusqu'à un $D_{n,e,w}+C_{tr}$ de 55 dB)

- *Performance de l'ouvrage :* $D_{n,T,A,tr}$ en dB
  - La solution double flux est très intéressante dans un environnement sonore extérieur bruyant du fait de l'absence d'entrée d'air en façade. Ce qui permet notamment de mettre des fenêtres moins performantes en acoustique.
  - En simple flux, il existera généralement des solutions en menuiserie pour répondre aux isolements acoustique de façade 30 et 35 dB. On peut ensuite trouver des solutions d'entrées d'air en coffre de volet roulant pour répondre à l'isolement acoustique de façade de 38 dB (ceux-ci devront être aussi validés en aéraulique). Mais au delà, il faudra passer obligatoirement en entrée d'air murale.

Constats in-situ concernant des systèmes « ventilation double flux » : deux opérations ont fait l'objet de mesures acoustiques par le CSTB ; une collective équipée d'un système avec PAC associée, une individuelle avec puits canadien. Pour chacun des systèmes ayant fait l'objet des mesures, les exigences de la réglementation acoustique sont respectées. Ces installations pilotes ont été soignées tant sur le plan thermique qu'acoustique, elles montrent qu'il existe des solutions qui, pour peu qu'elles soient mises en œuvre convenablement, permettent de répondre aux

exigences de la réglementation acoustique. (cf. rapport de mesures N° ER-712-0024-DGUHC_THER Double flux…).

6 CONFORT D'ÉTÉ

6.1 La protection solaire du bâtiment

Leur impact sur la performance acoustique est rarement pris en compte, cependant on peut noter quelques interactions.

Les protections végétales n'ont pas d'effet significatif en acoustique. Les protections extérieures mobiles (volets ou stores) n'auront pas non plus d'impact significatif s'ils sont partiellement fermés. Par contre un volet roulant peu perméable, pourra avoir un effet négatif s'il est entièrement déroulé à quelques centimètres du vitrage (phénomène de triple paroi pénalisant) et positif s'il l'est à plus de quinze centimètres du vitrage. Il peut aussi y avoir une déperdition au travers du coffre vide, mais celle-ci est généralement moindre que celle liée au tablier déroulé.

En zone aéroportuaire, ou dans toute zone où des sources de bruits sont en hauteur par rapport aux baies à protéger du bruit et du soleil, un prolongement bien dimensionné de la toiture peut permettre d'améliorer les deux aspects (Cf. Figure 6.1.1).

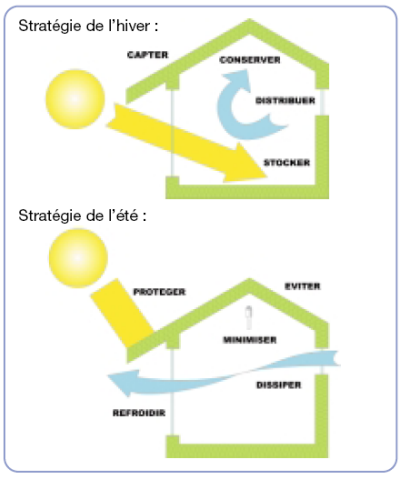


Figure 6.1.1 Extrait du guide « Réussir un projet de bâtiment à basse consommation » (collectif EFFINERGIE)

Il peut aussi exister des phénomènes de réflexion acoustique plus ou moins importants selon les systèmes de protections retenus (densité de lame, orientation, largeur, matière,…). C'est, dans une moindre mesure, l'effet qu'ont certains balcons et qui est décrit dans la norme de prédiction EN 12354 (Base des logiciels ACOUBAT V6.0 et BASTIAN).

Enfin, il faut faire attention à l'utilisation de protections solaires sur les projets présentant des vitesses de vent importantes car celles-ci peuvent alors se mettre à siffler. Cela dépend essentiellement du design de la protection solaire, de la vitesse du vent et de son incidence.

6.2 L'inertie thermique

La recherche du confort d'été passe par des solutions intégrant des éléments à forte inertie thermique (mur ou plancher lourd), tout en limitant toute utilisation de système la masquant (doublage thermique intérieur, plafond suspendu, revêtement de sol,…).

Ce dernier point nécessite une attention toute particulière car aujourd'hui la performance acoustique d'un bâtiment est souvent liée à des éléments de second œuvre.

Le niveau de bruit d'impact réglementaire est souvent obtenu grâce à un traitement à la source par un revêtement de sol acoustique (chape flottante, parquet, stratifié ou carrelage flottant ; revêtement de sol textile, ou PVC résilient). Or l'ensemble de ces éléments masque, de façon plus ou moins importante, l'inertie du plancher support. On peut cependant noter qu'une chape flottante apportera sa propre inertie qui dépendra de son épaisseur.

De même, il est souvent nécessaire de doubler le refend séparatif entre deux logements pour atteindre l'isolement acoustique réglementaire, ce qui masquera, dans l'un des deux logements, l'inertie du refend (Attention : en acoustique on ne doit pas doubler des deux côtés du mur, c'est généralement moins bon qu'en en doublant qu'un).

Le phénomène est identique pour les doublages de façade, or dans un certain nombre de configurations, le doublage thermo-acoustique de la façade sera aussi nécessaire pour diminuer les transmissions latérales entre deux logements et atteindre les objectifs réglementaires d'isolement acoustique.

Cependant le point qui est à ce jour le plus emblématique des difficultés à concilier performance acoustique et inertie thermique, porte sur l'utilisation dans un grand nombre de secteurs du bâtiment de plafond suspendu acoustique pour corriger l'acoustique interne d'un volume. Les produits généralement utilisés sont à base de laine minérale ou de mousse à cellules ouvertes qui ont généralement une résistance thermique non négligeable. Sous couvert de confort d'été, on a donc commencé à voir limiter de façon drastique l'utilisation de ces plafonds dans certains projets (certains bureaux d'études thermiques allant jusqu'à limiter à 30% la surface de plafond acoustique par rapport au plafond total). Outre le caractère souvent non réglementaire de ces projets, il semble impossible d'imposer un traitement acoustique aussi faible dans des espaces de types bureau paysager, cantine, salle de classe ou salle de réunion. Quelques études sont en cours sur le sujet, afin de trouver des solutions compatibles sur le plan du confort d'été et de la correction acoustique. Il semble qu'un des premiers enjeux porte sur la compréhension du phénomène d'échange thermique (convection, rayonnement, un mixe des deux). Ensuite, nous trouverons les dispositifs acoustiques les mieux adaptés (Grilles de plafond avec un remplissage partiel, nappes ouvertes, baffles, éléments muraux, éléments absorbants avec une très faible résistance thermique…). Un article récemment présenté au congrès NAG/DAGA 2009 à Rotterdam aborde cette problématique sous un angle expérimental et propose quelques éléments de réponses. Les principales investigations présentées portent sur l'impact sur l'acoustique et le confort d'été du pourcentage de couverture d'un plafond absorbant (à plénum ouvert). Il est

intéressant de voir que, sur le plan thermique, la perte d'inertie avec un plafond absorbant serait plus faible que le pourcentage de couverture du plafond. Par exemple, pour le cas présenté (voir Figure 6.2.1), une couverture d'environ 65% de la surface de la dalle par un plafond suspendu en laine minérale de 40 mm à plénum ouvert de 200 mm (à priori la hauteur du plénum à peu d'influence) entrainerait une diminution, de 25 à 30 %, à la fois de la capacité d'absorption acoustique (par rapport à une couverture totale) et de la capacité thermique de la dalle (par rapport à une dalle nue).

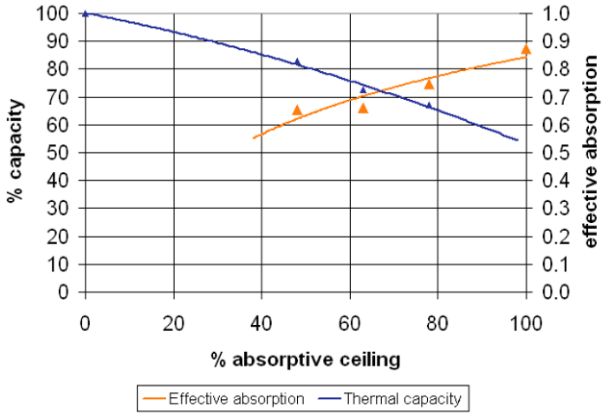


Figure 5: Thermal capacity of 40 mm mineral wool ceiling tiles mounted at 200 mm and effective absorption averaged over octave band from 500 Hz – 4kHz of the same ceiling.

Figure 6.2.1 Effet du pourcentage de couverture d'un plafond acoustique sur la capacité thermique du plancher

(Extrait de « Thermally activated concrete slabs and suspended ceilings » présenté par H. Peperkamp and M. Vercammen au congrès NAG/DAGA 2009 à Rotterdam)

Références :

- « Thermally activated concrete slabs and suspended ceilings » présenté par H. Peperkamp and M. Vercammen au congrès NAG/DAGA 2009 à Rotterdam
- Présentation de Pierre CHIGOT (ECOPHON) au colloque CIDB « Isolation Thermique, Isolation Acoustique et Ventilation : Compatibilité ou Incompatibilité ? » du 26 novembre 2008. Disponible sur le site du CIDB.

6.3 Utiliser la fraicheur du soir et de la nuit

Ce principe nécessite généralement la surventilation de nuit afin d'évacuer les calories accumulées pendant la journée et de pouvoir profiter d'une relative fraicheur le lendemain. Si ce principe est utilisé par tout un chacun depuis la nuit des temps, nous en connaissons aussi les limites. En effet, outre que cette pratique ne permet pas de garantir le minimum réglementaire d'isolement acoustique de façade ($D_{n,T,A,tr}$ ≥ 30dB), elle est dans de nombreux cas fort désagréable, non seulement en présence de bruit de fond continu (route/rue très passante, PAC du voisin, …) mais aussi à l'occasion de bruit ponctuel (mobylette, avion, train, …).

De nouveaux systèmes restent à inventer afin de répondre au mieux à ce problème. Un projet Euro-méditerranéen mené entre 2004 et 2006 du nom de TERIA a eu pour sujet le développement de « fenêtres » actives permettant de surventiler de nuit à proximité d'aéroport. Ce projet a donné lieu au développement et à l'évaluation de plusieurs systèmes, vous pourrez retrouver la synthèse de ces travaux sur le site du projet : http://www.teria.itc.cnr.it/ . La solution développée par le CSTB est une fenêtre équipée d'un soubassement fixe supportant trois conduits de grosse section, traités de façon active (Cf. Figure 6.3.1).

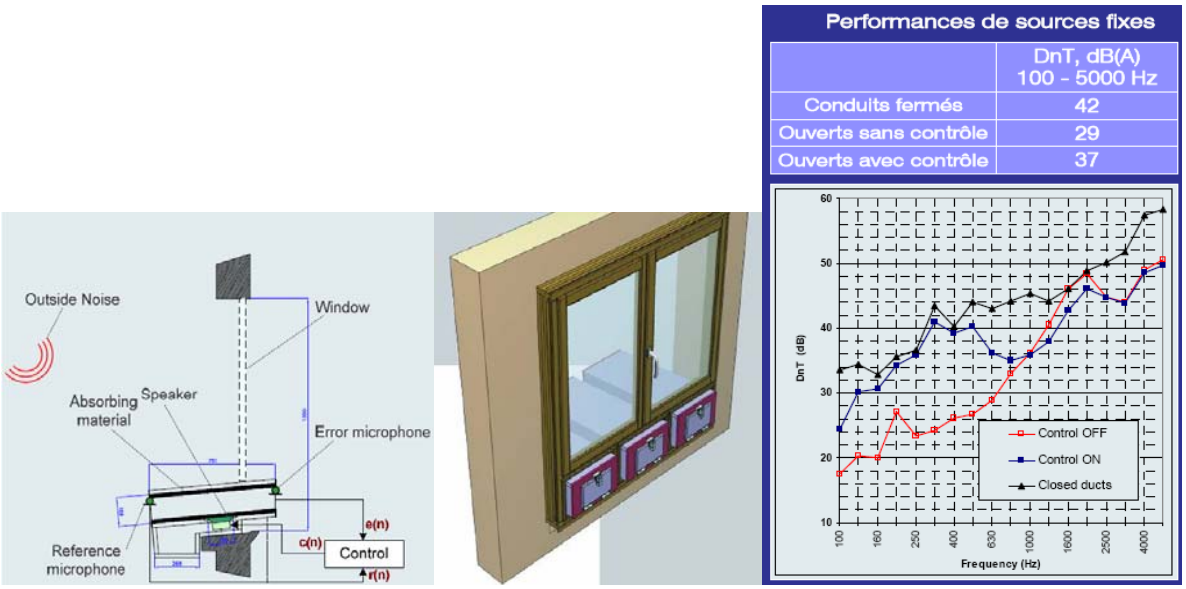


Figure 6.3.1 Fenêtre active mise en place par le CSTB pour le projet TERIA

Un second projet est en cours sur ce sujet : ACTIFEN-Réhab. L'objectif premier du projet soutenu par l'ADEME et l'ANR est de concevoir une « fenêtre active intelligente » optimisée sur l'ensemble de ses fonctionnalités : l'aération, l'éclairage, la thermique et l'acoustique, pour améliorer la performance énergique et plus globalement le confort. La fenêtre ACTIFEN-Réhab développée et actuellement en train d'être testée sur des sites contrôlés, combine une surventilation nocturne et une protection solaire pour la période diurne innovantes sans nuire à la performance acoustique.

6.4 La taille et l'orientation des parois vitrées

En acoustique comme en thermique, les parois vitrées ont un impact très important pour la qualité acoustique du bâtiment vis-à-vis des bruits extérieurs.

On cherchera au maximum à protéger cet élément de toute nuisance sonore extérieure, l'orientation du bâtiment et des baies est alors primordiale. Pour celles que l'on doit maintenir dans une exposition importante au bruit extérieur, on cherchera généralement à en limiter la taille pour en limiter le surdimensionnement acoustique. La Figure 6.4.1 illustre ce principe.

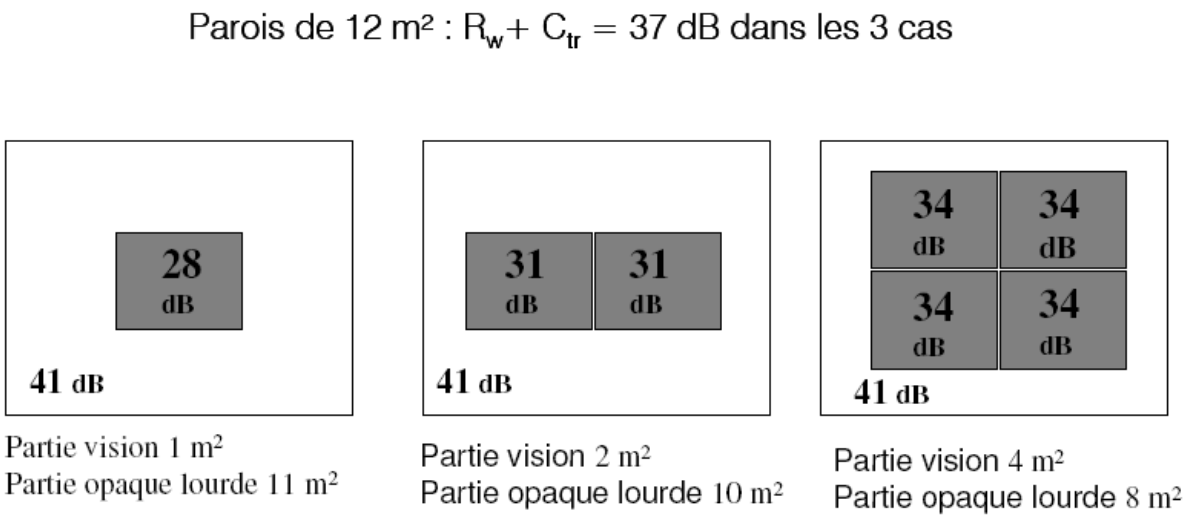


Figure 6.4.1 Illustration de l'importance du ratio Baie vitrée / mur lourd sur le choix de la performance de la baie vitrée

Il va sans dire que l'orientation du soleil et des sources de bruits n'étant pas encore parfaitement corrélées, les choix architecturaux finaux devront être un compromis éclairé.

6.5 Utiliser la fraicheur du sol

Ce procédé souvent appelé « puits canadien », nécessite deux attentions particulières d'un point de vue acoustique.

Tout d'abord, ce système est généralement couplé avec un extracteur mécanique qui génère donc du bruit. Il faut alors veiller à bien choisir l'emplacement de cet équipement afin qu'il gêne le moins possible l'utilisation du bâtiment, et ensuite, faire attention au choix du matériel et prendre un produit dont le niveau de puissance acoustique est le plus faible (L_{wA} en dB(A)).

Le second point important, c'est la distribution d'air tempéré (température du sol) dans le bâtiment. Il faut faire extrêmement attention à ne pas dégrader l'isolement acoustique entre deux pièces alimentées par ce réseau. Prenons par exemple le cas de deux salles de classes contigües que l'on souhaiterait alimenter par ce système. Le volume d'air à renouveler étant important et la pression de fonctionnement souvent faible, il est nécessaire de passer avec de grosses sections de conduite, il est alors très difficile de garantir un isolement acoustique correct entre ces deux salles à cause de l'interphonie par ces conduits.

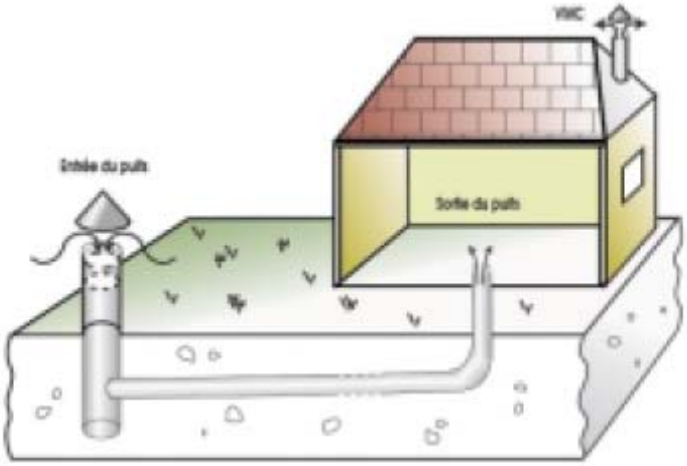


Figure 6.5.1 Extrait du guide « Réussir un projet de bâtiment à basse consommation » (collectif EFFINERGIE)

Enfin il est à noter que ce type de système ne pose pas de soucis particuliers d'isolement acoustique entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment étant donné la longueur de conduit sous terre.

Sur le plan pratique, une attention toute particulière est à apporter lors de la mise en œuvre pour que le système puisse être efficace.

Référence : À noter le « Guide Technique : Améliorer le confort d'été dans l'habitat collectif » publié dans le e-cahier du CSTB N° 3619 en date du avril 2008.

ANNEXE 1 - NOTION DE THERMIQUE

Propagation de la chaleur

La chaleur se propage de trois façons différentes qui sont la conduction, la convection et le rayonnement. Dans le bâtiment les trois modes se combinent très souvent. La quantité de la chaleur échangée augmente avec la différence de température entre les éléments.

La conduction

Transfert de chaleur à travers un corps solide en partant du côté chaud vers le côté froid.

La convection

Transfert de chaleur d'un corps solide vers un gaz et inversement.

Le rayonnement

Transfert de chaleur à distance par rayonnement infrarouge.

Conductivité thermique λ W/(m.K)

La conductivité thermique d'un matériau homogène représente le flux de chaleur par unité de surface traversant 1 m d'épaisseur du matériau pour une différence de température de 1 degré.

La conductivité thermique des matériaux isolants thermiques les plus courants varie entre 0.025 et 0.045 environ. Les métaux sont des matériaux conducteurs qui possèdent des conductivités thermiques élevées (230 pour l'aluminium, 50 pour l'acier galvanisé et 15 pour l'inox). Le verre a une conductivité thermique de 1. Le bois et le plastique, une conductivité thermique proche de 0.2.

Résistance thermique R m².K/W

La résistance thermique d'un matériau est sa capacité à résister au passage de la chaleur qui le traverse. Pour un matériau homogène ou quasi homogène, R est égale au rapport entre son épaisseur exprimée en mètre et sa conductivité thermique. Plus R est importante plus la paroi est isolante thermiquement.

$$R = e/\lambda \qquad m^2.K/W$$

Afin d'obtenir une bonne résistance thermique d'un matériau on peut donc soit augmenter son épaisseur soit diminuer sa conductivité thermique soit les deux à la fois. La résistance thermique totale de plusieurs couches homogènes empilées ayant des épaisseurs constantes, est égale à la somme des résistances thermiques de chaque couche.

La résistance thermique d'une lame d'air dépend de la direction du flux (horizontal, vertical ascendant, vertical descendant). Au delà de 20 mm d'épaisseur la résistance thermique d'une lame d'air se stabilise sauf pour les flux descendants où la résistance thermique continue à croître avec l'épaisseur.

Résistances thermiques superficielles Rsi, Rse m².K/W

Les résistances thermiques superficielles représentent les résistances à l'échange de chaleur par convection et par rayonnement entre les faces intérieure et extérieure d'une paroi et les ambiances intérieure et extérieure respectives. Leurs valeurs dépendent notamment de la vitesse d'air et de la direction du flux de chaleur (horizontal, vertical ascendant, vertical descendant). Des valeurs conventionnelles sont données dans les règles Th-Bât (règles professionnelles pour l'application des réglementations thermiques).

Coefficient de transmission surfacique U W/(m².K)

Le coefficient de transmission surfacique d'une paroi comportant une ou plusieurs couches homogènes empilées et d'épaisseurs constantes est la capacité de la paroi à échanger la chaleur entre les deux ambiances adjacentes. Il se calcule comme étant l'inverse de la somme de toutes les résistances thermiques y compris les résistances superficielles. Plus U est faible plus la paroi est isolante thermiquement.

$$Uc = 1/(Rsi + Rse + \sum Ri) \qquad W/(m^2.K)$$

Le coefficient de transmission surfacique d'une paroi comportant des éléments hétérogènes doit tenir compte de l'impact des ponts thermiques intégrés qui en résultent (profilés métalliques, vis, tiges, pattes, …). U se calcule en rajoutant à Uc une valeur ΔU qui représente l'impact des ponts thermiques noyés dans la paroi.

$$U = Uc + \Delta U \qquad W/(m^2.K)$$

DU est obtenue en pondérant les ponts thermiques linéiques et ponctuels par leur linéaires et leur nombres.

Coefficient de transmission linéique ψ W/(m.K)

Le coefficient de transmission linéique caractérise les déperditions supplémentaires qui ont lieu au niveau d'un élément filant plus conducteur de la chaleur que le reste de la paroi (exemple un rail métallique filant qui transperce un isolant thermique). Le coefficient ψ caractérise également les déperditions par transmission à travers une jonction entre deux parois (par exemple un plancher et un mur isolé par l'intérieur).

Coefficient de transmission ponctuel χ W/k

Le coefficient de transmission ponctuel caractérise les déperditions supplémentaires qui ont lieu au niveau d'un élément ponctuel plus conducteur de la chaleur que le reste de la paroi (exemple une tige métallique qui transperce un isolant thermique).

Facteur solaire

Le facteur solaire représente la capacité d'un élément d'enveloppe à transmettre l'énergie solaire reçue. Il se calcule comme étant le rapport entre l'énergie transmise à l'intérieur du local et l'énergie reçue. Le facteur solaire varie entre 0 et 1.

Inertie thermique

L'inertie thermique est la capacité d'un matériau à stocker et à restituer la chaleur ou la fraîcheur. Elle est fonction à la fois de sa masse volumique, de sa conductivité thermique et de sa capacité thermique. A l'échelle du bâtiment d'autres paramètres viennent s'ajouter comme l'épaisseur des matériaux et la surface d'échange avec l'ambiance.

ANNEXE 2 - CHOIX ACOUSTIQUE D'UN ISOLANT THERMIQUE EN FONCTION DE SA DESTINATION

Il est nécessaire de préciser avant de développer cette annexe, que les matériaux que l'on appelle couramment *isolants* et qu'on devrait dénommer *isolants thermiques* (Mousse alvéolaire, laine minérale, fibre végétale,…) ne sont jamais à eux seuls des *isolants acoustiques*. Ce n'est qu'intégrés dans un système qu'ils participent à améliorer ou dégrader l'isolement acoustique. Or, comme vous avez pu le constater tout au long de cette étude, les comportements acoustiques de l'ensemble diffèrent fortement en fonction du type de système et du type de matériau isolant thermique. Ce sont ces phénomènes physiques que nous souhaitons éclairer dans la suite de ce chapitre.

Annexe 2.1 Catégories d'isolant thermique

Plusieurs types de matériaux isolants (thermique) existent ; par rapport à l'acoustique ils peuvent être séparés en deux catégories : les matériaux à cellules fermées et les matériaux à cellules ouvertes ou fibreux.

Pour la première catégorie, l'air ou le gaz les constituant est bloqué dans les cellules formant le matériau et ne peut donc pas circuler dans le matériau. On citera pour les plus communs les polystyrènes, les mousses polyuréthane à cellules fermées…

Pour la deuxième catégorie, l'air circule dans le matériau fibreux ou poreux. On citera pour les plus communs les mousses polyuréthane à cellules ouvertes, les laines de verre ou de roche, mais aussi les matériaux à base de fibres végétales, animales ou issues de divers recyclages, , etc...

Annexe 2.2 Caractérisation acoustique des matériaux isolants thermiques

Les matériaux à cellules fermées (première catégorie) sont usuellement caractérisés par leur raideur dynamique suivant la norme NF EN 29052-1. Dans cette norme, la fréquence de résonance masse-ressort (le ressort étant le matériau élastique à caractériser) est mesurée pour une masse de charge de 8 kg. On notera que cette masse de charge est généralement adaptée suivant la charge qui s'appliquera sur le matériau en situation réelle. L'air ou le gaz étant emprisonné dans les cellules fermées, ces matériaux sont généralement relativement raides sauf par exemple le polystyrène élastifié qui est travaillé pour le rendre plus souple (environ 10 fois plus souple qu'un polystyrène standard). La raideur dynamique dépend de l'épaisseur du matériau, plus elle est faible plus le matériau est souple. La mesure de la raideur dynamique permet aussi d'évaluer le facteur de perte du matériau (à partir de la largeur de bande à –3 dB du pic de la fréquence de résonance).

Les matériaux à cellules ouvertes (deuxième catégorie) sont plus complexes comme ils sont composés d'une phase solide et d'une phase liquide couplées entre elles. Leur caractérisation comprend aussi la raideur dynamique suivant la norme NF EN 29052-1, mais aussi la résistance à l'écoulement de l'air suivant la NF EN 29053.

Pour être complet s'ajoute aussi la porosité, la tortuosité et les grandeurs caractéristiques thermique et visqueuse. Généralement la tortuosité peut être considérée proche de l'unité (connectivité très élevée du réseau poreux ou fibreux). La porosité représente le pourcentage volumique de cellules ouvertes et peut être mesurée suivant la norme ASTM D2856-94. Pour les isolants thermiques fibreux, la porosité peut être estimée par écrasement sous une charge par exemple. Les grandeurs caractéristiques thermique et visqueuse peuvent être estimées à partir d'images obtenues par microscopie électronique en évaluant le rayon des fibres pour les isolants thermiques fibreux et le rayon hydraulique (défini par 2*surface de la section des pores/périmètre de la section des pores) pour les isolants thermiques à cellules ouvertes. L'air circulant dans ces matériaux, ils sont généralement plus souples (raideur dynamique plus faible) que ceux de la première catégorie. Ils sont donc généralement plus efficaces du point de vue acoustique que ceux de la première catégorie. Attention cependant à la propagation complexe dans la phase solide et la phase fluide entrainant des phénomènes de couplage. Finalement, on notera que ces matériaux ne sont généralement pas isotropes. Pour les matériaux poreux et fibreux le coefficient de Poisson est pris égal à 0.

Annexe 2.3 Utilisation des matériaux isolants thermiques comme éléments de remplissage

Les matériaux isolants thermiques utilisés comme matériaux de remplissage se retrouvent principalement à l'intérieur de double cloison, de doublage sur ossature, de plafond, etc… Les matériaux isolants thermiques de la deuxième catégorie (c'est-à-dire soit poreux ou fibreux) sont préférables comme ils sont associés à une fréquence de résonance masse-ressort-masse plus basse. Le paramètre important est certainement la résistance à l'écoulement de l'air.

Une attention particulière doit être donnée lors du montage des matériaux isolants thermiques. Celui-ci devra préférablement être en contact avec une seule des deux parois l'entourant ; en effet, si le matériau est en contact avec les deux parois alors la performance acoustique peut être dégradée à cause de la transmission par la phase solide de ces matériaux isolants thermiques (Ceux ayant la raideur dynamique la plus forte seront alors les plus pénalisants).

On notera aussi qu'il est préférable de désolidariser l'ossature du mur support pour éviter la dégradation de la performance en moyenne et haute fréquence. Pour les doublages sur ossature, on recommandera une ossature indépendante du mur support et pour les plafonds suspendus des suspentes acoustiques anti-vibratiles ou des plafonds sur ossature primaire (sans suspentes).

Annexe 2.4 Utilisation des matériaux isolants thermiques comme éléments « ressort »

Les matériaux isolants thermiques utilisés comme éléments « ressort » se retrouvent principalement dans les systèmes sandwich collés, les doublages collés (extérieur ou intérieur), les dalles flottantes, etc… Dans ce cas, la raideur dynamique est le paramètre clé : les matériaux les plus souples donnent généralement de meilleures performances comme la fréquence de résonance masse-ressort est plus basse. On notera que le facteur d'amortissement joue aussi un rôle important sur la dégradation à la fréquence de résonance masse-ressort (plus le facteur d'amortissement est élevé moins la dégradation est importante).

Annexe 2.5 Utilisation des matériaux isolants thermiques en éléments apparents

Les matériaux isolants thermiques utilisés en éléments apparents sont généralement de type poreux ou fibreux, ou encore complexes combinant un matériau isolant thermique à cellules fermées et un fibreux. Ils se retrouvent principalement dans les systèmes de traitement des planchers bas en sous-face, comme les fonds de coffrage, le flocage ou encore les panneaux rapportés en sous-face. Ces éléments permettent d'augmenter l'absorption acoustique dans le local dans lequel ils sont mis en place.

Cependant leur utilisation entraine généralement une dégradation de la performance acoustique au bruit aérien du système support comme ils sont par principe collés ou fixés mécaniquement directement sur ce support. La raideur dynamique de l'isolant thermique est le paramètre important. En effet, la propagation dans le matériau fibreux est principalement dans la phase solide sous la forme d'une onde de compression. Des dégradations de la performance acoustique sont généralement obtenues entre les tiers d'octave 200 et 500 Hz suivant l'épaisseur de l'isolant thermique utilisé. Pour les panneaux rapportés en sous-face et fixés mécaniquement au support, plus le nombre de fixation (métallique généralement) sera faible par m^2 plus la dégradation sera limitée.

ANNEXE 3 - PASSERELLES ENTRE LA PERFORMANCE DES PRODUITS ET LA PERFORMANCE DE L'OUVRAGE

À ce jour plusieurs méthodes existent pour estimer la performance finale d'un bâtiment à partir de la performance mesurée en laboratoire de chaque composant.

La première s'appuie sur les normes de simulations européennes EN 12354-1 à 6. La partie 5, en cours de publication, permettra d'intégrer la « brique manquante » : les bruits d'équipements. Relativement exhaustive, cette méthode basée sur une théorie de SEA simplifiée (méthode énergétique) est, dans sa version actuelle, valide uniquement pour les bâtiments à ossatures lourdes. Un groupe de travail européen du TC 126 (Comité technique « Acoustique du bâtiment ») réfléchit aujourd'hui à une version adaptée aux bâtiments à ossatures légères.

Le principe général de cette approche consiste à estimer la transmission globale à l'aide de la performance de chaque constituant ainsi que du comportement à la jonction entre ceux-ci (K_{ij}, L_{nf} ou $D_{n,f}$ estimés à l'aide des EN 12354-1 à 6, ou mesurés selon les méthodes EN ISO 10848-1 à 4).

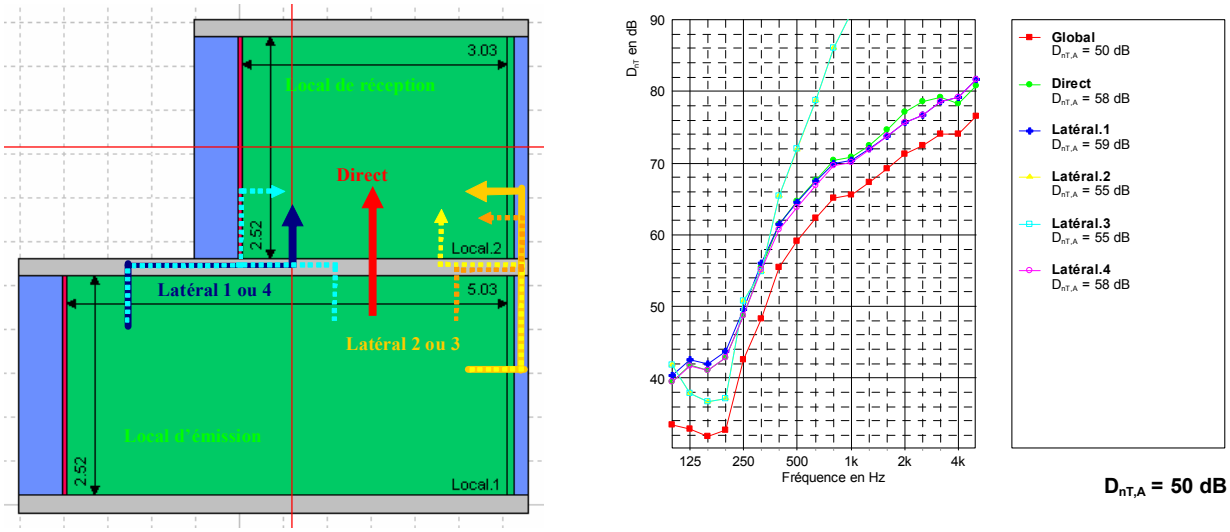


Figure A3.I : Visualisation des différents chemins de transmissions pris en compte dans les méthodes européennes EN 12354-1 à 6
(Extraction d'ACOUBAT SOUND V6.0)

Il existe à ce jour deux logiciels en Europe reprenant ces méthodes :

- BASTIAN (logiciel Allemand n'incluant que les K_{ij} de la norme)
- ACOUBAT Sound (logiciel Français incluant des adaptations de K_{ij} pour les marchés français et espagnol).

Vous trouverez des présentations comparant les résultats de ces logiciels aux performances mesurées in situ :

- Denis GEINOZ ; « Calcul des transmissions latérales » ; Journée de printemps de la société suisse d'acoustique ; 2006 (http://www.sga-ssa.ch)
- Mathias MEISSER ; « Les incertitudes en acoustique du bâtiment » ; Journée d'automne de la société suisse d'acoustique ; Octobre 2007 (http://www.sga-ssa.ch)

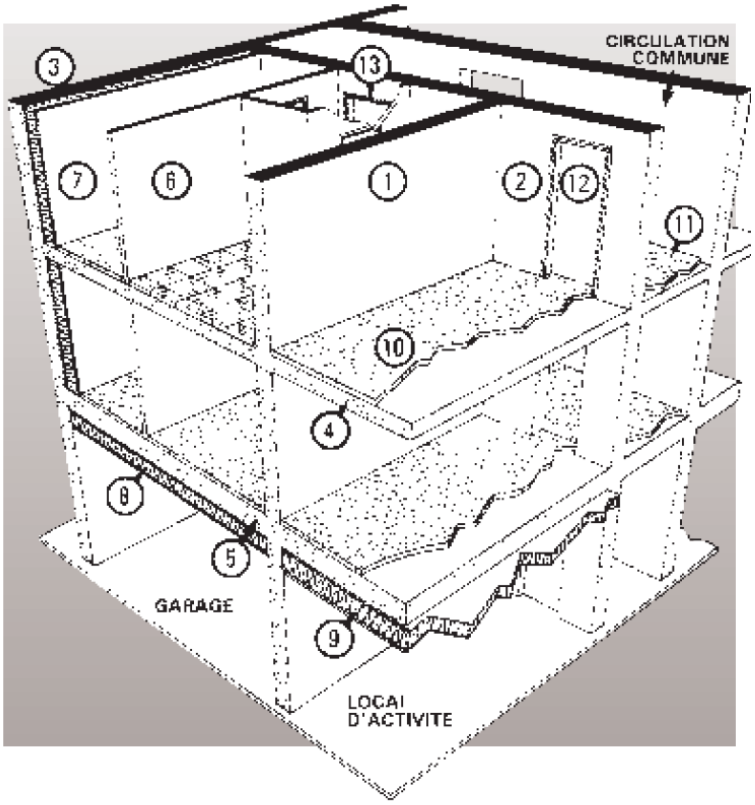
Une seconde méthode assez robuste est développée depuis 30 ans au sein de la certification d'ouvrage QUALITEL. Cette méthode vit au travers d'un groupe d'experts acoustiques très actifs et de cultures très diverses et complémentaires. Cette méthode est couramment appelée méthode QUALITEL, elle est empirique mais permet cependant quelques calculs. Elle bénéficie d'un très bon retour de terrain car QUALITEL contrôle par des mesures physiques une opération sur quatre qu'elle certifie. Elle permet en outre de traiter nombre de détails pratiques que les autres méthodes ne permettent pas à ce jour de prendre en compte. Le référentiel est en téléchargement libre sur le site de CERQUAL (http://www.cerqual.fr).

La troisième approche, plus grossière mais aussi plus simple d'utilisation, est la méthode des « Exemples de solutions acoustiques » publiés par la DHUP (Ex DGUHC). Celle-ci est proche des « Solutions Techniques » en thermique, à la différence très significative près, que les Exemples de solutions acoustiques ne valent pas respect de la réglementation acoustique, contrairement à son pendant thermique. La démarche consiste ici à avoir une classification acoustique (ESA3, 4, 5,…) de chaque système (doublage, chape flottante,…) en fonction de sa performance acoustique. Ensuite, une solution type correspondant à un bâtiment très standard répondant à la réglementation acoustique française est décrit (Solution de base), elle est ensuite déclinée en une quinzaine de solutions balayant le plus largement possible les techniques constructives françaises.

I

1

Solution 1 (de base)



①②
Refends (plus doublage ESA 4 ou contre-cloison ESA 4 si nécessaire en thermique) :
- Béton 18 cm
- Blocs de béton NF pleins perforés 20 cm enduits
- Briques pleines de 22 cm apparentes ou enduites.

③⑦
Façade avec doublage ESA 4 ou contre-cloison ESA 4 :
- Béton 16 cm
- Blocs de béton NF pleins perforés 20 cm
- Briques perforées en terre cuite de 22 cm apparentes ou enduites.

Façade avec doublage ESA 3 :
- Blocs de béton creux 20 cm non enduits côté doublage
- Briques creuses de 20 cm à gorge de jointoiement verticale non enduites côté doublage

④ Dalle de béton 18 cm
⑤ Dalle de béton 21 cm
⑥ Cloison ESA 4
⑧ Plafond ESA 4
⑨ Plafond ESA 5
⑩ Revêtement de sol ESA 3 ou chape flottante ESA 3 et revêtement de sol indifférent
⑪ Revêtement de sol ESA 2
⑫ Porte-palière ESA 4
⑬ Entrée avec sas et porte-palière ESA 3

Figure A3.II : Solution de base des « Exemples de solutions acoustiques »

Les « Exemples de Solutions Acoustiques » sont téléchargeables sur le site de la DHUP.

Quelles perspectives pour ces méthodes, avec une accélération de l'évolution des pratiques constructives ?

Les méthodes empiriques ou semi empiriques (Référentiel QUALITEL ou Exemples de solutions acoustiques) nécessiteront des corrections et des développements continus pour pouvoir prendre en compte les nouveaux systèmes constructifs. Plus les ruptures technologiques seront grandes, plus les adaptations risquent d'être lourdes. On utilise depuis déjà longtemps, les méthodes européennes de calcul comme support pour faire évoluer plus rapidement ces référentiels.

Si l'utilisation des méthodes européennes permet d'investiguer plus rapidement l'effet de tel ou tel nouveau système, il reste souvent nécessaire pour accéder aux données d'entrées (K_{ij} de jonction entre autre) de réaliser des campagnes d'essais relativement lourdes (Exemple : Rupteur de pont thermique, Monomur,…).

ANNEXE 4 - MÉTHODES D'ESSAIS ACOUSTIQUES EN LABORATOIRE

Indice d'affaiblissement acoustique : (Bruit aérien)

- $R_w(C ;C_{tr})$ en dB ; ($R_w + C = R_A$ en dB et $R_w + C_{tr} = R_{A,tr}$)
- NF EN ISO 140-3 pour la mesure et NF EN ISO 717-1 pour le calcul de l'indice unique
- Fenêtre, porte, mur, toiture,…

Efficacité au bruit aérien :

- ΔR_{wLourd}; $\Delta(R_w +C)_{Lourd}$; $\Delta(R_w +C_{tr})_{Lourd}$ en dB pour les évaluations sur mur et plancher lourd (Béton 160 mm pour le mur et 140 mm pour le plancher)
- $\Delta R_{wLéger}$; $\Delta(R_w +C)_{Léger}$; $\Delta(R_w +C_{tr})_{Léger}$ en dB pour les évaluations sur mur léger au sens de la norme ISO 10140-1
- $\Delta R_{wDirect}$; $\Delta(R_w +C)_{Direct}$; $\Delta(R_w +C_{tr})_{Direct}$ en dB pour les évaluations sur tout autre support
- ISO 10140-1
- Doublages, sols flottants, plafonds,…

Isolement acoustique normalisé : (Bruit aérien)

- $D_{n,e,w}(C ;C_{tr})$ en dB
- NF EN ISO 20140-10 pour la mesure et NF EN ISO 717-1 pour le calcul de l'indice unique
- Entrée d'air, coffre de volet roulant, petit élément…

Isolement acoustique latéral : (Bruit aérien)

- $D_{n,f,w}(C ;C_{tr})$ en dB
- NF EN ISO 10848-2 pour la mesure et NF EN ISO 717-1 pour le calcul de l'indice unique
- Façade légère, plancher technique, plafond suspendu,…

Indice d'affaiblissement vibratoire de jonction :

- K_{ij} en dB
- prEN ISO 10848-4
- Rupteur de pont thermique, jonction mur à isolation thermique répartie / plancher ou refend,…

Niveau de bruit de choc :

- $L_{n,w}$ en dB
- NF EN ISO 140-6 pour la mesure et NF EN ISO 717-2 pour le calcul de l'indice unique
- Plancher

Amélioration de l'isolation au bruit de choc :

- ΔL_w en dB pour les planchers lourds et $\Delta L_{t,i}$ en dB (i étant le numéro du plancher de référence retenu i=1 à 3) pour les planchers légers.
- NF EN ISO 140-8 et 11 pour la mesure et NF EN ISO 717-2 pour le calcul de l'indice unique
- Revêtements de sols, chape flottante,…

Niveau de bruit de choc latéral :

- $L_{n,f,w}$ en dB
- NF EN ISO 10848-2 pour la mesure et NF EN ISO 717-2 pour le calcul de l'indice unique
- Plancher technique

Coefficient d'absorption ou Aire d'absorption équivalente

- α_w sans dimension ou A en m²
- NF EN ISO 354 pour la mesure et NF EN ISO 11654 pour le calcul de l'indice unique
- Plafond suspendu, revêtement de sol textile, rideaux, mobilier, …

Niveau de puissance acoustique : (Bruit généré par un équipement)

- L_{wA} en dB(A)
- Il existe de nombreuses normes dont la NF EN ISO 3741
- Bouche d'extraction, Groupe d'extraction, …

ANNEXE 5 - MÉTHODES D'ESSAIS ACOUSTIQUES IN - SITU

Il est à noter que nous disposons en France d'un outil méthodologique précieux pour les contrôles in-situ, il s'agit du guide CRC (Contrôle des Règles de la Construction). Pour les méthodes de mesures, il s'appuie principalement sur la norme NF EN ISO 10052, il la précise voire la modifie ponctuellement. Son apport est très précieux sur le mode d'échantillonnage lors du contrôle à réception d'un bâtiment.

Isolement au bruit aérien :

- $D_{n,T,w}(C ;C_{tr})$ en dB ($D_{n,T,w} + C = D_{n,T,A}$ en dB et $D_{n,T,w} + C_{tr} = D_{n,T,A,tr}$)
- NF EN ISO 140-4 et 5 pour les méthodes expertes (mesures) et NF EN ISO 10052 pour la méthode de contrôle (mesures) et NF EN ISO 717-1 pour le calcul de l'indice unique

Niveau de bruit de choc :

- L'_{nTw}
- NF EN ISO 140-7 pour les méthodes expertes (mesures) et NF EN ISO 10052 pour la méthode de contrôle (mesures) et NF EN ISO 717-2 pour le calcul de l'indice unique

Niveau de bruit d'équipement :

- $L_{n,A,T}$ en dB(A)
- NF EN ISO 10052 pour la méthode de contrôle

ANNEXE 6 – GLOSSAIRE ACOUSTIQUE

Acronyme

ITI : Isolation thermique par l'intérieur

ITE : Isolation thermique par l'extérieur

ETICS : Isolation thermique extérieure par enduit sur isolant

ETAG : Guide d'Agréments Techniques Européens

DGUHC : Direction Générale de l'Urbanisme, de l'Habitat et de la Construction (maintenant DGALN / DHUP)

DHUP : Direction de l'Habitat, de l'Urbanisme et des Paysages (ex DGUHC)

DGALN : Direction Générale de l'Aménagement, du Logement et de la Nature

ACERMI : Association pour la Certification des Matériaux Isolants

DGAC : Direction Générale de l'Aviation Civile

GIAC : Groupement de l'Ingénierie Acoustique Conseil

SNPA : Syndicat National des Plastiques Alvéolaires

FILMM syndicat des Fabricants d'Isolants en Laines Minérales Manufacturées

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

CSTB : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

ESA : Exemples de Solutions Acoustiques

DTU : Document Technique Unifié

Atec : Avis Technique

UFME : Union des Fabricants de Menuiseries Extérieures

SNFA : Syndicat National de la construction des Fenêtres, façades et Activités associées

Matériau

PUR : Polyuréthane

PSE : Polystyrène expansé

PSEE : Polystyrène expansé extrudé

XPS : Polystyrène extrudé

LM : Laine Minérale

SCAM : Sous couche acoustique mince (ép. <10mm)

PAC : Pompe à chaleur

Symbole

ΔL_w : Réduction pondéré du niveau de bruit de choc par un revêtement de sol en dB

K_{ij} : Indice d'affaiblissement vibratoire pour chaque chemin de transmission ij en dB d'une jonction

$D_{n,ew}(C ;C_{tr})$: Isolement acoustique normalisé de petits éléments de construction pondéré

$L'_{nT,w}$: Niveau de pression pondéré du bruit de choc standardisé en dB

$D_{nT,w}(C ;C_{tr})$: Isolement acoustique standardisé pondéré en dB

dB : Décibel, unité de mesure des niveaux de pression acoustique

α_w : Coefficient d'absorption acoustique

C : Terme 1 d'adaptation spectrale conformément à la norme NF EN ISO 717-1

C_{tr} : Terme 2 d'adaptation spectrale conformément à la norme NF EN ISO 717-1

$R_w(C ;C_{tr})$: Indice d'affaiblissement acoustique pondéré en dB

$\Delta(R_w+C)$: Efficacité aux bruits aériens en dB

A : Aire d'absorption équivalente en m²

Tr : Temps de réverbération en s

s' : raideur dynamique en N/m^3

λ : conductivité thermique en W/mK

R = résistance thermique m²K/W

REMERCIEMENTS

Ce document a été élaboré avec le soutien de la DGALN du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer et nous les en remercions.

Nous remercions aussi les membres du Groupe d'Expert Acoustique de QUALITEL ainsi que du GT bruit de l'AIMCC (élargie au GIAC et aux laboratoires) pour leur contribution constructive à la relecture de ce document.