

Impact de la réglementation thermique sur les performances acoustiques dans le bâtiment au travers de quelques exemples

Catherine Guigou,
Gary Jacquas,
Jean-Baptiste Chéné,
Michel Villot
CSTB
84, avenue Jean Jaurès
Champs sur Marne
77447 Marne La Vallée CEDEX 2
E-mail :
catherine.guigou@cstb.fr
gary.jacquas@cstb.fr
jean-baptiste.chene@cstb.fr
michel.villot@cstb.fr

La rapidité d'évolution de la réglementation thermique et sa généralisation (notamment vers le bâti ancien) engendrent des modifications des produits et/ou des matériaux utilisés en particulier en second œuvre, qui ont une conséquence sur les performances acoustiques de ces produits ou systèmes et donc sur la performance globale du bâtiment. Elles obligent la communauté des acousticiens du bâtiment à faire évoluer ses connaissances et ses pratiques en conséquence.

En effet, les systèmes et les modes constructifs évoluent aujourd'hui beaucoup plus rapidement que par le passé alors qu'en même temps nos concitoyens sont toujours plus sensibles à leur confort de vie et notamment au bruit. La maîtrise de l'impact acoustique de ces évolutions est donc primordiale ; ainsi il est nécessaire d'avoir des données laboratoires ou des modèles de calcul qui permettent d'estimer les modifications de performance acoustique générées. Les quatre systèmes retenus dans cet article illustrent la diversité des sujets auxquels la recherche d'efficacité énergétique nous a poussés à apporter des réponses sur le plan acoustique. Il s'agit des quatre systèmes suivants :

- les doublages collés par plots ;
- les rupteurs de pont thermique ;
- les doubles fenêtres dans le cadre d'une rénovation thermique ;
- les parois avec ossature métallique thermique.

Dans tous les cas il a été recherché des solutions pour que l'ingénierie puisse aborder ces systèmes de façon simple et robuste.

Les approches proposées sont de nature différente selon le type de système (et donc de problèmes), afin de retenir la plus pragmatique et pertinente sur le plan scientifique et technique. Ainsi, selon le type de système, sont utilisés des données laboratoires de performances acoustiques de produit, des données de caractérisation de composants/matériaux et un modèle de calcul (le logiciel ACOUSYS).

Exemple 1 : les doublages collés par plots

Ce premier exemple considère les doublages thermiques ou thermo-acoustiques qui sont liés à la paroi support par des plots (en général 8 par m²). La difficulté pour modéliser cette interface entre l'isolant et la paroi support réside dans le fait que, à cause des plots, s'il n'y a pas de contact complet, il n'y a pas non plus de séparation complète des deux éléments. L'influence des plots de colle et de la lame d'air doit donc être étudiée pour pouvoir prédire le comportement de ces systèmes et les optimiser. La figure 1, page suivante, montre le montage de ces systèmes sur un mur support (en laboratoire) ainsi que l'amélioration acoustique associée à quelques-uns de ces systèmes. L'amélioration acoustique d'un doublage ΔR est définie comme la différence de l'indice d'affaiblissement acoustique obtenu avec le doublage ($R_{\text{système}}$) et celui obtenu sans doublage (R_{support}). Ainsi suivant le type d'isolant thermique composant le doublage, le minimum de l'amélioration acoustique correspondant à une fréquence de résonance se positionne dans différentes zones fréquentielles.

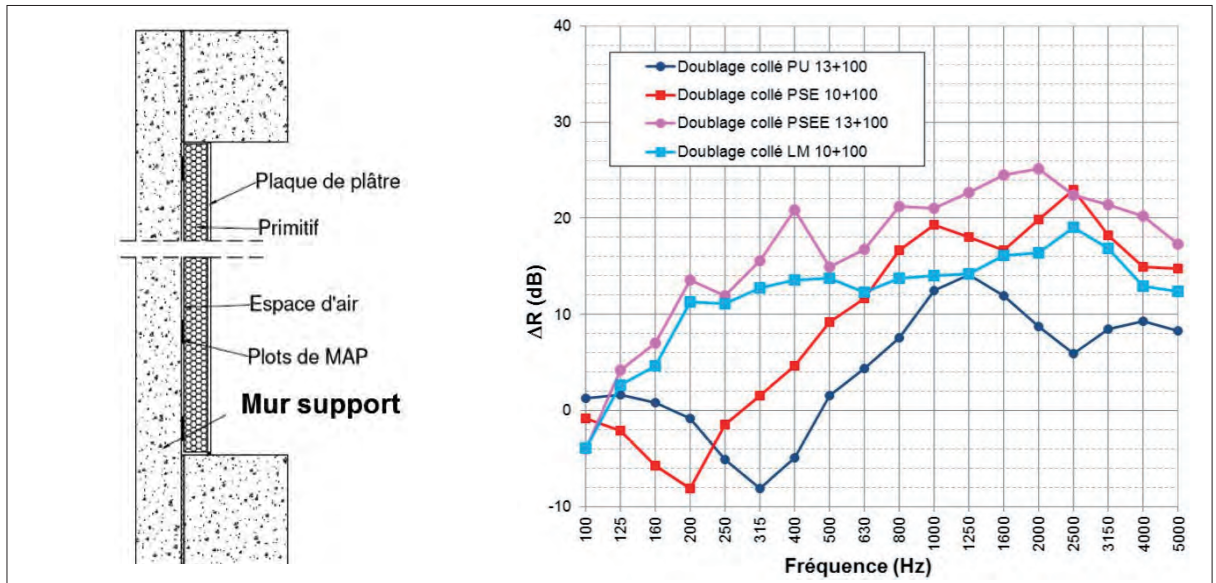


Fig. 1 : Descriptif des doublages collés par plots et exemple de performance acoustique

Les doublages à base de mousse polyuréthane (PU) et de polystyrène expansé (PSE) sont généralement référencés comme doublage thermique vu la dégradation de la performance acoustique ; ceux à base de polystyrène expansé et élastifié (PSEE) et de laine minérale (LM) comme doublage thermo-acoustique vu la faible dégradation de la performance acoustique dans les basses fréquences.

La modélisation de ces doublages est étudiée pour être facilement utilisée dans une approche simple de type matrices de transfert, comme implémentée dans le logiciel ACOUSYS. On considère ici que la raideur dynamique du primitif (K_{primitif}), c'est-à-dire de l'isolant thermique, est connue sur la base d'une mesure par exemple en s'inspirant de la norme NF EN 29052-1. Le système est modélisé en termes de ressort équivalent : connaissant la raideur des plots (K_{plots}), le taux de collage (Φ , pris en compte comme une porosité), la raideur de la lame d'air (K_{air}), et celle du primitif, on peut considérer ces différents éléments comme étant une série de ressorts disposée en parallèle et en série. Ainsi il est possible de définir une raideur dynamique équivalente (K_{eq}) et déduire une épaisseur de lame d'air équivalente e'_{air} à prendre en compte dans la modélisation par matrice de transfert :

$$e'_{\text{air}} = \frac{\rho_{\text{air}} c^2}{(1-\Phi)K_{\text{air}} + \Phi(K_{\text{air}} + K_{\text{primitif}})} (1-\Phi)$$

Dans le cas d'un doublage avec un isolant poreux (laine minérale par exemple), l'approche reste similaire bien que plus compliquée car la raideur du squelette (K_{sq}) et la raideur de l'air dans l'isolant (K'_{a}) doivent être prises en compte. Dans ce cas, l'épaisseur de la lame d'air équivalente e''_{air} s'exprime comme :

$$e''_{\text{air}} = \rho_{\text{air}} c^2 (1-\Phi) \frac{(K_{\text{sq}}(K_{\text{air}} + K'_{\text{a}}) - K_{\text{air}}K'_{\text{a}})}{K_{\text{sq}}(K_{\text{sq}}\Phi(K_{\text{air}} + K'_{\text{a}}) + (1-\Phi)K_{\text{air}}K'_{\text{a}})}$$

La figure 2 montre pour des isolants à cellules fermées (non poreux) qu'il y a une limite autour de 10^7 N/m^3 de la raideur du primitif. En dessous de cette raideur de primitif, la raideur des plots de colle et de la lame d'air n'a pas besoin d'être prise en compte ; par contre, au-dessus de cette valeur, l'effet couplé du primitif, des plots de colle et de la lame d'air doit être considéré en prenant en compte dans la modélisation du système la lame d'air fictive.

Quelques exemples de résultats

La figure 3 montre une comparaison prédiction-mesure pour un doublage dont la raideur du primitif (type PSEE) est relativement faible pour que la modélisation ne nécessite pas la prise en compte des plots et de la lame d'air. Les résultats de mesure (courbe rouge) sont assez cohérents avec la prévision (courbe bleue), en termes d'amélioration de la performance acoustique ΔR par tiers d'octave et d'indice global.

La figure 4 montre une comparaison prédiction-mesure pour un doublage dont la raideur du primitif (polyuréthane) est relativement importante pour que la modélisation nécessite la prise en compte d'une lame d'air équivalente de 2 mm d'épaisseur représentative des plots et de la lame d'air. Les résultats de mesure (courbe rose) sont assez cohérents avec la prévision comportant la lame d'air fictive équivalente (courbe bleue turquoise), en termes d'amélioration de la performance acoustique ΔR par tiers d'octave et d'indice global. Par contre la prévision avec une lame d'air de 10 mm (en bleu foncé) surestime largement l'amélioration ΔR mesurée du doublage, et la prévision considérant le système collé en totalité (courbe rouge) sous-estime l'amélioration ΔR mesurée du doublage.

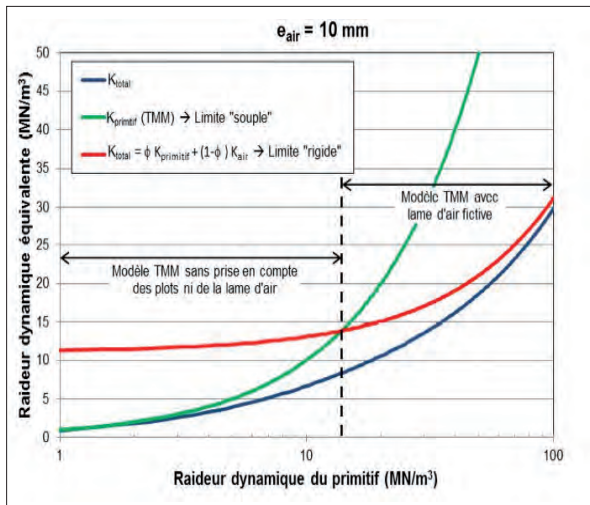
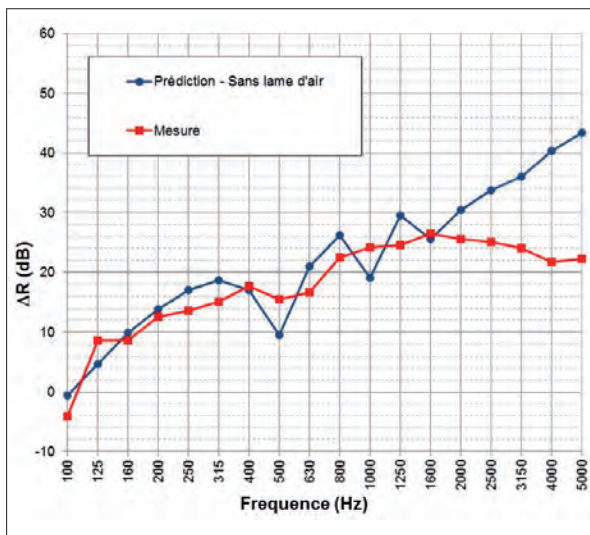


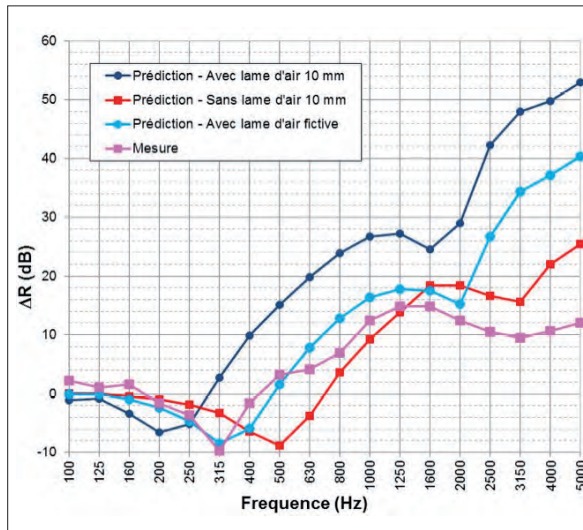
Fig. 2 : Comparaison entre la raideur dynamique du primitif et la raideur dynamique équivalente



$\Delta R_w + C = 8 \text{ dB}$ (prédiction) et 7 dB (mesure)
 $\Delta R_w + C_{tr} = 5 \text{ dB}$ (prédiction) et 4 dB (mesure)

Fig. 3 : Doublage 13+100 avec un primitif en PSEE ($K_{\text{primitif}} = 1,8 \text{ MN/m}^3$)

Cette méthode de prédiction pour évaluer l'amélioration de la performance acoustique ΔR des doublages thermiques ou thermo-acoustiques collés par plots, intégrée dans l'approche TMM, est relativement simple et robuste. Le suivi de la raideur dynamique de l'isolant peut donc permettre un suivi de la performance acoustique. On rappelle que ces doublages thermiques peuvent avoir, selon leur performance acoustique propre, un effet non négligeable sur les transmissions latérales notamment pour les pièces en pignon et dans les basses fréquences.



	$\Delta R_w + C$ en dB	$\Delta R_w + C_{tr}$ en dB
Prédiction avec lame d'air 10mm	10	5
Prédiction sans lame d'air	1	1
Prédiction avec lame d'air fictive	4	1
Mesure	4	2

Fig. 4 : Doublage 13+80 avec un primitif en PU ($K_{\text{primitif}} = 100 \text{ MN/m}^3$, $\Phi = 30\%$)

Exemple 2 : les rupteurs de ponts thermiques

Dans ce deuxième exemple, une proposition pour la prise en compte des rupteurs de ponts thermiques dans le logiciel d'évaluation de la performance acoustique des bâtiments ACOUBAT est explicitée.

L'installation de rupteurs de ponts thermiques entre la façade et le plancher ou le refend entre deux logements engendre une modification des transmissions vibratoires aux jonctions et donc une modification des transmissions latérales. Elle engendre aussi une transmission parasite (vis-à-vis des bruits aériens) par le rupteur sachant que celui-ci est généralement recouvert à l'intérieur par un doublage thermo-acoustique.

À partir des caractérisations de jonctions comportant des rupteurs de ponts thermiques effectuées en laboratoire dans le cadre d'avis techniques, il a été possible de retenir deux types de rupteur :

- Le rupteur de Type 1 qu'on a appelé rupteur à armature continue c'est-à-dire avec des espacements entre ancrages inférieurs à 30 cm
- et le rupteur de Type 2 regroupant les autres rupteurs pour lesquels les points d'ancrage sont beaucoup plus espacés.

Chacun de ces types va présenter des performances différentes.

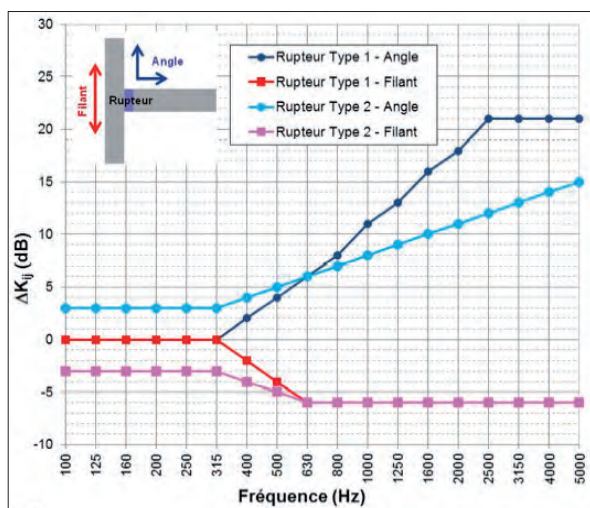


Fig. 5 : Terme correctif ΔK_{ij} par tiers d'octave pour les jonctions incluant des rupteurs de ponts thermiques

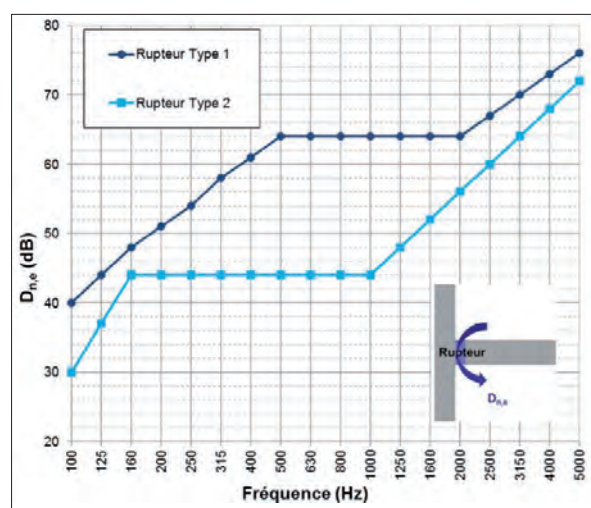


Fig. 6 : Isolement normalisé $D_{n,e}$ des rupteurs de Type 1 et 2 par tiers d'octave

L'indice d'affaiblissement vibratoire

Les effets des rupteurs de ponts thermiques sur les indices d'affaiblissement vibratoires de jonction (K_{ij}) sont pris en compte par un terme correctif ΔK_{ij} ; ce terme correctif est différent suivant que l'on considère le chemin filant (par la façade) ou le chemin en angle (façade-plancher ou façade-refend). La figure 5, page suivante, montre les termes correctifs ΔK_{ij} proposés pour les deux types de rupteur. Ces valeurs sont issues de moyennes d'essais réalisés en laboratoire.

Les rupteurs de Type 1 se caractérisent par un comportement similaire au cas sans rupteur de la jonction aux basses fréquences (jusqu'au tiers d'octave 315 Hz) et donc un effet négligeable sur l'indice d'affaiblissement vibratoire pour le chemin en angle ou filant. Les rupteurs de Type 2 se caractérisent par une modification du comportement de la jonction à toutes les fréquences.

En hautes fréquences (à partir de 630 Hz), l'indice d'affaiblissement vibratoire pour le chemin filant est diminué de l'ordre de 6 dB par la présence du rupteur de Type 1 ou de Type 2. L'indice d'affaiblissement vibratoire pour le chemin en angle est augmenté par la présence du rupteur de Type 1 ou de Type 2 au-dessus du tiers d'octave 315 Hz. La pente de cette augmentation est différente pour les deux types de rupteur.

La transmission parasite par le rupteur

Un chemin de transmission parasite par le rupteur (fuite pour les bruits aériens) doit être aussi ajouté au chemin de transmission direct par le plancher ou le refend sur lequel le rupteur est monté. Ce chemin de transmission parasite est caractérisé par un isolement normalisé d'un petit élément $D_{n,e}$; la figure 6 montre cet isolement normalisé qui dépend des deux types de rupteur retenus, le Type 2 (ancrages espacés) ayant une performance moindre par son linéaire plus important. Ce chemin parasite dépend du type de rupteur et peut être masqué par la présence d'un doublage intérieur de façade. L'impact du doublage est donné en terme de $\Delta D_{n,e}$ qui dépend du type d'isolant utilisé dans le doublage (poreux ou cellules fermées).

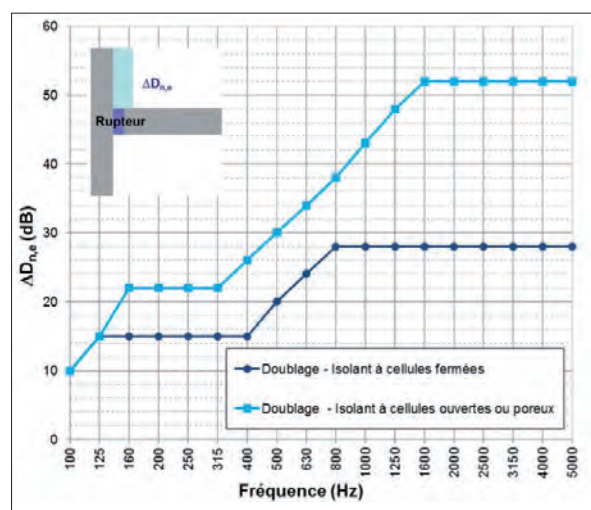


Fig. 7 : Impact d'un doublage suivant le type d'isolant sur l'isolement normalisé du rupteur

Exemple 3 : Les doubles fenêtres

Les doubles fenêtres sont généralement utilisées dans le cadre de rénovations pour des bâtiments qui ont des façades classées ; ainsi une deuxième fenêtre peut être posée à l'intérieur. Ce procédé est utilisé pour améliorer de façon très importante la performance thermique des ouvertures ; cependant il faut prévoir une circulation d'air suffisante pour éviter la condensation sur le vitrage intérieur de la fenêtre extérieure. Il améliore aussi les performances acoustiques. Toutefois, une trop grande réduction des bruits provenant de l'extérieur peut entraîner un problème de confort : les bruits intérieurs du logement ou des logements voisins, des circulations communes n'étant plus suffisamment masqués. Il s'agit alors de limiter la performance acoustique de ces doubles fenêtres.

Performance de la fenêtre existante	21 dB sans réfection des joints (état initial)		27dB avec réfection des joints (état restauré)		
	Simple vitrage sans ou avec entrée d'air	Double vitrage sans ou avec entrée d'air	Simple vitrage sans ou avec entrée d'air	Double vitrage	
				Sans entrée d'air	Avec entrée d'air
Performance de la nouvelle fenêtre ($R_{Atr, nouvelle\ fenêtre}$)	Entre 23 et 30 dB	Entre 25 et 36 dB	Entre 23 et 30 dB	Entre 27 et 36 dB	Entre 25 et 34 dB
Performance résultante de la double fenêtre avec un écartement de 100 mm entre les deux fenêtres	$R_{Atr, nouvelle\ fenêtre} + 4dB$	$R_{Atr, nouvelle\ fenêtre} + 6dB$	$R_{Atr, nouvelle\ fenêtre} + 12dB$	$R_{Atr, nouvelle\ fenêtre} + 13dB$	$R_{Atr, nouvelle\ fenêtre} + 14dB$
Augmentation de la performance suivant l'écartement entre 2 fenêtres	+ 2dB par pas de 50mm				

Évaluation des performances

Une campagne de mesures a permis d'évaluer la modification des performances des anciennes fenêtres après l'ajout d'une deuxième fenêtre qui peut être en simple ou double vitrage avec différents espacements entre les deux fenêtres et avec ou sans la présence d'une entrée d'air. Sur la base de ces mesures, une méthode simplifiée de dimensionnement est proposée ; elle est montrée dans le tableau ci-dessus. Les performances sont données en terme de $R_{A,tr}$.

Au final, pour ne pas avoir une performance trop élevée, il va falloir limiter l'écart entre les deux fenêtres. De plus, pour une ancienne fenêtre pour laquelle on aurait refait tous les joints, il sera difficile d'avoir une double fenêtre avec une performance inférieure à 33 dB. Heureusement, le fait que pour les risques de condensation, les thermiciens recommandent qu'il y ait sur la fenêtre originelle des entrées d'air ou tout au moins que les joints ne soient pas refaits va aussi dans le sens de l'acoustique pour limiter la performance.

Exemple 4 : L'ossature métallique thermique pour façade légère

Il s'agit pour ce dernier exemple d'obtenir de très bonnes performances thermiques en façade tout en améliorant l'acoustique. La façade correspond à un système sur simple ossature métallique d'épaisseur de l'ordre de 175 mm ; un isolant thermique étant placé dans cette ossature. Pour diminuer les ponts thermiques par l'ossature métallique, le dos des montants présente des trous.

Pour la modélisation de cette façade dans le but d'évaluer l'effet de ce type d'ossature sur la performance acoustique, une approche mixte est utilisée :

- dans les basses fréquences des connexions linéiques entre les deux panneaux (ou entre les deux peaux) de la structure sont prises en compte,
- et en moyennes et hautes fréquences des connexions par point avec des ressorts ponctuels localisés au niveau des vis de l'ossature sont prises en compte.

La zone de transition entre les deux approches (et donc entre les basses et moyennes fréquences) est définie par la fréquence pour laquelle la demi-longueur d'onde de flexion des parements est égale à la distance entre les vis de fixation des parements sur les montants.

La modélisation en moyenne et haute fréquence basée sur la méthode SEA (Statistical Energy Analysis), différencie l'ossature périphérique (rails haut et bas et montants latéraux) de celle non périphérique (montants intermédiaires au milieu de la paroi).

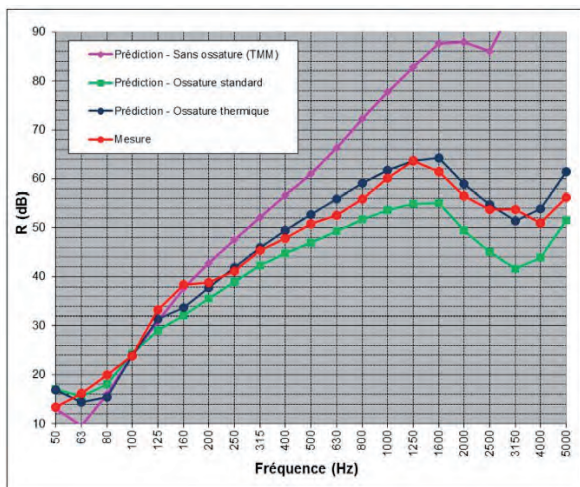
Caractérisation de l'ossature

Pour caractériser l'ossature métallique, deux méthodes ont été développées :

- soit une mesure de fonction de transfert permettant l'évaluation d'une raideur équivalente de ressort ponctuel au niveau des vis ;
- soit sur le même principe une modélisation par éléments finis ; cette méthode numérique permet d'évaluer un montant de l'ossature métallique et d'en optimiser la forme si besoin.

La figure 8 (page suivante) montre l'indice d'affaiblissement prédit pour un mur de façade avec des montants standard (courbe verte) et ces nouveaux montants «thermiques» (courbe bleue), et le même mur sans ossature (courbe rose). L'indice d'affaiblissement mesuré est aussi présenté (courbe rouge).

L'ossature de par les connexions entre les parements et le type de montants a un rôle très influent au-dessus du tiers d'octave de 125 Hz. Dans les basses fréquences, elle limite aussi l'effet de la résonance double paroi : l'indice d'affaiblissement est moins creusé quand l'ossature est prise en compte. La prédiction de l'indice d'affaiblissement de la façade avec les montants thermiques est proche de celui mesuré. L'utilisation de montants «thermiques» permet d'améliorer l'indice d'affaiblissement par rapport à des montants standards.



	Rw(C;Ctr) en dB
Prédiction sans ossature	55(-4;-12)
Prédiction avec ossature standard	47(-2;-6)
Prédiction avec ossature thermique	51(-3;-9)
Mesure avec ossature thermique	52(-3;-10)

Fig. 8 : Indice d'affaiblissement acoustique pour une façade sur simple ossature - Comparaison entre la mesure et les prédictions.

La figure 9 présente la décomposition des différents chemins de transmission par l'ossature de la façade. Le chemin de transmission passant par les montants intermédiaires (en bleu) a été suffisamment amélioré. Pour augmenter l'indice d'affaiblissement il faudrait améliorer l'ossature périphérique (en jaune) au-dessus du tiers d'octave 500 Hz.

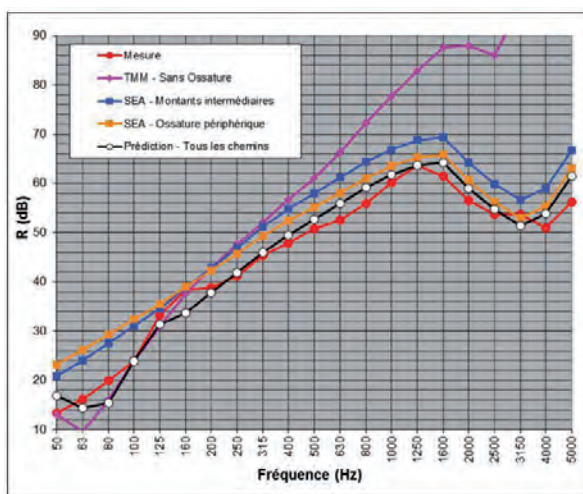


Fig. 9 : Indice d'affaiblissement pour une façade sur simple ossature - Analyse des différents chemins de transmission par les différents éléments de l'ossature.

Conclusion

Le besoin d'adapter et de coupler différents outils pour prédire la performance acoustique des composants qui sont utilisés pour la thermique a été démontré. Il est en parallèle très important de développer des méthodes de caractérisations robustes afin d'alimenter les approches prédictives en données d'entrée fiables.

A l'échelle de l'ouvrage, la nécessité d'une approche multi-critères et globale avec des outils adaptés est évidente pour limiter les possibles dégradations dans un domaine et pour faire des choix éclairés. Cette vision globale doit permettre aux industriels de développer de nouveaux produits en prenant en compte en même temps les différentes problématiques, l'acoustique et la thermique n'en étant que deux.