

Développement de planchers flottants thermo-acoustiques entre locaux d'activités ou parkings et logements

Development of thermo-acoustic floating floors for use between parking and dwellings

Catherine Guigou-Carter

CSTB

24, rue Joseph Fourier

38400 Saint Martin d'Hères

E-mail : catherine.guigou@cstb.fr

Jean-Baptiste Chéné

CSTB

84, avenue Jean Jaurès

77447 Marne la Vallée CEDEX 2

E-mail : jean-baptiste.chene@cstb.fr

Résumé

La RT 2005 favorise des solutions de type «chape flottante thermique» entre locaux d'activités ou parking et logements d'habitation ; ces solutions ne sont pas compatibles avec la réglementation acoustique vis-à-vis des bruits aériens. Cette étude a donc pour but de trouver des solutions en phase avec ces deux obligations réglementaires. Dans ce but, une approche mixte physique (mesures) et numérique (prédictions) est utilisée. La mesure classique en laboratoire de ce type de système flottant se fait sur un plancher de référence de 140 mm (conformément à la norme NF EN 140-8) avec une chape mortier de 40 mm. Sur le terrain, des planchers et des chapes plus épais sont souvent utilisés. Des mesures en laboratoire ont donc été conduites sur une dalle-support de 200 mm et une chape flottante de 60 mm. La solution thermo-acoustique combine une sous-couche acoustique mince et une sous-couche thermique.

Abstract

The French thermal regulation (RT2005) is favoring thermal floating floor between spaces such as parkings or stores, and dwelling units. However, these solutions do not fulfill the French acoustic regulation with regards to airborne noise. This paper discusses the development of solutions allowing fulfilling both the thermal and the acoustic regulation. To achieve this goal, a mixed approach combining measurements and numerical predictions is used. Furthermore, the laboratory characterization of such floating systems usually involves a concrete base floor 140 mm in thickness (following the NF EN 140-8 standard) and a floating concrete layer 40 mm in thickness. However, in situ the concrete base floor as well as the floating concrete layer can be thicker. Therefore, some laboratory measurements were performed with a 200 mm thick concrete base floor and a 60 mm thick floating concrete layer. The thermo-acoustic layer combines a thin acoustic resilient layer and a thermal layer.



La RT 2005 favorise des solutions de type «chape flottante thermique» entre locaux d'activités ou parking et logements d'habitation ; ces solutions ne sont pas compatibles avec la réglementation acoustique vis-à-vis des bruits aériens. Les valeurs d'isolement aux bruits aériens correspondant à la réglementation acoustique sont données au Tableau 1 pour le type de situations considérées. Cette étude a donc pour but de trouver des solutions en phase avec ces deux exigences réglementaires. Une approche mixte physique combinant des mesures en laboratoire (évaluation physique) et des prédictions (évaluation numérique) est ainsi utilisée. Actuellement, l'évaluation physique classique en laboratoire de ce type de système flottant se fait sur un plancher de référence de 140 mm (conformément aux normes NF EN 140-8 et EN ISO 140-16 [1,2]) avec une chape mortier de 40 mm. Ce protocole a l'avantage de pouvoir caractériser de façon homogène toutes les sous-couches et donc de pouvoir comparer celles-ci entre elles.

Cependant cette approche ne répond que partiellement aux besoins du «terrain». En effet, la diversité des épaisseurs de plancher et de chapes que l'on rencontre *in situ* a une influence rarement maîtrisée sur la performance du système (ΔL et ΔR). Il est irréaliste de prôner une réponse par «caractérisation physique systématique» de toutes les combinaisons. C'est pourquoi, la seconde finalité de l'étude est d'évaluer la pertinence d'une approche mixte, c'est-à-dire de «compléter» les mesures physiques par des prédictions numériques. Des mesures en laboratoire ont été effectuées sur des systèmes flottants combinant un plancher-support de 200 mm d'épaisseur et une chape de 60 mm. La méthode de prédiction montre que les systèmes flottants thermiques ne sont pas acceptables par rapport à la réglementation acoustique. Le comportement de systèmes multicouches est étudié avec un outil de prédiction basé sur une approche par onde pour développer une solution acceptable par rapport à la réglementation acoustique.

Local d'émission	Local de réception	
	Pièce principale	Cuisine/Salle d'eau
Garage individuel d'un logement ou garage collectif	55	52
Local d'activité à l'exclusion des garages collectifs	58	55

Tabl. 1 : Isolement acoustique standardisé pondéré DnTA en dB correspondant à la réglementation acoustique pour le type de situations considérées

Méthodes de prédiction

Un modèle basé sur une méthode de matrice de transfert [3] pour des structures multicouches infinies est utilisé. Les différentes couches isotropes d'épaisseur constante et de taille infinie peuvent être de type solide, fluide ou poreux (suivant la théorie de Biot [4]). Le logiciel de calcul CASC développé au CSTB sur cette base est utilisé pour prédire notamment l'indice d'affaiblissement acoustique, le coefficient d'absorption, le niveau de bruit d'impact (pour une machine à choc normalisée) et le niveau de bruit de pluie (pour une pluie normalisée). Pour la prédiction de l'indice d'affaiblissement acoustique, le système est excité par un champ acoustique diffus composé d'ondes planes associées à de multiples angles d'incidence. Une technique basée sur le fenêtrage spatial des ondes planes [5] permet de prendre en compte la taille finie de la structure plane pour le calcul de l'indice d'affaiblissement. Dans le cas du bruit d'impact, l'excitation structurale est distribuée sur une petite surface de la structure et est décomposée en un nombre infini d'ondes de contrainte normale, dépendant de la mobilité d'entrée de la structure notamment (voir [6]). Le niveau de bruit de choc est déduit de l'intensité acoustique rayonnée, évaluée à partir du champ de vitesse dans l'espace des nombres d'onde.

Pour les systèmes flottants, un paramètre clé est la raideur dynamique s' de la sous-couche élastique intermédiaire. La raideur dynamique s' des différentes sous-couches résilientes considérées (thermique et acoustique) a été évaluée à partir de la fréquence de résonance masse-ressort, suivant la norme ISO 9052-1 [7]. La masse de charge requise dans cette norme est de 8 kg pour des échantillons de taille 200 x 200 mm² (c'est-à-dire une masse surfacique de 200 kg/m², correspondant à environ 80 mm de béton). Comme cette masse de charge n'est pas représentative des systèmes flottants considérés, différentes masses de charge (plus proches de celles réellement implémentées) ont été utilisées pour la caractérisation des sous-couches. La mesure de la raideur dynamique permet de déduire le module d'élasticité de la sous-couche résiliente.

Le logiciel ACOUBAT permet le calcul des isollements aux bruits aériens et des bruits d'impact dans les bâtiments sur la base des normes NF EN 12354-1, -2, -3 et -6 [8]. Ce logiciel est utilisé pour vérifier si les systèmes flottants thermiques ou thermo-acoustiques considérés remplissent la réglementation acoustique.

L'approche mixte (combinant mesure et prédictions) aussi évaluée dans cette étude est basée sur les expressions suivantes pour évaluer la performance sur un nouveau système (noté «ns» en indice) différent de celui référence (dalle-support de 140 mm et chape de 40 mm) :

$$\Delta R_{ns_mixte} = \Delta R_{référence_mesuré} + (\Delta R_{ns_prédiction} - \Delta R_{référence_prédiction})$$

$$\Delta L_{ns_mixte} = \Delta L_{référence_mesuré} + (\Delta L_{ns_prédiction} - \Delta L_{référence_prédiction})$$

Systèmes flottants thermiques

Une première étape a consisté à établir un «point de référence» en testant (ΔL et ΔR) sur un plancher de 200 mm, trois sous-couches thermiques, une en mousse de polystyrène de 72 mm d'épaisseur (dénotée PSE 72), une en mousse de polystyrène extrudée de 70 mm d'épaisseur (dénotée XPS 70) et une en mousse de polyuréthane de 60 mm d'épaisseur (dénotée PUR 60), avec une chape flottante de 60 mm. Les calculs de prédiction avec le logiciel de CASC sont basés sur la raideur dynamique mesurée sur ces sous-couches (une variation égale à deux fois l'écart-type de la mesure est aussi prise en compte).

Performance sur plancher-support de 200 mm

Les résultats en termes de performance acoustique ΔR et ΔL sont présentés à la figure 1 pour la sous-couche thermique en polystyrène "PSE 72". En basse fréquence (en-dessous de 400 Hz), la performance évaluée par le logiciel de prédiction par rapport au bruit aérien ΔR est relativement proche de celle qui a été mesurée. Au-dessus de 500 Hz, la performance mesurée ΔR reste limitée autour de 10-12 dB; cette limitation est liée à un chemin de transmission non pris en compte dans le modèle de prédiction. On notera tout de même que cette limitation n'a pas d'influence sur l'indice global de performance $\Delta(R_w+C)$. La performance par rapport au bruit d'impact, ΔL , obtenu avec le modèle de prédiction est relativement proche de celle qui a été mesurée, jusqu'au tiers d'octave 1 250 Hz. Au-dessus du tiers d'octave 1 600 Hz, la différence entre prédiction et mesure est probablement associée au chemin de transmission périphérique par la bande de rive non pris en compte par le modèle de prédiction. De plus, on remarquera que l'accident observé autour du tiers d'octave 3 150 Hz sur la performance ΔL et autour du tiers d'octave 4 000 Hz sur la performance ΔR est associé à une résonance de couche de l'onde de compression dans la sous-couche thermique. Cette résonance de couche de l'onde de compression apparaît lorsque l'épaisseur de la sous-couche est égale à la moitié de la longueur d'onde de compression.

L'approche mixte permet d'obtenir des résultats en moyennes et hautes fréquences plus proches de ceux qui sont mesurés.

Le tableau 2 présente les indices globaux correspondants. On notera que l'évaluation de l'indice global ΔL_w en dB communément calculé pour une dalle-support de 140 mm d'épaisseur ne peut pas s'appliquer dans le cas de la performance obtenue sur la dalle-support de 200 mm ; ainsi une approche similaire à celle du calcul du $\Delta(R_w+C)$ en dB est utilisée pour obtenir un indice global associée à la performance au bruit d'impact noté ΔL_{nw} en dB et

obtenu par la différence de performance L_{nw} du système sans (plancher support seul) et avec le sol flottant.

Des résultats similaires ont été obtenus pour les autres types d'isolant thermique considérés. En général, la performance obtenue par le modèle de prédiction est proche de celle qui a été mesurée. La performance acoustique présente des variations d'environ 1 dB suivant le type d'isolant thermique : lorsque la raideur dynamique diminue (couche plus résiliente) la performance augmente.

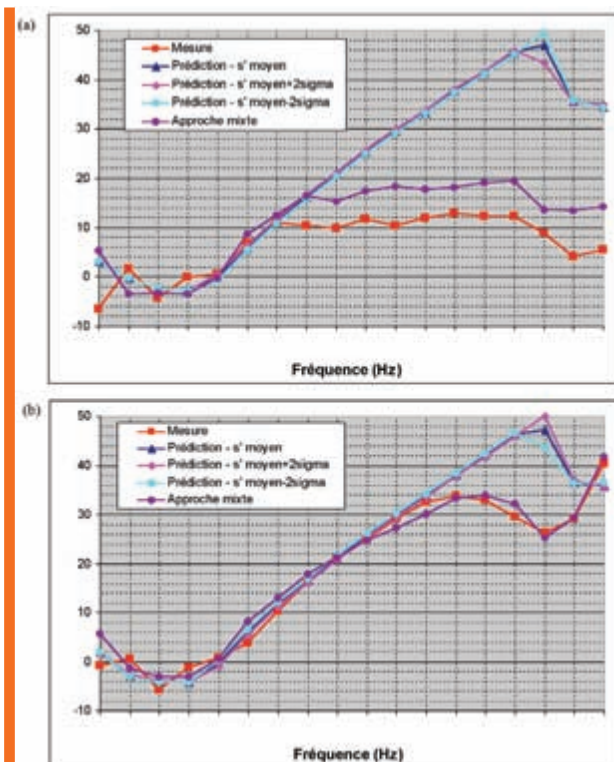


Fig. 1 : Comparaison prédiction-mesure de la performance acoustique pour la sous-couche thermique PSE 72 ; (a) bruit aérien et (b) bruit d'impact

Performance du bâtiment

La performance acoustique du bâtiment doit être prédite pour valider le choix des composants du bâtiment par rapport à la réglementation acoustique française. Comme cette étude concerne les garages ou locaux d'activité à l'étage inférieur, un grand local d'émission de 30 m² a été pris en compte avec deux façades en béton de 16 cm d'épaisseur. Le local de réception à l'étage au-dessus est relativement petit (3 x 3 m²) ce qui correspond à

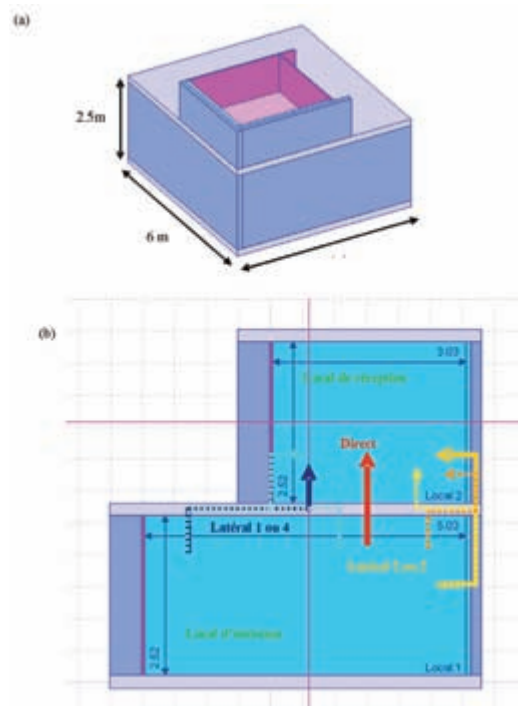


Fig. 2 : (a) Géométrie du bâtiment considéré et (b) chemins de transmission acoustique

Dalle support 200 mm et chape de 60 mm	$\Delta(R_w+C)$ en dB	$\Delta(L_{nw})$ en dB
Mesure	2	20
Prédiction – Moyenne $s' (\pm 2\sigma)$	0 (± 0)	16 (± 0)
Approche Mixte – Moyenne $s' (\pm 2\sigma)$	0 (± 0)	18 (± 0)

Tabl. 2 : Indice global de performance acoustique pour PSE 72

Performance sur plancher-support de 230 mm

La comparaison entre les prédictions et les mesures étant acceptable, la performance acoustique sur un plancher-support de 230 mm d'épaisseur est prédite pour les mêmes systèmes flottants (sous-couches thermiques). De manière générale, la performance acoustique par rapport au bruit aérien et au bruit d'impact est légèrement modifiée lorsque l'épaisseur du plancher support passe de 200 à 230 mm. Mais cette augmentation d'épaisseur induit une faible décroissance de la performance dans les basses fréquences ; les indices globaux $\Delta(R_w+C)$ et ΔL_{nw} sont en fait diminués de 1 dB.

une configuration pénalisante (par rapport à une pièce plus grande). Les cloisons intérieures sont des cloisons alvéolaires de 50 mm d'épaisseur (deux plaques de plâtre collées de part et d'autre d'une âme en réseau alvéolaire en carton) dont la performance correspond à $R_w+C=26$ dB (cloison dans les produits traditionnels de la base de données ACOUBAT). Les données mesurées en laboratoire pour le plancher-support de 200 mm et pour les trois planchers thermiques considérés sont utilisées pour les prédictions de l'isolement acoustique avec ACOUBAT (ces performances sont entrées dans la base de données ACOUBAT comme «données personnalisées»). L'effet de deux types de doublage thermique en façade est considéré : le premier noté ESA3 correspond à une performance $\Delta(R_w+C)$ de -3 dB, et le second noté ESA5 à 8 dB. La géométrie du bâtiment et les différents chemins de transmission (direct et latéraux) sont montrés à la figure 2. Une marge de sécurité de 1 dB est généralement recommandée pour sélectionner une solution par rapport à l'exigence de la réglementation acoustique.

Pour le plancher-support de 200 mm d'épaisseur, le type de système flottant thermique a peu d'influence sur l'isolement acoustique obtenu D_{nTA} . La figure 3 présente les résultats en tiers d'octave pour les différents chemins de transmission (direct et latéraux) lorsqu'un doublage thermique de façade est placé seulement dans le local de réception (soit seulement dans le logement d'habitation). Lorsque le doublage thermique ESA3 est utilisé, tous les chemins de transmission sont importants dans les basses fréquences (en-dessous du tiers d'octave 500 Hz). Lorsque le doublage thermo-acoustique ESA5 est utilisé le chemin direct et les latéraux 1 et 4 (définis à la figure 2) sont les chemins principaux de la transmission acoustique. Le tableau 3 présente les indices globaux obtenus pour ces configurations. L'exigence de la réglementation française entre un garage et un local de type cuisine ou salle d'eau est remplie si le doublage thermo-acoustique ESA5 est placé sur la façade complète du bâtiment (respect du D_{nTA} de 52 dB avec une marge de 1 dB) ; l'utilisation d'un tel doublage dans un garage est peu vraisemblable. Dans le but de remplir l'exigence acoustique, une augmentation de l'épaisseur du plancher support de 200 à 230 mm est tout d'abord considérée. L'amélioration de l'isolement au bruit aérien est de l'ordre de 1 à 2 dB (voir Tableau 3). L'exigence D_{nTA} de 55 dB est obtenue sans marge de sécurité lorsque le doublage thermo-acoustique ESA5 est encore une fois placé sur la façade complète du bâtiment.

La solution incluant une sous-couche acoustique mince en complément de la sous-thermique pour tenter de remplir les exigences acoustiques a donc été étudiée et est présentée à la section suivante.

Doublage thermique	Système flottant thermique	
	200 mm	230 mm
ESA3 – Emission+réception	50	51
ESA3 –Réception	51	53
ESA5 – Emission+réception	53	55
ESA5 –Réception	53	54

Tabl. 3 : Isolements acoustiques D_{nTA} en dB pour un plancher-support de 200 ou 230 mm, avec un système flottant thermique (chape de 60 mm d'épaisseur)

Systèmes flottants thermo-acoustiques

Le modèle de prédiction a tout d'abord été utilisé pour évaluer la performance d'une solution avec un système flottant thermo-acoustique. Une sous-couche acoustique mince composée d'une couche de fibre de verre et d'un film bitumineux (d'environ 3 mm d'épaisseur totale) a été choisie ; on notera que cette sous-couche et d'autres de ce type sont certifiées CSTBat Sous Couche Acoustique Mince (sous-chape flottante) et sont donc à ce titre conformes au DTU NF P 61 203. L'épaisseur totale du système flottant n'est pas trop modifiée. Après avoir validé cette solution thermo-acoustique, des mesures en laboratoire ont été réalisées pour corroborer les prédictions effectuées.

Performance sur plancher-support de 200 mm

Les résultats en termes de performance acoustique ΔR et ΔL sont présentés à la figure 4 pour l'isolant thermique en polystyrène PSE 72 combiné avec la sous-couche acoustique mince, pour un plancher-support de 200 mm d'épaisseur et une chape flottante de 60 mm d'épaisseur. Comme observée précédemment, au-dessus de 250 Hz, la performance acoustique ΔR reste limitée autour de 10-12 dB. La performance acoustique par rapport au bruit d'impact ΔL obtenue par la mesure est relativement proche de celle qui est obtenue par le modèle de prédiction jusqu'au tiers d'octave 1 250 Hz.

L'introduction de la sous-couche acoustique mince permet une nette amélioration de la performance acoustique ; la performance par rapport au bruit aérien $\Delta(R_w+C)$ est augmentée de 6 dB (voir Tableau 4). La performance par rapport au bruit d'impact obtenue avec le modèle de prédiction est supérieure de 2 dB à celle qui a été obtenue avec les mesures en laboratoire; cette différence entre la mesure et la prédiction vient de la différence observée à la figure 4 (b) au tiers d'octave 100 Hz.

L'approche mixte ne peut pas être appliquée dans ce cas comme des mesures avec cette combinaison thermo-acoustique n'ont pas été réalisées sur le système de référence (dalle 140 mm et chape 40 mm).

Des résultats similaires ont été obtenus pour les systèmes flottants thermo-acoustiques incorporant

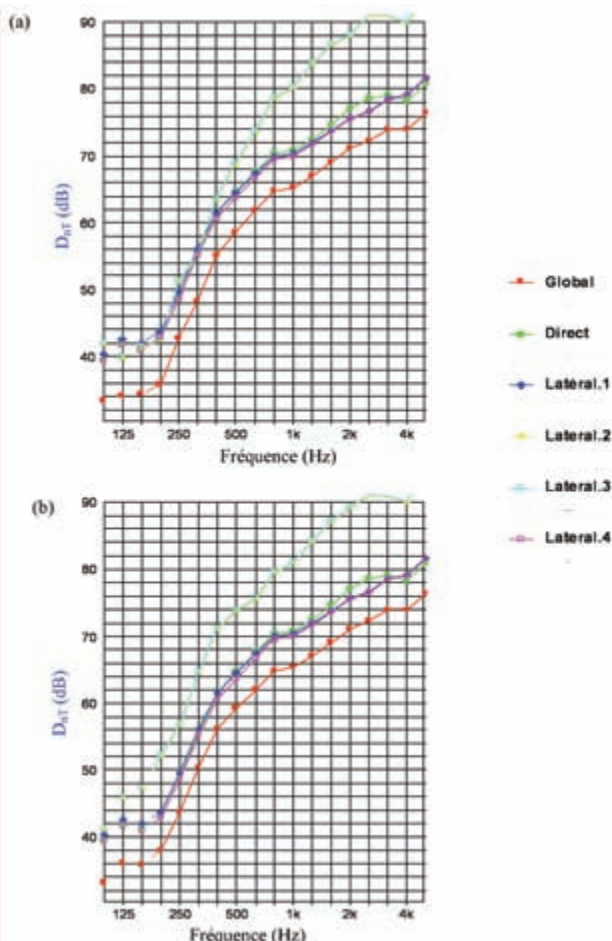


Fig. 3 : Isolements acoustiques avec un système flottant thermique sur un plancher-support de 200 mm; avec doublage thermique de façade (a) ESA3 et (b) ESA5 dans le local de réception seulement

les différents types d'isolant thermique considérés. La performance acoustique obtenue avec les systèmes thermo-acoustiques est proche de celle qui a été obtenue avec la sous-couche acoustique mince seule.

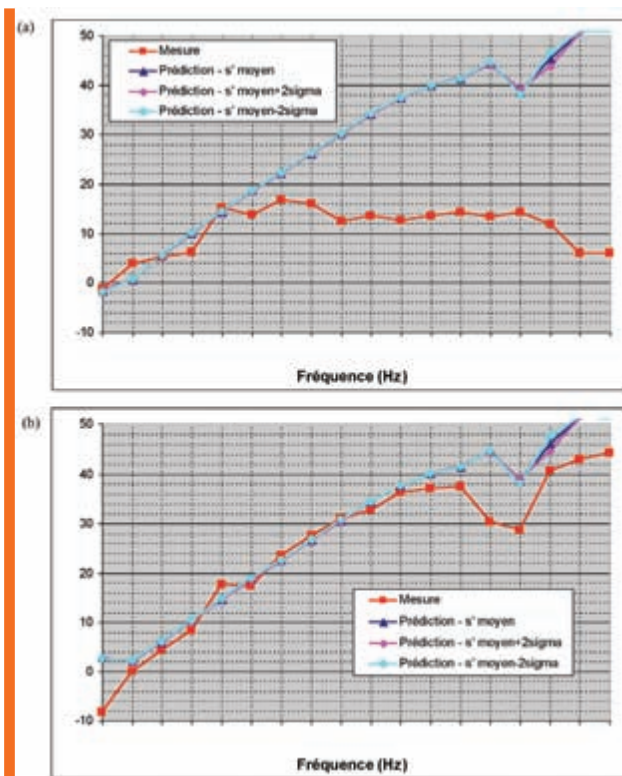


Fig. 4 : Performances acoustiques pour le système flottant thermo-acoustique ; (a) bruit aérien et (b) bruit d'impact.

Dalle support 200 mm et chape de 60 mm	$\Delta(R_w+C)$ dB	$\Delta(L_{nw})$ dB
Mesure	8	22
Prédiction – Moyenne s' ($\pm 2\sigma$)	6 (± 0)	24 (± 0)

Tabl. 4 : Indices globaux de performance acoustique pour le système flottant thermo-acoustique

Des prédictions ont été à nouveau réalisées avec un plancher-support de 230 mm d'épaisseur. La performance acoustique par rapport au bruit aérien et au bruit d'impact est légèrement modifiée lorsque l'épaisseur du plancher support passe de 200 à 230 mm; les indices globaux $\Delta(R_w+C)$ et $\Delta(L_{nw})$ sont diminués de 1 dB.

Performance du bâtiment

La performance acoustique du bâtiment (présenté en figure 2) est prédite pour valider le choix du système flottant thermo-acoustique par rapport à la réglementation acoustique française. L'effet d'un doublage thermique en façade noté ESA4 correspondant à une performance $\Delta(R_w+C)$ de 3 dB est aussi considéré.

L'utilisation d'un système flottant thermo-acoustique entre un garage ou local d'activité et un logement d'habitation permet d'avoir différentes solutions répondant à l'exigence

de la réglementation acoustique française (voir Tableau 5). Les différentes exigences (de la plus basse à 52 dB à la plus élevée à 58 dB) peuvent être obtenues avec un système flottant thermo-acoustique avec un plancher-support de 200 mm d'épaisseur. Le doublage de façade doit être sélectionné pour obtenir l'exigence réglementaire suivant les locaux d'émission et de réception considérés. Finalement, il faut noter qu'il n'est pas nécessaire de mettre en œuvre un plancher-support de 230 mm d'épaisseur pour remplir les exigences.

Doublage thermique en façade	Système flottant thermo-acoustique	
	200 mm	230 mm
ESA3 – Emission+réception	52	53
ESA3 – Réception	55	56
ESA5 – Emission+réception	59	60
ESA5 – Réception	58	59
ESA4 – Emission+réception	55	56
ESA4 – Réception	57	58

Tabl. 5 : Isolements acoustiques $DnTA$ en dB pour un plancher support de 200 ou 230 mm, avec un système flottant thermo-acoustique (chape de 60 mm d'épaisseur)

Approche mixte

Cette étude avait aussi pour but d'examiner la pertinence d'une approche mixte (expérimentale-numérique). Les performances acoustiques sont obtenues lors des essais physiques de référence sur un plancher de 140 mm avec une chape de 40 mm à des planchers ; il semble très intéressant de pouvoir étendre les résultats mesurés par la prédiction de la performance acoustique pour différentes combinaisons des composants : différentes épaisseurs du plancher support, de la chape flottante ou de la sous-couche résiliente.

Système flottant thermique	Mesure	Prédiction	Approche mixte
$\Delta(R_w+C)$ en dB			
200 – 72 – 60	2	0	0
140 – 72 – 60	4	3	3
140 – 72 – 40	1	1	–
140 – 30 – 40	-1	2	2
$\Delta(L_{nw})$ en dB			
200 – 72 – 60	20	16	18
140 – 72 – 40	18	16	–
ΔL_w en dB			
140 – 72 – 60	17	18	19
140 – 72 – 40	17	16	–
140 – 30 – 40	16	17	17

Tabl. 6 : Indices acoustiques globaux pour les différents systèmes flottants thermiques considérés dans l'étude paramétrique

Le plancher flottant thermique basé sur la sous-couche thermique PSE 72 évalué sur plancher de 200 mm sous une chape de 60 mm a aussi été testé sur plancher de 140 mm avec respectivement une chape de 60 mm et une chape de 40 mm. Ce même système sur plancher de 140 mm a aussi été mesuré en laboratoire avec une épaisseur d'isolant thermique PSE plus faible (soit 30 mm au lieu de 72 mm) sous une chape de 40 mm. Le tableau 6 présente les indices globaux obtenus sur la base des mesures, des prédictions et des expressions données ci-dessus. Dans la colonne de gauche, le premier chiffre représente l'épaisseur du plancher support, le second de la sous-couche thermique en polystyrène PSE et le troisième de la chape flottante.

Tout d'abord, il faut noter que le module d'élasticité de l'isolant thermique en polystyrène PSE déduit de la mesure de raideur dynamique (voir Section 2) était très différent (facteur 2) pour les deux épaisseurs différentes considérées (72 et 30 mm). C'est probablement la raison pour laquelle la variation de performance associée à la variation d'épaisseur de l'isolant thermique obtenue par les prédictions est opposée à celle qui a été obtenue par les mesures.

Pour la performance au bruit aérien, l'approche mixte est associée à des indices globaux identiques à ceux qui ont été obtenus avec la prédiction directe. Comme vue précédemment, la variation de cette performance par tiers d'octave donnée par l'approche mixte est plus proche de celle qui a été mesurée. Pour la performance au bruit d'impact du système sur dalle support de 200 mm, l'approche mixte est associée à des résultats plus proches de ceux de la mesure que de ceux qui sont issus de la prédiction directe. Cependant, lorsque seule l'épaisseur de la chape est modifiée (40 à 60 mm), l'approche mixte ne permet pas de s'approcher de l'indice global mesuré par rapport à la prédiction directe.

Conclusion

Cette étude a permis de démontrer qu'il est possible de développer des systèmes flottants thermo-acoustiques pour répondre aux exigences des réglementations thermique et acoustique entre locaux d'activités ou parking et logements d'habitation. Ces systèmes flottants thermo-acoustiques combinent un isolant thermique et une sous-couche acoustique mince avec une chape flottante de 60 mm d'épaisseur. Suivant le doublage thermique de façade sélectionné, un plancher support de 200 ou 230 mm peut être utilisé.

Concernant la pertinence de la mise en place d'une approche mixte pour «compléter/étendre» les mesures physiques par des prédictions numériques, cette étude a permis de cerner la problématique. L'approche mixte permet d'obtenir des variations de la performance acoustique par tiers d'octave proches de celles qui ont été mesurées pour le bruit aérien et le bruit d'impact. Les indices globaux peuvent néanmoins différer. Il faut à l'avenir évaluer cette approche mixte à d'autres systèmes pour pouvoir affiner cette démarche avant de pouvoir la généraliser. De manière conservatrice, on pourra considérer que la performance au bruit aérien et au bruit de choc d'un système flottant mesurée en laboratoire sur

une dalle support de 140 mm et une chape de 40 mm d'épaisseur, reste inchangée en passant sur une dalle de 200 mm avec une chape de 60 mm d'épaisseur.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ADEME, le syndicat national des plastiques alvéolaires (SNPA), et l'association française des sous-couches acoustiques minces (AFSCAM) pour leur soutien financier au cours de cette étude.

Références bibliographiques

[1] NF EN ISO 140-8, "Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 8: Laboratory measurements of the reduction of transmitted impact noise by floor coverings on a heavyweight standard floor", (1997)

[2] NF EN ISO 140-16, "Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 8: Laboratory measurements of sound reduction index improvement by additional lining", (2006)

[3] M.L. Munjal, "Response of a multilayered infinite plate to an oblique plane wave by means of transfer matrices", *Journal of Sound and Vibration* 162, 333-343 (1993)

[4] J.F. Allard, *Propagation of sound in porous media: Modelling sound absorbing materials*, Elsevier Applied Science, London (1993)

[5] M. Villot, C. Guigou-Carter, L. Gagliardini, "Predicting the acoustical radiation of finite size multi-layered structures by applying spatial windowing on infinite structures", *Journal of Sound and Vibration* 245, 433-455 (2001)

[6] C. Guigou-Carter, M. Villot, "Analytical and experimental study of wood flooring", *Proceedings of Forum Acusticum 2005*, Budapest, Hungary (2005)

[7] ISO 9052-1, "Acoustics – Determination of dynamic stiffness – Part 1: Materials used under floating floors in dwellings", (1992)

[8] NF EN 12354, "Building Acoustics – Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements", (2000)