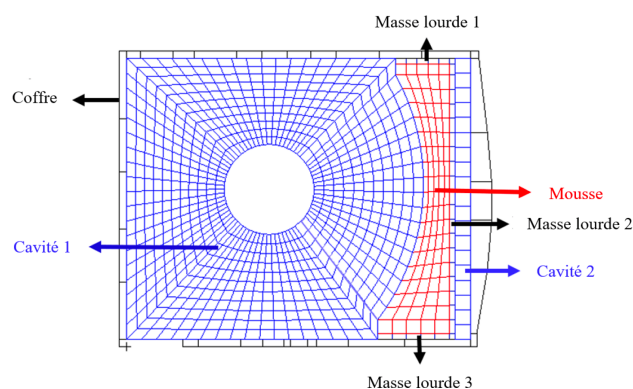
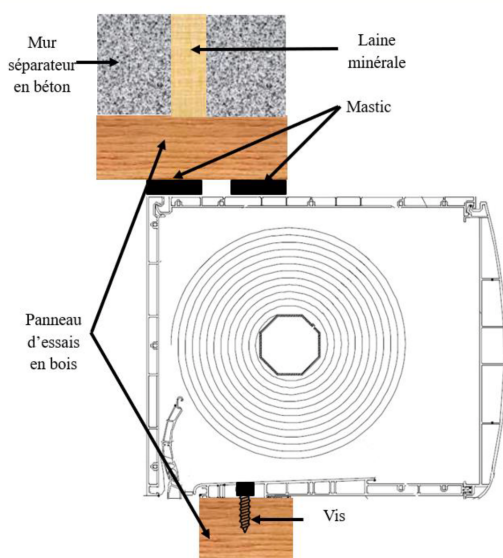


ÉTUDE, MODELISATION ET OPTIMISATION DES PROPRIETES ACOUSTIQUES DES COFFRES DE VOLETS ROULANTS

MENUISERIES EXTERIEURES



Réalisation :

le **cnam**
Imssc

Financé par :

CODIFAB
Développement des Industries Françaises
de l'Ameublement et du Bois

REALISATION



Le laboratoire de mécanique des structures et des systèmes couplés (Lmssc) est une unité de recherche du Conservatoire national des arts et métiers. Les travaux qui y sont menés concernent le développement de modèles robustes pour la prévision et la réduction des réponses dynamiques de systèmes couplés à l'aide de traitements adaptatifs. Les résultats de ces recherches s'adressent principalement au monde académique, aux centres de recherche et aux services R & D des industries de pointe. Ces activités ont également des retombées sur les enseignements réalisés au sein des différents cursus d'ingénieur du Cnam en mécanique. L'équipe collabore de façon privilégiée avec le milieu aéronautique et spatial, via des contrats de recherche et des bourses de thèses. Le LMSSC participe également à divers projets européens et internationaux. Pour en savoir plus : www.lmssc.cnam.fr

FINANCEMENT



Le CODIFAB, Comité Professionnel de Développement des Industries Françaises de l'Ameublement et du Bois, a pour mission de conduire et financer, par le produit de la Taxe Affectée, des actions d'intérêt général en faveur des fabricants français de l'ameublement (meubles et aménagements) et du bois (menuiseries, charpentes, panneaux, bois lamellé, CLT, ossature bois, ...). Le CODIFAB fédère et rassemble 4200 PME/ETI et plus de 10000 artisans, représentés par leurs organisations professionnelles :



Les actions collectives ont pour objectif d'accompagner les entreprises de création, de production et de commercialisation par : une meilleure diffusion de l'innovation et des nouvelles technologies, l'adaptation aux besoins du marché et aux normes environnementales, la promotion, le développement international, la formation, et par toute étude ou initiative présentant un intérêt pour l'ensemble de la profession. Pour en savoir plus : www.codifab.fr

OBJECTIF ET CONTEXTE

L'isolation acoustique des bâtiments représente aujourd'hui un défi sanitaire et économique majeur, particulièrement en milieu urbain dense où plus de 50 % de la population se déclare affectée par les nuisances sonores. En Europe, la pollution sonore est considérée comme le deuxième facteur environnemental de risques sanitaires, provoquant stress, troubles du sommeil et maladies cardiovasculaires, pour un coût social évalué en France à 147 milliards d'euros par an. Dans ce contexte, l'optimisation des éléments de façade est essentielle, et les coffres de volets roulants sont identifiés comme une faiblesse notable, agissant fréquemment comme des ponts sonores et thermiques. Sous la pression de réglementations de plus en plus strictes, telles que la RE 2020, les industriels doivent améliorer la performance de ces composants. Cependant, l'évaluation traditionnelle en laboratoire est coûteuse, chronophage et souffre de problèmes de reproductibilité, particulièrement pour les basses fréquences.

L'objectif central de cette thèse est de répondre à ces enjeux en développant une approche numérique robuste capable de prédire et d'optimiser l'isolation acoustique des coffres de volets roulants. Il s'agit de fournir aux concepteurs des outils prédictifs fiables pour analyser l'influence des géométries et des matériaux sans recourir systématiquement à la fabrication de prototypes. La méthodologie repose sur une modélisation hybride adaptée aux différentes plages fréquentielles : la méthode des éléments finis (FEM) couplée aux éléments infinis (IEM) pour les basses fréquences, et la méthode des matrices de transfert finies (FTMM) pour les moyennes et hautes fréquences.

Un second volet majeur concerne l'identification des paramètres clés influençant la transmission sonore à travers une analyse de sensibilité globale utilisant les méthodes de Morris et de Sobol. Pour surmonter les coûts de calcul élevés de ces analyses, la thèse introduit l'usage de métamodèles, le krigeage par chaos polynomial s'avérant le plus précis pour cette application. Enfin, le travail vise l'optimisation des propriétés acoustiques des matériaux intégrés, notamment la mousse de polyuréthane. En utilisant un algorithme génétique et un modèle micro-macro, la thèse explore comment l'ajustement de la microstructure (taille des pores, taux de réticulation) peut maximiser l'affaiblissement acoustique du coffre. Soutenue par le CODIFAB, cette recherche s'inscrit dans la continuité des travaux sur les fenêtres et entrées d'air pour offrir une vision globale de la performance acoustique des façades.



Les travaux menés dans cette thèse ont permis d'aboutir à plusieurs résultats majeurs concernant la compréhension, la modélisation et l'amélioration de la performance acoustique des coffres de volets roulants. Tout d'abord, la pertinence de l'approche numérique hybride a été démontrée par une forte corrélation entre les simulations et les essais expérimentaux réalisés en laboratoire. Pour les basses fréquences (100 Hz - 1000 Hz), l'utilisation de la méthode des éléments finis (FEM) couplée aux éléments infinis (IEM) a permis de valider les modèles avec un écart relatif moyen contenu, oscillant entre 7 % et 10 % selon que le volet est en position enroulée ou déroulée. Ces modèles ont confirmé que l'ajout de mousse de mélamine et de masses lourdes procure un gain moyen d'isolation de 5,4 dB (enroulé) et 4,0 dB (déroulé). L'analyse paramétrique a également révélé que si la rigidité des embouts influe peu sur la transmission sonore, le renforcement des conditions aux limites (encastrement) et le positionnement stratégique des matériaux isolants (collage à la trappe de visite) améliorent nettement l'affaiblissement acoustique.

Pour les moyennes et hautes fréquences (200 Hz - 5000 Hz), la méthode des matrices de transfert finies (FTMM) a été validée comme un outil de prédiction robuste, surpassant la TMM classique en intégrant une correction pour les dimensions latérales finies du coffre. L'analyse de sensibilité globale, facilitée par l'usage du krigeage par chaos polynomial (KCP) identifié comme le métamodèle le plus précis avec une erreur LOO inférieure à 10^{-2} a permis de hiérarchiser les paramètres d'influence. Il en ressort que les paramètres géométriques (épaisseurs des plaques, de la mousse et des cavités d'air) dominent la réponse en basses fréquences, tandis que les propriétés mécaniques de la mousse (module de Young, coefficient de Poisson) et la résistivité à l'écoulement deviennent déterminantes aux hautes fréquences.

Enfin, l'un des résultats les plus significatifs réside dans l'optimisation microstructurale de la mousse polyuréthane. En utilisant un algorithme génétique couplé à un modèle micro-macro, la thèse démontre qu'en réduisant le taux de réticulation (privilégiant les pores fermés) et en ajustant les dimensions des cellules (entretoises plus courtes et épaisses), il est possible d'obtenir des gains d'isolation substantiels. Cette optimisation a permis d'atteindre une amélioration de la perte de transmission allant jusqu'à 6,9 dB à 2500 Hz. L'ensemble de ces résultats offre aux industriels des outils prédictifs et des leviers de conception concrets pour transformer les coffres de volets roulants, autrefois points faibles des façades, en éléments performants répondant aux exigences des nouvelles réglementations environnementales.

- Participation à des congrès nationaux et internationaux ;
- Publication de trois articles dans des revues internationales.



Accès aux résultats complets de cette étude :

www.codifab.fr