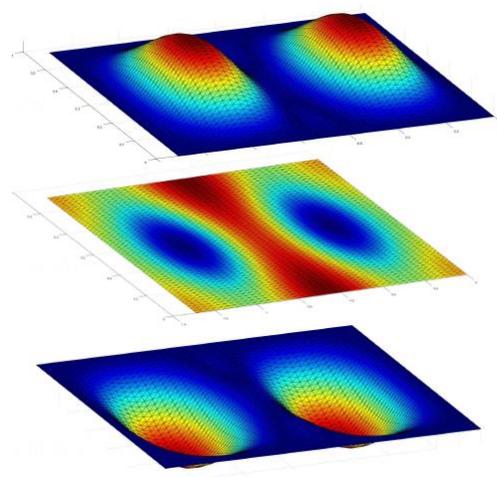
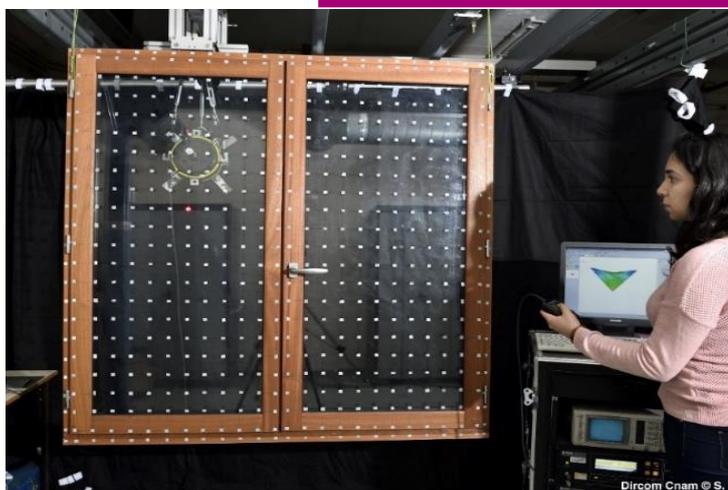


## DEVELOPPEMENT DE MODELES NUMERIQUES POUR L'EVALUATION DES PERFORMANCES VIBRO-ACOUSTIQUES DE FENETRES EN BASSE FREQUENCE

### MENUISERIES EXTERIEURES



Crédits photos : LMSSC - Cnam

Réalisation :

le **cnam**  
lmssc

Avec le soutien du :

**CODIFAB**  
comité professionnel de développement  
des industries françaises de l'ameublement et du bois

## REALISATION

le **cnam**  
lmssc

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](http://www.lmssc.cnam.fr)

## FINANCEMENT

**CODIFAB**  
comité professionnel de développement  
des industries françaises de l'ameublement et du bois

Le CODIFAB, Comité Professionnel de Développement des Industries Françaises de l'Ameublement et du Bois, fédère et rassemble 4200 PME et plus de 15 000 artisans, industriels français de l'ameublement et du bois. Le CODIFAB a pour mission de conduire et financer, par le produit de la Taxe Affectée, des actions d'intérêt général décidées par les organisations professionnelles représentatives :



Ces actions, collectives, ont pour objectif d'accompagner l'évolution des 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](http://www.codifab.fr)

■ D'un point de vue réglementaire, la caractérisation des performances acoustiques des fenêtres s'effectue par le biais d'essais normalisés. Cependant, ces derniers présentent un certain nombre d'inconvénients, comme les difficultés de mise en place, la faible reproductibilité, la manque de diffusivité du champ acoustique en basse fréquence et surtout le coût de réalisation.

En vue de répondre aux problématiques de reproductibilité et de répétabilité des mesures de l'indice d'affaiblissement acoustique, le comité professionnel de développement des industries françaises de l'ameublement et du bois (CODIFAB) a souhaité financer une thèse sur la prédiction de la transmission acoustique de fenêtres, véritables points faibles pour l'isolation acoustique des façades extérieures et donc des bâtiments.

L'objectif principal de ce travail est de proposer des modèles numériques permettant de prédire la réponse vibro-acoustique des fenêtres domestiques en bois dans le domaine des basses fréquences. L'idée est non seulement d'améliorer la compréhension des phénomènes à partir de modélisations numériques performantes, mais également de voir dans quelle mesure les outils de simulations peuvent être utilisés pour réduire les coûts liés aux essais en laboratoire. La principale originalité de ce travail est de proposer une modélisation numérique globale et simplifiée d'une fenêtre à ossature bois, permettant d'évaluer de manière satisfaisante ses performances acoustiques intrinsèques, i.e. indépendamment de l'environnement extérieur.

Dans ce contexte, une modélisation numérique prédictive de la réponse vibro-acoustique d'un système multiphysique tel qu'une fenêtre est un enjeu important. En effet, les simulations numériques permettent à la fois de mieux comprendre les mécanismes de transmission du bruit à travers ces éléments de construction, et également de concevoir des structures optimisées vis-à-vis de l'isolation acoustique. Afin de répondre à cet objectif, nous avons focalisé notre travail sur deux axes principaux : (i) la caractérisation du comportement vibratoire et le recalage des modèles numériques d'une fenêtre et de ses composants et (ii) la proposition d'un modèle numérique simplifié en vue de la prédiction de l'indice d'affaiblissement acoustique de fenêtres à ossature bois dans le domaine des basses fréquences.

## 1/ Caractérisation des structures et développement des modèles recalés

Généralement, lors de l'étude de la réponse dynamique de systèmes mécaniques, il est nécessaire de recourir à une approche expérimentale. Dans ce cadre, l'analyse modale expérimentale est souvent utilisée. Grâce aux développements des méthodes d'identification et des moyens de traitement du signal, cette technique permet de caractériser une structure par ses paramètres modaux : fréquences propres, déformées et amortissements modaux.

Dans ce cadre, nous avons eu recours au recalage de modèles numériques équivalents d'une fenêtre à deux vantaux et de ses principaux composants (double vitrage, cadre et ouvrant). Pour cela, nous avons réalisé des analyses modales expérimentales à partir de deux méthodes distinctes. L'identification des principaux composants de la fenêtre considérée a été réalisée par une approche de type « roving excitation » (marteau d'impact + accéléromètres), tandis que l'analyse modale de la fenêtre complète a été réalisée à partir d'une approche de type « roving response » (pot vibrant + vibromètre laser à balayage). Cette étape a permis d'extraire les fréquences propres et les déformées modales qui ont servi au recalage des modèles numériques proposés dans la suite.

Ces modèles, basés sur la méthode des éléments finis, ont été recalés au niveau des propriétés mécaniques, des géométries et des liaisons entre les différents composants, par comparaison aux résultats expérimentaux. Le recalage nous a permis de trouver une modélisation adéquate de la fenêtre et de fournir un modèle simplifié mais représentatif du comportement réel du système en basse fréquence. Dès lors, ces modèles ont été utilisés pour la prédiction des performances acoustiques de doubles vitrages isolants et de fenêtres à ossatures bois.

## 2/ Développement du modèle numérique pour la prédiction de l'isolation acoustique

L'examen des méthodes de mesure de l'isolation acoustique des structures a montré qu'elles reposent principalement sur l'hypothèse de diffusivité du champ acoustique. Cependant, cette hypothèse n'est pas facile à satisfaire en basse fréquence, et plus particulièrement en dessous de la fréquence de Schroeder. Dans ce domaine fréquentiel, la mesure de l'indice d'affaiblissement acoustique d'un élément est alors régie par l'interaction avec les salles d'émission et de réception. Ainsi, tout changement des propriétés acoustiques et/ou géométriques de l'environnement entraîne une modification de la réponse vibro-acoustique de la structure testée.

Dans ce contexte, afin d'investiguer l'effet des salles sur la réponse vibro-acoustique des structures et d'évaluer d'une manière intrinsèque leurs performances acoustiques, différents modèles numériques ont été proposés. Ils sont basés sur les conditions expérimentales et diffèrent par la manière de modéliser les conditions d'émission et de réception. La méthode des éléments finis a été adoptée pour modéliser les salles émettrice et réceptrice.

En revanche, dans le cas d'une utilisation de conditions de champ libre à l'émission et à la réception, nous avons eu recours à la modélisation d'un champs diffus acoustique par superposition d'ondes planes décorréélées du côté excitation et à l'application de l'approche par intégrale de Rayleigh du côté réception. Les résultats, obtenus pour un double vitrage isolant, ont montré la dépendance de la réponse de la structure à la présence et ainsi aux propriétés des salles.

Cette étude nous a amenés à choisir la modélisation vibro-acoustique avec excitation par champ diffus et rayonnement en champ libre pour les deux raisons suivantes :

- un bon compromis coût/précision;
- une suppression des effets de salles et donc une analyse du comportement intrinsèque du système considéré.

Les comparaisons avec des résultats expérimentaux issus de la littérature ont montré que le modèle numérique recalé du double vitrage assure une très bonne prédiction de la transmission acoustique. À partir de cette base, des études paramétriques ont été réalisées pour étudier l'effet des conditions aux limites et des paramètres intrinsèques du double vitrage isolant sur l'indice d'affaiblissement acoustique. De plus, la réponse vibro-acoustique de structures de type triple vitrage a été étudiée et comparée à celles des doubles vitrages.

Finalement, ces modèles numériques ont été exploités pour déterminer l'indice d'affaiblissement acoustique de la fenêtre assemblée. L'objectif était de valider du point de vue acoustique le modèle recalé par l'AME. La comparaison des résultats de l'étude expérimentale réalisée au laboratoire CERIBOIS et ceux issus des modélisations numériques ont montré la capacité du modèle éléments finis proposé à prédire d'une manière satisfaisante la réponse de deux fenêtres à deux vantaux avec doubles vitrages 4/20/4 et 6/18/4. L'analyse de l'influence de différents composants de la fenêtre sur le rayonnement global a révélé, comme attendu, que les vitres sont responsables de la quasi totalité de la puissance transmise du côté réception. Partant de cette observation, des modèles encore plus simplifiés que ceux initialement proposés ont été développés. Même si des écarts plus importants ont été observés entre les simulations issues de ces modèles et les résultats expérimentaux, le modèle composé de deux doubles vitrages placés côte à côte et dont l'encastrement est appliqué sur les bords extérieurs, peut être utilisé pour prévoir l'allure globale de l'indice d'affaiblissement acoustique des fenêtres. Ces constatations finales montrent que l'ossature (composée des cadres des ouvrants, du dormant et des autres composants) a une influence non négligeable sur la réponse vibro-acoustique de la fenêtre en basse fréquence.

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

**Accès aux résultats complets de cette étude :**

[www.codifab.fr](http://www.codifab.fr)

**Pour aller plus loin : autres travaux du CODIFAB en lien avec cette étude**

<https://www.codifab.fr/actions-collectives/bois/la-fenetre-aura-bientot-son-outil-numerique-devaluation-de-performances>

<https://www.codifab.fr/actions-collectives/bois/problematiques-des-basses-frequences-planchers-bois-solive-2646>