

CONSTRUIRE EN BOIS

Le journal de la construction
commerciale en bois

du labo
AU CHANTIER

Une analyse de la performance acoustique des bâtiments en bois et les possibilités d'amélioration de ces performances

Par Mohamad Bader Eddin et Yannick Bidon

La santé, le confort et le bien-être des occupants prennent une place grandissante dans les préoccupations des acteurs du secteur de la construction et modifient les modes de conception des bâtiments. La performance acoustique figure parmi les éléments qui influencent ces critères. Bien que l'acoustique fût longtemps en bas de la liste des éléments considérés lors de la conception performante d'un bâtiment, le souci grandissant d'offrir un environnement intérieur de qualité et confortable aux occupants en fait dorénavant une priorité pour les concepteurs.

Le retour en force de la construction en bois presse le développement de connaissances plus pointues en matière d'acoustique pour ce type de système structural. Afin de pousser plus loin le



Le CIRCERB

La chaire industrielle de recherche sur la construction écoresponsable en bois (CIRCERB) de l'Université Laval est une plateforme académique multidisciplinaire et intégrée jumelée à un consortium industriel. Évoluant au sein de la Faculté de foresterie, de géographie et de géomatique de l'Université Laval, la chaire oeuvre sur tout le réseau de création de valeur du secteur de la construction, dans le but de développer des solutions écoresponsables, qui utilisent le bois pour réduire l'empreinte écologique des bâtiments. Trois axes de recherche orientent son programme de recherche du CIRCERB: Concevoir, Construire et Exploiter.

La publication

Du Labo au chantier est une nouvelle publication de Cecobois qui a pour objectif la diffusion des travaux de recherche du CIRCERB. Elle vise la vulgarisation de projets réalisés par des étudiants à la maîtrise, au doctorat.

savoir dans ce domaine et d'assurer à long terme une bonne performance acoustique des bâtiments en bois, l'enjeu de la performance acoustique de ce type de bâtiment est adressé au sein de projets dans la programmation de recherche de la Chaire industrielle de recherche sur la construction écoresponsable en bois (CIRCERB).

Au 20^e siècle, les structures à ossature légère en bois se sont rapidement développées jusqu'à devenir le système de construction dominant dans le marché résidentiel pour accueillir la population croissante en Amérique du Nord (Popovski & Ni, 2015). Bien que ce type de structure soit idéal pour les bâtiments dont la durabilité est importante et dont le temps et les coûts de construction sont réduits, une conséquence potentielle est que la qualité d'isolation acoustique subjective est considérée comme inférieure à celle d'une structure lourde (à base de béton comme principal matériau de construction).

L'approche la plus simple d'un modèle de prédiction de la performance acoustique est basée sur la masse, la rigidité et les pertes (Vigran, 2014), ce qui convient à une structure à paroi unique, mais ce n'est pas le cas pour les constructions multicouches et légères. Une estimation précise de l'isolation acoustique des structures doubles a été et reste un défi. De plus, la variété des matériaux de construction rend le processus de prédiction plus difficile. La méthode normalisée d'estimation des performances acoustiques des éléments de construction indiquée dans la norme ISO 12354 parties 1 (ISO.12354-1, 2017) et 2 (ISO.12354-2, 2017) est développée sur la base de données provenant de constructions monolithiques lourdes et n'est pas appropriée pour les structures multicouches complexes et légères.

Analyse de la performance acoustique d'une conception de plancher en CLT apparent

Les qualités esthétiques, environnementales et structurales du bois ne sont plus à défendre. La faible masse de ce matériau impose toutefois un certain défi en matière de performance acoustique des bâtiments, notamment dans le cas de bâtiments multiétagés en bois massif. Puisqu'on souhaite bien souvent laisser le bois massif apparent, sa présence lorsqu'utilisé

« Au 20^e siècle, les structures à ossature légère en bois se sont rapidement développées jusqu'à devenir le système de construction dominant dans le marché résidentiel(...) »

en plancher/plafond impose de trouver des solutions pour améliorer l'insonorisation des espaces sous-jacents. Des problématiques au sein de certains bâtiments en bois ont été rapportées; des occupants se sont plaints de nuisances sonores, notamment au niveau des bruits d'impacts de basse fréquence, tels que les bruits de pas.

Une des façons d'améliorer cette performance est d'ajouter de la masse aux planchers. C'est sur cette solution que s'est penchée Chen Qian au sein d'un projet de doctorat en génie civil à l'UQAC sous la direction de Sylvain Ménard (UQAC), Delphine Bard (Université de Lund) et Jean-Luc Kouyoumji (FCBA). Puisque les planchers sont une source de transmission de bruits d'impacts de basse fréquence, ce projet de recherche a porté sur le développement d'une méthode de prédiction des bruits d'impact en basse fréquence générés par un plancher CLT-Béton grâce à la modélisation.

En l'absence de modèles fiables pour prédire le comportement acoustique de bâtiments en bois, ce premier projet en acoustique réalisé au CIRCERB avait pour but de modéliser le comportement d'un plancher en bois. Puisque la réalisation d'essais est coûteuse, le développement de modèles est souhaitable pour améliorer la conception des structures en bois.

Les travaux ont été réalisés en deux phases, la première visait la prise de mesures expérimentales sur les planchers et la deuxième avait pour objectif le développement d'un modèle par éléments finis. Les analyses modales expérimentales ont été effectuées sur un plancher de CLT et sur un plancher composite CLT-béton. Une machine à choc ISO a dans un premier temps été utilisée sur un panneau de

Figure 1 Une machine à choc a été utilisée pour étudier expérimentalement le comportement vibro-acoustique d'un plancher composé de béton, d'un matériau isolant, d'une plaque de gypse et d'un panneau CLT (crédit photo : Qian Cheng).



CLT 5 plis de 175 mm pour mesurer expérimentalement la transmission du son dans la structure en bois. Ces essais ont permis d'extraire les propriétés dynamiques de l'échantillon et de développer un modèle pour simuler la propagation du son dans le panneau. Les propriétés dynamiques mesurées ont été enregistrées et considérées comme des références dans le développement du modèle numérique.

Par la suite, la doctorante a travaillé sur l'étude du comportement vibroacoustique d'un plancher complet composé d'un panneau de CLT sur lequel ont été déposés une plaque de gypse, un matériau d'isolation acoustique et une couche de béton. Grâce à la machine à choc, le comportement du plancher composite a été analysé. Les résultats ont démontré que la réponse dynamique du plancher composite est très sensible aux propriétés des couches résilientes ajoutées entre le plancher en béton et le plancher structural en CLT.

Lors du développement du modèle numérique, une analyse de sensibilité a été réalisée en premier lieu pour étudier l'impact de différents paramètres sur la réponse dynamique simulée du plancher. L'analyse de sensibilité a révélé que les paramètres du béton (densité, module d'élasticité) ont eu la plus grande influence sur les fréquences. Ce résultat s'explique par le fait que le béton est l'un des composants du plancher qui a le plus important impact en raison de son importante masse. En structure plus légère, la masse est un élément clé pour assurer la performance acoustique.

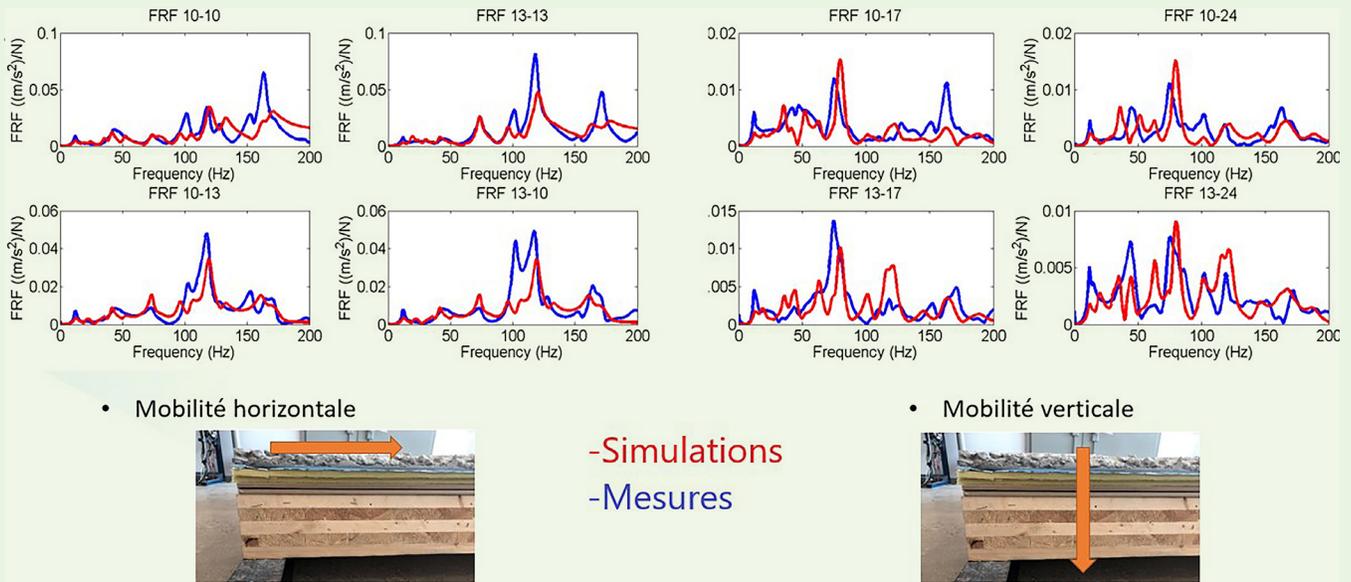
Le modèle a par la suite été calibré et validé en comparant les valeurs mesurées et simulées des fréquences propres, des formes du mode et des fonctions de réponse en fréquence. Les résultats démontrent que presque toutes les résonances principales sont captées par le modèle, même s'il y a quelques différences d'amplitude et quelques décalages à certaines fréquences de résonance. Il existe toutefois certaines divergences dans les résultats, qui peuvent notamment s'expliquer par une trop grande simplification du modèle. Le modèle permet toutefois d'estimer l'influence de la couche de béton sur l'amélioration de l'isolation acoustique, en particulier dans les basses fréquences, d'où proviennent généralement la plupart des nuisances dans les constructions à ossature légère.

Modèle de prédiction pour estimer l'isolation aux bruits aériens et d'impact basé sur l'intelligence artificielle

Ces dernières années, le bois massif et les produits en bois d'ingénierie ont été largement utilisés dans la construction en raison de leur disponibilité locale, et de leur facilité d'utilisation, ainsi que de leurs nombreux avantages environnementaux (Radkau, 2012).

Les données d'isolation acoustique des éléments structuraux existants sont dérivées de mesures normalisées et utilisées comme indication de la performance acoustique des composants du bâtiment. De telles mesures

Figure 2 Les fonctions de réponse en fréquence (FRF) à différents points d'excitation et de réception du plancher CLT, pour la mobilité horizontale (gauche) et verticale (droite). Le premier indice du titre du FRF indique le point d'excitation et le second le point de réception. Les courbes de simulation sont en rouge et les courbes mesurées sont en bleu.



Réseaux de neurones artificiels et acoustique du bâtiment

L'approche par réseau de neurones artificiels est un sous-domaine de l'apprentissage automatique qui se définit comme une branche de statistiques dans laquelle un modèle peut apprendre automatiquement sur la base de données fournies, et cela sans être programmé. Le concept de réseaux de neurones artificiels a été motivé par la structure d'un cerveau réel (Svozil, 1997). Il permet d'utiliser des opérations de calcul très simples (additions, multiplication et éléments logiques fondamentaux) pour résoudre des problèmes mathématiques complexes (Graupe, 2013). L'architecture des réseaux de neurones artificiels est constituée de couches, et chaque couche contient des unités de calcul appelées neurones. Les réseaux de neurones artificiels calculent une fonction des entrées en propageant des valeurs calculées des neurones d'entrée au(x) neurone(s) de sortie (Figure 3). Les erreurs commises par le modèle sont visualisées pour évaluer les performances du modèle et pour donner une meilleure précision.

Récemment, les applications de l'apprentissage automatique ont été largement utilisées pour

résoudre des problèmes complexes dans divers domaines, tels que la reconnaissance de la parole et la classification d'images, mais très peu dans le domaine de l'acoustique du bâtiment.

Un certain nombre de données parmi les 252 mesures de laboratoire standardisées effectuées sur différents planchers ont été utilisées pour développer un modèle de réseau neuronal artificiel afin de prédire les courbes d'isolation aux bruits aériens et d'impact dans la gamme de fréquences de 50 Hz à 5 kHz.

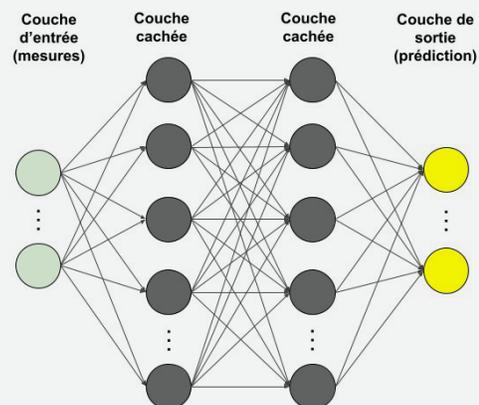


Figure 3 Architecture des réseaux de neurones artificiels

peuvent être effectuées directement sur le site ou en laboratoire sur différents éléments de construction, c'est-à-dire, les murs et les planchers. Cependant, ces méthodes peuvent être coûteuses et prendre du temps. Par conséquent, de nombreux outils de prédiction ont été développés pour estimer le comportement acoustique à l'intérieur des bâtiments. Malheureusement, une estimation précise de l'isolation acoustique pour les planchers et murs multicouches en ossature légère reste un défi en raison de la variété des matériaux de construction.

Pour répondre aux exigences acoustiques adéquates, il est essentiel d'utiliser des outils de prédiction et des produits acoustiques aux performances attendues pour fournir une qualité acoustique intérieure adaptée. Les méthodes de prédiction peuvent réduire le coût et les efforts des tests acoustiques expérimentaux. C'est dans le but de développer un modèle de prédiction approprié pour estimer la performance acoustique des structures légères que Mohamad Bader Eddin a réalisé un projet de doctorat à l'UQAC sous la direction de M. Ménard, Mme Bard et M. Kouyoumji. Ce projet s'insère également au sein de la chaire CIRCERB.

Ce second projet porte cette fois sur les bruits aériens et d'impact dans le cadre de bâtiments à plusieurs étages et préfabriqués à ossature légère en bois. Plus précisément, il vise à développer un modèle de prédiction utilisant l'approche des réseaux de neurones artificiels en collectant des mesures standardisées de différents laboratoires tels que : FPIInnovations, le Conseil National de la Recherche Canada (NRC-CRC), l'université de Lund en Suède et le FCBA en France. Il se concentre également sur l'exploration des paramètres les plus importants afin de contrôler les performances d'isolation acoustique des planchers et des murs et d'optimiser leurs structures.

Résultats

Douze structures de plancher ont été sélectionnées (au hasard à partir du nombre total de mesures) pour estimer l'indice d'affaiblissement aérien et les niveaux de pression acoustique d'impact dans des bandes de tiers d'octave (50 Hz - 5 kHz) en utilisant la racine de l'erreur quadratique moyenne (REQM) pour mesurer la précision. La (Figure 4) illustre les douze cas de

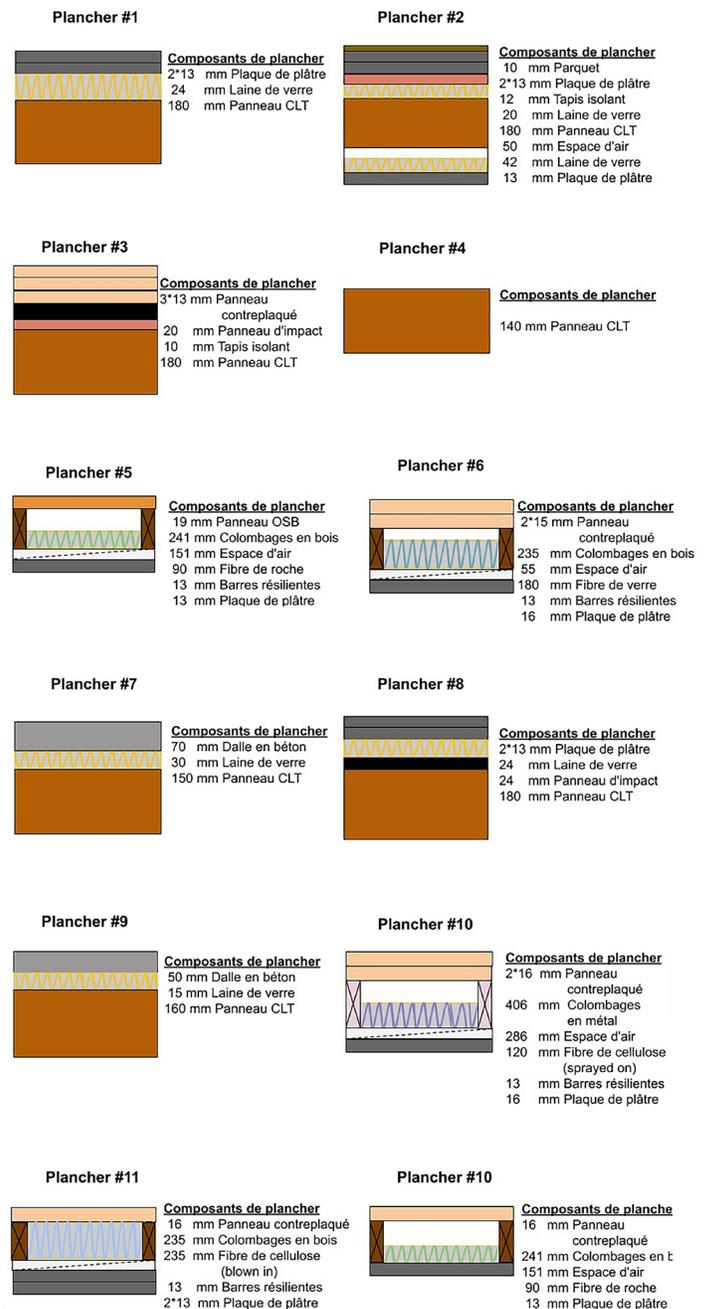
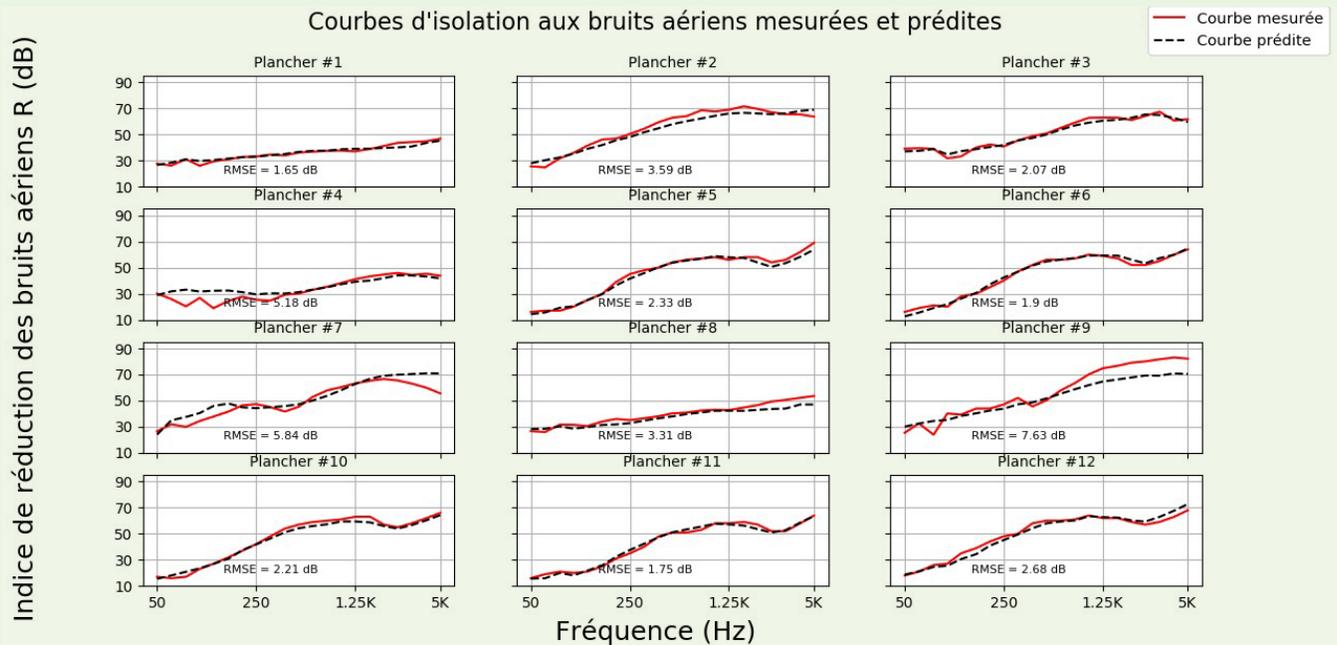


Figure 4 Configurations de plancher utilisées pour évaluer la précision prédictive du modèle sur l'estimation des courbes d'isolation aux bruits aériens et d'impact.

données de test des configurations de plancher qui sont utilisés pour prédire les courbes d'isolation aux bruits aériens et d'impact.

Les figures 5 et 6 montrent une comparaison entre les courbes mesurées et prédites de différentes configurations de plancher pour l'isolation aux bruits aériens. On remarque que

Figure 5 Comparaison entre les valeurs mesurées et prédites pour les structures de plancher testées pour l'indice de réduction des bruits aériens.



les courbes prédites sont proches de celles mesurées, en particulier dans les gammes de basses fréquences, tandis que les écarts augmentent dans certains cas dans les bandes de hautes fréquences. Les résultats soulignent que des difficultés d'estimation élevées pour les courbes d'isolation aux bruits aériens et d'impact peuvent être trouvées dans les hautes fréquences. L'une des raisons est probablement les emplacements de fréquences critiques pour les structures de planchers légers à hautes fréquences. Le modèle a montré quelques variations dans les basses fréquences là où se trouvent les zones de fréquences fondamentales. Cependant, la capacité prédictive du modèle est satisfaisante et encourage donc la poursuite des travaux par cette approche.

La prévision de l'indice pondéré de réduction des bruits aériens a été calculée avec une erreur maximale de 2 dB. Cependant, l'erreur a augmenté jusqu'à 5 dB dans le cas le plus défavorable de prédiction du niveau de pression acoustique d'impact normalisé pondéré.

Une analyse de sensibilité a été réalisée afin d'explorer le paramètre le plus important dans la prédiction de l'isolation acoustique. Il a été constaté que l'épaisseur des matériaux d'isolation, la densité des dalles de bois

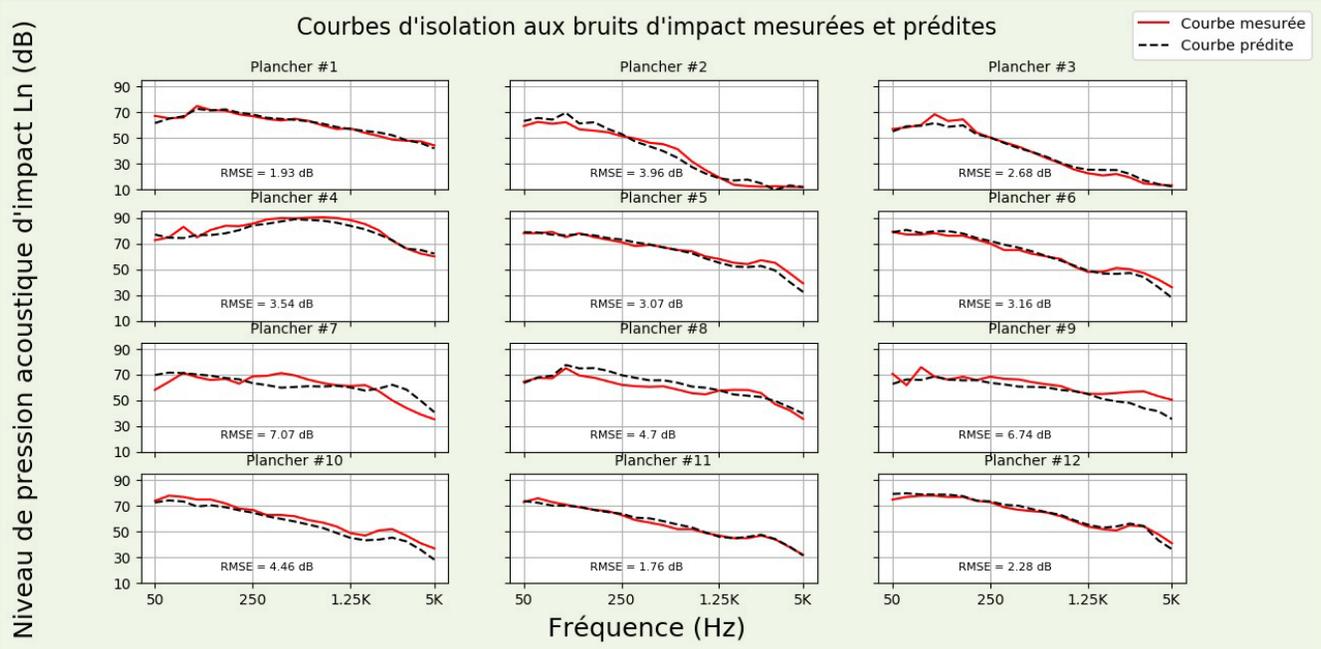
« Le modèle a montré quelques variations dans les basses fréquences là où se trouvent les zones de fréquences fondamentales. »

lamellé-croisé (CLT) ainsi que celle des planchers flottants en béton et la densité totale des structures de plancher semblent affecter le plus les prévisions.

Conclusion

Puisque le son se propage par le moindre petit trou, la performance acoustique des bâtiments est affectée par le choix des matériaux utilisés, conséquemment l'utilisation de matériaux adaptés affecte positivement les performances acoustiques. De plus, cette performance est aussi affectée par la qualité de la conception. Les détails de conception deviennent donc tout aussi importants que les matériaux utilisés

Figure 6 Comparaison entre les valeurs mesurées et prédites pour les structures de plancher d'essai pour le niveau de pression acoustique d'impact



pour réduire la propagation des sons et améliorer le confort des usagers. Cette réalité est d'autant plus vraie dans les bâtiments en bois, puisque ce matériau impose des défis en matière d'acoustique en raison de sa faible masse et l'absence d'outil de prédiction précis.

Les recherches à venir consistent à estimer l'isolation aux bruits aériens des structures de façade à l'aide d'un réseau de neurones artificiels et à effectuer une optimisation pour contrôler et améliorer la prédiction de l'isolation acoustique.

Références

- Graupe, D. (2013). *Principles of artificial neural networks*; World Scientific.
- ISO.12354-1. (2017). Building Acoustics—Estimation of Acoustic Performance of Buildings from the Performance of Elements—Part 1. *Airborne Sound Insulation between Rooms*. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland.
- ISO.12354-2. (2017). Building Acoustics—Estimation of Acoustic Performance of Buildings from the Performance of Elements—Part 2. *Impact Sound Insulation between Rooms*. International Organization for Standardization: Geneva, Switzerland.
- Popovski, M., & Ni, C. (2015). *Mid-rise Wood-Frame Construction Handbook*, FPIInnovations. Vancouver. British Columbia.
- Radkau, J. (2012). *Wood: a history*. Polity.
- Svozil, D. K. (1997). *Introduction to multi-layer feed-forward neural networks*. Chemometrics and intelligent laboratory systems, 39(1), 43-62.
- Vigran, T. E. (2014). *Building acoustics*. CRC Press.

Partenaires du CIRCERB



Partenaires majeurs Cecobois

