



# ISOLATION ACOUSTIQUE ET VIBRATOIRE DES CONSTRUCTIONS BOIS POUR LE MARCHÉ EUROPEEN

## SILENT TIMBER BUILDINGS FOR THE EUROPEAN MARKET

L'objectif principal du projet SILENT TIMBER BUILD a été de développer des modèles de prédiction pour les bâtiments multi-étapés utilisant diverses compositions d'éléments structuraux de planchers et de murs à base de bois.

Le projet s'est concentré sur l'étude de l'isolation acoustique et vibratoire des constructions en bois. Le travail a été réalisé à la fois pour l'isolation acoustique et l'isolation au bruit d'impact. L'objectif a été de développer des modèles de calcul (et / ou de fournir des données standardisés aux modèles) pour différentes structures en bois disponibles en Europe. La plus grande partie du projet consiste à utiliser les familles de produits afin de développer et d'affiner des modèles de prédiction utilisant la modélisation aux éléments finis (MEF) en combinaison avec un logiciel de « statistical energy analysis » (SEA) adapté spécifiquement : SEAWOOD. Tout au long du projet, le logiciel a été affiné et adapté aux structures et typologies de bâtiments bois. En comparant les résultats de mesure de laboratoire avec des résultats calculés, des améliorations du logiciel ont été successivement introduites. L'objectif final étant de fournir un outil de calcul adapté aux futures exigences d'isolation acoustiques dans les unités résidentielles multiétagées. Ainsi la précision du modèle est adaptée aux basses fréquences qui sont identifiées comme source de gêne. De plus, les résultats du projet ont été utilisés pour concevoir une base de données européenne. Dans cette base de données, un outil d'écoute est intégré, ce qui permet aux utilisateurs de traduire plus facilement les grandeurs acoustiques en audition. Plus précisément, le rendu du projet comprend une description du projet et de ses principaux résultats, mais aussi des exemples significatifs de jonctions de planchers et d'assemblages de murs. Il résume également quelques difficultés majeures comme la modélisation des structures en bois et enfin des recommandations pour le développement futur [www.silent-timber-build.com](http://www.silent-timber-build.com).

The project focused on studying timber structures with regard to their sound insulation characteristics, both airborne sound insulation and impact sound insulation. The aim is to develop calculation models (and / or to provide input to standardized models) for various timber structures available in Europe but also to facilitate future optimization of buildings using wood as structural bearing system. Major part of the project was to use the grouping in order to develop and refine general prediction models by using FEM in combination with an SEA software that was included in the project from start. Throughout the project, the software was refined and adapted to typical building structures and groups. By comparing laboratory measurement results with calculated results, improvements of the software successively were introduced. The aim at the end is to deliver a calculation tool adapted to future sound insulation requirements in multi storey residential units, e.g. the accuracy of the model has to fit to the frequencies that causes annoyance. Additionally results of Silent Timber Build are presented in the European Database. In this database a listening tool is integrated, making it easier for users to translate acoustical figures to hearing impression. Final report comprises a description of the project and its main results but also some significant examples of calculated floor assemblies and wall assemblies. It also summarizes some main difficulties as modelling timber structures and finally **recommendations for future development** [www.silent-timber-build.com](http://www.silent-timber-build.com).

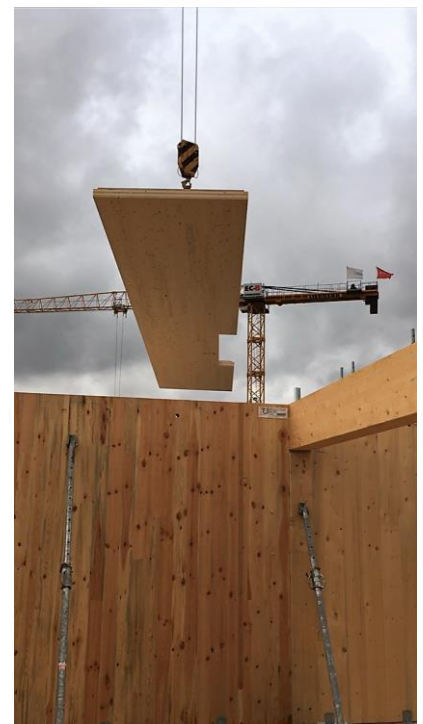


Photo 1 : Mise en place d'un plancher au niveau R+3 sur un chantier à Ris Orangis (91)

## Contexte

Aujourd'hui, l'état des connaissances sur l'isolation acoustique et vibratoire des bâtiments d'habitation collective en bois est internationalement basé sur des réglementations nationales de construction. Ces réglementations, ne prenant généralement pas en compte les fréquences inférieures à 100 Hz. Ainsi, ce grand nombre de documents publiés est difficile à utiliser pour développer et faire la conception de bâtiments d'habitation collective en bois avec des systèmes structuraux compétitifs.

Les connaissances acquises dans deux projets récents et toujours en cours montrent que les fréquences en dessous de 100 Hz doivent être incluses pour les bâtiments d'habitation collective avec des systèmes structuraux légers. Exclure les basses fréquences impliquera que les nouvelles solutions

développées par l'industrie et les PME seront mal optimisées et présenteront une faiblesse en comparaison avec les solutions constructives traditionnelles « lourdes » (en béton). Ce phénomène sera d'autant plus marqué si les réglementations acoustiques prennent en compte les basses fréquences dans le futur.

Le projet est étroitement lié aux idées émises lors du workshop Européen qui s'est tenu à Stockholm en 2011 [3]. Il est aussi lié aux résultats des actions européennes COST TU 0901 et FP 0702. De plus, les données du projet "AkuLite" ("Acoustique, vibrations et élasticité en constructions légère") récemment terminé (projet de recherche suédois terminé en Mai 2013), et aussi celles du projet AcuWood (WWN projet, "Acoustique des bâtiments en bois", finalisé fin 2013), ainsi que d'autres données seront disponibles pour ce nouveau projet. Dans l'ensemble une «base» est déjà disponible afin de finaliser le développement d'outils de calcul pour les constructions et éléments légers à ossature bois.

De plus, les expériences de terrain de près de quinze ans en Suède incluant les basses fréquences à partir de 50 Hz, seront utilisées dans ce projet. Par conséquent, l'industrie, les PME, les consultants et aussi la recherche partenariale auront à disposition un vaste ensemble de données disponibles dès le démarrage du projet et dans certains cas incluant les très basses fréquences (20 Hz ou plus bas pour les aspects de vibrations). Cela implique que les données de grandes études objectives et subjectives sur le comportement acoustique et vibratoire des constructions légères effectuées en laboratoire et sur site seront disponibles ; elles comprennent :

- ✓ Isolation acoustique dans les très basses fréquences dans les structures en bois
- ✓ Evaluation subjective par les occupants de ce type de construction, prenant en compte toute la gamme fréquentielle
- ✓ Une description des fréquences contribuant à la gêne dans les différentes structures considérées
- ✓ Analyse sur différentes constructions vis-à-vis du comportement acoustique et vibratoire
- ✓ Méthodes de mesure comprenant les basses fréquences
- ✓ Données obtenues en des endroits géographiquement diversifiés, donnant une base fiable pour le démarrage du projet proposé.
- ✓ Travail initial sur des outils de calcul.

En outre, encore aujourd'hui, la majorité des bâtiments en bois en Europe sont construits de manière similaire aux bâtiments traditionnels : une première phase où les éléments de la structure porteuse sont mis en œuvre souvent dans un temps relativement court, puis une seconde phase d'une durée assez longue où les éléments intérieurs et extérieurs sont construits. Les constructions légères ont un très fort potentiel de préfabrication non seulement pour la structure porteuse mais aussi pour tout le reste de la structure. Il est possible de produire des volumes préfabriqués en bois à des prix compétitifs ayant une bonne performance acoustique. La préfabrication est efficace pour l'industrie et devrait se développer.

### Avancées

Le but de la première partie du projet a été de développer des outils de prédiction appliqués aux constructions bois. De plus, il a été question également, de créer la base nécessaire pour une précision suffisante. Cela a impliqué le développement de nouvelles méthodes mais aussi de comprendre comment les forces d'entrée provenant principalement de la machine à choc affectent les résultats des niveaux sonores d'impact.

### Identification des valeurs « cibles » Européennes

Les valeurs cibles pour l'isolation acoustique dans les bâtiments peuvent varier considérablement selon le pays en Europe. Pour les systèmes constructifs en bois, il existe un intérêt commun à adapter les valeurs cibles actuelles aux attentes futures des habitants, afin de concurrencer tout autre matériau structural ayant des caractéristiques physiques différentes. Par conséquent, lorsque l'on prévoit l'isolation acoustique, à l'heure actuelle, il est nécessaire de penser au-delà de la réglementation actuelle et de prévoir pour «l'avenir». Le futur pour les habitants mais aussi pour le futur de l'industrie du bois.

Suivant les recommandations du COST TU0901, la gamme de fréquences à couvrir commence à 50 Hz et se termine à 3150 Hz. De nouvelles recherches ont montré qu'il pourrait être important de couvrir des fréquences à partir de 20 Hz (par exemple jusqu'à la limite de fréquence pour l'acuité auditive humaine), mais il n'est pas encore suffisamment sécurisé pour l'introduire dans un cadre réglementaire. En dépit des incertitudes qui subsistent, Silent Timber Build a couvert la gamme de fréquences comprise entre 20 Hz et 3150 Hz, car la capacité à prédire l'isolation acoustique a été investiguée.

### Outils de prédiction

Pour la modélisation des moyennes et hautes fréquences, nous avons utilisé une combinaison de FEM et de SEA. Pour la gamme de fréquence normalisée "normale" 100 Hz - 3150 Hz utilisée pour évaluer l'indice d'affaiblissement acoustique pondéré et les niveaux de bruit d'impact pondérés conformément à la norme ISO 717, un logiciel a été développé dans le projet "Silent Timber Build". Le logiciel SEAWOOD fourni par le partenaire du projet InterAC. Pour couvrir la plage de fréquences étendue normalisée selon ISO 717 (à partir de 50 Hz), des combinaisons de SEA et de FEM sont utilisées, de diverses manières. Un algorithme de conversion FEM-à-SEA est inclus dans SEAWOOD en tant que module supplémentaire. Ce module implémente une technique propriétaire appelée Virtual SEA pour analyser la dynamique modale du modèle FEM et pour dériver, en utilisant une méthode inverse experte, la représentation SEA la plus appropriée qui fournit à la fois le découpage SEA en sous-systèmes et les paramètres SEA associés. Les sous-systèmes restituent le transfert de vitesse à la bande de fréquence observée moyenné par le modèle FEM original. Les modèles associés sont appelés modèles VSEA.

La méthodologie VSEA est assez intéressante car elle fournit à partir d'une représentation de modèle FEM d'un système dynamique, facile à mesurer des paramètres SEA de façon plutôt

automatisée. La technique de mesure la plus efficace pour valider les modèles FEM et SEA virtuels est la méthode inverse SEA basée sur l'enregistrement des fonctions de transfert point à point vibrationnelles telles que mises en œuvre dans les logiciels SEA-TEST et SEA-XP. Les paramètres SEA tels que les facteurs de perte d'amortissement et de couplage, la masse équivalente, la densité modale et la mobilité du point de pilotage peuvent être comparés dans un format de fréquence intégré en bande tel que les bandes de fréquences Octave ou 1/3 octave.

Le modèle SEA est généralement composé de quelques sous-systèmes, de sorte que la différence des modèles FEM, le cas échéant, doit être facilement mise en évidence en comparant les mesures à chacun des paramètres VSEA élémentaires dérivés du modèle FEM. Parce que seules les amplitudes modales d'un ensemble limité de nœuds sont requises en entrée du solveur inverse VSEA, l'extraction des valeurs propres et des formes propres du modèle FEM est possible jusqu'à une limite de fréquence où la longueur d'onde de propagation est environ 10 fois la taille du maillage. Les structures en bois sont épaisses et relativement rigides, les modèles FEM VSEA structuraux peuvent être calculés et jusqu'à 2000 Hz], couvrant ce que l'on appelle la gamme de fréquences moyennes. À partir de 1 000 Hz, l'énergie vibratoire dans les structures à ossature de bois est assez diffuse avec un fort écart d'énergie au niveau des discontinuités telles que le changement d'épaisseur, de matériau ou de joint. La SEA analytique prend en charge le calcul. Les paramètres VSEA SEA limités en fréquence par le maillage FEM sont ensuite étendus par des opérateurs analytiques associés intégrés dans les sous-systèmes VSEA qui étendent la limite de fréquence au-dessus de 20 kHz. Le modèle VSEA devient alors un modèle hybride SEA partiellement construit à partir de FEM et en partie à partir d'opérateurs analytiques. Les modèles VSEA de ce type peuvent ensuite être exploités sur une plage de fréquences étendue allant généralement de 100 Hz à 20000 Hz.

## Validation des outils de prévision et des constructions constructives

L'objectif de la deuxième partie du projet a été de valider les modèles théoriques développés dans la première partie du projet en utilisant des mesures déjà disponibles et aussi nouvelles mesures réalisées en laboratoire et in-situ. Des analyses ont été faites et des constructions optimisées ont été utilisées dans la procédure de validation. Par conséquent, la contribution de cette deuxième partie du projet a été d'une importance majeure pour s'assurer que les modèles (le logiciel SEAWOOD et les hypothèses dans la modélisation FEM) ont été corrects au niveau prédiction pour divers systèmes constructifs et diverses jonctions structurales.

Le rapport comprend un aperçu des différents systèmes de plancher utilisés en l'Europe. Ils ont été sélectionnés et évalués avec soin. Ensuite les systèmes ont été triés en différents groupes de configurations possibles. Le regroupement est donc fait de manière à faciliter la modélisation des planchers en utilisant les différentes méthodes développées dans le cadre de ce projet. Le logiciel qui a été utilisé est un logiciel adapté aux composants à bas de bois,

Enfin des règles de comportement global des planchers sont dérivées de l'analyse des résultats. Ainsi il a été possible d'observer le comportement acoustique d'un plancher faisant varier la masse surfacique, le nombre de plaques etc.

## Atlas des performances acoustiques des structures bois européennes

L'objectif de la troisième partie du projet a été de fournir une base de données européenne des performances acoustiques des constructions en bois. Pour commencer, une méthodologie de structuration de la base de données a été développée. La base de données a été alimentée par des exemples existants provenant des différents partenaires européens. Une interface publique de la base de données a été ensuite développée. Cette interface conviviale de l'Atlas européen d'isolation acoustique bois (EATSI-Atlas) a fourni des informations sur divers critères d'évaluation, y compris les futures valeurs cibles européennes attendues. Afin d'améliorer les possibilités pour les PME de répondre aux exigences de performances acoustiques pour l'avenir, il y a eu également des «conseils» sur les données du modèle de jonction pour la prévision et l'évaluation des constructions innovantes à base de bois.

L'atlas européen sera un outil exceptionnel pour le développement futur des systèmes constructifs bois. Il servira également pour la prédiction du comportement acoustique entre différentes pièces. Au sein de l'atlas, la qualité des données sera distinguée, classement entre les données de spectre complet, les données de spectre partiel, les données de nombre unique, les données mesurées en laboratoire, les données mesurées sur site, les données calculées et estimées, le cas échéant. En fonction des résultats des autres parties du projet, il sera décidé quels systèmes sont sélectionnés et quelles modifications doivent être effectuées pour fournir une isolation sonore à spectre complet, y compris la plage de basses fréquences pour différents niveaux. Les systèmes choisis serviront de base aux modèles de calcul à la première partie du projet et à la procédure de validation de la deuxième partie du projet.

Enfin, un outil d'auralisation sera développé. L'auralisation est une simulation électronique de signaux sonores pour des types d'excitation arbitraires et pour toutes sortes de constructions. Cet outil utilise les données de l'Atlas EATSI pour donner un ressenti audible des différents effets d'isolation acoustique des différentes constructions à base de bois, en Europe. Grâce à cet outil, la diffusion des résultats peut être démontrée sans pour autant être acousticien.

## Conclusion

Les résultats du projet ont été satisfaisants et la confiance dans la modélisation est bien meilleure aujourd'hui qu'avant le projet. Il y a encore des obstacles à surmonter, mais une meilleure compréhension est obtenue et l'industrie du bois peut espérer une prédiction plus sûre de l'isolation phonique, impliquant un développement scientifique plus poussé des nouveaux bâtiments et l'ouverture de nouveaux produits et systèmes de construction. Des conditions préalables ouvriront la porte à une industrie du bois plus compétitive et à un nombre accru de bâtiments avec des composants structuraux en bois dans le futur

## Perspectives

### Axes de développement envisageables et propositions

Un travail sur la valorisation de l'étude Silent Timber Build a permis d'identifier plusieurs pistes de poursuite ou de mise au



point de produits pour le marché du bâtiment : partenariat R&D sur le thème acoustique et conception multicritère pour les constructions CLT, expertise pour des missions de calcul acoustique.

✓ **Extension des critères étudiés pour une conception globale**

Une poursuite d'étude est envisagée avec sensiblement le même consortium en ajoutant la compétence acoustique à une approche globale multicritères.

✓ **Missions d'assistance sur le calcul acoustique, bruits aériens et bruits d'impacts**

La méthode de calcul du bruit d'impact basée sur la SEA a été exploitée pour créer un outil utilisable dans le cadre de missions privées. Cette méthode vient étendre notre domaine de compétence en ajoutant l'impact à la méthode d'extrapolation de mesure déjà exploitée à FCBA. A noter qu'elle a été utilisée dans une mission pour les entreprises MetsaWood et Woodeum.

✓ **Partenariat pour futur projets**

FCBA, a participé à la préparation d'un nouveau projet de R&D proposé à l'appel à projet européen FORESTVALUE. De même, FCBA, a regroupé plusieurs instituts de recherche pour organiser un montage de projet pour l'appel à projet H2020 Forest Value Chain, Building with wood. En fin d'année 2018, la proposition doit être finalisée.



Photo 2 : Phase intermédiaire de la mise en œuvre du CLT sur le chantier à Ris Orangis (91)

## Pour en savoir plus

> le site [www.catalogue-construction-bois.fr](http://www.catalogue-construction-bois.fr)

> le site [www.silent-timber-build.com/](http://www.silent-timber-build.com/)

> la Base de données [www.lignum.ch](http://www.lignum.ch)

### Publications

FCBA a proposé cinq publications à trois Congrès Internationaux :

- ISVS à Shanghai en 2014 : méthodes de calcul acoustiques
- Internoise à Melbourne en 2015 : stratégie de calcul
- ICA à Buenos-Aires : calcul des transmissions latérales
- Symposium de la Société Italienne d'Acoustique : calcul des transmissions latérales
- Internoise 2017 : résultats de Silent Timber Build.

### Etude réalisée en partenariat avec

SP, (RISE) ; Lund University, TU Graz, CSTB, Fraunhofer IBP, SINTEF, Lignum, Tecnalia **partenaires industriels** : InterAC, CEI-Bois, WSP Environmental, Simmons Acoustics & Development, AB Fristad Bygg, Norgeshus AS, Bauer Holzbau GmbH, RothoBlaas,



Avec le soutien financier de



## Contact

Jean-Luc KOUYOUMJI ● [jean-luc.kouyoumji@fcba.fr](mailto:jean-luc.kouyoumji@fcba.fr)  
Tél. 05 56 43 63 74



Pôle Industries Bois Construction  
Section Recherche  
Allée de Boutaut – BP 227  
33028 Bordeaux Cedex