

Résumé des Résultats

Introduction

Le projet "Towards Adhesive Free Timber Buildings (AFTB)" a mobilisé des chercheurs de six pays Européens avec l'objectif de développer des systèmes structuraux entièrement en bois. Plusieurs variantes d'éléments structuraux sous forme de poteaux/poutres multicouches et panneaux lamellés-croisés, en utilisant des bois locaux, assemblés par des goujons en bois densifié ont été fabriqués et testés. De plus, de nouveaux systèmes d'assemblage innovants ont été conçus et développés à l'aide de plaques et de goujons en bois densifié, ce qui donne la possibilité de créer non seulement des structures sans adhésif (SA), mais aussi des structures sans métal (SM). Cette brochure résume les principaux résultats du projet AFTB.

Densification du bois (par compression)

En utilisant la compression thermomécanique, le bois peut être densifié et transformé en un matériau plus dense, plus résistant, plus rigide et plus dur que la plupart des bois feuillus tropicaux. En contrôlant minutieusement la température, la pression de la presse hydraulique et l'humidité du bois, ce dernier plastifie et sa structure cellulaire s'effondre sans endommagement. En appliquant une pression de 16 MPa sous température ne dépassant pas 130°C pendant plusieurs heures, le bois peut être comprimé jusqu'à 68% conduisant ainsi à une densité allant jusqu'à 1400 kg/m³ (Fig. 1).



Fig. 1 – Sections de bois de pruche avant et après densification de 400 kg/m³ à 1400 kg/m³ [U Liverpool].

Propriétés du bois densifié

Une campagne de tests mécaniques a été réalisée afin d'obtenir une base de données complète sur les caractéristiques mécaniques nécessaires à la conception d'assemblages et d'éléments structuraux utilisant les goujons et les plaques en bois densifié. Les propriétés suivantes ont été caractérisées : la densité, la résistance à la flexion, la rigidité, le cisaillement, le moment plastique des goujons, la portance locale en compression ainsi que la résistance à l'impact.

Les tests effectués par les différents partenaires du projet AFTB sur différentes essences de bois ont démontré que la densification thermomécanique du bois permet d'améliorer significativement les propriétés mécaniques.

Comme illustré en Fig. 2, le niveau d'augmentation de la densité, les modules d'élasticité et de rupture est significatif et varie avec l'essence du bois. Pour le bois de pruche, ces différentes propriétés augmentent de plus de 200%. Pour le pin écossais, l'augmentation était relativement moins importante mais reste au-dessus de 70%.

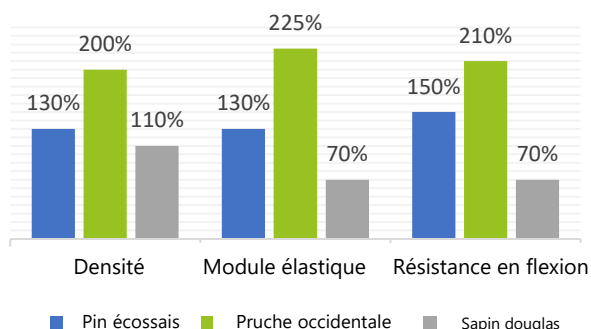


Fig. 2 – Augmentation de la densité, modules d'élasticité et de rupture pour différentes essences de bois densifié [U Liverpool].

Le bois densifié est sujet au gonflement irréversible (comportement à mémoire de forme) et tend à retrouver sa dimension originale, en fonction des conditions ambiantes de température et d'humidité. Ce phénomène peut être stabilisé par traitement thermique, chimique ou toute autre technique. Cependant, le projet AFTB exploite cette caractéristique comme un avantage pour obtenir un auto-serrage des connexions.

Produits d'ingénierie en bois tourillonnés

Plusieurs types de produits d'ingénierie en bois (PIBs), assemblés par des goujons en bois densifié thermomécaniquement, ont été fabriqués et testés :

- Poteaux et poutres (Fig. 3)
- Panneaux de planchers et murs en CLT (Figs. 4 & 5)



Fig. 3 - Poutres lamellées tourillonnées [U Liverpool].

Résumé des Résultats



Fig. 4 – Tests de flexion des panneaux CLT tourillonnés [U Liverpool].

Les systèmes étudiés sont composés de lamelles en bois d'œuvre résineux ou en bois de chêne et assemblés par des goujons en bois résineux densifié. Ces différents systèmes ont été testés pour déterminer leurs caractéristiques de résistance admissibles. L'inclinaison et l'espacement des goujons ont également été étudiés. Cela a permis d'identifier l'espacement optimal des goujons. Les résultats d'essais sur les poutres multicouches avec différents espacements des goujons ont été comparés à ceux issus de poutres collées de dimensions identiques. Les résultats ont montré que les caractéristiques de rigidité et de résistance des poutres tourillonnées sont plus faibles que celles des poutres collées. Cependant, il a été montré que l'optimisation de l'espacement des goujons et l'épaisseur des lamelles permet une amélioration considérable de la rigidité et de la résistance des poutres tourillonnées. L'influence du matériau des goujons densifiés est relativement faible, mais les tests en laboratoire ont montré une amélioration des performances à long terme en raison de l'effet du comportement à mémoire de forme assurant un autoserrage des liaisons sur toute la durée de vie.

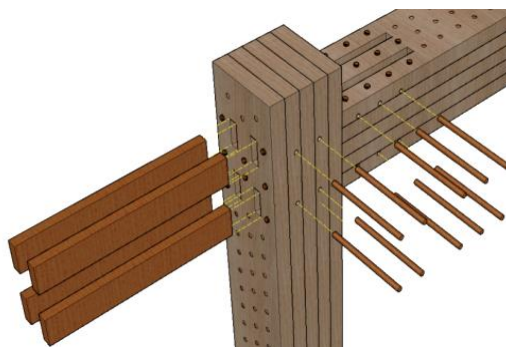


Fig. 6 – Assemblage Poteau-Poutre sans colle et sans metal [NUI Galway].

Afin d'étudier la résistance des assemblages, une approche hybride combinant expérience et modélisation numérique a été adoptée. Différentes configurations d'assemblages ont été étudiées et les résultats ont permis d'optimiser les performances pour des assemblages poutre-poutre et poteau-poutre. La résistance des assemblages par plaques et goujons en bois densifié était de 80% par comparaison à celle des assemblages réalisés à l'aide de plaques et de broches métalliques. La rigidité de rotation des assemblages métalliques était d'environ 19% supérieure que celle des assemblages en bois densifié. Dans le cas des assemblages poutre-poteau, la combinaison de données expérimentales obtenues sur quelques configurations et la simulation numérique ont permis d'améliorer leur conception en optimisant la géométrie, les goujons en bois ainsi que l'épaisseur des plaques en bois densifié. Fig. 7 montre le modèle EF d'un assemblage typique utilisant quatre plaques et dix goujons en bois densifié (six goujons dans la poutre et quatre dans le poteau).

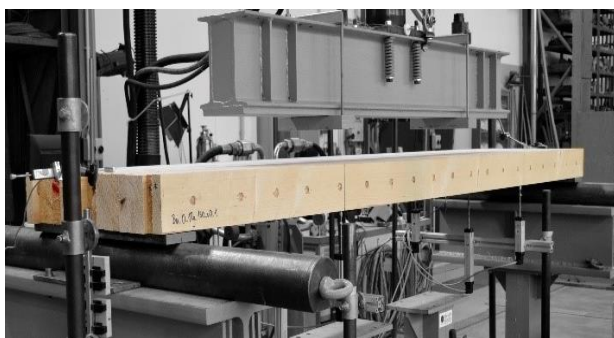


Fig. 5 – Test de flexion d'un mur type "Brettstapel" [TU Dresden].

Assemblages sans colle et sans metal

La faisabilité et les performances des assemblages poutre-poutre et poteau-poutre ont été évaluées. Les assemblages ont été réalisés à l'aide des plaques en bois densifié reliant les membrures et assemblées par des goujons en bois densifié comme illustré en Fig. 6.

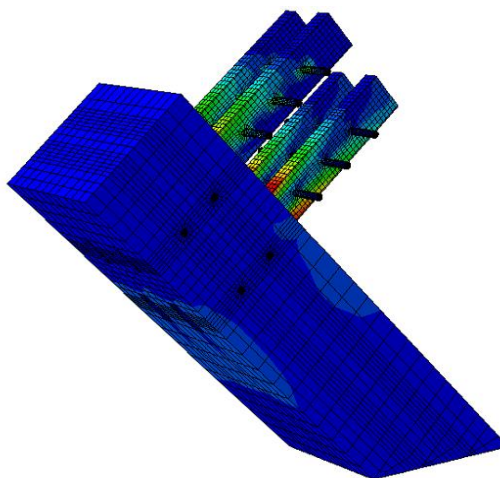


Fig. 7 – Modèle numérique pour l'assemblage poutre-poteau [NUI Galway].

Fig. 8 illustre le dispositif expérimental d'un portique utilisant la configuration optimisée de l'assemblage poutre-poteau par plaques et goujons en bois densifié.

Résumé des Résultats

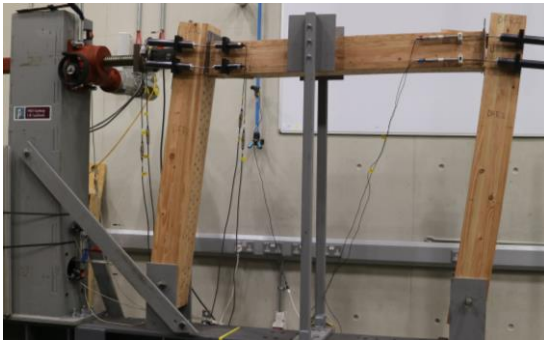


Fig. 8 – Test de résistance latérale d'un portique assemblé par des plaques et des goujons en bois densifié [NUI Galway].

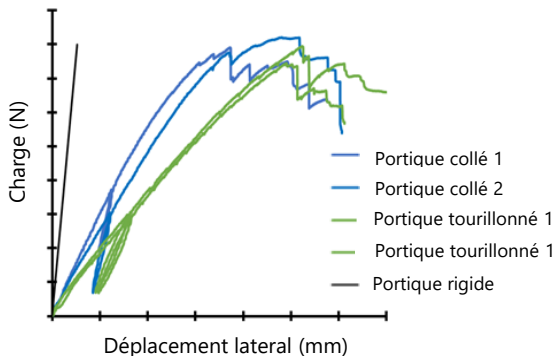


Fig. 9 - Comparaison entre un portique tourillonné et un portique collé [NUI Galway].

La réponse semi-rigide du portique tourillonné est illustrée en Fig. 9, et comparée avec la réponse d'un portique rigide ayant des liaisons collées. La résistance à rupture des deux portiques est quasi-identique. La différence de rigidité est due aux liaisons semi-rigides du portique tourillonné.

Les tests expérimentaux réalisés à petite échelle ont montré les mêmes tendances en termes de capacité résistante et de moment-résistant.

Les travaux de recherche ont montré que les connecteurs en bois densifié (CBD) sont une alternative viable aux connecteurs métalliques et aux adhésifs pour l'assemblage de membrures en bois. Ces connexions à 100% bois sont 100% recyclables après la fin de vie de la structure. Les résultats de la recherche a aussi montré que les CBD sont également appropriés pour assembler du bois massif et des membrures en bois lamellé-collé.

Outil de Conception

Les dimensions, le nombre et la disposition des goujons dans les poutres et panneaux CLT tourillonnés ont une influence significative sur leur comportement structural. L'analyse de ce type de structures est complexe et fait appel à la modélisation numérique, qui peut reproduire fidèlement leur comportement mécanique complexe et tenir compte de la forte anisotropie du bois.

L'approche numérique est coûteuse en temps de calcul et exige un personnel utilisateur qualifié en modélisation. Pour simplifier la procédure d'analyse numérique, un outil de conception structurelle de pointe a été développé dans le cadre du projet AFTB par l'Institut des sciences et technologies du Luxembourg. L'outil dispose d'une interface ergonomique permettant à l'utilisateur de spécifier facilement les données d'entrée (Fig. 10) : géométrie, propriétés mécaniques, etc. L'outil générera ensuite de manière automatique le modèle éléments finis dans le format d'Abaqus et lancera le calcul pour obtenir les résultats numériques (Fig. 11). La géométrie générée peut également être exportée pour une utilisation dans d'autres logiciels. Cet outil facile à utiliser peut être utilisé pour modifier rapidement la géométrie, analyser les résultats numériques et permettre l'optimisation de la conception.

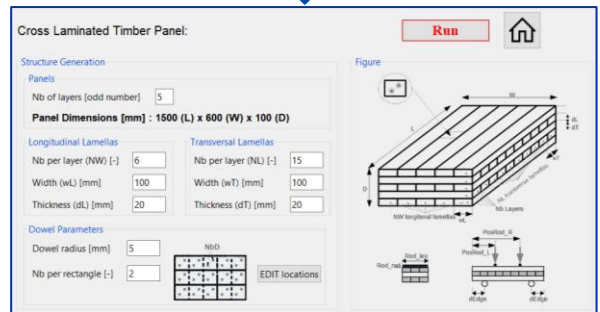
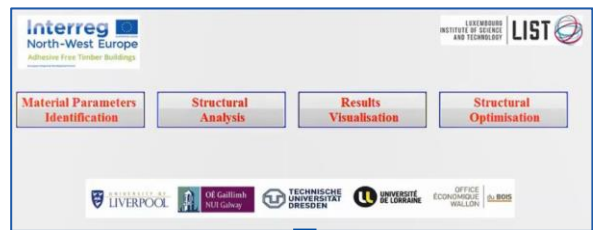


Fig. 10 – Interface utilisateur de l'outil de conception utilisé pour l'analyse des systèmes tourillonnés [Luxembourg IST].

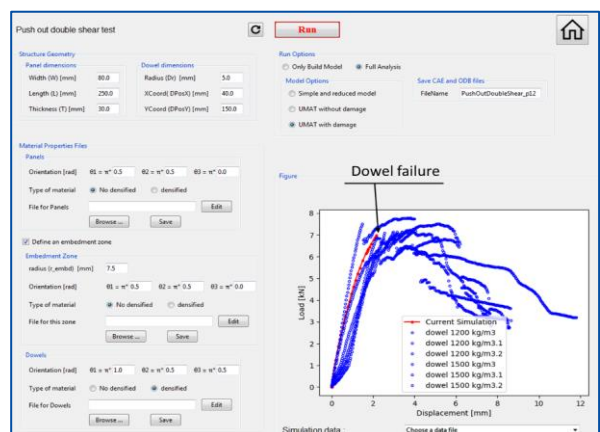


Fig. 11 - Interface utilisateur de l'outil de post-traitement des résultats pour un assemblage en double cisaillement [Luxembourg IST].

Performance en Vibration

Une étude des caractéristiques vibratoires des poutres et des panneaux utilisant des connecteurs en bois densifié (CBD) a été entreprise à l'Université de Lorraine en combinant les approches expérimentale et numérique. La Fig. 12 montre un panneau CLT utilisant des goujons en bois densifié soumis à des tests de vibration et des résultats de simulation numérique.

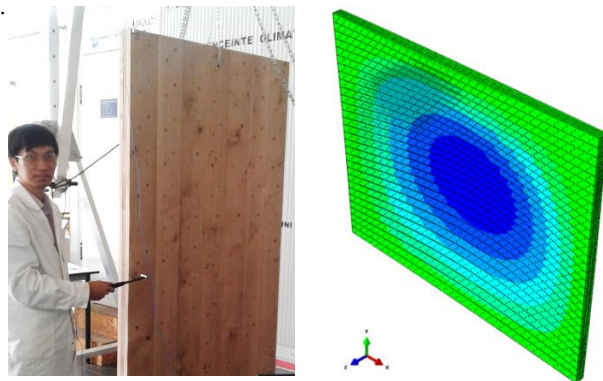


Fig. 12 – Test expérimental et simulation numérique du comportement vibratoire d'un panneaux CLT [U Lorraine].

Cette étude a montré que les performances vibratoires des poutres et panneaux CLT tourillonnés sont en accord avec les exigences de l'Eurocode 5. En effet, les vibrations des poutres tourillonnées sont comparables à celles de poutres équivalentes collées.

Performance au Feu

L'expérimentation et la modélisation ont été utilisés pour étudier les performances du bois densifié exposé au feu. En raison d'une grande densité, le bois densifié présente des performances au feu nettement meilleures comparées au bois non-densifié. Le temps d'inflammation est plus long, tandis que le temps d'extinction des flammes est plus rapide pour le bois densifié. Les assemblages réalisés avec des CBD possèdent une meilleure tenue au feu par comparaison aux assemblages métalliques (Fig. 13). En Fig. 14, on peut voir que le temps de résistance au feu des goujons d'acier était de 10 minutes plus court en raison d'une plus grande conduction thermique et d'une perte rapide des propriétés mécaniques des goujons en acier.



Fig. 13 - Assemblage tourillonné soumis au feu [U Lorraine].

Résumé des Résultats

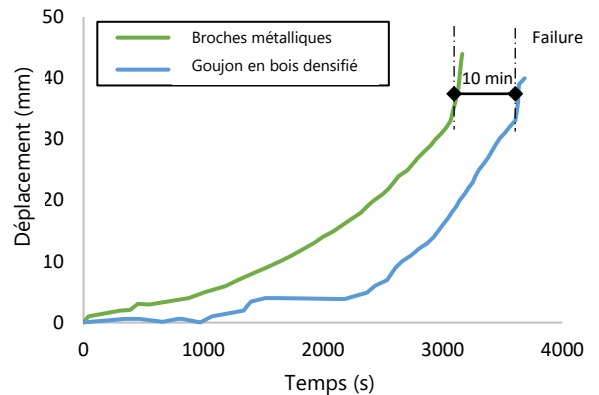


Fig. 14 – Comparaison de la tenue au feu des assemblages tourillonnés et métalliques [U Lorraine].

Analyse du Cycle de Vie (ACV)

L'utilisation de connecteurs métalliques et de colles synthétiques en construction bois est souvent associée à une importante énergie de production et présente un impact environnemental négatif. Afin d'évaluer les avantages environnementaux des produits bois utilisant des CBD, qui sont 100% réutilisables et recyclables, une analyse de cycle de vie (ACV) a été menée. Les données de l'ACV ont été développées pour trois différents types de composants : goujons densifiés, poutres multicouches et panneaux CLT assemblés par des goujons en bois densifié. Les analyses de CV ont été réalisées selon le principe "berceau à la porte d'usine" (A1-A3) avec possibilité de considérer la phase de fin de vie (D) en accord avec les normes ISO 14040 and ISO 14044.

L'ACV a permis de caractériser l'empreinte environnementale des produits utilisant des CBD et a montré qu'une empreinte environnementale faible vis-à-vis du potentiel du réchauffement climatique peut être atteinte en considérant les effets de la phase de fin de vie. La production du bois densifié est fortement influencée par la consommation d'énergie liée à la compression thermomécanique. Une étude de sensibilité a montré qu'une réduction de 50% de l'énergie de la presse peut conduire à une réduction de 36 % du potentiel du réchauffement climatique et de la dégradation de la couche d'ozone. Cela, a également un effet sur l'empreinte environnementale des produits utilisant CBD.

Une étude comparative, comparant l'impact environnemental (A1-A3, D) associé à la fabrication du démonstrateur installé à "Ness Gardens" (Fig 16), utilisant des panneaux CLT avec des CBD, et du CLT conventionnel (collé), a montré que le potentiel du réchauffement climatique "du berceau à la porte d'usine" des deux types de construction était similaire, lorsque l'efficacité de production des CBD est optimisée. Cependant, quand la phase de fin de vie est considérée l'empreinte environnementale des produits utilisant des CBD est réduite.

Résumé des Résultats

Les Démonstrateurs

Le résultat clé du projet AFTB est la livraison de trois structures démonstratives. Un hangar de 12m x 8.6m et 7.6m de haut à l'université de Lorraine, Épinal, en France utilisant des poteaux en chêne et des fermes en épicéa assemblés par des CBD (Fig. 15). La deuxième structure est une station à Ness Botanical Gardens, Liverpool, UK (Fig. 16), ayant une surface de 35 m². Ce démonstrateur est composé de poutres, de poteaux et de panneaux CLT tous assemblés en utilisant des CBD. Le troisième démonstrateur est une oeuvre d'artiste installée à l'université de Dresden, en Allemagne, composée d'éléments en bois cintré et assemblés par des CBD pour former une structure spaciale (Fig. 17). Ces trois démonstrateurs sont une belle opportunité et une vitrine pour les professionnels de la construction et le grand public en ce qui concerne l'utilisation des CBD



Fig. 17 – Oeuvre d'artiste à Dresden [TU Dresden].

Conclusion

Ce résumé donne un bref aperçu des sujets traités et les résultats des activités de recherche du projet AFTB. Le projet AFTB avait pour objectif d'explorer la possibilité d'utiliser des connecteurs en bois densifié pour fabriquer des produits structuraux d'ingénierie sans colle et sans attaches métalliques. En s'appuyant sur les approches expérimentale et numérique, le projet AFTB a permis de caractériser avec succès le comportement d'éléments structuraux utilisant des CBD et a construit à la réalisation de trois structures démonstratives à grande échelle qui joueront le rôle d'une vitrine pour tous les acteurs de la construction comme les architectes, les ingénieurs et les professionnels de la construction ainsi que le grand public susceptibles d'être intéressés par l'utilisation de cette technologie respectueuses de l'environnement et durable.

Pour plus d'informations :

Des informations complémentaires et détaillées sur les différents aspects du project sont disponibles sous forme de Notes Techniques et rapports, qui peuvent être télécharger via le siteweb du projet : <http://www.nweurope.eu/AFTB>.

- | | |
|-------------------|--|
| Note Technique 1 | - Market Survey |
| Note Technique 2 | - Timber Compression |
| Note Technique 3 | - Properties of Compressed Wood |
| Note Technique 4 | - Compressed Wood dowel-laminated EWPs |
| Note Technique 5 | - Vibration |
| Note Technique 6 | - Fire Performance |
| Note Technique 7 | - Adhesive-Free and Non-metallic Connections |
| Note Technique 8 | - Numerical Modelling |
| Note Technique 9 | - AFTB Demonstrator Structures |
| Note Technique 10 | - CE Marking |



Fig. 15 – Fermes et pannes de toit tourillonnées à Épinal [U Lorraine].



Fig. 16 – Bureau de recherche à "Ness Botanic Gardens" [U Liverpool].

L'un des principaux objectifs du projet AFTB est de s'engager auprès des entreprises, des comités de normalisation et d'autres parties prenantes du secteur bois-construction. La technologie de construction en bois sans adhésif pourrait intéresser votre entreprise. Veuillez nous contacter via les adresses e-mails ci-dessous :

Pour plus d'informations, veuillez visiter le siteweb du projet AFTB <http://www.nweurope.eu/AFTB> ou contacter les responsables.



Gestionnaire du Project

University of Liverpool

Dan Bradley

Tel: +44 151 795 7363

dbradley@liverpool.ac.uk

Responsable Financier

University of Liverpool

Caroline Chandler

Tel: +44 151 795 7424

chandler@liverpool.ac.uk

Responsible Communications

National University of Ireland Galway, Ireland

Conan O'Ceallaigh

School of Engineering

Tel: +353 91 49 2210

conan.oceallaigh@nuigalway.ie

Partenaires

Partenaire Principal

University of Liverpool

Zhongwei Guan
765 Brownlow Hill

Liverpool

L69 7ZX

United Kingdom

Tel: +44 151 794 520

zguan@liverpool.ac.uk

National University of Ireland Galway, Ireland

Annette Harte

School of Engineering

Tel: +353 91 492732

annette.harte@nuigalway.ie

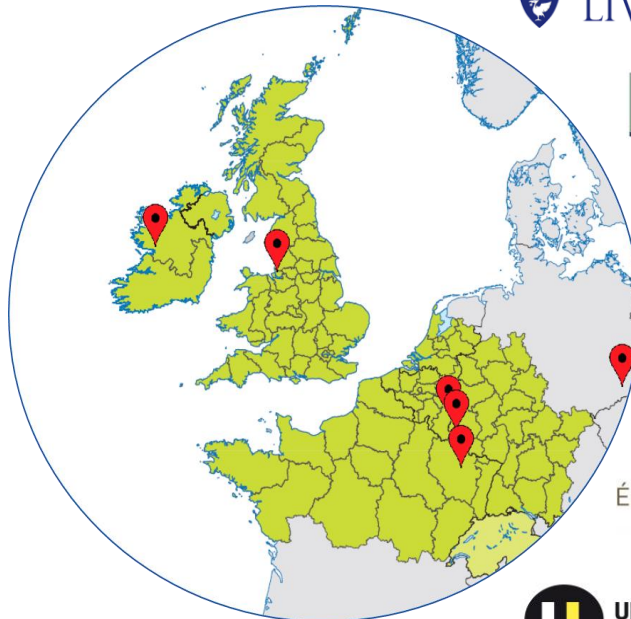
Technical University of Dresden, Germany

Peer Haller

Institut für Stahl- und Holzbau

Tel: +49 351 463 35575

peer.haller@tu-dresden.de



Luxembourg Institute of Science and Technology

Salim Belouettar

Design and Durability Research Group

Tel: +352 42 59 91 45 30

salim.belouettar@list.lu

Office Economique Wallon du Bois

François Deneufbourg

Tel: +32 84 46 03 45

f.deneufbourg@oewb.be

University of Lorraine, France

Marc Oudjene

LERMAB

Tel: +33 372 74 96 37

marc.oudjene@univ-lorraine.fr