

Etude du comportement multiaxial de structures hybrides – Application aux planchers mixtes acier-bois.

ARNOULD Vincent^{1,2}, SAUVAT Nicolas², JAAFARI Chaimaa², DURIF Sébastien²,
JURKIEWIEZ Bruno¹

¹Université Claude Bernard Lyon 1, Laboratoire des Matériaux Composites pour la
Construction (LMC2), 82 boulevard Niels Bohr, 69100 Villeurbanne, France

²Université Clermont Auvergne, Clermont Auvergne INP, CNRS, Institut Pascal, F-63000
Clermont-Ferrand, France
vincent.arnould2@gmail.com

Mots clefs : Plancher mixtes acier-bois ; modularité ; démontabilité ; effet diaphragme ; étude expérimentale ; simulations numériques ; compression hors axe

Contexte et objectif

Dans le contexte actuel de la réglementation RE2020 (Cerema 2024) et la volonté générale de réduire le bilan carbone des constructions, la construction mixte (telle que la construction acier-bois) est une méthode qui se démocratise de plus en plus dans le génie civil (Bonhomme et al 2022), notamment pour la réalisation des planchers. Cette tendance pousse la filière à réadapter les solutions de plancher acier-béton en solution acier-bois, notamment avec l'utilisation de CLT (Cross Laminated Timber). Ainsi, la dalle béton se trouve être remplacée par une dalle en bois.

Un projet de recherche a été initié dans ce cadre afin d'évaluer la faisabilité d'une solution de construction mixte innovante applicable aux planchers acier-bois. Plus spécifiquement, celui-ci vise à analyser l'effet diaphragme (reprise des efforts horizontaux tels que les efforts de vent et sismiques, Fig. 1) apporté par les panneaux de CLT ainsi que le développement d'une connexion mécanique liant les panneaux aux poutres métalliques. Le présent résumé décrit les premiers essais effectués dans ce cadre.

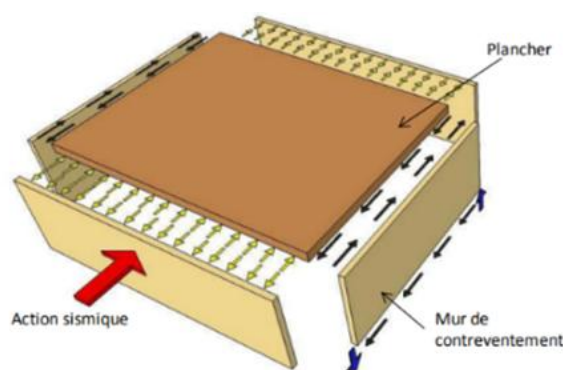


Fig. 1: Représentation de l'effet diaphragme (Fuentes 2013)

La solution technique étudiée est un plancher constitué de panneaux de bois CLT en intégrant un solivage métallique à l'interface entre panneaux afin d'optimiser la capacité portante de l'ensemble tout en bénéficiant d'une protection au feu des solives métalliques. L'ensemble est supporté par des poutres métalliques principales (Fig. 2). Ce genre de plancher est appelé plancher mince (« slim floor ») puisque le panneau de bois est placé sur la semelle inférieure de la poutre, ce qui permet un gain de place comparé aux solutions traditionnelles nervurées plaçant les panneaux sur les poutres.

Ce type de plancher fait l'objet d'études dans le cadre du projet ANR MixAB. Le présent projet de recherche s'inscrit dans la continuité de ces travaux et vise à étudier les moyens d'assurer une bonne cohésion d'ensemble pour bénéficier d'un effet diaphragme des panneaux CLT tout en minimisant le nombre de connecteurs vissés qui complexifient la démontabilité des éléments.

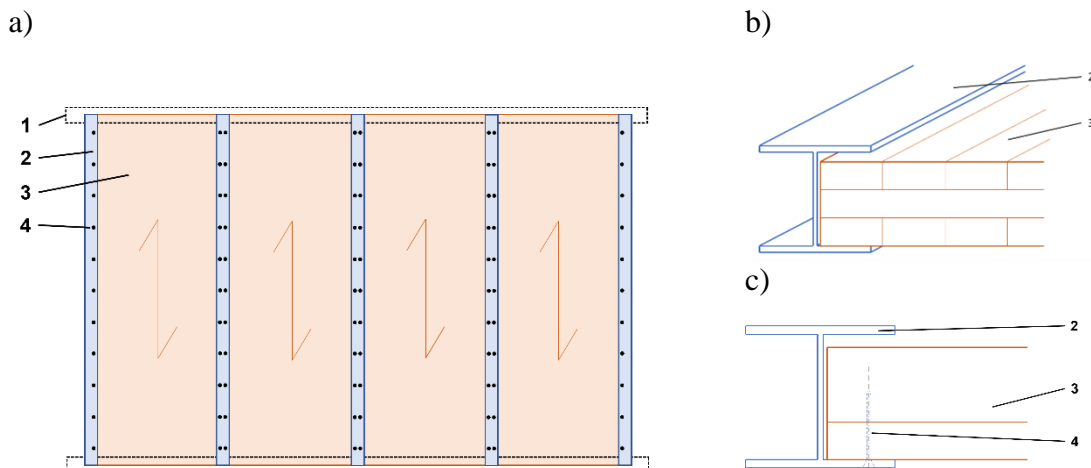


Fig. 7: Représentation schématique d'un plancher mince acier-bois. a) Ensemble du plancher vu de haut, b) Vue 3D de la position du panneau de bois par rapport à la solive en acier, c) Vue en coupe de l'assemblage par vis entre panneau et solive. 1 : Poutre principale 2 : Solive (poutre secondaire) articulée avec la poutre principale 3 : Panneau de bois (ici CLT) 4 : Connexion entre panneau et solive (ici vis).

Les connexions entre l'acier et le bois (ici des vis) sont principalement utiles pour la reprise des efforts dans le plan (effet diaphragme) par cisaillement des vis. Cependant, la mise en parallélogramme de l'ensemble lorsqu'il est soumis à des efforts dans le plan peut générer une compression dans la diagonale du panneau CLT. Le présent travail s'intéresse donc à évaluer le comportement en compression localisée d'un panneau CLT pour différents angles d'inclinaison d'effort. Des essais préliminaires ont été réalisés sur des parties de panneaux CLT découpés pour pouvoir appliquer une charge inclinée à 45° par rapport au sens des lamelles du panneau.

Matériel et méthode

Des essais de compression dans le plan ont été réalisés sur des éprouvettes de CLT de 300x300 mm d'épaisseur 160 mm (5 plis : 40-20-40-20-40) avec un angle de coupe de 45° (Fig. 3). La largeur de chargement est de 60 mm.

Ces essais sont instrumentés avec des capteurs de déplacement (LVDTs) sur les faces, sur le contact haut comme sur le contact bas pour mesurer l'écrasement local du bois. De plus, sur la partie haute d'une face sont placés des marqueurs, afin d'approcher une répartition surfacique de l'effort par une analyse d'image par suivi de marqueurs à l'aide du logiciel VideoXtens.

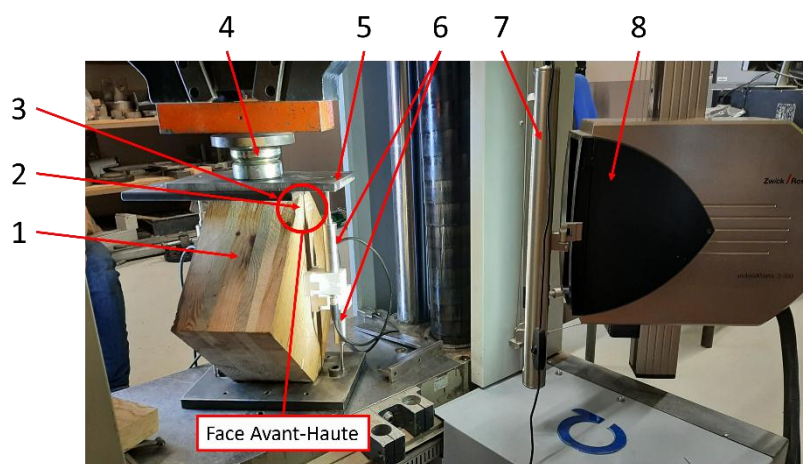


Fig. 3 : Essai en compression dans le plan sur des morceaux de CLT avec capteurs de déplacement et analyse d'image par suivi de marqueurs. a) Vue d'ensemble sur presse Zwick 200kN. 1 : Éprouvette de CLT 2 : Marquage sur face de l'éprouvette pour analyse d'image 3 : Plaque métallique d'appui avec marquage de référence 4 : Rotule pour assurer une bonne répartition de la charge 5 : Plaque métallique pour référence des capteurs de déplacement 6 : LVDTs de la face avant (LVDTs symétriques sur la face arrière) 7 : Lampe 8 : Caméra.

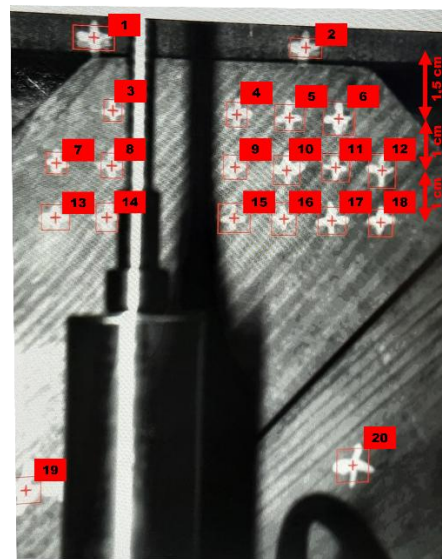


Fig. 4 : Gros plan sur la face avant – haute avec marqueurs.

Résultats attendus

La Fig. 5a illustre les courbes force-déplacement associées aux quatre capteurs de déplacement (deux capteurs en face avant (face avec les marques) et deux en face arrière) dont est équipée l'éprouvette. De ces courbes peuvent être déterminées des raideurs liées à l'écrasement local du bois.

La Fig. 5b représente les résultats du suivi de marqueur (ici les marqueurs 7 à 12, deuxième rangée de marqueurs, Fig. 4). Sur ces courbes force-déplacement sont tracés les déplacements relatifs de chaque marque en fonction des marques de référence sur la plaque d'appui métallique en haut de l'éprouvette (marqueurs 1 et 2).

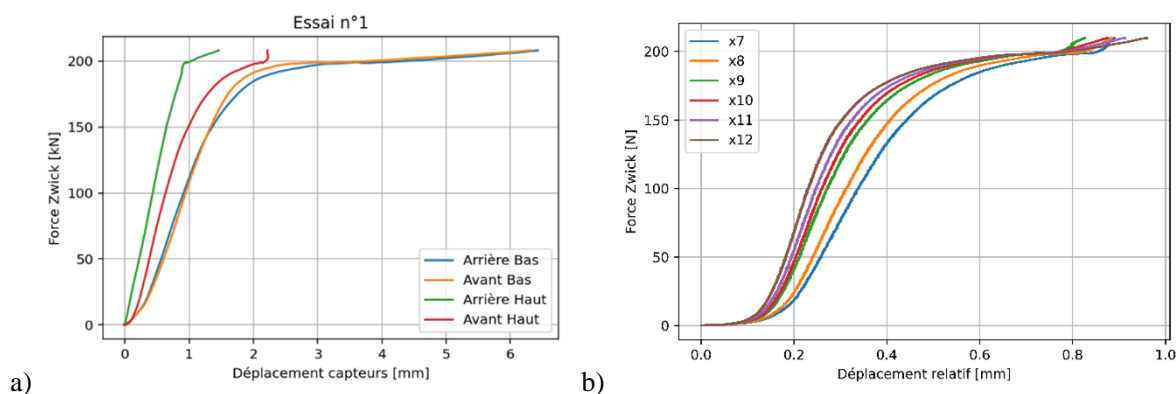


Fig. 5 : Résultats de l'essai de compression avec un angle de coupe de 45°. a) Courbes force-déplacement données par chaque capteur. b) Courbe force-déplacement relatif des marqueurs 7 à 12 par rapport aux marqueurs de référence.

Les analyses de ces essais serviront à calibrer d'un point de vue de la raideur élastique un modèle 3D par éléments finis développé sur Abaqus (Fig. 6) représentant le comportement en compression dans le plan des panneaux en faisant varier facilement l'angle de la coupe et l'orientation de la sollicitation. Le modèle numérique en Figure 6 a pour but de représenter

l'essai de compression de la Figure 3, l'éprouvette est modélisée simplement appuyée à sa base et un chargement vertical de compression est appliqué en partie supérieure. L'éprouvette est modélisée avec un comportement orthotrope élastique (CSTB 2018). Ces résultats seront aussi comparés avec un modèle analytique de théorie des plaques (Guitard 1987).

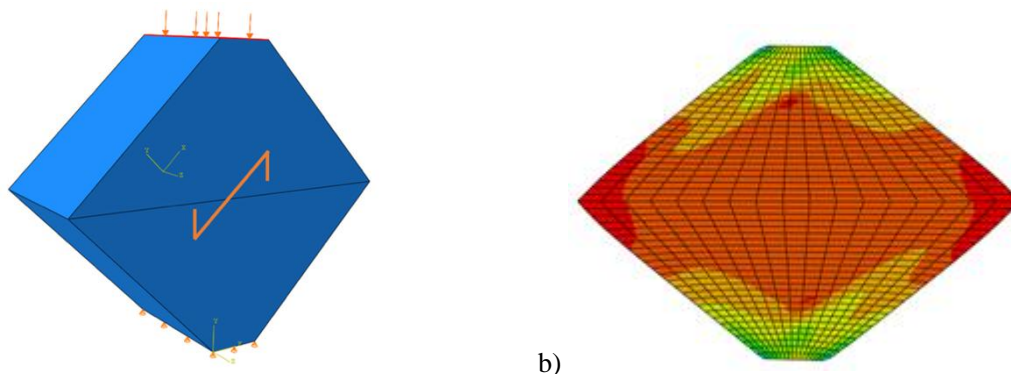


Fig. 6 : Simulation sur Abaqus représentant les essais de compression dans le plan des éprouvettes de CLT.
a) Modèle 3D représentant l'essai. b) Représentation des iso-contraintes dans l'éprouvette sous le chargement de compression.

Remerciement

Les résultats sont issus d'un travail de thèse financé à 50% par le projet MIXAB financé par l'ANR, et à 50% par le projet de ressourcement DEMITEC financé par l'Institut Carnot MECD.

Références

Bonhomme C et al (2022) RE2020 Partie 1 : Quelles sont les évolutions sur les ouvrages, Assises de la Metallerie.

Cerema (2024) Guide Règlementation Environnementale RE2020, Ministère de la Transition Ecologique.

CSTB (2018) Avis Technique Piveteau Bois – Hexapli 3.3/18-958

CSTB (2019) Cahier des Prescriptions Techniques d'exécution, Panneaux structuraux massifs bois ; Partie 2 : Généralités, conception et dimensionnement.

Fuentes S (2013) Comportement mécanique de planchers diaphragmes en bois : semi-rigidité et résistance pour une situation sismique, Université Blaise Pascal - Clermont-Ferrand II.

Guitard D (1987) Mécanique du matériau bois et composites, Chapitre 9 : Dimensionnement des multicouches. Collection nabra. C.E.P.A.D.U.S Editions, Toulouse.

Sheikhtabagh MS (2015) Continuity connection for cross laminated timber (clt) floor diaphragms, University of New Brunswick.