

CONSTRUIRE EN BOIS

Le journal de la construction commerciale en bois

du labo
AU CHANTIER

Les structures composites en bois-béton

L'alliage structural entre le bois et le béton favorise la construction écoresponsable. En effet, les structures composites bois-béton, qui sont émergentes dans les ponts et les bâtiments multiétagés, permettent d'optimiser plusieurs performances structurales, telles que la rigidité et la capacité portante, le comportement vibratoire, l'isolation acoustique, la durabilité et l'impact environnemental par rapport au béton armé.

C'est à cette problématique que se sont consacrés les travaux de plusieurs étudiants à la maîtrise et au doctorat de la Chaire industrielle de recherche sur la construction écoresponsable en bois (CIRCERB), c'est-à-dire M. Samuel Cuerrier-Auclair, M. Nicolas Naud, M. Serge Lamothe et M. Truong-Thanh Nguyen, sous la supervision du professeur Luca Sorelli, ing., du département de génie civil de l'Université Laval.

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.



Courtoisie de M. Eugen Brühwiler

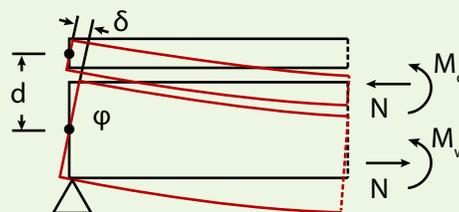
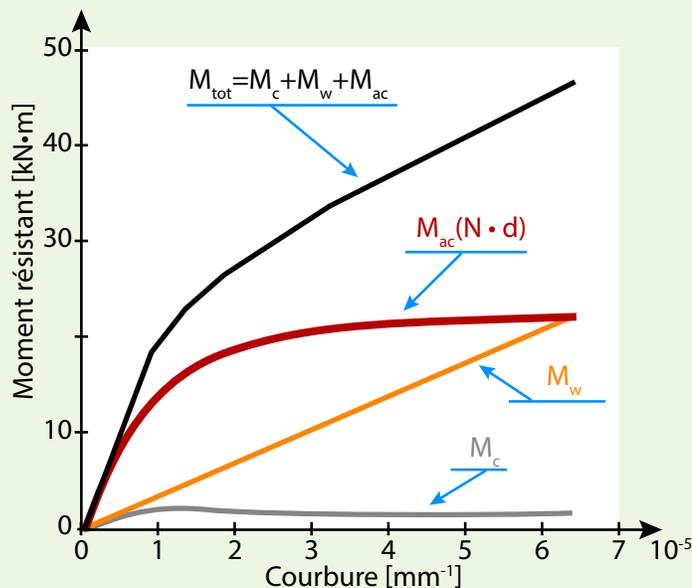


Courtoisie de M. Edgar Kälin

Figure 1 Récentes structures en bois-BFUP en Suisse: (en haut) passerelle à Grindelwald; (en bas) pont sur le Rigi Fruttli.

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.



M_{tot} moment résistant total de la structure bois-béton

M_c moment résistant du béton

M_w moment résistant du bois

M_{ac} moment résistant dû à l'action composite ($N \cdot d$)

Figure 2 Contribution du bois, du béton et de l'action composite au moment résistant d'une structure composite en bois-béton.

D'un point de vue historique, le recours à des structures en bois-béton commencent principalement dans la période d'après-guerre. En raison du coût plus élevé de l'acier pendant la Grande Dépression des années 1930, des centaines de ponts en bois-béton ont été construits aux États-Unis. Au total, plus de 1400 ponts en bois-béton sont encore en service et le plus ancien a maintenant plus de 85 ans. La dalle de béton protège les poutres en bois des fuites d'eau tout en améliorant la durabilité structurelle. La Figure 1 montre des exemples récents de structures composites réalisées en Suisse en bois et en un béton spécial appelé béton fibro-renforcé à ultra-hautes performances (BFUP) qui, en garantissant une imperméabilité accrue, protège la structure de bois et confère une durée de vie plus longue.

L'optimisation des structures composites en bois-béton dépend de l'action composite engendrée par le système de connexion, ce qui représente une véritable synergie. L'action composite consiste en un couple de forces axiales qui contribuent de manière significative à la rigidité flexionnelle et au moment résistant de la structure composite (Figure 2).

L'industrie de la construction canadienne utilise déjà une chape en béton sur les planchers en bois pour les bâtiments multiétagés comme solution pour améliorer l'isolation acoustique et les vibrations. Toutefois, cette

« Les structures composites bois-béton offrent énormément de potentiels inexploités pour rendre les planchers en bois plus compétitifs dans les bâtiments multiétagés »

chape de béton est considérée simplement comme un « poids », car elle n'est pas connectée au plancher en bois. Pourquoi ne pas utiliser l'avantage de l'action composite entre bois et béton? Pour répondre à cette question de recherche, le groupe de recherche CIRCERB a développé deux systèmes de planchers composites en bois-béton qui sont montrés en Figure 3: (i) **Plancher BLC-béton** : la dalle de béton connectée aux poutres en bois lamellé-collé; (ii) **Plancher CLT-béton** : la dalle de béton connectée à un panneau de bois lamellé-croisé.

Un des défis majeurs dans le développement des structures composites en bois-béton est le manque de normes de conception au Canada et de cours de formation pour les ingénieurs.

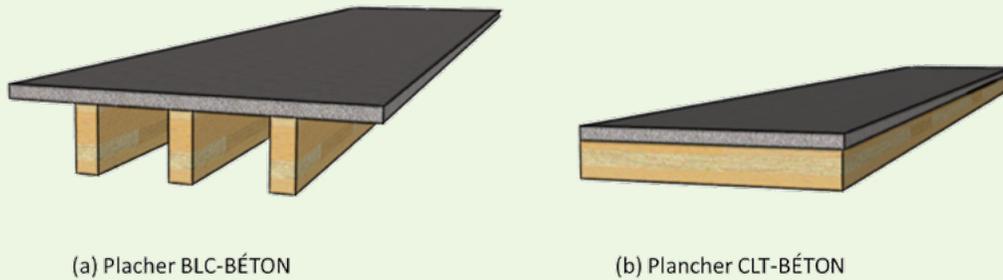


Figure 3 Systèmes de planchers composites en bois-béton développés au CIRCERB.

Heureusement, en mars 2020, FPInnovations a récemment publié un premier [guide de conception de planchers composites en bois-béton](#).¹

Dans le cadre des travaux de recherche de M. Samuel Cuerrier-Auclair, l'Université Laval a développé un logiciel [DDuctileTCS®](#)² pour aider les ingénieurs dans le calcul des structures en bois-béton qui prend en compte la non-linéarité de la loi de cisaillement de la connexion et des matériaux.

La connexion entre le bois et le béton joue un rôle fondamental dans les structures composites. Par exemple, la conception d'une structure en bois-béton est souvent gouvernée par les états limites de tenue en service (flèche et vibration) qui dépendent fortement de la rigidité de la connexion.

Le groupe de recherche CIRCERB a développé de nouveaux connecteurs pour garantir la ductilité de la structure composite en bois-béton (Figure 4). Cela est important pour avoir un préavis de l'effondrement, augmentant ainsi la fiabilité et la capacité de dissipation d'énergie. Grâce aux résultats de recherche du CIRCERB l'Université Laval a breveté un connecteur composite (Figure 4a) dont le diamètre de la tige d'acier et de la couronne en BFUP permettent de concevoir une structure ductile en bois-béton pour différents niveaux de charge et de portée. La conception « sur mesure » de la connexion ouvre de nouvelles directions de recherche. Par exemple, cela pourrait aussi permettre de pousser l'optimisation du comportement structural des bâtiments en bois de grande hauteur. Dans cette logique, le CIRCERB a aussi développé une connexion par entaille (Figure 4b) qui est rigide, ductile et

économique pour un plancher en CLT-béton. La géométrie de l'entaille est spécialement conçue pour favoriser la rupture en compression des fibres dans la direction parallèle au fil du bois. À noter que la forme de l'entaille a été ultérieurement améliorée pour éviter la fissure en cisaillement de la dalle de béton ainsi qu'une séparation possible entre les matériaux.

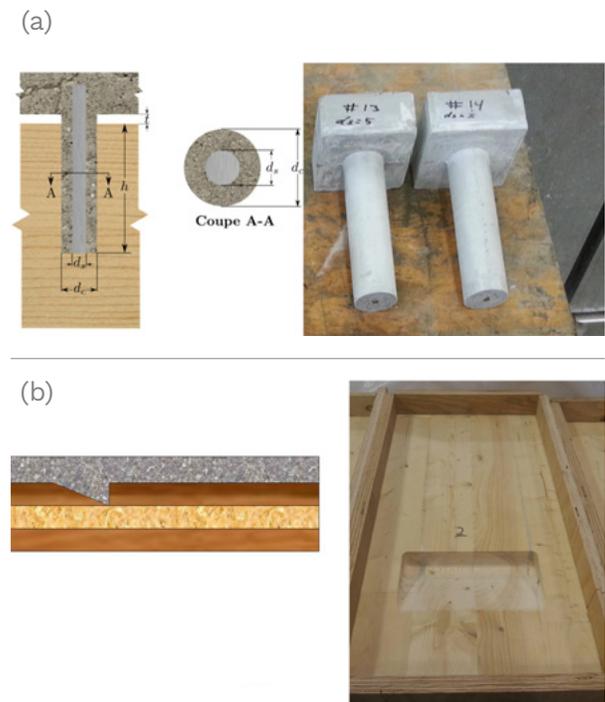


Figure 4 Connecteurs développés au CIRCERB : (a) connecteur en BFUP avec tige d'acier pour plancher BLC-béton; (b) connexion par entaille pour plancher en CLT-béton.

1 web.fpinnovations.ca/fr/download/guide-pour-la-conception-de-planchers-composites-en-wood-beton-au-canada/

2 www.gci.ulaval.ca/enregistrements/professeurs/luca-sorelli/dductile-tcs/

En considérant que la dalle de béton travaille principalement en compression (Figure 2), c'est possible de réduire son épaisseur en utilisant des bétons spéciaux comme les BFUP avec un haut module d'élasticité et de résistance à la compression (>120 MPa). Le groupe de recherche i-M2S du professeur Sorelli développe actuellement différents BFUP écologiques qui recyclent les sous-produits issus de l'industrie québécoise de granite et d'aluminium.

Dans une première phase, les recherches du CIRCERB ont permis de développer un plancher en BLC-béton très élancé, léger et avec une portée de 9 m (Figure 5). Un plancher de bureau composé de poutres en BLC et une dalle en BFUP de 40 mm a été conçu selon le Code national du bâtiment (CNB) canadien et validé en laboratoire. En conséquence, la poutre composite BLC-BFUP a été optimisée selon une approche de conception multicritère qui prend en compte les coûts de construction, la flèche à court et à long terme, la vibration, la charge ultime, la résistance au feu et la ductilité de la structure. La poutre optimisée en BLC-BFUP possède un élancement (c'est-à-dire le rapport entre la hauteur et la portée du plancher) d'environ 25, une portée de 9 m et une vibration satisfaisante (fréquence moyenne de 4 planchers supérieurs à 8 Hz). De plus, aucune armature de renforcement n'est nécessaire dans le plancher en béton, car le BFUP est renforcé par des microfibres métalliques avec un contenu en volume d'environ 2 %. Les avantages d'un plancher avec un élancement élevé sont multiples : par exemple, la réduction du nombre de poteaux, la possibilité de concevoir des espaces ouverts plus amples et le gain de quelques mètres de hauteur utiles dans un bâtiment d'une dizaine d'étages.

Les travaux de recherche les plus récents du CIRCERB visaient le développement d'un

« En joignant les deux matériaux ensemble structuralement, les structures composites en bois-béton permettent une conception hautement efficace en termes d'économie, de légèreté, et d'empreinte environnementale. »

plancher de dalle composite en CLT-béton avec une portée de 8 m. En particulier, deux systèmes de planchers en CLT-BHP (c'est-à-dire du béton à haute performance avec une résistance à compression d'environ 60 MPa) et CLT-BFUP ont été conçus et validés en laboratoire. Il est possible de réduire la section de la dalle de béton de 70 à 55 mm en passant du BHP au BFUP. Le panneau en CLT de 5 plis utilisé a une épaisseur de 175 mm. La conception de la dalle composite et de la connexion a été faite pour permettre la plastification des connexions par entaille de façon ductile en limitant le glissement maximal à environ 5 mm lors de la rupture. Le plancher optimisé en CLT-BFUP est caractérisé par un élancement d'environ 35 et un poids propre d'environ 1 kPa, ce qui représente une amélioration considérable par rapport à un plancher en béton armé. Également, la dalle en BFUP permet d'éviter l'utilisation des membranes imperméables lors du coulage à cause de l'échange hydrique. La figure 6 montre la dalle optimisée en CLT-BFUP en dessous d'une charge de flexion ainsi



Figure 5 (a) Transport et (b) essais de flexion du plancher BLC-BFUP.

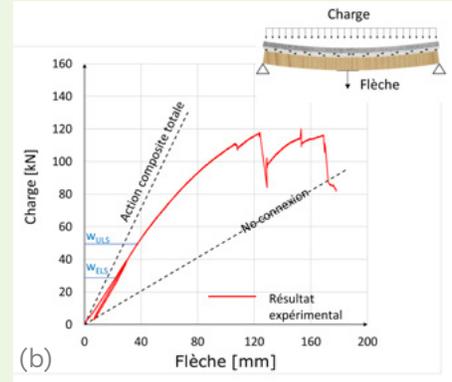


Figure 6 Exemple de conception d'un plancher en CLT-BFUP: (a) photo de la dalle d'essai au laboratoire de génie civil de l'Université Laval; (b) résultat expérimental en termes de charge-flèche

que la réponse structurale mesurée en termes de charge et de flèche (les charges d'état limite en service et ultime sont indiquées sur la même figure par WELS et WULS, respectivement).

En considérant que les planchers en bois constituent environ 20 % du marché des bâtiments entre 5 et 12 étages en Amérique du Nord, le potentiel économique pour des planchers composites en bois-béton est considérable. D'un point de vue écologique, en considérant le grand volume de planchers construits chaque année au Canada et aux États-Unis, le développement de planchers en bois-béton pourra également contribuer à la réduction de gaz à effet de serre (GES) si on le compare au plancher traditionnel en béton armé comme illustré à la Figure 7.

Ces projets du CIRCERB ont démontré le potentiel offert par les structures en bois-béton d'un point de vue structural. Les projets en cours visent à mieux comprendre le comportement à long terme et l'avantage de la préfabrication. L'optimisation des planchers en bois-béton représente une

direction industrielle très prometteuse vers une construction plus économique et plus écoresponsable.

Communiquez avec circerb@sbf.ulaval.ca pour obtenir les publications scientifiques en lien avec ce projet.

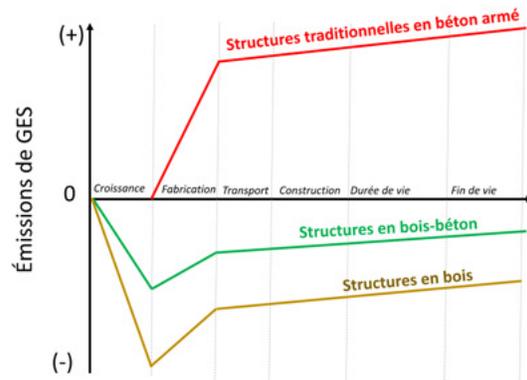


Figure 7 Comparaison qualitative des émissions GES d'une structure en bois, en béton armé et hybride en bois-béton.

Partenaires du CIRCERB



Partenaires majeurs Cecobois

