



NOTE DE RECHERCHE

JUIN 2015 • V.2, N°6.

AUGMENTATION DE LA RÉSISTANCE MÉCANIQUE D'UN CONNECTEUR BOULONNÉ À L'AIDE D'UNE IMPRÉGNATION ACRYLATE SUR L'ÉPINETTE NOIRE.

Résumé : Afin d'accroître l'utilisation du bois dans les constructions de grandes tailles, les zones de connexion doivent être renforcées. Dans ce travail, une stratégie de renfort du bois est développée pour l'épinette noire, essence fréquemment retrouvée dans les produits structuraux massifs, tel le lamellé-collé. L'imprégnation utilisant un procédé vide-pression a été retenue afin d'appliquer un traitement à base de 1,6 hexanediol diacrylate, de triméthylpropane triacrylate et d'un oligomère de polyester acrylate sur le bois. L'effet d'une solution avec ajout de SiO₂ permet de vérifier l'apport des nanoparticules dans le traitement. Suite au test de résistance à l'enfoncement d'un boulon, c'est une portance de 48% supérieure qui a été obtenue pour le bois traité. L'effet des nanoparticules en solution n'est pas ressorti significatif. Ainsi, malgré une pénétration très faible du liquide à l'intérieur du bois, la couche densifiée en surface créée suite au traitement est suffisante pour produire un nouveau matériau plus résistant dans les zones de connexion.

Applications potentielles et retombées industrielles : Le renfort du bois dans la région des connecteurs influencerait le dimensionnement des structures de grandes tailles. Avec des éléments de connexion renforcés, il serait possible d'allonger les portées des poutres, multipliant ainsi les possibilités architecturales. Le renfort pourrait aussi permettre de réduire les sections des poutres et d'utiliser une quantité moindre de bois dans un bâtiment. Cela engendrerait des coûts de transport et des coûts reliés au temps d'assemblage réduits. De plus, un connecteur plus résistant permettrait d'être utilisé en moins grande quantité dans un assemblage. Les coûts d'approvisionnement en éléments métalliques et de pose sur le site pourraient être revus à la baisse. Les avantages d'un nouveau matériau à base de bois plus performant utilisés dans les connexions permettraient de promouvoir le bois dans les constructions de grandes tailles et de réduire l'impact environnemental des bâtiments.

INTRODUCTION

Le bois subit une demande croissante comme matériau de construction dans les bâtiments de grandes tailles. Ses qualités de matériaux renouvelables et esthétiques le rendent attrayant pour les architectes. Lorsque comparée à des produits fonctionnellement équivalents, l'utilisation du bois permet de réduire la consommation d'énergie non renouvelable ainsi que la demande en énergie totale¹. De plus, par sa provenance végétale, le stockage en carbone du bois permet de réduire l'empreinte environnementale de 1,25 t de CO₂ relié aux énergies fossiles par mètre cube de bois rond utilisé en construction². Maintenant permis jusqu'à six étages de hauteur au Canada, les bâtiments de grandes tailles en bois relèvent des défis de conception. Lors du dimensionnement des structures, les zones des connecteurs sont souvent les points critiques puisque les contraintes y sont maximales. Les structures peuvent alors apparaître massives et diminuer l'innovation architecturale. De nouvelles stratégies doivent donc être développées pour améliorer la résistance mécanique dans la région des connecteurs. Différents travaux ont récemment porté sur la création ou l'amélioration de types d'assemblage^{3,4,5}. Dans notre étude, l'accent est mis sur le renforcement du bois d'épinette noire dans la région de connexion. L'imprégnation a été choisie comme solution de renfort puisque la littérature démontre qu'il est possible d'augmenter la dureté du bois avec cette technique⁶. La faible perméabilité de l'épinette noire favorise la création d'une mince couche en surface traitée sans avoir à utiliser une quantité

importante de produits chimiques. L'agent d'imprégnation est composé de 1,6 hexanediol diacrylate, de triméthylpropane triacrylate et d'un oligomère de polyester acrylate. Une deuxième formulation contenant des nanoparticules de SiO₂ permettra de vérifier l'effet des nanoparticules sur l'augmentation de la résistance mécanique du bois. Le test de portance locale à l'enfoncement d'un connecteur de type tige est réalisé afin de déterminer l'apport du traitement.

I. MATÉRIEL ET MÉTHODE

- Les planches d'épinette noire (*Picea Mariana* (Mill.) BSP) utilisées dans cette étude ont été fournies par Chantiers Chibougamau (Chibougamau, QC, Canada). Les pièces de bois ont été coupées à une dimension de 140 mm (L) x 89 mm (T) x 38 mm (R) et conditionnées à 20°C et 65% HR pour obtenir une teneur en humidité d'équilibre de 12%. Un trou de 14 mm de diamètre dédié à l'insertion du connecteur a été usiné dans le plan longitudinal tangentiel des pièces, avant traitement.
- Les produits chimiques 1,6 hexanediol diacrylate (HDDA), triméthylpropane triacrylate (TMPTA) et l'oligomère de polyester acrylate ont été obtenus de Sartomer Americas. La formulation de HDDA/TMPTA/CN2262 en proportion massique à 70/20/10 % a été réalisée à l'aide d'un mélangeur à haute vitesse. Une deuxième formulation a été créée avec un ajout de 1% en masse de nanoparticules de SiO₂.
- Le procédé d'imprégnation était identique pour les deux groupes d'échantillons recevant chacun une des

deux formulations. Chaque échantillon était placé dans un contenant de plastique et immobilisé avec une charge sur le dessus. La solution de renfort était versée sur le bois et le contenant était placé dans le cylindre d'imprégnation. Un vide de 27 mm Hg était créé et maintenu durant 15 minutes. Puis, une pression d'air de 520 kPa était appliquée durant 15 minutes. Les échantillons étaient alors essuyés et placés à l'étuve à 85°C durant 24h afin d'obtenir une polymérisation complète de la résine.

- Le test de résistance à l'enfoncement parallèle au fil du bois d'un boulon (30 répétitions) a été réalisé selon la norme ASTM D5764 sur les deux formulations ainsi que sur un témoin (échantillon non traité). Afin d'effectuer le test, un boulon de 12,7 mm en acier grade 2 était inséré dans le trou auparavant usiné. Un banc d'essai MTS avec une cellule de charge de 50 kN a servi aux essais. Le déplacement de la traverse s'effectuait à 1 mm/min pour un déplacement maximal de 5 mm. Le déplacement et la charge étaient enregistrés par le logiciel TestWorks (MTS Systems Corporation, USA).

II. RÉSULTATS ET DISCUSSION

- La portance locale a augmenté de 48% pour le bois traité avec la solution sans nanoparticules et de 46% pour celle avec ajout. La raideur est supérieure de 26 et 27% pour les groupes traités avec et sans nanoparticules. L'effet des deux traitements sur la portance et la raideur est significatif par rapport au bois non traité (Tableau 1).

- L'apport des nanoparticules sur le traitement est non significatif, autant pour la portance locale que pour la raideur. Cela peut s'expliquer par la faible concentration de nanoparticules en solution, additionnée à la mince pénétration de l'agent de renfort dans le bois (Tableau 1).

- L'explication de l'augmentation des propriétés mécaniques du bois peut se traduire par une mince couche en surface du trou de connexion ayant subi une hausse de densité importante. Cette couche crée alors un renfort à l'enfoncement du boulon.

- La courbe de la portance en fonction du déplacement du boulon présente une baisse de la portance plus

importante suite à l'atteinte de la contrainte maximale dans le cas des échantillons traités (Figure 1.).

Tableau 1. Portance et raideur du bois traité et non traité

	Portance locale ± É.T. (MPa)	↗ (%)	Raideur ± É.T. (kN/mm)	↗ (%)
Tem.	27,20 ± 2,82 ^a		10,69 ± 1,23 ^a	
Trait.	40,37 ± 2,57 ^b	+48%	13,55 ± 0,97 ^b	+27%
Trait. + NP	39,18 ± 2,78 ^b	+44%	13,51 ± 1,23 ^b	+26%

Les groupes d'échantillons avec la même lettre ne sont pas statistiquement différents selon une analyse de variance à 95% de niveau de confiance.

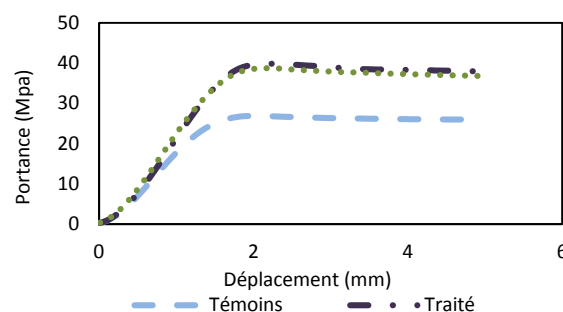


Figure 1. Portance du bois non traité et traité avec ou sans nanoparticules.

III. CONCLUSIONS

- Les résultats démontrent que l'imprégnation à base d'acrylates sur le bois offre un matériau avec une portance et une raideur supérieures dans les connexions de type boulonné.

- L'ajout de nanoparticules à la solution d'imprégnation ne donne pas de résultats significatifs.

- Une faible pénétration est suffisante pour obtenir une couche densifiée en surface du bois et améliorer les performances mécaniques dans les assemblages.

¹ Werner, F., Richter, K. (2007). Wooden building products in comparative LCA. The International Journal of Life Cycle Assessment, 12(7), 470-479. doi: 10.1065/lca2007.04.317.

² Frühwald, A. (2007). The Ecology of Timber Utilization Life Cycle Assessment Carbon Management etc. Paper presented at the Probos Foundation, Doorn.

³ Gattesco, N. (1998). Strength and local deformability of wood beneath bolted connectors. Journal of structural engineering New York, N.Y., 124(2), 195-202. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1998)124:2(195).

⁴ Mungwa, M. S., Jullien, J.-F., Foudjet, A., Hentges, G. (1999). Experimental study of a composite wood-concrete beam with the INSA-Hilti new flexible

shear connector. Construction and Building Materials, 13(7), 371-382. doi: 10.1016/S0950-0618(99)00034-3.

⁵ Loferski, J. R., Platt, R. T. (1999). Development of a novel nail plate connection system for ready-to-assemble wood structures. Paper presented at the Proceedings of the 1999 Structures Congress 'Structural system for ready-to-assemble wood structures. Paper presented at the Proceedings of the 1999 Structures Congress 'Structural Engineering in the 21st Century, April 18, 1999 - April 21, 1999, New Orleans, LA, USA.

⁶ Cai, X., Blanchet, P. (2011). Effect of vacuum time, formulation, and nanoparticles on properties of surface-densified wood products. Wood and Fiber Science, 43(3), 326-335.

Auteure: Cassandra Lafond

Pour plus d'informations: Pierre Blanchet, professeur agrégé
Pierre.Blanchet@sbf.ulaval.ca ; (418) 656-7954

Centre de recherche sur les matériaux renouvelables, Pavillon Gene-H.-Kruger,
 2425 rue de la Terrasse, Université Laval, Québec, Qc, Canada G1V 0A6
<http://www.materiauxrenouvelables.ca>