

Densification chimique : aller au-delà de l'expression « dur comme du bois »

Contexte

Afin d'améliorer les propriétés du bois, de nombreux traitements de modification peuvent être appliqués. Hill définit la modification du bois comme « l'action d'un agent chimique, biologique ou physique sur le matériau, entraînant l'amélioration des propriétés souhaitées pendant la durée de vie du bois modifié »[1]. Les traitements de modification ont pour objectif d'améliorer une propriété en lien avec son utilisation finale. Pour des applications telles que les couvre-planchers en bois, la dureté et l'apparence sont les propriétés essentielles du matériau. La dureté du bois constitue toujours un frein à son utilisation comme couvre plancher pour des bâtiments non résidentiels à larges zones passantes[2].

Les procédés de densification permettent d'augmenter la densité du bois par écrasement des cellules, remplissage des lumens avec des polymères par imprégnation ou une combinaison de ces deux techniques[1]. Les propriétés mécaniques du bois étant très corrélées avec sa densité[3,4], la densification permet aussi d'améliorer ses propriétés mécaniques. Dans l'objectif d'améliorer la dureté de produits d'apparence en bois tels que des couvre-planchers ou des dessus de comptoirs et de tables, la densification chimique est particulièrement adaptée et permettrait à ces produits de gagner de nouvelles parts de marché dans la construction non résidentielle.

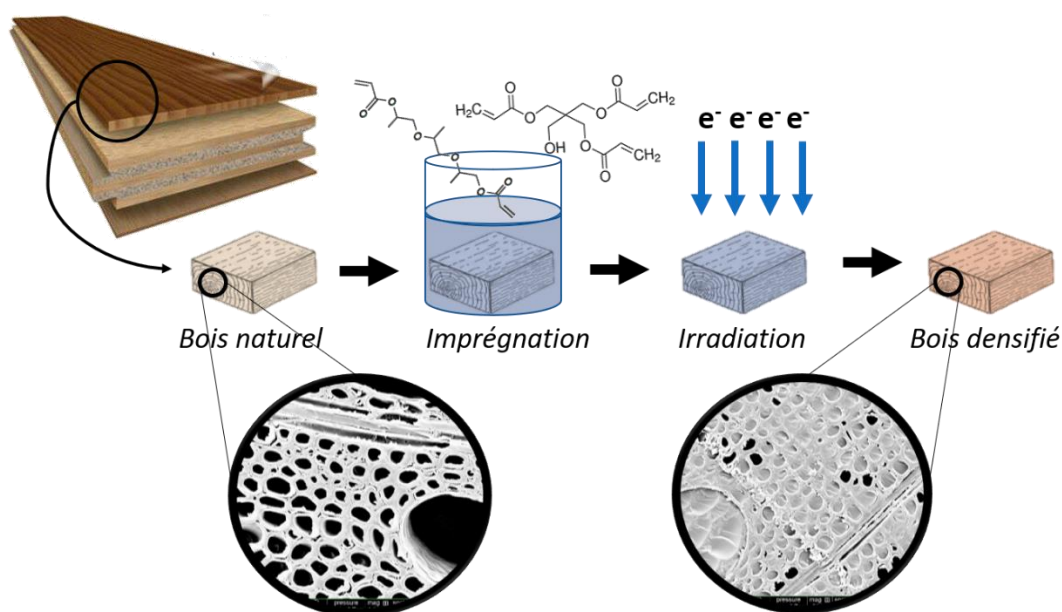


Figure 1 Schéma du procédé de densification chimique et image au microscope électronique de bois naturel et densifié

La densification chimique s'opère en deux étapes comme présenté en Figure 1 : l'imprégnation de monomères, oligomères ou résines (précurseurs de polymères) suivie de leur polymérisation ou durcissement *in-situ* dans le bois. La polymérisation est initiée par la chaleur en présence d'initiateurs thermiques (Peroxydes ou AIBN) ou par des radiations telles que les faisceaux d'électrons, les rayons X ou γ . Ce procédé présente l'avantage de préserver l'apparence naturelle du bois et de combiner sa performance à celle des polymères. Cependant, deux aspects freinent son utilisation dans l'industrie :

1. Les étapes d'imprégnation et de polymérisation sont généralement réalisées selon des procédés en lot, ce qui induit de longs temps de production et de forts coûts;

2. De forts gains de masse (quantité de monomères imprégnés) sont nécessaires pour augmenter les performances et induisent de forts coûts de matières premières.

Pour répondre à ces problématiques, la chaire de recherche CRSNG-Canlak en finition des produits du bois d'intérieur (CRIF) travaille, entre autres, sur la densification chimique afin de proposer des systèmes polymères optimisés pour des procédés rapides et en continu afin de fournir des solutions économiquement viables pour l'industrie. Pour réduire les coûts liés au gain de masse, il est nécessaire de comprendre d'avantage le bois densifié chimiquement en considérant la densité initiale du bois, la quantité de polymère imprégné et les propriétés des polymères.

Matériel et méthode

Trois espèces de bois, bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britt.), érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) et chêne rouge (*Quercus rubra* L.), ont été imprégnées par un court procédé d'imprégnation sous vide par immersion puis polymérisées par faisceaux d'électrons. La figure 2 montre les différences anatomiques de ces trois espèces en coupe transversale. Le gain de masse a été calculé à partir des masses avant et après l'imprégnation. Sept formulations acrylates correspondant à sept polymères différents ont été imprégnées. La dureté du bois a été évaluée grâce à une bille de 10 mm de diamètre enfoncée à une vitesse de $3,9 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ jusqu'à 1 mm de profondeur. La force nécessaire pour atteindre cette profondeur représente la dureté du matériau. Dans l'industrie du plancher, le Jatoba (*Hymenaea courbaril* L.) est une essence exotique reconnue pour sa dureté élevée [6]. Pour cette raison, la dureté du Jatoba a aussi été testée et est présentée à titre de performance cible.

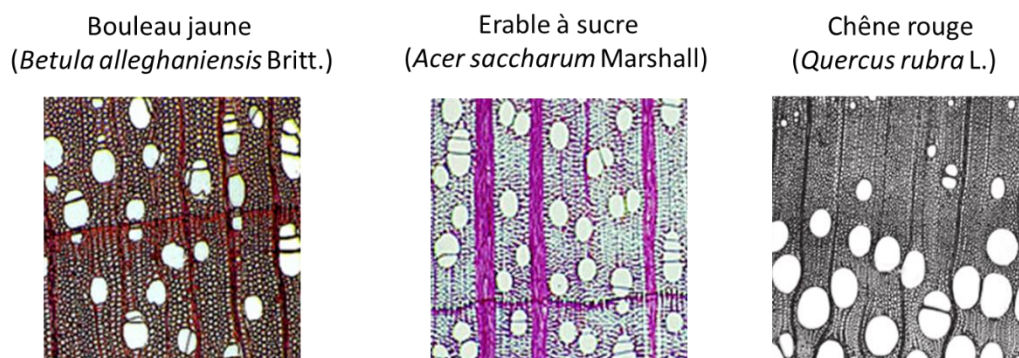


Figure 2 Anatomie des trois espèces feuillues, coupe transversale en microscopie optique

Effet de la viscosité et de l'espèce sur le gain de masse

L'imprégnation de monomères par immersion dans le bois est influencée par de nombreux paramètres anatomique, physique et physicochimique. Ici, les trois espèces feuillues ont été imprégnées avec des formulations de différentes viscosités afin de limiter le gain de masse et réduire les coûts. La viscosité définit la résistance d'un fluide à l'écoulement et est un paramètre important en imprégnation. La figure 3 présente le gain de masse pour les trois espèces selon la viscosité (9 – 141 centipoise ou cP, où $1 \text{ cP} = 1 \text{ mPa} \cdot \text{s}$). Dans le cas du chêne rouge, la viscosité n'a eu aucun effet sur le gain de masse selon la plage de viscosités étudiée. Cependant, dans le cas du bouleau jaune et de l'érable à sucre, le gain de masse diminue avec les viscosités plus élevées. Cette différence entre les espèces est liée à leur anatomie. L'imprégnation par immersion est particulièrement reliée au diamètre des pores du bois. Ici, le chêne rouge possède les plus gros pores, suivit du bouleau jaune puis de l'érable à sucre avec de petits pores (Figure 2). En effet, la pénétration de formulations visqueuses dans des pores plus petit est plus difficile[5].

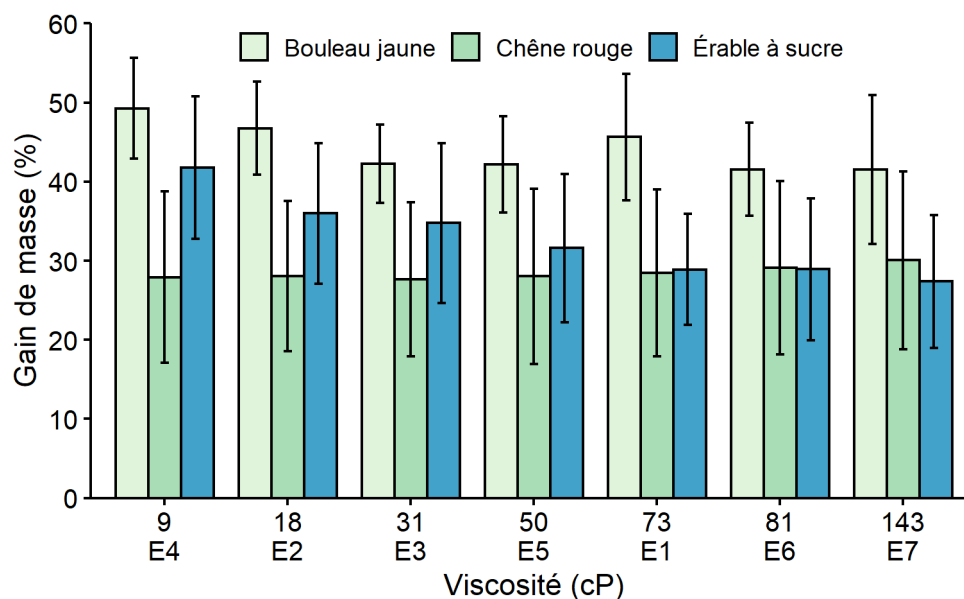


Figure 3 Gain de masse après imprégnation en fonction de la viscosité pour chacune des espèces

Dureté des bois feuillus densifiés

La dureté des bois canadiens densifiés avec les sept traitements différents (E1 à E7) ainsi que la dureté des contrôles non traités et du Jatoba sont présentées à la figure 4. Sans traitement de modification, il est clair que les espèces feuillues étudiées présentent une dureté bien inférieure au Jatoba. Cependant, une fois densifiées, elles atteignent ou surpassent la dureté du Jatoba. La densification augmente donc les performances de notre ressource locale. On relève aussi que les séries affichant la dureté la plus élevée présentent aussi le gain de masse le plus élevé. Toutefois, les gains de masse plus faibles issus des formulations de haute viscosité ont aussi permis d'atteindre la dureté cible du Jatoba.

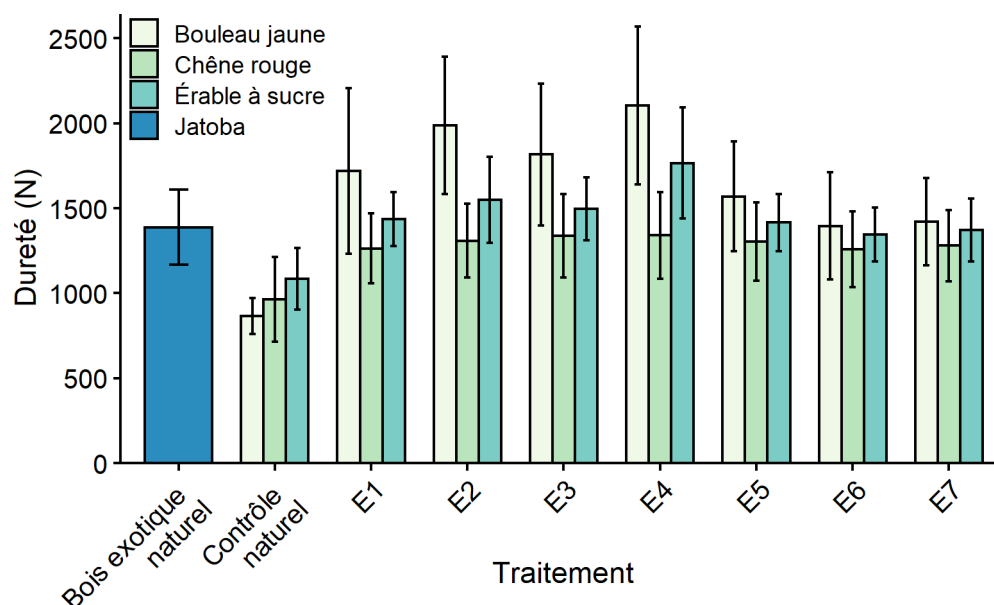


Figure 4 Dureté du bois densifié chimiquement pour chaque espèce ainsi que la dureté cible du Jatoba

Bouleau jaune, analyse de cas : comparaison des performances

Tel qu'observé précédemment, la dureté du bois densifié est très corrélée au gain de masse[7–9]. Ainsi, les observations uniquement basées sur les valeurs de dureté ne permettent pas de définir la performance des différents polymères. De plus, la dureté du bois densifié peut aussi être fortement influencée par la densité initiale de l'échantillon. Il est donc intéressant d'analyser la dureté du bois densifié en considérant toutes ces composantes : la densité initiale de l'échantillon, la quantité de polymère imprégné et les propriétés de ce polymère. Trois hypothèses ont donc été formulées :

1. La dureté du bois densifié augmente avec la densité initiale de l'échantillon ;
2. La dureté du bois densifié augmente avec la proportion de polymère imprégné dans le bois ;
3. Les polymères présentent des efficacités différentes.

Pour vérifier ces hypothèses, le cas du bouleau jaune a été analysé en utilisant un modèle linéaire mixte multivariables. Dans ce modèle, la dureté est analysée en fonction de la densité initiale de l'échantillon, de la proportion de polymère imprégné et du polymère utilisé. Après simplification du modèle pour chaque polymère, le coefficient définissant l'effet de la proportion de polymère sur la dureté permet de quantifier l'efficacité de chaque polymère. Plus le coefficient est élevé, plus la dureté sera élevée.

Les hypothèses formulées précédemment sont appuyées par la représentation graphique du modèle. La figure 5 présente la dureté du bois densifié pour chaque polymère en fonction de la proportion de polymère (axe des abscisses) et la densité initiale (gradient de couleur). On observe dans tous les cas, que la dureté augmente avec la proportion de polymère. Le gradient de couleur montre que les échantillons ayant une densité initiale plus élevée présentent aussi une dureté plus élevée.

Cette méthode a permis d'extraire une estimation de l'effet de la proportion de polymère sur la dureté et ainsi définir l'efficacité de chaque polymère (pente de la droite, Figure 5). Les polymères étudiés présentaient des efficacités différentes qui ont ensuite été discutées sur la base des propriétés des polymères.

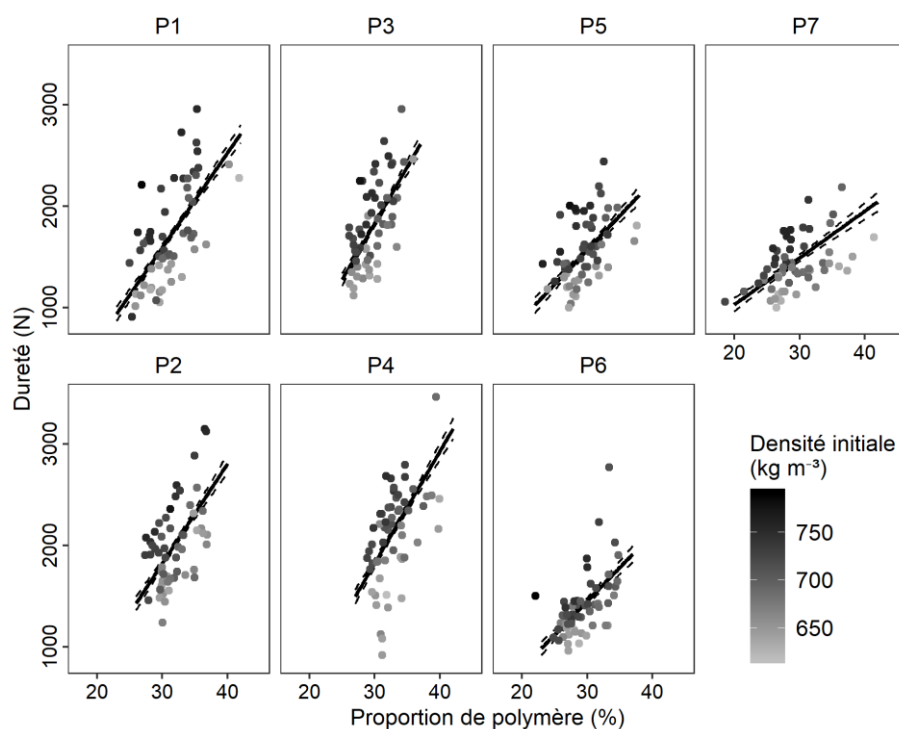


Figure 5 Représentation graphique du modèle décrivant la dureté du bois densifié en fonction de la proportion de polymère dans le bois (axe des x) et de la densité initiale du bois (gradient de gris)

Conclusion et perspectives

La dureté des trois espèces feuillues canadiennes a donc été significativement augmentée. La densification chimique permet à des bois locaux de rivaliser ou surpasser des bois exotiques tels que le Jatoba sur le marché du couvre-plancher. La densification peut être appliquée seulement à la lamelle de bois franc située en surface du plancher d'ingénierie. L'utilisation de technologies telles que les faisceaux d'électrons permettent la polymérisation instantanée des monomères imprégnés, et est donc particulièrement adaptée pour cette application. La méthode d'analyse développée est un outil qui pourra aider au développement de bois densifiés chimiquement et à l'évaluation de la performance de différents systèmes d'imprégnation.

Malgré ces résultats très prometteurs, la densification chimique reste un procédé très coûteux. Les faibles gains de masse permettant d'atteindre les performances du Jatoba demeurent trop élevés pour être viables économiquement. Réduire le gain de masse et optimiser la répartition du polymère dans le bois sont des approches prometteuses pour réduire les coûts de ces matériaux tout en maintenant des performances élevées.

Les résultats de cette étude ont été présentés à la conférence internationale IRG51 (en ligne) en Juin 2020 et ont fait l'objet d'un article accepté pour publication dans le journal *Holzforschung* (De Gruyter) en Juin 2020.

Article vulgarisé: HARDNESS OF CHEMICALLY DENSIFIED YELLOW BIRCH IN RELATION TO WOOD DENSITY, POLYMER CONTENT AND POLYMER PROPERTIES

Auteurs : Juliette Triquet, Blanchet Pierre, Véronique Landry

Date de publication attendue : Septembre 2020

1. Hill CAS (2006) Wood Modification: Chemical, Thermal and Other Processes. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK
2. Drouin M, Blanchet P, Beaugrand R (2013) Characterization of the Design Function in the Appearance of Wood Products for Nonresidential Buildings: A Conceptual Framework. The International Journal of Designed Objects 6:1–16. <https://doi.org/10.18848/2325-1379/CGP/v06i03/38661>
3. Dinwoodie JM (2000) Timber : Its Nature and Behaviour. CRC Press
4. Kollmann FFP, Côté WA (1968) Principles of Wood Science and Technology: I Solid Wood
5. Banks WB (1981) Addressing the problem of non-steady state liquid flow in wood. Wood SciTechnol 15:171–177. <https://doi.org/10.1007/BF00353469>
6. Ross RJ (2010) Wood handbook: wood as an engineering material. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190, 2010: 509 p 1 v 190:
7. Hazarika A, Deka BK, Maji TK (2015) Melamine-Formaldehyde Acrylamide and Gum Polymer Impregnated Wood Polymer Nanocomposite. Journal of Bionic Engineering 12:304–315. [https://doi.org/10.1016/S1672-6529\(14\)60123-2](https://doi.org/10.1016/S1672-6529(14)60123-2)

8. Lande S, Westin M, Schneider M (2004) Properties of furfurylated wood. *Scandinavian Journal of Forest Research* 19:22–30. <https://doi.org/10.1080/0282758041001915>
9. Wright JR, Mathias LJ (1993) Physical characterization of wood and wood-polymer composites: An update. *J Appl Polym Sci* 48:2225–2239. <https://doi.org/10.1002/app.1993.070481216>