

Le classement structural des espèces feuillues : essentiel pour favoriser leur utilisation dans les produits d'ingénierie structuraux.

Vulgarisation scientifique : Alexandre Morin-Bernard, candidat à la maîtrise – Université Laval

Alexandre Morin-Bernard, Pierre Blanchet, Christian Dagenais et Alexis Achim

L'utilisation du bois dans la construction est aujourd'hui reconnue comme une mesure permettant de réduire l'empreinte écologique du secteur du bâtiment en plus de stimuler la vitalité de l'industrie forestière et des produits du bois [1, 2]. Très utilisées dans les produits d'apparence, on a pourtant peu recours aux espèces feuillues dans les produits d'ingénierie structuraux. On constate toutefois depuis quelque temps un regain d'intérêt pour celles-ci, en raison de leur disponibilité, mais aussi de leurs propriétés mécaniques impressionnantes et de leur apparence noble et distinctive. Utiliser de nouvelles espèces pour la fabrication d'un produit d'ingénierie structural introduit toutefois une incertitude qui rend indispensable une démarche expérimentale rigoureuse. Tel qu'illustré à la figure 1, le bois lamellé-collé est un produit d'ingénierie composé de lamelles de bois qui sont classées selon leur résistance, aboutées jusqu'à la longueur désirée, puis superposées et collées à l'aide d'adhésifs structuraux pour former des poutres ou poteaux. La résistance d'un élément en bois lamellé-collé dépend de la qualité du collage, de la résistance des joints à entures multiples ainsi que des propriétés mécaniques de la matière première utilisée [3]. Dans le cadre de ce projet, ces trois composantes ont fait l'objet d'une phase expérimentale distincte. Les résultats générés lors des essais de collage et d'aboutage indiquent que le frêne d'Amérique et le bouleau jaune sont des espèces prometteuses pour la fabrication de ce produit à haute valeur-ajoutée. Toutefois, avant d'y arriver, il est essentiel de développer une procédure permettant de prédire de façon non-destructive les propriétés mécaniques des lamelles provenant de ces espèces.

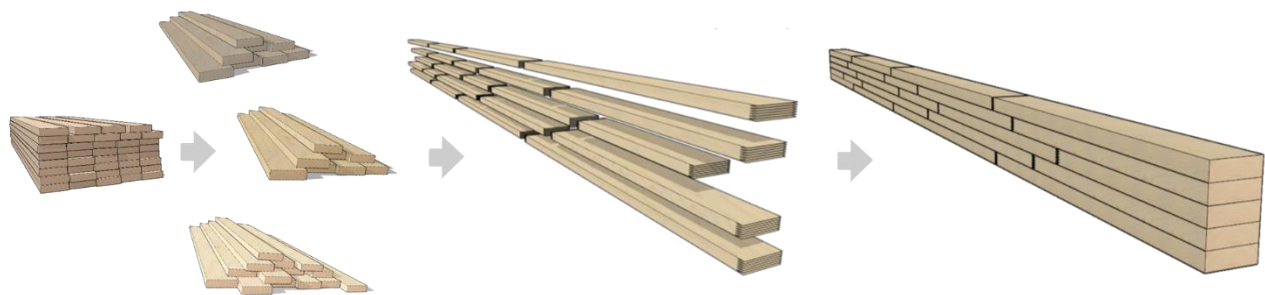


Figure 1 Principales étapes de fabrication du bois lamellé-collé structural.

Utilisé presque exclusivement pour la fabrication de produits d'apparence, le bois des espèces feuillues disponible au Canada n'est actuellement classé qu'en fonction de sa qualité visuelle et des produits qu'il est possible d'en tirer. Dans le cas de notre projet, le bois étant destiné à la fabrication d'un produit d'ingénierie structural, il doit plutôt faire l'objet d'un classement basé sur la résistance mécanique. La conception d'une structure en bois se fait sur la base des propriétés déclarées du produit d'ingénierie structural, par exemple les propriétés caractéristiques ou propriétés au cinquième centile. Considérant les importantes variations de structure

anatomique et de résistance entre les espèces et même à l'intérieur d'une seule espèce [4], la création de plusieurs classes de résistance permet de créer des groupes relativement homogènes en termes de propriétés mécaniques et permet d'utiliser beaucoup plus rationnellement la matière première [5]. Sans classes de résistance multiples, la possibilité d'utiliser une espèce dans un produit donné dépendrait de la valeur caractéristique propre à l'espèce ou au groupe d'espèces et serait nécessairement très conservatrice afin d'assurer la prise en compte des éléments les plus faibles [6].

Le classement structural du bois tel qu'il est couramment réalisé pour les espèces résineuses se base sur une combinaison de mesures visuelles et de mesures réalisées à l'aide d'équipements spécialisés. L'angle formé par les fibres du bois, ou fil du bois, ainsi que la position et la dimension des nœuds sont les principales caractéristiques mesurées visuellement [4, 6]. La rigidité, exprimée par le module d'élasticité (MOE), est le plus souvent établie à l'aide d'équipements mesurant la déflexion générée par une force donnée ou encore à partir de la vitesse de propagation d'une onde acoustique dans le matériau [7]. L'objectif de cette phase expérimentale était d'identifier les défauts et les caractéristiques ayant une influence sur la résistance des espèces sélectionnées afin de déterminer si une procédure de classement basé sur la résistance pourrait être mise en place.

Pour ce faire des essais de résistance en traction ont été réalisés sur une soixantaine de lamelles de chacune des deux espèces. La masse volumique, la rigidité ainsi que la dimension des nœuds lorsque présents ont **Minh-Van Thai** : “Un connecteur performant et écoresponsable pour les planchers composites bois-béton, est-ce possible?”

Article vulgarisé : Thai, M. V., Ménard, S., Elachachi, S. M., & Galimard, P. (2020). Performance of Notched Connectors for CLT-Concrete Composite Floors. *Buildings*, 10(7), 122.

Ilse Cardenas : “ET SI UN FILTRE SOUS LA FORME D'UNE TOILE D'ARAIGNÉE POUVAIT DECONTAMINER L'EAU DES MÉTAUX LOURDS?”

Article vulgarisé : Bates, I. I. C., Loranger, É., & Chabot, B. (2020). Chitosan-PEO nanofiber mats for copper removal in aqueous solution using a new versatile electrospinning collector. *SN Applied Sciences*, 2(9), 1-14.

Maxime Parot: “Extraction de la lignine du bois pour la transformer en fibres de carbone”

Article vulgarisé : je crois qu'il n'a pas publié encore, mais Claude peinait à trouver des participants, alors elle avait accepté cet article même si l'original était en rédaction.

Laurence Picard : « Un connecteur auto-verrouillant pour la construction préfabriquée ».

Article vulgarisé : Idem que Maxime.

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

Article vulgarisé : Triquet, J., Blanchet, P., & Landry, V. (2020). Hardness of chemically densified Yellow birch in relation to wood density, polymer content and polymer properties. *Holzforschung*, 1(ahead-of-print).

Ingrid Calvez : « Tendance du naturel et chaleureux : le fini mat pour nos planchers en bois ».

Article vulgarisé : idem que Maxime et Laurence

Alexandre Morin-Bernard : « Le classement structural des espèces feuillues : essentiel pour favoriser leur utilisation dans les produits d'ingénierie structuraux ».

Article vulgarisé : Morin-Bernard, A., Blanchet, P., Dagenais, C., & Achim, A. (2020). Use of northern hardwoods in glued-laminated timber: a study of bondline shear strength and resistance to moisture. *European Journal of Wood and Wood Products*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01572-3>

Truong-Thanh Nguyen : « Comprendre et modéliser le comportement des structures composites bois-béton »

Article vulgarisé : Nguyen, T. T., Sorelli, L., & Brühwiler, E. (2020). An Analytical Method to Predict the Structural Behavior of Timber-Concrete Structures With Brittle-to-Ductile Shear Connector Laws. *Engineering Structures*, 221, 110826.

été mesurées sur tous les échantillons. L'angle formé par les fibres du bois a également été établi à partir de plusieurs méthodes. Un processus de sélection de modèle a par la suite permis d'identifier les variables jouant un rôle significatif dans la résistance mesurée et d'évaluer leur impact relatif en fonction de l'espèce. Un modèle propre à chaque espèce a ainsi été développé, permettant de prédire la résistance en traction des lamelles à partir de la mesure des caractéristiques énumérées précédemment. La figure 1 présente les graphiques des valeurs prédites en fonction des valeurs constatées lors des tests ainsi que les coefficients de détermination associés, qui atteignent un niveau acceptables dans le cadre d'une procédure de classement.

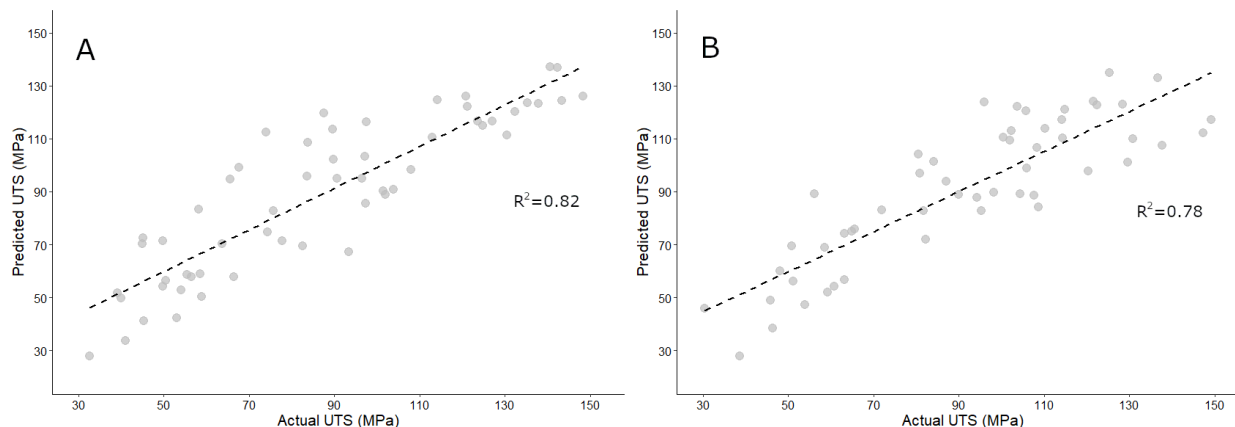


Figure 2 Résistance en traction (UTS) prédite par le modèle en fonction des valeurs mesurées lors des essais pour le frêne (A) et le bouleau jaune (B).

Le tableau 1 présente quant à lui les variables retenues ainsi que les coefficients qui y sont associés. Ces derniers fournissent une information précieuse quant à la façon dont ces variables affectent la résistance des espèces à l'étude. Les différences constatées entre les coefficients révèlent que la nature et même la direction des relations unissant les variables diffèrent selon l'espèce.

Tableau 1 Variables retenues dans les modèles ainsi que leurs coefficients associés.

Variable	Frêne d'Amérique		Bouleau jaune	
	Coefficient du modèle	Erreur type	Coefficient du modèle	Erreur type
Masse volumique	0,1141	0,0572	-0,1373	0,0596
Module d'élasticité	0,0034	0,0011	0,0058	0,0013
Déviations maximale du fil	-66,46	9,44	-59,31	12,15
Indice de dimension des nœuds	42,78	8,60	23,20	9,59
Intercept	-29,86	45,65	79,68	46,04

Alors que la présence de nœuds et les déviations du fil semblent influencer davantage la résistance du frêne que celle du bouleau jaune, la rigidité a un impact plus marqué sur la résistance du bouleau jaune. La différence la plus évidente concerne toutefois la masse volumique. Alors que pour le frêne, une densité plus élevée entraînera une plus grande résistance, il semble que l'inverse soit vrai dans le cas du bouleau jaune, tel qu'illustré à la figure 3.

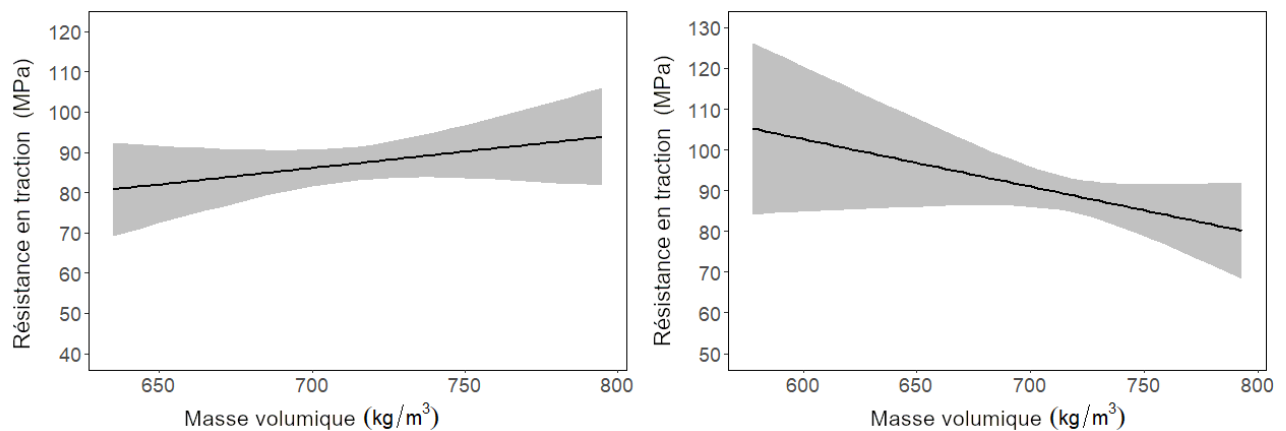


Figure 3 Prédiction des modèles finaux en fonction de la densité et intervalle de confiance pour le frêne d'Amérique (A) et le bouleau jaune (B).

Une analyse plus approfondie nous a révélé que les échantillons les plus denses présentaient une forte ondulation du fil, illustrée à la figure 4. Cette observation contre-intuitive est pourtant en accord avec des travaux spécifiques aux espèces feuillues qui indiquent que la densité n'est pas un bon indicateur de la résistance pour ces bois [8, 9]. Le fil ondulé est fréquent chez le bouleau jaune et sa présence devrait donc être prise en compte dans le cadre d'une procédure de classement propre à cette espèce.

Le rapport entre la résistance et la rigidité est également un indicateur d'intérêt. Bien souvent, l'utilisation d'un produit donné dans une structure dépendra non pas de sa résistance, mais de sa rigidité, afin de limiter la déflexion sous un seuil assurant la fonctionnalité du bâtiment. Les plans d'assemblages pour éléments en bois lamellé-collé présentés dans la norme CSA O122 [10]



Figure 4 Lamelles de bouleau jaune présentant un fil ondulé.

s'appuie sur des restrictions de rigidité selon la position de la lamelle dans la section transversale de la poutre. Toutefois, la nature de la relation entre la résistance et le module d'élasticité n'est pas la même pour toutes les espèces [11], ce qui a été confirmé par nos résultats. En effet, pour une résistance en traction donnée, le frêne d'Amérique présente une rigidité de beaucoup inférieure à celle du bouleau jaune. Sans diminuer la nécessité d'une approche considérant le module d'élasticité et la masse volumique, la déviation maximale du fil ($0,62 \leq p \leq 0,65$) et les nœuds ($0,48 \leq p \leq 0,52$) sont les variables les plus corrélées avec la résistance. Trois classes de qualité simplifiées ont ainsi été établies pour le bois de frêne d'Amérique afin de démontrer de façon préliminaire la pertinence d'un classement basé sur la résistance. La figure 5 présente, pour ces trois classes, la probabilité cumulative de rupture en fonction de la contrainte en traction, obtenue en ajustant une distribution de Weibull aux données des essais.

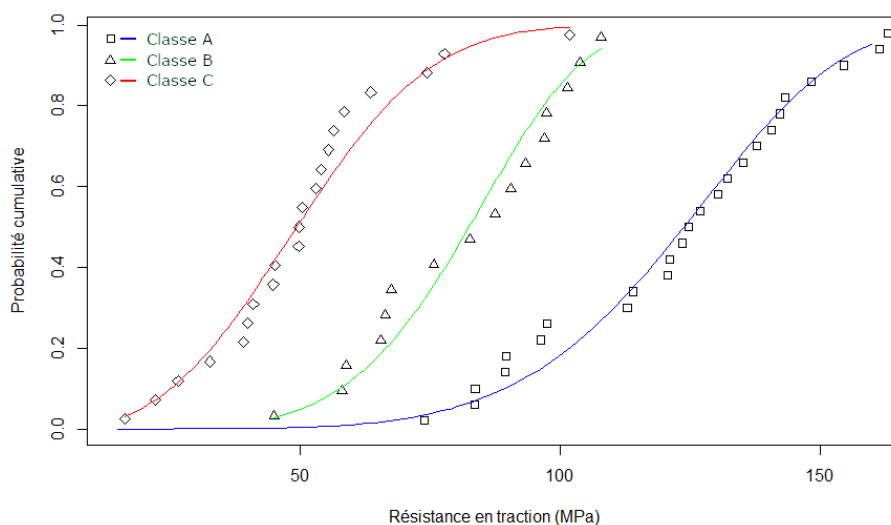


Figure 5 Probabilité cumulative de rupture pour les lamelles de frêne d'Amérique selon la classe de qualité.

La classe A contient seulement des échantillons sans nœuds, dont la déviation maximale du fil ne dépasse pas 15 degrés. La classe B contient également des échantillons sans nœuds, mais présentant une déviation maximale du fil supérieure à 15 degrés. La classe C comprend quant à elle tous les échantillons présentant des nœuds. On constate ainsi que pour la classe de meilleure qualité, une résistance minimale de 74,0 MPa peut être déclarée, alors qu'elle est de 45,1 MPa pour les lamelles de classe B, et de

seulement 16,4 MPa pour les lamelles de classe C. Bien entendu, les critères de classement devront être raffinés, notamment en considérant les autres variables explicatives. Cette démonstration confirme toutefois que l'établissement de différentes classes de qualité permettrait ainsi d'utiliser beaucoup plus rationnellement la ressource et de fournir aux concepteurs de produits et de bâtiments une matière première atteignant une résistance surpassant de loin celle proposée par les bois résineux.

Cette phase du projet a permis de conclure qu'il est possible et pertinent de développer une procédure de classement structural pour les espèces étudiées. Des essais à plus grande échelle impliquant davantage d'échantillons ainsi que des pièces de dimensions variées permettraient d'améliorer la précision la démarche ici entamée. Ces connaissances s'ajoutent à celles acquises en lien avec l'aboutage et le collage de ces espèces et pourraient favoriser une utilisation plus répandue des espèces feuillues dans les produits d'ingénierie structuraux.

Références

1. Thormark C. 2006. The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. *Building and Environment* 41(8):1019–1026.
2. Smyth C et al. 2014. Quantifying the biophysical climate change mitigation potential of Canada's forest sector. *Biogeosciences* 11(13): 3515-3529.
3. Dietsch P and Tannert T. 2015. Assessing the integrity of glued-laminated timber elements. *Construction and Building Materials* 101:1259–1270
4. Ridley-Ellis D, Stapel P, Baño V. 2016. Strength grading of sawn timber in Europe: an explanation for engineers and researchers. *European Journal of Wood and Wood Products* 74:291-306.
5. Green D.W., Ross R. J. and McDonald K. A. 1994. Production of hardwood machine stress rated lumber. P. 141–150 in *Forest Products Society, Madison, WI.*
6. Ravenshorst G.J.P. 2015. Species independent strength grading of structural timber. Technische Universiteit Delft, Delft, The Netherlands.
7. Galligan W.L. and McDonald K.A. 2000. Machine grading of lumber – Practical concerns for lumber producers. General technical report FPL-GTR-7, USDA Forest Service, Madison, WI.
8. Nocetti M, Brunetti M and Bacher M. 2016. Efficiency of the machine grading of chestnut structural timber: prediction of strength classes by dry and wet measurements. *Materials and Structures* 49(11):4439–4450.
9. Nocetti M, Bacher M, Brunetti M et al. 2010. Machine grading of Italian structural timber: Preliminary results on different wood species. In: *Proceedings of the World Conference on Timber Engineering, WCTE 2010, Riva del Garda, Italy*
10. CSA. 2016. Structural glued-laminated timber CAN/CSA 0122-16. Canadian Standards Association. Etobicoke, Ontario.
11. Weidenhiller A, Linsenmann P, Lux C and Brüchert F. 2019. Potential of microwave scanning for determining density and tension strength of four European hardwood species. *European Journal of Wood and Wood Products*. 77:235-247.

Tu es étudiant.e.s dans un CCTT ou dans une des universités du réseau MRQ ? Écris un article de vulgarisation ! C'est une belle opportunité pour faire connaître vos travaux au sein du réseau. Professeur.e.s, encouragez vos étudiant.e.s à participer, svp ! Plus de détails sont [disponibles ici](#).