



# NOTE DE RECHERCHE

MAI 2015 • V.2, N°5

## PARAMÈTRES AGISSANT SUR LA VITESSE DE PROPAGATION DES ONDES MÉCANIQUES DANS LE BOIS - PARTIE 1 : EFFET DE LA TENEUR EN HUMIDITÉ

**Résumé :** Une mesure de la vitesse de propagation des ondes mécaniques a été prise sur 25 épinettes blanches (*Picea glauca*) provenant de la forêt Montmorency (Québec, Canada) et sur 39 épinettes noires provenant des forêts avoisinant le barrage Manic V sur la Côte-Nord (Québec, Canada). Les arbres ont été récoltés et sciés en billes de 2,44 m de longueur et ensuite en pièces de 45 mm par 95 mm. Les pièces ont été séchées lentement dans un laboratoire à température et humidité relative contrôlées jusqu'à ce qu'elles atteignent une teneur en humidité du bois de 12%. Des mesures de la vitesse de propagation et de la masse de chaque pièce ont été prises tout au long du séchage permettant ainsi de déterminer la relation entre la vitesse de propagation et la teneur en humidité du bois (H) au-dessus et en dessous du point de saturation des fibres (30%).

**Applications potentielles et retombées industrielles :** Une meilleure connaissance de l'influence de la teneur en humidité du bois sur la vitesse de propagation des ondes mécaniques permettrait aux industries d'utiliser les outils acoustiques afin d'effectuer un suivi de l'humidité des pièces lors du séchage, ce qui permettrait de mieux cibler la teneur en humidité finale requise pour les grades de bois classés mécaniquement (bois MSR : Machine Stress Rated).

### INTRODUCTION

La vitesse de propagation des ondes mécaniques dans le bois permet, entre autres, de déterminer sa rigidité ou son module d'élasticité dynamique ( $MOE_D$ ). Toutefois, les propriétés mécaniques du bois étant influencées par la proportion de l'eau liée à la paroi cellulaire, il est souvent plus complexe d'en évaluer la qualité des pièces lors du processus de transformation.

Les techniques de mesure par ondes mécaniques offrent la possibilité de mesurer la vitesse de propagation entre deux points spécifiques (mesure directe) ou en utilisant la fréquence de résonance (mesure indirecte) lorsque nous sommes en présence d'un échantillon ayant une longueur définie (Figure 1). Cette mesure est très stable et répétitive offrant ainsi un moyen fiable de sélectionner les pièces lors d'un classement en fonction de la rigidité du bois.

Puisque la vitesse de propagation des ondes mécaniques est influencée par la teneur en humidité du bois (H), il est important de connaître la relation entre ces deux variables. L'objectif de cette étude est de déterminer la relation entre la vitesse de propagation des ondes mécaniques et la teneur en humidité du bois.

### I. MATÉRIEL ET MÉTHODE

- 25 épinettes blanches (*Picea glauca*) situées à la forêt Montmorency (Québec, Canada, 47°19'N 71°07'W) ont été récoltées puis sciées en billes de 2,44 m de longueur. Les billes ont ensuite été sciées en pièces de 48 mm x 98 mm en utilisant une scierie mobile au Centre de recherche sur les matériaux renouvelables (CRMR) à l'Université Laval (Québec, Canada).
- Les pièces sciées ont été rabotées (45 mm x 95mm) puis entreposées dans un laboratoire dont la température et l'humidité relative de l'air étaient

contrôlées, ce qui a mené à une teneur en humidité finale du bois de 12%. Un suivi de l'évolution de la masse et de la vitesse de propagation des ondes dans le bois a été effectué sur les pièces sciées pendant une période de 35 jours (Figure 1) à une fréquence allant de trois à quatre jours d'intervalle. Les mesures de la vitesse de propagation des ondes ont été effectuées avec le HM200 (Fibre-gen, Nouvelle-Zélande).



Figure 1. Pièces entreposées dans un laboratoire conditionné (20°C et 65 % RH). Mesure de la masse et de la vitesse sur une période de 35 jours.

- Le même processus a été appliqué sur 39 épinettes noires (*Picea mariana*) sauf que, dans le cas de cette espèce, il n'a pas été possible d'avoir des échantillons dont la teneur en humidité initiale était supérieure à 40 %. Les billes provenaient d'arbres récoltés sur la Côte-Nord (Québec, Canada, 50°38'N 68°38'W), plus précisément dans la région avoisinant le barrage de Manic V<sup>1</sup>.
- Les caractéristiques des échantillons sont présentées au Tableau 1. Nous y retrouvons entre autres la vitesse de propagation qui a été mesurée à 12% H et la masse volumique anhydre a été calculée à partir de la masse volumique humide mesurée à 12% H.

Tableau 1 : Caractéristiques des échantillons ayant servi à suivre l'évolution de la vitesse de propagation en fonction de H.

		DHP (cm)	Vitesse à 12% H (km/s)	Masse volumique anhydre (kg/m <sup>3</sup> )
Épinette blanche (25 arbres et 66 pièces sciées)	Moyenne	23,9	4,7	387
	Écart-type	3,3	0,5	27
	Minimum	18,0	3,2	333
	Maximum	31,5	5,5	463
Épinette noire (39 arbres et 69 pièces sciées)	Moyenne	19,5	4,8	456
	Écart-type	2,7	0,2	26
	Minimum	12,8	4,4	408
	Maximum	25,9	5,2	498

## II. RÉSULTATS ET DISCUSSION

• Lors de la prise de mesures sur les pièces sciées nous avons remarqué que, pour une même H, la vitesse de propagation des ondes dans le bois variait en fonction de la qualité (rigidité) de la pièce. Cette constatation suggère qu'une équation reliant la vitesse de propagation à H doit inclure une variable unique associée à la pièce analysée. Cette variable est la valeur de la vitesse de propagation à H=0, soit  $V_0$ . Cette valeur est déduite à partir de l'Équation 1 lorsque la vitesse de propagation des ondes dans le bois humide ( $V_h$ ) et la teneur en humidité associée à cette vitesse sont connues.

• L'Équation 1 repose sur le principe que l'ajout d'eau dans le matériau bois (entre 0 et 30% H) vient réduire la force d'attraction entre les molécules de celluloses, plus spécifiquement sur les ponts hydrogènes des hémicelluloses, contribuant ainsi à une diminution du module d'élasticité. En effet, on remarque que le MOE est inversement proportionnel à H en dessous du psf (point de saturation des fibres :30% H) et relativement constant au-dessus du psf. L'équation reliant la vitesse de propagation des ondes et H a été établie à partir de résultats obtenus pour le MOE<sub>D</sub> où nous avons observé qu'en dessous du psf, le module varie selon  $1/(1+\alpha_{vh})^2$ .

• C'est à partir d'une valeur de  $V_0$  calculée pour chacune des pièces selon l'Équation 1 et des mesures expérimentales ( $V_h$  et H) que la valeur du  $\alpha_v$  a été évaluée avec le test d'optimisation pour l'ajustement de courbe (Progiciel R). Le  $\alpha_v$  ainsi obtenu correspond au coefficient de gonflement du bois d'épinettes (noire et blanche)<sup>3</sup>

$$V_h = V_0 * \frac{1}{\sqrt{(1+\alpha_{vh})*(1+H)}} \quad \text{Équation(1)}$$

où

H : teneur en humidité du bois;

$V_h$  : vitesse à la teneur en humidité H;

$V_0$  : vitesse à H= 0%;

$\alpha_v$  : coefficient de gonflement volumique du bois = 0,125 pour les épinettes (blanche et noire);

$\alpha_{vh} = \alpha_v * \left(\frac{H}{0,3}\right)$ , entre 0 et 30% H.

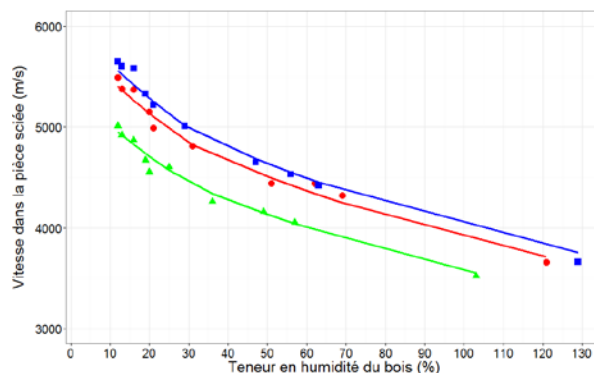


Figure 2. Évolution de la vitesse en fonction de la teneur en humidité du bois pour trois échantillons. La couleur relie les points expérimentaux (trois échantillons) avec la courbe théorique selon l'équation 1.

À la Figure 2, nous pouvons voir que chacune des pièces possède une valeur de  $V_0$  spécifique permettant ainsi de suivre de manière plus précise l'évolution de la vitesse en fonction de H. Par exemple, en ayant qu'un seul point expérimental (vitesse de propagation des ondes avec H correspondant) nous pouvons calculer l'ordonnée à l'origine ( $V_0$ ) de telle sorte qu'il sera possible de prévoir l'évolution de la vitesse de propagation des ondes au cours du séchage de la pièce.

## III. CONCLUSIONS

• Une équation spécifique dont une composante tient compte d'un caractère unique ( $V_0$ ) associé à la pièce à analyser permet d'effectuer un suivi plus précis de H en fonction de la vitesse de propagation des ondes mécaniques dans le bois.

• Le coefficient de gonflement  $\alpha_v = 0,125$  permet d'obtenir une bonne prédiction de l'évolution de H en fonction de la vitesse de propagation de l'onde pour les épinettes (noire et blanche).

<sup>1</sup> Paradis N., Auty D., Carter P., and Achim A. 2013. Using a Standing-Tree Acoustic Tool to Identify Forest Stands for the Production of Mechanically-Graded Lumber. Sensors 13, 3394-3408.

<sup>2</sup> Wang X. 2008. Effects of Size and Moisture on Stress Wave E-rating of Structural Lumber. Proceeding of the 10th world conference on timber engineering: Miyazaki, Japan.

<sup>3</sup> Jessome A.P. 2000. Résistance et propriétés connexes des bois indigènes au Canada. Forintek Canada Corp. 27 p

Auteurs: Normand Paradis M.Sc., Alexis Achim Ph.D. et Emmanuel Duchateau Ph.D.

Pour plus d'informations: Normand Paradis, étudiant au doctorat  
normand.paradis.1@sbf.ulaval.ca ; (418) 656-2131

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>