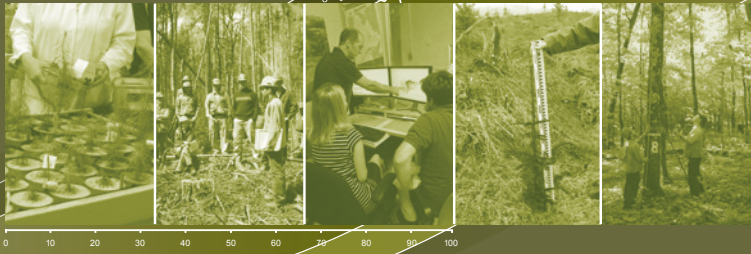


$$P'(t) = \frac{r}{k} P(t)(b - P(t))$$

$$V_{AE,B} = \beta_d dp_{AE}^b H_{AE}^b + \hat{\epsilon}_{2,AE}$$



# Évaluation non destructive des propriétés du bois

## Partie 1 — les outils acoustiques

Par Guillaume Giroud, ing.f., Ph. D., Julie Barrette, ing.f., Ph. D., et Robert Schneider, Ph. D.

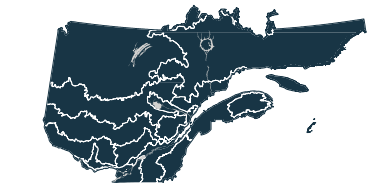
L'évaluation non destructive des propriétés du bois consiste à caractériser rapidement les propriétés physiques et mécaniques d'une pièce de bois sans en altérer l'usage final'. Plusieurs technologies d'évaluation non destructive existent : les outils acoustiques, le pilodyn, le résistographe, le rigidimètre, ainsi que différents instruments de mesure utilisant des rayons X ou des rayons proches infrarouges. Nous nous intéressons ici aux outils acoustiques, qui permettent d'estimer la rigidité du bois, aussi bien pour de petits échantillons de bois en laboratoire que pour des arbres sur pied en forêt, des grumes en bordure de chemin, ou encore des sciages en usine.

### Fonctionnement des outils acoustiques

Les outils acoustiques portables (p. ex. : [Hitman ST300](#), [TreeSonic-Timer](#)), servant à estimer la rigidité du bois sur des arbres sur pied, mesurent la **vitesse acoustique (V)**, c'est-à-dire la vitesse de propagation des ondes sonores entre deux sondes de mesure, par la relation suivante :  $V = d/t$ , où **d** est la distance entre la sonde émettrice et la sonde réceptrice (en mètres) et **t** est le temps de propagation de l'onde (en secondes).



Figure 1. Mesure de la vitesse acoustique sur un arbre sur pied (Photos : Pier-Luc Faucher, MFFP).



Territoires où les résultats s'appliquent.

Les deux sondes sont généralement centrées à hauteur de poitrine, c'est-à-dire à 1,30 m du sol (figure 1). La distance entre les sondes peut varier de 50 à 120 cm, tandis que les pointes des sondes doivent être enfoncées de quelques centimètres dans le bois avec un angle de 45° par rapport à l'axe longitudinal de l'arbre. Certains appareils sont équipés d'un laser pour mesurer automatiquement la distance entre les sondes. L'onde acoustique est générée par l'impact d'un marteau en acier sur la sonde émettrice située au bas de l'arbre. Les résultats sont lus directement sur le panneau d'affichage de l'instrument. Il faut noter que ces outils acoustiques mesurent la partie extérieure du xylème, sur une profondeur de quelques cernes, et sur une hauteur approximative d'environ 1 m, soit la distance généralement utilisée entre deux sondes de mesure.

Une approche similaire, basée sur le principe de résonance acoustique, est utilisée sur les grumes (p. ex. : [Resonance Log Grader](#), [Hitman HM200](#)). L'opérateur place alors une seule et unique sonde sur le gros bout de la grume, tout en donnant un coup de marteau (figure 2), ce qui permet d'obtenir une vitesse acoustique et une estimation de la rigidité du bois représentatives de l'entièreté de la grume.



Figure 2. Mesure de la vitesse acoustique sur une grume (photo : Julie Barrette, MFFP).

## Estimation de la rigidité du bois

La vitesse acoustique est corrélée à la **rigidité du bois**, définie comme la résistance du bois à la déformation. Plus le bois est rigide, moins il se déforme. La rigidité est donc une propriété très importante lorsque le bois est destiné à un usage structural. On utilise le **module d'élasticité** (MOE) pour quantifier la rigidité. Le MOE est le rapport de la contrainte (force) à la déformation sous la limite proportionnelle, c'est-à-dire dans la zone d'élasticité du bois. Au-delà de cette limite, le bois commence à se déformer de façon irréversible. On utilise des tests mécaniques en flexion pour mesurer le MOE « statique » ( $MOE_s$ ), tandis que le MOE estimé par les outils acoustiques est un MOE « dynamique » ( $MOE_d$ ). Les deux mesures sont toutefois corrélées, bien qu'il ait été démontré que le  $MOE_d$  donne des valeurs de rigidité plus élevées pour des arbres sur pied. On relie la vitesse acoustique au  $MOE_d$  ( $N \cdot m^{-2}$ ) par la relation suivante :  $MOE_d = \rho V^2$ , où  $\rho$  est la densité du bois ( $kg \cdot m^{-3}$ ) et  $V$  la vitesse acoustique ( $m \cdot s^{-1}$ ).

En théorie, l'estimation du  $MOE_d$  d'un arbre vivant repose sur une mesure de densité du bois à l'état vert. Il faut se rappeler que la teneur en humidité du bois à l'état vert se situe toujours au-dessus du point de saturation des fibres, soit au-dessus de 30 % de teneur en humidité. Les parois cellulaires d'un arbre vivant sont en permanence gorgées d'eau. Par contre, la quantité d'eau sous forme liquide ou gazeuse contenue dans les lumens des cellules diffère au gré des conditions climatiques. La vitesse acoustique varie également selon la teneur en humidité du bois et la température ambiante, ce qui constitue une contrainte importante. Bien que la densité du bois à l'état vert permette de tenir compte de la teneur en humidité du bois, il est préférable de mesurer directement la teneur en humidité et d'en tenir compte dans le calcul du  $MOE_d$  pour obtenir des valeurs estimées plus proches du  $MOE_s$ . Pour des raisons pratiques, il n'est pas toujours possible de mesurer la densité du bois à l'état vert. Certains utiliseront une valeur constante de  $1000 kg \cdot m^{-3}$  pour la densité du bois à l'état vert, alors que d'autres utiliseront la **densité basale**, qui se définit comme le rapport de la masse anhydre au volume de bois à l'état vert. Il est alors recommandé de mesurer la densité basale sur des carottes de bois en laboratoire plutôt que d'utiliser des valeurs de référence, puisqu'il existe une variabilité intraspécifique non négligeable. Malgré ces contraintes, les outils acoustiques s'avèrent d'excellents outils d'évaluation non destructive permettant de comparer des arbres et des peuplements selon leur provenance, leur environnement de croissance et leur historique de traitement ou de perturbation. La Direction de la recherche forestière utilise d'ailleurs des outils acoustiques comme outils de sélection depuis plusieurs années dans ses programmes d'amélioration génétique.

## Exemple d'application : les plantations d'épinettes blanches du Bas-Saint-Laurent

Le laboratoire de recherche du professeur Robert Schneider de l'Université du Québec à Rimouski utilise l'appareil Hitman ST300 pour évaluer de façon non destructive la rigidité du bois de plantation. Nous avons donc utilisé la vitesse acoustique et la densité basale du bois pour estimer le  $MOE_d$  de 143 épinettes blanches d'environ 20 ans provenant de 31 plantations du Bas-Saint-Laurent<sup>2</sup>. Nous avons ensuite développé un modèle pour évaluer et expliquer la variabilité de la rigidité du bois à l'intérieur de chaque plantation et entre les différentes plantations. Le modèle obtenu expliquait 67 % de la variabilité totale, dont 1 % seulement provenait de la variation entre les plantations. Le  $MOE_d$  augmentait avec le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) et, dans une moindre mesure, avec le degré de compétition entre les arbres à l'intérieur de la plantation. Le  $MOE_d$  diminuait également avec le taux de croissance des arbres.



Figure 3. Plantation d'épinettes blanches. (Photo : Réjean Poliquin, MFFP)

### Pour en savoir plus

<sup>1</sup> SCHIMLECK, L., J. DAHLEN, L.A. APIOLAZA, G. DOWNES, G. EMMS, R. EVAN, J. MOORE, L. PÂQUES, J. VAN DEN BULCKE ET X. WANG, 2019. Non-destructive evaluation techniques and what they tell us about wood property variation. *Forests* 10(718). <https://doi.org/10.3390/f10090728>.

<sup>2</sup> FRANCESCHINI, T., T. FERRAILLE, G. GIROUD, J. BARRETTE ET R. SCHNEIDER, 2019. Modelling wood density and modulus of elasticity in white spruce plantations in Eastern Quebec. *For. Chron.* 95(3): 195-206. <https://doi.org/10.5558/tfc2019-028>.

Les liens Internet de ce document étaient fonctionnels au moment de son édition.

Pour plus de renseignements, veuillez communiquer avec :

Direction de la recherche forestière  
Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs  
2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418 643-7994  
Télécopieur : 418 643-2165

Courriel : [recherche.forestiere@mffp.gouv.qc.ca](mailto:recherche.forestiere@mffp.gouv.qc.ca)  
Internet : [www.mffp.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche](http://www.mffp.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche)

ISSN : 1715-0795

Forêts, Faune  
et Parcs

Québec

