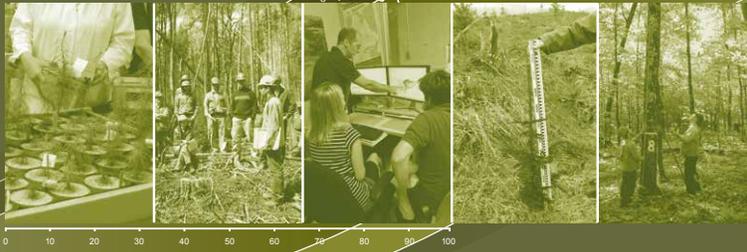


$$P'(t) = \frac{r}{k} P(t)(b - P(t))$$

$$V_{AE,B} = \beta_1 dhp_{AE}^b H_{AE}^b + \hat{\epsilon}_{2,AE}$$



Évaluation non destructive des propriétés du bois

Partie 2 – L'imagerie par rayons X

Par Guillaume Giroud, ing.f., Ph. D., Emmanuel Duchateau, Ph. D., Maurice Defo, Ph. D., et Julie Barrette, ing.f., Ph. D.



Cet avis de recherche est le deuxième d'une série portant sur l'évaluation non destructive des propriétés du bois*. Nous nous intéressons ici aux principales méthodes d'imagerie par rayons X permettant de mesurer les variations de microdensité du bois ou d'étudier les éléments de structure interne d'une bille : la densitométrie, la diffractométrie et la tomodensitométrie à rayons X.

Densitométrie et diffractométrie

La densitométrie est une méthode radiographique utilisée pour mesurer les variations de microdensité du bois dans la direction radiale d'un échantillon, soit de la moelle vers l'écorce¹. Son utilisation est courante dans les laboratoires de dendrochronologie, de dendroclimatologie et de sciences du bois. Cette méthode permet d'étudier les effets de la station, des traitements sylvicoles et du climat sur la croissance, la séquestration du carbone et la qualité du bois. Le principe de fonctionnement repose sur l'absorption des rayons X par la matière, en accord avec la loi de Beer-Lambert, qui dit que l'intensité d'un faisceau de rayons X traversant un échantillon chute de façon exponentielle en fonction de la densité et de l'épaisseur de celui-ci.

La méthode consiste à irradier un mince échantillon de bois déposé sur un support contenant une émulsion photographique sensible aux rayons X. Le négatif est numérisé et analysé au moyen d'un logiciel (p. ex. WinDendro) ou d'une station de mesure spécialisée (p. ex. Dendro 2003). Ces outils facilitent la délimitation des cerne et la création du profil de microdensité à partir des nuances de gris du film radiographique. Les densitomètres modernes (p. ex. Itrax Multiscanner, QTRS-01X Tree Ring Scanner, SilviScan) numérisent et traitent directement les images de densité par ordinateur (figure 1). Selon l'instrument, la résolution la plus fine varie de 6 à 20 µm par pixel dans la direction radiale. En plus de simplifier les étapes d'analyse, ces instruments permettent d'acquérir une

image en couleurs de l'échantillon et parfois de mesurer d'autres propriétés. Le système Itrax Multiscanner, par exemple, utilise la fluorescence à rayons X pour mesurer les minéraux contenus dans le bois, à une résolution de 50 µm dans la direction radiale. Le système SilviScan dispose d'une caméra à très haute résolution permettant de réaliser des mesures anatomiques (p. ex. de l'épaisseur des parois cellulaires).

SilviScan utilise également la diffractométrie à rayons X pour mesurer l'angle des microfibrilles de cellulose dans les parois des cellules de bois (figure 2). Le principe de fonctionnement repose sur la diffraction des rayons X par la portion cristalline de la cellulose. De manière générale, le bois sera d'autant plus rigide que l'angle des microfibrilles sera faible. Sa variation radiale permet également de déterminer les proportions de bois juvénile et de bois mature et de détecter la présence de bois de compression.

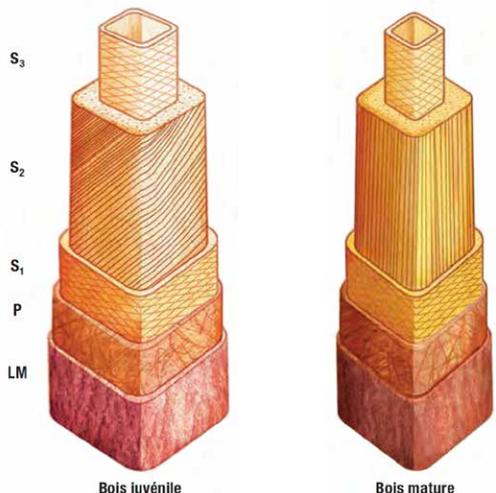


Figure 2. Les microfibrilles de cellulose (particulièrement celles de la couche S2 de la paroi secondaire, la plus épaisse) constituent « l'armature » rigide de la paroi des cellules ligneuses. Leur orientation varie entre le bois juvénile et le bois mature, ce dernier étant plus rigide (source : Le guide sylvicole du Québec, tome 2, p. 61, figure 5.4. Adapté de Jozsa et Middleton 1997, avec permission).



Figure 1. Densitomètre à rayons X (QTRS-01X Tree Ring Scanner) (photos : David Lagueux, Centre de recherche sur les matériaux renouvelables, Université Laval).

* L'Avis de recherche forestière n° 144 est le premier de la série; il traite des outils acoustiques.

Exemple d'application : l'inventaire provincial des propriétés du bois

La Direction des *inventaires forestiers* du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs a utilisé le système SilviScan, des laboratoires de *FPIInnovations* (Vancouver), pour analyser la densité, l'angle des microfibrilles et le module d'élasticité de centaines d'arbres échantillonnés dans les principaux types écologiques². Ces échantillons ont permis de calibrer un spectromètre proche infrarouge afin d'inventorier les propriétés du bois à partir de carottes récoltées dans la forêt aménagée du Québec.

Tomodensitométrie

L'imagerie par tomodensitométrie permet d'étudier la structure interne d'un objet. Le tomodensitomètre (CT scanner) utilise un tube à rayons X tournant autour de l'objet et mesurant l'absorption des rayons X par la matière (figure 3). On peut ensuite reconstruire les structures anatomiques de l'objet en 2D et en 3D. Cette technique d'analyse est très peu utilisée sur le bois. La résolution maximale des images (plus de 100 µm par pixel) est insuffisante pour étudier les variations de microdensité

à l'intérieur d'un cerne ou pour détecter les cernes les plus étroits. Les tomodensitomètres sont généralement utilisés pour numériser des billes de bois afin d'en étudier les caractéristiques internes (nœuds, duramen, bois de compression, bois carié, poches de résine, etc.).

Des micro-tomodensitomètres (micro-CT scanner) à très haute résolution sont également en développement. Comparativement aux densitomètres, ces équipements permettraient d'analyser les variations de microdensité sans devoir découper de minces lamelles de bois d'épaisseur uniforme. Ils réduiraient aussi les problèmes d'analyse associés à la courbure des cernes.

Exemple d'application : la modélisation des nœuds

Les nœuds (portion des branches englobées dans le bois) influencent grandement la qualité et la valeur des sciages. L'équipe de recherche du professeur Alexis Achim (Université Laval) a utilisé le tomodensitomètre de l'Institut national de la recherche scientifique (INRS) à Québec pour extraire plusieurs milliers de nœuds, à l'intérieur des billes de 16 pins gris et de 32 épinettes noires, afin de modéliser la forme tridimensionnelle d'un nœud selon les caractéristiques externes de la branche et de l'arbre³.

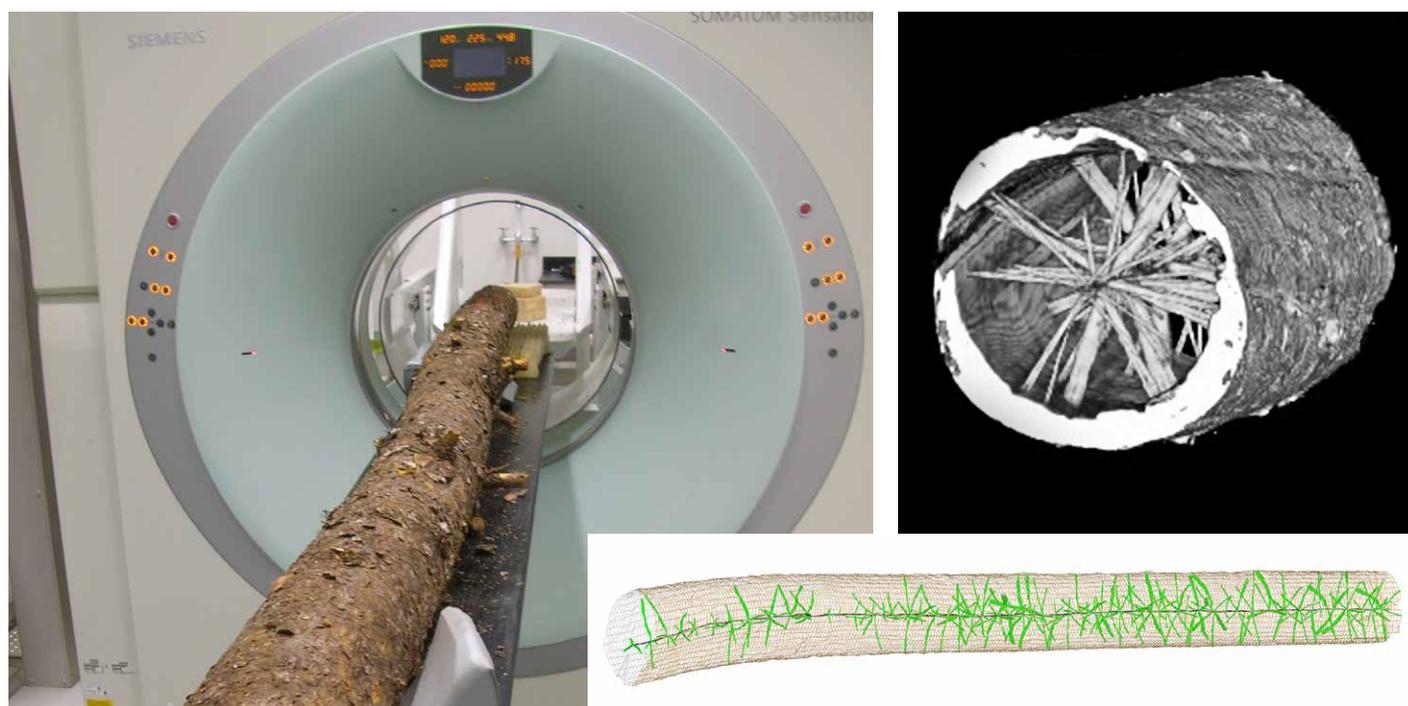


Figure 3. Tomographie d'une bille et reconstruction en 3D de la morphologie des nœuds (photos : Emmanuel Duchateau, MFFP).

Pour en savoir plus

- 1 Jacquin, P., F. Longuetaud, J. M. Leban et F. Mothe, 2017. *X-ray microdensitometry of wood: A review of existing principles and devices*. *Dendrochronologia* 42: 42-50.
- 2 Giroud, G., J. Bégin, M. Defo et C. H. Ung, 2017. *Regional variation in wood density and modulus of elasticity of Quebec's main boreal tree species*. *For. Ecol. Manage.* 400: 289-299.
- 3 Duchateau, E., F. Longuetaud, F. Mothe, C. H. Ung, D. Auty et A. Achim, 2013. *Modelling knot morphology as a function of external tree and branch attributes*. *Rev. Can. Rech. For.* 43(3): 266-277.

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.forestiery@mffp.gouv.qc.ca
Internet : www.mffp.gouv.qc.ca/forets/connaissances/recherche

ISSN : 1715-0795

Forêts, Faune
et Parcs

Québec

