

Un scanner médical au service de la recherche forestière

Etienne Farré¹ et Charline Freyburger¹

Résumé : *L'analyse des relations entre la croissance des arbres et la qualité de leurs bois implique de mesurer des caractéristiques internes des troncs telles que les dimensions des cernes de croissance, les variations de la densité du bois et la géométrie de la partie incluse des branches.*

Dans le souci de s'orienter vers des techniques de mesure non destructives à haut débit, le laboratoire d'études des ressources forêt-bois » du centre Inra de Nancy, s'est tourné vers la tomodensitométrie en faisant l'acquisition d'un scanner médical à rayons X dont nous présentons ici le fonctionnement et les caractéristiques ainsi qu'un exemple d'application.

Mots clés : tomographie, scanner, rayons X, analyse d'image.

Introduction

Depuis de nombreuses années, l'équipe de recherche sur la qualité des bois du centre Inra de Nancy utilise la microdensitométrie permettant de réaliser des profils de densité d'échantillons de bois à partir de l'exploration de films radiographiques.

L'inconvénient majeur de cette technique est l'usinage des barrettes dans le matériau détruisant ainsi une grande partie de l'échantillon.

En optant pour la tomographie, il est possible d'avoir une indication de la densité en tout point de l'échantillon. Cette technique non destructive offre un gain de temps important malgré une résolution plus faible, et permet également des contrôles visuels ou des mesures dimensionnelles à l'intérieur du matériau jusqu'ici impossibles à réaliser.

En 2007, les techniciens de General Electric (GE) Healthcare France installent dans les locaux de l'équipe de recherche sur la Qualité des Bois du centre Inra de Nancy le premier scanner médical dédié à la recherche forestière sur notre territoire.

Nous décrivons ici le principe de fonctionnement et les caractéristiques de ce nouvel équipement ainsi qu'un exemple d'application.



Figure 1 : *vue d'ensemble du scanner, modèle BrightSpeed Exel*

¹ UMR1092 - Laboratoire d'études des ressources forêt-bois LERFoB - INRA-F-54280 Champenoux
farre@nancy.inra.fr , freyburg@nancy.inra.fr

1. Principe de fonctionnement

La tomodynamétrie est une technique qui permet de réaliser des images d'un objet en mesurant l'absorption d'un faisceau de rayons X qui le traverse dans différentes directions. Les données sont traitées par un ordinateur qui reconstruit des vues en coupe d'un objet. L'appareil se compose d'un générateur de rayons X tournant de façon continue autour de l'échantillon en même temps qu'un détecteur linéaire qui mesure à tout moment l'intensité des rayons X après leur passage au travers de l'échantillon (**figure 2**).

L'échantillon se déplace de façon synchrone à cette acquisition de données au travers de l'appareil (ou statif).

Les données collectées sont alors analysées par informatique afin de reconstruire des vues en coupes ou en trois dimensions de l'échantillon.

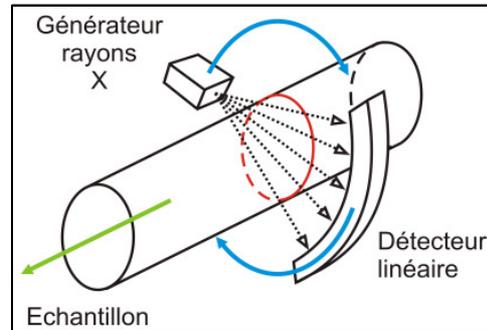


Figure 2 : schéma du principe

2. Description du matériel

Le scanner acquis par le laboratoire est un modèle BrightSpeed Exel.

Il se compose d'un statif (anneau) solidaire de sa table où est déposé l'échantillon. La console informatique de contrôle est équipée de 4 processeurs dont deux sont dédiés à l'acquisition des données.

Le diamètre de passage dans la machine est de 700 mm pour un diamètre de champ de vision allant de 96 mm à 500 mm.

Le scanner médical est avant tout prévu pour étudier des échantillons de grandes dimensions, jusqu'à environ 1 m 60 de long.

S'agissant d'un modèle de série, GE garantit une précision de positionnement de la table de $\pm 0,25\text{mm}$ pour une masse de l'échantillon n'excédant pas 180 kg (la précision sera de $\pm 1\text{mm}$ pour une masse de 180 à 205kg).

L'inclinaison (ou « Tilt ») du statif est possible jusqu'à ± 30 degrés par pas de 0,5 degré.

En fonction des dimensions et de la densité de chaque échantillon, nous établissons les paramètres d'utilisation : consignes d'alimentation du tube à rayons X (une tension accélératrice entre 80 et 140 kV pour une intensité allant jusque 440 mA), vitesses d'avance de la table et temps de rotation du statif (de 0,5 à 10 secondes).

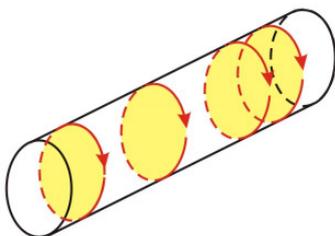


Figure 3 : mode axial

Il est ainsi possible de réaliser des coupes localement le long de l'échantillon en mode axial (**figure 3**) ou de l'explorer en totalité en mode hélical ou hélicoïdal (**figure 4**).

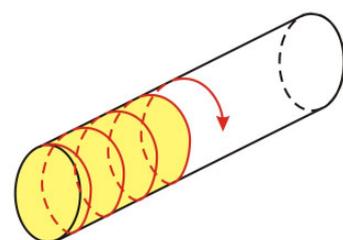


Figure 4 : mode hélical

Notre scanner dispose de 16 détecteurs linéaires qui, en fonction de leur configuration, lui permettent d'acquérir en une seule rotation de 1 à 4 coupes allant de 0,625 mm à 10 mm d'épaisseur.

L'information délivrée par le scanner est constituée d'une succession d'images de 512 pixels par 512 pixels (**figure 5**), la taille d'un pixel variant de 0,97 mm à 0,19 mm.

Dans ce format d'images (format DICOM), le niveau de gris de chaque pixel traduit pour chacun un coefficient ou Indice Hounsfield (IH) qu'il est ensuite possible de convertir en valeurs de densité exprimées en kg/m³ (masse volumique).

☞ Pour information :

- IH = -1000 pour l'air et
- IH = 0 pour l'eau.

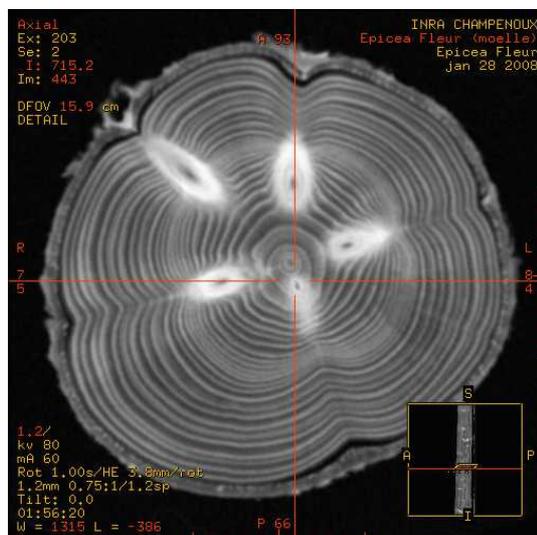


Figure 5 : vue en coupe d'un billon d'épicéa commun

Par ailleurs, de nombreux outils d'analyse d'image sont disponibles sur la console de traitement pour étudier l'échantillon.

La **figure 6** montre l'intérieur d'un billon d'épicéa commun. On voit alors parfaitement la structure interne de l'échantillon avec la disposition des verticilles (branches disposées en couronne) que l'on peut isoler par un seuillage (**figure 7**) afin d'effectuer des mesures dimensionnelles (angle d'insertion, distances).

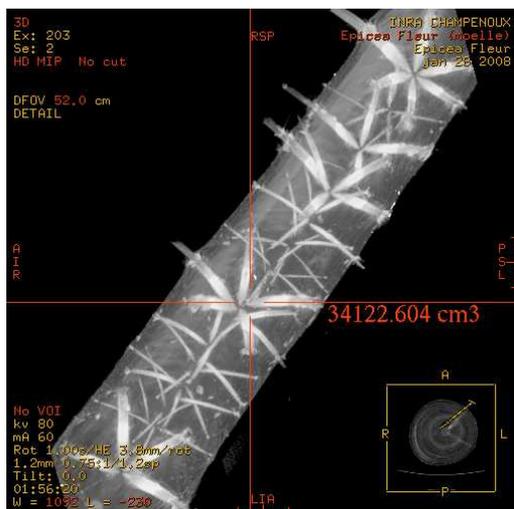


Figure 6 : vue 3D d'un billon d'épicéa commun

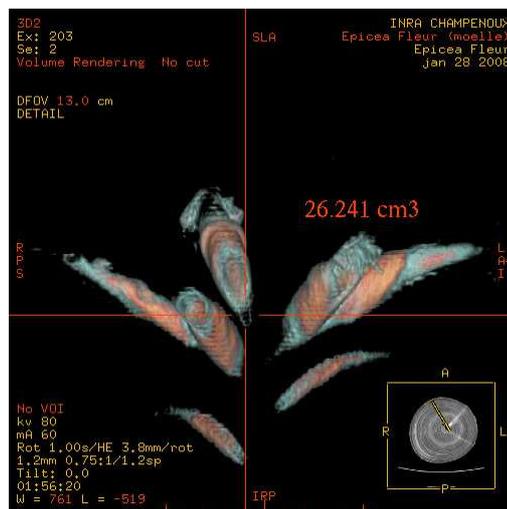


Figure 7 : branches isolées par seuillage de la densité Hounsfield

Le traitement des images obtenues est généralement réalisé sur d'autres ordinateurs et avec d'autres logiciels.

3. Exemples d'application et de traitement des images

3.1 Étude des formations épicorniques sur le chêne sessile (figure 8).

Au laboratoire, les coupes acquises grâce au scanner sont généralement exploitées avec le logiciel libre ImageJ. Le plugin « Gourmand » (figure 9) développé par Frédéric Mothe² permet, après détection manuelle sur les images, d'accéder aux informations sur l'architecture et la hiérarchie des branches et des formations épicorniques (structures apparaissant à la surface des troncs des arbres vivants : gourmands, bourgeons...).



Figure 8 : vue en coupe d'une structure épicornique sur un billon de chêne

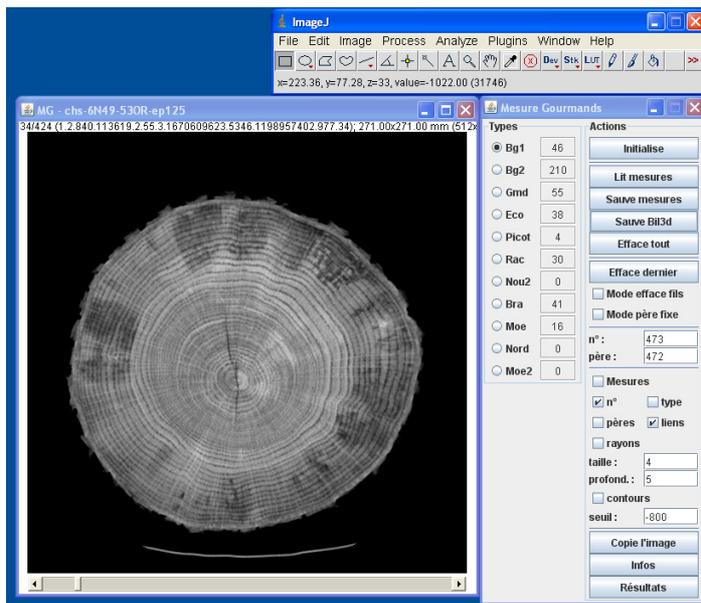


Figure 9 : présentation du plugin « Gourmand », utilisé avec le logiciel ImageJ

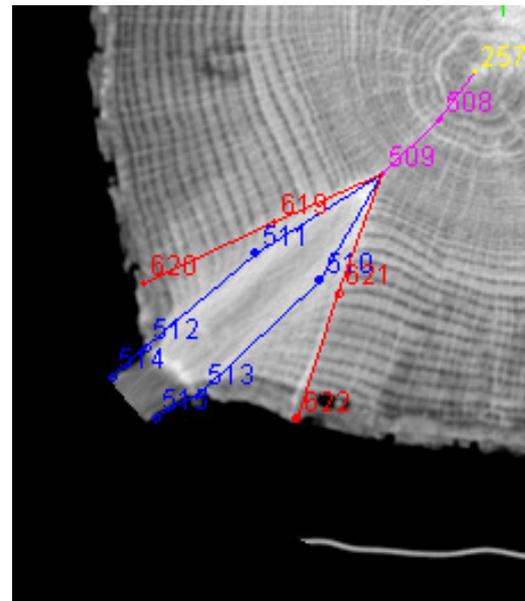


Figure 10 : détection manuelle sur une image de chêne sessile

La figure 10 présente un exemple de détection manuelle sur un billon de chêne sessile. Depuis la moelle (en jaune), part un bourgeon (en rose). Celui-ci se transforme en gourmand (en bleu) : un gourmand est une pousse feuillée issue d'un bourgeon, sa moelle n'est donc pas directement reliée à la moelle de la tige porteuse, contrairement à la branche qui croît depuis

² UMR1092 - Laboratoire d'études des ressources forêt-bois LERFoB - INRA - F-54280 Champenoux

la moelle. Depuis la base du gourmand se détachent deux nouveaux bourgeons (en rouge), ceux-ci sont en fait des bourgeons secondaires n'étant pas directement reliés à la moelle du tronc, contrairement au premier bourgeon qui est dit primaire. Lorsque le billon a été intégralement traité, il est possible de visualiser ces données en 3D, grâce à un second logiciel libre, Bil3D (**figure 11**) également développé par Frédéric Mothe

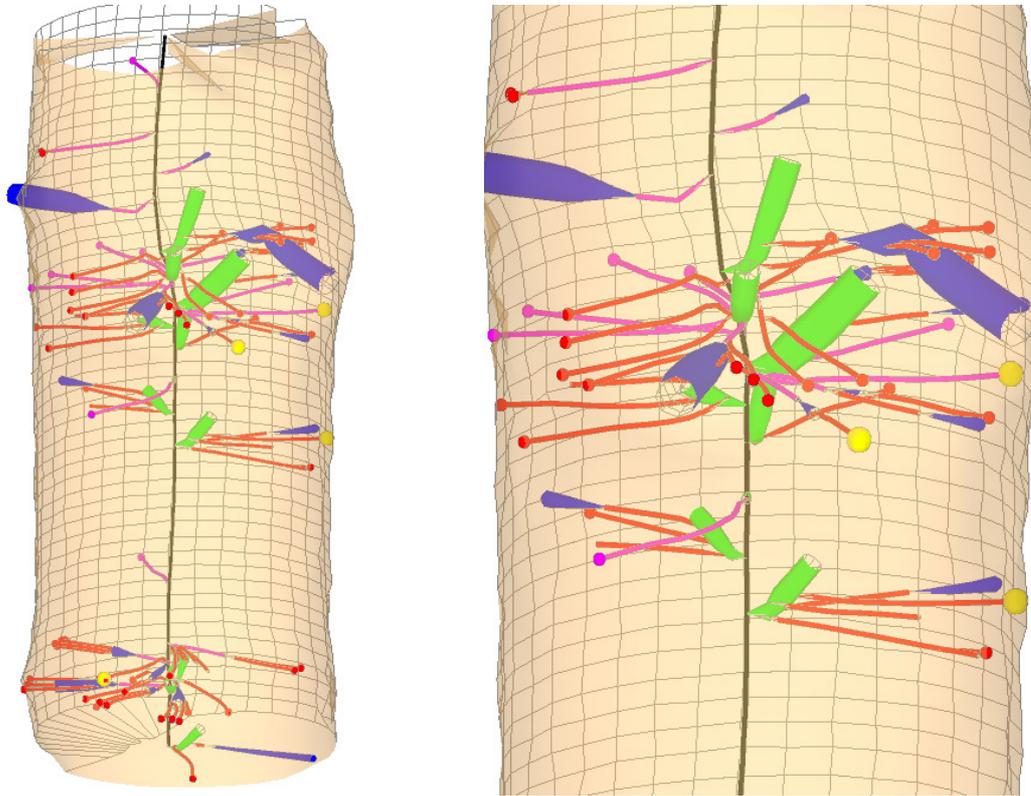


Figure 11 : représentation 3D de la structure interne d'un billon de chêne sessile avec le logiciel Bild3D

L'un des avantages majeurs de cette méthode est la possibilité d'évaluer la qualité interne du billon sans destruction de celui-ci. En effet de nombreux épïcormiques n'atteignent pas la surface ou l'atteignent mais sans causer de déformation visible à l'oeil. L'utilisation du scanner a également montré la complexité de la ramification et les relations structurelles entre bourgeons, branches, gourmands et autres épïcormiques, et de quantifier cette complexité sur de grandes longueurs de grumes, notamment la disparition dans le bois de certains de ces éléments.

Les objectifs sont maintenant de modéliser les transitions entre les éléments de la ramification, en fonction des situations environnementales et sylvicoles. Les résultats de cette modélisation apporteront aux sylviculteurs les informations nécessaires à la définition de meilleurs scénarios sylvicoles dédiés à la production de bois d'œuvre de qualité. Les essences concernées sont le chêne, le hêtre et à terme les feuillus précieux. (Colin F. *et al.*, 2009)

3.2 Une priorité : la mesure de la densité

L'information délivrée par les images obtenues avec le scanner est exprimée en unités Hounsfield. Il est donc nécessaire de trouver la relation permettant de passer des unités Hounsfield à la densité du bois. Cette relation dépend entre autres des paramètres d'acquisition du scanner (par exemple la tension accélératrice et l'intensité), et de l'algorithme choisi pour la reconstruction des images.

Nous avons mis au point un protocole de calibration densitométrique des images du scanner, dont les principales étapes sont :

- l'échantillonnage de différentes essences de bois (**figure 12**), de densités variées.

- l'acquisition d'images de ces échantillons au scanner médical pour différents paramètres (**figure 13**)

- le traitement de ces images pour en récupérer les valeurs en unités Hounsfield

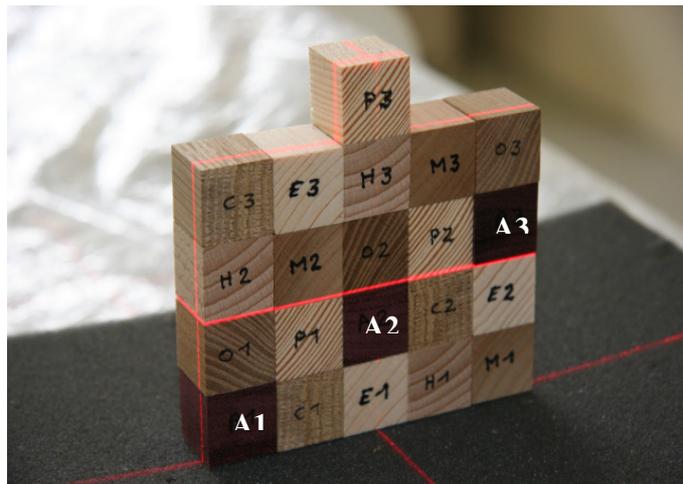


Figure 12 : échantillons utilisés lors de la calibration densitométrique du scanner (A=Amarante, C=Chêne, E=Epicéa, H=Hêtre, M=Merisier, O=Orme, P=Pin)

- pour un réglage particulier, l'obtention d'une droite de régression permettant de passer des unités Hounsfield à des valeurs de densité.

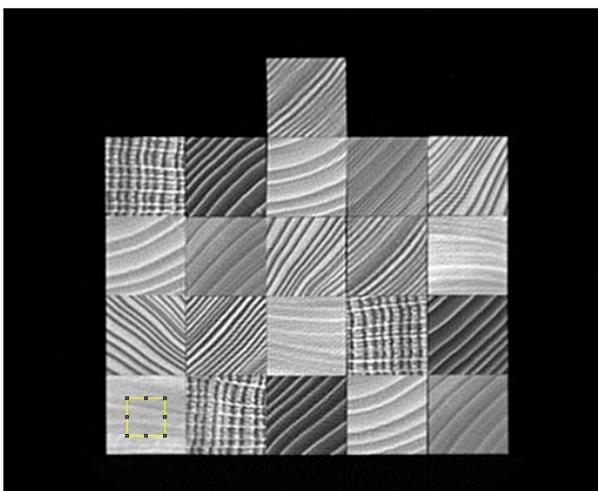


Figure 13 : exemple d'image utilisée pour la calibration densitométrique

Les mesures ont été réalisées sur des échantillons à une humidité d'équilibre du bois de 12% correspondant à un équilibre du bois avec l'air ambiant pour environ 20° Celsius et 65% d'humidité relative (Freyburger C. *et al.*, 2009).

La mesure de densité ainsi obtenue résulte de la quantité de matière ligneuse et de la quantité d'eau présente dans l'échantillon. Pour analyser des échantillons avec une distribution interne d'humidité variable, il sera nécessaire de déterminer la teneur en eau et ses variations.

Nous travaillons actuellement sur le développement de cette méthode.

Conclusion

Le scanner fournit des informations sur des thèmes variés comme la densité, la croissance du bois, la qualité interne de billons...

Son utilisation peut être élargie à d'autres domaines de la recherche, comme récemment en pédologie.

Ce nouvel appareil ouvre de nombreuses perspectives et promet de faire progresser nos connaissances.

Informations disponibles sur :

<https://www2.nancy.inra.fr/unites/lerfob/plateforme/equipements/scanner.html>

Bibliographie

Colin F., Mothe F., Fontaine F., Morisset J-B. & Freyburger C. (2009) Tracking rameal traces with X ray computed tomography: biological bases, preliminary results and perspectives.

Freyburger C., Longuetaud F., Mothe Frédéric, Constant T. & Leban J.-M. (2009) Measuring wood density by means of X-ray computed tomography. *Annals of forest science*, 66:804.

Freyburger C., Mothe F., Colin F., Fontaine F. (2007) Exploitation d'images tomographiques RX pour l'analyse des épicorniques du chêne. Procédure d'utilisation du plugin «Gourmands» (IMAGEJ) et du logiciel Bil3D.

General Electric Company (2006) BrightSpeed Series. Guide d'apprentissage et de référence

Longuetaud F., Freyburger C. (2008) Protocole de calibration densitométrique du scanner tomographique à rayons X. Document interne de l'ERQB, LERFoB, Champenoux

Mothe F., Duchanois G., Zannier B., Leban J.M. (1998) Analyse microdensitométrique appliquée au bois : une méthode de traitement des données aboutissant à la description synthétique et homogène des profils de cernes (programme CERD). *Ann. Sci. For.* 53 (3): 301-313

Crédits photos : LERFoB – Centre Inra de Nancy

