

WoodSun : un projet collaboratif de science ouverte du GDR 3544 Sciences du Bois : la structure du bois agrandie en 3D.

BADEL Eric¹, ARNOULD Olivier^{2,3}, BOZONNET Cyril¹, CONCHON Pierre¹, DUHAMEL Yvan³, RUELLE Julien⁴, VIGUIER Joffrey⁵

¹ Université Clermont Auvergne, INRAE, PIAF, 63000 Clermont–Ferrand, France

² LMGC, Université de Montpellier, CNRS, Montpellier, France

³ Pro3D, Université de Montpellier, Montpellier, France

⁴ Université de Lorraine, AgroParisTech, INRAE, UMR Silva, 54000 Nancy, France

⁵ Arts et Métiers Sciences et Technologies, LABOMAP, Université Bourgogne Franche-Comté, HESAM Université, 71250 Cluny, France

eric.badel@inrae.fr

Mots clef: bois, anatomie, microtomographie à rayons X, fabrication additive, science ouverte

Contexte et objectifs

Le bois est un matériau cellulaire complexe par son hétérogénéité et sa variabilité. Le premier niveau de variabilité est celui de l'espèce, laquelle pilote l'organisation du plan ligneux, qui lui est spécifique. Mais au sein d'une même espèce, avec le même bagage génétique, chaque arbre a son propre mode de croissance, de formation du bois, lesquels sont alors fortement dépendants de la région, de la placette, dans laquelle il se développe mais aussi de l'environnement local de l'individu. Enfin, chaque année, chaque saison impose ses conditions environnementales de croissance qui vont moduler les processus biologiques. A cela se rajoutent les spécificités locales du bois liées à des développements particuliers tels que les nœuds, la présence de bois de réaction, etc.

Mais, finalement, même parmi ceux qui travaillent le bois quotidiennement, peu nombreux sont ceux qui ont l'occasion d'observer du bois sous microscope pour en apprécier toute sa complexité et la diversité de ses structures. Et pourtant les enseignants, en lycée, à l'université, dans une école d'ingénieur de sciences du bois, qui souhaitent montrer ces structures fascinantes à leurs élèves sont nombreux.

Il existe maintenant une solution théoriquement simple, un peu plus complexe à mettre en œuvre, qui permet de mettre dans les mains de tous, un objet, copie conforme d'une structure anatomique de bois en 3D.

Matériels et méthodes

La première étape consiste à réaliser un scan d'un échantillon de bois grâce à une technologie de microtomographie à rayon X. Complètement non invasive, cette technique s'est imposée pour observer la structure interne d'échantillons sans aucune préparation ni découpe (Badel et al. 2008, Charra-Vaskou et al. 2012, Dalla-Salda et al. 2014). La microtomographie à rayons X consiste à réaliser de nombreuses radiographies 2D, ou « projections », d'un échantillon fixé sur une platine de rotation. Ces projections représentent des cartographies d'absorption de l'échantillon, intégrées sous différents angles. L'ensemble de ces projections est alors passé dans un algorithme, la « reconstruction », qui permet d'obtenir la cartographie 3D complète de la pièce de bois. Le résultat est un fichier image 3D.

Pour réaliser cette opération, nous avons passé une convention avec le Synchrotron SOLEIL (Paris-Saclay) qui a donné accès pendant 48 heures à la ligne de lumière PSICHE à une équipe de 6 personnes du GDR Sciences du Bois.

En termes d'échantillonnage, nous avons fait appel à différentes xylothèques françaises, en particulier celle d'AgroParisTech à Nancy et celle du CIRAD à Montpellier, spécialisée dans les essences tropicales. De nombreux échantillons, venant des laboratoires participants ont complété cet échantillonnage qui regroupait plus de 100 essences tempérées et tropicales (Fig. 1a).

Les échantillons ont été préparés sur place, principalement par fendage afin de garantir une découpe selon le fil du bois. Les dimensions caractéristiques étaient alors de l'ordre de $2 \times 2 \times 15 \text{ mm}^3$ dans les directions radiale, tangentielle et longitudinale, respectivement (Figs. 1b et 2a).

Chaque échantillon a ensuite été placé sur la platine de rotation du microtomographe de la ligne PSICHE (Fig. 2b). Un scan dure environ 10 minutes pour 1000 projections réalisées avec un faisceau monochromatique de 17 keV.

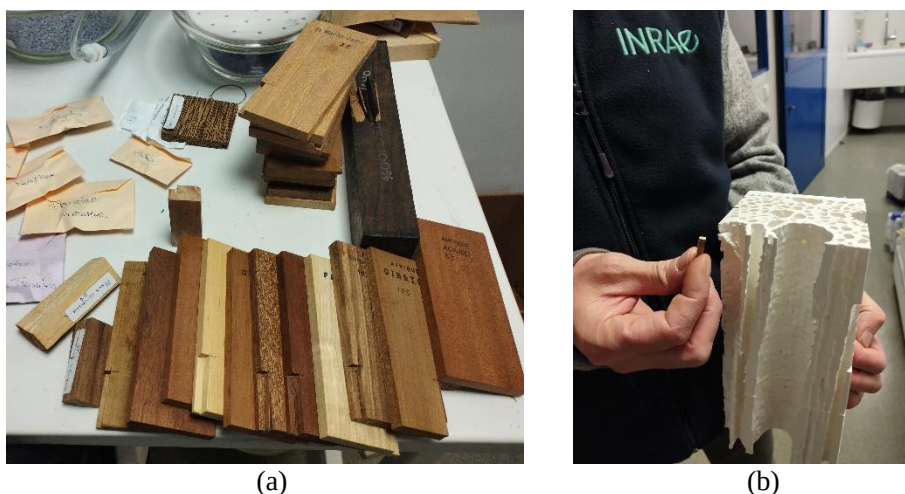


Fig. 1 : a) Plaquettes de bois issues des xylothèques d'AgroParisTech (Nancy) et du Cirad (Montpellier).
b) Un échantillon de bois et son homologue reproduit par impression 3D avec un grossissement $\times 1000$.

La seconde étape est celle du traitement d'image qui va permettre de nettoyer et segmenter afin de distinguer la matière (les parois cellulaires) et l'air contenu dans les lumens (Fig. 2c). Un protocole a été mis en place avec une version gratuite du logiciel DragonFly (<https://www.theobjects.com/dragonfly/index.html>).

La troisième étape utilise un logiciel spécifique qui permet de transformer l'image volumique ainsi traitée en une information vectorisée compatible avec une imprimante 3D.

La dernière étape consiste en l'impression 3D de l'objet, à la dimension désirée par l'utilisateur (Fig. 1b).

Résultats

Plus de 160 scans ont ainsi été réalisés avec une résolution de $1,3 \mu\text{m}$. Une cinquantaine de scans ont été réalisés avec une résolution spatiale de $0,6 \mu\text{m}$ afin de cibler de petits éléments anatomiques tels que des ponctuations. L'opération a duré 48h de scans ininterrompus (Figs. 2b et 3).

L'ensemble des scans bruts, constituant une base de 10 To de fichiers, est stocké sur le serveur du synchrotron SOLEIL et sur disque dur. Les fichiers images sont traités à l'UMR PIAF à Clermont Ferrand et convertis en fichiers STL qui sont retraités par la plateforme Pro3D de l'Université de Montpellier (<https://centre-pro3d.fr/>).

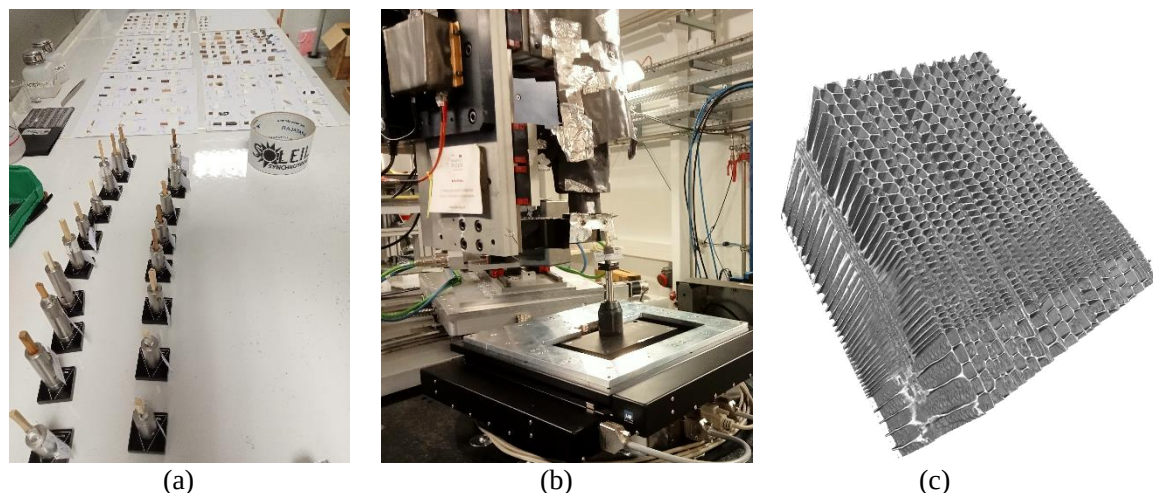


Fig. 2: a) Préparation des échantillons pour les scans tomographiques sur les supports. b) L'échantillon est ensuite fixé sur la platine de rotation située devant le détecteur 2D. c) Visualisation 3D après segmentation.

Dans un esprit de Sciences Ouverte, les fichiers sont ainsi mis à disposition, au fur et à mesure qu'ils sont traités, sur le serveur du GDR Sciences du Bois : <https://www6.inrae.fr/gdr-sciences-du-bois>. Des discussions sont aussi en cours pour un dépôt sur un entrepôt de données institutionnel (<https://entrepot.recherche.data.gouv.fr/>)



Fig. 3: L'équipe du GDR Sciences du bois dans la cabine de microtomographie de la ligne PSICHE du Synchrotron SOLEIL.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ensemble des collaborateurs qui nous ont permis d'accéder à leurs collections d'échantillons de bois ; en particulier David Gasparotto (AgroParisTech) pour l'accès à la xylothèque de Nancy, Loïc Brancheriau et Patrick Langbour (CIRAD) pour l'accès à la xylothèque du CIRAD de Montpellier. Les auteurs remercient aussi la direction et les services de communication du Synchrotron SOLEIL pour l'accès offert à la ligne PSICHE ainsi qu'Andy King de la ligne PSICHE pour son soutien technique.

References

- Badel E., Lux, J., Delisée C. (2008) 3D structural characterisation, deformation measurements and assessment of low-density wood fibreboard under compression. The use of X-ray microtomography. *Composite Sciences and Technology*, 68 (7-8): 1654-1663. [hal-00964861v1](#)
- Charra-Vaskou K., Badel E., Burlett R., Cochard H., Delzon D., Mayr S. (2012) Hydraulic efficiency and safety of vascular and non-vascular components in *Pinus pinaster* leaves. *Tree Physiology*, 32 (9): 1161-1170. [hal-00964504v1](#)
- Dalla-Salda G., Fernández M.E., Sergeant A.S., Rozenberg P., Badel E., Martinez-Meier A. (2014) Dynamics of cavitation in a Douglas-fir tree-ring: transition-wood, the lord of the ring? *Journal of Plant Hydraulics*, 1: e-0005 [hal-01095363v1](#)
- Dragonfly 2022.2 [Computer software]. Comet Technologies Canada Inc., Montreal, Canada; software available at <https://www.theobjects.com/dragonfly>.