

## Liens entre caractéristiques anatomiques et propriétés mécaniques dans une grume : application au chêne rouge (*Quercus rubra*)

BAYLE Florian<sup>1</sup>, POT Guillaume<sup>2</sup>, MILHE Louis<sup>2</sup>, MOUBEMBE MINKO Alphen<sup>1</sup>, MORIN Xavier<sup>3</sup>, SAUVAT Nicolas<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Université Clermont Auvergne, CNRS, Clermont Auvergne INP, Institut Pascal, Clermont-Ferrand

<sup>2</sup>Arts et Métiers, LABOMAP, F-71250 Cluny, France

<sup>3</sup>Université de Montpellier, CNRS, CEFÉ, Montpellier  
[florian.bayle@cnrs.fr](mailto:florian.bayle@cnrs.fr)

**Mots clés :** Bois, feuillus, chêne rouge, *Quercus rubra*, anatomie, qualité, modèles

### Contexte

En France, les essences feuillues représentent 64 % du volume de bois sur pied (IGN 2023). Pourtant, elles ne constituent que 16 % du volume de sciage (Riou-Nivert 2015) en raison de contraintes liées à leur transformation et à une conformation moins régulière que les résineux. Parallèlement, les forêts françaises sont confrontées à des épisodes de dépérissement marqués depuis plusieurs années, comme en témoigne la crise des scolytes dans le Grand Est. Ces dynamiques remettent en question les modèles sylvicoles actuels. En parallèle, la diversification des espèces en forêt apparaît de plus en plus, preuves à l'appui, comme une stratégie pertinente pour réduire la vulnérabilité des peuplements face aux aléas biotiques et abiotiques, tout en contribuant à une augmentation de leur productivité (Morin et al 2025).

Dans le même temps, les objectifs de décarbonation de la filière construction orientent vers des modes constructifs moins énergivores, notamment en augmentant l'utilisation du bois dans les produits de construction. Or selon certains scénarios prospectifs, la ressource française en bois d'œuvre résineux pourrait être insuffisante pour répondre à cette demande (FCBA/BIPE 2019).

Le bois utilisé dans le secteur du bâtiment et plus particulièrement en structure constitue un réservoir particulièrement efficace : la matière y demeure mobilisée pendant au moins cinquante ans, prolongeant ainsi la séquestration du carbone bien au-delà du cycle forestier. Aussi, afin de maintenir le double levier de stockage du carbone, dans les produits de construction comme sur pied dans les massifs forestiers, il est essentiel de diversifier les espèces exploitées.

Dans ce contexte, une meilleure connaissance des feuillus dits secondaires est indispensable à leur potentiel usage en construction. Parmi celles-ci, le chêne rouge (*Quercus rubra*) apparaît comme une espèce stratégique. Bien que son volume actuel en France métropolitaine reste relativement modeste (estimé à 8,1 millions de m<sup>3</sup>, IGN 2023), ce stock est appelé à croître significativement en raison des importantes plantations réalisées depuis les années 1970 (FCBA 2016). Par ailleurs, cette essence présente des caractéristiques favorables à la production de sciages destinés à la construction, avec une proportion élevée d'arbres de gros diamètre : plus de 41 % des individus mesurent en effet plus de 30 cm de diamètre (IGN, 2023). Cette essence a déjà fait l'objet d'une campagne de caractérisation en 2016 (FCBA, 2016) pour un usage en parquet et carrelé mais pas pour un usage structurel, il est donc complexe de l'utiliser en tant que bois de structure dans la construction.

## Objectifs

Cette étude vise à caractériser la répartition spatiale intra-arbre des propriétés mécaniques du chêne rouge et à explorer leur prévision avec des méthodes non destructives de classement. La campagne expérimentale porte sur deux arbres issus de provenances distinctes. Différentes éprouvettes de traction, flexion, compression axiale et transverse, sont localisées de façon précise dans la grume. La relation entre la position dans l'arbre et les différentes propriétés mécaniques est attendue.

Alors que la corrélation entre masse volumique et propriétés mécaniques (rigidité ou résistance) est bien établie chez les résineux, elle s'avère nettement plus faible chez le chêne (Pot et al 2024). Par ailleurs, les techniques vibratoires, couramment utilisées pour prédire les résistances mécaniques, montrent une efficacité limitée sur les feuillus (Faydi 2017, Olsson et al 2018). Dans ce contexte, la mesure de l'orientation des fibres (ODF) à la surface des sciages s'impose comme une méthode de contrôle non destructif prometteuse (Olsson et al 2018, Pot et al 2024). Réalisée à l'aide d'un scanner par effet trachéide dans les locaux du LaBoMaP, cette mesure permettra d'étudier la relation entre la pente de fil et les propriétés mécaniques pour cette espèce et cette qualité.

## Matériel et méthodes

### *Provenance et préparation du bois*

Les essais ont été réalisés à partir de deux plots boules de 3.9 m de long. L'un provient d'une coupe de chêne commun dans lequel était présent quelques chênes rouges de façon isolée sur la commune de Neuilly le Réal (03). Le second provient d'une coupe de chênes américains à Poil (58). Le premier a été scié en octobre 2015 et le second en mars 2023. Les plots, en bille de pied, étaient initialement destinés à la menuiserie. Ils sont de qualité supérieure et présentent peu de nœuds. Un des deux plots présente une moelle excentrée.

L'étude a pour objectif de travailler à différentes échelles, ainsi les plots ont été découpés plusieurs fois. Chaque étape de découpe est accompagnée d'une nomenclature permettant de retrouver la position initiale de la partie dans l'arbre visible en Fig. 1.

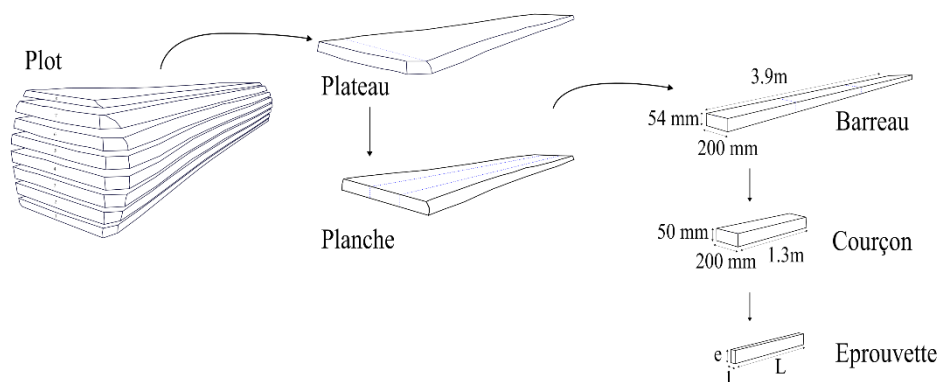


Fig. 1 : Plan de débits de l'expérimentation et nomenclature

### *Programme d'essais*

Afin de connaître au mieux la répartition de la pente de fil en 3D, deux scans ont été effectués. Un premier est réalisé à l'échelle des barreaux pour des contraintes techniques liées à la machine. Par la suite, les barreaux sont tronçonnés en courçons, rabotés à 50 mm et délinés en éprouvettes. Ces dernières ont par la suite été scannées. Une répartition aléatoire des positions

d'éprouvettes en fonction de la hauteur dans la grume et de la distance à la moelle a permis d'obtenir le nombre d'éprouvettes résumé dans le Tab. 1.

Tab. 1 : Dimensions et quantité d'éprouvettes de la campagne expérimentale

| Types d'essais           | Dimensions (mm)<br>l*e*L | Quantité |        | TOTAL |
|--------------------------|--------------------------|----------|--------|-------|
|                          |                          | Plot A   | Plot B |       |
| Flexion                  | 20 * 50 * 1300           | 148      | 156    | 304   |
| Traction                 | 20 * 50 * 600            | 148      | 157    | 305   |
| Compression axiale       | 50 * 20 * 120            | 330      | 355    | 685   |
| Compression transversale | 50 * 70 * 90             | 120      | 148    | 268   |
| TOTAL                    |                          | 746      | 816    | 1562  |

## Résultats

### Résultats préliminaires

Un programme a été développé pour repositionner les éprouvettes sur les courçons automatiquement. Il permet également de récupérer la position des éprouvettes dans le courçon puis la position de chaque éprouvette sur un unique repère lié au plot. Ce travail permet de s'assurer de l'exactitude de la position des éprouvettes. On peut voir sur la Fig. 2 une superposition des photos d'abouts d'éprouvettes sur l'about d'un courçon. Les contours des éprouvettes et du courçon sont matérialisés par des cadres verts. Les points verts représentent les barycentres de chaque éprouvette, et le repère est centré sur le barycentre du courçon.

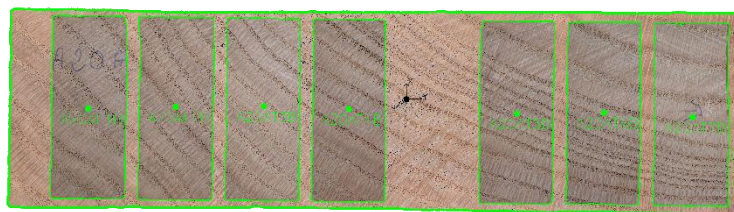


Fig. 2 : Superposition des éprouvettes sur un courçon.

### Résultats attendus

La Fig. 3 présente une synthèse des données qui seront collectées ainsi que des résultats attendus au terme de la campagne expérimentale. On retrouve notamment de nombreuses informations à l'échelle des éprouvettes (dimension, masse, ODF, largeur de cernes) mais également à des échelles plus importantes comme l'ODF des barreaux.

Connaissant la localisation des éprouvettes, leurs caractéristiques anatomiques et leurs propriétés mécaniques, l'objectif final est de construire un jumeau numérique qui permettra de visualiser l'ensemble des éprouvettes à l'intérieur de la grume tout en pouvant avoir accès à leurs caractéristiques physiques et mécaniques comme schématisé sur la Fig. 4.

L'objectif final de ce jumeau numérique est de constituer une référence, voire une cible, pour la calibration ou la comparaison avec les résultats issus de modèles de croissance.

## Remerciements

Ce projet a obtenu le soutien financier du CNRS à travers les programmes interdisciplinaires de la MITI. Cette campagne expérimentale a obtenu le soutien de Polytech Clermont-Ferrand dans le cadre des Projets Collaboratifs 2025. Les résultats ont été obtenus grâce à l'appui des ressources en calcul et en stockage du Mésocentre Clermont Auvergne.



Fig. 3 : Données et résultats attendus au terme de la campagne expérimentale

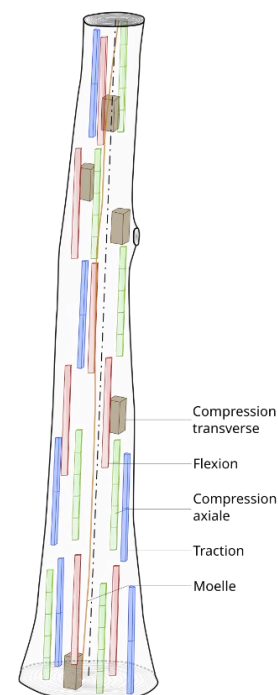


Fig. 4 : visualisation des positions des éprouvettes dans la grume

## Références

Faydi Y (2017) Classement pour la résistance mécanique du chêne par méthodes vibratoires et par mesure des orientations des fibres, Thèse de doctorat, Arts et Metiers ParisTech, Cluny, 2017, 153 pages.

FCBA (2016) Le Chêne Rouge de la Dombes (01) : une essence offrant d'intéressantes aptitudes à l'usage en parquet et carrelages, édition FCBA info, 6 pages.

FCBA/BIPE (2019) Etude prospective : Evolution de la demande finale du bois dans la construction, la rénovation et l'aménagement des bâtiments – Fin. ADEME/France Bois Forêt/CODIFAB., édition FCBA info, 89 pages.

Morin X, et al (2025) Couper la forêt pour la sauver du changement climatique, est-ce vraiment une bonne idée ?, The Conversation, <https://doi.org/10.64628/AAK.a43hk6yjs>

IGN (2023) Inventaire forestiers des essences secondaires, disponible sur : <https://inventaire-forestier.ign.fr/spip.php?article1035>, consulté le 12/12/2024.

Olsson A, Pot G, Viguier J, Faydi Y, Oscarsson J (2018) Performance of strength grading methods based on fibre orientation and axial resonance frequency applied to Norway spruce (*Picea abies* L.), Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) and European oak (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl./*Quercus robur* L.). Annals of Forest Science, 75(4):102. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0781-z>

Pot G, Viguier J, Besseau B, Lanvin J-D, Reuling D (2024) Transformation et Classement éco-Efficients des Qualités Secondaires de chêne pour leur valorisation en bois d'œuvre. ADEME, Arts et Métiers, Ducerf, FCBA. <https://doi.org/10.57745/JUHQIT>

Riou-Nivert (2015) Adaptation au changement climatique et gestion forestière. L'arbre et la forêt à l'épreuve d'un climat qui change: rapport au Premier ministre et au Parlement. Paris: la Documentation française, p. 77–107.