

Offre de thèse :

Mesure et modélisation 3D de la masse volumique et de l'orientation des fibres dans des échantillons de bois pour l'optimisation de leur usinage

Domaine : Mécanique des matériaux ; Analyse d'image ; IA

Mots clés : Contrôle non-destructifs ; Modélisation géométrique ; Bois

Contexte – Projet PropUsiBot

La filière de la transformation du bois joue aujourd'hui un rôle stratégique dans le contexte de développement durable. Elle s'appuie sur une ressource biosourcée, présentant une balance entre croissance et exploitation positive, et favorisant les circuits courts par son foisonnement à travers tout le territoire. Cumulé à son caractère écologique, ses qualités esthétiques et mécaniques en font un matériau toujours plus valorisé, certes en construction et en ameublement ou pour des instruments de musiques mais également pour équiper tous types de véhicules qu'ils soient terrestres, aériens ou maritimes.

Lors de l'usinage de pièces en bois massif, il est complexe d'obtenir des états de surfaces satisfaisants en tous points et une finition en ponçage est quasiment systématique. Ce ponçage est long, couteux, et bien souvent manuel et délétère pour les opérateurs qui sont exposés aux poussières générées et soumis à des gestes qui engendrent des troubles musculo-squelettiques sévères.

Le projet **PropUsiBot**, qui s'appuie sur les compétences de l'Institut Clément Ader (Université de Technologie de Tarbes Occitanie Pyrénées) et du LaBoMaP (ENSAM de Cluny), vise donc à participer à la croissance et la performance de cette filière en résolvant cette problématique par le développement simultané d'outils d'optimisation complémentaires portant sur :

- L'optimisation des conditions et trajectoires de coupe au regard des particularités du matériau bois, notamment sa forte anisotropie et son hétérogénéité.
- L'optimisation et l'automatisation des opérations de ponçage au regard de la qualité produite en cours d'usinage.

Description du sujet de thèse et objectifs

Le sujet de thèse porte sur la caractérisation non-destructive de la masse volumique et de l'orientation des fibres du bois à l'échelle millimétrique, dans le but d'optimiser les stratégies d'usinage du bois massif.

La détermination de ces deux paramètres repose sur des techniques de contrôle non-destructif telles que la densitométrie par rayons X, les ondes térahertz, ou encore des méthodes optiques exploitant la diffusion directionnelle de la lumière laser à la surface du bois. Si ces technologies sont aujourd'hui bien établies pour le contrôle qualité (esthétique ou mécanique), leur usage dans le contexte de l'usinage reste très peu exploré.

Le LaBoMaP dispose d'une expertise reconnue à l'international dans ce domaine, avec un parc d'équipements de pointe incluant un scanner industriel de planches sciées et plusieurs scanners de laboratoire intégrant les technologies précitées. L'équipe MUB se concentre sur les deux paramètres clés expliquant les propriétés mécaniques du bois — la densité et l'orientation des fibres — qui influencent également de manière déterminante son comportement à l'usinage.

L'objectif final de la thèse est de développer des modèles prédictifs permettant de reconstruire, à partir de mesures de surface, la distribution tridimensionnelle de la densité et de l'orientation des fibres dans le volume du bois. Ces données seront ensuite utilisées par un autre doctorant du projet PropUsiBot comme entrées dans des algorithmes d'optimisation des trajectoires et paramètres de coupe, afin d'atteindre un compromis optimal

entre qualité de surface, conformité dimensionnelle et temps d'usinage. Les objectifs principaux de la thèse sont donc :

- La constitution d'une base de données expérimentales originale, combinant des mesures locales de densité, d'orientation des fibres et d'efforts de coupe. Cette base sera obtenue par une méthode de tomographie *destructive*. Des méthodes similaires ont déjà été éprouvées au LaBoMaP dans le cadre des projets ANR BOOST et ANR EFFIQUASS (Penvern et al. 2024).
- Développer et valider des modèles non-destructifs d'interpolation volumique à partir de mesures non-destructives (laser, rayons X, térahertz), en s'appuyant sur des approches géométriques et/ou d'intelligence artificielle.

Profil recherché

Diplômé(e) d'un Bac+5 (Master universitaire ou école d'ingénieur), le/la candidat(e) devra disposer de compétences solides en **traitement de données**, modélisation géométrique et analyse d'image. Une maîtrise d'un **langage de programmation** (Python, Matlab...) est attendue, ainsi qu'une familiarité avec les outils de **traitement d'images** et de visualisation scientifique.

Des connaissances dans le domaine de **l'intelligence artificielle**, de la caractérisation non-destructive ou des matériaux anisotropes (**bois**, composites...) seraient des atouts appréciés. Bien que le travail comporte une forte composante de modélisation, une part significative sera dédiée à l'expérimentation en laboratoire, notamment sur des machines d'usinage. Le/la candidat(e) devra donc être à l'aise avec la prise en main et le développement de nouvelles **techniques expérimentales** et la réalisation de nombreux essais/mesures.

Le/la candidat(e) devra faire preuve de rigueur scientifique, d'autonomie et d'un goût pour le travail interdisciplinaire, à l'interface entre physique, mécanique, traitement d'images et sciences du bois.

Informations Pratiques

- Le(la) doctorant(e) sera basé(e) sur le campus Arts et Métiers de Cluny (71)
- Début de la thèse : idéalement au 1^{er} octobre 2025
- Le salaire net mensuel sera d'environ 2070 € (2300 € brut)
- Possibilité d'enseignement rémunéré à raison de 64 h/an (environ 200 €/mois)
- Contacts : Guillaume Pot (directeur de thèse – guillaume.pot@ensam.eu)
Joffrey Viguier (encadrant – joffrey.viguier@ensam.eu)

Pour **candidater** : Envoyer un CV détaillé, une lettre de motivation et les relevés de notes de bac+4 et bac+5.

Eléments de bibliographie thématique

- Marc, C., Marcon, B., Denaud, L. and Girardon, S., 2024a. Non-Destructive Wood Analysis Dataset: Comparing X-Ray and Terahertz Imaging Techniques. *Data* 9 (11): 130. [DOI](#).
- Marc, C., Marcon, B., Denaud, L. and Girardon, S., 2025. FMCW THz radar and X-ray analysis of wood properties: A comparative study. *NDT & E International* 154 (septembre):103378. [DOI](#).
- Huang, Yunbo, Daniel Chuchala, Dietrich Buck, Kazimierz A. Orłowski, Magnus Fredriksson, et Mikael Svensson. 2024. « Analysis of the Relationship between Cutting Forces and Local Structural Properties of Scots Pine Wood Aided by Computed Tomography ». *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 135 (9-10): 4975-87. [DOI](#).
- Daval, V., Pot, G., Belkacemi, M., Meriaudeau, F. and Collet, R., 2015. Automatic measurement of wood fiber orientation and knot detection using an optical system based on heating conduction. *Optics express*, 23(26), pp.33529-33539. [DOI](#)
- Besseau, B., Pot, G., Collet, R. and Viguier, J., 2020. Influence of wood anatomy on fiber orientation measurement obtained by laser scanning on five European species. *Journal of Wood Science*, 66(1), p.74. [DOI](#)
- Purba, C.Y.C., Viguier, J., Denaud, L. and Marcon, B., 2020. Contactless moisture content measurement on green veneer based on laser light scattering patterns. *Wood Science and Technology*, 54(4), pp.891-906.
- Boivin, J., Teyssieux, D., Froehly, L., Girardon, S. and Denaud, L., 2024. Exploring Visible Spectrum Wavelengths in Light Transmission through Wood Material. *Wood Science and Technology* 58 (5): 1845-59. [DOI](#).
- Penvern, H., Demoulin, L., Pot, G., Viguier, J., Roux, B., Hu, M. and Olsson, A., 2024. A laboratory method to determine 3D fibre orientation around knots in sawn timber: case study on a Douglas fir specimen. *Wood Science and Technology* 58 (août):1735-60. [DOI](#).