

Offre de thèse Cifre au LaBoMaP (ENSAM Cluny-71) et dans le groupe Ducerf (Charolles-71)

Industrialisation innovante de la transformation du chêne en composants techniques pour des usages en menuiserie et en construction

Lieux de travail : Cluny et Charolles (71)

Domaines : Sciences pour l'ingénieur, Génie Industriel, Sciences du bois, Mécanique du Solide et Matériaux, Data science, Intelligence artificielle, Machine learning

Profil : Idéalement parcours ingénieur avec formation bois, avec un sens pratique développé, à l'aise avec l'outil informatique, notamment pour le traitement d'images et le machine learning, capable de coder dans un langage de programmation (python, MATLAB, C++,...). Un socle de connaissance en mécanique est aussi nécessaire.

Début souhaité : de septembre 2024 à début 2025

Candidature : CV, lettre de motivation et derniers relevés de notes à envoyer à guillaume.pot@ensam.eu

Contexte partenarial

L'équipe **Matériau et Usinage Bois (MUB)** du **Laboratoire des Matériaux et Procédés (LaBoMaP)** mène des recherches sur l'élaboration de matériaux à base de bois et l'optimisation de leurs procédés de fabrication, dans un contexte de valorisation des essences locales. Le laboratoire possède un équipement de premier plan dans le domaine. L'équipe MUB travaille depuis 1996 sur la valorisation du chêne (Marchal 1996a; Marchal 1996b; APECF and Arts Cluny 2011; Collet 2017), et les recherches sur ce sujet se sont amplifiées récemment, notamment par des travaux visant à caractériser le chêne de qualité secondaire par des méthodes non-destructives basées sur la mesure de l'orientation des fibres (Faydi et al. 2017; Faydi 2017; Olsson et al. 2018; Besseau et al. 2020; Besseau 2021; Pot et al. 2023), et par le développement de produits de construction comme le CLT (Cross Laminated Timber) chêne (2019; Purba et al. 2022).

Le **Groupe Ducerf** est un des leaders français de la transformation des bois feuillus, et du chêne en particulier (chiffre d'affaires consolidé groupe de 42 millions d'euros). Il a la particularité d'intégrer les procédés de première et de deuxième transformation (c'est-à-dire sciage du bois frais, puis séchage et transformation en produit fini). Situé en Bourgogne à quelques kilomètres de l'ENSAM de Cluny, il s'agit d'un partenaire historique du LaBoMaP, avec qui de nombreuses actions de recherche et d'innovation ont déjà été menées et sont en cours.

Contexte technico-économique

La filière forêt-bois en France est essentielle pour atteindre les objectifs de neutralité carbone, mais est confrontée à divers défis. Il faudra rapatrier la valeur ajoutée sur le territoire, et un des moyens pour y parvenir est de développer de nouveaux usages des espèces feuillues et des produits répondant aux demandes des marchés. Pour cela, la filière bois doit se moderniser et innover, aussi bien pour les produits que pour les moyens de production. C'est ce fil directeur que le groupe Ducerf s'est fixé, se lançant dans un projet d'industrialisation d'envergure inédite pour relever trois défis majeurs : la mobilisation d'un plus grand volume de matières premières à des prix acceptables par le marché, la transformation efficiente et flexible de la matière, et la fabrication de produits techniques pour la construction innovants et compétitifs. Pour relever ces défis, la modernisation de la production se fera en particulier par l'exploitation de données provenant de scanners industriels, qui est un des sujets de prédilection de l'équipe MUB du LaBoMaP, mais avec l'ajout de méthodes de machine learning, qui sont dorénavant systématiquement utilisées pour ces applications.

Objectifs

Si l'intérêt des produits de construction à base de chêne ne fait aucun doute, l'enjeu est d'arriver à réduire les coûts de production en optimisant le procédé et le rendement matière pour être suffisamment compétitifs vis-à-vis des produits similaires en résineux. Une des raisons du coût de production plus élevé des feuillus, est la plus grande hétérogénéité de ceux-ci par rapport aux résineux, et la plus grande diversité de qualité et type de produits finis. Ainsi, les opérations de tronçonnage et délignage sont plus nombreuses et les éléments constituant les produits techniques bois reconstitués plus petits. La figure 1b illustre la différence existant typiquement entre une lamelle de chêne reconstituée par collage par aboutage et panneautage par rapport à une lamelle de bois résineux de même dimension.

Les activités de recherche du doctorant CIFRE viseront donc à l'optimisation des procédés de fabrication de tels produits reconstitués. Elles peuvent être découpées en deux volets : (1) des actions de recherche soutenant la mise en place d'un nouveau modèle de flux de transformation des feuillus au service de la fabrication de matériaux bois reconstitués à partir d'éléments de petites dimensions collés entre eux, (2) de l'innovation pour le développement d'une gamme de produits pour la construction en chêne.

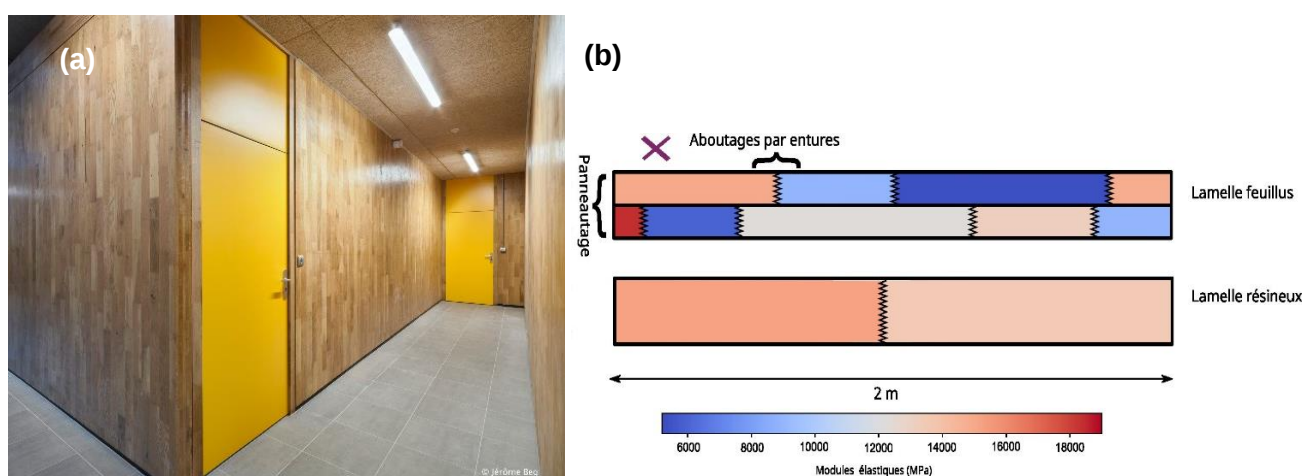


Figure 1 : (a) Panneaux massifs de CLT chêne utilisés pour la construction (© Jérôme Beg) ; (b) illustration de la différence de constitution et de module élastiques de lamelles reconstituées par collage en chêne (haut) et bois résineux (bas) (Soh Mbou et al. 2023).

Industrialisation innovante de la transformation des feuillus

Une nouvelle ligne de débit automatisée équipée de scanners sera installée au cours de la thèse. Le doctorant participera à cette installation pour ce qui est purement de la fonction technique, en relation avec le fabricant. Ces scanners devront être en mesure de réaliser du classement machine à la fois pour des critères de qualité esthétique et pour la résistance mécanique, de manière à optimiser la valorisation de la matière. C'est particulièrement sur ce point que le doctorant devra mener ses premières actions de recherche, en élaborant un cahier des charges répondant à la problématique, en alimentant les modèles de machine learning en relation avec ce cahier des charges, et en répondant à des questions technico-scientifiques telles que :

- optimiser les débits sur la base des données scanner, et notamment trouver l'optimum économique sur la classe de résistance mécanique à viser pour des produits structuraux permettant un bon rendement matière à l'aboutage sans concurrencer les usages nécessitant une certaine qualité esthétique ;
- garantir le bon usinage des entures en plus de la résistance des aboutages en fonction de l'orientation des fibres par rapport aux entures, y compris pour les applications non-structurelles dont l'aspect esthétique est important ;
- vérifier que les modèles mécaniques développés au LaBoMaP (Faydi 2017; Olsson et al. 2018; Besseau 2021) permettent bien d'assurer la résistance mécanique des lamelles aboutées lorsqu'ils sont couplés avec un tri de qualité esthétique (qui peut engendrer un biais statistique).
- caractériser les lamelles aboutées de manière non-destructive, pour un contrôle qualité final, pour mieux cibler leur caractéristiques et donc optimiser les produits de construction (en lien avec le 2^e volet).

Développement de produits de construction innovants à base de feuillus

Les lamelles aboutées dont l'étude de la fabrication optimisée est évoquée dans le volet précédent visent à être utilisées en produits pour la construction (menuiserie ou structurel). Pour ce qui est du structurel, les produits techniques tels que le lamellé-collé ou le CLT à base de feuillu n'en sont qu'aux balbutiements, avec un contexte normatif européen en cours d'élaboration. Ceci constitue finalement une opportunité pour le développement de produits innovants tirant partie des propriétés du chêne. On peut citer un premier axe de recherche concernant le **développement de CLT hétérogène mixte** : l'objectif est de réaliser des essais de caractérisation mécanique et des travaux de modélisation dans le but de développer des panneaux CLT mixtes chêne-peuplier et chêne résineux. Un deuxième axe concerne le **développement de composants lamellés-collés à base de chêne** : l'objectif est de réaliser des essais de caractérisation mécanique et des travaux de modélisation pour optimiser le placement des lames les plus résistantes dans la composition du lamellé-collé.

Bibliographie

- APECF, Arts Cluny (2011) Etude en vue de la valorisation de la ressource bourguignonne en chênes de qualité secondaire dans de nouveaux usages constructifs
- Besseau B (2021) Contribution au développement de procédés innovants pour une transformation plus efficiente du chêne. Thèse de doctorat, HESAM
- Besseau B, Pot G, Collet R, Viguier J (2020) Influence of wood anatomy on fiber orientation measurement obtained by laser scanning on five European species. *Journal of Wood Science* 66(74).
<https://doi.org/10.1186/s10086-020-01922-y>
- Collet R (2017) Valorisation des gros douglas et des chênes de qualité secondaire en matériaux pour la construction. Chalon sur Saône, France
- Faydi Y (2017) Classement pour la résistance mécanique du chêne par méthodes vibratoires et par mesure des orientations des fibres. Thèse de doctorat, Ecole doctorale n°432 : Science des Métiers de l'Ingénieur
- Faydi Y, Brancheriau L, Pot G, Collet R (2017) Prediction of oak wood mechanical properties based on vibratory tests. In: *The CompWood 2017 Programme & Book of Abstracts*. TU Verlag, Vienna, Austria
- Marchal R (1996a) Propriétés des bois de chêne vert et de chêne pubescent (*Quercus ilex* L., *Quercus pubescens* Willd.) Deuxième partie : Aptitude au déroulage. *Forêt Méditerranéenne* XVII(1):3–12
- Marchal R (1996b) Utilisations du bois de chêne en matériau : perspectives. *Forêt Entreprise* (112):34–35
- 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, Reuling D, Chastagnier T, Besseau B, Ducerf E, Ducerf J-M, Lanvin J-D, Magne N, Viguier J (2023) Tensile testing of second-quality French oak sawn timber for strength grading - TreCEffiQuaS dataset
- Purba CYC, Pot G, Collet R, Chaplain M, Coureau J-L (2022) Assessment of bonding durability of CLT and glulam made from oak and mixed poplar-oak according to bonding pressure and glue type. *Construction and Building Materials* 335:127345. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127345>
- Soh Mbou D, POT G, VIGUIER J, BESSEAU B, MILHE L, Rolle J (2023) Modélisation de l'hétérogénéité des contraintes dans les lamelles aboutées panneaux de chêne. In: *Actes des 12e journées scientifiques du GDR 3544 Sciences du Bois*. HAL, Limoges, France
- (2019) La maison France 5 : sujet sur le bois - le CLT en chêne de Bourgogne. La maison France 5