

Offre de thèse Cifre au LaBoMaP (ENSAM Cluny-71) et pour l'entreprise WOODOO

Étude et optimisation du procédé de déroulage pour la production de placages adaptés à la fabrication de bois d'ingénierie lamellé imprégné de polymère à hautes performances structurels

Lieux de travail : Cluny (71), Troyes (10).

Domaines : Sciences pour l'ingénieur, Génie Industriel, Sciences du bois, Déroulage, Matériaux

Profil : Idéalement parcours ingénieur avec une formation sur le bois, avec un sens pratique développé et une appétence pour une démarche expérimentale.

Début souhaité : de septembre 2024 à début 2025

Candidature : CV, lettre de motivation et derniers relevés de notes à envoyer à Charlotte Grosse, Dépt R&D WOODOO, cg@woodoo.com

Résumé

Woodoo a pour ambition de mettre sur le marché des bois d'ingénierie à haute performance permettant de décarboner l'industrie du bâtiment. Le placage¹ étant l'une des principales matières premières des produits pensés par Woodoo, la maîtrise et l'optimisation du procédé de production de placages par déroulage constitue un enjeu majeur pour l'entreprise. La thèse réalisée en partenariat avec le Laboratoire des Matériaux et Procédés (LaBoMaP) sera transversale (anatomie du bois, chimie du bois et des polymères, mécanique, diffusion, procédé de fabrication...) et fortement expérimentale, avec pour fil conducteur l'industrialisation du procédé.

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. Elle présente une expertise reconnue au niveau national et international sur le déroulage du bois et la maîtrise de la fabrication des placages. Elle a mis au point une ligne de déroulage multi-instrumentée et une plateforme de caractérisation des placages (fissuration, orientation locale des fibres, épaisseur, masse volumique, ondulation) permettant des études approfondies sur les caractéristiques des placages produits en fonction des différents paramètres du procédé de déroulage ([1], [2], [3], [4], [5]). D'avantage d'éléments concernant le laboratoire LaBoMaP et l'équipe MUB sont disponibles sur le site :

<https://labomap.ensam.eu/wood-material-and-machining-100680.kjsp?RH=1415872907215&RF=1415535985117>.

¹ Mince feuilles de bois comprises généralement entre 0.8 et 3,5 mm d'épaisseur



Figure 1 : Ligne de déroulage instrumentée du LaBoMaP

Woodoo veut changer le monde... de la construction ! Comment ? En faisant de son bois augmenté LE matériau d'un futur tenable. En transformant le bois à l'échelle moléculaire, Woodoo offre des solutions à haute performance mécanique et environnementale au secteur du bâtiment - une industrie aussi gourmande en énergie qu'avidée de solutions décarbonées. A terme, elles devraient permettre de construire plus haut, plus vite et moins cher, en émettant moins de CO₂. Woodoo, c'est une équipe de 25 collaborateurs répartis entre Paris et ses deux sites de recherche et production à Troyes. Fort de ses 50 brevets, Woodoo s'apprête à franchir une nouvelle étape de croissance grâce à une levée de fonds de 31 millions de dollars réalisée auprès de Lowercarbon Capital. Notre objectif est clair : Faire de notre bois augmenté le matériau du XXI^e siècle !

D'avantage d'éléments de contexte concernant l'entreprise Woodoo sont disponibles sur le site : <https://woodoo.com/>

Contexte technico-économique

La filière forêt-bois en France est essentielle pour atteindre les objectifs de neutralité carbone, mais elle est confrontée à divers défis. Notamment, il faut rapatrier la valeur ajoutée sur le territoire, et un des moyens pour y parvenir est de développer de nouveaux usages et des produits répondants 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. Le bois sous forme de placages constitue un support d'innovation encore sous exploité. La possibilité de traiter dans la masse un produit pour lui conférer des propriétés spécifiques, tout en optimisant la répartition de ces éléments dans la structure du multiplis en fonction des contraintes d'emplois, constitue une piste solide pour développer l'usage de bois dans des applications diverses d'agencement, d'emballage ou structurelles.

STACK, l'innovation développée par l'entreprise Woodoo à partir de placages, n'est pas un ersatz du bois mais une vraie innovation de rupture. Il s'agit d'un bois augmenté bas carbone fruit d'une transformation à l'échelle moléculaire. Résultat, un biomatériau qui redéfinit les normes de la performance avec des propriétés structurelles décuplées, une variabilité des performances minimisée, une haute stabilité dimensionnelle, et une très bonne empreinte environnementale.

L'entreprise Woodoo en phase d'étude d'industrialisation du STACK cherche à maîtriser et contrôler ses approvisionnements pour l'optimisation du procédé d'imprégnation de polymère et la garantie des très hautes performances mécaniques visées. La base de l'innovation développée repose sur la maîtrise de l'état initial de la brique élémentaire utilisée : le placage.

La volonté de l'entreprise de s'inscrire dans une démarche de circuit court pousse également Woodoo à transformer des ressources locales souvent fortement hétérogènes et variables en termes de propriétés intrinsèques, ce qui constitue en soi un grand défi pour l'optimisation du procédé de production du STACK.

Objectifs de la thèse

L'objectif principal de cette thèse réside dans l'**optimisation du procédé de déroulage** dans le but de produire des placages adaptés à la fabrication de bois d'ingénierie reconstitué et imprégné de polymère pour un lot d'essences ciblées. La manière dont Woodoo transforme les placages impose de maîtriser leur **imprégnabilité** autant que leurs **propriétés mécaniques**. C'est une approche originale car en générale les entreprises qui fabriquent des placages sélectionnent ces derniers selon des critères esthétiques ou mécaniques. Les objectifs habituels du déroulage (faible taux de fissuration, rugosité faible, absence de peluchage...) ne sont potentiellement pas les mêmes à atteindre. Il est nécessaire de **définir un nouveau référentiel de qualité** des placages adapté au procédé développé par Woodoo et compatible avec une ressource issue du vivant, fortement variable et hétérogène.

Pour cela le/la doctorant(e) sera amené(e) à réaliser les actions suivantes en s'appuyant sur les expertises respectives de Woodoo et du LaBoMaP

1. Etudier les propriétés des placages, issues du bois ou conférées par le procédé de fabrication (étuvage, déroulage, massicotage et séchage), et comprendre comment elles vont influencer l'imprégnabilité et les performances mécaniques des placages, à partir des essences déjà transformées par l'entreprise.
2. Déterminer les indicateurs le plus adaptés au contrôle de l'imprégnabilité des placages (prise de masse, vitesse d'imprégnation, porosité, taux d'imprégnation des parois cellulaires...) et des propriétés mécaniques du STACK, dès la fin de l'étape de déroulage.
3. Etablir le cahier des charges du placage avant imprégnation (taux de fissuration, humidité, rugosité...).
4. Etudier le potentiel d'autres essences pour la fabrication du STACK.
5. Optimiser les paramètres du procédé de fabrication de placages pour les essences ciblées.

Déroulement de la thèse

1. Définition d'un référentiel de propriétés des placages en vue de leur traitement

Une des premières étapes dans laquelle sera impliqué le/la doctorant(e) est l'établissement d'un cahier des charges précis permettant de lister et décrire les propriétés issues du bois ou conférées par le procédé de fabrication des placages (étuvage, déroulage, massicotage et séchage) qui vont influencer l'imprégnabilité et les performances mécaniques des placages. La notion même d'imprégnabilité nécessitera la définition d'indicateurs de performances, tels que la prise de masse, la vitesse d'imprégnation, la porosité, le taux d'imprégnation, l'accessibilité des parois cellulaires...

Ce référentiel sera construit en s'appuyant sur l'expertise de Woodoo sur son procédé de fabrication du STACK et à partir de l'état de l'art construit sur au moins une des essences déjà transformées par l'entreprise.

Une seule essence sera dans ciblé dans un premier temps.

2. Sélection d'essences adaptées et optimisation du procédé de déroulage

Woodoo a effectué un solide développement expérimental en traitant plusieurs essences feuillues européennes. Les résultats sont encourageants mais pour passer à une étape d'industrialisation, l'entreprise a besoin de verrouiller ses essences « objectifs ». Cette étape de la thèse consistera à étudier les essences qui pourraient être adaptées au procédé Woodoo et dont les volumes mobilisables sont en phase avec une production à l'échelle industrielle. Le contexte de la forêt française pousse à utiliser des feuillus de qualité ordinaire et sous valorisés tels que certains chêne, frêne, charme, tremble. En outre, certains résineux sont parfois limités à des usages secondaires de type palette ou caisserie (sapin pectiné, pin maritime) et pourraient avantageusement être utilisés pour fabriquer le STACK pour le moment uniquement testé sur une ressource feuillus.

Parmi ce set d'essences un maximum de 4 seront conservées pour les étapes suivantes. En s'appuyant sur les compétences et les moyens de mesure originaux du LaBoMaP, l'objectif de cette seconde phase sera d'adapter spécifiquement les paramètres des procédés d'étuvage et déroulage pour chacune des essences afin

de correspondre aux caractéristiques du cahier des charges (propriétés physiques et dimensionnelles, fréquence et caractéristiques des fissures de déroulage, homogénéité d'épaisseur...). Cette étape pourra intégrer des caractérisations fines (mesure de porosité, tomographie RX, imagerie spécifique...) afin de faciliter l'imprégnabilité en particulier en lien avec l'étuvage préalable au déroulage (ouvrir des ponctuations/porosités, évacuer les gommages et thylles responsables de l'obstruction partielle ou complète des vaisseaux...).

3. Optimisation des multiplis

Une fois la première phase de maîtrise de l'état initial de la matière première (le placage) et du procédé d'imprégnation/pressage à chaud pour obtenir le produit STACK atteinte, il sera possible de travailler sur les performances mécaniques du multiplis et sa stratégie de conception en imaginant des optimisations spécifiques par applications : soit géométrique de manière classique soit topologique en utilisant les caractérisations des placages issues des mesures réalisées sur la plateforme du LaBoMaP [4,5]. Cette démarche est essentielle à la valorisation du produit fini car elle permet d'envisager des optimisations locales pour des cas de charges particuliers et donc de diversifier et d'adapter les performances du produit aux besoins. Une approche numérique complétée par un nombre réduit de test sur pièces réelles sera privilégiée.

Conditions d'accueil

- Positionnement principal à Cluny (71) dans l'équipe MUB du LaBoMaP
- Prise en charge de l'hébergement sur le site de Troyes (10)
- Salaire 33 k€ brut/an
- Contrat d'accompagnement permettant la réalisation des essais
- Prise en charge des déplacements professionnels (entre les deux sites, missions chez des partenaires dans le cadre d'essais non réalisables dans les structures d'accueil, pour la participation à des conférences nationales et internationales)
- Possibilité de participer à des enseignements sur le campus Arts et Métiers de Cluny dans divers domaines scientifiques (niveau L3 à M2 pour un public essentiellement constitué d'étudiants en école d'ingénieur).

Bibliographie

- [1] Dupleix, A., L. E. Denaud, L. Bleron, R. Marchal, et M. Hughes. 2013. « The effect of log heating temperature on the peeling process and veneer quality: beech, birch, douglas-fir and spruce case studies ». *European journal of Wood and Wood Products* 71 (2): 163-71. <https://doi.org/10.1007/s00107-012-0656-1>.
- [2] Denaud, L. E., L. Bleron, F. Eyma, et R. Marchal. 2012. « Wood peeling process monitoring: A comparison of signal processing methods to estimate veneer average lathe check frequency ». *European journal of Wood and Wood Products* 70 (1-3): 256-61.
- [3] Palubicki, B., R. Marchal, J.-C. Butaud, L. E. Denaud, L. Bleron, R. Collet, et G. Kowaluk. 2010. « A Method of Lathe Checks Measurement; SMOF device and its software ». *European Journal of Wood and Wood Products* 10: 151.
- [4] Duriot, Robin, Guillaume Pot, Stéphane Girardon, Benjamin Roux, Bertrand Marcon, Joffrey Viguier, et Louis Denaud. 2021. « New Perspectives for LVL Manufacturing from Wood of Heterogeneous Quality—Part. 1: Veneer Mechanical Grading Based on Online Local Wood Fiber Orientation Measurement ». *Forests* 12 (9): 1264. <https://doi.org/10.3390/f12091264>.
- [5] Duriot, Robin, Guillaume Pot, Stéphane Girardon, et Louis Denaud. 2021. « New Perspectives for LVL Manufacturing from Wood of Heterogeneous Quality—Part 2: Modeling and Manufacturing of Variable Stiffness Beams ». *Forests* 12 (9): 1275. <https://doi.org/10.3390/f12091275>.