



### **Science Arts & Métiers (SAM)**

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers Institute of Technology researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <https://sam.ensam.eu>  
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/21327>

#### **To cite this version :**

Caroline MARC, Bertrand MARCON, Mariem YAICH, Louis DENAUD, Stéphane GIRARDON, Joffrey VIGUIER - Le BOis pOur les STRuctures des véhicules (Projet BOOST) : Caractérisation mécanique et physique locale de placages pour la conception optimisée de structures - 2021

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : [scienceouverte@ensam.eu](mailto:scienceouverte@ensam.eu)



**Le Bois pour les structures des véhicules (Projet BOOST) :  
caractérisation mécanique et physique locale de placages  
pour la conception optimisée de structures**

MARC Caroline<sup>1</sup>, MARCON Bertrand<sup>1</sup>, DENAUD Louis<sup>1</sup>, GIRARDON Stéphane<sup>1</sup>,  
VIGUIER Joffrey, YAICH Mariem<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Arts et Metiers Institute of Technology, LABOMAP, Université Bourgogne Franche-Comté,  
HESAM Université, F-71250 Cluny, France

[Caroline.Marc@ensam.eu](mailto:Caroline.Marc@ensam.eu)

**Mots clefs :** bois ; structure ; véhicule ; térahertz ; caractérisation ; placage

**Contexte, positionnement et objectifs de la thèse**

*Objectifs et hypothèses de recherche*

La thèse s'inscrit dans le cadre du projet ANR BOOST multipartenaires dont l'objectif général est de faire la démonstration de la possibilité de l'utilisation du bois, sous forme de placages en produit lamellé, pour son utilisation comme matériau structural pour les véhicules. Ses principaux atouts sont ses bonnes propriétés mécaniques rapportées à sa masse volumique et son impact environnemental avantageux lorsqu'il est produit et transformé localement. BOOST cible plus particulièrement les contreplaqués pour leur faible coût et le domaine des transports : aéronautique, naval, automobile ferroviaire. Jusqu'à présent, le contreplaqué, constitué de plusieurs plis de diverses essences orientées simplement à 0° ou 90° n'a été utilisé comme matériau structural que dans l'aviation jusqu'à la deuxième guerre mondiale (1) et ponctuellement dans l'automobile (2) et le nautisme de loisir. Aussi, il existe un vaste champ de recherches pour ce matériau seul ou utilisé en sandwich, et BOOST a choisi de prioriser trois thématiques scientifiques.

Dans le cadre de la bioéconomie, il importe de maximiser l'utilisation des ressources locales. Aussi dans BOOST, il est fait le choix de se limiter à deux essences feuillues qui sont présentes sur pratiquement tout le territoire : le peuplier et le hêtre (3). Ces essences prisées des dérouleurs pour leur homogénéité (4) ont de plus l'avantage d'avoir des caractéristiques mécaniques très différentes : modules d'élasticités longitudinaux à 12% d'humidité absolue de l'ordre de 9.8 et 15.3 GPa respectivement (4) ce qui permet d'imaginer des stratifiés aux propriétés contrastées. De plus, pour valoriser au mieux la ressource locale tout en maîtrisant les coûts, contrairement aux contreplaqués aéronautiques, ces matériaux devront être pris en compte avec leurs défauts comme la présence des nœuds, les variations locales d'orientation des fibres induites par ces derniers et les fissurations induites lors du procédé de déroulage (Figure 1). En effet, même de légères variations d'orientation des fibres peuvent modifier de manière importante les propriétés mécaniques (réduction de 50% du module d'élasticité longitudinal équivalent partir d'une inclinaison de 13°) (5). De plus, la mesure de la densité locale des placages avec une instrumentation légère (hors RX) reste un verrou technologique que nous proposons de lever lors de ce projet en exploitant une technologie non ionisante (moins de risque pour les opérateurs et intégration sur chaîne de production facilitée).

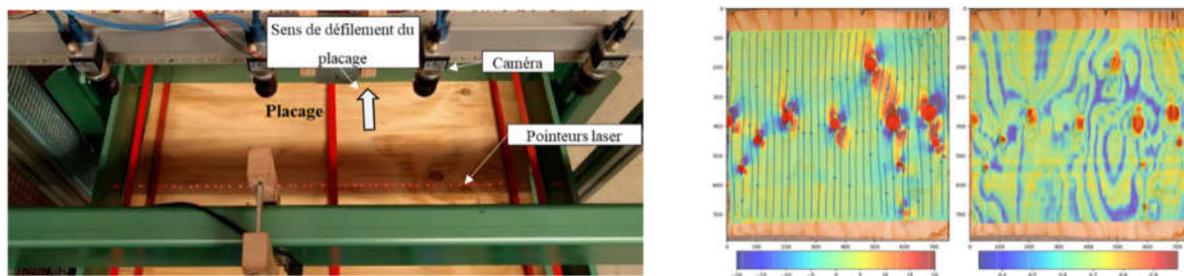


Figure 1 : Local Online Orientation fiBer Analyser, scan de placages de résineux (Douglas)

Contrairement au cas des composites dont on maîtrise la fabrication, le bois résulte d'un processus naturel et spécifique aux conditions de croissance de l'arbre (influences combinées de la qualité des sols, sylviculture, maintien de la verticalité de l'arbre sous l'action du vent et du soleil...). La seule solution, qui est d'ailleurs utilisée dans le classement mécanique du bois pour un usage structurel, consiste à contrôler chaque sciage. Il n'existe pas encore de contrôle normalisé de chaque pli des contreplaqués bois, au contraire des poutres lamellé-collées, car à ce jour il n'existe pas d'outil industriel de mesure de l'orientation des fibres des placages permettant d'intégrer ce paramètre essentiel. Le LaBoMaP a développé deux bancs de mesure (Figure 2 et (6)) via méthode laser (diffusion de la lumière privilégiée dans la direction des fibres). De plus, comme pour les composites, c'est l'orientation des fibres du bois qui pilote principalement (ordre 1) les propriétés mécaniques du matériau (la variation locale de densité étant d'ordre 2 pour les essences ciblées dont la variation est faible). Sa mesure permet de modéliser finement les propriétés de planches ou de placages de bois (6-7). La cartographie d'orientation des fibres (6-7) lors du déroulage de Douglas peut être intégrée dans un modèle mécanique analytique de composition de LVL pour en prédire les propriétés (Figure 2).

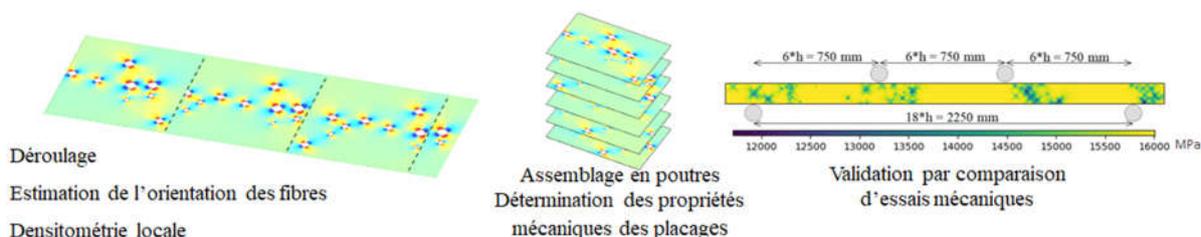


Figure 2 : Stratégie de mesure des placages en lignes jusqu'à la prédiction des propriétés mécaniques des produits d'ingénierie (LVL) (6).

Pour la mesure de la fissuration cyclique des placages (due au procédé même de déroulage) pour des essences qualifiées d'homogènes (Figure 3), plusieurs méthodes de mesure en ligne et hors lignes ont été mises au point qui permettront de proposer, soit une mesure systématique et fine pour quelques placages représentatifs, soit d'appliquer des critères moyens et d'utiliser des lois statistiques permettant de proposer une répartition et une profondeur moyenne des fissures pour tous les placages.

La densité locale, bien qu'ayant été considérée comme étant d'ordre 2 dans la prédiction des performances mécaniques dans le contexte de ce projet (les deux essences ciblées sont parmi les plus homogènes) face à l'orientation des fibres, reste néanmoins un paramètre essentiel à considérer en particulier dans la perspective de créer des produits mixtes. Le LaBoMaP a mené récemment des travaux montrant que la technique laser pouvait permettre de donner une indication sur la densité mais de manière indirecte (8). Une méthode encore plus récente et prometteuse, utilisant des ondes TeraHertz pour réaliser des densitométries n'a encore jamais

été considérée par les industriels de la filière bois et leurs fournisseurs de moyens de contrôle en ligne du déroulage. Cette méthode a notamment l'avantage de ne pas utiliser de rayon ionisant (avec de forts risques sanitaires) alors que les moyens actuels mettent en œuvre des faisceaux ionisants (i.e. RX) et ce à des fréquences compatibles avec les cadences industrielles pour les faibles épaisseurs des placages déroulés.

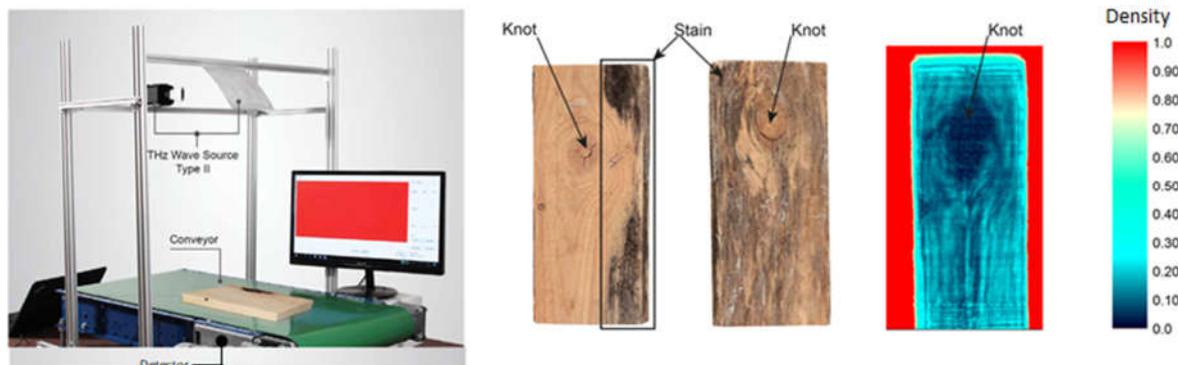


Figure 3 : Scanner de densité TeraHertz appliquée au bois (TeraSense Corp.).

D'autre part, les différences inhérentes à l'orthotropie (considérée comme radiale à l'échelle macroscopique) naturelle du matériau sont telles que la plupart des auteurs déduisent des valeurs des propriétés longitudinales les propriétés dans les autres directions matérielles sans que cela ne nuise à la qualité de la modélisation vis-à-vis des essais réels (souvent sur des poutres massives ou multi-plis en flexion). Ces simplifications, usuelles dans le bois, pourront être considérées afin d'éventuellement réduire le nombre de propriétés à mesurer mais ne seront appliquées qu'après une analyse de sensibilité. Une liste d'essais de caractérisation classiques mais non exhaustive, respectant les normes (si elles existent), peut être avancée et décrite dans les grandes lignes :

- Des essais de traction
- Des essais de cisaillement roulant
- Des essais de flexion 4 points
- Des essais de cisaillement

Tous ces essais seront suivis par corrélation d'images numériques CIN-2D et/ou CIN 3D pour validation des modes d'endommagement inter- et intra-plis dans le multi-ply (contreplaqué) en flexion et potentiellement compression. D'une manière générale, l'introduction de la dispersion dans les modèles avancés composites est peu étudiée. Seul le calcul virtuel des valeurs A et B représentant la dispersion des caractéristiques mécaniques en aéronautique a été analysée récemment via des modèles analytiques (9). Il est à noter que la modélisation « Discret Ply Model » (DPM) permet une prise en compte des défauts de réalisation des composites par son caractère discret. Une autre équipe de l'Institut Clément Ader engagée dans le projet BOOST a développé une expertise dans la mise en œuvre de cette technique de modélisation. Aussi, une autre thèse déjà débutée a pour but d'intégrer les spécificités du matériau bois à ce modèle optimisé pour les composites classiques (non biosourcés). Une troisième thèse est, quand elle, en charge de la partie validation des structures optimisées (données matériaux locales et modèle DPM) pour les applications structurelles de transports notamment par la réalisation d'essais normatifs et d'une crash-box.

## Remerciements

Cette thèse de doctorat est financée dans le cadre du projet ANR-21-CE43-0008-02. Les auteurs remercient également la plate-forme technique Xylomat du réseau scientifique Xylomat financée par l'ANR-10-EQPX-16 XYLOFOREST qui largement été utilisée pour réaliser cette étude.

## Références

- (1) B Castanié, C Bouvet, M Ginot Review of composite sandwich structure in aeronautic applications Composites Part C: Open Access, 100004, 2015  
<https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2020.100004>
- (2) <https://drive-my.com/en/test-drive/item/3893-1966-costin-nathan.html>
- (3) Memento Inventaire Forestier 2019. Institut National de l'Information Géographique et Forestière. 2019. [https://www.ign.fr/sites/default/files/2020-08/memento\\_2019.pdf](https://www.ign.fr/sites/default/files/2020-08/memento_2019.pdf)
- (4) Tropix Peuplier et Hêtre. Base de données de caractéristiques technologiques de 245 essences forestières tropicales et tempérées, 2015, Cirad Eds. doi:10.18167/74726F706978
- (5) Hankinson, R. L., 1921, Investigation of crushing strength of spruce at varying angles of grain, Air Force Information Circular No. 259, U. S. Air Service.
- (6) Frayssinhes, R. Optimisation des paramètres de déroulage du douglas et modélisation des propriétés mécaniques de panneaux de LVL intégrant les données sylvicoles. Thèse Arts et Métiers campus de Cluny. Décembre 2020. <https://pastel.archives-ouvertes.fr/tel-03132767>
- (7) Viguier, J., Marcon, B., Girardon, S., Denaud, L. Effect of forestry management and veneer defects identified by X-ray analysis on mechanical properties of laminated veneer lumber beams made of beech. BioResources, 2017, 12(3), pp. 6122–6133
- (8) Purba, C.Y.C., Viguier, J., Denaud, L., Marcon, B. Contactless moisture content measurement on green veneer based on laser light scattering patterns. Wood Science and Technology, 2020, 54(4), pp. 891–906
- (9) Virtual calculation of the B-value allowables of notched composite laminates, Composite Structures, Composite Structures Volume 212, 15 March 2019, Pages 11-21.