

Vers une meilleure compréhension des performances mécaniques et de la durabilité des bois pour la mobilité

HOUNGBEGNON Riccardo¹, XAVIER José², CASTANIE Bruno³,
MOUTOU PITTI Rostand^{1,4}

¹Université Clermont Auvergne, CNRS, Clermont Auvergne INP, Institut Pascal, 63000 Clermont-Ferrand, France

²UNIDEMI, Department of Mechanical and Industrial Engineering, NOVA School of Science and Technology, Universidade NOVA de Lisboa, Campus da Caparica, Caparica 2829-516, Portugal

³Institut Clément Ader (ICA), Université de Toulouse, CNRS, IMT Mines Albi, INSA Toulouse, ISAE-SUPAERO, UPS, Toulouse, France

⁴CENAREST, IRT, BP 14070, Libreville, Gabon
riccardohoungbegnon@gmail.com

Mots clefs : Mobilité ; modification du bois ; fabrication additive ; comportement mécanique ; durabilité.

Contexte et objectifs

Les structures pour la mobilité telles que les véhicules autonomes terrestres, spatiaux ou encore aéronautiques (Castanié et al 2024) sont constamment soumises à des charges mécaniques et environnementales complexes. A titre d'exemple, la NASA et l'Agence aérospatiale japonaise (JAXA) ont lancé le premier satellite en bois (LignoSat) en orbite terrestre en été 2024 (Doi 2022). Ce satellite innovant est fabriqué en bois de magnolia, bois sélectionné après une première campagne expérimentale dans la station spatiale internationale, au cours de laquelle différentes essences ont été soumises aux conditions du vide spatial en orbite basse. Le choix du bois comme matériau se justifie par le fait qu'il se dégrade sans particules polluantes lorsqu'il rentre dans l'atmosphère. L'utilisation du bois permet à terme de contenir la pollution spatiale générée par les débris de matériaux non biodégradables autour de notre planète. Toutefois, ses propriétés intrinsèques – anisotropie, variabilité, sensibilité à l'humidité, aux UV ou aux attaques biologiques – ont historiquement limité son emploi à des composants secondaires. L'émergence de nouvelles technologies de modification du bois peut considérablement pallier les insuffisances du bois naturel. Des traitements thermiques, chimiques, ou encore la densification du bois, sont aujourd'hui des procédés utilisés afin d'améliorer les caractéristiques mécaniques, ainsi que la durabilité du bois (Hill 2006, Sandberg et al 2017). Parallèlement, l'essor de la fabrication additive de composites bois-polymères à base de PLA et de fibres lignocellulosiques ouvre de nouvelles voies pour l'impression 3D de structures légères, à géométries complexes. Par ailleurs, bien que la fabrication additive à base de bois représente une voie prometteuse pour produire des pièces légères et écologiques, potentiellement utilisables en mobilité, les travaux restent embryonnaires concernant la durabilité mécanique de ces matériaux imprimés (Zhaozhe et al 2021).

Ce travail vise donc à étudier le comportement mécanique et à améliorer la durabilité du bois et des produits bois (bois massif, bois traité, matériaux d'impression 3D à base de bois) sous des charges THVM (Thermo-hydro-visco-mécaniques) couplées à la rupture bidimensionnelle (2D) et tridimensionnelle (3D) dans les structures pour la mobilité.

Matériaux et méthodes

Dans le cadre de ce travail, nous allons dans un premier temps constituer une base de données des essences de bois utilisées et potentiellement utilisables dans divers usages de mobilité (véhicules terrestres, satellites, avions, etc.). Cette sélection sera faite suivant des critères de densité, origine, disponibilité, module d'élasticité, résistances en flexion, compression, cisaillement, utilisation passée, etc. Trois groupes d'échantillons seront par la suite constitués : des échantillons de bois naturel, des échantillons obtenus suite au traitement des essences sélectionnées, puis des échantillons issus de la fabrication additive à base du bois des essences sélectionnées. Ces trois groupes d'échantillons seront soumis à des essais de fatigue, de vibration, de chocs, dynamiques et de fissuration 2D/3D sous variations thermo-hydro-visco-mécaniques, afin de caractériser les performances et la durabilité des matériaux dans des conditions proches de l'usage réel en mobilité. Les charges climatiques sont les gradients de température, la tenue à très basse température en cryostat, l'influence de l'humidité relative résiduelle et interne. Les sollicitations mécaniques concernent la viscoélasticité (relaxation, fluage), la rupture, les sollicitations de fatigue, dynamiques (ou sismiques), les chocs divers. Enfin, une modélisation numérique du comportement mécanique et fissurant de ces bois sous sollicitations complexes sera proposée et les résultats simulés seront confrontés aux données expérimentales dans la perspective de prédictions à long terme des performances des structures bois pour la mobilité.

Résultats attendus

À la lumière des premiers résultats issus de l'étude, le comportement mécanique de plusieurs essences européennes et tropicales, sélectionnées pour leur potentiel d'utilisation dans les structures pour la mobilité, sera caractérisé sous sollicitations mécaniques et dynamiques. Les essais permettront d'évaluer leur sensibilité à la fatigue, leur résistance aux chocs, ainsi que la propagation de fissures en conditions 2D et 3D. Une comparaison systématique sera réalisée entre les bois modifiés et non modifiés, afin de mieux comprendre l'impact du traitement sur la durabilité mécanique. Parallèlement, des éprouvettes produites par fabrication additive à base de bois seront testées dans les mêmes conditions, dans le but d'identifier les limites de performance de ces matériaux imprimés et de proposer des pistes d'optimisation pour leur usage en environnement contraignant.

Conclusion

Ce travail aborde les performances mécaniques et la durabilité des bois pour la mobilité. Il permettra de constituer une base de données des essences déjà utilisées et potentiellement utilisables en mobilité avec toutes leurs caractéristiques principales. Le deuxième point particulier est qu'il compare les performances de trois formes de bois soumises à des essais aussi bien mécaniques que dynamiques, ce qui lui apporte un caractère innovant. Enfin, la variation des conditions d'essais (température, humidité, charges répétées) permettra d'obtenir des résultats plus proches des conditions d'usage en mobilité.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier le programme CIT ITPS Cap2025 (UCA) et l'ANR via les projets WoodMob, Emergence et DIAMWOOD pour le soutien apporté à ce travail.

Références

- Castanié B, Peignon A, Marc C, Eyma F, Cantarel A, et al (2024) Wood and Plywood as eco-materials for sustainable mobility: a review. *Composite Structures*, pp.117790. 10.1016/j.compstruct.2023.117790. hal-04337282
- Hill, C A (2006). Wood Modification: Chemical, Thermal and Other. (W. Series, Éd.) Renewable Ressources ISBN-13 978-0-470-02172-9
- Sandberg D, Kutnar A, & Mantanis G (2017). Wood modification technologies - a review. *iForest*, 10, pp. 895-908. doi:10.3832/ifor2380-010
- T. Doi (2022) Lignosat, <https://www.afpbb.com/articles/-/3407072>.
- Zhaozhe Y, Xinhao F, Min Xu, Denis R (2021) Printability and properties of 3D-printed Poplar fiber/Polylactic Acid Biocomposite, *BioRessources* 16(2), 2774-2788