

Analyse probabiliste du comportement élastique de deux essences de bois tropicaux : Influence de la température.

NGUEDJIO Loïc Chrislin^{1,2}, MEZATIO Annabelle Kosguine², DUBOIS Frédéric³,
MOUTOU PITTI Rostand^{1,4}, BLAYSAT Benoit¹, TALLA Pierre Kisito²,
SAUVAT Nicolas¹, GRIL Joseph¹

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

²Unité de Recherche de Mécanique et de Modélisation des Systèmes des Physiques (UR-2MSP) ; Département de Physiques, Faculté des Sciences, Université de Dschang, BP 67, Dschang, Cameroun

³Université de Limoges, GC2D, UR 14477, Egletons, France

⁴CENAREST, IRT, BP14070, Libreville, Gabon

loic.nguedjio@doctorant.uca.fr

Mots clefs : Bois tropical ; comportement élastique ; analyse probabiliste ; modèle de Weibull ; température.

Contexte et objectifs

Le bois est considéré comme un matériau composite dans lequel coexistent de nombreux niveaux d'hétérogénéités à plusieurs échelles, pourvu de défauts, distribués et localisés, de taille plus ou moins importante. Ces hétérogénéités se manifestent par des variations spatiales des caractéristiques physiques et mécaniques du matériau, des variations qui aujourd'hui ne font plus l'ombre d'un doute puisque prouvées expérimentalement (Redjel 2013). En effet, cette constitution intrinsèque du matériau bois a une influence significative sur les paramètres mécaniques et physiques liés à la rigidité des structures en bois. Il convient donc d'associer aux modèles déterministes existants, dédiés à la modélisation du phénomène de rigidité, des approches statistiques et probabilistes qui ont l'avantage de mieux estimer l'importance relative des différentes variabilités influant sur la fiabilité du matériau de construction (Saoud et al 2018). Dans cette étude, une analyse probabiliste de Weibull est utilisée pour tenter de décrire les causes des variabilités observées sur le comportement élastique des essences des bois tropicaux Ayous (*Triplochiton scleroxylon*) et Padouk (*Pterocarpus soyauxii*) de la localité de Gambe dans le centre du Cameroun.

Matériels et méthodes

Modèle probabiliste de Weibull

La distribution de Weibull à deux paramètres utilisés est reconnue dans la littérature pour décrire le comportement élastique et la probabilité de rupture des bois tropicaux (Maache et al 2017). La fonction de densité de probabilité du modèle statistique de Weibull à deux paramètres est définie par l'équation (1) (Djehader et al 2019). L'intégration de cette densité de probabilité donne la fonction de répartition cumulée utilisée comme fonction prédictive du comportement élastique du matériau, comme décrit par l'équation (2) (Barbosa et al 2018) :

$$f(x) = \frac{m}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{m-1} e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^m} \quad (1)$$

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{a}\right)^m} \quad (2)$$

avec, m le module de Weibull traduisant l'inhomogénéité de la taille des défauts et le degré de dispersion, a le paramètre de forme de la distribution et x une variable indépendante. Le paramètre m est déterminé en linéarisant l'équation (2) et en déterminant la pente de la droite obtenue (équation (3)) :

$$\ln(-\ln(1 - F(x))) = m(\ln(x) - \ln(a)) \quad (3)$$

Dans cette étude, la variable utilisée est le module d'Young (MOE) et le taux de rigidité axiale représentée par la fonction de répartition $F(x)$ sera donné par l'expression suivante :

$$F(x) = P_r = \frac{i}{N+1} \quad (4)$$

où i est le rang de l'échantillon testé, après classement par MOE croissant, et N la taille de l'échantillonnage.

Méthode expérimentale

Le module d'élasticité de chacune de nos éprouvettes a été déterminé dans la direction longitudinale des fibres en flexion quatre points. Le dispositif expérimental utilisé est celui de la Fig. 1. Ce dispositif est constitué d'un système de chargement à masses marquées où la contrainte est calculée selon l'équation (5) dans laquelle $l = 320$ mm est la distance entre les appuis, $L = 360$ mm la longueur totale de l'éprouvette et $h = 20$ mm la hauteur de l'éprouvette (NF EN 384), g la pesanteur et m la valeur en kg de la masse utilisée. L'éprouvette se trouve dans une chambre où la température est régulée et maintenue constante à la valeur souhaitée pour un essai donné. Des jauges de déformations collées parallèlement à la direction longitudinale des fibres permettent d'obtenir les déformations de l'éprouvette pour un chargement donnée.

$$\sigma = \frac{3g(L-l)}{2h^3} m \quad (5)$$



Fig.1 : Dispositif expérimental pour la détermination du MOE en fonction de la température.

Pour chacune des deux essences, les éprouvettes ont été testées à des niveaux de température de 25°C, 30°C, 35°C, 40°C, 45°C, 50°C, 60°C, 70°C, 80°C, 90°C et 100°C, respectivement, puis les MOEs calculés en évaluant la pente de la courbe contrainte-déformation correspondante.

Résultats et discussions

La Fig. 2 nous montre les valeurs du paramètre de Weibull. On observe une dispersion des points expérimentaux autour de la ligne de régression linéaire de l'équation de probabilité pour l'Ayous et le Padouk. Les écarts entre les points expérimentaux et la ligne de régression peuvent être attribués à des défauts dans la structure interne des échantillons testés. Selon (Redjel 2017),

la taille de ces défauts influe sur la résistance du bois et peut initier une rupture, contribuant à la dispersion autour de la ligne de régression. Le module de Weibull, qui indique la dispersion, varie de 9,2057 à 15,621 pour l'Ayous et de 3,409 à 6,1503 pour le Padouk. La gamme inférieure des valeurs du module de Weibull pour le Padouk reflète une répartition très variable des défauts entre les échantillons, conduisant à une large dispersion des mesures expérimentales du module d'élasticité (Brito et al 2023). Le module de Weibull plus élevé pour l'Ayous par rapport au Padouk indique une moindre variabilité dans la dispersion des échantillons d'Ayous. Pour les deux espèces, le module de Weibull est inférieur à 20, une valeur de référence dans la littérature indiquant une dispersion variable entre les échantillons. Ces résultats montrent que le comportement élastique du bois présente une variabilité qui peut être décrite efficacement par un modèle probabiliste de Weibull à deux paramètres.

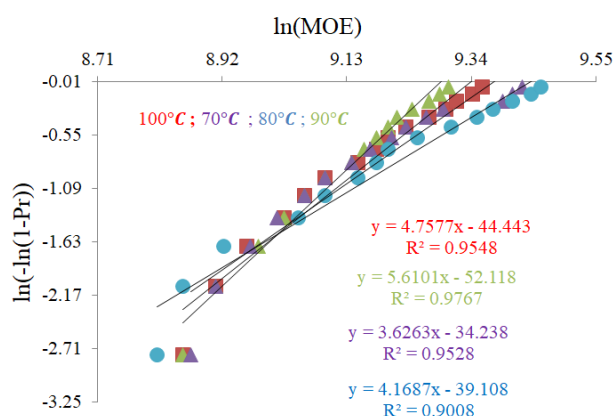


Fig. 2a : Détermination de m : Padouk.

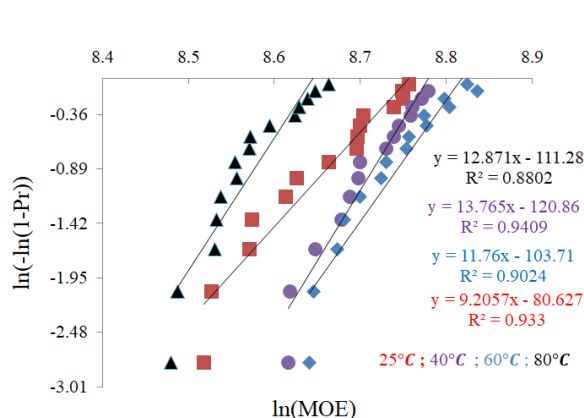


Fig. 2b : Détermination de m : Ayous.

Nous constatons également dans cette étude que le module de Weibull admet une évolution aléatoire par rapport à la température. La température a donc un effet aléatoire sur la dispersion autour de la rigidité axiale de nos échantillons.

Conclusion et perspectives

Dans ce travail, nous avons étudié le comportement élastique de deux essences tropicales de bois, le Padouk et l'Ayous. L'étude s'est appuyée sur une analyse probabiliste de type Weibull à deux paramètres et l'effet de la température a été incluse à travers la détermination du module d'élasticité longitudinal. À l'issue de nos investigations, nous pouvons tirer plusieurs conclusions. La distribution de Weibull à deux paramètres décrit efficacement la nature aléatoire de la variabilité du bois tropical. Il a été observé que l'Ayous présente un module de Weibull plus élevé que celui du Padouk, ce qui suggère une plus grande dispersion des indicateurs de rigidité dans l'Ayous. Cependant, les deux espèces présentent des modules de Weibull inférieurs à 20, indiquant une variabilité dans la dispersion des échantillons. La température a exercé une influence significative sur ces paramètres probabilistes, contribuant à leurs caractéristiques aléatoires. De futures recherches exploreront les effets thermiques sur le comportement de ces essences de bois au-delà de leurs limites élastiques. La modélisation déterministe du comportement couplé fissuration-thermo-viscoélastique permettra de mieux comprendre la complexité du bois, facilitant ainsi la conception de structures en bois plus solides et durables.

Remerciements

Les auteurs remercient l'UR-2MSP de l'Université de Dschang pour avoir fourni les installations de flexion. Les auteurs remercient également l'ANR via le projet ENR PRCE

DIAM-WOOD, le projet Emergence du programme CAP2025 de l'UCA, le projet WoodMob du CIR ITPS CAP 2025 et le projet IEA CNRS 2024 pour le soutien apporté à ce travail.

Références

Barbosa J, Correia J, Junior C, De Jesus A (2018) Improvement of fatigue life estimation of composite materials under constant amplitudes loading, In: Portuguese Conference on Fracture, pages 425–463.

Brito T, Ferreira J, Ferreira G, Da Silva J, Mendonça A, Neto H (2023), Physical and mechanical properties of thermally modified short-rotation wood in a closed system, International Wood Products Journal, 14:1–8.

Djehader D, Redjel B (2019) Effect of water absorption on the Weibull distribution of fatigue test in jute-reinforced polyester composite materials, Advanced Composites Letters, 28 :096369351985383.

Maache M, Abderrezak B, Amroune S, Scarpa F, Dufresne A (2017) Characterization of a novel natural cellulosic fiber from *juncus effusus*, Carbohydrate Polymers, 171 :163–172.

Redjel B (2013), Endommagement et comportement à la rupture au cisaillement de voile de panneau en bois à lamelles orientées OSB sous différents environnements, 21^{ème} Congrès Français de Mécanique, Congrès français de mécanique, Bordeaux, France.

Redjel B (2017) Utilisation du modèle probabiliste de Weibull à la caractérisation de l'aspect aléatoire de la rupture en traction de panneaux en bois à lamelles orientées OSB, 23^{ème} Congrès Français de Mécanique, Congrès français de mécanique, Lille, France.

Saoud A, Abdelhamid E, Khadija K, Ziani M, Matar M, Chergui M (2018) Technological characterization and correlation between mechanical and physical properties of the wood of thuja (*Tectracanalis articulata*) of the Khemissat region in Morocco, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 13:632–637.