

Comparaison des processus de fissuration des bois tropicaux pour la mobilité

HOUNGBEGNON Riccardo^{1,2}, JAILIN Thomas¹, DOKO Valery², BLAYSAT Benoît¹, SAUVAT Nicolas¹, GRIL Joseph¹, RECHO Naman¹, XAVIER José³, DUBOIS Frédéric⁴, MOUTOU PITTI Rostand^{1,5}

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

²Université d'Abomey-Calavi, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Abomey-Calavi, Bénin

³University of Lisboa, Lisbon, Portugal

⁴Université de Limoges, GC2D, 19300, Égletons, France

⁵CENAREST, IRT, BP 14070, Libreville, Gabon

Mahugnon.Riccardo.HOUNGBEGNON@etu.uca.fr

Mots clefs : *Khaya Ivorensis* ; *Magnolia Obovata* ; Méthode de la complaisance ; Analyse Spectrale Localisée ; Mobilité ; Fissuration.

Contexte et objectifs

Il y a quelques années encore, les satellites étaient conçus en utilisant des matériaux comme l'aluminium, le titane, l'acier et les alliages. Mais après leur détérioration quelques décennies plus tard, leurs composants devenaient des débris spatiaux susceptibles de causer des dommages aux stations spatiales encore en activité. Des réflexions ont alors été menées dans le sens de l'utilisation du bois comme matériau de mobilité, de par sa légèreté, sa résistance et sa faculté à se consumer à son entrée dans l'atmosphère (Castané et al 2022). Cela a conduit à la conception du premier satellite en bois de *Magnolia Obovata*, essence Japonaise possédant de bonnes propriétés. Ce travail a pour objectif d'étudier de nouvelles essences pouvant se substituer au *Magnolia Obovata*, en prévision d'une utilisation croissante du bois comme matériau pertinent pour les véhicules. Nous avons donc comparé les processus de fissuration du *Khaya Ivorensis*, essence tropicale africaine peu connue, à ceux du *Magnolia Obovata* en vue d'évaluer leur durabilité face à des charges pouvant s'appliquer aux véhicules mobiles par exemple. Nous nous sommes donc concentrés sur des essais de fissuration en utilisant une méthode nouvelle, efficace dans la détermination des champs de déformations et de déplacements, afin d'évaluer au mieux les caractéristiques de fissuration de ces deux essences.

Matériaux et méthodes

Essences étudiées

Deux essences de bois ont été utilisées pour effectuer les essais de fissuration. Il s'agit de *Magnolia obovata* et de *Khaya Ivorensis*. *Magnolia obovata* utilisé provient du Japon où il a été conservé sous atmosphère tempérée humide. *Khaya ivorensis*, quant à lui, provient du Bénin où le bois d'Acajou d'Afrique a été coupé et séché par voie naturelle sous atmosphère tropicale pendant une période d'un (1) mois. *Khaya ivorensis* a été choisi sur la base des données du CIRAD (1998), notamment sa densité, ses résistances en compression et flexion relativement proches de celles du *Magnolia obovata*, sa dureté, sa stabilité dimensionnelle, mais également sa disponibilité. Notons qu'après acquisition du *Khaya ivorensis*, une différence de densité a été constatée par rapport aux données du CIRAD (500 à 680 kg/m³ pour le CIRAD et 800 kg/m³

pour notre étude). Les planches ont ensuite été découpées en scierie. Quelques propriétés mécaniques des deux essences sont présentées dans le Tab. 1.

Pour réaliser nos essais, nous avons utilisé des éprouvettes de type MMCG (Mixte Mode Crack Growth) modifiées (Fig. 1). L'éprouvette MMCG a été développée par Moutou Pitti (2008), en faisant un harmonieux compromis entre les éprouvettes DCB (Double Cantilever Beam) à inertie variable et CTS (Compact Tension Shear). L'avantage de l'éprouvette MMCG est que la fissure se propage de manière stable après son apparition, contrairement à l'éprouvette CTS. Nos éprouvettes, d'une épaisseur de 12 mm ont été découpées au Laser.

Tab. 1 : Propriétés mécaniques du *Khaya Ivorensis* et du *Magnolia Obovata*

Essences	Densité (kg/m ³)	Dureté	Module d'élasticité longitudinal (MPa)	Contrainte de rupture en flexion statique (MPa)	Contrainte de rupture en compression parallèle (MPa)	Retrait volumique total (%)
<i>Magnolia obovata</i>	550	1,1	7 500 à 10 300	59 à 82	31 à 43	10 à 13
<i>Khaya ivorensis</i>	800	2,4	9 500	85	46	12 à 13

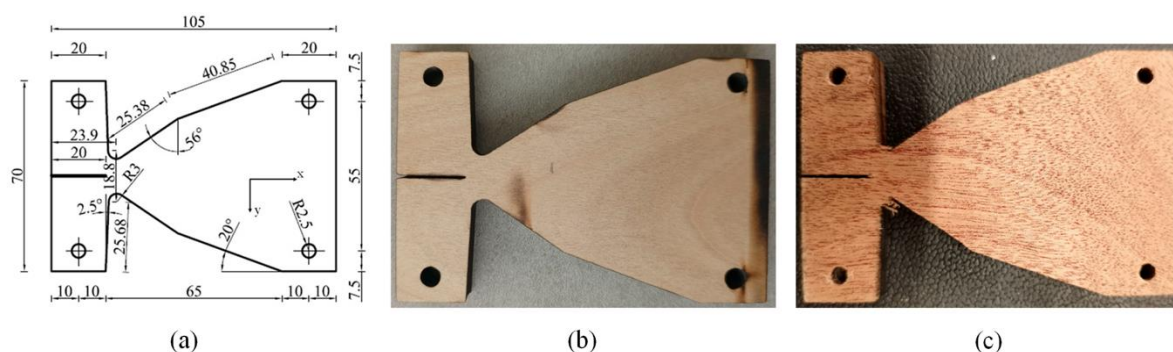


Fig. 1 : Eprouvette MMCG modifiée :(a) géométrie ; (b) *Magnolia Obovata* ; (c) *Khaya ivorensis*

Méthode LSA et Essai de fissuration

L'analyse spectrale localisée est une technique développée pour extraire les champs de déplacement à partir d'images de motifs périodiques tels que les grilles 2D et les damiers, en minimisant le résidu optique dans le domaine de Fourier (Blaysat et al 2024). Pour réaliser les essais, un système Arcan en acier a été utilisé (Odounga 2018). Sa forme révèle un espace au milieu afin que le motif en damier gravé sur les spécimens soit visible et adapté à tous les modes de sollicitation, y compris le mode mixte avec ses différents angles de sollicitation (voir Fig. 2a). Une machine de traction-compression Zwick/Roel d'une capacité de 200 kN, représentée sur la Fig. 2b, a été utilisée pour réaliser les essais. Deux caméras (une de chaque côté du système) montées sur des trépieds ont permis de photographier le damier pendant les essais.

Résultats

L'utilisation de deux caméras au cours des essais nous a permis de voir l'évolution de la fissure sur les deux faces de l'éprouvette. Nous notons des valeurs d'allongement de fissures légèrement plus élevées au niveau de la CAM1, d'une part en raison de la différence de résolution entre les deux caméras et d'autre part, en raison de la distance séparant chacune d'elle de l'éprouvette (70 cm pour la CAM1 et 20 cm pour la CAM2). La différence reste tout de même relativement faible (exemple de l'éprouvette K1P23 au tableau 2) avec une moyenne de 5 %.

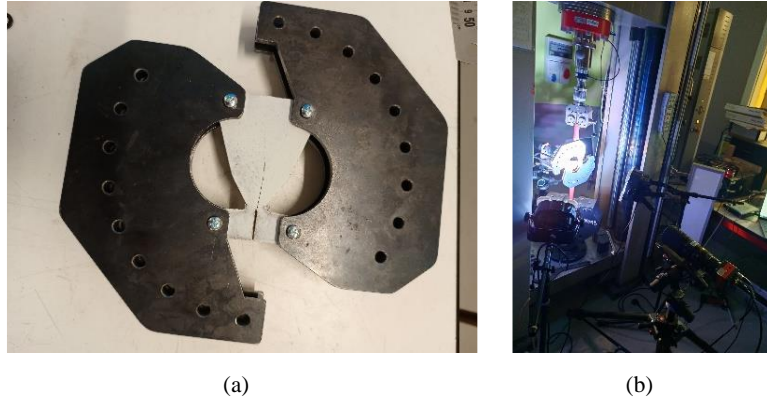


Fig. 2 : (a) Système Arcan ; (b) Dispositif expérimental

Tab. 2 : Comparaison des valeurs de Δa données par les CAM 1 et 2 pour l'éprouvette K1P23

Eprouvettes	Temps (s)	F_c (N)	Δa (mm)		Différence (%)	Moyenne (%)
			CAM 1	CAM 2		
K1P23	522	291	28,39	27,75	2	5
	557	320	31,41	28,41	11	
	625	366	32,82	31,67	4	
	968	535	51,06	49,29	4	
	1107	550	63,18	60,90	4	

Le calcul du taux de restitution d'énergie a été effectué par la méthode la complaisance en déplacement imposé, donné par la formule de Griffith :

$$G = \frac{F^2}{2b} \left(\frac{\Delta C}{\Delta a} \right)_d$$

avec F la force ayant causé une avancée de la fissure, ΔC la complaisance, Δa l'incrément de fissure, et b l'épaisseur de l'éprouvette.

Ainsi, en mode d'ouverture de fissure, nous obtenons les courbes du taux de restitution d'énergie en fonction de l'avancée de fissure pour les essences de *Khaya ivorensis* et de *Magnolia obovata* (Fig. 3).

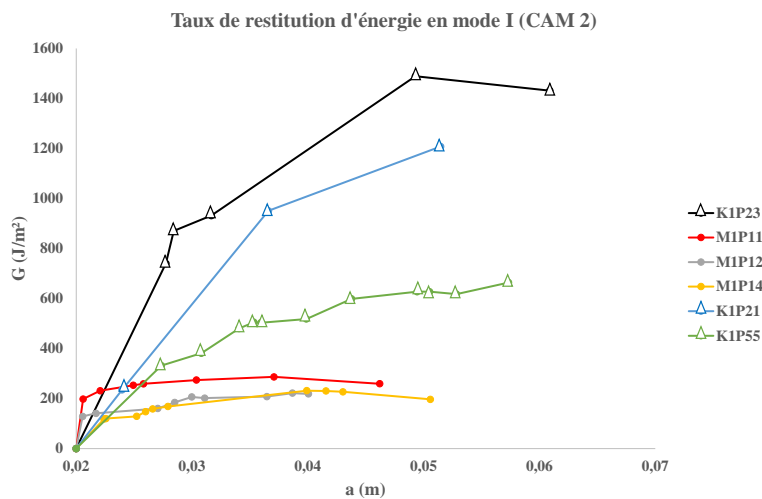


Fig. 3 : Taux de restitution d'énergie en fonction de l'avancée de fissure

La densité ainsi que l'humidité des éprouvettes testées a été mesurée lors des essais. Elles sont reportées dans le tableau ci-après :

Tab. 3 : Densité et humidité des éprouvettes testées

Eprouvettes	M1P11	M1P12	M1P14	K1P21	K1P23	K1P55
Densité (kg/m ³)	555	545	550	790	790	785
Humidité (%)	12	12	12	13	13	13

Conclusion

Les essais de fissuration réalisés sur les essences de *Khaya ivorensis* et de *Magnolia obovata* montrent de belles performances en résistance à la fissuration, surtout pour le *Khaya ivorensis*, et cohérentes avec les densités. L'utilisation de *Khaya ivorensis* comme matériau de mobilité serait une grande valorisation de cette essence peu connue et contribuerait à la diffusion de la culture des bois tropicaux dans le monde entier. Le calcul des paramètres de fissuration avec prise en compte de la variation d'humidité et de température, ainsi que l'évaluation de l'impact du vieillissement et du stress répété sur la durabilité de *Khaya ivorensis*, constituent des perspectives à ce travail.

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

- Blaysat B, Sur F, Jailin T, Vinel A, Grédiac M (2024) Open LSA : une boîte à outils à code source ouvert pour le calcul des déplacements plein champ à partir d'images de motifs périodiques, *SoftwareX*, 1-17, doi : 10.2139/ssrn.4784553.
- Castané B, Bouvet C, Serra J, Eyma F, Cantarel A (2022) Le bois, un matériau pour la mobilité durable ?, 2^{ème} Conférence sur les Eco-Matériaux en Afrique, 1-4.
- Moutou Pitti R (2008) Découplage de la rupture en mode mixte dans les matériaux viscoélastiques orthotropes : Modélisation et expérimentation, thèse de l'Université de Limoges, 162 p.
- Odounga B (2018) Étude de la fissuration des bois tropicaux par mesures des champs, thèse de l'Université Clermont Auvergne, 207 p.
- Gérard J, Edi Kouassi A, Daigremont C, Détienne P, Fouquet D, Vernay M (1998) Synthèse sur les caractéristiques technologiques de référence des principaux bois commerciaux africains, CIRAD-Forêt, 18-21.