

# SUR LA FISSURATION DE BOIS MASSIF RECONSTITUES D'ORIGINE TROPICALES

CH. NDONG BIDZO<sup>a</sup>, R. MOUTOU PITTI<sup>b,c</sup>, S. IKOGOUC<sup>c</sup>, B. KAISER<sup>d</sup>

a. Ecole Nationale des Eaux et Forêts, LaReVa Bois, Libreville, Gabon  
ndonghorphe@gmail.com

b. Université Clermont Auvergne, CNRS, SIGMA Clermont, Institut Pascal, Clermont-  
Ferrand, France, rostand.moutou\_pitti@uca.fr

c. CENAREST, IRT, Libreville, Gabon, rostand.moutou\_pitti@uca.fr

d. Ecole Polytechnique de Masuku, Franceville, Gabon, ikogosamuel@yahoo.fr

e. Ecowood S.A, Zone Industriel des Acaé, Libreville, Gabon, beat.kaiser@ecowoo.ch

## Résumé :

*Ce travail présente l'étude de la fissuration de Bois Massif Reconstitués (BMR) TRIO et DUO multi essences d'origine tropicale, l'adhésif utilisé est au phénol. Des essences tropicales disponibles et peu exploitées au Gabon ont été utilisées, il s'agit de : Staustia kamernesis (Niové), Dacryodes buettneri (Ozigo) et Pterocarpus osun (Padouk). Une première étude a montré qu'en combinant astucieusement ces trois essences, les BMR obtenus présentent des résistances mécaniques satisfaisantes moyennant l'influence des fissures initiales Le taux de restitution d'énergie critique et la ténacité ont donc été calculés sur des éprouvettes de types Single Edge Notched Bending selon la norme ISO 12135. Le dispositif expérimental est composé d'une presse de flexion trois point aidé d'un extensomètre afin de suivre l'ouverture de la fissure en fonction la force appliquée. Les résultats montrent une dépendance de la résistance à la fissuration du BRM en fonction de la densité et de la disposition de chaque essence dans la composition de celui-ci.*

## Abstract:

*This work presents the cracking of Glued Solid Timber (GST) Trio and Duo obtained with multi species of tropical origin and glued by phenol adhesive. Available and underexploited tropical species in Gabon have been used: staustia kamernesis (Niové), dacryodes Buettneri (Ozigo) and pterocarpus osun (padouk). A first study showed that by combining these three species, the composite GST obtained show satisfactory mechanical resistance compared to the influence of the initial cracks. The rate of the critical energy release rate and the toughness were therefore calculated on single edge notched bending test specimens according to ISO 12135 requirement. The experimental device consists of a three-point bending press aided by an extensometer in order to follow the opening of the crack according to the force applied. The results show a dependency of the BRM crack resistance as a function of the density and the disposition of each species in the composition of the latter.*

**Mots clefs : Bois tropicaux, Bois Massif Reconstitué, Fissuration en mode I, taux de restitution d'énergie et Ténacité.**

# 1 Introduction

La stabilisation des effets environnementaux, néfastes pour notre environnement, passe aujourd'hui par la préservation des forêts tropicales comme celle du Gabon dans le bassin du Congo qui constitue un des véritables poumons de la planète. L'une des solutions consiste à maximiser la résistance mécanique des essences actuellement débitées en incorporant celles de moindre qualité dans les structures en Bois Massifs Reconstitués (BMR) de façon à pérenniser les structures en services. Cette technique déjà utilisée par Guiscafre [1] permet de minimiser les pertes dus au sciage, de maximiser la résistance mécanique des éléments structuraux obtenus et de maîtriser, par conséquent, les coûts de la construction en bois jugés encore élevés au regard des immenses ressources forestières dont dispose le pays.

Ces éléments composites à base de bois sont majoritairement utilisés dans les pays tempérés dans les constructions de grandes structures notamment ; cependant, on déplore un manque d'informations concernant le comportement mécanique des BMR et BLC fabriqués à partir des bois tropicaux [2]. En effet, les normes actuelles sont rédigées seulement pour des essences résineuses et les recommandations de conception et de fabrication sont basées essentiellement sur des tests expérimentaux réalisés sur des bois résineux [3] et en environnement tempérés. Cependant, le comportement mécanique des essences tropicales, et particulièrement le comportement à la fissuration, reste mal étudié dans la littérature du domaine concerné [4].

C'est dans ce sens qu'une étude expérimentale visant à déterminer les caractéristiques mécaniques de poutrelles BMR à partir de trois essences de bois tropicaux a été réalisée. Ce travail est effectué au sein de l'entreprise ECOWOOD SA à Libreville au Gabon et l'adhésif utilisé est au phénol, résistant aux environnements tropicaux sévères (forte humidité relative, forte hygrométrie et température  $> 30^\circ$  en moyenne). Des essais de résistance en flexion trois points ont été réalisés dans un premier temps sur des poutrelles sans défauts selon la norme EN 408 [5] et ensuite sur des éprouvettes de type Single Edge Notched Bending selon la norme (SENB) ISO 12135 avec des fissures initiales usinées en parties basse. Les éprouvettes de types TRIO, obtenues en combinant les essences de *Staustia kamernesis* (Niové), de *Dacryodes buettneri* (Ozigo) et de *Pterocarpus osun* (Padouk), sont testées sur un banc d'essai de flexion trois points. Les paramètres de rupture comme la ténacité et le taux de restitution d'énergie critique sont calculés pour deux types de configuration. D'autres parts, les résultats ont montré que les poutrelles BMR TRIO de Niové/Ozigo/Niové sont de classes GL 32h et présentent des résistances mécaniques satisfaisantes moyennant l'influence des fissures initiales et leur évolution.

## 2 Matériaux et méthodes

### 2.1 Matériel

Les poutrelles composant le BMR ont été préalablement confectionnées en combinant trois essences (Ozigo, Padouk et Niové). Leurs caractéristiques sont indiquées dans le tableau 1 et on notera que l'adhésif utilisé pour le collage du BRM est au phénol.

Tableau. 1 Caractéristiques mécaniques des essences étudiées [CIR 11]

Essences	Densité	Module de rupture (MPa)	Module d'élasticité (MPa)
Ozigo	0,59	91	13820
Padouk	0,79	116	15870
Niové	0,88	151	18510

Afin d'identifier correctement les éprouvettes pendant toute l'étude, une notation spécifique a été utilisée pour chaque éprouvettes testées. Les différentes notations sont décrites dans le tableau 2.

Tableau 2. Notion utilisée pour l'étude

Configurations	Configuration 1	Configuration 2
Eprouvette 1	Pdk-Oz-Pdk1	Oz-Oz-Ni1
Eprouvette 2	Pdk-Oz-Pdk2	Oz-Oz-Ni2
Eprouvette 3	Pdk-Oz-Pdk3	Oz-Oz-Ni3

La figure 1 (a) présente une schématisation des BMR TRIO utilisés pour ce type d'essais tandis que les Figures 1 (b) et (c) traduisent respectivement les configurations TRIO Oz-Oz-Pdk et Oz-Oz-Ni considérées pour les essais. Les éprouvettes ont été prélevées sur deux types configurations BMR et ramenées aux dimensions  $60 \times 30 \times 260 \text{ mm}^3$  avec une entaille  $a = 10 \text{ mm}$  perpendiculaire aux fibres. Les éprouvettes ont été testées avec une humidité interne moyenne de 14% pour l'Ozigo, 12,5% pour le Padouk et 13,3% pour le Niové. Les essais ont été effectués dans une salle avec une humidité relative de 54,2% et de température ambiante de  $28^\circ \text{ C}$ .

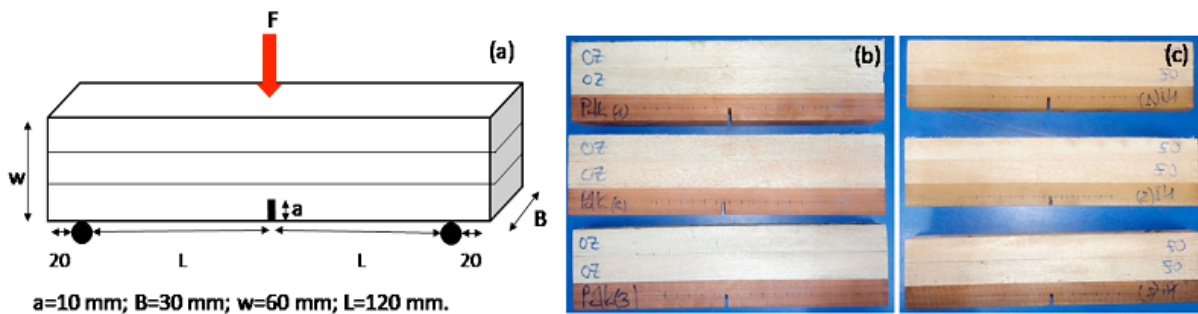


Figure.1 Eprouvette SENB. (a) : Dimensions, (b) : Eprouvettes Oz-Oz-Pdk, (c) : Eprouvettes Oz-Oz-Ni

## 2.2 Méthodes

Le dispositif expérimental est représenté sur la figure 2. Les éprouvettes SENB ont été testées sur un banc de d'essai de flexion 3 points United Testing Machine avec une cellule de charge maximale de 100 kN et piloté avec le logiciel Datum 5.0. L'ouverture de l'entaille est mesurée avec un extensomètre Epsilon. Ainsi nous avons pu récupérer l'allure de la courbe force-ouverture de l'entaille.

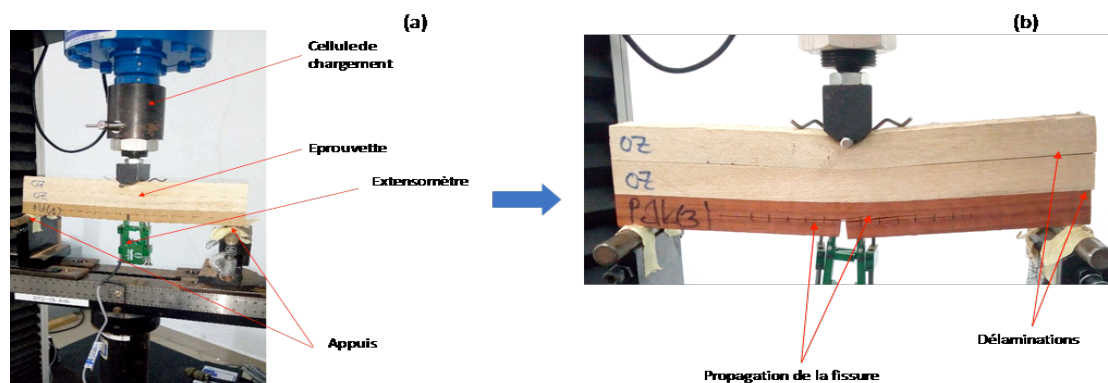


Figure 2. (a) : Dispositif expérimental, (b) : Eprouvette à la rupture

### 3 Résultats expérimentaux

#### 3.1 Courbes forces-ouverture de fissure

Les figure 3 (a) et (b) montrent l'évolution de la force en fonction de l'ouverture de la fissure des éprouvettes Oz-Oz-Pdk3 et Oz-Oz-Ni1 conformément au protocole décrit dans la section 2.

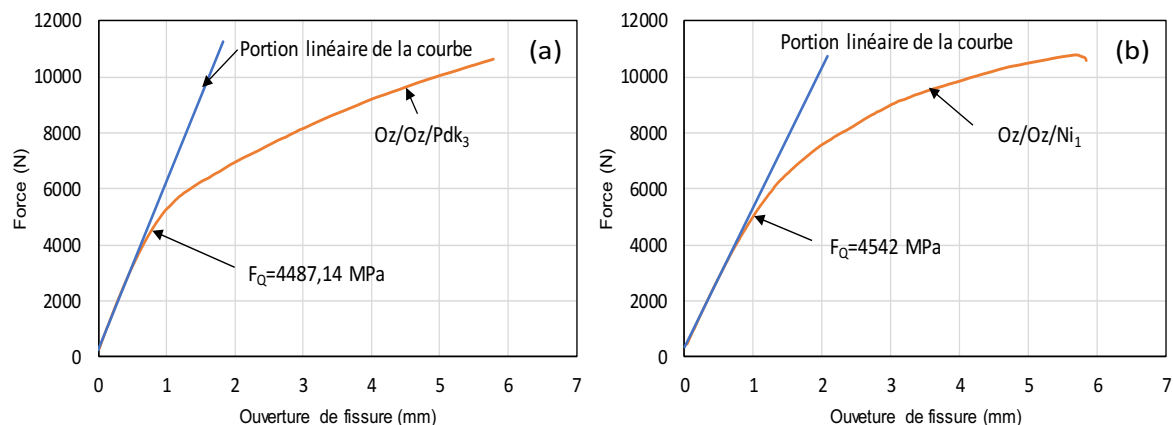


Figure 3. Courbes force-ouverture de fissure, (a) : Oz-Oz-Pdk3, (b) : Oz-Oz-Ni1

La force conventionnelle de début de propagation de fissure  $F_Q$  est l'intersection de la droite dont la pente est inférieure à 5% de la portion rectiligne avec la courbe force-ouverture enregistrée [6]. L'analyse de toutes les courbes force-ouverture de fissure nous a permis d'établir que  $F_Q$  moyen pour les éprouvettes de Oz-Oz-Pdk (5489,33 MPa) est inférieure à celles des éprouvettes de Oz-Oz-Ni (6927,33 MPa).

On observe néanmoins une rupture adhésive au niveau des joints de colles entre l'Ozigo et le Padouk lors du chargement des éprouvettes Oz-Oz-Pdk2-3, comme le montre la figure 4 (a).

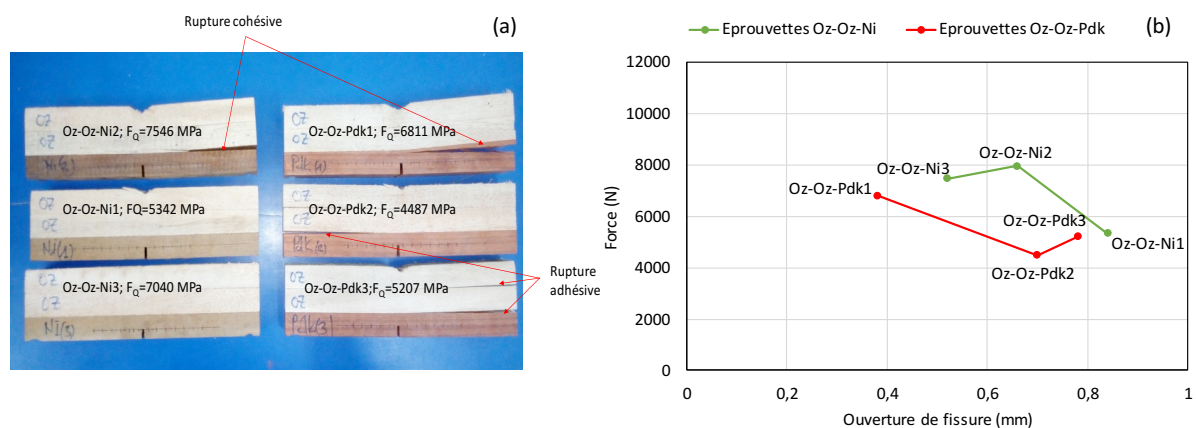


Figure 4. (a) : Eprouvettes après rupture associées à leur force conventionnelle, (b) : Dispersion des éprouvettes en fonction de la force conventionnelle et l'ouverture de fissure

#### 3.2 Calcul de la ténacité et du taux de restitution

Le calcul de la ténacité  $K_{Ic}$  et du taux de restitution d'énergie critique  $G_{Ic}$  s'est fait selon les recommandations de la norme ISO 12135 en utilisant respectivement les équations (1) et (2) suivantes :

$$K_{ic} = \frac{2LFQ}{Bw^{1,5}} g\left(\frac{a}{w}\right) \quad (1)$$

$$\text{avec } g\left(\frac{a}{w}\right) = \frac{3\left(\frac{a}{w}\right)^{0,5} \left[1,99 - \frac{a}{w} \left(1 - \frac{a}{w}\right) \left(2,15 - 3,93 \frac{a}{w} + 2,7 \frac{a^2}{w^2}\right)\right]}{2\left(1 + 2 \frac{a}{w}\right) \left(1 - \frac{a}{w}\right)^{1,5}};$$

$$G_{ic} = \frac{K_{ic}^2}{E} \quad (2)$$

Où  $g$  est une fonction liée à la géométrie de l'éprouvette et  $E$  le module d'élasticité longitudinale des essences testées.

Le module d'élasticité utilisé pour le calcul du taux de restitution d'énergie critique est celui de la lamelle où l'entaille a été faite. Le Tableau 3 montre les valeurs de la ténacité et du taux de restitution d'énergie critique pour une fissure initiale de 10 mm. Il ressort que la résistance à la fissuration pour les éprouvettes Oz-Oz-Ni ( $K_{ic}=3,64 \text{ MPa.m}^{0,5}$ ;  $G_{ic}=855,2 \text{ J/m}^2$ ), sont supérieurs à ceux des éprouvettes Oz-Oz-Pdk ( $K_{ic}=2,74 \text{ MPa.m}^{0,5}$ ;  $G_{ic}=494 \text{ J/m}^2$ ). Cela s'explique sans doute par le comportement quasi fragile à la rupture du Padouk observé pendant les essais sur l'ensemble des éprouvettes malgré sa rigidité élevée. Ce résultat doit être confirmé par un plus grand nombre d'essais sur les BRM et rapporté à la résistance à la fissuration de chaque lamelle isolée.

Tableau 3. Valeurs de la ténacité et du taux de restitution d'énergie des éprouvettes testées

Eprouvettes	$K_{ic}$ (MPa.m <sup>0,5</sup> )	$G_{ic}$ (J/m <sup>2</sup> )
Oz-Oz-Pdk1	3,28	691,7
Oz-Oz-Pdk2	2,61	437
Oz-Oz-Pdk3	2,34	353
<b>Moyenne</b>	<b>2,74</b>	<b>494</b>
<b>Ecart-type</b>	<b>0,48</b>	<b>176</b>
Oz-Oz-Ni1	3,5	785,7
Oz-Oz-Ni2	3,96	1000,8
Oz-Oz-Ni3	3,47	772,1
<b>Moyenne</b>	<b>3,64</b>	<b>855,2</b>
<b>Ecart-type</b>	<b>0,27</b>	<b>132</b>

## 4 Conclusion

En définitif, des essais de fissuration en mode I ont été effectués sur des éprouvettes de type Single Edge Notched Bending (SENB) constituées par collage de trois essences tropicales avec du phénol. Cette étude avait pour but de déterminer les paramètres de rupture tels que la ténacité et le taux de restitution d'énergie critique, afin comprendre le comportement à la fissuration des poutres en bois massif reconstitués multi essences d'origine tropicale. Les résultats ont montré que ces paramètres de rupture dépendent de la densité [7] de la lamelle où l'entaille a été initiée (plus la densité est élevée, plus la ténacité est élevée) moyennant le comportement quasi-fragile de celle-ci. Ces résultats sont proportionnels aux valeurs du module d'élasticité des poutres sans entailles de Oz-Ni (12476 MPa) et Oz-Pdk (11013 MPa) obtenues lors d'une étude précédente. On retient également l'influence de la résistance de joint de colle sur la ténacité et le taux de restitution d'énergie critique des poutres BMR munis des fissures initiales.

## Références

- [1] Guiscafre J., Sales C. Possibilités de collage en mélange de plusieurs espèces africaine « Bois rouge », Revue Bois et Forêts des tropiques, n°175 Septembre-Octobre 1977
- [2] Ricardo F. et al, Theoretical and experimental deflections of glued laminated timber beams made from a tropical hardwood, Wood Material Science and Engineering. 8, 8994. 2013.
- [3] Tran VD. Caractérisation et modélisation numérique des poutres en Bois Massif Reconstitué (BMR) réalisées avec une essence locale feuillue, Thèse, Université de Lorraine, 2014
- [4] Odounga B., Moutou Pitti R., Toussaint E., Grédiac M. Mode I fracture of tropical woods using grid method, Theoretical and Applied Fracture Mechanics 95, 1-17, 2018
- [5] Agence Française de normalization, Structures en bois - Bois de structure et bois lamellé-collé - Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques », Norme EN 408, *Edition AFNOR*, 2009.
- [6] International Standard Normalisation, Matériaux métalliques. Méthode unifiée d'essai pour la détermination de la ténacité quasi statique, ISO 1235, 2002
- [7] Odounga B., Moutou Pitti R., Toussaint E., Grédiac M., Mixed mode fracture of some tropical species with the grid method, Engineering Fracture Mechanics, 2019.