

# Evolution spatiotemporelle des caractéristiques mécaniques du bois d'Ozigo en climat extérieur non abrité

V. NSOUAMI<sup>a</sup>, N. MANFOUMBI<sup>b</sup>, E. BASTIDAS-ARTEAGA<sup>c</sup>,  
R. MOUTOU PITTI<sup>d, e</sup>.

a. Ecole Normale Supérieure de l'Enseignement Technique, Libreville, Gabon,  
nsouamijeanj@gmail.com

b. Université des Sciences et Techniques de Masuku, Franceville, Gabon

c. UBL, Université de Nantes, GeM, CNRS UMR 6183, Nantes, France

d. Université Clermont Auvergne, CNRS, SIGMA Clermont, Institut Pascal, Clermont-Ferrand, France

e. CENAREST, IRT, Libreville, Gabon

## Résumé :

*Ce travail présente l'évolution spatiotemporelle des caractéristiques mécaniques des poutre de bois d'Ozigo (*Dacryodes buettneri*) soumises à neuf ans de fluage en climat tropical extérieur non abrité. Ces poutres ont été sciées en neuf tronçons de 340 mm de longueur et subdivisées en trois portions dans le sens de la hauteur (haut, médian et bas). De chaque portion, on extrait deux éprouvettes de flexion, deux de traction et quatre de compression. La présente étude porte sur les 108 éprouvettes de compression de section 20 x 20 mm<sup>2</sup> pour 120 mm de long. Les essais de compression longitudinale ont permis d'obtenir le module d'élasticité et la contrainte de rupture. On observe une diminution de la rigidité de l'ordre de 60 % et 56 % de la contrainte due aux effets combinés du chargement mécanique et des variations environnementales. Ce travail met en lumière les effets thermo-visco-hygro-mécaniques sur une structure en bois exposée dans un environnement tropical extérieur non abrité.*

## Abstract:

*This work presents the spatiotemporal evolution of the mechanical characteristics of the Ozigo wood beam (*Dacryodes buettneri*) subjected to nine years of creep in an unsheltered outdoor tropical climate. These beams were sawn into nine sections of 340 mm in length and subdivided into three portions in the direction of height (upper, middle and lower). From each portion, two flexural, two tensile and four compression specimens were extracted. The present study concerns the 108 compression test pieces with a cross-section of 20 x 20 mm<sup>2</sup> and a length of 120 mm. Longitudinal compression tests yielded the modulus of elasticity and failure stress. There is a decrease in stiffness of about 60% and 56% of the stress due to the combined effects of mechanical loading and environmental variations. This work highlights the thermo-visco-hygro-mechanical effects on a wooden structure exposed in an unsheltered outdoor tropical environment.*

## **Mots clefs : Evolution spatiotemporelle, Caractéristiques mécaniques, *Dacryodes buettneri***

### **1 Introduction**

Les forêts denses-humides du bassin du Congo couvrent environ 2 millions de kilomètres carrés [1]. La forêt Gabonaise qui fait partie des forêts du Bassin du Congo regorge plus de 8000 espèces de bois dont 75 sont exploitées [2] [3]. Cette forêt est riche en plusieurs essences dont l'Okoumé et Ozigo (espèces endémiques), l'Azobé, le Bilinga, le Moabi, le Movingui, le Padouk (Mbel) et le Sapelli pour ne citer que ceux-là. Saisonnièrement, ces essences sont soumises aux variations climatiques notamment une humidité relative de plus de 80%, une température variant entre 21 et 28°C en moyenne dans l'année, des précipitations autour de 2000 à 3800 mm/an et une hygrométrie variant entre 80 et 88%. Selon le Centre d'Echange d'Informations du Gabon [4], le climat gabonais peut être divisé en deux saisons sèches et deux saisons des pluies.

Eu égard à l'intérêt porté sur la valorisation des essences tropicales, à la transformation locale en produits finis et à la promotion de cette ressource dans la construction des ouvrages en bois, l'étude du comportement mécanique des bois tropicaux dans leur environnement revêt un caractère essentiel et indispensable. Aussi, la prédiction des réponses structurales et l'estimation de la durabilité des ouvrages en bois tropicaux soumis à des chargements thermo-hygro-mécaniques [5, 6] sont des objectifs poursuivis pour une utilisation efficiente de ces essences. La présente étude s'intéresse à l'évolution spatiotemporelle des caractéristiques mécaniques du bois d'Ozigo en climat extérieur non abrité en milieu tropical. L'objectif à long terme de ce travail est d'évaluer l'influence de la variabilité spatiale des paramètres physico-mécaniques (module d'élasticité, contrainte de rupture en compression, ...) dans la réponse structurale pour garantir la longévité des structures en bois. Dans cette étude, il est présenté une partie des résultats expérimentaux de la variabilité spatiale des paramètres mécaniques des poutres en bois tropicaux.

### **2 Matériaux et méthodes**

#### **2.1 Protocole et dispositif expérimental**

Le dispositif expérimental utilisé pour les essais de compression est une presse hydraulique « United testing systems machine » de la série N° 0314523, dont la capacité de charge maximale est de 100 kN et d'un ordinateur équipé d'un système d'acquisition de données géré par le logiciel Datum 5.0. Cette presse est dans une salle équipée d'un système de climatisation avec une humidité relative de 41% et une température 25°C. Le banc d'essai est constitué de deux plateaux (mobile et fixe) et équipé également d'un extensomètre (positionné à mi-travée de l'éprouvette) pour mesurer le raccourcissement de l'éprouvette. Cet extensomètre est relié à la machine par une fiche qui transmet les valeurs du raccourcissement à la centrale d'acquisition de données. Le plateau sphérique mobile descend par incrémentation sur l'éprouvette jusqu'à la rupture de celle-ci. Le prélèvement des humidités internes des éprouvettes (environ 12%) a été effectué par un hygromètre à pointes après chaque essai de compression. Enfin, les paramètres du laboratoire ont été relevés par un thermo-hygromètre pendant chaque essai.

#### **2.2 Matériaux bois**

Les poutres (89 x 176 x 3090 mm<sup>3</sup>) ont été sciées en neuf tronçons de 340 mm de long. Les tronçons sont également subdivisés en trois portions dans le sens de la hauteur (haute, médiane et basse), Fig. 1c. De chaque portion, on extrait deux éprouvettes de flexion, deux de traction et quatre de compression. Seuls les essais de compression menés avec le dispositif présenté dans la Fig. 1d (216 éprouvettes de section 20 x 20 mm<sup>2</sup> pour 120 mm de long) sont présentés dans cette communication.



Fig. 1 : (a) Ambiance extérieur non abrité. (b) Sciage de la poutre. (c) Eprouvettes de compression du milieu extérieur non abrité (haute, médiane et basse). (d) Dispositif expérimental d'essai de compression

### 3 Résultats expérimentaux

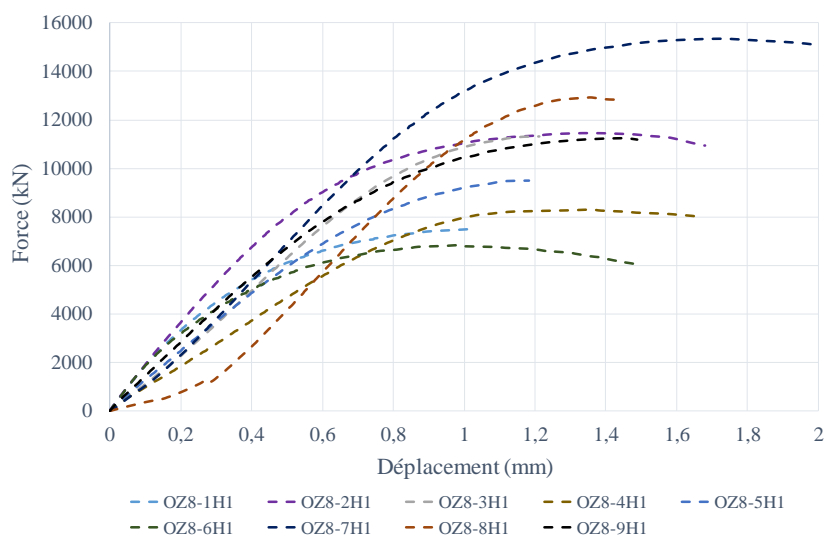
La détermination de la contrainte de rupture (1) et du module d'élasticité (2) lors des essais destructifs en compression a été réalisée selon la norme NF EN 408 [7]. Les courbes de comportement obtenues pour chaque portion (haute, médiane et basse) sont présentées dans les figures 3 et 4.

$$\sigma_{rup} = \frac{F_{max}}{(b \times h)} \quad (1)$$

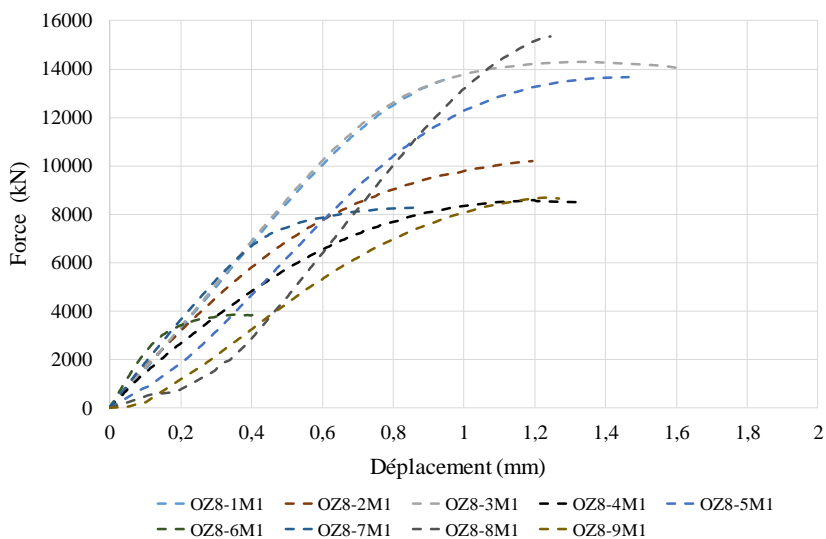
$$E_{o,c} = \frac{(l \times \Delta F)}{[(b \times h) \Delta w]} \quad (2)$$

Dans l'équation (1)  $F_m$  est la force maximale de l'essai,  $b$  l'épaisseur et  $h$  la hauteur de l'éprouvette. Dans l'équation (2) :  $l$  est la longueur,  $b$  l'épaisseur et  $h$  la hauteur de l'éprouvette,  $\Delta F$  l'accroissement des forces et  $\Delta w$  l'accroissement de la flèche.

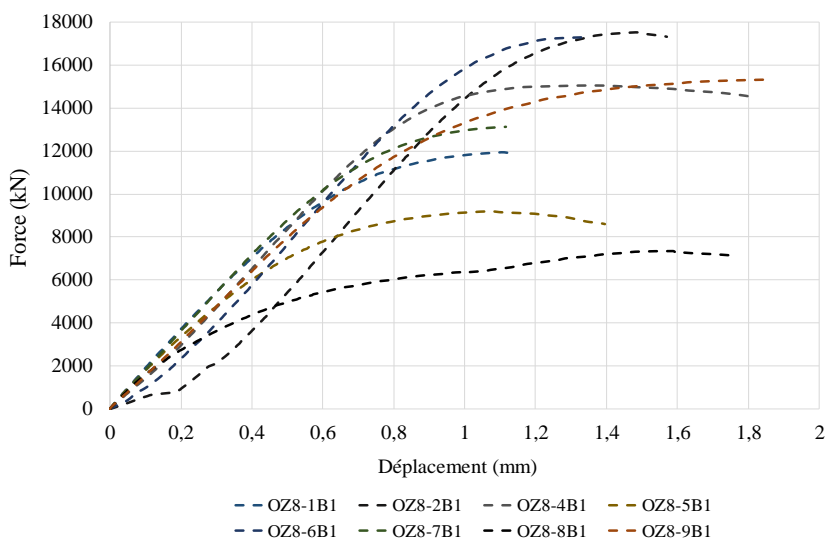
La figure 2 montre les résultats de neuf essais en compression pour des portions haute, médiane et basse de la poutre d'Ozigo soumises à l'environnement extérieur non abrité. On constate que même si toutes les éprouvettes ont été prélevées de la même poutre, il existe une variabilité importante pour chaque courbe. Cette variabilité se traduira par des valeurs différentes du module d'élasticité et de la contrainte de rupture pour chaque éprouvette (figure 3).



(a)



(b)



(c)

Figure 2. Courbes Force - Déplacement pour les portions (a) haute (b) médiane et (c) basse

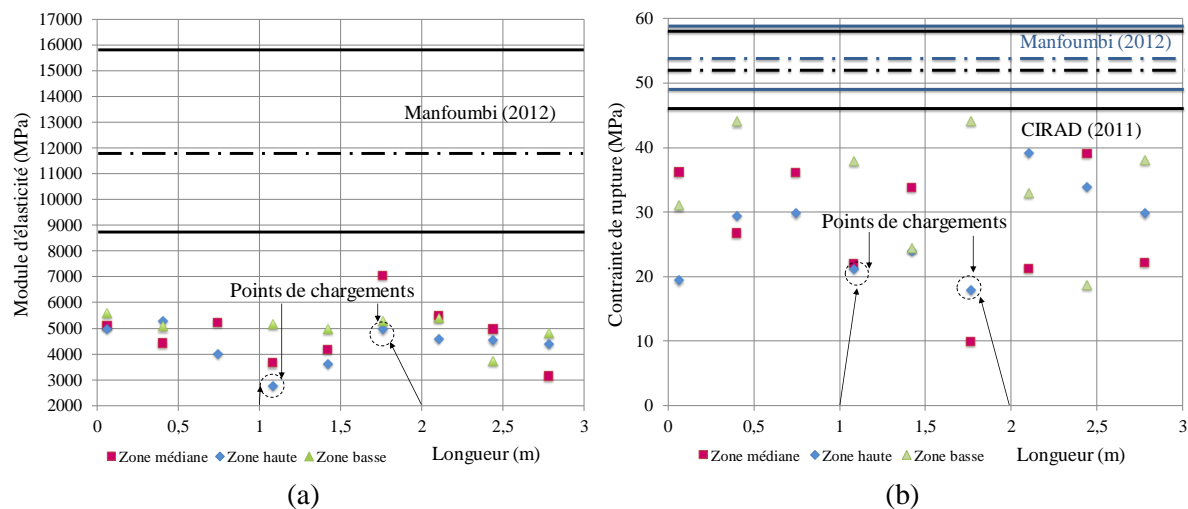


Figure 3. Distribution spatiale des : (a) modules d'élasticité et (b) contraintes de rupture

Le tableau 1 présente une synthèse des données statistiques des mesures des paramètres mécaniques, physiques et des conditions climatiques des trois portions des différentes éprouvettes dans l'ambiance extérieure non abrité.

Tableau 1. Données statistiques des mesures sur une poutre en extérieur non abrité

Portion	Paramètres	$E_{o,c}$ (MPa)	$\sigma_{rup}$ (MPa)
Haute	Moyenne	4344	27,2
	Ecart-type	788	7,06
	Coef. de variation	18%	26%
Médiane	Moyenne	4795	27,4
	Ecart-type	1147	9,55
	Coef. de variation	24%	35%
Basse	Moyenne	6131	16,3
	Ecart-type	568	10,3
	Coef. de variation	9%	63%
<b>Moyenne <math>E_{o,c}</math> 5090 MPa</b>		<b>Moyenne <math>\sigma_{rup}</math> 23,6 MPa</b>	

## 4 Analyse et discussion

Dans l'ensemble, comme le montre la variabilité spatiale des modules d'élasticité et des contraintes de rupture sur la figure 3, les valeurs proposées par la littérature sont largement supérieures aux valeurs obtenues pour ces éprouvettes d'Ozigo en ambiance tropicale extérieure non abritée qui ont subi dans le temps plusieurs cycles de chargement thermo-hygro-mécanique. En effet, les valeurs obtenues pour la contrainte de rupture des trois portions (tableau 1) sont strictement inférieures à celles de la littérature ( $52 \pm 6$  MPa [8] et  $54 \pm 5$  MPa [3]). La valeur moyenne obtenue du module d'élasticité (5090 MPa) de la poutre et celles des trois zones sont aussi inférieures à celle de la littérature ( $12700 \pm 3450$  MPa) [3]. Les résultats de la variabilité s'analyseront en termes du coefficient de variation (CoV). Les résultats montrent qu'il y a moins de dispersion pour les données de module d'élasticité ( $CoV \in [9\%, 24\%]$ ) que pour celles de la contrainte de rupture ( $CoV \in [26\%, 63\%]$ ).

De façon générale, nous constatons une diminution de rigidité de plus de 54% par rapport aux données disponibles dans la littérature [3][8]. Cette baisse de rigidité est due au vieillissement du matériau, à la densité du matériau, à la durée du chargement, aux effets climatiques et à l'exposition de la poutre dans cet environnement extérieur non abrité.

## 5 Conclusions et perspectives

Les résultats de cette étude indiquent une réelle variabilité spatiale et temporelle des paramètres étudiés. Les résultats obtenus au cours de cette phase seront complétés pour constituer une base de données utile pour caractériser puis générer des « champs aléatoires » en tenant compte des incertitudes et de la variabilité spatiale de ces paramètres [9]. Ces données et modèles seront finalement utilisés pour l'évaluation et la mise à jour de la fiabilité [10] afin d'améliorer les performances des structures en bois évoluant en environnement tropical.

## Références

- [1] CARPE. 2005. Les forêts du bassin du Congo : Evaluation préliminaire. [https://carpe.umd.edu/sites/default/files/focb\\_aprelimassess\\_fr.pdf](https://carpe.umd.edu/sites/default/files/focb_aprelimassess_fr.pdf)
- [2] M.E.N. : Ministère des Eaux et Forêts, « Mémoire de politique économique et financière pour 2004-2005 », Ministère des Eaux et Forêts, Gabon, 2005, 13 p.
- [3] Manfoumbi Boussougou, N. (2012). Contribution à l'adaptation de l'Eurocode 5 aux essences tropicales dans leur environnement, Thèse de l'Université de Limoges.
- [4] C.E.I.G (2010) (Centre d'Echange d'Informations du Gabon), <http://ga.chmcbd.net/gabondef/Default.htm>.
- [5] Manfoumbi N., Nsouami V., Moutou Pitti R., Bastidas-Arteaga E. Variabilité spatiale des paramètres physico-mécaniques des poutres en bois tropical soumis à un fluage de longue durée en milieu tropical naturel. 5<sup>èmes</sup> journées du GDR 3544 « Sciences du bois » - Bordeaux, 8-10 novembre 2016.
- [6] Pambou Nziengui C.F., Ikogou S., Moutou Pitti R. (2017). Impact of cyclic compressive loading and moisture content on the mechanical behavior Aucoumea Klaineana Pierre. Wood Material Science and Engineering, 13, 190-196.
- [7] AFNOR, NF EN 408 (2009) Structures en bois–Bois de structure et bois lamellé-collé. Détermination de certaines propriétés physiques et mécaniques, AFNOR.
- [8] CIRAD, (2011). Département Forêts, « TROPIX 5.0: Caractéristiques technologiques de 215 essences tropicales », Edition CIRAD.
- [9] Avellaneda G., Manfoumbi N., Bastidas-Arteaga E., Moutou Pitti R. Caractérisation de la variabilité spatiale des propriétés mécaniques des bois tropicaux. 6<sup>èmes</sup> journées du GDR 3544 « Sciences du bois » -Nantes, 21-23 novembre 2017.
- [10] T.-B. Tran, E. Bastidas-Arteaga, Y. Aouesb, C.F. Pambou Nziengui, S.E. Hamdi, R. Moutou Pitti, E. Fournely, F. Schoefs, A. Chateauneuf. Reliability assessment and updating of notched timber components subjected to environmental and mechanical loading. Engineering Structures. Volume 166, 1 July 2018, Pages 107-116. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.03.053>