

# Résistance au cisaillement des joints de colle de Bois Lamellé Collé d'origine tropicale.

Cédric Horphé Ndong Bidzo<sup>1</sup>, Ronstand Moutou Pitti<sup>2</sup>, Claude Feldman Pambou Nziengui<sup>2</sup>, Samuel Ikogou<sup>3</sup>, Beat Kaiser<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Ecole Nationale des Eaux et Forêts-LaReVaBois, Libreville Gabon.

<sup>2</sup> Université Clermont Auvergne-Institut Pascal, Clermont-Ferrand France

<sup>3</sup> Ecole Polytechnique de Masuku-URMN, Franceville Gabon

<sup>4</sup> Ecowood SA-Z.I des Acaé, Libreville Gabon

## RESUME

Ce travail présente une étude sur l'intégrité des joints de colle entre deux essences de bois tropicaux différents. Les joints sont collés avec un adhésif au Phénol Résorcinol Formaldéhyde (PRF). Les éprouvettes munies de différents joints de colle ont été prélevées sur des poutres en Bois Lamellés Collés (BLC) combinés. Des essais de cisaillement par compression ont été effectués sur les éprouvettes à 12±4 % d'humidité, puis sur des éprouvettes humidifiées. L'objectif est de évaluer l'influence de l'humidité sur la résistance des joints de colle mixte et comprendre le mode de rupture des poutres constituées de ces joints de colle lorsqu'elles sont soumises à des efforts de flexion. Les résultats ont montré d'une part, que la résistance des joints de colle respectait les exigences structurales lorsqu'ils sont soumis à un effort de cisaillement, d'autre part on note une influence significative sur la résistance lorsque les éprouvettes sont humidifiées et une similarité au niveau des modes de rupture observés lors des essais de cisaillement et de flexion.

**Mots-clés** Bois tropicaux, Bois Lamellé Collé, Résistance des joints de colle.

## I. INTRODUCTION

La lutte contre la prolifération des effets néfastes pour notre environnement, passe par la préservation des forêts tropicales comme celle du Gabon située dans le bassin du Congo. Elle s'appuie notamment sur la mise en place de nouvelles politiques de gestion des forêts consistant à réduire l'utilisation des espèces en voie de disparition (très prisées pour leurs caractéristiques) pour des espèces moins exploitées. 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 Lamellé Collé de façon à pérenniser les structures en services. Cette technique déjà utilisée

(Guiscafre, 1977) permet de minimiser les pertes dues au sciage, de maximiser la résistance mécanique des éléments structuraux obtenus et de maîtriser les coûts de la construction en bois jugés encore élevés au regard des immenses ressources forestières dont dispose le pays, mais également de participer à la sauvegarde de notre environnement.

Les éléments composites à base de bois sont majoritairement utilisés dans les pays tempérés dans les constructions de grandes structures cependant, on déplore un manque d'informations concernant le comportement mécanique des BLC fabriqués à partir des bois tropicaux (Ricardo, 2013). En effet, la fabrication de composites en bois reconstitués par collage avec des essences tropicales soulève de nombreux problèmes (Bourreau, 2013), les principaux problèmes sont dus notamment au fort taux d'humidité existant dans l'air et qui affaiblissent l'adhésif et son adhérence (Afnor, 2006). De plus, la résistance et l'intégrité des joints de colle dans tout matériau composite collé tel que le BLC, constitue une exigence préalable à la mise en structure de ces éléments (Aicher, 2018).

L'objectif de cette étude est de faire une caractérisation mécanique des joints de colle issus des poutres de BLC à des taux d'humidité différents. Des essais de cisaillement en compression ont été réalisés afin d'évaluer la résistance aux cisaillements des différents joints de colle. L'objectif est d'évaluer l'influence de l'humidité sur la contrainte de cisaillement des joints entre deux essences de bois différentes.

## II. MATERIEL ET METHODE

### A. Choix des espèces étudiées

Trois essences de différentes densités ont été correctement choisies à partir d'une analyse multicritère, notamment *Staustia kamernesis*, *Pterocarpus osun* et *Dacryodes buettneri* et respectivement appelées au Gabon Niové, Padouk et Ozigo. Les principales caractéristiques physiques et mécaniques de ces essences sont présentées dans le tableau 1. Des poutres BLC constituées de trois lamelles ont été confectionnées à partir de ces essences. Les éprouvettes ont ensuite été prélevés directement sur ces poutres et ramenés aux dimensions comme indiqué dans la figure 1a.

**TABLEAU 1.** Valeurs moyennes de la densité, du Module de Rupture et d'élasticité des essences étudiées. (Tropix 7, 2011)

Essences	Densité $\rho_{12}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Module de Rupture MOR (MPa)	Module d'Elasticité MOE (MPa)
Niové (Ni)	0,88	151	18510
Ecart-type	0,06	23	3100
Padouk (Pdk)	0,79	116	15870
Ecart-type	0,09	24	1885
Ozigo (Oz)	0,59	91	13820
Ecart-type	0,05	11	2273

### B. Ressource ligneuse

Les éprouvettes ont été prélevées sur des poutres BLC combinés, les poutres ont donc été confectionnées dans un premier temps au sein de l'entreprise Ecowood SA et ramenées à une humidité de  $12 \pm 4$  %. Un adhésif de type Phénol Résorcinol Formaldéhyde (PRF) associé à un durcisseur HRP-155 sont utilisés pour le collage. Le laboratoire d'essai n'était pas équipé du dispositif d'essai de cisaillement sur des éprouvettes en blocs de la norme EN 392 (Afnor 1995), où un seul joint de colle est soumis à un effort de cisaillement en compression. Les essais de cisaillement dans cette étude ont donc été faits selon la norme EN 1052-3 (Afnor, 2002) où les éprouvettes sont des éléments de maçonnerie de type mortier avec deux joints de colle testés.

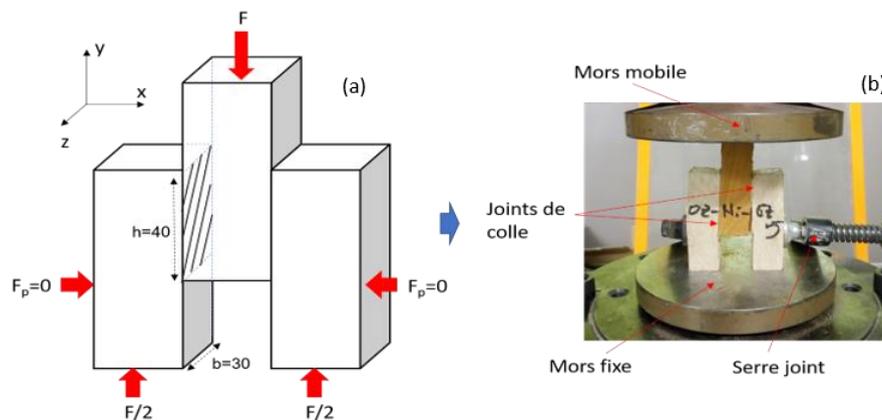
Les éprouvettes ont été immergées pendant sept jours dans de l'eau jusqu'à la stabilisation de la masse afin de les rendre humides. Cette opération nous a permis d'atteindre le Point de Saturation de Fibres (PSF) des éprouvettes et d'avoir une augmentation en masse de 18,14% pour les éprouvettes de Oz-Pdk-Oz et de 21,25% pour les éprouvettes de Oz-Ni-Oz. Le tableau 2 nous montre les valeurs moyennes des masses des éprouvettes avant et après l'immersion dans l'eau.

**TABLEAU 2.** Masses moyennes de éprouvettes

Echantillons	Masse initial (g)	Masse finale (g)	Taux d'eau emmagasinée (%)
Oz-Pdk-Oz	63	80	21,25
Oz-Ni-Oz	60	73,3	18,14

### C. Essai de cisaillement par compression

Deux types de joints de colle ont été testés en cisaillement par compression et à des taux d'humidité différents, notamment le joint de colle Ozigo-Niové et Ozigo-Padouk noté respectivement Oz-Ni et Oz-Pdk. Les éprouvettes ont été testées sur un banc d'essai de compression Zwick Roell doté d'une cellule de charge de 250 kN avec une vitesse de chargement de 0,05 mm/s et une charge de pré-compression nulle. La figure 1b, montre l'éprouvette Oz-Ni-Oz5 en chargement, ici deux joints de colle Oz-Ni sont soumis à un effort de cisaillement.



**FIGURE 1.** Dispositif expérimental avec  $F_p$  : La charge de précompression, (a) : Schématisation de l'éprouvette, (b) : Eprouvette Oz-Ni-Oz5 en chargement.

Le système d'acquisition de données de la presse nous a permis de tracer les courbes forces-déplacement. La contrainte de cisaillement  $f_v$ , a été calculée avec l'équation (1) (Afnor 2003) :

$$f_v = \frac{F_{max}}{2A} \quad (1)$$

Avec  $F_{max}$  la charge à la rupture et  $A$  la surface d'un joint de colle.

#### D. Essai de flexion trois points

Des essais de flexion trois ont également été fait afin d'établir un lien avec le mode de rupture des éprouvettes de cisaillement. Car dans une poutre en flexion, il se crée des efforts de cisaillement entre les lamelles consécutives, donc dans les joints les joints de colles. En effet ces efforts de cisaillement sont créés par la différence de contraintes longitudinales qui ont lieu dans une poutre en flexion. La figure 2 Montre dispositif de l'essai de flexion 3 points réalisé, les éprouvettes ont été dimensionnées selon la norme NF EN 408 (Afnor, 2010). Le banc d'essai est une presse « UNITED Testing » dotée d'une cellule de charge maximale de 100 kN.

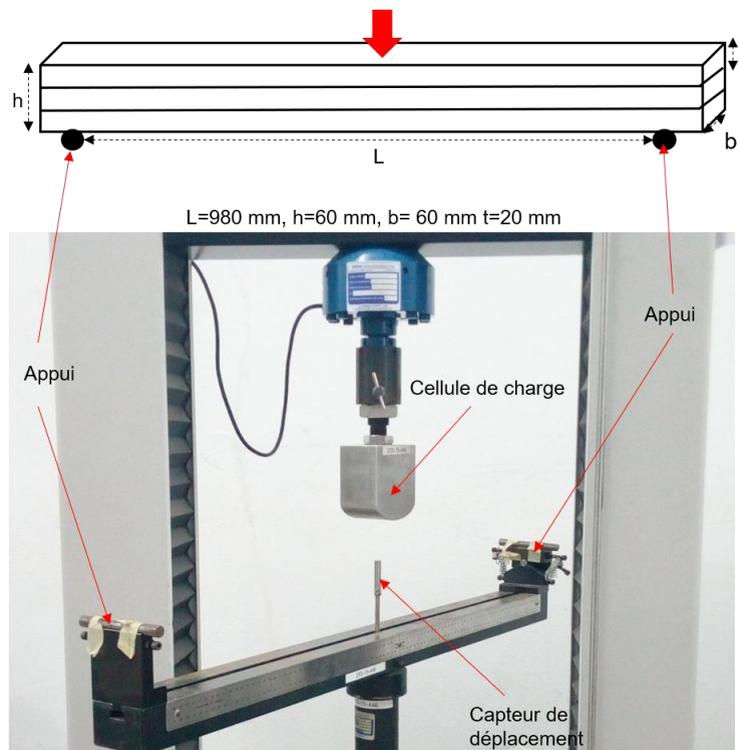


FIGURE 2. Dispositif essai de flexion trois points.

### III. RESULTATS

#### A. Contrainte de cisaillement

Les figure 3 et 4, montrent respectivement les courbes force-déplacement des éprouvettes à  $12\pm 4\%$  et les éprouvettes humidifiées de Oz-Pdk-Oz et Oz-Ni-Oz.

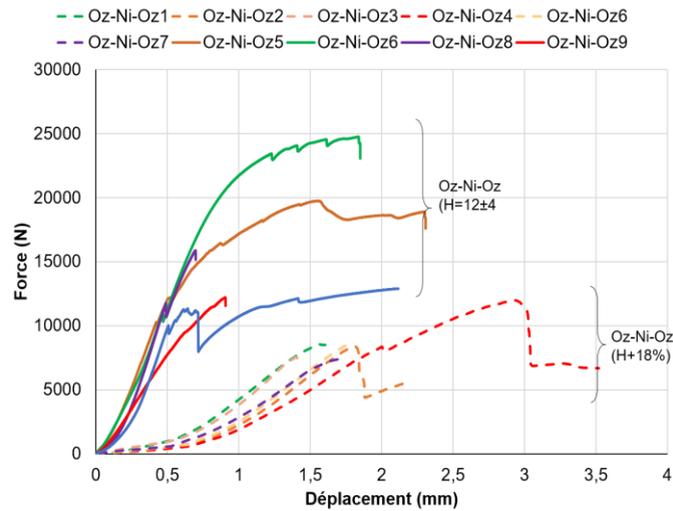


FIGURE 3. Courbe force déplacement de Oz-Ni-Oz

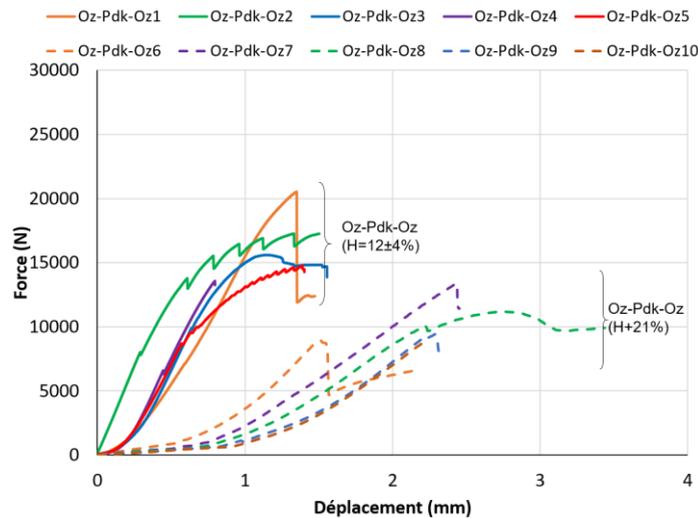


FIGURE 4. Courbe force déplacement de Oz-Pdk-Oz

Dans les deux cas on observe une pente très élevée des éprouvettes à  $12\pm 4\%$  d'humidité par rapport aux éprouvettes humidifiées. Cela montre l'influence de l'humidité sur la rigidité des éprouvettes testées.

La figure 5 nous montre les valeurs moyennes de la contrainte de cisaillement des éprouvettes testées dans cette étude. Pour les éprouvettes Oz-Pdk-Oz, la contrainte de cisaillement des éprouvettes à  $12\%$  ( $f_v = 10,54$  MPa) est supérieur à celles des éprouvettes humides ( $f_v = 6,45$  MPa). Cette observation se fait également chez les éprouvettes de Oz-Ni-Oz, où la contrainte de cisaillement des éprouvettes à  $12\%$  ( $f_v = 8,79$  MPa) est supérieur à celles des éprouvettes humides ( $f_v = 5,37$  MPa).

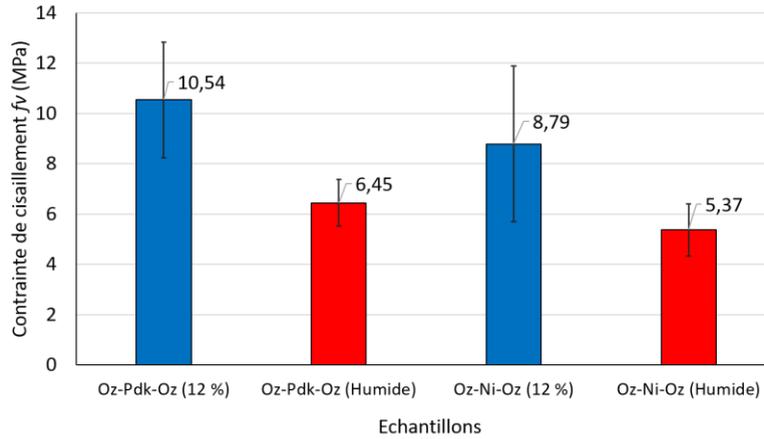


FIGURE 5. Courbe force déplacement de Oz-Ni-Oz

Les valeurs moyennes de la contrainte de cisaillement, nous montre une forte influence de l'humidité sur la résistance des joints de colle. On note une baisse de résistance d'environ 38 % des éprouvettes humides comparer aux éprouvettes à 12 % d'humidité.

D'autre part, on note que la résistance au cisaillement des joints de colle mixte entre l'Ozigo et le Padouk est proche de celle du joint de colle homogène du bois tempéré de Hêtre ( $f_v = 10,79 \pm 1,84$  MPa) issu des poutres BLC confectionnées avec un adhésif de type PRF-tanin (Tran, 2014). Cela peut s'expliquer du fait que le Hêtre ( $\rho_{12} = 0,71$ ,  $MOR = 111$  MPa et  $MOE = 15300$  MPa) possède des propriétés similaires au Padouk (Tropix 7, 2011).

La figure 6 montre les différents scénarios de ruine des éprouvettes lors des essais de cisaillement. On note des ruptures adhésives (délaminations) sur quelques joints de colle des éprouvettes Oz-Ni-Oz humides et sèches, tandis que pour les éprouvettes Oz-Pdk-Oz, la rupture se fait pour la plupart dans le bois massif, sauf sur une éprouvette humidifiée (Fig. 6c).

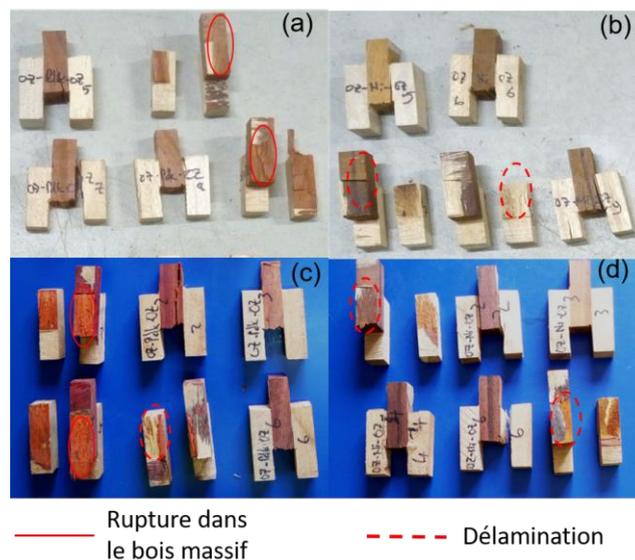
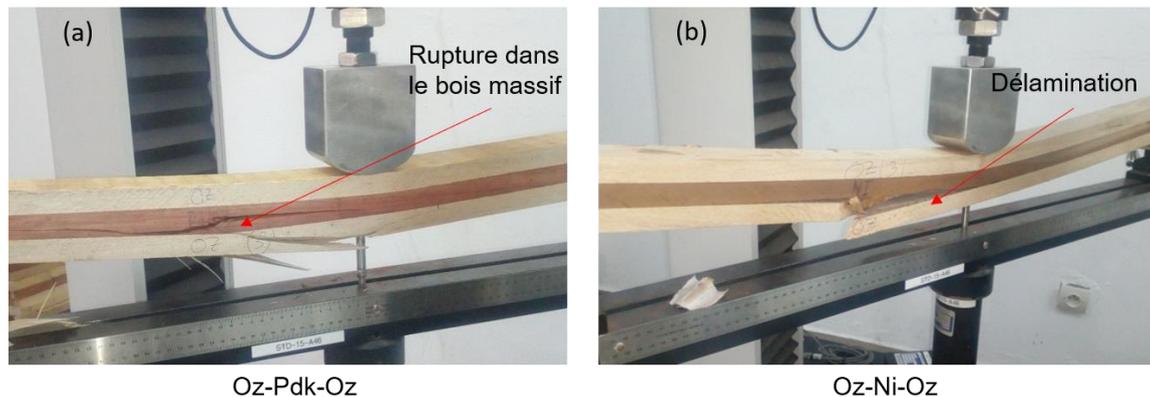


FIGURE 6. Modes de rupture des éprouvettes, (a) : Oz-Pdk-Oz à 12%, (b) : Oz-Ni-Oz à 12%, (c) :Oz-Pdk-Oz humide, (d) Oz-Ni-Oz humide.

### B. Mode de rupture des éprouvettes de flexion

Des essais de flexion trois points ont également été effectués afin d'établir un lien avec le mode de rupture des éprouvettes de cisaillement. La figure 7 nous montre les modes de rupture typiques observés lors de l'essai de flexion trois points. Un total de 6 poutres a été testées, soit trois de type Oz-Pdk-Oz (Fig. 7a) et trois de types Oz-Ni-Oz (Fig. 7b).



**FIGURE 7.** Modes de rupture typique des poutres testées (a) : Oz-Pdk-Oz, (b) : Oz-Ni-Oz.

Les principaux modes de rupture observés sur les poutres testées, sont identiques aux modes de rupture observés lors de l'essai de cisaillement. Notamment, une rupture dans le bois massif pour les éprouvettes Oz-Pdk-Oz et une délamination pour les éprouvettes Oz-Ni-Oz. Ces observations traduisent une faible adhérence entre le bois massif d'Ozigo et de Niové comparé à celle entre l'Ozigo et le Padouk.

## IV. CONCLUSION

La résistance au cisaillement de deux types de joints de colle provenant de poutres BLC combinées en bois tropicaux a été étudiée, notamment le joint Ozigo-Padouk et Ozigo-Niové. Des essais de cisaillement en compression ont été effectués selon la norme EN 1053 dans deux cas, à savoir sur des éprouvettes à 12% d'humidité et sur des éprouvettes humidifiées.

Les résultats nous montrent que le joint de colle Ozigo-Padouk est le plus résistant ( $f_v = 10,54$  MPa) que le joint de colle Ozigo-Niové ( $f_v = 8,59$  MPa) et satisfait aux exigences (10 MPa) de la norme NF EN 302-1 (Afnor, 2004). On note également une grande influence de l'humidité sur la résistance des joints de colle, soit une baisse d'environ 38% de la résistance en cisaillement lorsque les éprouvettes sont humides.

Des essais de flexion trois points ont également été effectués sur des poutres comprenant les joints de colle testées préalablement, les résultats ont mis en évidence les similarités du mode de rupture des poutres et celui des éprouvettes de cisaillement.

En perspective, il serait intéressant de refaire les essais de flexion trois points, sur des poutres à différents taux d'humidité. Cela permettra d'évaluer également l'influence de l'humidité sur la résistance des poutres BLC tropicales.

## REFERENCES

Afnor, NF EN 392. : Bois lamelle colle - Essai de cisaillement des joints de collage. Edition AFNOR, 1995.

Afnor, NF EN 1052-3. : Méthodes d'essai de la maçonnerie - Partie 3 : détermination de la résistance initiale au cisaillement. Editon AFNOR, 2003.

Afnor, Norme, NF EN 302-1 : Adhésifs pour structures portantes en bois, M' méthode d'essai, partie 1 : Détermination de la résistance du joint au cisaillement en traction longitudinale. Editée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR), 2004.

Afnor, NF EN 301. : Adhésifs de nature phénolique et aminoplaste, pour structures portantes en bois - Classification et exigences de performance. Edition AFNOR, 2006.

Afnor, NF EN 408. : Structure en bois, Bois de structure et bois lamellé- collé. Détermination de certaines propriétés physiques et m' mécanique. Editée et diffusée par l'Association Française de Normalisation (AFNOR), 2010.

Aicher S., Ahmed Z., Hirsch M.: Bondline shear strength and wood failure of European and tropical hardwood glulams, *European Journal of Wood and Wood Product*, 76, 1205-1222, 2018.

Bourreau, D., Aimene Y., Beauchêne J., Thibaut B.: Feasibility of glued laminated timber beams with tropical hardwoods. *European Journal of Wood and Wood Product.*, 71:653–662, 2013.

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.

Ricardo, F.:Theoretical and experimental deflections of glued laminated timber beams made from a tropical hardwood, *Wood Material Science and Engineering*, 2013, Vol. 8, No. 2, 8994, 2013.

Tran, V.D. Caractérisation et modélisation numérique des poutres en Bois Massif Reconstitué (BMR) réalisées avec une essence locale feuillue. Thèse, Université de Lorraine, 2014.