

Caractérisation des joints inter-faciaux des fibres végétales : cas du rotin du Cameroun

Sohounhloué A.Y.J.¹, Gbaguidi G.², Tamo T.T.¹, Foudjet E.A.³

(1) Laboratoire de matériaux et structures, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique de Yaoundé, Université de Yaoundé I, Cameroun.
e-mail : s.agbecin@yahoo.fr

(2) Ecole polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, Bénin

(3) CRESA Forêt-Bois, Faculté d'Agronomie et des Sciences Agricoles, Université de Dschang, Cameroun.

Résumé

L'utilisation du bois et des fibres végétales comme armatures dans le béton a longtemps fait l'objet d'études de la part de nombreux chercheurs de part le monde. Mais les recherches en ce qui concerne leurs zones de recouvrement restent encore un domaine non exploré. Le présent article, est une étude de la zone de recouvrement entre deux tiges de rotin afin d'obtenir un ensemble ayant la résistance d'un rotin non sectionné dans la zone de liaison.

Pour y parvenir nous avons réalisé un assemblage de deux tiges de rotin à l'aide du métal et d'une colle époxy. L'étude de la loi de comportement de la zone recouverte nous a amené à réaliser deux types d'essais : Le premier est un essai de compression. Il a consisté à déterminer les caractéristiques mécaniques du rotin en compression. Le second est un essai de cisaillement par compression. Il nous

a permis de déterminer les caractéristiques mécaniques de l'assemblage et de connaître la résistance au cisaillement de la section mixte métal-rotin ainsi constituée.

Il en ressort que, le rotin en compression a un module de Young de 1190 MPa, une contrainte de rupture de 26 MPa, et une limite élastique de 21 MPa. Pour le type d'essai que nous avons réalisé qui est le cisaillement par compression de la section mixte métal - rotin, une longueur de 2.5 d (d diamètre du rotin) garantit une liaison maximale entre le rotin et le métal dans la zone de recouvrement. Par contre, afin de l'utiliser dans la partie tendue du béton, il faudra réaliser au moins un recouvrement total de 8d en faisant l'hypothèse que la contrainte de rupture en cisaillement de la section mixte - métal rotin est la même en compression qu'en traction.

Mots clés : rotin, recouvrement, métal, colle époxy, liaison maximale.

Abstract

The use of wood and vegetables fibers in reinforced concrete has long been studied by scientists. But there is a few investigations concerning how to join them. This article analyses how to join two rattan sticks to obtain the strength of full rattan.

To achieve this goal, we have designed a joint using metal and epoxy adhesive to have a mixed metal-rattan section. The study of the law behavior of the jointed area has allowed us to perform two types of tests.

The first test is to determine the mechanical characteristics of rattan in compression. The second test allowed us to

determine the mechanical characteristics of the mixed metal – rattan section. It appears that, in compression rattan Young's modulus is 1190 MPa, the yield stress is 26 MPa, and elastic limit 21 MPa. From the test we obtained that a length of 2.5d (d, diameter of rattan) ensures maximum connection under compression stresses between rattan and metal in the overlapped zone. Concerning the area under tension one needs at least 8d overlapping taking into consideration the hypothesis that the yield shear stress in the mixed metal – rattan section is the same under compression and tension.

Keywords: rattan, overlap, metal, Epoxy adhesive, maximum binding

1. Introduction

La valorisation des matériaux locaux dans les pays en développement, s'impose en cette période de récession économique mondiale, comme un véritable

moteur de développement. De plus, elle maintient la balance commerciale à travers la limitation des importations et réduit considérablement le coût des constructions (Assoal et Rnhc, 2011).

Le rotin est l'une des fibres végétales les plus rencontrées dans les forêts d'Afrique Centrale. Il retient l'attention des chercheurs qui étudient la possibilité de le substituer à l'acier dans les ouvrages en béton légèrement armé. Un des problèmes à résoudre est la réalisation d'une liaison entre deux tiges de rotin en gardant ses caractéristiques primaires à l'interface. Ceci permet de proposer une solution simple au recouvrement de deux tiges de rotin lorsqu'elles sont utilisées comme armatures dans du béton légèrement armé. Dans ce travail, nous identifions la meilleure section mixte qui est la section mixte métal – rotin, ces deux matériaux étant collés par de la colle époxy. Les longueurs maximum des deux demi-lunes de tuyau galvanisé de récupération servant à garantir le recouvrement sont calculées pour une section mixte métal – rotin soumis à la compression ou à la traction.

2. Matériel et méthodes

Les rotins qui ont servi à réaliser cette étude proviennent de l'espèce *Laccosperma secundiflorum*. Ils ont été prélevés sur trois tiges différentes provenant de la région du Centre en République du Cameroun.

Ensuite ils ont été conditionnés et usinés suivant les dimensions recherchées. Leur taux d'humidité est de 14% et est maintenu constant tout au long des essais.

2.1 Méthodologie de l'étude

Afin de bien mener nos études, nous avons identifié tous les types d'assemblage collé existant dans la littérature. Parmi ceux-ci, nous avons retenu l'assemblage constitué de deux tiges de rotin, de deux demi-lunes de tuyau galvanisé dont le liant est la colle époxy (photo 1). Le schéma de modélisation de cette section mixte métal-rotin est représenté par la figure 1. Tenant compte de la symétrie de la section mixte nous avons choisi de ne conduire les essais de compression que sur la demi-section (Photo 2) ; et pour la conduite des essais nous avons confectionné 15 éprouvettes.

Ensuite, nous avons conduit une étude expérimentale sur la détermination des caractéristiques mécaniques du rotin en compression sur 30 éprouvettes normalisées de dimension 20x60 mm² (Photo 3) puis sur les 15 éprouvettes précédemment réalisées, tous ces essais étant faits jusqu'à la rupture.



Photo 1 : Eléments entrant dans la constitution de la section mixte métal-rotin

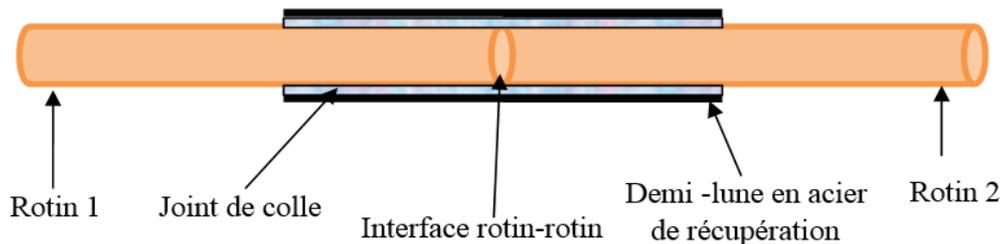


Figure 1: Schéma de modélisation du système



Photo 2 : Eprouvette d'essai en compression de la demi-section mixte

Toutes ces caractéristiques connues, nous avons calculé aussi bien en traction qu'en compression, la longueur de recouvrement qui confèrera à l'assemblage une résistance maximale dans la zone de liaison avec l'hypothèse que la contrainte de rupture en cisaillement de la section mixte métal - rotin est la même en traction qu'en compression.

2.2 Essai de cisaillement par compression

Il consiste à imposer à une éprouvette cylindrique un état de contrainte uni-axiale uniforme et par mesure des déformations axiales résultantes, à évaluer les caractéristiques mécaniques de l'éprouvette. Le dispositif expérimental employé (Photo 4) est le suivant :

- Une presse hydraulique WP 300 de marque Gunt de capacité 20 KN à charge
- Un support de comparateur ;
- Un comparateur de marque Gunt de sensibilité 0.01mm ;

2.3 Essai de détermination de la résistance au cisaillement de la section mixte métal - rotin

Il consiste à imposer aux éprouvettes de rotin reconstituées un état de contrainte axiale uniforme en compression et par mesure des déformations axiales résultantes, à évaluer les caractéristiques mécaniques de l'éprouvette. Le dispositif expérimental est le même que précédemment.

3. Résultats

a. Détermination des caractéristiques du rotin en compression

Les résultats issus des essais de compression sur les éprouvettes de rotin normalisées ont permis de tracer la courbe contrainte-déformation (figure 2) traduisant le comportement du matériau jusqu'à la rupture.



Photo 3 : Eprouvette de rotin normalisée

Grace à ces courbes nous avons déterminé le module de Young, la contrainte de rupture et la limite élastique du rotin en compression. Le module de Young a été obtenu par régression linéaire des points du domaine élastique des courbes par la méthode des moindres carrés. La limite élastique a été obtenue en prenant la limite conventionnelle correspondant à une déformation de 0.2%.

Le module de Young du rotin en compression est de 1190 MPa avec un écart type de 174 MPa. La contrainte de rupture en compression vaut 26 MPa avec un écart type de 2 MPa. Et la limite élastique est de 21 MPa avec un écart type de 2,5 MPa.

b. Détermination de la résistance au cisaillement de la section mixte métal - rotin

Les résultats issus des essais ont permis de tracer la courbe effort-raccourcissement (figure 3) représentant le comportement de la section mixte jusqu'à la rupture.

Nous avons observé différents types de comportement des éprouvettes à la rupture. Au total sur les 15 éprouvettes réalisées, nous avons obtenu :

- 7 éprouvettes qui ont rompu dans la zone de recouvrement soit entre l'adhésif et le rotin (b) et (d), soit entre le métal et l'adhésif (d) ou dans l'adhésif (c) (Figure 4) ;
- Et 8 autres qui ont rompu en dehors de la zone de recouvrement par fissure latérale du rotin en tête de l'éprouvette.

La contrainte moyenne de rupture des éprouvettes ayant rompues dans le joint de colle est de 25 MPa avec un écart type de 2 MPa. Celle des éprouvettes ayant rompues en dehors du joint de colle de 32 MPa avec un écart type de 3 MPa.

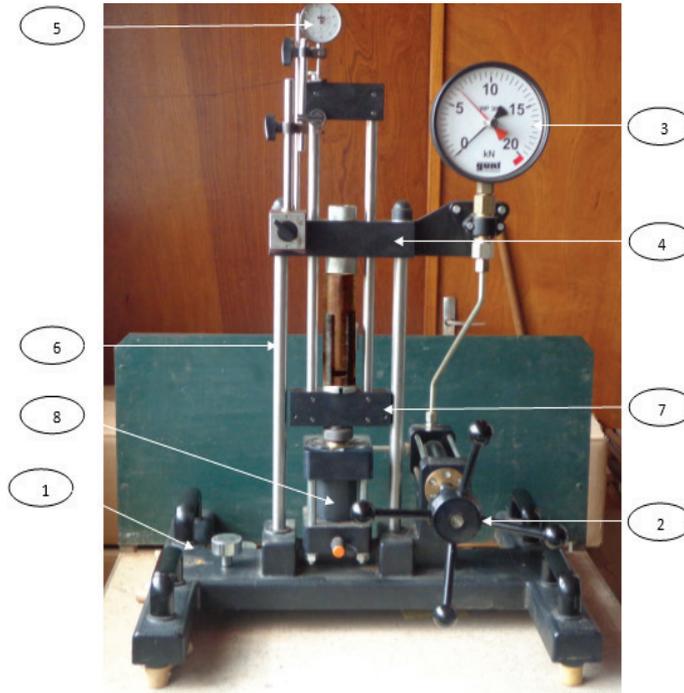


Photo 4 : Presse hydraulique WP 300

1. Base de la machine avec pieds en caoutchouc, 2. Roue à main, 3. Affichage de force ; 4. Traverse supérieure, 5. Compensateur à cadran pour course de déformation, 6. Montants ; 7. Traverse inférieure, 8. Vérin hydraulique principal

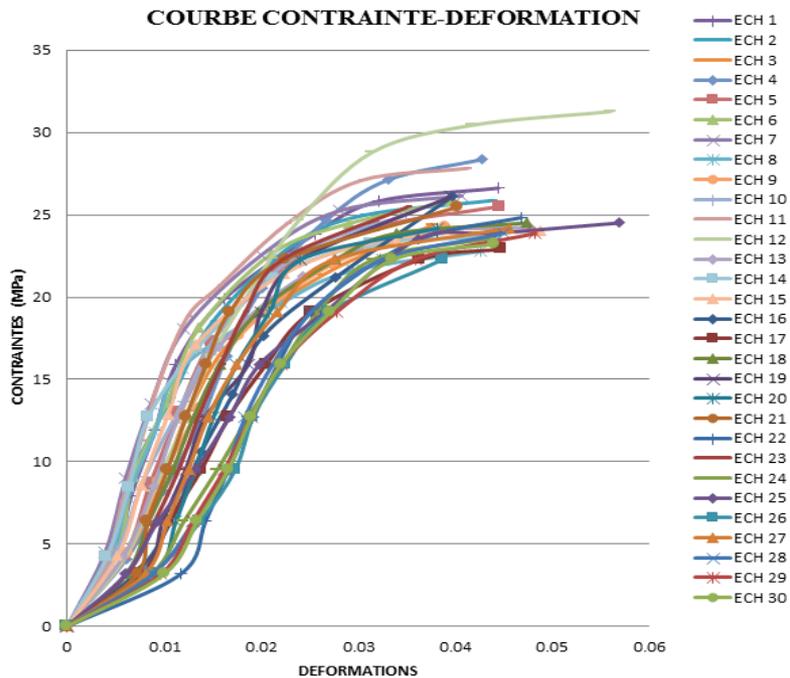


Figure 2 : Courbe contrainte-déformation du rotin en compression

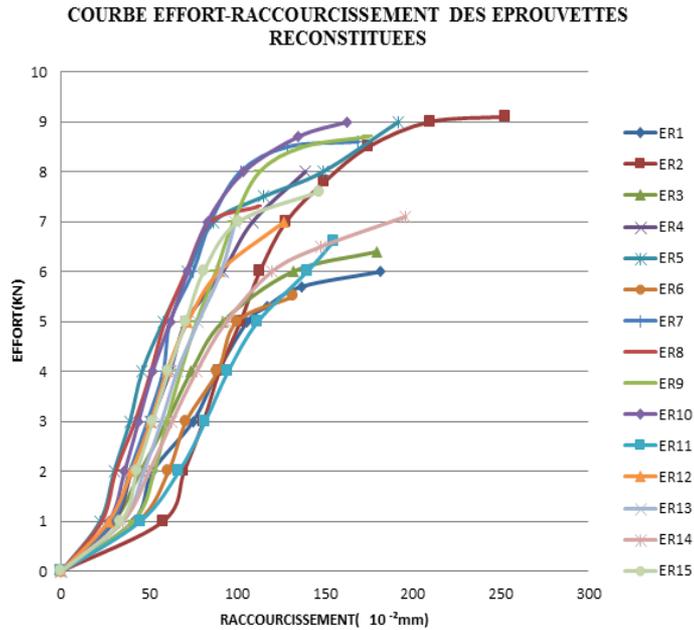


Figure 3 : Courbe effort-raccourcissement des éprouvettes de rotin reconstituées

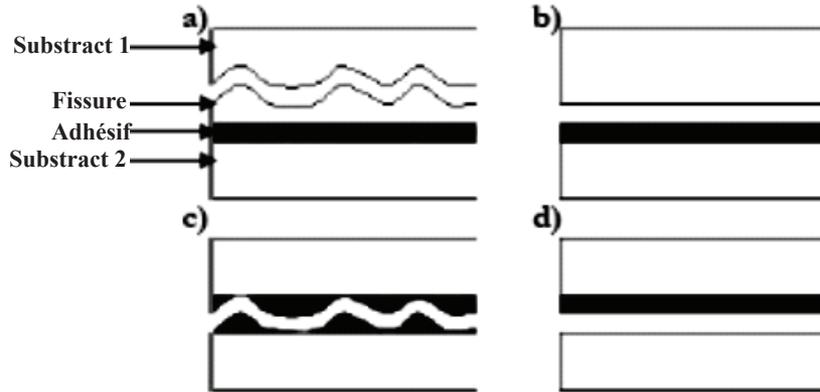


Figure 4: Mode de rupture des joints collés

(a) rupture cohésive dans le substrat, (b) et (d) rupture adhésive à l'interface, (c) rupture cohésive dans l'adhésif.

En ce qui concerne la contrainte de rupture en cisaillement de la section mixte métal - rotin, nous l'avons calculé en connaissant la surface de collage du joint et en considérant la force correspondant à l'apparition des premières fissures dans le rotin.

Cette contrainte de rupture en cisaillement de la section mixte métal – rotin est de 4.2 MPa avec un écart type de 0,40 MPa.

c. Calcul de la longueur de recouvrement

Afin de déterminer la longueur de recouvrement,

représentons le schéma de calcul du système (Figure 5).

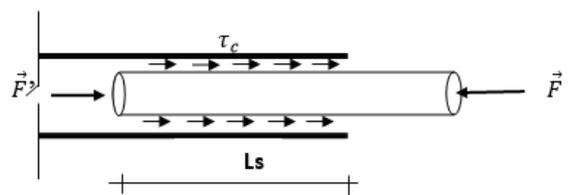


Figure 5 : Schéma de calcul du système

Nous recherchons la longueur de recouvrement qui assurera une liaison totale du rotin soit :

F : Force exercée sur la tige de rotin

F' : Réaction du système

d : Diamètre du rotin

σ_c : Contrainte de compression exercée sur la tige de rotin

f_{ec} : Limite élastique du rotin en compression

A_s : Section transversale du rotin

S_L : Surface latérale de collage

τ_c : Contrainte de cisaillement de la section mixte

L_s : Longueur de scellement

L_r : Longueur de recouvrement

La liaison est totale si : $F=F'$

Or on a :

$$\sigma_c = f_{ec} = \frac{F}{A_s} \Rightarrow F = f_{ec} * A_s = f_{ec} * \pi * \frac{d^2}{4} \quad \text{Eq.1}$$

et

$$\tau_c = \frac{F'}{S_L} \Rightarrow F' = \tau_c * S_L = \tau_c * \pi * d * L_s \quad \text{Eq.2}$$

donc $F=F' \Leftrightarrow f_{ec} \frac{\pi * d^2}{4} = \tau_c * \pi * d * L_s \quad \text{Eq.3}$

$$\Leftrightarrow L_s = \frac{f_{ec} * d}{4 * \tau_c} \quad \text{et} \quad L_r = 2L_s = \frac{f_{ec} * d}{2 * \tau_c} \quad \text{Eq.4}$$

En remplaçant f_{ec} et τ_c par leurs valeurs trouvées précédemment on obtient : $L_r = 2.5d$

Par ailleurs, d'après les travaux précédemment réalisés sur le rotin en traction, la limite élastique en traction du rotin vaut 60MPa (Foudjet et Fomo, 1995) ; en remplaçant cette valeur dans l'équation on trouve alors que : $L_r = 8d$

4. Discussion

L'observation minutieuse des courbes de la figure 2 montre qu'elles présentent deux parties :

- Une partie linéaire qui représente le domaine de déformation élastique au cours de laquelle les contraintes sont proportionnelles aux déformations ;
- Une partie parabolique qui représente le domaine de déformation plastique.

L'allure de ces courbes se rapproche de celle du bois en général, telle que présentée dans Mécanique du matériau bois et composite (Daniel Guitard, 1987), et du bois de *Borassus aethiopicum* en particulier (figure 6) (Nihad Sourou, 2011).

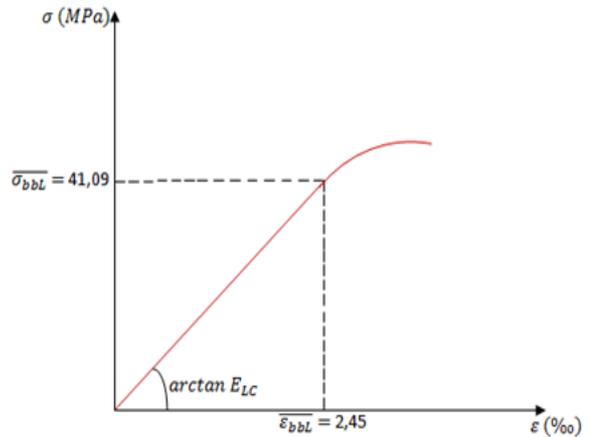


Figure 6 : Courbe contrainte-déformation du Borassus en compression

En outre, la contrainte de rupture du rotin, qui est de 26 MPa à 14 % d'humidité se rapproche de celle du bois JELUTONG (*Dyera costulata*) qui pour une masse volumique de 0.446 g/cm³ à 12% d'humidité, a développé une contrainte de rupture de 27 MPa en compression (Yves Benoit, 2008).

En ce qui concerne les éprouvettes de rotin reconstituées, Les différentes ruptures observées peuvent se regrouper en deux grandes catégories :

- Rupture du joint collé ;
- Rupture par épuisement des fibres de rotin.

En effet, toutes les ruptures se produisant dans la zone de recouvrement sont des ruptures du joint collé ; ce sont soit des ruptures inter-faciales, soient des ruptures cohésives. Par contre toute rupture ayant lieu en dehors de la zone de recouvrement est une rupture par épuisement des fibres de rotin.

Nous remarquons que plus de la moitié des éprouvettes a rompu en dehors de la zone de recouvrement.

Nous remarquons que la contrainte de rupture moyenne des éprouvettes de rotin reconstituées ayant rompues dans la zone de recouvrement est de : 25 MPa. Cette valeur est inférieure à celle du rotin en compression qui vaut: 26 MPa. La longueur de recouvrement qui vaut 8d en traction et 2.5d en compression garantit une résistance maximale de l'assemblage. Au-delà de cette longueur il est fait un gaspillage d'adhésif.

5. Conclusion

La liaison mixte métal-rotin qui vient d'être conçu et calculé permet de résoudre le problème de zone de recouvrement de deux tiges de rotin utilisées comme armature dans un béton légèrement armé que ce soit

en traction comme en compression. Ce mode de recouvrement peut être avantageusement utilisé dans les poteaux en béton qui travaillent essentiellement en flexion composée avec une grande prépondérance de compression avec une longueur de recouvrement de 2.5 d ; ou alors dans la partie tendue des poutres en flexion avec un recouvrement de 8 d. Il est aussi à noter que cette section mixte augmente l'adhérence de l'armature de rotin dans le béton à cause du métal utilisé.

Bibliographie

Assoal, Rnhc, 2011. Etude de faisabilité d'une unité pilote de production de matériaux locaux et de construction de logements sociaux au Cameroun. Projet de valorisation des matériaux locaux, Rép. du Cameroun, Compte rendu, 17p.

Benoit, Y., 2008. Le guide des essences de bois, deuxième édition Eyrolles, Paris, France, 145p.

Fotso Kuiaté, L., 1993. Amélioration de l'adhérence dans le béton de nodules latéritiques armé de rotins,

Mémoire d'Ingénieur de conception, ENSPY/UY I (CAMEROUN), 68p.

Foudjet, A., Fomo, J., 1995. Une nouvelle méthode d'accroissement de l'adhérence entre une armature en matière végétale et le béton (effet de confinement) : cas de l'armature de rotin dans le béton de nodules latéritiques, Journal of materials and structures, Vol. 28 N°9 pp 554-557.

Guitard, D., 1987. Mécanique du matériau bois et composites, Cépaduès éditions, Toulouse, France, 238p.

Société-Natibois, 2013. Constructeur de maisons en bois à Limoges, <http://www.natibois.fr> (consulté le 03 Mars 2013).

Sourou, M., A.P.M., Nihad, 2011. Mise au point d'une méthode de dimensionnement de la section théorique d'armatures dans un poteau en béton armé de borassus et faiblement chargé en compression simple, Mémoire d'ingénieur de conception, EPAC/UAC (BENIN), 124p.