

Optimisation des propriétés physiques et mécaniques de matériaux à base de biomasse végétale pour l'éco-construction

[Optimization of physical and mechanical properties of plant biomass-based materials for eco-construction]

Lucien ZONGO and Athanas KONIN

Laboratoire de Génie Civil, UMRI de Génie Civil, Géosciences et Sciences Géographiques,
Institut National Polytechnique Félix HOUPHOUËT-BOIGNY (INP-HB), BP 1093 Yamoussoukro, Côte d'Ivoire

Copyright © 2018 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the *Creative Commons Attribution License*, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: This study is part of general problem of developing innovative building materials with low environmental impact. For this purpose, tests were carried out for the formulation of cementitious composites based on rhus fibers (*borassus aethiopicum* mart.) and rice husks. The results allowed to obtain the optimal proportion in biomass particles and water content which lead to the best physical and mechanical properties of the composites. Thus, in the case of cement and rice husks mixtures, mechanical strengths decrease with an increase of particle size. On the other hand, in the case of rhus fibers composite, mechanical resistance increase with fibers size. The results also show that physical and mechanical properties of rhus fibers composites are better than those based on rice husks.

KEYWORDS: rhus fibers, rice husks, cement, biomass, physical properties, mechanical properties.

RESUME: Ce travail s'intègre dans la problématique générale de développement de matériaux de construction innovants à faible impact environnemental. A cet effet, des essais de formulation de composites cimentaires à base de fibres de rhus (*borassus aethiopicum* mart.) et de balles de riz ont été réalisées. Les résultats permettent d'identifier les proportions optimales en particules et en eau qui conduisent aux meilleures propriétés physiques et mécaniques des composites. Ainsi, dans le cas des mélanges ciment et balles de riz, les résistances mécaniques baissent avec l'augmentation de la taille des particules. Par contre dans le cas des composites à base de fibres de rhus, les résistances augmentent avec la taille des fibres. Les résultats montrent également que les performances physiques et mécaniques des composites à base de fibres de rhus sont meilleures que celles à base de balles de riz.

MOTS-CLEFS: fibres de rhus, balles de riz, ciment, composites cimentaires, biomasse, propriétés physiques, propriétés mécaniques.

1 INTRODUCTION

Dans le domaine de la construction, les attentes vis-à-vis des matériaux sont en constante évolution. Si par le passé, les matériaux étaient recherchés principalement pour leurs caractéristiques mécaniques, la tendance actuelle est l'usage de matériaux composites multifonctionnels. De nos jours, compte tenu des problèmes environnementaux, une attention particulière est accordée aux matériaux à faible impact environnemental. Les matériaux à base de fibres végétales sont l'objet de ce fait d'une grande attention. De nombreux travaux de recherche sont menés sur l'utilisation des fibres naturelles (fibres de coco, sisal, chanvre, copeaux de bois, fibres de diss, etc) dans les composites cimentaires ([1], [2], [3], [4], [5], [6], [7], [8], et [9]). Les résultats indiquent que l'utilisation de fibres végétales dans ces matériaux améliore les résistances mécaniques (à la flexion, à la compression, à la traction, etc) et conduit à une réduction significative du coût de ces matériaux comparativement à l'utilisation de composites à bases de fibres synthétiques. Par ailleurs, des travaux antérieurs ([10] et [11]) soulignent que l'amélioration des propriétés mécaniques de ces composites n'est possible que si des traitements de la biomasse végétale sont réalisés : lavage, pulvérisation d'adjuvant, incorporation de sable, etc.

En Afrique, le décorticage du riz génère plus de 30% de déchets constitués principalement de balles de riz. Ces balles de riz sont imputrescibles et ne peuvent être utilisés dans l'alimentation du bétail. Une voie de valorisation de ces déchets peut être dans les composites cimentaires. Le rônier (*borassus aethiopicum mart.*) est une ressource végétale imputrescible, résistant aux termites et abondant en Afrique sub-saharienne [12]. Des études ont mis en évidence la possibilité de l'utiliser comme armature dans le béton [13]. Cependant peu de travaux sont consacrés à la valorisation technologique de ces deux biomasses végétales (balles de riz et fibres de rônier), notamment dans les composites cimentaires.

Ce travail vise à déterminer les propriétés physiques et mécaniques des composites à base de balles de riz et de fibres de rônier. La nature de la biomasse végétale et l'effet de la densité des composites obtenus sont également présentées.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATIÈRES PREMIÈRES

2.1.1 CIMENT

Le ciment utilisé est un ciment composé de type CEM II / B 32,5 produit par la cimenterie CIM Faso du Burkina Faso. Les propriétés physiques du ciment sont indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1. Propriétés physiques du ciment

Désignation	Masse volumique (g/cm ³)	Surface spécifique Blaine (cm ² /g)
Ciment CEM II/B 32,5	3,01	3 155

2.1.2 BIOMASSES VÉGÉTALES

Les fibres de rônier et les balles de riz utilisées dans cette étude proviennent respectivement du broyage du tronc du rônier et de l'usine de décorticage du riz de Bagrépol au Burkina Faso. Les fibres et les particules obtenues sont séchées à l'étuve à 105°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Ces biomasses sont par la suite sériées par tamisage en quatre classes granulaires et mélangées selon les compositions granulaires présentées dans le tableau 2. Les granulats obtenus (Fig. 1) ne subissent aucun traitement chimique et sont conservés dans une salle maintenue à une température de 20°C. Les caractéristiques physiques des biomasses sont indiquées dans le tableau 3.



a) Granulat de balles de riz



b) Granulat de fibres de rônier

Fig. 1. Biomasses végétales utilisées dans cette étude

Tableau 2. Proportions utilisées dans les compositions granulaires

Classes granulaires	Mélange fin (MF)	Mélange grossier (MG)
[2,50 ; 5,00[16,67%	40%
[1,25 ; 2,50[16,67%	30%
[0,63 ; 1,25[33,33%	20%
[0,08 ; 0,63[33,33%	10%

Tableau 3. Propriétés physiques des biomasses végétales

	Mélange granulaire fin (MF)		Mélange granulaire grossier (MG)	
	Balles de riz	Fibres de rônier	Balles de riz	Fibres de rônier
Module de finesse	2,17		3,00	
Masse volumique (g/cm ³)	0,749	0,687	0,771	0,648

2.2 METHODE D'ELABORATION DES COMPOSITES

2.2.1 FORMULATION DES COMPOSITES

Quatre types de mortier à base de biomasse végétale, notés B₁, B₂, F₁ et F₂, ont été étudiées. Les mortiers B₁ et B₂ correspondent aux composites à base de ciment, balles de riz et eau. F₁ et F₂ font référence aux mortiers composés de ciment, fibres de rônier et eau. L'indice 1 correspond au mélange granulaire fin, et l'indice 2 au mélange granulaire grossier. La formulation des mortiers résulte des modifications apportées à la composition de mortiers à base de biomasse végétale proposée par Asatutarit et al. [4] sur la base de l'optimisation des propriétés physiques et mécaniques des composites. La quantité d'eau des mélanges étudiés est adaptée afin d'obtenir la même ouvrabilité pour tous les mortiers. Pour chaque biomasse, deux mortiers ont été confectionnés en faisant varier la quantité de ciment. Les compositions des mortiers étudiés sont présentées dans le tableau 4.

Tableau 4. Ratio en poids des constituants dans les composites

Désignation	Dosage en ciment 1 (D ₁)			Dosage en ciment 2 (D ₂)		
	Constituants	Ratio dans le mélange	Notation	Constituants	Ratio dans le mélange	Notation
B ₁	Ciment	2	B ₁ -D ₁	Ciment	4	B ₁ -D ₂
	Balles de riz	1		Balles de riz	1	
	Eau	0,8		Eau	1,33	
B ₂	Ciment	2	B ₂ -D ₁	Ciment	4	B ₂ -D ₂
	Balles de riz	1		Balles de riz	1	
	Eau	0,8		Eau	1,33	
F ₁	Ciment	2	F ₁ -D ₁	Ciment	4	F ₁ -D ₂
	Fibres de rônier	1		Fibres de rônier	1	
	Eau	1		Eau	1,6	
F ₂	Ciment	2	F ₂ -D ₁	Ciment	4	F ₂ -D ₂
	Fibres de rônier	1		Fibres de rônier	1	
	Eau	1		Eau	1,6	

2.2.2 FABRICATION DES COMPOSITES

Pour chaque composition, trois éprouvettes prismatiques 40 mm x 40 x 160 mm ont été confectionnées pour la mesure des caractéristiques physiques et mécaniques. Les mortiers ont été fabriqués selon la procédure décrite ci-après :

Le ciment a d'abord été mélangé au granulat végétal et l'eau a par la suite été ajoutée. Le malaxage a été effectué jusqu'à l'obtention d'un produit relativement uniforme. Le dosage en eau a été ajustée afin d'obtenir sur le mortier frais, une valeur d'affaissement égale à 10 cm. Le mélange a été placé dans les moules et tassé à l'aide d'une tige. Les échantillons ont été démoulés après 24 heures et placés à l'air ambiant pendant 28 jours. Pour chaque caractéristique, trois éprouvettes ont été utilisées pour les essais.

2.3 PROTOCOL EXPÉRIMENTAL

2.3.1 ESSAIS PHYSIQUES

2.3.1.1 ESSAI D'ABSORPTION D'EAU

L'absorption d'eau est déterminée conformément à la procédure RILEM [14]. Les éprouvettes sont immergées dans réservoir contenant de l'eau jusqu'à saturation complète (c'est-à-dire jusqu'à ce que leur masse humide (M_h) soit constante). Les échantillons sont par la suite séchés dans une étuve à 105°C jusqu'à atteindre une masse sèche constante (M_s). Le taux d'absorption d'eau est obtenu par la relation :

$$w(\%) = 100 \cdot \frac{(M_h - M_s)}{M_s}$$

2.3.1.2 ESSAI DE MESURE DE LA MASSE VOLUMIQUE

Cette propriété est mesurée suivant la norme NF EN 772-13 [15]. Les dimensions (longueur, largeur, hauteur) des échantillons séchés (M_s) sont mesurées en quatre points conformément à la norme. Ce qui permet de calculer le volume (V) des échantillons. La masse volumique sèche est donnée par la formule :

$$\rho(g/cm^3) = \frac{M_s}{V}$$

2.3.2 ESSAIS MÉCANIQUES

Les caractéristiques mécaniques ont été déterminées conformément aux normes NF EN 12390-3 [16] pour la résistance à la compression et NF EN 12390-5 [17] pour la résistance à la traction par flexion trois points.

2.3.2.1 ESSAI DE RÉSISTANCE À LA TRACTION PAR FLEXION

L'essai de mesure de la résistance à la traction par flexion trois points est réalisé sur les éprouvettes 40 mm x 40 x 160 mm. Le chargement est appliqué à une vitesse constante de 10 mm/min sur la surface de l'éprouvette et la charge maximale (P) provoquant la rupture est mesurée. La résistance à la traction par flexion est donnée par :

$$R_t(MPa) = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot t^2}$$

Où : P , charge maximale (N) ; L , la longueur (mm) de l'éprouvette ; b , la largeur de l'éprouvette ; t , l'épaisseur (mm) de l'éprouvette

2.3.2.2 ESSAI DE RÉSISTANCE À LA COMPRESSION

Cette résistance est déterminée en utilisant la presse de compression de PERRIER d'une capacité de 300 kN. Les essais sont réalisés sur la moitié des échantillons ayant servi à la mesure de la résistance à la traction par flexion trois points.

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 PROPRIÉTÉS PHYSIQUES

3.1.1 MASSE VOLUMIQUE SÈCHE

Les résultats des mesures de la masse volumique des composites sont indiqués dans le tableau 5. Ces résultats montrent que la masse volumique des composites augmente avec le dosage en ciment quelque soit la nature de la biomasse. L'accroissement varie de 24% à 32% pour les mélanges à base de granulats et de 12% à 19% pour les mélanges à base de granulats grossiers. De plus, la masse volumique des composites à base de granulats grossiers est plus élevée que celle des composites à base de granulats fin pour le dosage en ciment 1 (faible quantité de ciment). Par contre, pour un dosage en ciment plus important (dosage en ciment 2), les valeurs de masse volumique sont dans le même ordre de grandeur. Ces résultats semblent indiquer l'existence d'une valeur limite de masse volumique pour les composites à base de biomasses végétales. La nature de la biomasse n'a d'ailleurs pas une grande incidence sur les valeurs de masse volumique. Les écarts sont

de moins de 10% pour les différents composites et les différents dosages en ciment. Ces résultats corroborent ceux obtenus par Ghavami [18] et indiquent que l'usage des fibres végétales permet de réaliser des composites qui peuvent être classés dans les bétons légers compte tenu de leur densité sèche. Le paramètre le plus important au vu des résultats obtenus est le dosage en ciment indépendamment de la nature et de la granulométrie de la biomasse.

Tableau 5. Exemple d'un tableau

		Masse volumique (g/cm ³)	
		Dosage en ciment 1 (D ₁)	Dosage en ciment 2 (D ₂)
Balles de riz	Mélange fin (B ₁)	1,08	1,58
	Mélange grossier (B ₂)	1,27	1,45
Fibres de rônier	Mélange fin (F ₁)	1,08	1,42
	Mélange grossier (F ₂)	1,19	1,47

3.1.2 TAUX D'ABSORPTION D'EAU

La figure 2 présente le taux d'absorption d'eau en fonction de la masse volumique des différents composites étudiés. Les graphes montrent à l'évidence que l'absorption d'eau est inversement proportionnelle à l'augmentation de la masse volumique des composites. Cela laisse penser qu'une augmentation de la masse volumique des échantillons conduit à une baisse de la capacité d'absorption d'eau et donc de la porosité des composites. De plus, la figure 2 montre que les composites à base de fibres de rônier ont des taux d'absorption d'eau plus faibles que ceux à base de balles de riz. Il semble donc que les fibres de rônier permettent d'obtenir des matériaux moins poreux que ceux à base de balles de riz.

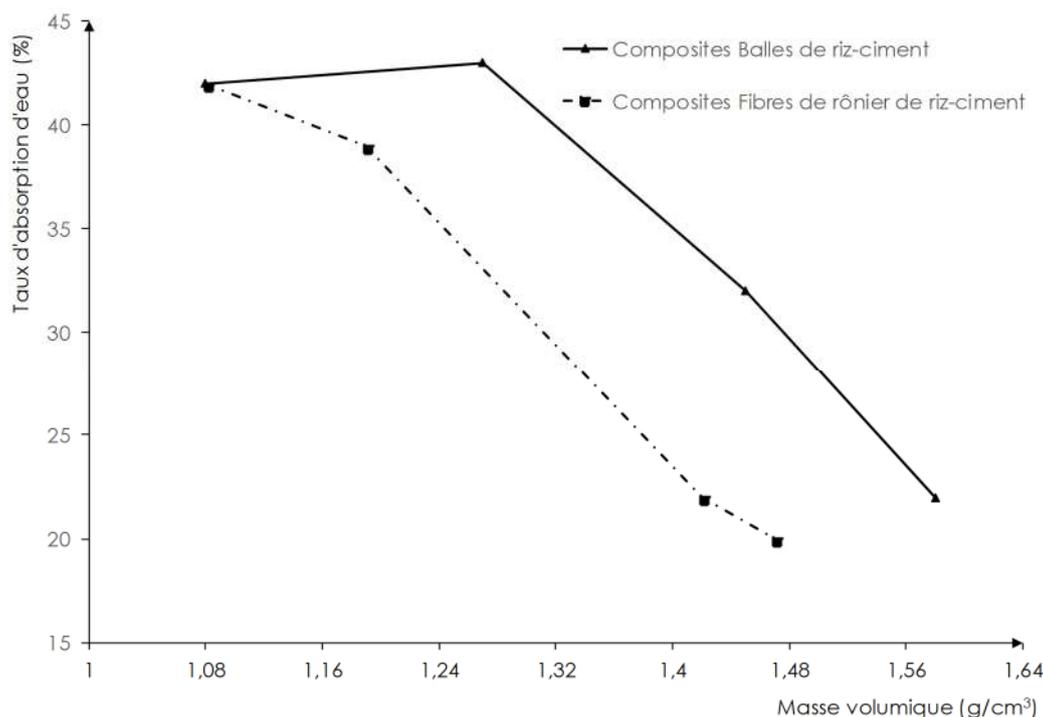


Fig. 2. Taux d'absorption d'eau en fonction de la masse volumique des composites étudiés

3.2 PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES

Les figures 3 et 4 présentent les résultats des essais mécaniques en fonction de la masse volumique des échantillons. Ces figures montrent que les échantillons à base de fibres de rônier développent de meilleures résistances mécaniques (à la compression comme à la traction par flexion) que ceux à base de balles de riz. L'augmentation de résistance est de plus de 15% en compression et de l'ordre de 20% en traction par flexion. Cependant, ces écarts tendent à se résorber (moins de 5%) avec l'augmentation de la masse volumique des échantillons (due à une augmentation de la quantité de ciment). Ce qui semble indiquer que la masse volumique des échantillons joue un important rôle sur leurs propriétés mécaniques par rapport au type

de biomasse végétale. Ainsi, Les écarts de résistance sont plus faibles entre ces deux matériaux lorsque les masses volumiques de ces matériaux sont sensiblement du même ordre de grandeur. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Mounanga et al. [19] qui montrent l'existence de corrélations entre la résistance à la compression et la densité sèche de béton à base de chanvre. Ce résultat peut donc s'appliquer à toutes les biomasses végétales.



Fig. 3. Résistances à la compression en fonction de la masse volumique des composites étudiés



Fig. 4. Résistances à la traction par flexion en fonction de la masse volumique des composites étudiés

4 CONCLUSION

Dans ce travail, l'étude des propriétés physiques et mécaniques de composites à base de balles de riz et de fibres de rônier a été réalisée. Les principales conclusions sont :

- La taille des granulats de biomasse végétale n'a pas un rôle prépondérant sur les propriétés physiques et mécaniques des composites étudiés ;
- La masse volumique des composites a une grande incidence sur les propriétés mécaniques des composites indépendamment de la biomasse ;
- Les composites à base de fibres de rônier développent des propriétés physiques et mécaniques meilleures que ceux à base de balles de riz indépendamment de la taille des granulats de biomasse et du dosage en ciment ;
- Les composites étudiés s'intègrent bien dans la classe des bétons légers.

Cet article confirme la possibilité d'utiliser des fibres de rônier et des balles de riz comme granulats dans la fabrication de composites à base de biomasse. Les résultats obtenus permettent d'envisager une revalorisation de ces déchets dans les matériaux cimentaires en vue de confectionner des bétons de granulats légers (à base de biomasse).

REFERENCES

- [1] A. Ledhem, R. M. Dheilly, M. L. Benmalek and M. Quéneudec, "Properties of wood based composites formulated with aggregate industry waste," *Construction and Building Materials*, vol. 14, pp. 341–350, 2000.
- [2] R. D. Toledo Filho, K. Scrivener, G. L. England and K. Ghavami, "Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibers in cement based composites," *Cement Concrete Composites*, vol. 6, pp. 127–143, 2000.
- [3] G. Ramakrishna, T. Sundararajan and S. Kothandaraman, "Evaluation of durability of natural fibers reinforced cement mortar composite- A new approach," *ARPN Journal of Engineering and Applied Science*, vol. 5, pp. 44–51, 2010.
- [4] C. Asasutjarit, J. Hirunlabh, J. Khedari, S. Charoenvai, B. Zeghamati and U. C. Shin, "Development of coconut coir-based lightweight cement board," *Construction and Building Materials*, vol. 21, pp. 277–288, 2007.
- [5] K. Bilba, M. A. Arsene and A. Ouensanga, "Sugar cane bagasse fiber reinforced cement composite. Part I. Influence of the botanical component of bagasse on the setting of bagasse/cement composite," *Cement Concrete Composites*, vol. 25, pp. 91–96, 2003.
- [6] V. Cerezo, "Mechanical, thermal and acoustic-based material of vegetable particles: Experimental approach and theoretical modeling," *Ph. D. Thesis, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, France*, 2005.
- [7] S. Elfordy, F. Lucas, F. Tancret, Y. Scudeller and L. Goudet, "Mechanical and Thermal properties of lime and hemp concrete (hempcrete) manufactured by projection process," *Construction and Building Materials*, vol. 22, pp. 2116–2123, 2008.
- [8] J. L. Pehanich, P. R. Blankenhorn and M. R. Silsbee, "Wood fiber surface treatment level effects on selected mechanical properties of wood fiber-cement composite," *Cement and Concrete Research*, vol. 34, pp. 59–65, 2004.
- [9] J. Khedari, N. Nankongnab, J. Hirunlabh and S. Teekasap, "New low-cost insulation particleboards from mixture of durian peel and coconut coir," *Building and Environment*, vol. 39, pp. 59–65, 2004.
- [10] J. H. Savastano, P. G. Warden and R. S. P. Coutts, "Brazilian waste fibers as reinforcement for cement-based composite," *Cement Concrete Composites*, vol. 22, pp. 379–384, 2000.
- [11] M. Merzoud and M. F. Habita, "Development of cement-based composite diss," *Afrique Science*, vol. 4, pp. 231–245, 2008.
- [12] V. Gbaguidi and G. Gbaguidi, "Détermination expérimentale des principales caractéristiques physiques et mécaniques du bois du rônier (*Borassus aethiopicum mart*) d'origine béninoise," *Journal of Research and Science, Série E*, vol. 12, n°2, pp. 1–9, 2010.
- [13] A. Kriker, G. Debicki, A. A. Bali and M. M. Khenfer, "Mechanical properties of date palm fibers and concrete reinforced with date palm fibers in hot-dry climate," *Cement Concrete Composites*, vol. 27, pp. 54–64, 2005.
- [14] RILEM T. C, *RILEM Recommendations for the testing and use of construction materials. CPC 11.1. Absorption of water by concrete by immersion*, Ed. E & FN SPON, 1994.
- [15] NF EN 772-13, Ed. AFNOR, 2000.
- [16] NF EN 12390-3, *Testing hardened concrete – Part 3: Compressive strength of test specimens*, Ed. AFNOR, 2003.
- [17] NF EN 12390-5, *Testing hardened concrete – Part 5: Flexural strength of test specimens*, Ed. AFNOR, 2003.
- [18] K. Ghavami, "Composites with bamboo and vegetable fibers. A contribution to a sustainable development," *Proceedings of the 3rd International Conference on Non-Conventional Materials Technology, NOCMAT/3*, Ed. Construction Publishing House, Vietnam, 2002.
- [19] P. Mounanga, P. Poullain, G. Bastian and P. Glouanec, "Effects of formulation and manufacturing process on the mechanical behavior of different hemp concretes," *Proceedings of the 19th French Congress of mechanics*, Marseille, France, 2009.