

Effets de la longueur et de la teneur des fibres de bambou sur les propriétés physicomécaniques et hygroscopiques des blocs de terre comprimée utilisés dans la construction

Dieudonné ABESSOLO^{1*}, Achille Bernard BIWOLE², Didier FOKWA¹,
Bernard Morino GANOU KOUNGANG¹ et Bernard NYOUMA YEBGA²

¹ Université de Douala, Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales et Appliquées, Unité de Formation doctorale, Sciences de l'Ingénieur, Laboratoire de Mécanique, BP 1872 Douala Cameroun

² Université de Douala, Ecole Doctorale des Sciences Fondamentales et Appliquées, Unité de Formation doctorale, Sciences de l'Ingénieur, Laboratoire de Valorisation des Ressources Forestières et du Bois, BP 1872 Douala, Cameroun

* Correspondance, courriel : dieuabessolo63@gmail.com

Résumé

La présente recherche a pour objectif l'étude de l'influence de la longueur et de la teneur en fibres de bambou (*bambusa vulgaris*), sur les propriétés physicomécaniques et hygroscopiques des Blocs de Terre Comprimée (BTC). L'étude s'est focalisée sur la densité, la porosité, la résistance à la compression, la résistance à la flexion, le taux absorption d'eau. Trois teneurs en fibres (0.5, 0.75 et 1 %) ont été utilisées avec une variation de longueur de fibres (4, 5 et 6 cm) pour chaque taux ; les BTC à 0 % de fibres ont servi de témoins. Les résultats montrent que la densité des BTC diminue avec l'augmentation de la teneur et de la longueur des fibres, la plus grande densité revient ainsi aux échantillons à 0.5 % de fibres de longueur 4 cm ; le contraire est constaté en ce qui concerne la porosité, elle croit avec l'augmentation de la teneur et de la longueur des fibres ; elle est plus grande pour les échantillons fibrés à 1 % et à 6cm de longueur. La résistance à la compression est meilleure pour les échantillons ayant le taux et la longueur de fibres les plus petits (0.5 % et 4 cm). La résistance à la flexion, tout comme le taux d'absorption d'eau, croissent avec l'augmentation du taux et de la longueur des fibres, les résultats les plus élevés appartiennent aux échantillons à 1 % et 6cm de fibres. Donc, en général, les propriétés mécaniques des BTC s'améliorent avec l'ajout des fibres de bambou, mais augmente leur sensibilité à l'eau.

Mots-clés : *Bloc de Terre Comprimée (BTC), longueur et teneur en fibres de bambou, bambusa vulgaris, propriétés physicomécaniques et hygroscopiques.*

Abstract

Effects of length and content ratio of bamboo fibers on the physical, mechanical and hygroscopic properties of compressed earth blocs used in construction

The present research aims to study the effects of length and content ratio of bamboo fibers (*bambusa vulgaris*), on the physical, mechanical and hygroscopic properties of compressed earth blocks (CEB). The study

was focused on density, porosity, compressive strength, flexural strength and water absorption rate. Three fiber contents (0.5, 0.75 and 1 %) were used, with fiber length variation (4, 5 and 6 cm) for each rate; the CEB with 0 % fibers being considered as reference for comparison. The results show that the density of the CEB decreases with the increase of the content and the length of the fibers, the highest density belongs to the samples at 0.5 % fibers and 4 cm length; the contrary is observed with regard to the porosity, it increases with the increase of the content and the length of the fibers; it is higher for samples at 1 % fibers and 6cm in length. Compression strength is better for samples with the smallest fiber rate and length (0.5 % and 4 cm); the flexural strength, as well as the rate of water absorption, increase with the increase of the fiber rate and the length of the fibers, the highest results belong to the 1 % and 6cm samples of fibers. However, the addition of bamboo fibers increases the water sensitivity of Compressed Earth Blocks (CEB).

Keywords : *Compressed Earth Block (CEB), length and fiber ratio, bambusa vulgaris, physical, mechanical and hygroscopic properties.*

1. Introduction

Les divers sites archéologiques découverts dans bon nombre d'espaces géographiques à travers la planète terre affirment que l'homme a la maîtrise des techniques de construction à base de la terre crue. En outre, nonobstant le développement technologique qu'a connu l'humanité au fil des temps, notamment dans le domaine de la construction, à travers diverses variétés de matériaux, on enregistre un retour soutenu vers la construction en terre crue à travers le monde [1 - 4]. Il est reconnu que la terre crue présente moult inconvénients, notamment une faible résistance mécanique et une forte sensibilité à l'eau. Au fil de l'évolution technologique et scientifique, des chercheurs ont fait recours à plusieurs adjuvants pour améliorer les qualités mécaniques et hygroscopiques des BTC stabilisés à base de la terre crue [5 - 7]. D'autres études ont montré que, la stabilisation des BTC par des fibres naturelles permet de réduire la fissuration des BTC due au retrait, d'améliorer leur durabilité et leur résistance à la traction [3, 8, 9] et, de diminuer leur conductivité thermique [10 - 13]. S'il a été prouvé, dans des études plus récentes, effectuées sur les BTC que, dans certaines limites, l'augmentation de fibres de Sisal et de palmier dattier, de teneurs en ciment et de contrainte de compactage améliore la résistance à la compression sèche des blocs et que, pour le reste des cas étudiés, l'ajout des fibres a un effet négatif sur les propriétés du BTC [14 - 17], on peut formuler l'hypothèse selon laquelle, la longueur et la quantité des fibres a une influence sur les propriétés des BTC stabilisés avec ces fibres. Au Cameroun, on note une forte présence du bambou de l'espèce *bambusa vulgaris* ainsi donc, dans une approche de développement durable, de promotion et de valorisation des ressources locales naturelles, notamment dans le domaine de la construction, des fibres de ce matériau ont été utilisées pour stabiliser des BTC, aux proportions et tailles différentes, afin d'examiner leur influence sur les propriétés mécaniques et hygroscopiques de ces blocs.

2. Matériel et méthodes

2-1. Les matériaux

2-1-1. Les Blocs de Terre Comprimée stabilisés aux fibres de bambou (bambusa vulgaris)

Les produits sujets de la présente étude sont les Blocs de Terre Comprimée stabilisés aux fibres de bambou. Les blocs ont été fabriqués au Laboratoire de la Mission pour la Promotion des Matériaux Locaux (MIPROMALO)

à Yaoundé, selon la norme camerounaise NC 103, la force de compactage était de 15 MPa. La masse des éprouvettes sèches est maintenue constante durant la phase expérimentale. Elle est de l'ordre de 150g par éprouvette en compression et 400 g par éprouvette en flexion et en absorption. Une série d'éprouvettes est confectionnée avec 100 % de sol (0 % de fibres), et une autre série avec trois teneurs en fibres (0.5 %, 0.75 % et 1 %) par rapport à la masse sèche totale des éprouvettes, chaque teneur ayant trois variations de longueur : 4, 5 et 6 cm.

Tableau 1 : *Composition massique des échantillons utilisés*

Désignation	Sol (%)	Eau (%)	Fibres (%)	Longueur des fibres (cm)
B-L0	90	10	0	0
B-L1	89,5	10	0.5	4
B-L1	89,5	10	0.5	5
B-L1	89,5	10	0.5	6
B-L2	89,25	10	0.75	4
B-L2	89,25	10	0,75	5
B-L2	89,25	10	0.75	6
B-L3	89	10	1	4
B-L3	89	10	1	5
B-L3	89	10	1	6

Les BTC sont utilisés dans la construction où ils peuvent être sollicités physiquement, mécaniquement ou comme éléments de remplissage, mais peuvent perdre leur résistance et leur durabilité s'ils sont exposés à l'eau.



Figure 1 : *Bambou épluché*



Figure 2 : *Bambou défibré*

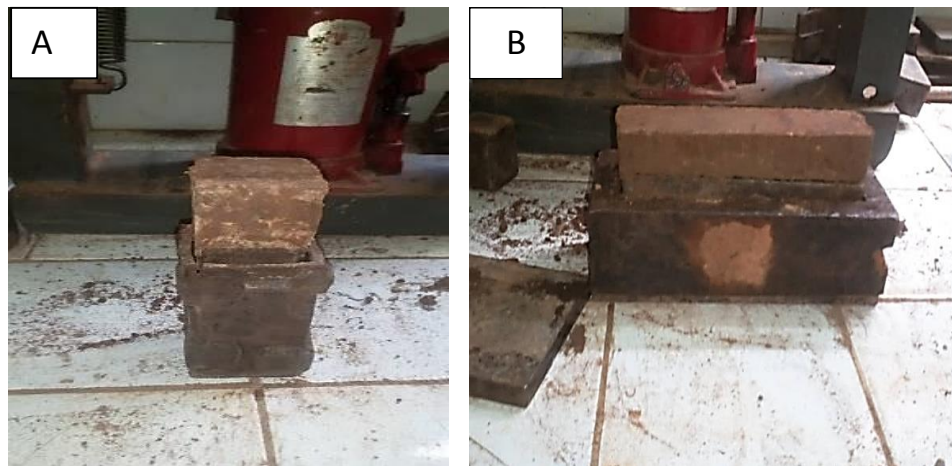


Figure 3 : Échantillons obtenus : (A) pour l'essai de résistance en compression et (B) pour les essais hygroscopiques et de résistance en flexion

2-2. Les tests et essais effectués

Les essais suivants ont été effectués : densité, porosité, compression, flexion, absorption d'eau ; chaque essai est réalisé sur 5 éprouvettes d'un même échantillon.

2-2-1. Essais en compression



Figure 4 : Essai de compression

Les tests de résistance à la compression ont été réalisés sur des éprouvettes de dimension $40 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$, à l'aide d'une presse équipée d'un vérin hydraulique ; la résistance à la compression est donnée par la **Formule** ci-dessous :

$$R_c = \frac{F}{L \times l} \quad (1)$$

Avec R_c : Résistance à la compression des blocs en (MPa), F : Force de rupture (N), L : Longueur de l'éprouvette en mm, l : largeur de l'éprouvette en mm.

2-2-2. Essais en flexion



Figure 5 : Essai en flexion 3 points

Les tests de résistance à flexion sont réalisés sur des blocs de dimensions $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$ à l'aide de la même presse qui a servi aux essais de compression. L'éprouvette est placée sur deux baguettes métalliques distantes de 50mm sur le plateau inférieur de la machine ; Une troisième baguette sur laquelle s'exercera la pression, est ensuite déposée au-dessus de l'éprouvette. A la rupture, la contrainte maximale de traction due à la flexion est calculée à partir de **l'Équation** ci-dessous :

$$\sigma_{\max} = \frac{3}{2} \left(\frac{L \cdot F_{\max}}{b \cdot e^2} \right) \quad (2)$$

Avec σ_{\max} (MPa) : résistance à la traction par flexion à trois points ; F_{\max} (N) : la force de rupture ; L (mm) : la longueur du BTC ; b (mm) : la largeur du BTC ; e (mm) : l'épaisseur du BTC).

2-2-3. Test de densité

Les blocs utilisés sont de dimensions $40 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$. L'essai consiste à peser chaque éprouvette de chaque échantillon et de calculer la masse volumique apparente. La masse volumique apparente à l'état sec de la brique est déterminée par la **Formule** (exprimée en kg/m^3) ci-dessous :

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (3)$$

Avec M : la masse en kg, V : le volume en m^3

2-2-4. Test de porosité

Les échantillons ont été séchés dans l'étuve à une température $105 \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à obtention d'une masse constante ou masse sèche (M_s). Après refroidissement, ils ont été immergés complètement dans l'eau; s'en sont suivies des prises de masses toutes les 30 minutes, après élimination de l'eau résiduelle avec un chiffon absorbant, jusqu'à l'obtention d'une différence entre deux mesures successives inférieure à 0.2 % ou masse saturée (M_{sa}). Le volume des pores (V_p) représente la différence entre la masse finale saturée et la masse

initiale sèche, divisée par la masse volumique de l'eau (ρ_{eau}). La porosité apparente (P) a été déterminée par le rapport du volume des pores au volume total (V_t) de l'éprouvette.

$$V_p = \frac{M_{sa} - M_s}{\rho_{eau}} \quad (4)$$

$$P = \frac{V_p}{V_t} \quad (5)$$

2-2-5. Essai d'absorption

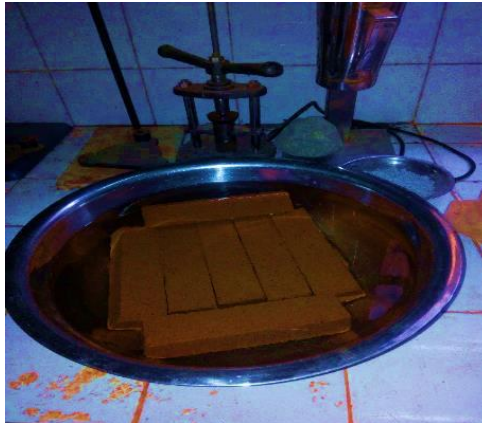


Figure 6 : Essai d'absorption

Les blocs sont de dimensions $160 \times 40 \times 40 \text{ mm}^3$. Les éprouvettes ont d'abord été séchées à l'étuve à 105°C pendant 24 h ; ensuite, la masse de l'éprouvette complètement sèche (M_s) a été relevée ; l'éprouvette a enfin été trempée dans l'eau pendant 24 h et sa masse trempée (M_t) a été relevée. Le pourcentage d'absorption est calculé par la **Formule** suivante :

$$\text{Abs} = \frac{M_t - M_s}{M_s} \times 100 \quad (6)$$

3. Résultats et discussion

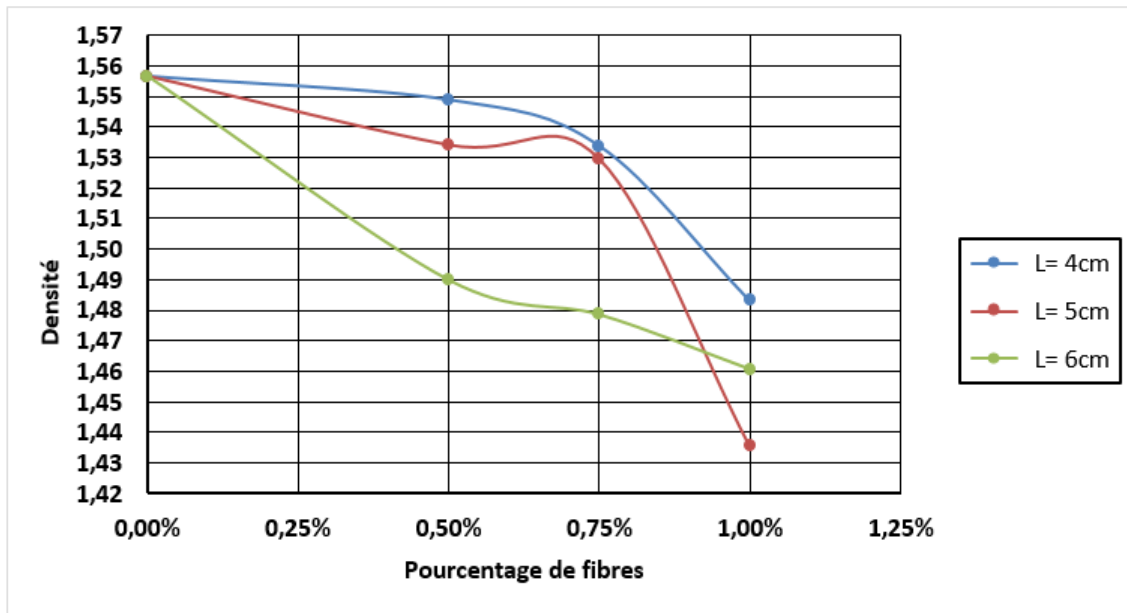


Figure 7 : Variation de la densité des BTC en fonction de la teneur et de la longueur des fibres

A travers la **Figure 7**, le constat est qu'en général, la densité des BTC diminue avec l'augmentation de la teneur et de la longueur des fibres; elle est de 1560 m³/Kg pour les BTC sans fibres (0 %), et de 1430 m³/Kg pour ceux fibrés à 1 % avec une longueur de 5 cm. Donc, plus les fibres sont longues et nombreuses, moins le BTC est dense. On constate que ces valeurs sont inférieures à celles de la terre cuite (1800-2000 m³/Kg) ainsi que celle de la terre battue (1700 m³/Kg) [19, 16]. Ce phénomène pourrait être dû à l'augmentation du réseau poreux dans les Blocs.

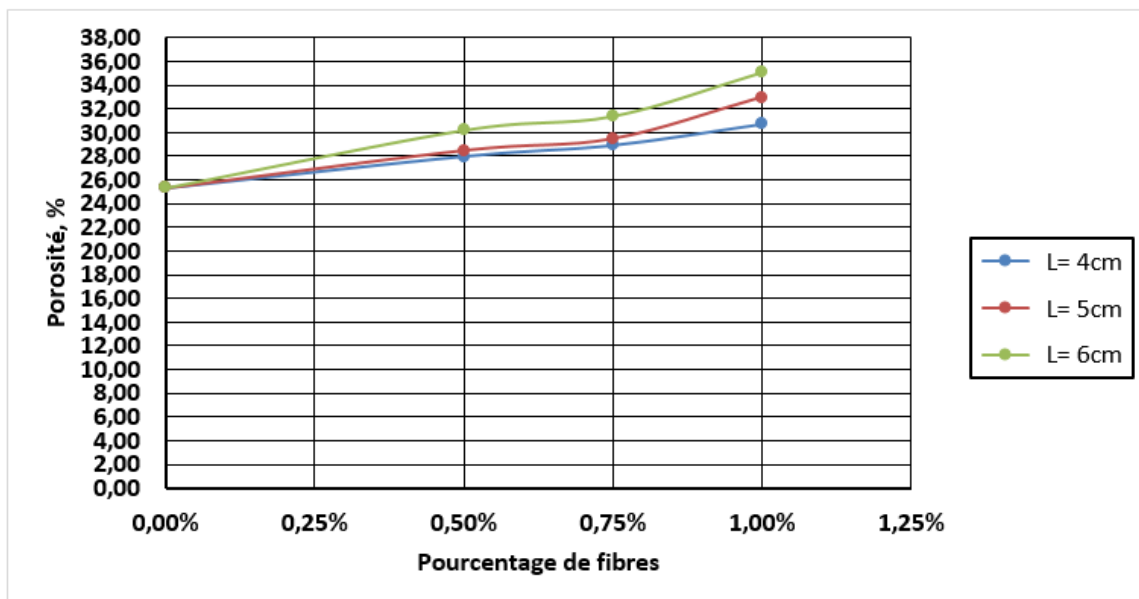


Figure 8 : Variation de la porosité des BTC en fonction du taux et de la longueur des fibres

La **Figure 8** ci-dessus montre que, la porosité augmente avec l'évolution à la hausse de la quantité et de la longueur des fibres de bambou ; ainsi, les blocs les moins poreux (25 %), sont ceux sans fibres (0.00 %), et les plus poreux (35 %), sont ceux qui contiennent à la fois le plus de fibres (1 %), et les plus longues (6 cm). Ce résultat peut s'expliquer par le fait que l'augmentation de la quantité et de la longueur des fibres crée des vides dans les BTC ; résultat par ailleurs logique par rapport à la densité, qui elle, décroît [18, 19].

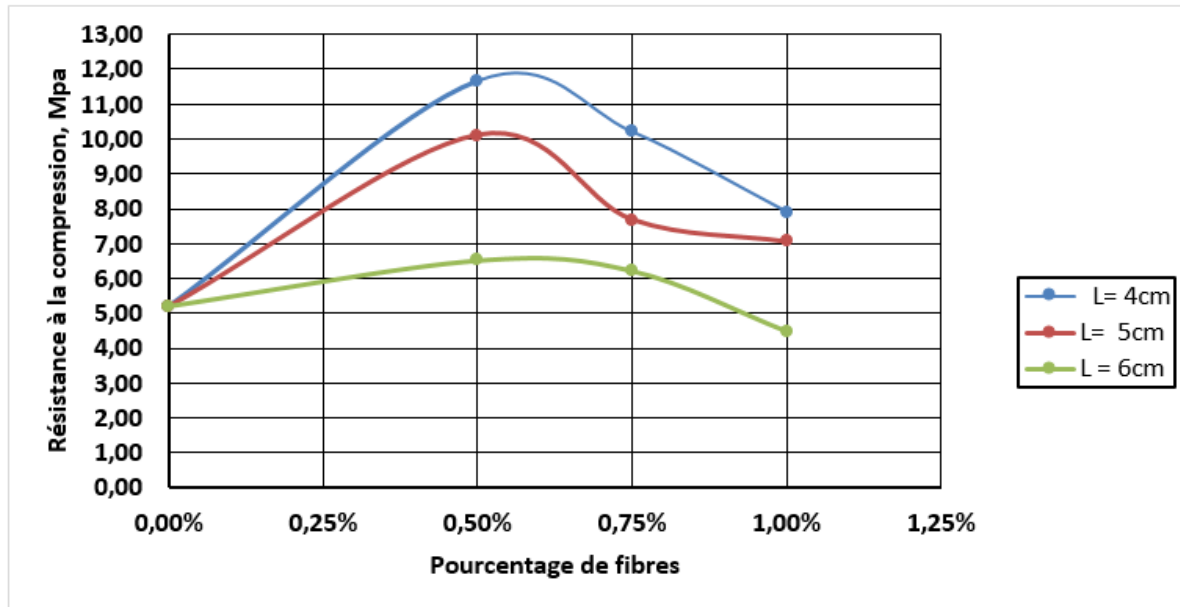


Figure 9 : *Variation de la résistance à la compression des BTC en fonction de la teneur et de la longueur des fibres*

La **Figure 9** montre d'une manière générale que, la résistance à la compression, pour les trois longueurs, croît et atteint son maximum autour de 0,55 % de fibres, pour ensuite commencer à décroître ; les échantillons renforcés avec la plus petite longueur de fibres (4 cm), résistent mieux à la compression. Les blocs renforcés avec des fibres de bambou à 0,5 % et de longueur 4 cm, donnent une meilleure résistance à la compression par rapport à ceux renforcés à 0,75 % et 1 % de fibres et de longueur plus grande. Ceci serait la conséquence de la porosité croissante, et donc de la densité décroissante des BTC qui vont de pair avec l'augmentation à la fois du taux de fibres et de leur longueur [1, 15, 18, 19].

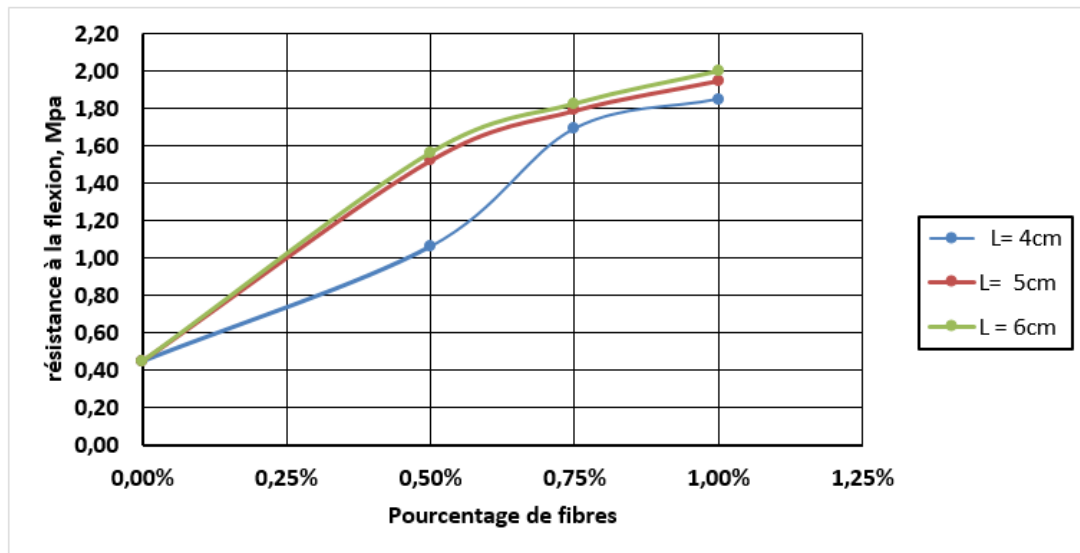


Figure 10 : Variation de la résistance à la flexion 3 points des BTC en fonction de la teneur et de la longueur des fibres

A l'observation de la **Figure 10**, il est visible que la résistance à la flexion, d'une manière générale, croît pour toutes les longueurs de fibres à mesure que le taux de celles-ci augmente de 0 à 1 % ; donc, plus il y a de fibres, et en plus longues, meilleure est la résistance à la flexion. Le meilleur résultat au taux maximal de fibres (1 %), a été obtenu par les blocs renforcés avec les fibres de 6 cm (2 Mpa), suivi par ceux de 5 cm (1.90 Mpa). La résistance la plus faible (0.4 Mpa) a été enregistrée par les BTC non renforcés (0.00 % de fibres). Ce résultat est dû au fait que l'augmentation de la quantité de fibres de bambou entraîne une résistance croissante à la fracture dans le bloc de latérite [18 - 20].

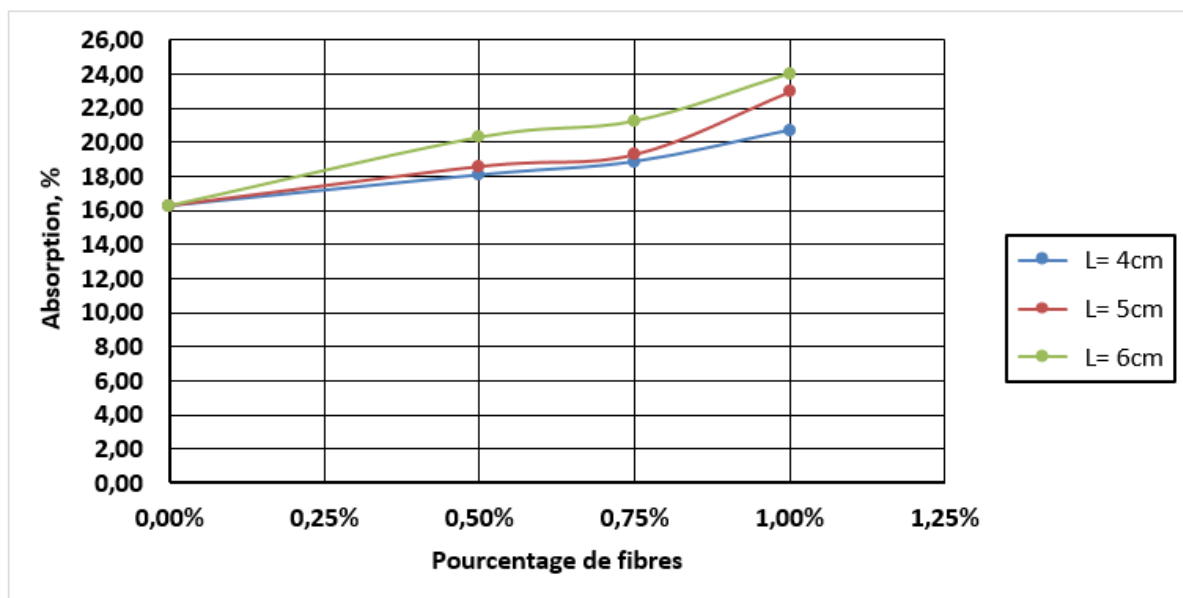


Figure 11 : Variation du taux d'absorption des BTC en fonction de la teneur et de la longueur des fibres

La **Figure 11** montre que le taux d'absorption d'eau de toutes les catégories de BTC augmente, et que plus il y a de fibres, plus l'absorption est grande, plus les fibres sont longues, plus grande est l'absorption;

phénomène qui peut être attribué à la capacité d'absorption d'eau des fibres. C'est ainsi que les BTC renforcés à 1 % présentent les plus grands taux d'absorption, respectivement, 20.2 % pour ceux avec des fibres de 4 cm, 23 % pour ceux avec des fibres de 5cm, et 24 % pour les BTC contenant des fibres de bambou de 6 cm. Les blocs non renforcés présentent le plus faible taux d'absorption (16 %). A l'observation du comportement des BTC stabilisés avec les fibres les plus courtes (4 cm) par rapport aux blocs non fibrés (0 %), on constate que les BTC aux fibres de 4cm, à 0.25% de fibres ont un taux d'absorption de 17 %, à 0.50 % de fibres, 18 %, à 0.75 % de fibres, 18.2 %, et 20.2 % pour 1 % de fibres. On peut donc observer que l'ajout de fibres augmente le taux d'absorption des BTC, mais peut être minimisé en utilisant de petites longueurs et de petites quantités de fibres. On observe que 0 % de fibres correspond à 16 % de taux d'absorption, 0.75 % de fibres correspond à 18 % de taux d'absorption, soit une augmentation de 2 %, valeur qui se situe dans la plage acceptable d'absorption d'eau qui est de 10 % à 20 %, et donc, respecte les exigences minimales d'utilisation dans la construction [21, 22].

4. Conclusion

Le présent travail était focalisé sur l'étude de l'influence de la teneur et de la longueur des fibres de bambou (*bambusa vulgaris*) sur les propriétés physiques, mécaniques et hygroscopiques des Blocs de Terre Comprimée utilisés en construction. Les résultats permettent de conclure que :

- L'ajout des fibres de bambou dans les BTC améliore globalement leurs propriétés mécaniques, en l'occurrence la résistance à la flexion et la résistance à la compression ; cependant, des taux et des longueurs élevées des fibres ont un effet négatif sur la résistance à la compression des BTC, et plutôt positif sur la résistance à la flexion ;
- L'ajout des fibres de bambou dans les BTC réduit leur densité et augmente leur porosité, phénomène qui s'accroît avec l'augmentation tant en quantité qu'en longueur des fibres ;
- L'ajout de fibres de bambou dans les BTC augmente leur taux d'absorption, qui va croissant avec l'augmentation soit en quantité ou en taille ; phénomène qui diminue la résistance et la durabilité des blocs de terre et qui devrait par conséquent faire l'objet de futures études.

Références

- [1] - E. OUEDRAOGO, O. COULIBALY and O. ABDOULAYE, *Caractérisation mécanique et thermophysique des blocs de terre comprimée stabilisée au papier (cellulose) et / ou au ciment . Mechanical and Thermophysical Properties of Cement and / or Paper (Cellulose) Stabilized Compressed Clay Bricks*, 2 (2015), 68 - 76
- [2] - V. RIGASSI, *Compressed Earth Blocks : Manual of Production*, Vol. 1, (1995).
- [3] - R. N. SWAMY, *Vegetable fibre reinforced cement composites-a false dream or a potential reality?*, in *Vegetable Plants and their Fibres as Building Materials : Proceedings of the Second International RILEM Symposium*, Routledge, London, (1990)
- [4] - S. S. NAMANGO, *Development of Cost-Effective Earthen Building Material for Housing Wall Construction : Investigations into the Properties of Compressed Earth Blocks Stabilized with Sisal Vegetable Fibres , Cassava Powder and Cement Compositions*, Cottbus, (2006)
- [5] - H. HOUBEN, V. RIGASSI and P. GARNIER, *Compressed Earth Blocks. Production Equipment*, 2nd ed.Bruxelles, (1996)

- [6] - R. M. ROWELL, *Characterization and factors effecting fiber properties*, Nat. Polym. agrofibers based Compos. (2000)
- [7] - I. SAADI and R. BELOUTTAR, *Comportement mécanique des briques de terre crue renforcées par des fibres de palmier dattier et des fibres de paille*, in Séminaire International, Innovation & valorisation en génie civil & matériaux de construction, (2009) 1 - 5
- [8] - M. NGOULOU, R. G. ELENGA, L. AHOUE, S. BOUYILA and S. KONDA, *Modeling the Drying Kinetics of Earth Bricks Stabilized with Cassava Flour Gel and Amylopectin*, Geomaterials 09 (2019), 40 - 53
- [9] - A. MESBAH, J. C. MOREL, P. WALKER and K. GHAVAMI, *Development of a Direct Tensile Test for Compacted Earth Blocks Reinforced with Natural Fibers*, J. Mater. Civ. Eng. 16 (2004), 95 - 98
- [10] - H. S. MOUSSA, P. NSHIMIYIMANA, C. HEMA, O. ZOUNGRANA, A. MESSAN and L. COURARD, *Comparative Study of Thermal Comfort Induced from Masonry Made of Stabilized Compressed Earth Block vs Conventional Cementitious Material*, J. Miner. Mater. Charact. Eng. 07 (2019), 385 - 403
- [11] - J. KHEDARI, S. CHAROENVAI and J. HIRUNLABH, *New insulating particleboards from durian peel and coconut coir*, Build. Environ. 38 (2003), 435 - 441
- [12] - A. MEKHERMECHE, *Contribution à l'étude des propriétés mécaniques et thermiques des briques en terre en vue de leur utilisation dans la restauration des Ksours*, Université Kasdi Merbah Ouargla, (2012)
- [13] - R. NTENGA, *L'anisotropie élastique de fibres végétales pour le renforcement de matériaux composites*, (2012)
- [14] - K. V. MAHESHWARI, A. K. DESAI and C. H. SOLANKI, *Performance of fiber reinforced clayey soil*, Electron. J. Geotech. Eng. 16 (2011), 1067 - 1082
- [15] - B. Taallah, *Etude du comportement physico-mécanique du bloc de terre comprimée avec fibres*, (2014), 202 p.
- [16] - T. Alsaeed, B. F. Yousif and H. Ku, *The potential of using date palm fibres as reinforcement for polymeric composites*, Mater. Des. 43 (2013), 177 - 184
- [17] - C. Baley, *Fibres Naturelles de Renfort Pour Matériaux Composites*, Techniques de l'Ingénieur, (2004)
- [18] - *Caractérisation des briques de terre utilisées dans les anciennes constructions dans la zone de Bou-Saâda*. Université mohamed boudiaf-m'sila, (2019)
- [19] - N. A. Vodounon, C. Kanali and J. Mwero, *Compressive and Flexural Strengths of Cement Stabilized Earth Bricks Reinforced with Treated and Untreated Pineapple Leaves Fibres*, Open J. Compos. Mater. 8 (2018), 145 - 160
- [20] - B. TAALLAH, A. GUETTALA, S. GUETTALA and A. KRIKER, *Mechanical properties and hygroscopicity behavior of compressed earth block filled by date palm fibers*, Constr. Build. Mater. 59 (2014)
- [21] - M. SAIDI, A. S. CHERIF, E. SEDIKI and B. ZEGHMATI, *Etude comparative de la capacité de sorption des matériaux de construction à base de terre* Abstract. (2019), 1 - 10
- [22] - R. SUDIN and N. SWAMY, *Bamboo and wood fibre cement composites for sustainable infrastructure regeneration*, in Journal of Materials Science, 41 (2006), 6917 - 6924