

Amélioration des caractéristiques mécaniques des briques comprimées par ajout de cendres de bois

[Improvement of the mechanical characteristics of compressed bricks by adding wood ash]

K. A. Kouassi¹, L. M. Thieblessou¹, A. S. Djomo¹, and A. C. Djohore²

¹UFR Environnement, Université Jean Lorougnon GUEDE de Daloa, B.P 150 Daloa, Côte d'Ivoire

²Laboratoire des Politiques Energétiques et Environnemental, Institut de Recherche sur les Energies Nouvelles, Université Nangui Abrogoua d'Abobo-Adjamé 02 BP 801 Abidjan 02, Côte d'Ivoire

Copyright © 2022 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: The purpose of this study is to design compressed earth bricks and evaluate the mechanical characteristics in the dry and wet state. To achieve this, bricks were made by adding ash and cement to clay sand. Different materials were elaborated in dry and wet state. The formulation of the materials is as follows: 05% of cement for 25% of ash for the first material, 05% of cement and 05% of ash for the second type and 03% of cement for 03% of ash for the last. All the bricks were tested in compression, at 14 days for some and 14 days plus 3 days of immersion in water for others. The different results obtained at the end of the different laboratory performance tests give compressive strengths of 3.28 MPa for the first type of formulation; 2.18 MPa for the second type and 2.06 MPa for the third type of formulation at 14 days in a dry state. In the wet state, the compressive strength is 2.05 MPa for the first type of mix; 1.09 MPa for the second type and 1.40 MPa for the third type of mix at 14 days and three days of immersion with the same cement and ash dosages. The optimum strength is obtained for dosages of 05% cement for 25% wood ash.

KEYWORDS: Bingerville, BTC, materials, compressive strength, ash.

RESUME: Cette étude a pour but de concevoir des briques de terre comprimée et évaluer les caractéristiques mécaniques à l'état sec et humide. Pour y parvenir, des briques ont été réalisées par ajout de cendre et de ciment au sable argileux. Différents matériaux ont été élaborés à l'état sec et humide. La formulation des matériaux est la suivante: 05% de ciment pour 25% de cendre pour le premier matériau, 05% de ciment et 05% de cendre pour le deuxième type et 03% de ciment pour 03% de cendre pour le dernier. Toutes les briques ont été testées à la compression, à 14 jours pour certains et 14 jours plus 3 jours d'immersion dans l'eau pour d'autres. Les différents résultats obtenus à la fin des différents tests de performances en laboratoire donnent des résistances à la compression de 3,28 MPa pour le premier type de formulation; de 2,18 MPa pour le deuxième type et 2,06 MPa pour le troisième type de formulation à 14 jours à l'état sec. A l'état humide, la résistance à la compression est de 2,05 MPa pour le premier type de formulation; de 1,09 MPa pour le deuxième type et de 1,40MPa pour le troisième type de formulation à 14 jours et trois jours d'immersion avec les mêmes dosages en ciment et en cendre. La résistance optimale est obtenue pour des dosages à 05% de ciment pour 25% de cendre de bois.

MOTS-CLEFS: Bingerville, BTC, matériaux, résistance à la compression, cendre.

1 INTRODUCTION

La terre crue est l'un des premiers matériaux utilisés par l'Homme dans le domaine de la construction. Cette terre est de plus en plus délaissée au profit des nouveaux matériaux suite à l'apparition de ciment [1]. Ce matériau, souvent critiqué pour sa sensibilité à l'eau et son manque de durabilité présente cependant dans sa forme actuelle de nombreux avantages pour la construction de logements durables, confortables et économiques. La caractérisation des matériaux argileux doit être alors réalisée afin de vérifier leur aptitude à la fabrication

de briques de terre [2] car les performances des briques de terre crues comprimées BTC sont largement influencées par les caractéristiques du matériau en terre, du type et de la teneur en stabilisant ainsi que le processus de production et de durcissement.

De nombreux efforts ont été faits dans ce domaine pour améliorer les performances physico-mécaniques des BTC en conditions sèches et humides ainsi que leur durabilité. L'opération passe principalement par la stabilisation avec des liants chimiques tels que le ciment, la chaux voire les géopolymères ([3]; [4]) ainsi que des sous-produits industriels et agricoles ([5]; [6]). La résistance en compression, considérée comme un indicateur approprié des performances des BTC stabilisées, devrait être d'au moins 4 MPa et 2 MPa, respectivement, dans des conditions sèches et humides pour une utilisation dans la construction de murs porteurs [7]. Cependant, pour la construction de bâtiments, [8] renvoient à la norme turque (TS 704 1983, 1985) qui préconise une résistance minimale de 1 MPa quand [9] suggère un minimum de 2 MPa pour les blocs stabilisés au ciment.

Aujourd'hui, la terre crue suscite un regain d'intérêt suite à la crise du logement qui se perpétue surtout dans les pays en développement (PED) et notamment en Côte d'Ivoire. Contrairement aux autres matériaux traditionnels tels que le ciment, le béton, le bois et acier, la terre à l'état naturel possède de bonnes performances d'isolation thermique. Une fois stabilisée au ciment dans les conditions idéales, elle acquiert des caractéristiques mécaniques acceptables [10]. Elle présente de nombreux avantages environnementaux, sociaux, culturels, mais aussi économiques [11].

Aussi, l'apport de cendre de bois en complément du ciment dans la fabrication des briques comprimées améliore d'avantage ces caractéristiques. Ainsi cette étude a été initiée pour comprendre l'effet de la cendre de bois sur les propriétés mécaniques du matériau. Ce travail consiste à réaliser des BTC stabilisées avec de la cendre de bois et d'en étudier les caractéristiques mécaniques à l'état sec et humide. Il vise à mettre en évidence et à confirmer que la cendre de bois est un stabilisant qui améliore les caractéristiques mécaniques des briques de terre comprimées.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODES

2.1 MATÉRIEL

La confection des briques de terre comprimée a nécessité l'utilisation de matière première (latérite, ciment, cendre de bois), et de matériel de laboratoire.

2.1.1 MATIÈRE PREMIÈRE

Les briques de terre comprimée ou BTC, sont des éléments de maçonnerie faits en terre crue de forme parallélépipédique dont les dimensions courantes diffèrent des briques de terre moulées aux briques cuites. Elles varient selon les types de presses et de moules [12]. Les matières premières utilisées pour l'élaboration des briques sont la latérite, le ciment et la cendre de bois présentés sur la figure 1.

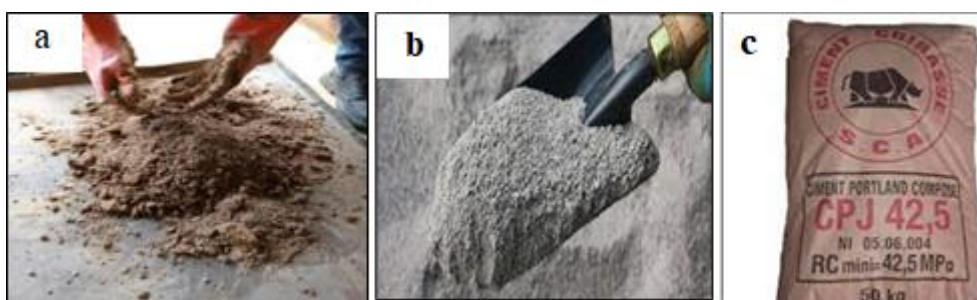


Fig. 1. Différentes matières premières; a) latérite; b) cendre de bois; c) ciment

Les prélèvements ont eu lieu dans la commune de Bingerville située sur bassin sédimentaire d'âge Crétacé-Quaternaire. Ce bassin sédimentaire est essentiellement constitué de sables argileux et de grès datant du tertiaire, précisément du pliocène [13], de conglomérats, de sables glauconieux et de marnes [14]. La latérite a été prélevé sur le site de Bingerville à 150 cm de profondeur précisément à 03°53'59,13" longitude (W) et 05°23'4,27" latitude (N). La cendre de bois quant à elle a été obtenue par calcination de bois tout venant. Le ciment utilisé est du ciment cuirasse de type CPJ de résistance 42,5. Ces trois matières premières ont été mélangés à des proportions différentes pour la réalisation de différents matériaux. Deux (2) échantillons témoins ont été élaborés à 0% de cendre de bois avec 0% et 5% de ciment (tableau I). Les matériaux sont nommés avec les initiales du produit Brique de Terre Comprimé (BTC) auxquelles il a été ajouté en indice les différentes proportions de la cendre de bois. Pour les matériaux témoins les indices sont t_0 pour témoin à 0 % de cendre de bois suivis des proportions de ciment ajoutée.

Tableau 1. Différentes formulations des composites

Type de formulation	Latérite (%)	Ciment (%)	Cendre de bois (%)	Eau (%)	Masse totale (g)
BTC _t 0Ci0	100	0	0	15	9190
BTC _t 0Ci5	95	5	0	15	9190
BTC5Ci5	90	5	5	15	9190
BTC10Ci3	87	3	10	15	9190
BTC25Ci5	70	5	25	15	9190
BTC30Ci4	66	4	30	15	9190
BTC35Ci3	62	3	35	15	9190
BTC40Ci2,5	57,5	2,5	40	15	9190
BTC45Ci2	53	2	45	15	9190

2.1.2 MATÉRIEL DE LABORATOIRE

Une étuve, une presse manuelle, une machine de compression, un tamis de 5 mm, une balance électronique, un bac à Proctor sont quelques matériels utilisés pour la réalisation des travaux.

2.2 METHODES ET TECHNIQUES DE CARACTERISATIONS DES BRIQUES COMPRIMÉES

La conception des BTC contenant de la cendre de bois s'est faite en deux étapes, l'une a consisté à des essais d'identification des matériaux et l'autre à la méthode confection des BTC proprement dites ainsi qu'à leur caractérisation.

2.2.1 IDENTIFICATION DES MATÉRIAUX

L'identification est un processus essentiel pour le choix des matériaux de terre en construction. Cette identification des matériaux va se faire à travers différents tests tels que l'analyse granulométrique et la limite d'Atterberg. Cette analyse granulométrique a consisté à séparer les grains agglomérés d'une masse (1200g) de sable argileux par brassage sous l'eau et à fractionner ce sol. Une fois séché, au moyen d'une série de tamis, les masses des différents refus des tamis sont pesés. La masse de refus cumulé du matériau sur chaque tamis a été rapportée à la masse totale sèche de l'échantillon soumis à l'analyse. Les pourcentages ainsi obtenus sont exploités sous une forme graphique (courbe granulométrique) selon la Norme NF P 94-056. Quant à l'essai de limite d'Atterberg, il est déterminé selon la norme française (norme NF P 94-051) et par la méthode à la coupelle avec l'appareil de Casagrande. Il a pour but de déterminer la teneur en eau de la latérite à leur passage de l'état liquide à l'état plastique. Cet essai a été réalisé sur la fraction fine de 0,04 mm.

2.2.2 ELABORATION DES BRIQUES DE TERRES COMPRIMÉES (BTC)

La confection des BTC nécessite une organisation qui se résume en sept (6) étapes qui sont Préparation de la terre (séchage, broyage, tamisage), Mélange avec l'eau et éventuellement stabilisation, Pressage et démoulage, Séchage, précédé d'une cure, le Stockage et la mise à eau.

2.2.2.1 PRÉPARATION DES MÉLANGES

La latérite est séchée à l'étuve pendant 24 heures à une température de 105°C. Elle est ensuite refroidie, broyée et tamisée avec la cendre de bois dans un tamis de maille 5mm. Tous ces matériaux sont pesés avec le ciment en fonction des différentes proportions établies dans le tableau I. Les matériaux sont par la suite mis dans le bac à Proctor et malaxés à l'état sec pendant 2 minutes puis pendant 3 minutes avec de l'eau pour avoir un mélange homogène. La pâte obtenue est mise dans le moule de la presse manuel et compacté.

2.2.2.2 PRESSAGE-DÉMOULAGE

La production des BTC se fait à l'aide de presse manuelle en acier avec un moule de dimension 25,5x12,5x12 cm³. Les mélanges sont compactés selon le mode statique à simple effet par le biais d'une presse hydraulique (figure 2). Lorsque le réalisateur exécute l'opération, le plateau inférieur de la presse se déplace entraînant l'ensemble moule + mélange + piston. Le plateau supérieur reste fixe. Le démoulage se fait immédiatement après compactage.



Fig. 2. Presse hydraulique avec le moule de compactage

2.2.2.3 SÉCHAGE ET CURE DES BRIQUES

Le séchage est une étape indispensable dans le processus de confection des BTC. Après la confection, les BTC sont séchées à la température ambiante pour une durée de 14 jours, et ce, à l'abri du soleil afin d'éviter un séchage trop rapide qui pourra endommager les briques.

2.2.2.4 MISE À EAU

La mise à l'eau consiste à mettre les BTC dans l'eau. En effet, après les 14 jours de séchage à température ambiante, la moitié des BTC réalisées a été mis dans un bac à eau pour immersion pendant une durée de trois jours. Passer ces trois jours, les tests de compression peuvent être effectués.

2.3 CARACTÉRISATION DES BRIQUES COMPRIMÉES

2.3.1 ESSAIS DE COMPRESSION

La résistance mécanique est un paramètre important pour des matériaux de construction. La résistance en compression des BTC est déterminée selon la norme expérimentale NF XP P13-901 pour une construction en terre. Elle est réalisée par la charge nécessaire pour provoquer la rupture de l'éprouvette soumise à une charge de compression uniformément répartie sur une face de l'éprouvette (figure 3). L'essai de résistance à la compression est effectué de la même manière pour tous les BTC à l'état sec qu'à l'état humide. La brique est placée entre les plateaux de la presse, ensuite, on applique une charge de manière continue, à une vitesse constante de 0,6 MPa/s jusqu'à la rupture complète de celle-ci. Enfin, on relève la charge maximale supportée par la brique au cours de l'essai. La résistance à la compression des blocs est donnée par la formule:

$$R_c = F/S \quad (1)$$

R_c : est la résistance à la compression des blocs en méga pascal (MPa), F la charge maximale supportée par le bloc en kilo newtons (kN), et S la surface moyenne des faces d'essai en centimètres carrés (cm²).



Fig. 3. Presse à compression

3 RÉSULTATS ET DISCUSSION

3.1 GRANULOMÉTRIE DE LA LATÉRITE

Les résultats de l'analyse granulométrique de la latérite permettent de dire qu'il s'agit d'un sable plus ou moins fins avec un pourcentage d'éléments de diamètre inférieur à $80\mu\text{m}$ en dessous de 50%. Ces résultats sont présentés sur la figure 4.

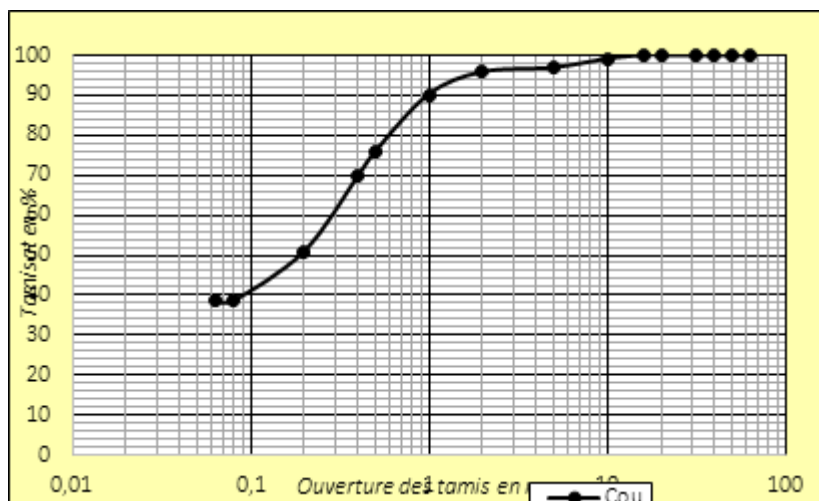


Fig. 4. Courbe granulométrique de la latérite

Selon le système de classification GTR, le matériau identifié est de la classe A3 moyennement humide correspondant à du sable argileux fin. De même, la courbe granulométrique réalisée indique un pourcentage de fine à $80\mu\text{m}$ de 38,54% et un indice de plasticité de 26. Cet indice de plasticité sera confirmé par les résultats des limites d'Atterberg.

3.2 LIMITE D'ATTERBERG DE LA LATÉRITE

Les résultats des essais de limite d'Atterberg sont présentés dans le tableau II et la figure 5.

Tableau 2. Limite d'Atterberg des différents sols étudiés

Numéro et code de l'échantillon	Limite de liquidité W_l	Limite de plasticité W_p	Indice de plasticité $I_p = W_l - W_p$
N°1: site 1: S ₁	48%	22%	26%
N°2: site 2: S ₂	60%	28%	32%
N°3: site 3: S ₃	57%	27%	30%

Les résultats de ce travail sont basés uniquement sur le sol prélevé sur le site 1 à 150 cm de profondeur.

D'après ce tableau, il ressort que tous les sols utilisés dans le cadre de cette étude ont des valeurs de limite de liquidité, de plasticité et d'indice de plasticité différentes, variant de 22 à 60%. Ces valeurs tradraient que ces matériaux sont moins sensibles à l'eau et contiendraient de l'argile. L'indice de plasticité qui est de 26 % pour le sol 1 vient confirmer les résultats obtenus précédemment au niveau de l'analyse granulométrique. Après la détermination des différentes limites des sols étudiés, nous avons la figure 5 qui illustre mieux les résultats du tableau II. La lecture du diagramme de Casagrande ci-dessous, permet de confirmer que la latérite utilisée est effectivement un sol argileux peu plastique (latérite plus ou moins indurée à 150 cm de profondeur) avec une limite de liquidité de 48% et un indice de plasticité de l'ordre de 26%.

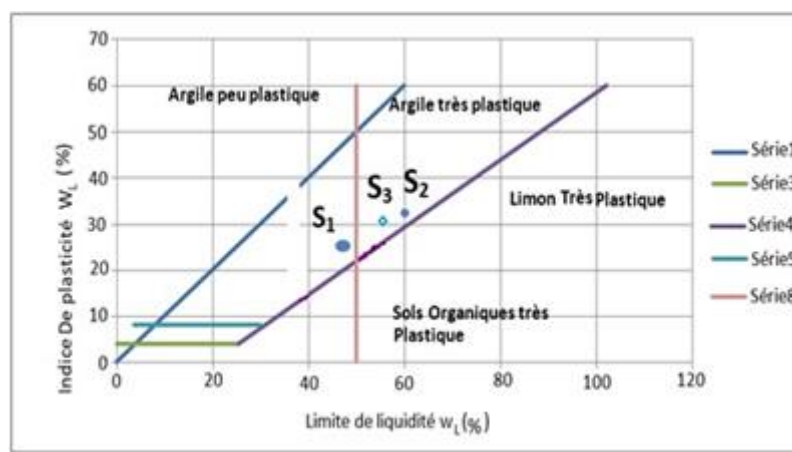


Fig. 5. Diagramme de Casagrande de la latérite de Bingerville

Ces différents résultats sur l'identification du matériau montrent que ce sol peut être utilisé pour la confection des briques de terre comprimées. Quel est le comportement de ces briques face à une sollicitation ? d'où les résultats de la résistance à la compression.

3.3 RÉSISTANCE DES BTC

Les résistances en compression des briques témoins à 5% de ciment sont bien supérieures à celles à 0%. A l'état humide, les résistances sont pratiquement nulles (tableau III). Lorsqu'on compare les résistances de ces mêmes BTC à 5% de ciment à l'état sec et à l'état humide, la résistance des BTC à l'état sec est égale à 1MPa et est supérieure à celle à l'état humide qui est de 0,49MPa.

Tableau 3. Résistances à la compression des BTC témoins à l'état sec et l'état humide

Pourcentage de ciment et de cendre de bois	Résistance en compression à l'état sec (MPa)	Résistance en compression à l'état humide (MPa)
BTC ₀ Ci ₀	0,52	00
BTC ₀ Ci ₅	1	0,49
BTC ₅ Ci ₅	1,56	0,84
BTC ₁₀ Ci ₃	1,83	0,79
BTC ₂₅ Ci ₅	3,28	2,05
BTC ₃₀ Ci ₄	3,17	1,88
BTC ₃₅ Ci ₃	2,98	1,50
BTC ₄₀ Ci _{2,5}	2,26	1,27
BTC ₄₅ Ci ₂	1,97	1,25

Pour l'ensemble des échantillons stabilisés avec de la cendre de bois, les résistances des BTC à l'état sec sont supérieures à celles à l'état humide quel que soit le pourcentage de cendre de bois ajouté. Les valeurs des résistances sont comprises entre 1,56 MPa et 3,28 MPa pour les BTC à l'état sec et se situent entre 0,84MPa et 2,05MPa pour les BTC à l'état humide. Humide ou sec, les résistances des BTC en compression augmentent avec l'ajout de cendre de bois jusqu'à 25%, au-delà de cette valeur, elles baissent progressivement. A 5% de ciment et 0% de cendre de bois la résistance en compression des BTC est de 1MPa, lorsqu'on ajoute 25 % de cendre de bois pour la même proportion en ciment, la résistance augmente et passe de 1MPa à 3,28MPa.

Les résultats obtenus dévoilent des performances mécaniques intéressantes et ce, quel que soit la formulation retenue. Les BTC stabilisées avec la cendre de bois à 25% sont également stables en présence d'eau tout comme les BTC stabilisées au ciment uniquement, ce qui n'est pas le cas pour les BTC sans stabilisant qui se désintègrent rapidement dans l'eau. Les valeurs des résistances en compression obtenues pour le mélange à 60% de sable argileux, 5% de ciment et 25% de cendre de bois apparaissent comme optimales avec 3,28 MPa en compression. Cela permet de retenir que ce dosage est le meilleur pour la confection des BTC de qualité. La teneur de 25% de cendre de bois assure donc une bonne cohésion des particules dans les BTC.

Cette technique d'amplification des performances des BTC par combinaison de deux stabilisants a été déjà utilisée par divers auteurs dont [15] et [16]. Ces derniers ont montré respectivement que l'amidon incorporé dans l'argile, augmente la résistance en compression de l'ordre de 6,07 MPa et l'action de la chaux avec la pouzzolane à 45 jours qui permet d'avoir des résistances nettement supérieures à 6,70 MPa. Par ailleurs, [17], pour une teneur en chaux de 5%, a obtenu une résistance de 7,1MPa sur des BTC ayant subies une cure humide haute température pendant 24H. De même les travaux de [18] montrent que pour une cure de 21 jours en comparaison des échantillons n'ayant pas subi de cure, ces résistances passent de 5,7 MPa à 6,3 MPa pour 4% de ciment. Toutes Ces résistances sont supérieures à celles obtenues dans nos travaux. Par contre, pour ces mêmes travaux, [18] obtient pour 4% de chaux des valeurs de résistances de 3,5 MPa à 4,3 MPa se situant dans la même gamme de celles obtenues 3,28 MPa.

Les résultats de [19] qui a obtenu une résistance maximale de 3,30 MPa avec 8% de la chaux en appliquant le même modèle de stabilisation sur les BTC sont en accord avec ceux obtenus. De même, [20] ont obtenu pour un dosage optimal de 12% de mélasse de canne à sucre une résistance à la compression de 4,65 à 28 jours pour les sols prélevés à -30cm et 4,47 MPa pour les sols prélevés à -50cm. En utilisant la combinaison de (85% de mélasse de canne à sucre + 15% de bagasse de canne à sucre), ils obtiennent une résistance à la compression à 28 jours de 4,39MPa pour les sols prélevés à -30cm et 4,85 MPa pour les sols prélevés à -50cm. [21] et [22] pour 4% de ciment et des élancements proches de 1, obtiennent des résistances inférieures qui sont respectivement de 2,3 MPa et 1,5 MPa. Avec l'ajout de 4% de chaux, [22] trouvent une résistance des BTC de 0,8 MPa.

4 CONCLUSION

Dans cette étude, il s'agit de concevoir des BTC stabilisées avec la cendre de bois offrant de meilleures résistances à la compression. Pour pouvoir obtenir ce type de BTC, des essais de compression ont été effectués sur des BTC à l'état sec et humide à 14 jours de cure à l'air. Ces essais ont permis de retenir que les briques réalisées avec une concentration de 70% de sable argileux, 5% de ciment et 25% de cendre de bois, ont donné des résistances à la compression de 3,24 MPa. Par contre, les briques de terre comprimées avec les mêmes forces de compression à l'état humide, à 14 jours de cure à l'air, ont donné avec les mêmes concentrations en sable argileux, en ciment et en cendre, des résistances maximales à la compression de 2,05 MPa.

Ces différents résultats obtenus dans les deux cas ont permis de conclure que les briques de terre stabilisée à l'état sec résistent mieux à la compression avec des résistances satisfaisantes qu'à l'état humide. Il convient de dire que le dosage de 70% de sable argileux, 05% de ciment et 25% cendre de bois paraît idéal et peut être considéré comme un modèle pour toute construction en terre. Ainsi, la cendre peut être un élément intéressant pour l'optimisation des formulations et par conséquent, leur ajout pourrait contribuer à améliorer les performances mécaniques des briques de terre.

REFERENCES

- [1] Bokor Y.S., Vérification des caractéristiques des BTC stabilisés avec la chaux. Institut, International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, 61 p., 2011.
- [2] Houben, H., Guillaud, H., Traité de construction en terre. – Marseille, Ed. Parenthèse, 355 pp., 2006.
- [3] Nkwaju, R.Y., Djobo Yankwa, J. N., Noupin, J. N., Huisken, W., Deutou, J., Courard, L., Iron-rich laterite-bagasse fibres based geopolymer composite: mechanical, durability and insulating properties. Applied Clay Sciences 183, 105333, 2019
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2019.105333>
- [4] Sore, O.S., Messan, A., Prud'homme, E., Escadeillas, G., Tsobnang, F., Stabilization of compressed earth blocks (CEBs) by geopolymer binder based on local materials from Burkina Faso, Constr. Build. Mater. 165, p. 333–345, 2018
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.051>
- [5] Shubbar, A.A., Sadique, M., Kot, P., Atherton, W. Future of clay-based construction materials – A review, Constr. Build. Mater. 210, p. 172–187, 2019
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.03.206>
- [6] Nagaraj, H.B., Sravan, M.V., Arun, T.G., Jagadish, K.S., Role of lime with cement in long-term strength of Compressed Stabilized Earth Blocks. Int. J. Sustain Built. Environ. 3, p.54-61., 2014
<https://doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2014.03.001>
- [7] Bogas, J.A., Silva, M., Gomes, M.G., Unstabilized and stabilized compressed earth blocks with partial incorporation of recycled aggregates. Int. J. Archit. Herit. 3058, 1–16, 2018
<https://doi.org/10.1080/15583058.2018.1442891>

- [8] Danso, H., Martinson, B., Ali, M., Mant, C., Performance characteristics of enhanced soil blocks: a quantitative review. *Build. Res. Inf.* 43, 253–262., 2015
<https://doi.org/10.1080/09613218.2014.933293>
- [9] Houben, H., *Traité de construction en terre*, Parenthèses. ed. 72 cours Julien 13006 Marseille. International Lime Association, 2018. World Lime Production – ILA, 2006
<https://www.internationallime.org/world-lime-production> (accessed 4.29.19)
- [10] Meukam P. Valorisation des briques de terre stabilisées en vue de l'isolation thermique de bâtiment. Thèse de doctorat 3e cycle, université de Cergy-Pontoise et l'université de Yaoundé I, Cameroun, 154 p., 2004.
- [11] R. Bahar, Séminaire International, « Innovation et valorisation en génie civil et matériaux de construction », Novembre. *admin.asso-web.com*. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 23-25 p., 2011.
- [12] Guillaud H., Joffroy T., Odul P. & CRATerre-EAG, Bloc de terre comprimée. *In.*, 151 p., 1995.
- [13] Tagini B. Esquisse structurale de la Côte-d'Ivoire. Essai de géotectonique régionale., Thèse de Doctorat d'Université de Lausanne (Suisse). *Bulletin, SODEMI*, n° 5, 302 p., 1971.
- [14] Tastet J.P., Environnements sédimentaires et structuraux quaternaires du littoral du Golfe de Guinée (Côte d'Ivoire, Togo, Bénin). Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences. Université de Bordeaux 1, 181 p., 1979.
- [15] Ngouama, Contribution à l'optimisation des briques en terre stabilisées au gel de farine de manioc. Mémoire d'ingénieur génie civil, Université Marien N'Gouabi, Congo (Brazzaville), 2008.
- [16] Miraucourt D. Stabilisation du matériau terre crue pour application en brique de terre comprimée au Burkina Faso. Université de Liège - Faculté des Sciences Appliquées (Liège), 103 p., 2016.
- [17] Izemmouren, O., Guettala, A. & Guettala, S., Mechanical Properties and Durability of Lime and Natural Pozzolana Stabilized Steam-Cured Compressed Earth Block Bricks. *Geotech Geol Eng.* 33: 1321–133., 2015
DOI 10.1007/s10706-015-9904-6.
- [18] Kouka A. J., Stabilisation de matériaux de construction durables et écologiques à base de terre crue par des liants organiques et/ou minéraux à faibles impacts environnementaux. *Matériaux*. Université Paul Sabatier - Toulouse III., 2019.
- [19] Malanda N., Louzolo-Kimbembe P. & Tamba-Nsemi Y.D., Etude des caractéristiques mécaniques d'une brique en terre stabilisée à l'aide de la mélasse de canne à sucre. *Published Online 2017, Vol. 2 (2): 9 p.*, 2017.
- [20] Bahar R. M. Benazzoug, S. Kenai S, Performance of compacted cement-stabilised soil. *Cem. Concr. Compos.* 26, 811–820, 2004
<https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2004.01.003>
- [21] Eires, R., Camões, A., Jalali, S., Ancient Materials and Techniques to Improve the Earthen Building Durability. *Key Eng. Mater.* 634, 357–366., 2014
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.634.357>