

Caractérisation des blocs produits par addition des fibres de coco et des matériaux de construction à base de latérite - ciment

Ludovic Ivan NTOM NKOTTO^{1*}, Gaëlle DOUNBISSI KAMGANG¹, Joël TIEWA²,
Judicaël SANDJONG KANDA³, Simplicious SULABAYU LOWEH⁴ et Boubakar LIKIBY⁴

¹ Mission de Promotion des Matériaux Locaux (MIPROMALO), Département de la Conception et de la Construction, BP 2393, Yaoundé, Cameroun

² Institut Supérieur des Techniques Industrielles et Commerciales de Banganté (ISTIC), BP 9381, Banganté, Cameroun

³ Institut National de la Cartographie(INC), Direction de la Recherche, Laboratoire de Recherche sur les Risques Naturelles, BP 157, Yaoundé, Cameroun

⁴ Mission de Promotion des Matériaux Locaux (MIPROMALO), Laboratoire d'Analyse des Matériaux, BP 2393, Yaoundé, Cameroun

* Correspondance, courriel : ludovicivan.li@gmail.com

Résumé

La latérite est la matière première la plus employée pour la confection des matériaux de construction en terre à travers différents procédés de stabilisation. Ces matériaux présentent de meilleures caractéristiques par incorporation avec des fibres végétales. L'objectif de cette étude est d'analyser le comportement mécanique et physique des BTC stabilisés à différentes teneurs de fibres de coco et de le comparer aux BTC stabilisés à 8 % de ciment. Pour se faire, un échantillon de sol prélevé dans la région de l'Ouest Cameroun a été analysé et corrigé avec du sable alluvionnaire, puis des échantillons de matériaux composites à différentes teneurs de fibres de coco (0 %, 0,2 %, 0,5 %, 0,8 % et 1 %) et ceux stabilisés à 8 % de ciment ont été élaborés. Ces différents échantillons ont été caractérisés à travers différents essais. Il en ressort que les blocs stabilisés à 0,5 % et à 0,8 % de fibres de coco présentent de meilleures caractéristiques mécaniques, respectivement 6,88 MPa en compression et 1,17 MPa en traction par flexion en trois points mais sont très vénéralés à de l'eau. Par contre, les blocs stabilisés à 8 % de ciment présentent des valeurs moyennes de 4,78 MPa en compression et 0,33 MPa en traction par flexion en trois points et sont moins sensibles à de l'eau. Ainsi, les propriétés mécaniques des BTC s'améliorent avec l'incorporation avec les fibres de coco et sont optimales pour une teneur de 5 à 8 %, mais elles augmentent la porosité du matériau ce qui accroît sa sensibilité à l'eau contrairement au BTC stabilisée au ciment.

Mots-clés : caractérisation, stabilisation, latérite, fibres de coco.

Abstract

Characterization of blocks produced by the addition of coconut fibers, laterite and cement-based construction materials

Laterite is the most used raw material for the manufacture of earth building materials through different stabilization processes. These materials present better characteristics with the incorporation of vegetable fibers. The objective of this study is to analyze the mechanical and physical behavior of Compressed Earth

Blocks (CEB) stabilized with different contents of coconut fiber and to compare it with CEB stabilized with 8 % of cement. To do so, a soil sample taken in the West Region of Cameroon was analyzed and corrected with alluvial sand, then samples of composite materials with different contents of coconut fiber (at 0 %, 0,2 %, 0,5 %, 0,8 % and 1 %) and those stabilized with 8 % of cement were elaborated. The various samples were characterized through different tests. The results show that the blocks stabilized with 0,5 % and 0,8 % of coconut fibers present better mechanical characteristics, respectively of 6,88 MPa in compression and 1,17 MPa in three-point bending tension but are very vulnerable to water. On the other hand, 8 % cement-stabilized blocks have average values of 4,78 MPa in compression and 0,33 MPa in three-point bending tension and are less sensitive to water. Thus, the mechanical properties of CEB improve with incorporation of coconut fibers and are optimal for a 5-8 % content, but they increase the porosity of the material which increases its sensitivity to water unlike cement-stabilized CEB.

Keywords : *characterization, stabilization, laterite, coconut fibers.*

1. Introduction

Au Cameroun, la difficulté de disposer d'un logement décent urbain ou rural compte tenu des faibles revenus financiers a poussé les pouvoirs publics à proposer des modes constructifs plus performants, plus flexibles et donc plus intelligents. Ceci à travers la valorisation des ressources locales qui tient compte de la disponibilité des matières premières de base, de l'impact socio-économique à plus ou moins long terme et de l'environnement du marché aussi bien local qu'international [1]. A cet effet, plusieurs matériaux de construction ont été mis sur pieds à l'exemple des blocs de terre comprimée communément appelés BTC. Ils sont issus d'un mélange entre la terre tamisée, un liant stabilisant (le ciment ou la chaux), l'eau (fonction de la teneur en eau de la terre) et le sable si besoin. L'ensemble est mélangé à des proportions bien définies et comprimé à l'aide d'une presse manuelle ou hydraulique [2 - 4]. Ce matériau issu de la terre crue, souvent critiqué pour sa sensibilité à l'eau et son manque de durabilité, présente dans sa forme actuelle de nombreux avantages pour la construction de logements durables, confortables et économiques [5]. A cet effet, des recherches précédentes sur ces matériaux se sont intéressées au développement de composites à renfort, synthétique [6], organique [7] ou minéral [8]. Mais récemment, avec le développement du renfort naturel, une nouvelle voie dans le secteur de la recherche sur les polymères s'est avérée prometteuse [9]. Les composites à fibres végétales sont très demandés actuellement dans plusieurs secteurs, notamment les constructions immobilières. En raison de leur biodégradabilité, ces fibres représentent de meilleures alternatives aux fibres de verres [10]. C'est dans cette optique que s'inscrit la fibre de coco naturelle caractérisée par une masse volumique apparente de 1,25 g/cm³, un taux d'absorption d'eau de 163 % et une résistance à la traction de 127,2 MPa [11, 12], qui outre l'avantage direct de réduire l'impact négatif sur l'environnement [13] est un bon renfort pour les matrices thermoplastiques ou thermodurcissables à cause de sa résistance relativement grande et de sa faible densité [14]. Ainsi, dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux et de la fabrication des matériaux composites biodégradables, pour des raisons économiques et écologiques [15, 16], des matériaux à matrice BTC renforcés par de la fibre de coco naturelle à différentes teneurs et des blocs de terre comprimée (BTC) stabilisés à 8 % de ciment ont été élaborés. L'objectif de ce travail est de montrer que les fibres de coco peuvent être utilisées pour améliorer les performances du BTC et d'effectuer une caractérisation expérimentale sur les BTC stabilisés en fibre de coco et ceux stabilisés à 8 % de ciment communément employés au Cameroun.

2. Matériel et méthodes

2-1. Présentation de la Zone d'échantillonnage et méthode de prélèvement des échantillons

2-1-1. Présentation des zones de prélèvement des échantillons

Le sol soumis à cette étude est de la latérite (échantillon E1) prélevée dans le Bamougong de la région de l'Ouest Cameroun compte tenu de son abondance et sa forte utilisation dans les constructions dans cette localité.

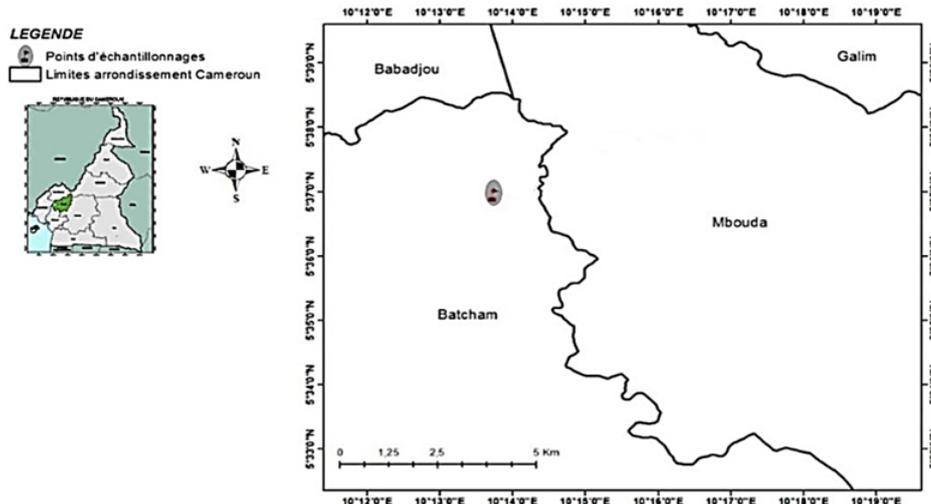


Figure 1 : Localisation géographique de E1
(Source : M. TIEWA)

L'échantillon N-2 (E2) est la fibre de coco extraite de la bourre de coco. Elles sont issues des refus cumulées des noix de coco qui ont été obtenus d'un commerçant de la ville de Yaoundé.

2-1-2. Méthode de prélèvement des échantillons

A l'issue d'une descente sur le site de Bamougong, un peton a été creusé à une profondeur de 130 cm. L'opération s'est effectuée manuellement au moyen d'une pioche et d'une pelle. Deux horizons de sol étaient décelables à savoir : L'horizon A composé de terre végétale et l'horizon B composé d'argiles latéritiques. Cette dernière a été recueillie et conservée dans un sac plastique tressé pour être acheminé au sein du laboratoire de la MIPROMALO de Yaoundé.

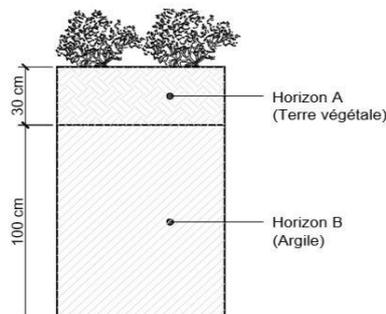


Figure 2 : Description lithologique d'E1



Figure 3 : Image de l'échantillon E1

Quant à E2, il a été extrait à l'aide d'une machette pour le séparer la bourre du coco, d'un marteau pour ramollir la bourre et d'un couteau pour le prélèvement des fibres. Le produit obtenu est semblable aux mèches, il a été séché avant toute utilisation.



Figure 4 : Étapes d'obtention des fibres de coco (1-bourre de coco, 2- extraction de la fibre et 3-fibre de coco après séchage)

2-2. Caractérisations physiques des échantillons

Les paramètres physiques tels que la teneur en eau, les limites d'Atterberg, l'essai au bleu de méthylène, l'analyse granulométrique ont été caractérisés.

2-2-1. Teneur en eau naturelle du sol

La teneur en eau ou quantité d'eau de l'échantillon E1 a été déterminée à travers la norme [17]. Le mode opératoire et l'appareillage sont définis dans ladite norme. Elle se calcule par la **Formule** :

$$W(\%) = \frac{m}{M} \times 100 \quad (1)$$

avec, m : masse sèche de E1 après étuvage (kg) et M : masse humide de E1 (kg).

2-2-2. Limites d'Atterberg

Elles servent à classer les sols fins ($D < 2 \mu\text{m}$), à prévoir leur consistance et leur comportement lorsqu'ils sont sollicités mécaniquement. L'essai s'est effectué sur la fraction de sol E1 passant au tamis de maille $400 \mu\text{m}$. Il s'est déroulé suivant la norme [18]. Ainsi, l'indice de plasticité du sol I_p (%) sera déduit par la **Formule** :

$$I_p = W_l - W_p \quad (2)$$

avec, W_l : la limite de liquidité (%) et W_p : la limite de plasticité (%).

Cette valeur indique les particules d'argiles présentes dans un matériau (**Tableau 1**) et permet de spécifier les domaines d'application dudit matériau.



Figure 5 : Étapes de déroulement de l'essai d'Atterberg

Tableau 1 : Classification des matériaux en fonction de l'indice de plasticité [14]

Indice de plasticité	Etat du sol
0-5	Non plastique
5-15	Peu plastique
15-40	Plastique
> 40	Très plastique

2-2-3. Essai au bleu de méthylène

L'objectif de cet essai était d'évaluer la quantité et la qualité de la fraction argileuse contenue dans notre échantillon de sol E1 à travers la mesure de la quantité de colorant (bleu de méthylène) fixée par 100 g de la fraction granulaire analysée. Le dosage s'est effectué en y ajoutant successivement des quantités de solution de 'bleu' et en contrôlant l'absorption au fur et à mesure. Une goutte de suspension a été prélevée et déposée sur un filtre (Figure 6). Le mode opératoire et l'outillage sont décrits par la norme [19].



Figure 6 : Quelques étapes d'exécution de l'essai au bleu de méthylène

La valeur du bleu de la prise d'essai est ainsi calculée par la **Formule** suivante :

$$V_{BS} = \frac{V_1}{M_1} \tag{3}$$

avec, V_1 : volume total de la solution de bleu ajoutée (en ml), M_1 : la masse sèche de la prise en g.

Une fois la V_{BS} obtenue, le sol peut être ainsi identifié selon le Guide [20], qui définit six catégories de sols selon la valeur du V_{BS} (Tableau 2).

Tableau 2 : Catégories de sol en fonction des valeurs de bleu de méthylène [16]

Valeur de bleu de méthylène (V_{BS})	Catégorie de sol
$V_{BS} < 0,1$	Sol insensible à l'eau
$0,2 \leq V_{BS} < 1,5$	Sol sablo limoneux, sensible à l'eau
$1,5 \leq V_{BS} < 2,5$	Sol sablo argileux, peu plastiques
$2,5 \leq V_{BS} < 6$	Sol limoneux de plasticité moyenne.
$6 \leq V_{BS} < 8$	Sol argileux.
$V_{BS} > 8$	Sol très argileux.

2-2-4. Analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage

Cet essai est appliqué pour les granulats de diamètre supérieur à 125 micromètres, la manipulation et les conditions de manipulation sont décrites par la norme [21]. L'échantillon E1 a été analysé à travers ladite norme au Laboratoire d'Analyse des Matériaux de la MIPROMALO (**Figure 7**). A l'issue de l'identification des proportions des particules constituant ce matériau, un correctif de sable alluvionnaire de granulométrie inférieure à 2 mm a été apporté à cet échantillon (E1) à une proportion de 30 % en vue de répondre aux exigences la norme [22]. Le nouvel échantillon (E1') obtenu a été soumis à une nouvelle analyse granulométrique afin de s'assurer qu'il reste conforme au fuseau établi par cette norme.



Figure 7 : Quelques étapes d'exécution de l'analyse granulométrique

2-2-5. Analyse granulométrique par sédimentométrie

Elle est complémentaire à l'analyse granulométrique par tamisage des sols, elle est applicable aux particules de sol de diamètre inférieur à 0,08 mm et son mode opératoire est décrit par la norme [23]. L'échantillon E1' issu de l'échantillon E1 a été soumis à analyse sédimentométrique afin de parfaire la courbe granulométrique.

2-3. Caractérisations du matériau composite

2-3-1. Formulation du matériau composite (composition)

La formulation du matériau composite a été effectuée tout en respectant la clause stipulant que les meilleures conditions de malaxage sont réunies lorsque le sol est sec [24]. Afin de mettre en œuvre ledit matériau, plusieurs formulations ont été effectuées dans le but percevoir l'apport des fibres de coco à différentes teneurs (0 %, 0,2 %, 0,5 %, 0,8 % et 1 %) et en déduire la teneur optimale à cette composition. Durant ce procédé, deux types d'éprouvettes ont été mis en œuvre : les éprouvettes de 4 x 4 x 4 cm³ et celles de 16 x 4 x 4 cm³. Pour chaque formulation effectuée, trois blocs ont été élaborés par éprouvettes afin de relever la valeur moyenne de chaque éprouvette aux différents essais. Le malaxage effectuées selon le procédé suivant : la dessiccation du sol et du sable à l'étuve pendant 24h à 105°C, le broyage du sol puis le tamisage à 800 μm, le tamisage du sable à 2000 μm, le tamisage du ciment à 400 μm, le découpage des fibres de coco en des longueurs de 5 cm, le mélange à sec du sol et du sable pendant deux minutes, le mélange à sec du sol, du sable et du ciment pendant deux minutes pour la formulation comportant le ciment, le malaxage après ajout de l'eau pendant cinq minutes, l'ajout des fibres, l'homogénéisation du mélange et la mise en place du mélange dans le moule pour le compactage statique à la presse.



Figure 8 : Étapes de formulation du matériau composite

Pour chaque formulation effectuée, les proportions des matériaux mélangés ont été fonctions de l'échantillon de sol E1' ayant subi un correctif de 30 % d'apport de sable alluvionnaire de la Sanaga suivant le **Tableau 3** ci-dessous :

Tableau 3 : Proportions du matériau composite formulé

Formulation	Échantillon de sol E1'	Proportion de fibre de coco	Proportion d'eau	Proportion de ciment CPJ 42.50 R
Formulation I	100 %	0 %	14 %	0 %
Formulation II	100 %	0,2 %	14 %	0 %
Formulation III	100 %	0,5 %	14 %	0 %
Formulation IV	100 %	0,8 %	14 %	0 %
Formulation V	100 %	1 %	14 %	0 %
Formulation VI	100 %	0 %	14 %	8 %

En valeur massique et fonction des deux types d'éprouvettes mises en œuvre, l'on obtient les compositions massiques indiquées dans les tableaux ci-dessous :

Tableau 4 : Compositions massiques du composite pour des éprouvettes de 4 x 4 x 4 cm³

Désignation	Composition du matériau composite					Nombre d'Éprouvettes
	Ciment de 50Kg CPJ 42.50 R (g)	Sable alluvionnaire de la Sanaga (g)	Eau potable (l)	Échantillon de sol latéritique E1 étuvé a 105 C et broyé (g)	Fibre de coco découpée en 5 cm de long (g)	
Formulation I	0	42	19,6	98	0	3
Formulation II	0	42	19,6	98	0,28	3
Formulation III	0	42	19,6	98	0,7	3
Formulation IV	0	42	19,6	98	1,12	3
Formulation V	0	42	19,6	98	1,4	3
Formulation VI	6,63	42	19,6	98	0	3

Tableau 5 : Compositions massiques du composite pour des éprouvettes de 16 x 4 x 4 cm³

Désignation	Composition du matériau composite					Nombre d'Éprouvettes
	Ciment de 50Kg CPJ 42.50 R (g)	Sable alluvionnaire de la Sanaga (g)	Eau potable (l)	Échantillon de sol latéritique E1 étuvé a 105 C et broyée (g)	Fibre de coco découpée en 5 cm de long (g)	
Formulation I	0	150	70	350	0	3
Formulation II	0	150	70	350	1	3
Formulation III	0	150	70	350	2,5	3
Formulation IV	0	150	70	350	4	3
Formulation V	0	150	70	350	5	3
Formulation VI	23,67	150	70	350	0	3

Une période de sept (07) jours de cure des blocs a été observée. Chaque bloc a été marquée et l'ensemble disposé dans une pièce couverte et sous une paille, à l'abri des intempéries, du vent et du soleil afin d'éviter le retrait rapide des échantillons.

2-3-2. Caractérisation physique du matériau composite

2-3-2-1. Taux d'absorption en eau et porosité

L'essai d'absorption d'eau vise à déterminer la quantité d'eau absorbée par le matériau immergée pendant une durée de 24h à travers la **Relation (5)**, l'essai a été réalisé sur les matériaux composites suivant la norme [25]. En contact direct avec de l'eau, l'échantillon de matériau composite l'absorbe par capillarité suivant la **Formule** ci-dessous :

$$M(t) = A \times \sqrt{t_w} \quad (4)$$

$$A = \frac{(P_h - P_s) \times 100}{P_s} \quad (5)$$

avec, $M(t)$: masse d'eau absorbée par unité de surface (kg/m^2) pour une période t , A : coefficient d'absorption d'eau ($\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}^{1/2}$), t_w : temps de contact avec l'eau (s), P_h : poids humide du bloc (N) et P_s : poids sec du bloc (N).

La porosité de l'échantillon composite est déduite par la **Relation** :

$$n(\%) = A \times \frac{P_s}{100} \quad (6)$$

2-3-3. Caractérisation mécanique du matériau composite

2-3-3-1. Essai de traction par flexion en trois points

Cet essai a permis de déterminer la contrainte de rupture à la traction par flexion des éprouvettes de $16 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$. La résistance à la flexion (en MPa) est donnée par la **Relation** suivante :

$$\sigma_{\max} = \pm \frac{3}{2} \times \left(\frac{F \times L}{b \times h^2} \right) \quad (7)$$

avec, F : la charge appliquée au centre (N), L : la longueur entre les appuis (mm), b : la largeur de l'éprouvette (mm) et h : la hauteur de l'éprouvette (mm).

2-3-3-2. Essai de compression

Cet essai a permis de déterminer la résistance nominale à la compression simple du matériau composite. Il a été réalisé sur les trois éprouvettes de $4 \times 4 \times 4 \text{ cm}^3$ résultant de chaque formulation. Les éprouvettes ont été soumises à une compression simple jusqu'à l'écrasement à l'aide d'une presse d'essai de compression telle qu'observée dans la **Figure 9**. La résistance à la compression est déterminée par la **Relation** suivante :

$$R_c = \frac{F}{S} \quad (8)$$

Equation dans laquelle R_c est la résistance à la compression ou contrainte de rupture en MPa, F la force de compression à la rupture en N et S la surface d'application de l'effort en mm^2 .

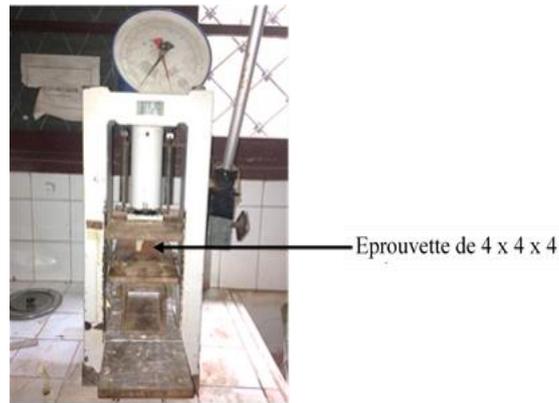


Figure 9 : Compression d'un bloc de terre de 4 x 4 x 4 cm³

3. Résultats et discussion

3-1. Caractéristiques physiques de l'échantillon de sol

3-1-1. Teneur en eau naturelle

La teneur en eau naturelle de l'échantillon de sol E1 a été évaluée à 70,69 %, cette valeur est supérieure à celle de l'auteur [26], donc les valeurs varient 15,36 à 25 %. Ceci s'explique par le fait que notre échantillon de sol avait été prélevé en saison pluvieuse. Ce qui corrobore avec la note technique [27] qui démontre que la teneur en eau naturelle d'un sol est fonction des paramètres climatiques du milieu de prélèvement.

3-1-2. Les limites d'Atterberg

Les résultats aux tests de plasticité et de liquidité effectués sur l'échantillon de sol E1 présentent une proportion de 71,40 % en limite de liquidité et 47,43 % en limite de plasticité soit un indice de plasticité de 23,90 %. Ce résultat permet de dire que le sol analysé a une plasticité élevée d'après la classification LCPC (Laboratoire Central de Ponts et Chaussée). Ces valeurs sont nettement supérieures à celles de l'auteur [29] qui travaillant sur 'l'étude du comportement physico-mécanique du bloc de terre comprimée avec fibres' a obtenu les valeurs respectives de 36 %, 23 % et 13 %. Cette divergence de résultats s'explique du fait que : les limites d'Atterberg permettent d'analyser les variations de consistance des sols fins en fonction de la teneur en eau, or dans ce cas la teneur en eau est très élevée compte tenu du prélèvement de sol effectué en saison de pluies. Néanmoins, l'indice de plasticité reste conforme à prescription de la norme [22] telle qu'indiquée dans le **Tableau 6** ci-dessous.

Tableau 6 : Résultats d'essai de plasticité de l'échantillon de sol E1

Réf.	Limite de liquidité (%)	Limite de plasticité (%)	Indice de plasticité (%)
Échantillon de sol E1	71,40	47,43	23,90
Norme Camerounaise pour BTC (NC 102-114, 2002-2006)	25 - 50	20 - 35	2 - 30

3-1-3. Bleu de méthylène

Le résultat au test du bleu de méthylène obtenu est $V_{BS} = 1,63$, ce qui permet de classer et d'identifier l'échantillon de sol E1 de sablo-argileux suivant le GTR (Guide des Terrassements Routiers). Ledit guide n'étant qu'une évolution de la norme [29] portant sur l'exécution des terrassements. Ainsi, au vue de la fraction argileuse contenue dans cet échantillon de sol, il n'est pas conforme à la mise en œuvre des BTC suivant la norme [22].

3-1-4. Analyse granulométrique par voie sèche et par sédimentométrie

Les résultats à ces deux essais complémentaires effectués sur l'échantillon de sol E1 sont présentés dans le **Tableau 7** ci-dessous. Il ressort de cette analyse que ledit sol est constitué de 39,16 % de particules sables + graviers et de 60,84 % de fraction fines, ce qui le rend non conformes à la mise en œuvre des BTC suivant les dispositions de la norme [21] qui prescrit qu'une bonne terre doit contenir peu d'argile (moins de 30 %), beaucoup de sable et graviers (60 - 75 %). Ainsi, la distribution granulométrique sort du fuseau prescrit pour la production des BTC dans sa partie supérieure (**Figure 10**).

Tableau 7 : Distribution granulométrique de l'échantillon de sol E1

Réf.	% de gravier $\Phi > 2 \text{ mm}$	% de sable $2 > \Phi > 0.02 \text{ mm}$	% de limons $0.02 > \Phi > 0.002 \text{ mm}$	% d'argile $\Phi < 0.002 \text{ mm}$
Échantillon de sol E1	1,61	37,55	35,14	25,70

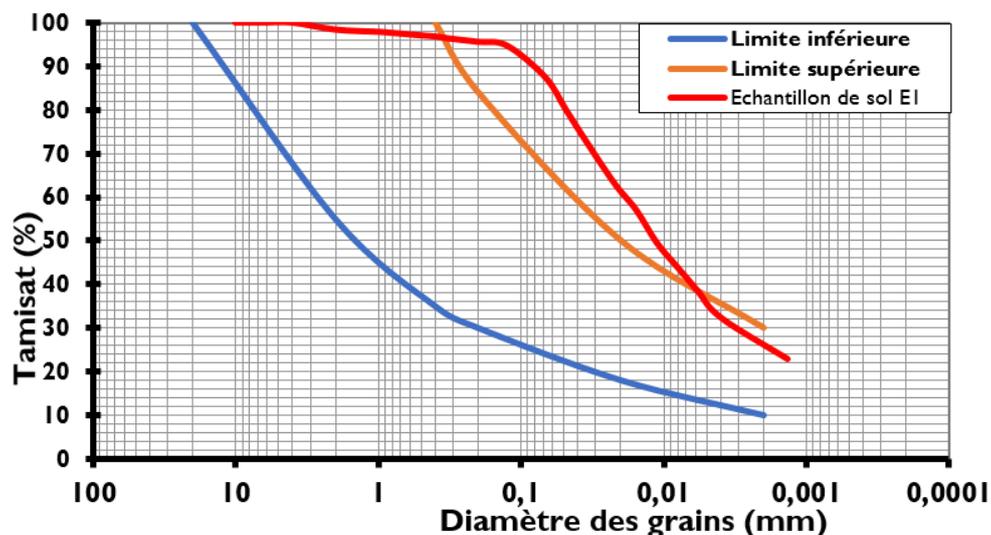


Figure 10 : Courbe granulométrique et sédimentométrique de l'échantillon de sol E1

Au vue de ce non-respect des prescriptions de la norme [21], le sable alluvionnaire de la Sanaga de granulométrie comprise entre $125 \mu\text{m}$ et 2 mm a été apporté en correctif au sol E1 pour ainsi constituer le sol E1'. Les résultats à l'analyse granulométrique du nouvel échantillon de sol E1' sont présentés dans la **Figure 11** et le **Tableau 8** ci-dessous. Il en résulte que le nouveau sol E1' sera constitué de 63,43 % de particules sables + graviers et de 36,57 % de fractions fines. Ce nouveau sol sera compris dans le fuseau prescrit à la mise en œuvre des BTC.

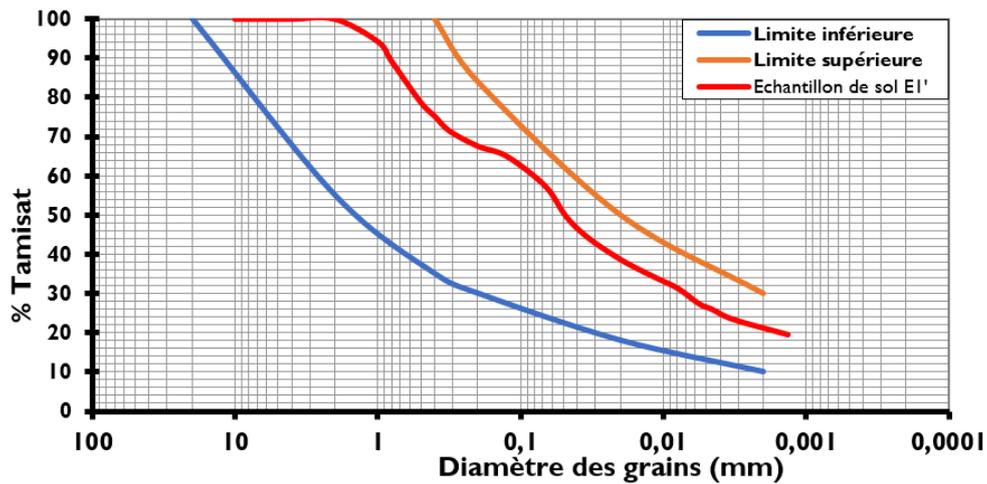


Figure 11 : Courbe granulométrique et sédimentométrique de l'échantillon de sol E1'

Tableau 8 : Distribution granulométrique de l'échantillon de sol E1'

Réf.	% de gravier $\Phi > 2 \text{ mm}$	% de sable $2 > \Phi > 0.02 \text{ mm}$	% de limons $0.02 > \Phi > 0.002 \text{ mm}$	% d'argile $\Phi < 0.002 \text{ mm}$
Échantillon de sol E1'	0	63,43	15,14	21,40

De plus, l'on observe que la proportion de gravier initialement à 1,61 % de refus dans l'échantillon de sol E1 sera de 0 % dans l'échantillon de sol E1'; ce qui s'expliquerait par le fait que la répartition du gravier contenu dans le sol n'est pas homogène.

3-2. Caractéristiques du matériau composite

3-2-1. Caractéristiques physiques : Taux d'absorption en eau et porosité

Les résultats d'absorption en eau et de porosité résumés dans le **Tableau 9** ci-dessous ont permis d'effectuer les observations suivantes : Les éprouvettes ne contenant pas de ciment ont été dégradées durant le processus ceci due à l'absence d'un liant stabilisant mais également la méthode de cure. Par ailleurs, la présence des fibres dans le matériau augmente les vides interstitiels qui favorisent des infiltrations d'eau. Ainsi, pour les sols latéritiques stabilisés par la fibre de coco, le taux d'absorption de l'eau augmente avec l'augmentation de la teneur en fibre de coco [30, 31]. Quant aux éprouvettes contenant du ciment, elles ont fournis une valeur moyenne des trois échantillons conformes à la norme [22].

Tableau 9 : Taux d'absorption d'eau et porosité des éprouvettes

Échantillons	Échantillon de sol E1' + 8% Ciment
Taux d'absorption d'eau (Abs) en %	14,70
Porosité (n) en %	0,74
Norme Camerounaise pour BTC (NC 102-114, 2002-2006)	< 15 %

3-2-2. Caractéristiques mécaniques

3-2-2-1. Traction par flexion en trois points

Les résultats de l'essai de traction par flexion en trois points présentés dans le **Tableau 10** ci-dessous montrent que tous les échantillons stabilisés à la fibre à différentes teneurs présentent une meilleure

résistance moyenne à la traction par flexion que celles stabilisées au ciment. La résistance à la traction par flexion optimale est obtenue pour une teneur de 8 % de fibres de coco telle qu'observée sur la **Figure 12**.

Tableau 10 : Valeurs des résistances à la flexion en trois points

Réf.	Résistance moyenne à la flexion en trois points (MPa)				
Teneur en fibres de coco (%)	0	0,2	0,5	0,8	1
Échantillon de sol E1'+ Fibre de coco	0,7	0,86	0,94	1,17	1,09
Échantillon de sol E1'+ 8 % Ciment	0,33				

A 0 % de fibre de coco, la résistance à la flexion en trois points des BTC non stabilisés (0,7 MPa) reste supérieure à ceux stabilisés à 8 % de ciment (0,33 MPa) indiquant que le ciment n'augmente pas la résistance à la flexion mais joue le rôle de liant stabilisant. De 0,2 % à 0,8 % de fibres de coco, la résistance à la flexion en trois points des matériaux augmente de manière continue, car les fibres en éléments de renfort dans la matrice BTC des composites mises en œuvre jouent le rôle d'armatures avec une bonne adhérence dans la matrice du composite reprenant les efforts de flexion appliqués à ce matériau. Au-delà de 0,8 % de fibres, cette résistance chute, pour signifier la diminution de la liaison fibres- matrice BTC, car les fibres sont de plus en plus nombreuses et se superposent entre elles. Ces fibres possèdent d'une mauvaise ouvrabilité compte tenu des graisses naturelles qui les composent [11]. A la lecture de la courbe ci-dessous, nous relevons les résistances en flexion suivantes : 0,7 ; 0,86 ; 0,92 ; 1 ; 1,17 et 1,09 MPa pour les teneurs en fibres respectives de 0 % ; 0,2 % ; 0,4 % ; 0,6 % ; 0,8 % et 1 %. Ces valeurs sont supérieures à celles de l'auteur [11] qui sont respectivement de 0,1 ; 0,14 ; 0,15 ; 0,16 ; 0,16 ; 0,08 MPa aux mêmes teneurs en fibre de coco. En dépit des mêmes types d'éprouvettes, cette différence pourrait s'expliquer soit par la granulométrie sol, soit par l'ajout du ciment à 8 % en plus des différentes teneurs en fibre de coco, soit par le fait que cet auteur ait traité ses fibres de coco avec une solution de potasse à une concentration de 8 % en masse de pastille de potasse car, le traitement des fibres par des solutions basiques nettoie la surface de celles-ci en dégradant les constituants amorphes tels que : les lignines, les hémicelluloses, les cires et les graisses [32, 33].

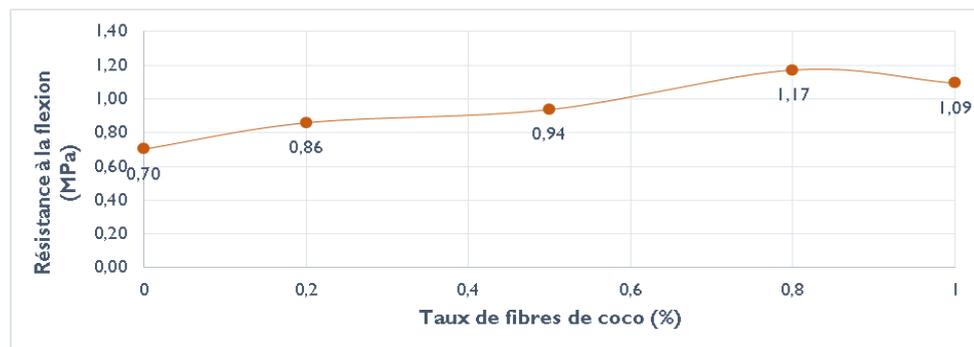


Figure 12 : Évolution de la résistance en flexion en fonction de la teneur en fibres de coco

3-2-2-2. Compression

Les résultats à l'essai de compression observés dans le **Tableau 11** ci-dessous présentent toutes des valeurs moyennes supérieures à celle prescrit par la norme [21] qui est de 2 MPa. A 0 % de fibre de coco, la résistance moyenne à la compression des matériaux formulés (5,63 MPa) est supérieure à ceux issues de la stabilisation à 8 % de ciment (4,78 %). De 0,2 à 0,6 % de fibres de coco, la résistance à la compression du matériau composite croît car les fibres à travers des liaisons avec la matrice BTC, créent des sollicitations internes qui améliorent la résistance du matériau. A plus de 0,6 % de fibres de coco, la résistance décroît suite au faible taux de liaison interne entre les fibres et la matrice BTC, la liaison fibres-fibres s'intensifie.

Tableau 11 : Valeurs des résistances à la compression

Réf.	Résistance moyenne à la compression (MPa)				
	0	0,2	0,5	0,8	1
Taux de stabilisation en fibres (%)					
Échantillon de sol E1' + fibres de coco	5,63	5,98	6,88	6,83	6,04
Échantillon de sol E1' + 8% Ciment	4,78				
Norme Camerounaise (NC 102-114, 2002-2006)	≥ 2 MPa				

On observe sur la **Figure 13** une résistance moyenne optimale pour l'échantillon de sol E1' stabilisée à la fibre de coco à une teneur de 0,5 %. Ce graphique présente les résultats suivants : 5,63 ; 5,98 ; 6,88 ; 7,2 ; 6,83 ; 6,04 MPa de résistances en compression simple pour les teneurs en fibres de coco respectives de 0 %, 0,2 %, 0,4 %, 0,6 %, 0,8 % et 1 %. Ces résultats sont différents de ceux de [11] qui sont respectivement de 0,4 ; 0,9 ; 1 ; 1,1 ; 1,23 ; 0,3 MPa pour ces différentes teneurs en fibres de coco. Cette différence pourrait s'expliquer à travers la différence de formulation des matériaux composites.

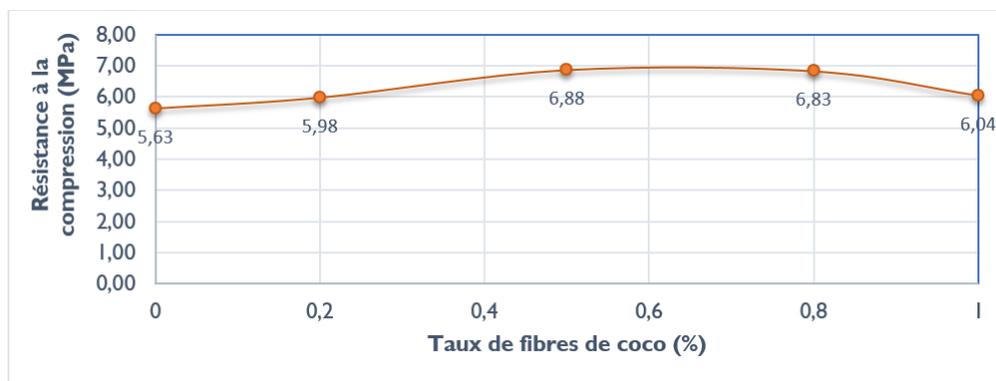


Figure 13 : Évolution de la résistance en compression en fonction de la teneur en fibres de coco

4. Conclusion

En définitive, ce travail de recherche portait sur l'influence de la teneur des fibres de coco sur les propriétés physiques, mécaniques des blocs de terre comprimée et la comparaison des caractéristiques desdits matériaux à ceux des BTC stabilisés à 8 % de ciment. Les résultats expérimentaux indiquent que :

- L'incorporation des fibres de coco à la matrice BTC améliore les caractéristiques mécaniques du matériau en occurrence la résistance à la flexion en trois points et la résistance à la compression. Ces caractéristiques sont meilleures que celles des BTC stabilisés au ciment. Par contre, ces fibres augmentent le taux d'absorption en eau fragilisant ainsi le matériau;
- Les caractéristiques physiques et mécaniques des matériaux composites sont optimales pour une teneur en fibre de coco variant de 0,5 à 0,8 %.
- Les BTC stabilisés au ciment quant à eux présentent de meilleures caractéristiques physiques que ceux stabilisés à la fibre, ainsi pour des BTC résistants et durables, une étude devrait être menée sur la combinaison des deux stabilisants à la matrice BTC : la fibre de coco et le ciment.

Références

- [1] - J. MBEY, J. C. SABOUANG et al. , " Matériaux composite amidon-argile : une perspective de valorisation des ressources du Cameroun ", Séminaire de l'école doctorale RP2E, Ingénierie des ressources, Procédés, Produits et Environnement , Université de Nancy, (2011) 381 - 386 p.
- [2] - NC (Norme Camerounaise) 102 - 115, " Production des blocs de terre comprimée ", (2002) 12 p.
- [3] - J. OUELLET, " Formulation et évaluation des méthodes de mise en œuvre et d'essai en laboratoire sur l'endommagement et le recouvrement mécanique des bases granulaires traitées au ciment ", Mémoire de fin d'étude de l'Ecole de Technologie Supérieure, Université du Québec, (2018) 521 p.
- [4] - A. AMMARI, K. BOUASSRIA et al. , " Promotion de la technique du bloc de terre comprimée dans le secteur de la construction par l'amélioration de son comportement mécanique ", *J.Mater.Environ.Sci.*, 7 (10) (2016) 3532 - 3537 p.
- [5] - H. HOUBEN, V. RIGASSI et al. , " Blocs de terre comprimée : équipements de production ", CRATerre, Bruxelles, Belgique, (1996) 149 p.
- [6] - C. SAUJANYA, S. RADHAKRISHNAN, " Structure development and properties of PET brelled PP composites ", *India Polymer*, Vol. 42, (2001) 4537 - 4548 p.
- [7] - M. A. L. MANCHADO, M. ARROYO, " Thermal and dynamic mechanical properties of polypropylene and short organic fiber composites ", *Polymer*, Vol. 41, (2000) 7761 - 7767
- [8] - M. GUESSOUM, S. NEKKA et al., " Effects of Kaolin Surface Treatments on the Thermomechanical Properties and on the Degradation of Polypropylene ", *International Journal of Polymer Science*, N° 549154 (2012) 9 p.
- [9] - D. G. DIKOBÉ, A. S. LUYT, " Comparative study of the morphology and properties of PP/LLDPE/wood powder and MAPP/LLDPE/wood powder polymer blend composites ", *EXPRESS Polymer Letters*, Vol. 4, N°11 (2010) 729 - 741 p.
- [10] - K. HYUN, B. JAGANNATH et al, " Effects of stearic acid coating on zeolite in LDPE, LLDPE, and HDPE composites ", *South Korea Polymer*, Vol. 47, (2006) 3981 - 3992 p.
- [11] - C. A. DJOHORE, S. A. DJOMO et al, " Effet de l'addition de fibres de coco traitées à la potasse sur les propriétés mécaniques des matériaux de construction à base d'argile - ciment ", Edition, *European Scientific Journal*, Vol. 14, Décembre (2018) 104 - 116 p.
- [12] - M. MERZLOUD, " Elaboration et caractérisation d'un matériau composite à base de fibres de diss dans la fabrication de la maçonnerie ", Thèse de doctorat d'Etat, Université Badji Mokhtar, (2007) 123 p.
- [13] - R. NTENGA, " Modélisation multi-échelle et caractérisation de l'anisotropie élastique de fibres végétales pour le renforcement de matériaux composites ", Thèse en cotutelle, École Doctorale Sciences pour l'Ingénieur de Clermont-Ferrand et École Nationale Supérieure Polytechnique (ENSP) de l'Université de Yaoundé I, (2007) 185 p.
- [14] - Y. DJEBLOUN, " Contribution à la caractérisation des matériaux composites renforcés de fibres végétales ", Thèse de Doctorat en sciences : Génie Mécanique, (2018) 130 p.
- [15] - A. DJOUDI, M. KHENFER et al, " Etude d'un nouveau composite en plâtre renforcé avec des fibres végétales du palmier dattier ", in SBEIDCO 1st International Conference on sustainable Built Environment Infra-structures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria), (2009)
- [16] - E. G. L. MBEI, A. ATANGANA et al, " Contribution à la caractérisation ultrasonore en vue de la détection du gondolement des fibres dans un matériau composite plâtre/fibres de *Rhectophyllum* Camerunense ", *Afrique Science*, 11 (3) (2015) 1 - 9 p.
- [17] - NF (Norme Française) EN ISO 17892-1, " Reconnaissance et essais géotechniques - Essais de laboratoire sur les sols - Partie 1 : détermination de la teneur en eau ", Décembre (2014)

- [18] - NF EN ISO 17892-12, " Reconnaissance et essais géotechniques - Partie 12 : Détermination des limites de liquidité et de plasticité ", Juillet (2018)
- [19] - NF P94-068, " Sol : reconnaissance et essais-mesure de la capacité d'absorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux-détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tâche ", (1998)
- [20] - LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) et Le SETRA (Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes), " Réalisation des remblais et des couches de forme ", Guide technique des Terrassements Routiers, fascicule I, 11ème Edition, principes généraux, (2000) 211 p.
- [21] - NF EN ISO 17892-4, " Reconnaissance et essais géotechniques - Essais de laboratoire sur les sols - Partie 4 : Détermination de la distribution granulométrie des particules ", Janvier (2018)
- [22] - NC 102-114, " Terminologie et Classification des BTC ", (2006)
- [23] - NF P94-056, " Analyse Granulométrique par Sédimentométrie ", (1992)
- [24] - J. MICHEL, " Etude sur la stabilisation et la compression des terres pour leur utilisation dans la construction ", Annales de l'Institut Technique de Bâtiment et des Travaux Publics, Série Matériaux, N° 339 (1999) 22 - 35 p.
- [25] - Norme ASTM C 20, " Standard Test Methods for Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water ", Janvier (2000)
- [26] - J. K. SANDJONG, L. I. N. NTOM et al, " Influence des caractéristiques physiques du sol sur la durabilité du corps de chaussée : cas des axes routiers de Bonabéri, Douala, Cameroun ", *Afrique SCIENCE*, 16 (5) (2020) 147 - 160 p.
- [27] - G. BIGOT, M. I. ZERHOUNI, " Teneur en eau d'un matériau fonction des contraintes climatiques ", bulletins des laboratoires des ponts et chaussees-229, novembre-décembre (2000) 105 - 114 p.
- [28] - B. TAALLAH, " Etude du comportement physico-mécanique du bloc de terre comprimée avec fibres ", thèse de doctorat en science, Université Mohamed Khider-Biskra, faculté des sciences et de la technologie, département de génie civil et d'hydraulique, (2014) 202 p.
- [29] - NF P11-300, " Exécution des terrassements - Classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières ", Septembre (1992)
- [30] - U. RAVISHANKAR, S. RAGHAVAN, " Coir stabilised lateritic soil for pavements ", Indian geotech. Conf., Ahmedabad, India, (2004) 45 - 52 p.
- [31] - D. ABESSOLO, A. B. BIWOLE et al, " Effets de la longueur et de la teneur des fibres de bambou sur les propriétés physicomécaniques et hygroscopiques des Blocs de Terre Comprimée (BTC) utilisés dans la construction ", *Afrique SCIENCE*, 16 (4) (2020) 13 - 22 p.
- [32] - D. SEDAN, " Étude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre /ciment. Influence sur les propriétés mécaniques du composite ", Thèse de Doctorat, Université de Limoges, France, (2007) 129 p.
- [33] - M. LE TRODE, " Caractérisation des interactions physicochimiques dans un matériau composite à base de phyllosilicates, de chaux et de fibres cellulosiques ", Thèse de doctorat, Université de Limoges, France, (2009) 156 p.