



**COLLOQUE INTERNATIONAL AVEC PUBLICATION DES ACTES A L'OCCASION
DES 40 ANS DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE D'ENSEIGNEMENT
TECHNIQUE DE DOUALA**

Comportement hydromécanique des BTC avec granulats de Canarium schweinfurthii et Cocos nucifera : analyse de durabilité

B.M. Ganou Koungang^{ab*}; D. Ndapeu^a; G. Tchemou^a; G. Fotso^a; E. Njeugna^a;
L. Courard^b

^a *Laboratoire de Mécanique et Matériaux Adaptés (LAMMA), Université de Douala, 1872
Douala-Cameroun*

^b *Urban and Environmental Engineering, Laboratoire des Matériaux de Construction
(LMC), Université de Liège (ULiège), Allée de la Découverte, 9, 4000 Liège, Belgique*

*Corresponding author : bm.ganoukoungang@doct.uliege.be, morinoganou@yahoo.fr

Résumé

Ce travail s'intéresse à l'impact de l'humidité sur le comportement mécanique du matériau terre dans son ensemble. Les matériaux testés sont à base de la terre de la ville de Douala dans la région du littoral-Cameroun. Des granulats de *Canarium schweinfurthii* (CS) et *Cocos nucifera* (CN) sont utilisés comme charges et un ciment comme stabilisant. Les échantillons parallélépipédiques de 220x95x45 mm³ sont réalisés à une presse hydraulique manuelle à la pression de compactage de 10 MPa. Quatre solutions aqueuses salines (KOH, NaCl, K₂SO₄, Na₂Cr₂O₇) ont permis de conditionner les briques dans des bacs adiabatiques pendant 24 heures après différents jours de maturation (7, 14 et 28) jours. Les essais mécaniques de flexion 3-points et compression simple sont réalisés sur les échantillons conditionnés. Il en ressort que le comportement hydromécanique des BTC avec granulats de CS et CN suit un modèle linéaire pour les plages d'humidité relative obtenues.

Mots clés : Terre, *Cocos nucifera*, *Canarium schweinfurthii*, Brique de terre, comportement hydromécanique.



**COLLOQUE INTERNATIONAL AVEC PUBLICATION DES ACTES A L'OCCASION
DES 40 ANS DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE D'ENSEIGNEMENT
TECHNIQUE DE DOUALA**

I-Introduction

Le matériau terre peut apporter une réponse efficace face aux problèmes que les constructions modernes rencontrent en termes d'enjeux sociétaux, économiques et écologiques. Cependant les difficultés à comprendre et à prédire son comportement hydromécanique représente un obstacle au développement de cette technique au Cameroun pour la région du littoral avec un climat fort humide de l'ordre de 85% [1]. Les coûts énergétiques associés à la construction et surtout le secteur du bâtiment occupent le deuxième rang des plus élevés de tous les secteurs de l'activité humaine après l'industrie manufacturière [2]. Le Groupe Intergouvernemental sur l'Evolution du climat (GIEC) s'intéresse fortement à cette situation et stipule que le secteur du bâtiment serait responsable à prêt de 9.18 Gt de CO₂ d'émission de gaz à effet de serre (GES) soit environ un cinquième du total de tous les autres secteurs confondus pour une dépense énergétique de second rang [3]. Le développement des pratiques de construction durables est donc primordial, non seulement pour se conformer aux objectifs actuels de réduction des émissions de gaz à effet de serre, mais aussi pour limiter la consommation d'énergie à l'échelle mondiale. Dans ce contexte, le développement des matériaux de construction économes en énergie, mais aussi dont les impacts environnementaux sont faibles, apparaît comme un challenge prometteur. Une des possibilités est l'utilisation de terre crue compressée : matériau local et fortement disponible [4] et dont la mise en forme ne nécessite que peu d'énergie, il peut être entièrement recyclable [5] selon les adjuvants de mise en œuvre. Par ailleurs, les propriétés hygrothermiques du matériau terre confèrent aux bâtiments la possibilité de "respirer" en absorbant ou en libérant de l'humidité en fonction des conditions hydriques environnantes. La condensation et l'évaporation d'eau à l'intérieur des murs de terre crue génèrent des échanges de chaleurs latentes, régulant la température intérieure des bâtiments. Ainsi, la facture énergétique liée à la climatisation et au chauffage est diminuée [6], tout en améliorant le confort intérieur des bâtiments [7].

Malgré ces avantages, des freins subsistent dans l'expansion de cette pratique constructive, notamment une faible cohésion entre les particules, l'impact négatif de l'eau sur le matériau terre, une faible résistance mécanique et rigidité de la terre crue. Aujourd'hui afin d'améliorer



**COLLOQUE INTERNATIONAL AVEC PUBLICATION DES ACTES A L'OCCASION
DES 40 ANS DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE D'ENSEIGNEMENT
TECHNIQUE DE DOUALA**

les caractéristiques de la terre crue compactée, le matériau est traité [8,9] en y ajoutant plusieurs additifs comme les liants chimiques à faible pourcentage (ciment, chaux) et les sous-produits végétaux (fibres ou granulats de coques et noyaux durs) : mélasse de canne à sucre, fibre de la hampe de bananier-plantain, granulats de granulats de cocos nucifera, granulats de *Canarium schweinfurthii*, etc [10]. La question de recherche ressortant de cette analyse est celle de savoir comment comprendre et prédire le comportement mécanique des BTC à charge des granulats de CN et CS sous l'impact de l'eau.

II-Matériels et méthodes

II-1- Les matériaux de base

II-1-1- Terre

La terre utilisée dans ce travail est celle de la ville de Douala dans la région du littoral camerounais ; la terre a été prélevée sur le site de l'ENSET de l'Université de Douala à 50 cm de profondeur sous la couche organique. Après excavation, elle est séchée à l'étuve à 60°C jusqu'à l'état anhydre (10% d'eau) et broyée pour obtenir des poudres fines prêtes pour utilisation.



Figure 1: Extraction de la terre

Les essais d'identification et d'analyse de consistance (Tab. 1) ont permis de classer cette terre comme limono-sablo-argileuse ferme à consistance moyenne et à minéraux majeurs de kaolinite.



**COLLOQUE INTERNATIONAL AVEC PUBLICATION DES ACTES A L'OCCASION
DES 40 ANS DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE D'ENSEIGNEMENT
TECHNIQUE DE DOUALA**

Tableau 1: Données d'identification de la terre

Sédimento- granulométrie	Argile	Limon	Sable fin	Sable moyen	Gros sable	Gravier
	25%	7%	3%	14%	51%	0%
Consistance	LL	LP	IP	TEI	Ic	A _c
	40.64	21.45	19.18	10%	1.59	0.78
Surface spécifique BET				35.68±0.19		
VBM				5.89±0.11		
TEO				16.7%		
Minéraux majeurs				Kaolinite		

II-1-2- Granulats de CS et CN

Les coques de noix de coco et les noyaux de Canarium collectés ont été nettoyés, concassés, broyés et tamisés. Après l'analyse granulométrique, la classe granulaire retenue pour cette étude est 2/4.

II-1-3 Le ciment

Le ciment utilisé est de type portland gris aux caractéristiques prescrites par la norme camerounaise sur les liants hydrauliques [11]. Il est équivalent au ciment de type CEM I-42.5.

II-2- Réalisation des échantillons de BTC

Les BTC ont été réalisées en fixant convenablement les proportions des différents intrants (terre+ciment+CNCS+eau). La désignation retenue (Tab. 2) pour cette formulation sera BTCS_CNCS_5-8.

Tableau 2: Formulation des BTCS utilisées

Proportion des différents intrants			
Terre	Granulats de CNCS	Ciment	Eau
Masse de référence : 2500 gr	5%	8%	12%

Le mélange de ces différents constituants a été fait manuellement dans des bacs de malaxage avant d'être porté dans le moule pour l'obtention de brique de dimensions 220x95x45 mm³ [12]. Le compactage est réalisé à 10 MPa par une presse hydraulique à commande manuelle.

II-3- Conditionnement des échantillons

Les briques ont été conditionnées pendant 24 heures dans quatre enceintes adiabatiques constituées des bacs hermétiquement scellés contenant chacun une solution aqueuse saline sursaturée. Les sels utilisés sont : l'hydroxyde de potassium (KOH), le bichromate du sodium



**COLLOQUE INTERNATIONAL AVEC PUBLICATION DES ACTES A L'OCCASION
DES 40 ANS DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE D'ENSEIGNEMENT
TECHNIQUE DE DOUALA**

($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), le chlorure de sodium (NaCl) et le sulfate de potassium (K_2SO_4). Ils ont été choisis sur la base de leur disponibilité sur le marché camerounais et des différences de taux d'humidité (Tab. 3) qu'ils proposent à 30°C [13].

Tableau 3: Solutions salines utilisées

Solutions aqueuses salines	Taux d'humidité (%)
Hydroxyde de potassium (KOH)	7
Bichromate du sodium ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)	52
Chlorure de sodium (NaCl)	75
Sulfate de potassium (K_2SO_4)	96

II-4- Essais mécaniques : flexion 3-points et compression simple

II-4-1- Essai de flexion trois points

Ces essais sont effectués suivant la norme EN 12372 (2006) avec le banc d'essai mécanique disponible au Laboratoire de Génie Civil de l'ENSET de Douala. La température ambiante de la salle d'essai se situe autour de 30°C .

Les BTC testées ont été assimilées à des matériaux isotropes, pour avoir un module d'Young élastique (Eq. 1) et une contrainte de rupture en flexion (Eq. 2) identiques dans toutes les directions du matériau

$$E_f = \left(\frac{F}{\Delta e}\right) \cdot \frac{1}{4b} \left(\frac{L}{e}\right)^3 \quad (1)$$

Avec, F : effort (en N), L : distance entre mors (en mm), Δe : l'allongement de l'éprouvette (en mm), b : et e respectivement la largeur et l'épaisseur de l'éprouvette (en mm)

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

Avec, F_{fmax} : effort maximal en flexion (en N)



**COLLOQUE INTERNATIONAL AVEC PUBLICATION DES ACTES A L'OCCASION
DES 40 ANS DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE D'ENSEIGNEMENT
TECHNIQUE DE DOUALA**

II-4-2 Essai de compression simple

Des cubes de compression de 40x40x40 mm³ ont été taillés et l'essai est effectué suivant la direction de compactage. La norme utilisée est EN 196-1. Le paramètre calculé ici sera uniquement la contrainte en compression (Eq. 3).

$$\sigma_c = F_{cmax} / S \quad (3)$$

Avec, F_{cmax} : l'effort maximal en compression, s: section de l'éprouvette

III- Résultats et discussions

Les figures 2 et 3 présentent les valeurs de la résistance maximale en flexion (R_f) et du module d'Young en flexion (E_f) des BTCSCNCS5-8 en fonction de leur taux d'humidité et de leur durée de maturation. De manière générale, l'humidité détériore les performances mécaniques tandis que la maturation les améliore. Ce constat est fait aussi bien en flexion (Fig. 2, Fig. 3 et Fig. 4) qu'en compression (Fig. 5).

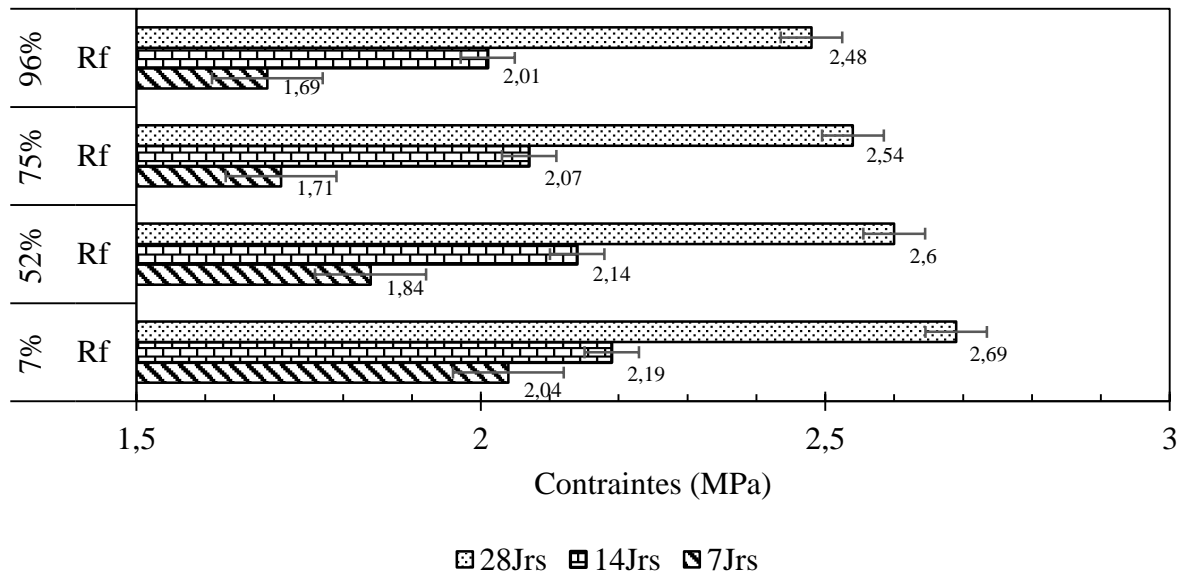


Figure 2: Evolution de la contrainte de rupture en flexion en fonction du temps de maturation et le taux d'humidité



**COLLOQUE INTERNATIONAL AVEC PUBLICATION DES ACTES A L'OCCASION
DES 40 ANS DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE D'ENSEIGNEMENT
TECHNIQUE DE DOUALA**

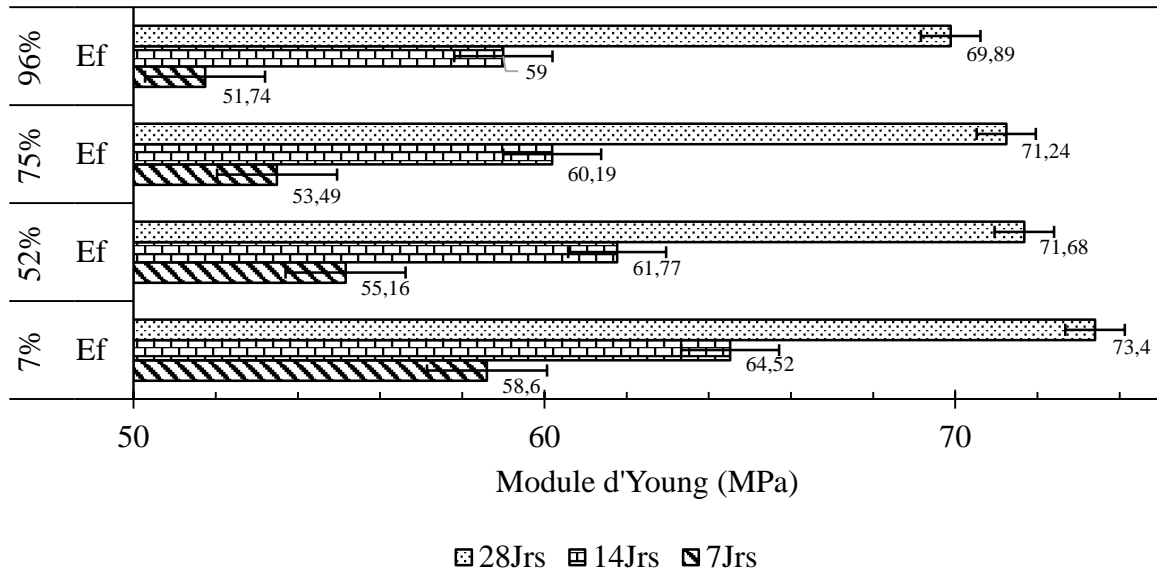


Figure 3: Evolution du module d'Young en flexion en fonction du temps de maturation et le taux d'humidité La contrainte de rupture et le module d'Young en flexion décroissent linéairement en fonction de leur taux d'humidité (Fig. 3)

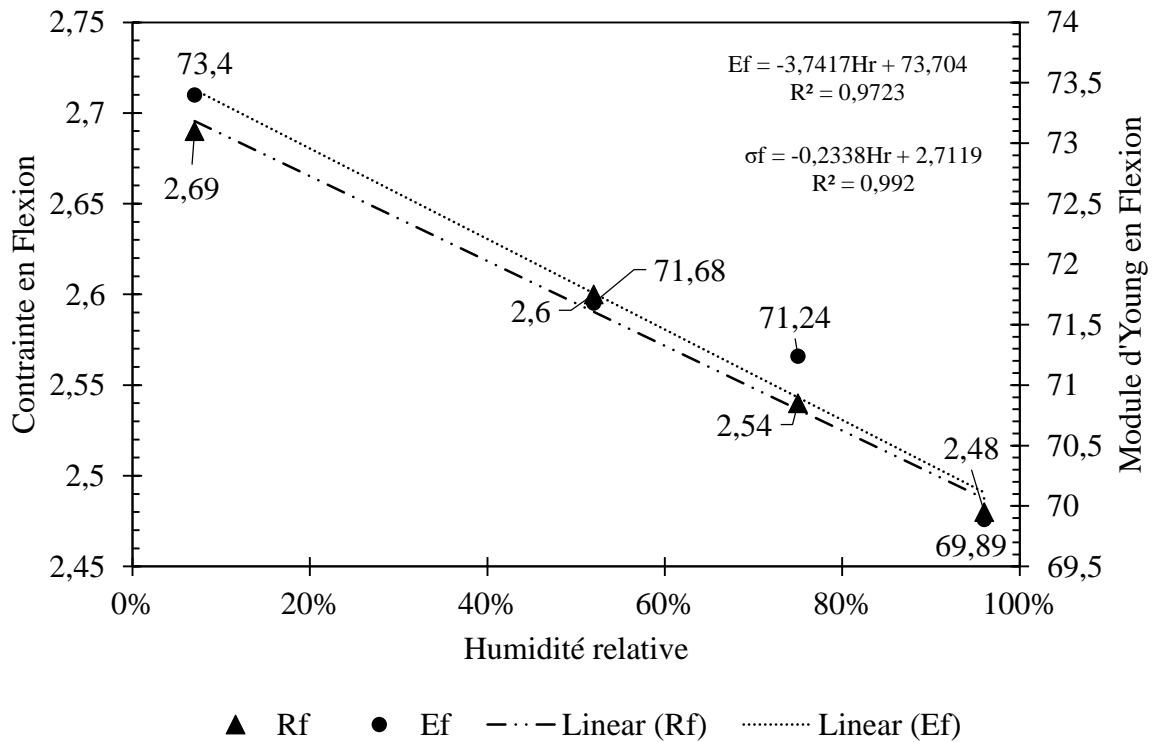


Figure 4: Evolution du module d'Young et de la contrainte de rupture en flexion



**COLLOQUE INTERNATIONAL AVEC PUBLICATION DES ACTES A L'OCCASION
DES 40 ANS DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE D'ENSEIGNEMENT
TECHNIQUE DE DOUALA**

La figure 5 présente les résultats des essais de compression. Il apparaît clairement que l'humidité contribue à détériorer les performances en compression de ces BTC tandis que la maturation l'améliore. La contrainte de rupture en compression décroît linéairement en fonction du taux d'humidité.

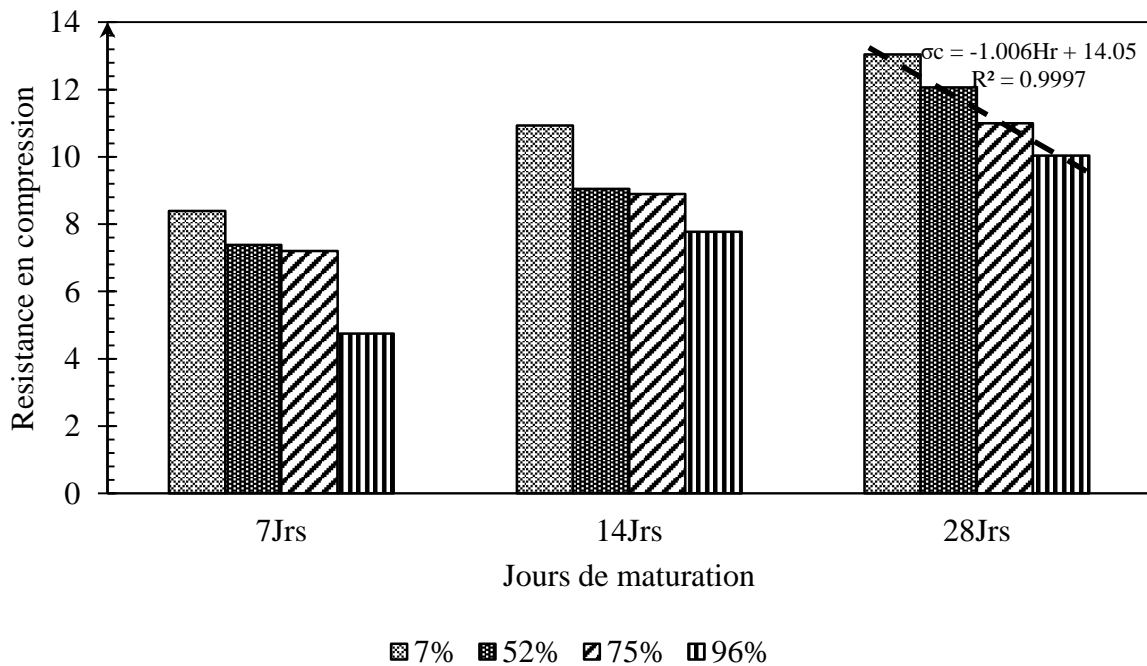


Figure 5: Evolution de la contrainte de rupture en compression en fonction du temps de maturation et de la teneur en humidité relative

En résumé, les BTCS_CNCS_5-8, présentent un meilleur comportement en compression qu'à la flexion et sont très sensibles à l'humidité. Ils seront recommandés dans la construction des murs de façade et de cloison, mais seront peu recommandés dans la construction des planchers en contact avec le sol. Leur longévité nécessite un revêtement de protection contre l'humidité.



**COLLOQUE INTERNATIONAL AVEC PUBLICATION DES ACTES A L'OCCASION
DES 40 ANS DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE D'ENSEIGNEMENT
TECHNIQUE DE DOUALA**

Conclusion

Dans ce travail, la sensibilité des BTC à l'humidité a été explorée. Les échantillons réalisés en terre crue sont compactés avec un niveau de pression 10 MPa, à la teneur optimale en eau correspondant à 12%. Après compactage, les échantillons ont été placés à différentes humidités relatives de 96, 75, 52, et 7% sous une température constante de 25 °C.

Après différentes durées de maturation, quatre sels ont permis de conditionner les échantillons à des taux d'humidité relative pendant 24 heures. Les essais mécaniques (compression simple et flexion 3-points) à différent taux d'humidité ont permis de mettre en évidence :

- Le fort impact de l'humidité sur le comportement mécanique du matériau, aussi bien au niveau des modules d'élasticité que de la résistance.
- Le comportement quasi-élastique linéaire et fragile du matériau.
- La décroissance linéaire des propriétés mécaniques des BTCCSCN en fonction de l'humidité relative.

Ces BTC peuvent servir comme solution alternative dans la construction des habitats au Cameroun moyennant une caractérisation physico-chimique intégrant le confort thermique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Institut National de la statistique du Cameroun, Annuaire statistique de la région du Littoral, Douala-Cameroun, 2015.
- [2] C. Swartenbroekx, Transition énergétique : impacts et enjeux économiques pour les entreprises, Banq. Natl. Belgique (2018), pp. 121–148.
- [3] D. Ürge-Vorsatz, O. Lucon, A. Zain Ahmed, H. Akbari, P. Bertoldi, L.F. Cabeza et al., Buildings, in Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, et al., eds., Cambridge University Press, Cambridge, New York, 2014, pp. 671–738.



**COLLOQUE INTERNATIONAL AVEC PUBLICATION DES ACTES A L'OCCASION
DES 40 ANS DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE D'ENSEIGNEMENT
TECHNIQUE DE DOUALA**

- [4] J.C. Morel, A. Mesbah, M. Oggero and P. Walker, Building houses with local materials: Means to drastically reduce the environmental impact of construction, *Build. Environ.* 36 (2001), pp. 1119–1126.
- [5] G. Calatan, A. Hegyi, C. Dico and C. Mircea, Experimental Research on the Recyclability of the Clay Material Used in the Fabrication of Adobe Bricks Type Masonry Units, *Procedia Eng.* 181 (2017), pp. 363–369.
- [6] D. Allinson and M. Hall, Hygrothermal analysis of a stabilised rammed earth test building in the UK, *Energy Build.* 42 (2010), pp. 845–852.
- [7] F. Pacheco-Torgal and S. Jalali, Earth construction: Lessons from the past for future eco-efficient construction, *Constr. Build. Mater.* 29 (2012), pp. 512–519.
- [8] F.V. Riza, I.A. Rahman and A.M.A. Zaidi, Possibility of Lime as a Stabilizer in Compressed Earth Brick (CEB), *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.* 1 (2011), pp. 582.
- [9] D. Manu, Strength and Durability Properties of Cow Dung Stabilised Earth Brick, *Civ. Environ. Res.* 3 (2013), pp. 117–126.
- [10] F.V. Riza, I.A. Rahman, A. Mujahid and A. Zaidi, A brief review of Compressed Stabilized Earth Brick (CSEB), *CSSR 2010 - 2010 Int. Conf. Sci. Soc. Res.* (2010), pp. 999–1004.
- [11] NC 234: 2005–06, Liants hydrauliques Ciment: les spécifications, ANOR (2005), pp. 23.
- [12] XP P13-901, Blocs de terre comprimée pour murs et cloisons, Définitions-Spécifications-Méthodes d'essais-Conditions de réception, AFNOR (2001), pp. 37.
- [13] NF X15-119, Mesure de l'humidité de l'air - Générateurs d'air humide à solutions salines pour l'étalonnage des hygromètres, AFNOR (1999), .