

Caracterisation et Renforcement des Proprietes Geotechniques des Briques de Terre avec Rajout de Paille de Riz

Bakayoko Soumaila

Brahima Koné

Mosso Kotchi Alex

Département de Pédologie, UFR-STRM,
Université Felix Houphouët-Boigny

Kouakou Conand Honore

Département de Géomatériaux, UFR-STRM,
Université Felix Houphouët-Boigny

[Doi:10.19044/esj.2022.v18n36p55](https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n36p55)

Submitted: 12 August 2022
Accepted: 16 November 2022
Published: 30 November 2022

Copyright 2022 Author(s)
Under Creative Commons BY-NC-ND
4.0 OPEN ACCESS

Cite As:

Soumaila B., Koné B., Mosso K.A. & Kouakou C.H.(2022). *Caracterisation et Renforcement des Proprietes Geotechniques des Briques de Terre avec Rajout de Paille de Riz*. European Scientific Journal, ESJ, 18 (36), 55. <https://doi.org/10.19044/esj.2022.v18n36p55>

Résumé

Les briques de terre stabilisées peuvent être une bonne alternative pour résoudre le problème de logement si les typologies de sol, les horizons de prélèvement de sol et les quantités de liants bon marché comme la paille de riz sont identifiés. Une étude a été réalisée sur les sols prélevés dans l'horizon B de Ferralsols et d'Acrisols ainsi que sur un échantillon de Kaolin ont été utilisés pour les fabrications d'adobe. Les briques de terre crue ont été fabriquées avec différentes proportions de paille de riz (0,2% ; 0,4% ; 0,6% ; 0,8% et 1%) et soumises à des tests de compressibilité et de flexion. Les résultats obtenus montrent que le dosage à 0,4% de paille a été optimal, avec une résistance à la compression de 1,04 - 1,2 N/mm² pour les Ferralsols prélevés à une profondeur de 113 cm -30 m et 0,21- 0,65N/mm² pour les Acrisols (74 -122 cm). La proportion optimale de paille était 0,2% pour la flexion (0,01 - 0,06N/mm²) avec une valeur plus élevée (0,06 N/mm²) pour le kaolin issu du Ferralsol plinthic, justifiant cette recommandation pour une meilleure résistance à la flexion. Le Ferrasol Stagnic dosé à 0,4% de paille

peut être recommandé pour une meilleure résistance des briques à la compression.

Mots-clés : Sol, briques stabilisées, paille de riz, essai de compression, essai de flexion

Characterization and Strengthening of Geotechnical Properties of Earthen Bricks Adding Rice Straw

Bakayoko Soumaila

Brahima Koné

Mosso Kotchi Alex

Département de Pédologie, UFR-STRM,
Université Felix Houphouët-Boigny

Kouakou Conand Honore

Département de Géomatériaux, UFR-STRM,
Université Felix Houphouët-Boigny

Abstract

The bricks of soil stabilized may constitute a promising alternative to solve the problem of housing provided that the typologies of soil, sampling horizons and quantities of cheap bonds like rice straw are identified. This study was carried out on the soil samples collected from the B horizon of Ferralsols and Acrisols, as well as on a sample of Kaolin used to manufacture Adobe. Mud bricks were made with different proportion of rice straw (0.2% ; 0.4% ; 0.6% ; 0.8% and 1%), and subjected to compressibility and flexion tests. The results showed that the 0.4% straw backing is optimal, it gives a compressive strength of 1.04 – 1.2 for Ferralsols collected at the depth of 113 cm - 30 m and 0.21 – 0.65N/mm² in Acrisols (74 - 122 cm). The optimal straw proportion was 0.2% for Kaolin from Ferrasol Plinthic, supporting this recommendation for bending resistance. Ferrasol Plinthic with 0.4% straw may be recommended for a better resistance of the bricks to compression.

Keywords: Soil, stabilized bricks, rice straw, compression, bending

Introduction

L'utilisation de la terre comme matériau de construction a longtemps été adoptée du fait de son accessibilité et de sa maniabilité. Aujourd'hui, il y'a un regain d'intérêt de cette pratique suite à la crise du logement dans les pays en développement (Frouard, 2005) et notamment, en Côte d'Ivoire.

Contrairement aux autres matériaux modernes (ciment, béton, bois et acier), la terre à l'état naturel peut être utilisée dans la construction avec de nombreux avantages environnementaux, sociaux, culturels, mais aussi économiques (Bahar, 2011). Cependant, à l'état cru, ce matériau ne résiste pas aux intempéries mettant en cause la durabilité des ouvrages construits. Beaucoup de bâtisses en terre crue (adobe et torchis) et particulièrement celles construites avec des matériaux sans aucun traitement associé sont vouées à des sérieux problèmes de stabilité, d'usure progressive voire d'émiettement sous une humidité élevée, surtout dans les pays à forte pluviométrie. Pour remédier à l'ensemble de ces problèmes, la fabrication de briques stabilisées a été initiée par Houben (2006) : il s'agit d'une méthode intermédiaire combinant du matériel naturel (sol) et des accessoires industriels (ciments, liant...). Cependant, cette innovation reste encore hors de portée pour certaines populations rurales en Afrique. Heureusement, d'autres procédés utilisent des fibres d'origine végétales (maïs, palmier, et cocotier) avec un succès relatif (Laborel-Préneron et al., 2016). Dans cette logique, la paille de riz, a été utilisée avec succès dans la ville industrielle de N'kayi (République du Congo) pour son aptitude à fixer les fines particules de terre bouchant les pores en saison sèche, procurant une certaine consistance physique. C'est ce qui motive l'usage des résidus de récoltes comme liants aux particules fines du sol. Cependant, ce succès pourrait varier selon le type de sol.

C'est pourquoi, ce travail se propose de tester l'efficacité du mélange de paille du riz et de terre fine provenant des horizons d'accumulation (Horizon B) de différentes formations pédologiques dans la fabrication de briques dans le sud Côte d'Ivoire. Il vise à (i) identifier un dosage optimum de paille et de terre pour la fabrication de briques plus stables ; (ii) identifier et caractériser les sols plus adéquats à cette méthode et (iii) dresser une caractérisation géotechnique des meilleurs dosages sol/paille. A terme, cette étude devra permettre de recommander une typologie de sol et un dosage en paille/sol pour la fabrication de briques en terre plus stables.

Materiel et methodes

Zone d'étude

Elles se situent dans les localités de Bingerville (5°19 N-4°12 W) et Songon (5°21 N-4°10 W), respectivement à environ 10 km de la capitale Abidjan, au sud de la Côte d'Ivoire. Bingerville est à l'extrême Est opposé à la localité de Songon à l'extrême Ouest. Ce sont des communes d'extension d'Abidjan caractérisées par de nombreux chantiers de constructions immobilières.

Choix des sites

Le choix des sites pour la description des profils de sol et les prélèvements des échantillons a été essentiellement guidé par la disponibilité des sols profonds. De plus, ces localités sont de vastes chantiers immobiliers avec la forte demande de matériaux de construction.

Description du sol

Des tranchées préexistantes ont été rafraichies en vue d'observer le sol sur une profondeur pouvant atteindre 3m. Les horizons ont été délimités et décrits selon Delaunois (2006).

Prélèvement du sol

A Bingerville, les horizons d'accumulation (illuviaux) ont été identifiés à 113 cm (site 1) et 125 cm (site 2) pour les prélèvements de matériaux. Les sols de Songon ont été identifiés à 74 cm (site 1) et 122 cm (site 2).

Paille de riz

La paille de riz a été obtenue après culture d'une nouvelle accession de la génération F5, F6 et F7 retenue pour sa grande capacité de production de biomasse. Cette accession a subi l'effet d'une fertilisation potassique pour l'obtention d'un bon indice de récolte.

Collecte de doinnees du sol OL

Des tranchées ont fait l'objet de description morpho pédologique par les méthodes métrique et tactile. L'horizon B a été identifié et les échantillons de sol ont été prélevés pour les analyses physico-chimiques et pour la confection des blocs. La classification BMRS (FAO, 2014) a été utilisée pour l'identification des sols. Différentes méthodes ont été utilisées pour l'analyse des échantillons de sol, à savoir les méthodes de spectromètre à fluorescence X portatif (composition chimique), le pH a été déterminé par l'électrode en verre et la sédimentométrie pour les fractions granulométriques Aussi, les limites d'Atterberg ont été déterminées par la méthode définie par la norme NPF 94-051 (1993).

Dosage paille/sol

Les briques ont été confectionnées par compactage à l'aide d'un moule en bois suivant des pourcentages de fibre végétale (0 ; 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 ; 1%) et de longueur 30 mm. Les dimensions des briquettes sont de 30×14×10 cm³, fabriquées par groupe de trois par le moule. Dans le cadre de cette étude, le dosage en fibre a été massique.

Essai sur briques de terre crue (adobe) Résistance à la compression (Rc)

Les essais seront effectués sur trois blocs par formulation. La résistance à la compression a été mesurée sur les briques après 28 jours de séchage respectivement. La presse hydraulique a été utilisée pour déterminer la résistance mécanique des blocs suivant l'équation 1.

$$\sigma = (F) / (L \times I) \quad [1]$$

Où σ est la résistance à la compression (MPa), F est la charge maximale elle s'exprime en Newton (N); L et I sont respectivement la longueur et la largeur en millimètre (mm).

Essai de flexion

Les paramètres métriques (Longueur, Largeur et Epaisseur) initiaux des briques d'adobe ont été mesurés avec une règle graduée en traçant une médiane à l'aide d'un feutre et d'une règle sur une des façades de l'adobe. Ensuite, l'adobe a été soumise la presse hydraulique en trois 3 points pour déterminer sa résistance en flexion décrite par l'équation 2 ci-dessous :

$$\sigma_f = (3F \times I) / (2 \times b \times h^2) \quad [2]$$

Où « σ_f » est la résistance à la flexion (MPa), « F » la charge maximale est en Newton (N); « I » est la longueur (mm) entre les appuis, « b » est la largeur (mm) et « h » est l'épaisseur (mm).

Resultat

Caractéristiques morpho pédologiques des horizons prélevés

Dans la localité de Songon, deux profils de sol (Figures 1a et b) ont été identifiés avec une dominance d'argile (AB et BA) à plus de 1m de profondeur :

Ces sols sont dépourvus d'éléments grossiers (0 – 5%) et d'induration avec une texture variant du sable (surface) à sablo-argileuse (AB) ou argilo-sableuse (BA) vers le bas (> 1m). Ils sont observés sur des plateaux d'environ 40 m d'altitude.

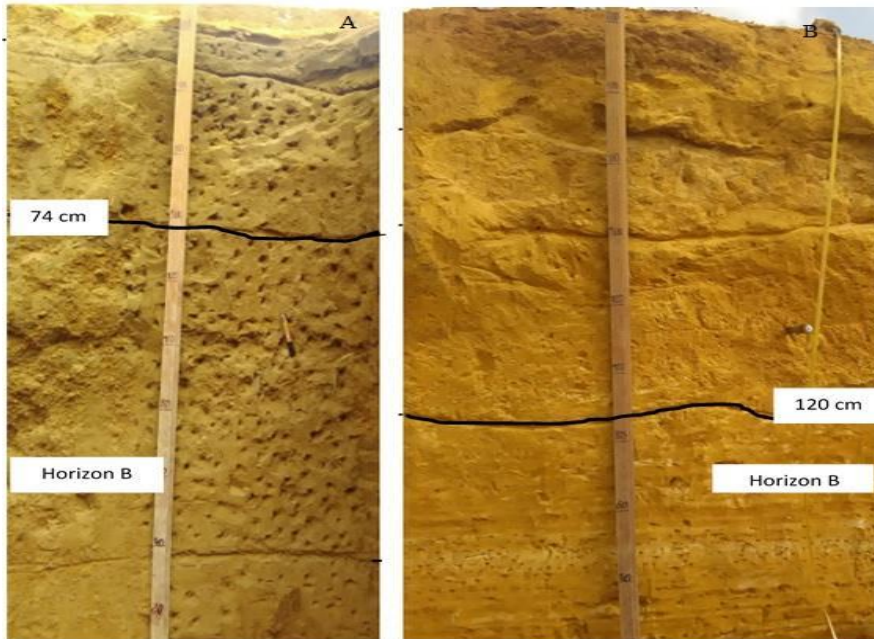


Figure 1. Profil d'Acrisol à Songon 1 (A) et à Songon 2 (B)

Cependant, les couleurs sont peu variables dans un profil alors que d'un site à l'autre elle peut passer du rougeâtre au jaune orangé (Figures 2 c et d).

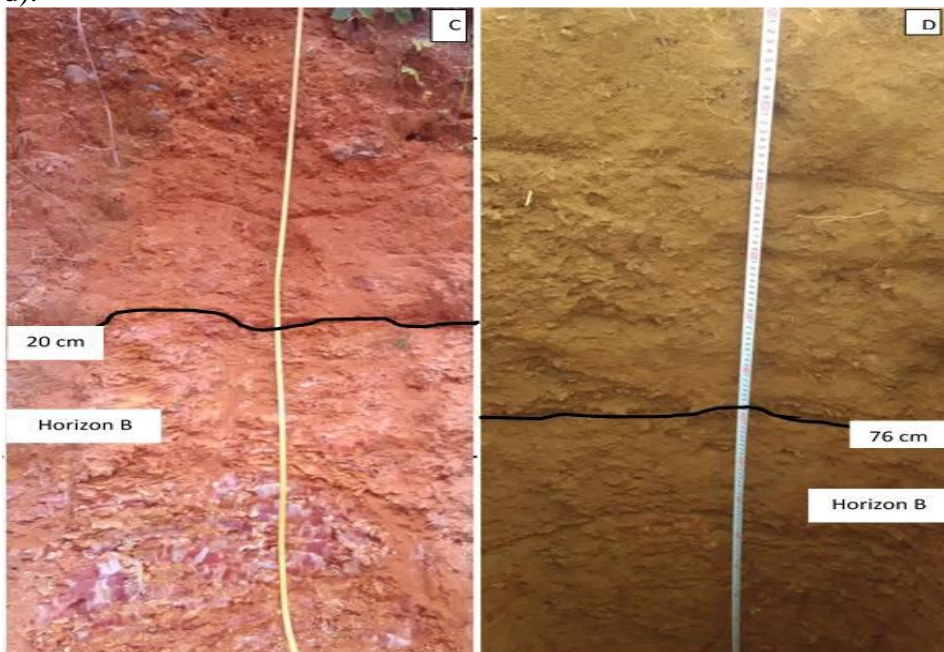


Figure 2. Profils de Ferralsol stagnic de Bingerville 1 (C) et de Ferralsol Plinthic à Bingerville 2 (D)

Les figures 2 c et 2 d montrent les profils de sol décrits dans la localité de Bingerville. Ils se distinguent respectivement de ceux de Songon (Acrisols) par 5 – 10% d'éléments grossiers (nodules ferrugineux et fragments de grès) dans une matrice rouge-brunâtre (Figure 2 c) ou brun-rougeâtre (Figure 2 d). Le premier est plus riche en argile dans les horizons supérieurs que le second et présente des taches d'oxydation (rouges) et de réduction (violacées) lui conférant un aspect bariolé caractéristique d'un mauvais drainage et justifiant sa nomination comme Ferralsol stagnic. Le second profil est sableux en surface avec une teneur croissante en argile dans une matrice de couleur unique (brun-rougeâtre) jusqu'à 2m de profond reposant sur du kaolin. La présence de nodules ferrugineuses et sa coloration lui confèrent une classification comme Ferralsol plinthics.

Analyse granulométrique et limite d'Atterberg

Le tableau 1 présente les fractions granulométriques (%) de l'horizon B des sols faisant l'objet d'étude:

Tableau 1. Fractions granulométriques des sols dans l'horizon B et leurs états de consistance

Sol	Sable %	Limon %	Argile %	Limite de liquidité (<u>Wl</u>)	Limite de plasticité (<u>Wp</u>)	Indice de plasticité (<u>Ip</u>)
<u>Acrisol de Songon 1</u>	79	02	19	26	15	11
<u>Acrisol de Songon 2</u>	88	04	08		Non déterminable	
<u>F. Plinthic de Bingerville 1</u>	56	04	40	58	45,83	12,17
<u>F. stagnic de Bingerville 2</u>	44	08	48	68	49,56	18,44
<i>F : Ferralsols</i>						

Les échantillons de sol en provenance de Bingerville renferment les plus grandes proportions de particule argileuse (particules dont le diamètre est inférieur à 2 µm) avec 48% pour Bingerville 2 suivi de 40% pour Bingerville 1. Les échantillons de sol de Songon sont les plus sableux quoi qu'une proportion de 19% l'argile soit notée pour le site 1.

Analyse d'Atterberg

Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau 1. Ce tableau montre que les limites d'Atterberg changent avec l'origine des sols prélevés. Le sol de Bingerville (Kaolin et Argile bariolée) a des limites d'Atterberg plus élevées que celles de Songon.

Analyse chimique

Les résultats d'analyse chimique des sols sont consignés dans le tableau 2.

Tableau 2. Caractéristiques chimiques des différents horizons de sol utilisés

Sol	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	FeO (%)	SiO ₂ (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	pH _{eau}
F. <u>stagnic</u> Bing 1	14,90	-	8,33	30,00	0,60	0,10	5,1
F. <u>Plinthic</u> Bing 2	16,10	-	5,70	39,20	0,90	0,07	5,0
<u>Acrisol</u> Songon 1	11,13	0,02	7,00	38,30	0,20	0,02	4,6
<u>Acrisol</u> Songon 2	3,53	0,02	2,10	54,10	0,03	-	5,8

F : Ferralsol Bing : Bingerville

Le pH_{eau} oscille entre 4,6 (Acrisol du site 1 de Songon) et 5,8 (Acrisol du site 2 de Songon). Les éléments chimiques tels que : Al₂O₃, CaO, FeO, K₂O, et P₂O₅ sont en grande quantité dans les sols provenant des sites de Bingerville comparé à ceux de Songon excepté SiO₂ qui a un taux élevé à Songon 2. L'Acrisol du site 2 de Songon se distingue par ses valeurs élevées en pH et SiO₂ alors le Ferralsol stagnic de Bingerville se caractérise par les plus fortes teneurs en FeO et P₂O₅.

Résistance mécaniques à la compression

La figure 3 montre l'évolution des valeurs moyennes de résistance des blocs à la compression en fonction de la proportion de paille du riz : on constate qu'en absence de paille, la résistance à la compression est comprise entre 0 et 0,5N/mm² pour les Acrisols et 0,7 et 1N/mm² pour les Ferrasols. Les Acrisols affichent les plus faibles résistances par rapport aux Ferrasols quel que soit le dosage en paille de riz. L'Acrisol 2 enregistre la plus faible résistance (0,21N/mm²) avec un optimum de 2% de paille. Les autres sols enregistrant les plus fortes valeurs de (1,04 - 1,2 N/mm²) pour les Ferrasols et 0,65N/mm² pour l'Acrisol 1 avec 4% de paille. Pour tous les types de sols, la résistance à la compression est décroissante à partir de l'optimale 4% de paille.

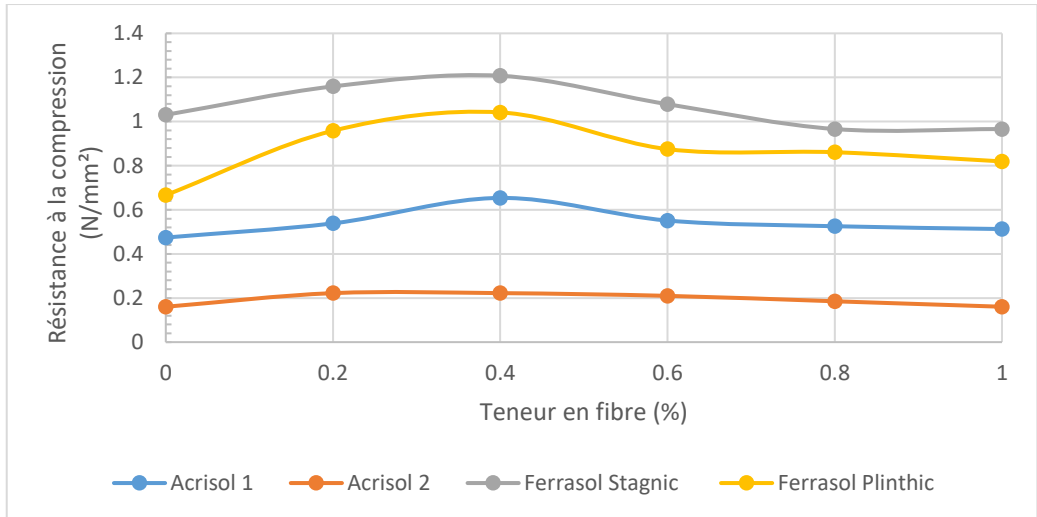


Figure 3. Résistance à la compression des blocs selon le dosage en paille riz

Résistance mécaniques à la flexion

La figure 4 présente les valeurs moyennes de résistance à la flexion pour les blocs fabriqués avec les différents sols prospectés en fonction du dosage en paille de riz. On constate qu'en absence de paille la résistance est inférieure à 0,01 N/mm² pour les Acrisols et 0,03 N/mm² pour les Ferrasols et atteignent leur pic de résistance (0,02 - 0,06 N/mm²) avec rajout de 0,2% de paille du riz. Cette tendance croissante de la résistance à la flexion de 0 à 0,2% de paille de riz, présente une décroissante de 0,2 à 1% fibres. La valeur plus élevée (0,063 N/mm²) s'observe pour le kaolin issu du Ferrasol plinthic.

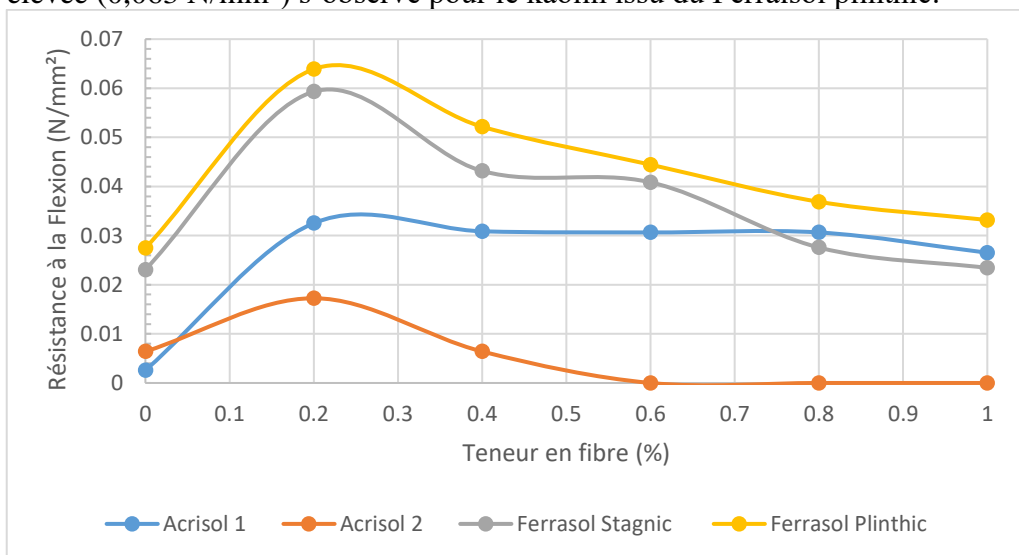


Figure 4. Résistance moyenne des blocs à la flexion selon le dosage en paille de riz

Diissusion

Morpho-pédologies et physiques de bons gisements de terre

Les sols prospectés ont présenté une bonne profondeur (> 1m) avec un horizon illuvial entre 1,5 – 2m de profondeur. Bien que tous issus de grès, ils ont présenté une nette différence de la teneur en argile : les Ferralsols de Bingerville étant plus riches en argile (> 40%) que les Acrisols de Songon (< 20%). Cela explique les fortes valeurs de limites de liquidité (>50) et de plasticité (>45) de ces Ferralsols. Fondamentalement, ces résultats témoignent d'une meilleure résistance des Ferralsols à l'agression de l'eau de pluie et donc, une plus grande consistance (Moreau, 2015). En effet, ces sols ont affiché les plus grandes valeurs de résistance à la compressibilité et à la flexion indifféremment du dosage en paille de riz. Le kaolin issu du Ferralsol plinthic plus riche en argile (48%) semble plus résistant à la flexion alors que le Ferralsol stagnic (40% argile) présente cet avantage à la compression. D'où l'intérêt de cette étude qui met en évidence les propriétés géotechniques des sols en plus des variations typologiques des sols (Ferralsol vs. Acrisol). Les théories de Phillips (1998 ; 2000) sur les facteurs pedogénétiques locaux peuvent bien expliquer cela. On retiendra que les sols rouges profond (2m) avec ou sans kaolin sont les meilleurs gisements de terre dans le sud Cote d'Ivoire pour la fabrication des adobes.

Interraction de la minéralogie du sol et de la paille

Les blocs provenant des Ferralsols ont eu des résultats plus satisfaisants que ceux des Acrisols. Cette différence observée entre ces deux classes de sol serait liée à la proportion d'éléments chimiques et la composition minéralogique. En effet, Djohoro (2020) a observé des compressions qualifiées de complexe et ductiles pour des échantillons de Ferralsol de Dabou, avec une résistance à la compression croissante avec la proportion de fibre. Cette divergence est due à la proportion de matrice par rapport à la charge végétale. Dans notre travail, la fibre végétale a été incorporée dans la matrice d'argile. En effet, les résultats obtenus sont la preuve d'une présence de minéraux ferreux. Le fer étant présent dans l'argile laisse apparaître que cette argile est un matériau composite c'est-à-dire de sol (horizon B) + fer. Or le fer est un matériau qui a une forte résistance mécanique ce qui explique cette forte résistance des adobes confectionnés avec le sol (horizon B) de Ferralsols. Ces résultats sont en conformité avec les résultats de Assandé (2007), qui définit une teneur d'oxyde et hydroxyde métallique ($Fe_2O_3 + Al_2O_3$) au moins égal à 30 % pour l'obtention d'un produit à forte résistance.

Mise en évidence de la qualité géotechnique des sols

Les résultats observés après les essais de compression et de flexion sur les adobes non fibrés diffèrent en fonction de la nature du sol. On a eu une résistance à la compression comprise entre 0,7 et 1,2 N/mm² pour les Ferrasols et entre 0 et 0,5 N/mm² pour les Acrisols. De même, la résistance à la flexion des Ferrasols (0,02 - 0,03 N/mm²) est supérieure à celles des Acrisols (0 - 0,01 N/mm²). Cette différence au niveau de la résistance mécanique peut être expliquée par le processus de formation des types de sols utilisés, mais aussi, à la différence de texture des sols. Les Ferrasols ont présenté un taux en éléments fins plus élevé que les Acrisols. En effet, les Acrisols ont été prélevés à une profondeur allant de 74 à 122 cm tandis que les Ferrasols, l'ont été à 113 cm de profondeur minimum voire 30 m en relation avec une pédogenèse plus poussée. Ces résultats géotechniques, qui révèlent la nature du sol, sont en conformité avec ceux de (Assalé, 2013). Les Ferrasols stagnants ont été jugés préférables pour la confection des matériaux, contrairement aux Acrisols. La limite d'Atterberg a mis en évidence une plus grande plasticité des Ferrasols par rapport aux Acrisols. La teneur en argile a ainsi été pointée comme le paramètre clé justifiant une plus ou moins forte compacité, et donc, une forte résistance mécanique des briques, d'où, la pertinence de cette étude qui lie le bon gisement à l'horizon illuvial du sol. Il a été aussi observé des variances de critères de choix des gisements : les Acrisols du site 1 (38,26%) et 2 (54,04%) de Songon contrastent par les teneurs en silicium, attestant d'une tendance décroissante (Ouest vers Est) dans le processus de ferrallitisation. De plus, le Site 2 est moins acide avec les plus faibles teneurs en éléments traces qui sont Al (3,53%), Fe (2,07%) et K (0,03%). Ces éléments de contraste mettent en évidence l'importance de la profondeur des sols comme résultat d'une pédogenèse plus prononcée dans une même classe (WRB, 2014). La faible teneur en fer serait le reflet d'un début de concrétionnement du fer oxyde comme on peut observer par endroits à l'ouest du district d'Abidjan.

Intérêt de la paille du riz

Au cours des cycles de charge et décharge effectués sur des blocs de terre dans le domaine élastique, une déformation permanente est enregistrée sur le matériau (Kouakou et *al.*, 2009). Il est identique à celui déterminé par Mesta et Reiffsteck. (2002). Le comportement des mortiers contenant des fibres est un comportement élasto-plastique. En se référant aux valeurs des résistances obtenues dans les figures 3 et 4, les pentes des courbes varient avec les teneurs des fibres de paille. Les mortiers deviennent de moins en moins raides avec l'augmentation de la teneur en fibre. Cette baisse de la raideur de la matrice argile est liée aux modifications de la structure de cette dernière, occasionnée par l'abondance des fibres. La structure des mortiers devient moins dense. Une comparaison de l'ampleur de la déformation à la rupture des

mortiers contenant les fibres aux mortiers sans fibres permet de noter qu'elle augmente avec la présence et la proportion de fibres. Cela confirme que le comportement des composites devient ductile. Cette ductilité est due aux comportements des interfaces matrice/fibre plus précisément au décollement des fibres de la matrice. Sur l'argile d'origine de Dabou et de différents liants, Djohore (2020) a obtenu des comportements qu'elle a qualifiés de complexe et ductile. Elle a obtenu une résistance qui augmentait avec l'ajout de fibre qui passe de 0 à 0,8% et au-delà de cette valeur, la résistance à la compression baisse tandis que dans notre cas l'augmentation de la résistance est liée avec la déformation. Cette divergence est due à la proportion et à la nature de matrice par rapport à la charge végétale. Dans ce travail, la charge végétale est incorporée dans la matrice argile.

Conclusion

Au terme de ce travail, il en ressort qu'en plus de la fibre de paille, les Ferrasols présentent des caractéristiques géotechniques satisfaisantes. En effet, l'incorporation de la paille dans la matière minérale améliore les caractéristiques mécaniques des adobes. En somme, la formulation idéale pour améliorer les performances des mortiers de terre et l'adhérence entre les blocs et le mortier argile est de 0,4% de fibres-pour la compression et 0,2 pour la flexion pour une longueur constante de 30 mm.

References:

1. Assalé, F. (2013). Caractérisation sédimentologique, palynologique, géochimique et paléo environnementale des formations sédimentaires connexes à la faille des lagunes (est du bassin onshore de côte d'ivoire). Mémoire de Master Science de la Terre, Université Félix Houphouët Boigny, Abidjan, Côte d'Ivoire, 350 p.
2. Assandé, A. (2007). Valorisation des latérites de Côte d'Ivoire : fabrication de briquettes de parement à base de latérite stabilisée à froid à l'aide d'un liant hydraulique : le ciment Portland. Thèses unique Science de la Terre, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, 141p.
3. Bahar, R. (2011). Séminaire International, « Innovation et valorisation en génie civil & matériaux de construction », Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie, 23-25 Novembre 2011. admin.asso-web.com, consulté le 18/05/2020.
4. CPCS. (1967). Commission de Pédologie et de Cartographie des Sols.
5. Delaunois, A. (2006). Guide pour la description et l'évaluation de la fertilité des sols. 39p.
6. Djohoro, A. C. (2020). Elaboration et caractérisation physico-mécanique des mortiers de terre à base des pailles de riz et de fibre de

- coco pour des maçonneries de terre. Thèse unique sciences de la terre, Université de Cocody, Abidjan Côte d'Ivoire. pp.157-172.
7. Fao. (2014). Base de référence mondiale pour les ressources en sols, système international de classification des sols pour nommer les sols et élaborer des légendes de cartes pédologiques. 148p.
 8. Frouard, H. (2005). Aux origines du 1% logement : histoire d'un compromis républicain, dans revues française des affaires sociales 2005/3, pp 55-76.
 9. Houben, H., et Guillaud, H. (2006). Traité de construction en terre. CRATerre, Edition Parenthèse, Marseille, France, 355 p.
 10. Kouadio, K. C. (2009). Elaboration et caractérisation de blocs d'argile stabilisée au ciment (Cimarg) : influence de l'apport de dégraissant sur les caractéristiques physiques et mécaniques des blocs. Thèse de Doctorat des sciences de la Terre option Géomatériaux, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'ivoire, 151 p.
 11. Laborel-Préneron (2016). Plant aggregates and fibers in earth construction materials: A review Construction and Bulding Marterials, Vol.111, pp.719-734
 12. Mesta, Ph., Reiffsteck, Ph ; (2002). Modules de déformation en mécanique des sols : définition et détermination à partir des essais triaxiaux et d'incertitude, paramètres de calcul géotechnique. Magan (edi) ; presse de l'ENPC/LCPC, Paris, 8 p.
 13. NPF94-051 (1993). Norme française de détermination des limites d'Atterberg, 16p.
 14. Phillips J.D., (1998). On the relations between complex systems and the factorial model of soil formation (with discussion). Geoderma 86, 1 –21.
 15. Phillips J.D., (2000). Signatures of divergence and self-organization in soils and weathering profiles. J. Geol. 108, 91– 102.
 16. WRB (2014). World référence base for soil ressources, 203p.