Afrique SCIENCE *14(6) (2018) 58 - 69*
ISSN 1813-548X, http://www.afriquescience.net

Caractérisation physique et mécanique des briques en argile cuite ou en terre stabilisée au ciment : application à la construction des silos pour la conservation des céréales

Elisabeth Akoivi Allognon HOUESSOU[1], Barnabé Koessi Lié ZOKPODO[2*], Nodiet Melody DAHOU[2] et Oladélé Ibilola ZANNOU[2]

[1] Université d'Abomey-Calavi, Ecole Polytechnique Universitaire, Laboratoire d'Energétique et de Mécanique Appliquée, 01 BP 2009 Cotonou, Bénin
[2] Université d'Abomey-Calavi, Faculté des Sciences Agronomiques, École d'Aménagement et de Gestion de l'Environnement, Laboratoire de Hydraulique et de Maîtrise de l'Eau, 01 BP 526 Cotonou, Bénin

* Correspondance, courriel : *bzopkodo@yahoo.fr*

Résumé

L'étude porte sur la caractérisation physique et mécanique des briques en argile cuite ou en terre stabilisée à différents taux de ciment et son application à la construction des silos pour la conservation des céréales. Deux types de matériaux sont utilisés. La terre de barre de Calavi et l'argile de Zogbodomey. Les essais de laboratoire réalisés sur lesdits matériaux portent sur l'analyse granulométrique, la densité apparente, l'équivalent de sable, le poids spécifique des grains solides, les limites d'Atterberg, la résistance à la compression et à l'absorption. Les résultats montrent que la terre de barre est constituée de particules de diamètre inférieur à 1 mm tandis que celles de l'argile ont un diamètre inférieur à 0,1 mm. La densité apparente et le poids spécifique des grains solides de la terre de barre sont respectivement de 1,16 g/cm^3 et 2,64 g/cm^3 alors qu'on a respectivement 1,25 g/cm^3 et 2,61g/cm^3 pour l'argile de Zogbodomey. L'indice de placticité I_p = 18 % pour la terre de barre et 16,5 % pour l'argile. La résistance de la terre de barre à la compression simple varie en fonction des différents taux (4 % -8 % - 12 %) de stabilisation au ciment. On a respectivement (8,53 bars - 23,14 bars - 27,58 bars) pour la terre de barre tandis que celle de l'argile est de 88 bars. L'absorption d'eau des briques en argile est en moyenne 14 % alors qu'elle varie respectivement de (23,6 % - 21 % -16 %) en fonction du taux de stabilisation. La forte résistance des briques en argile cuite et leur faible taux d'absorption d'eau les prédestinent à la construction des silos pour la conservation des céréales.

Mots-clés : *briques en terre stabilisée, briques en argile cuite, conservation, céréales, silos.*

Abstract

Physical and mechanical characterization of clay bricks or stabilized with cement : application to the construction of silos for the conservation of cereals

The study works on the physical and mechanical characterization of clay bricks or stabilized with cement and its application to the construction of silos for the conservation of cereals. Two types of materials are used: ferralitic soil of Calavi and clay of Zogbodomey. The laboratory tests carried out on these materials relate to particle size analysis, bulk density, sand equivalent, specific weight of solid grains, Atterberg limits,

compressive strength and absorption. The results show that the ferralitic soil consists of particles of diameter less than 1 mm while those of the clay have a diameter of less than 0.1 mm. The bulk density and the specific weight of the solid grains are respectively 1.16 g/cm^3 and 2.64 g/cm^3 while 1.25 g/cm^3 and 2.61 g/cm^3 respectively for the clay of Zogbodomey. Plasticity index Ip = 18 % for the ferralitic soil and 16.5 % for the clay. The resistance of ferrralitic soil to simple compression varies according to different rates (4 % -8 % - 12 %) of cement stabilization. There is respectively (8.53 bar - 23.14 bar - 27.58 bar) for the ferralitic soil while that of the clay is 88 bar. The water absorption of clay bricks is on average 14 % whereas it varies respectively (23.6 % - 21 % -16 %) depending on the rate of stabilization. The strong resistance of the clay bricks and their low rate of water absorption predestines them for the construction of silos for the conservation of cereals.

Keywords : *stabilized soil brick, baked clay brick, conservation, cereals, silos.*

1. Introduction

Plus de huit cent millions d'âmes sont victimes de la faim de par le monde [5]. Lutter contre la faim est devenue une nécessité morale pour les Nations Unies. Cette lutte passe, par une maîtrise des méthodes de stockage, surtout dans les pays en voie de développement [4]. Dans ces pays, les céréales et les légumineuses à grains constituent le noyau central ou la base même du régime alimentaire des populations, souvent à faibles revenus et généralement rurales. [4] L'autosuffisance alimentaire reste et demeure un objectif primordial à atteindre pour les gouvernements de ces pays. L'explosion démographique connue, ces dernières décennies, dans les pays en voie de développement, explique pour une part cette situation alimentaire. La production agricole même amenée aux niveaux les plus enviables ne saurait à elle seule constituer l'unique moyen pour assurer une sécurité alimentaire à ces États [5]. D'autre part, les pertes après récolte connaissent une ampleur déconcertante et terrifiante. Ces pertes sont essentiellement dues aux attaques de tous genres des déprédateurs de stocks. Le grand foreur des grains *(Prostephanus truncatus)* est un ennemi redoutable non seulement des produits stockés, mais également des structures de conservation [10]. Les larves et les adultes de ce coléoptère réduisent en poudre les produits attaqués. De plus l'imago s'attaque aux structures de conservation en bois, jute etc. donc essentiellement aux structures traditionnelles [1]. Les efforts fournis par les acteurs à tous les niveaux pour apporter des solutions efficaces et durables à la gestion des structures de stockage restent encore vains. L'usage des produits chimiques a montré ses limites sanitaires et écologiques et la compétition des insectes reste toujours un risque aggravant l'atteinte des objectifs de sécurité alimentaire [10]. Stocker durablement consiste à trouver des matériaux offrant aux structures une résistance aux attaques des insectes. En outre, ces matériaux doivent permettre aux enceintes de durer dans le temps, de stocker de grands volumes et enfin de jouer efficacement leur rôle de structures de stockage et conservation de grains alimentaires. Ceci passe d'abord par la connaissance assez précise des propriétés physiques et mécaniques desdits matériaux. La présente étude a pour objectif de valoriser les matériaux locaux en vue de les utiliser dans la construction des silos pour la conservation des céréales ou légumineuses.

2. Matériel et méthodes

2-1. Matériaux inertes

Deux types de matériaux sont utilisés pour les essais :

- la terre de barre prélevée à Calavi à une profondeur de trois (3) mètres ;
- l'argile de la commune Zogbodomey qui détient le plus grand gisement au Bénin.

2-2. Matériel de mesure

Plusieurs essais de laboratoire sont effectués sur les matériaux pour la détermination de leurs caractéristiques physiques (l'analyse granulométrique, la plasticité, l'humidité, la consistance etc.) et mécaniques (résistance à la compression, essais proctor). Les matériels utilisés sont :

- une colonne de tamis normalisés et d'une balance pour l'analyse granulométrique;
- un densimètre de type torpille, une éprouvette, un agitateur, une solution défloculante dosée à 5 % d'hexamétaphosphate de sodium, un chronomètre, pour la sédimentométrie ;
- deux éprouvettes, un entonnoir, un tube laveur, un piston à masse coulissante pour l'essai d'équivalent de sable;
- Les limites d'Atterberg et la densité apparente ont été déterminés avec Appareil de Casagrande et le moule Procotor.

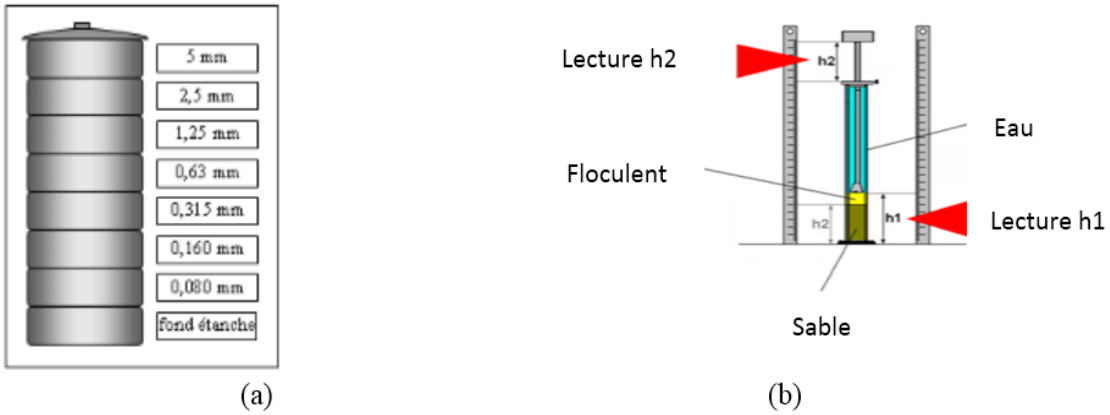


Photo 1 : *Colonne de tamis normalisés (a) Eprouvette pour essai d'équivalent de sable (b)*

2-3. Méthodes

2-3-1. L'analyse granulométrique

Elle est réalisée suivant la norme NF P18-560. Le pourcentage de passant à travers chaque tamis est calculé par la ***Formule*** suivante :

$$P_P = \frac{1 - P_r}{P_t} * 100 \qquad (1)$$

Pp : pourcentage de passant à travers un tamis de diamètre donné en % ;
Pr : poids cumulé des refus du tamis en question en g ; Pt : poids de l'échantillon analysé.

A l'aide des résultats, on construit la courbe granulométrique cumulative sur un papier graphique semi-logarithmique en portant en abscisse (échelle logarithmique) les ouvertures des tamis. En ordonnée (échelle arithmétique) les pourcentages de passant (Pp) sont inscrits. Selon la norme NF P94-056 / NF P94-057, l'analyse granulométrique par sédimentation est un essai qui complète l'analyse granulométrique par tamisage. Elle permet de classer des particules de diamètre inférieur à 0,1 mm selon leurs diamètres. Le pourcentage p des grains de diamètre inférieur à D et qui sont encore en suspension à l'instant t est donné par :

$$P = \frac{V * \gamma_S * R_C * \gamma_W}{10 * W(\gamma_s - \gamma_w)} \qquad (2)$$

p : pourcentage des particules de diamètre inférieur ou égal à D (rapport à la masse de la prise d'essai à l'état sec : volume de la suspension (en m³) ;
W : masse de sol sec mis en suspension et prélevé sur le tamisa à 0,080 mm (en N) ;
γs : poids spécifique des grains solides ; γw : poids volumique de l'eau ;
Rc : lecture corrigée du nombre de division.

2-3-2. Détermination de la densité apparente Da et de l'Equivalent Sable ES

Da est donné par la ***Formule*** :

$$D_a = \frac{P_2 - P_1}{V} = \frac{M_S}{V} \quad (3)$$

Ms : masse l'échantillon, P_2 : masse du récipient rempli de la terre ; P_1 : poids du récipient vide, V : volume du récipient.

L'équivalent en sable. ES informe globalement sur la qualité et la quantité des éléments les plus fins contenus dans la fraction des sols passant au tamis 5 mm. Sachant que la hauteur de la fraction sableuse dans l'éprouvette est : $h_2 = h - h'$;

$$ES = \frac{h_2}{h_1} * 100 \quad (4)$$

h : hauteur occupée par la solution dans l'éprouvette ;
h' : hauteur entre le bord supérieur de l'éprouvette et le niveau de la suspension ;
h_1 : hauteur occupée par le matériau (poussière argileuse) en suspension dans l'éprouvette ;
h_2 : hauteur de la faction sableuse dans l'éprouvette.

2-3-3. Détermination du poids spécifique γs des grains solides

Le poids spécifique des grains solides est donné par la ***Formule*** suivante :

$$\gamma_s = \frac{P_3}{V}(g/cm^3) \quad (5)$$

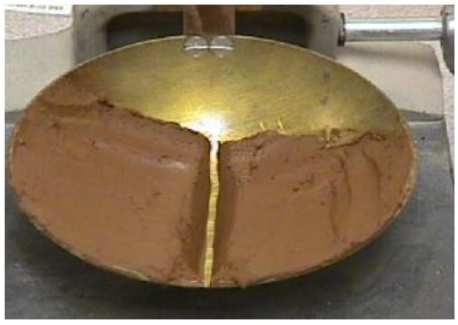
avec, P_3 = Poids du sol sec (g) ; V : Volume occupé par les particules du sol (cm³).

2-3-4. Détermination des limites d'Atterberg

Deux limites sont déterminées : la limite de plasticité (W_p) et la limite de liquidité (W_L). La limite de liquidité entre les états plastique et liquide est la teneur en eau exprimée en % au-dessus de laquelle le sol s'écoule comme un liquide sous l'action de son propre poids. Pour la déterminer, on trace un graphique, en portant en abscisses et sur une échelle logarithmique, les nombres de chocs. En ordonnées, sont portées, sur une échelle arithmétique, les teneurs en eau. La droite joignant au mieux les quatre points est la ligne d'écoulement.
La limite de liquidité W_L du matériau traité est la teneur en eau correspondant à l'abscisse 25. La limite de plasticité est la teneur en eau exprimée en % qui correspond au passage de la consistance friable (solide) à la consistance plastique. Elle est déterminée sur la même fraction de matériau ayant servi à la détermination de la limite de liquidité. Souvent humide, cette fraction est desséchée par malaxage et roulement sur du verre, jusqu'à ce que la masse devienne suffisamment plastique pour former une boule. Cette dernière est roulée

sur le verre pour lui donner une forme cylindrique qui se fragmente pour un diamètre d'environ 3 mm. La limite de plasticité W_P est la moyenne des teneurs en eau de deux fragments issus de l'opération. De ces deux limites, est déduit l'indice de plasticité I_P du matériau en faisant W_L - W_P.

(c)



(d)

Photo 2 : *Appareil de Casagrande et accessoires (c) rainure séparant la pâte en deux (d)*

2-3-5. Confection des blocs en terre stabilisée

- La terre destinée à la confection des blocs en terre stabilisée est séchée à l'air libre, pendant sept (7) jours ;
- Une séparation des débris végétaux, graviers et mottes est faite à l'aide d'un grand tamis dont l'ouverture des mailles tourne autour de 5 mm. On mesure alors la teneur en eau moyenne ω_{th} du matériau cru sur trois échantillons de 500 g. On détermine également sa masse volumique apparente ζ_{th}. Pour ces différentes mesures, une balance Roberval de portée maximale 15 kg est utilisée ;
- Un volume de terre de 300 litres, soit 25 sceaux de 12 litres a été mesuré pour la confection des blocs aux différents taux de stabilisation retenus. Ceux-ci correspondant aux poids de stabilisant (ciment) par rapport au poids du matériau sec [15]. Ainsi, pour un taux de stabilisation C (%), le poids de ciment P_c nécessaire pour une masse M_{th} de terre est donnée par la ***Formule*** :

$$P_C = \frac{C * M * th}{100 + wth} = \frac{C * \varsigma * th * V_{th}}{100 + wth} \quad (6)$$

avec, V_{th} : le volume de terre humide.

- Un mélange de la terre avec le ciment est effectué pour former un ensemble bien homogène. L'homogénéité est appréciée par l'uniformité de couleur du mélange dans tout son volume.
- Un apport d'eau de gâchage, progressivement, jusqu'à amener le mortier à la teneur en eau optimum (TEO) de la terre déterminée à l'essai Proctor [14]. Ainsi le volume d'eau en litre à ajouter est donné par la ***Formule*** suivante :

$$Veau = \frac{(TEO - wth) * Mth}{100wth} = \frac{(TEO - wth) * \varsigma th * Vth}{100 + wth} \quad (7)$$

La moule de la presse à brique remplie avec le mortier frais, on sort le bloc après pression.

- Les blocs sont séchés à l'ombre et arrosés deux (2) fois par jour à partir du deuxième jour après leur fabrication jusqu'au moment où ils seront soumis aux essais prévus.

2-3-6. Fabrication des briques en argile cuite

Elle se caractérise par les huit étapes de la ***Figure 1***.

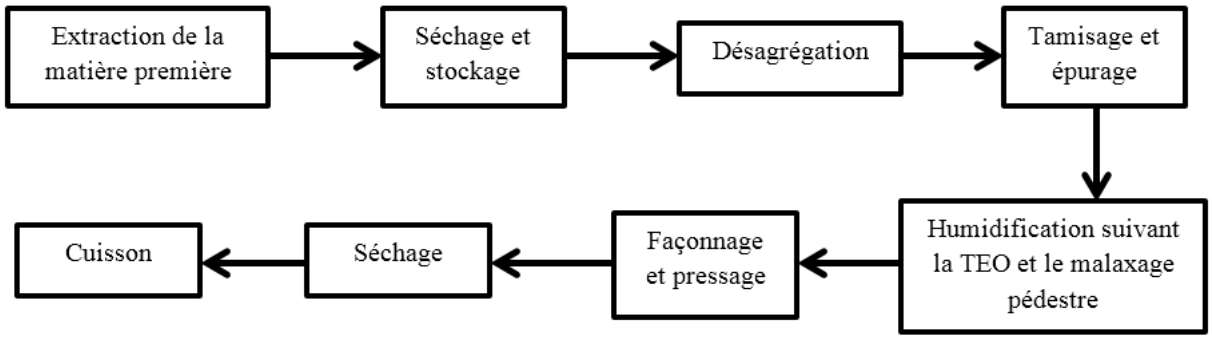


Figure 1 : *Succession des étapes conduisant à la fabrication d'une brique en argile cuite*

2-3-7. Détermination des propriétés mécaniques des blocs

L'essai de résistance à la compression est réalisé pour déterminer la contrainte à rupture en compression des matériaux fragiles (béton, céramique, etc.) [12]. Il s'agit de soumettre les blocs à une force axiale, en les plaçant entre les plateaux d'une presse. La résistance à la compression simple σ est calculée par la relation suivante :

$$\sigma = \frac{F}{S} \tag{8}$$

où, F est la force de rupture des blocs en Newton et S la surface de pose du bloc en 2 mm. σ est la contrainte de rupture en MPa ou en bars.

Pour l'absorption, les blocs à tester sont séchés à l'étuve à 105°C pendant 48 heures au moins jusqu'à poids constant. Ensuite, ils sont pesés avec une balance puis immergés complètement dans un bac rectangulaire en béton rempli d'eau, à température ambiante (28°C). Au bout de 96 heures d'immersion, les blocs sont sortis du bac, égouttés ensuite pendant 5 minutes et pesés à nouveau [6]. La quantité d'eau absorbée en pourcentage du poids sec par :

$$P_0 = \frac{(P - P_e)}{P_e} * 100 \tag{9}$$

P désigne le poids du bloc testé après immersion et P_e désigne le poids du bloc après étuvage.

2-3-8. Essai Proctor modifié

Un sol se tasse lorsqu'il est soumis à une charge, son état de tassement peut être évalué par la mesure de sa masse volumique apparente ou densité apparente qui est le rapport de la masse d'un sol à son volume apparent (ζa = M / Va). Sur un graphique, on repère les points représentatifs de l'essai en portant en abscisse les teneurs en eau (W) et en ordonnées les densités sèches (γ_d). On trace ensuite la courbe la plus probable qui passe par les quatre (4) points expérimentaux. En général, on obtient une courbe convexe vers le haut. La densité est maximum pour une humidité dite Optimum Proctor (TEO) [].

3. Résultats et discussion

3-1. Résultats des essais de caractérisation physique des matériaux

Les caractéristiques physiques des matériaux sont données par l'analyse granulométrique, la détermination de la densité apparente, du poids spécifique et les limites d'Atterberg.

3-1-1. Granulométrie des matériaux

Les ***Figures 2 et 3*** présentent les résultats de l'analyse granulométrique faite sur les deux types de matériaux prélevés (la terre de barre de Calavi et l'argile de Zogbodomey.

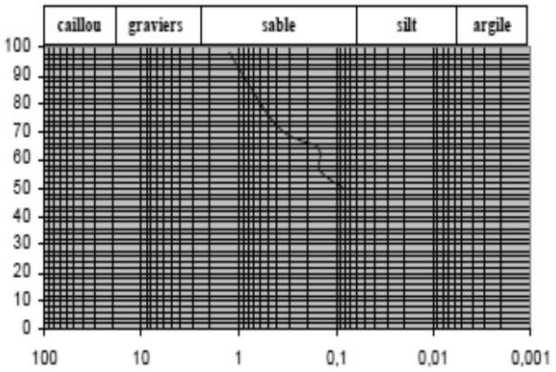


Figure 2 : *Courbe granulométrique de la terre de barre de Calavi*

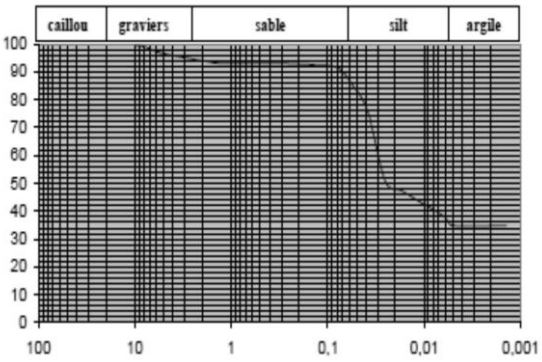


Figure 3 : *Courbe granulométrique de l'argile de Zogbodomey*

L'analyse de la courbe granulométrique de la ***Figure 2*** révèle que la terre de barre de Calavi est un mélange de sable-silt. Elle est composée de 51 % de sables moyens ou de sables fins. Avec un module de finesse de 1,09, cette granulométrie révelle qu'il s'agit d'un matériau perméable et d'une faible capillarité par rapport aux sols argileux. Par conséquent la compacité des terres de barres ne peut être améliorée uniquement par compactage à cause de la quantité importante de sable [6]. La ***Figure 3*** montre que l'argile de Zogbodomey est inorganique de plasticité moyenne. Elle contient un faible pourcentage de gravier et 90 % de particules de diamètre inférieur à 0,1mm. Cette granulométrie lui confère une faible perméabilité et une forte capillarité [3].

3-1-2. Densité apparente et limites d'Atterberg

Le résultat de mesure des caractéristiques physiques des matériaux d'argile et de terre de barre sont consignés dans le ***Tableau 1***.

Tableau 1 : *Résultats de l'essai de détermination de Da des échantillons des matériaux*

Indicatifs	Terre barre de Calavi	Argile de Zogbodomey
Densité apparente (Kg / dm³)	1,16	1,25
ES (%)	10,17	-
Poids spécifique des grains solides (g / cm³)	2,64	2,615
Limite de liquidité	W_L = 46,5 %	W_L = 43 %
Limite de plasticité	W_P = 28,5 %	W_P = 26,5 %
Indice de plasticité	I_P = 18 %	I_P = 16,5 %

Ces résultats montrent que :

- l'argile a une masse volumique un peu plus élevée que celle de la terre de barre ;
- l'équivalent de sable de la terre de barre utilisée est 10 %. On en déduit que la terre de barre contient une proportion non négligeable de fillers ;
- le poids spécifique des grains de la terre de barre est légèrement supérieur à celui des grains de l'argile. Les particules argileuses sont pesantes que celles de la terre de barre ;
- la terre de barre de Calavi est un mélange sable-silt ;
- l'argile de Zogbodomey est une argile inorganique de plasticité moyenne.

La densité apparente mesure la masse de matériau par unité de volume, celui-ci intègre à la fois les grains solides et les vides [20]. On sait que, plus les particules d'un sol sont grosses, plus sa densité sèche maximale est élevée et sa teneur en eau optimale faible [17]

3-1-3. Essais Proctor modifié

Les résultats de l'essai Proctor permettent de tracer les courbes des valeurs du Proctor modifié de la terre de barre de Calavi et de l'argile de Zogbodomey.

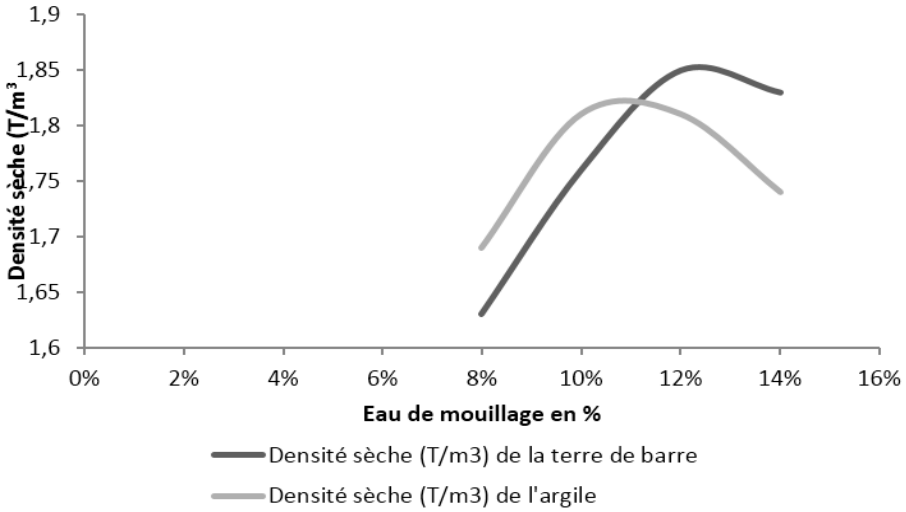


Figure 4 : *Valeurs caractéristiques du Proctor modifié de la terre de barre et de l'argile*

La lecture des graphes de la ***Figure 4*** révèle que la densité sèche de la terre de barre est plus élevée que celle de l'argile, cependant sa teneur en eau optimale est faible.

3-2. Caractéristiques mécaniques des blocs de terre et d'argile

La résistance à la compression simple des blocs en terre stabilisée croît avec le dosage en ciment et l'âge. Plus le dosage de ciment est élevé, plus grande est la résistance à la compression des blocs. Le ***Tableau 2*** montre que la résistance à la compression des blocs en terre augmente également avec le nombre de jours de cure et atteint sa valeur maximale à partir du 21^{éme} jours.

Tableau 2 : *Résultats des essais de résistance à la compression simple des blocs en terre stabilisée*

	Taux de stabilisation	8 jours	14 jours	21 jours
Résistance à la compression simple (en bars)	4 % 8 % 12 %	8,06 13,32 12,97	8,3 13,46 14,26	8,53 23,14 27,58
Taux d'absorption d'eau	4 % 8 % 12 %	22 % 20 % 22 %	20 % 20 % 25 %	23,6 % 21 % 16 %

Une comparaison des résistances à la compression des matériaux confectionnés est présentée à la ***Figure 5***

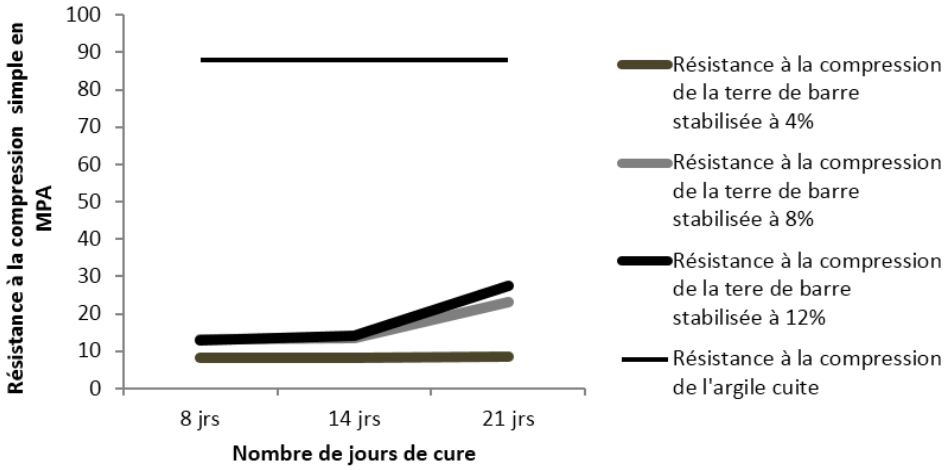


Figure 5 : *Comparatif des résistances à la compression simples des matériaux confectionnés*

Les essais de compression sur les briques en argile cuite donnent une résistance moyenne de 88 bars et une porosité moyenne égale à 14 %. Une comparaison des différents résultats sur la ***Figure 5*** révèle que la résistance des briques en argile cuite est largement supérieure à celle des blocs en terre stabilisée. De même, on note à la ***Figure 6*** que les blocs en argile cuite absorbent moins d'eau (14 %) que les blocs en terres stabilisée (23,6 %). Ces observations corroborent avec les travaux de [7, 11]. Il en résulte que la granulométrie de la terre de barre et le dosage en ciment sont deux facteurs déterminant de la résistance à la compression des blocs en terre stabilisée.

Le ciment, tel un pont, lie les particules inertes et crée ainsi dans la terre une structure plus rigide. L'eau de gâchage qui intervient dans la prise du ciment, vient durcir ce pont. Les particules de la terre emballées dans une cohésion justifient la résistance qu'offrent les blocs soumis à l'essai de compression. Cependant, la résistance des briques en terre même à fort taux de stabilisation demeure pratiquement quatre fois plus faible à celle de l'argile cuite. Cela tient tout simplement à la composition minéralogique des argiles. Elles sont composées principalement de silicate d'alumine ; un composé cristallin dur qui crée un réseau dans toute la masse de la brique. Cette composition unique plutôt qu'un conglomérat de particules reliées entre elles par un pont, justifie la grande différence qu'on observe entre les deux types de matériaux. La résistance est, donc une question de cohésion moléculaire. Plus cette cohésion s'exprime, plus grande est la résistance à la compression du bloc [11]. La différence de porosité entre la brique en argile cuite et les blocs en terre stabilisée au ciment est nette. Le premier matériau se révèle moins poreux que le deuxième. On peut coupler porosité et résistance à la compression [15]. Plus un matériau est résistant, moins il est poreux.

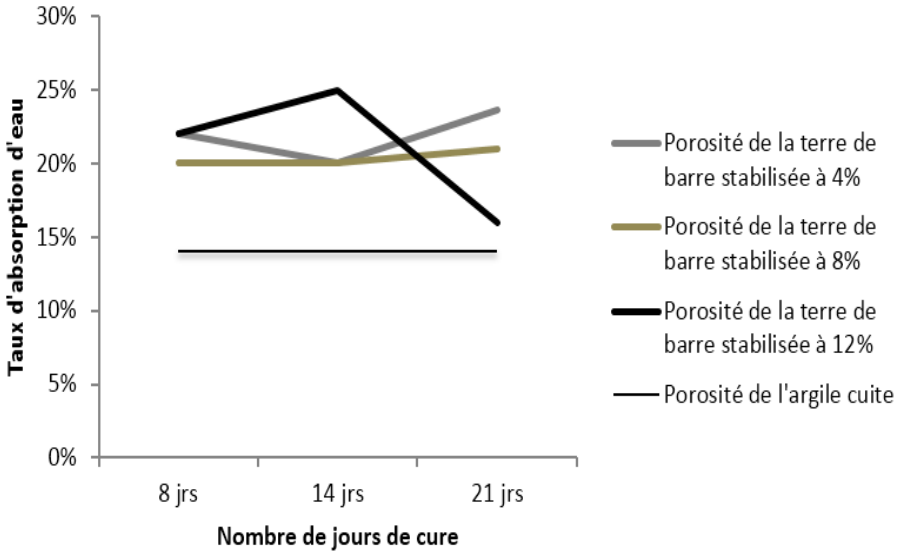


Figure 6 : *Comparatif des taux d'absorption des matériaux confectionnés*

3-3. Conséquences de ces résultats sur le stockage

Les silos ont pour but de stocker et de conserver les grains et autres matières pondérales afin de les abriter des intempéries. Cependant l'humidité est l'un des facteurs fondamentaux de dégradation ou de bonne conservation des grains [8]. Le séchage qui a lieu avant le stockage proprement dit dans les silos ne doit être contrarié, par une éventuelle humidification des grains [19]. Cependant les briques stabilisées dosée à 4 % ; 8 % et 12 % ont une capacité d'absorption d'eau très élevée et un transfert de chaleur très faible et ne répondent pas aux critères thermiques entrant dans la confection des silos [18]. Les briques en argile cuite par contre ont une capacité d'absorption d'eau suffisamment faible, comparée à celle des blocs en terre stabilisée à différents taux de stabilisation. De plus elles opposent une plus grande résistance au passage de l'eau que les blocs en terre stabilisée [2]. Leur aptitude à échanger de l'eau ou de la vapeur d'eau est donc limitée. La faible porosité des briques en argile cuite engendre une faible circulation de l'oxygène [9]. Les microorganismes et les insectes tout comme les grains sont des organismes vivants nécessitant de l'oxygène. Le stockage des grains dans les milieux pauvres en oxygène provoque la mort des insectes, l'arrêt du développement des microorganismes, le blocage et le ralentissement des phénomènes biochimiques de dégradation des grains [4]. Cette caractéristique qui favorise la conservation des grains peut affecter leur pouvoir germinatif. Une atmosphère tempérée est aussi exigée à l'intérieur du silo. Un flux de chaleur de l'extérieur vers l'intérieur du silo naissant de la différence de température entre les deux milieux compromet forcément le stockage des grains [13]. La structure de conservation doit contrarier celui-ci. Le matériau ayant servi à la construction doit avoir une faible conductivité thermique. La solidité du silo est tributaire de la résistance à la compression simple des briques [3]. De ce fait, les briques en argile cuite offrent de bonnes aptitudes pour la construction de silos à grains, puisqu'elles sont moins poreuses et plus résistantes. La prise en compte de ces des paramètres et une analyse des résultats montrent que les briques en argile cuite offrent de bonnes aptitudes pour la construction de silos à grains. Elles sont moins poreuses, plus résistantes, présentent une faible diffusivité et contribue peu à l'élévation de la température à l'intérieur du silo. Leur dureté les préserve des attaques des insectes euriphages qui s'attaquent parfois aux structures de conservation [16].

4. Conclusion

Les structures traditionnelles de stockage actuellement développées par les paysans ont une faible capacité et ne permettent pas de conserver d'importants volumes de grains. Leur utilisation, par exemple, à la communauté est impossible. La réalisation de silos à grains de grande capacité, inattaquable et entièrement construits avec les matériaux locaux fait l'objet de cette étude. Une caractérisation des innombrables matériaux disponibles au Bénin devient un impératif à la valorisation desdits matériaux afin de les utiliser dans la construction des infrastructures rurales. Au terme de cette étude, il apparaît que les briques en argile cuite sont plus résistantes et moins poreuses que les blocs de terre stabilisés à 4 %, 8 % et à 12 % de ciment. La fabrication des silos en terre cuite offre plus de résistance aux attaques et minimise le passage de l'eau ou de la vapeur d'eau entre les pores. Cependant, la présente étude n'a pas abordé tous les aspects des caractéristiques permettant le choix des matériaux. On pense en effet aux caractéristiques thermiques de ces matériaux qui renseignent sur leur capacité à diffuser ou conduire de la chaleur.

Références

[1] - ANDRIAMPARANONY IALY, LESOA VELO ADELIN, "Propositions d'amélioration du stockage traditionnel dans le cadre du projet AROPA - Association FERT Régions Haute Matsiatra, Ihorombe et Amoron'i Mania "Rapport d'étude, (2011) 38 p.

[2] - BOKOR YOUSSOUF SAKINE AKINE, "Vérification des caractéristiques des BTC stabilisés avec la chaux " Master en Ingénierie de l'eau et de l'environnement. Ouagadougou, (20011) 61 p.

[3] - C. H. KOUAKOU, "Valorisation des argiles de Côte d'Ivoire : Etude de la stabilisation de blocs d'argile comprimée et stabilisée au ciment à l'aide de liants hydrauliques ". Doctorat Sciences de la terre, Université de Cocody, Abidjan, Côte d'Ivoire, (2005) 186 p.

[4] - J. F. CRUZ, F. TROUDE, D. GRIFFON et J. P. HEBBERT, "Conservation des grains en régions chaudes ", Ministère de la coopération et du développement- CEEMAT, (1988) 545 p.

[5] - M. - DE LUCIA et ASSENATO, "L'après-récolte des grains- Organisation et techniques ", Bulletin 93 des services agricoles de la FAO, (1992) 560 p.

[6] - M. FELIHO, "Utilisation de la terre de barre stabilisée au ciment en République. Populaire du Bénin : Recherche du dosage minimum pour la construction de l'habitat à coût réduit dans la région d' Abomey-Calavi ", Mémoire d'Ingénieur CPU, Université, Abomey - Calavi, (1988) 79 p.

[7] - A. EMMANUEL OUEDRAOGO, B. OUSMANE COULIBALY, A. ABDOULAYE OUEDRAOGO, ADAMAH MESSAN, *Journal of materials and engineering structures*, 2 (2015) 68 - 76

[8] - H. EZBAKHE, S. BOUSAD, A. EL BAKKOUR, T. AJZOUL et A. EL BOUARDI, *Rev. Energ. Ren. : Journées de Thermique,* (2001) 69 - 72

[9] - S. IBRAHIM, I. OUSSEINI et AMBOUTA K. J - M Geo-Eco-Trop, 33 *n.s.* (2009) 31 - 38

[10] - KPATINVOH BRICE, S. ADJOU EULOGE, DAHOUENON-AHOUSSI EDWIGE, KONFO T. R. CHRISTIAN, C. ATREVY BRICE, SOHOUNHLOUE DOMINIQUE, *Journal of Animal &Plant Sciences*, Vol. 31, Issue 1 (2016) 4831 - 4842

[11] - N. LAMKHAROUET *et al.,* In Annales des sciences de l'Université Abdelmalek Essadi, Maroc, (2003) 541 - 546 p.

[12] - LAYEB ABDELOUHAB et HALBAOUI AHMED, "Caractérisations physico-mécaniques d'un bloc de terre stabilisé avec la chaux à base des fibres (déchet de pneu usés - Verre).Master académique, Université Ziane Achour de Djelfa, (2017) 103 p.

[13] - MOMAR TALLA GUEYE, DOGO SECK, JEAN-PAUL WATHELET, GEORGES LOGNAY, *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.,* 16 (1) (2012) 49 - 58

[14] - D. OLODO, "Murs en terre stabilisée et structures en béton de terre ", bulletin CNERTP, (1999) 30 p.
[15] - V. RIGASSI, Blocs de terre comprimés, Volume 1, Manuel de production, CRA Terre, (1994) 63 p.
[16] - P. MEUKAM, A. NOUMOWE, Y. JANNOT et R. DUVAL, Materials and Structures / Matériaux et Constructions, Vol. 36, (August-September 2003) 453 - 460 p.
[17] - V. ROBITAILLE et D. TREMBLAY, Mécanique des sols : Théorie et pratique, Modulo, Canada, (1997) 652 p.
[18] - A. VIANOU et A. GIRARDEY, Revue générale de thermie, (1991) 233 - 239 p.
[19] - A. VIANOU, "Étude de la méthode du régime régulier pour la détermination de la diffusivité thermique des matériaux faiblement conducteurs de chaleur ", Thèse de doctorat. Université. Evry-Val d'Essonne, (1994) 205 p.
[20] - O. I. ZANNOU, "Étude comparée des propriétés mécaniques et thermophysiques des briques en terre stabilisée au ciment et en argile cuite : Application à la construction de silos à grains ", Diplôme d'Ingénieur Agronome, Université d'Abomey-Calavi, (2003) 109 p.