

Valorisation de la tige de sissongo (*Pennisetum purpureum*) pour la production des briques de terre compressées (BTC) dans l'arrondissement de Yabassi, Département du Nkam, Région du Littoral au Cameroun

[Valorisation of the Sissongo straws (*Pennisetum purpureum*) for the production of Compressed earth mud bricks 'BTC' in the locality of Yabassi, Nkam Division, Littoral Region of Cameroon]

MOUNDOM Amadou¹, EFON Boniface², NDJEUKOUA TCHEBDA Léolain Rostand³, BAANA Abouar⁴, MELENDE ABATE David Aymar⁵, MANJIA Marcelline Blanche⁶, NGAPGUE François⁷, TAMO TATIETSE Thomas⁸, and PETTANG Chrispin⁸

¹Maître de conférences en Génie Civil, FASA, Université de Dschang, Cameroon

²Maître de conférences en Génie Civil, Université d'Ebolowa, Cameroon

³Ingenieur du Génie Rural, FASA, Université de Dschang, Cameroon

⁴Chargé de Cours en Génie Civil, ENSPM, Université de Maroua, Cameroon

⁵Etudiant de troisième cycle au Génie Rural, FASA, Université de Dschang, Cameroon

⁶Professeur Titulaire en Génie Civil, ENSPY, Université de Yaoundé 1, Cameroon

⁷Professeur Titulaire en Génie Civil, IUT-FV de Bandjoun, Université de Dschang, Cameroon

⁸Professeur Titulaire (HDR en Génie Civil, ENSPY, Université de Yaoundé 1, Cameroon

Copyright © 2026 ISSR Journals. This is an open access article distributed under the **Creative Commons Attribution License**, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ABSTRACT: In order to meet the sustainable development goals, global policies are strongly oriented towards the valorization of local materials such as agricultural by-products. Cameroon integrates this important concern into its development strategies, taking into account the environmental protection aspect. It is in this context that our study proposes the development of compressed earth bricks 'BTC' stabilized with sissongo straws (*Pennisetum purpureum*). The main objective of this work is to study the effect of using vegetable straws, in particular the sissongo straws on the mechanical properties of compressed earth blocks and its sensitivity to water, through its total absorption. Tests (particle size analysis, water content, Atterberg limits, specific gravity, modified Proctor) were conducted on Yabassi soils; water content test was conducted on sissongo straws; compression, bending and absorption tests were conducted on compressed earth blocks. For the preparation of the mixtures, 0%, 0.05 %, 0.1 %, 0.2 %, 0.3 %, 0.4% and 0.5% by dry weight of substitution of soil by sissongo straws were used based on previous studies that used the same percentages for rice straws in the manufacture of earth bricks and a compaction pressure of 3.43 MPa (maximum pressure of the hydraulic press). The results showed that the addition of these materials to 0.3 % straws gave a maximum compressive strength of 3.058 MPa and contributed to the improvement in compressive strength of bricks of 1.1 MPa, compared to that of controlled specimen 0% straws (1.95 MPa). Although our 'BTCs' in the building are not really experimenting bending, we have subjected the specimens of each formulation to tensile test, the maximum bending stress recorded was that of the specimen containing 0.4 % straws with a stress of 0.367 MPa. The test pieces containing 0 % to 4 % have respective absorption coefficients of 4.5 and 2.06 which are within the recommended range of (2 to 15). Absorption time by capillary action is greater for 0 % straws incorporation (30s) than that containing 0.3 % straws incorporation (14s). Finally, recommendations were

made to take full advantage of stabilized compressed earth bricks with Sissongo straw (*Pennissetum purpureum*) in construction. Emphasis was placed on environmental, economic and social benefits.

KEYWORDS: compressed earth blocks, Sissongo straws, compressive strength, bending strength, total water absorption, swelling.

RESUME: Afin de répondre aux objectifs de développement de la localité de Yabassi, les politiques sont fortement orientées vers la valorisation des matériaux locaux tels que les sous-produits agricoles. Le Cameroun intègre cette importante préoccupation dans ses stratégies de développement, avec à la clé la prise en compte du volet protection de l'environnement. C'est dans ce contexte que notre étude propose la mise au point des briques de terre comprimées (BTC) stabilisées à la paille de sissongo (*Pennissetum purpureum*). L'objectif principal de ce travail est d'étudier l'effet de l'utilisation des pailles végétales, notamment les pailles de sissongo sur les propriétés mécaniques (BTC) stabilisées à la paille de sissongo (*Pennissetum purpureum*) et aussi la sensibilité à l'eau de ces BTC. Les essais (d'analyse granulométrique, de teneur en eau, de Limites d'Atterberg, de Proctor Modifié, de poids spécifique) ont été réalisés sur les sols utilisés à Yabassi; L'essai de teneur en eau réalisé sur le sissongo; Les essais (de résistance à la compression, à la flexion, d'absorption d'eau) ont été réalisés sur les BTC; Pour les formulations, les taux d'incorporation du sissongo dans le sol de 0%, 0,05 %, 0,1 %, 0,2 %, 0,3 %, 0,4 % et 0,5 % du poids du mélange sec ont été testés en se basant sur des études antérieures ayant utilisé les mêmes taux pour l'incorporation de la paille de riz dans la fabrication des briques de terre et une contrainte de compactage 3,43 MPa (contrainte maximale de la presse hydraulique). Les résultats ont montré que l'ajout de ces matériaux à 0,3 % de paille a donné une résistance maximale en compression de 3,058 MPa et a contribué à l'amélioration de la résistance mécanique des briques de 1,1 MPa par rapport à l'éprouvette témoin 0% de paille (1,95MPa). Malgré que nos BTC dans le bâtiment ne soient pas vraiment sollicitées en flexion, nous avons soumis 1es éprouvettes de chaque formulation à l'essai de traction, la contrainte maximale en flexion enregistrée est celle l'éprouvette contenant 0,4% de paille avec une contrainte de 0,367 MPa. Concernant la sensibilité à l'eau, les éprouvettes contenant 0 % à 4% de sissongo ont des coefficients d'absorption respectifs 4,5 et 2,06 qui se situent dans la plage recommandée (2 à 15). Le temps d'absorption par capillarité est plus important à 0 % de pailles (30s) que celle contenant 0,3 % de pailles avec une durée maximale de 14s. Les recommandations ont été faites pour l'utilisation de ces BTC stabilisées avec les pailles de sissongo dans la construction compte tenu des avantages environnemental, économique et social.

MOTS-CLEFS: briques de terre compressées, pailles de Sissongo, résistance en compression, résistance en flexion, absorption totale d'eau, gonflement.

1 INTRODUCTION

La préservation de notre planète contre la pollution constitue actuellement un intérêt primordial et une responsabilité commune (Taallah, 2014). Face à ce défi, et en vue de répondre aux enjeux de développement durable, le secteur du bâtiment est dans l'obligation de mettre en place de nouvelles pratiques et méthodes de construction tout en tenant en compte des critères économiques et sociaux (Jehanne, 2015). À cet effet, des projets ambitieux sont établis afin de bien gérer les ressources naturelles et de contribuer ainsi à la diminution du phénomène de réchauffement climatique. Aujourd'hui, nos villes sont confrontées à des défis démographiques, environnementaux, économiques, sociaux et spatiaux sans précédents. Suite au phénomène majeur d'urbanisation, six personnes sur dix dans le monde résideront dans les zones urbaines d'ici 2030. Plus de 90 % de cette croissance aura lieu en Afrique, Asie, Amérique latine et dans les caraïbes (ONU-Habitat). En 2012 le programme communal de développement de Yabassi (PCD) à moyen et long terme de Yabassi, prévoit que plus d'un habitant sur deux vivra en ville à l'horizon 2030 si rien n'est fait. Actuellement la ville, du point de vue du cadre de vie de la majeure partie de la population se caractérise par la précarité et l'insalubrité de l'habitat assimilable même à une bidonvilisation de ces dernières (PNDP, 2012). Selon Meukam (2004), le coût de construction des bâtiments en matériaux conventionnels reste toujours élevé par rapport aux revenus de la plus grande partie de la population Camerounaise. Par ailleurs selon le Rapport national de la contribution du Cameroun sur le logement et développement durable en milieu urbain en 2015, 56,5 % de la population de plus (15 à 59 ans) se retrouvent également en milieu urbain; il est de même de la population de plus 15 ans, dont 54,4 % vivent en milieu urbain et donc à peu près 45 % de la population vivent en milieu rural et dans des habitats précaires. Les régions littorales qui sont caractérisées par un climat chaud et sec souffrent depuis longtemps de plusieurs problèmes en termes d'habitats et de constructions. Les constructions réalisées ne répondent en aucun cas aux exigences climatiques de ces régions. Les matériaux de construction utilisés sont souvent le béton ou des produits cimentaires tels que les parpaings ou les mortiers qui présentent des propriétés thermiques assez mauvaises (Chaib, 2017). Pourtant ces régions possèdent plusieurs matériaux locaux (l'argile, le gypse...) qui ont anciennement prouvé leurs efficacités thermiques et mécaniques. Cet habitat n'offre aucun confort au regard du développement actuel de la société et des changements climatiques. Voilà ce qui explique l'enjeu de l'habitat pour les gouvernants, tant en zone péri urbaine que rurale du Cameroun mais également de tous les autres pays en voie de développement, caractérisés par leur forte croissance de la population et l'urbanisation rapide des villes (Meukam, 2004).

Face à l'urbanisation croissante des villes, la précarité, l'insalubrité de l'habitat assimilable même à une bidonvilisation le réchauffement climatique et l'insalubrité, deux fronts de lutte s'imposent: la modernisation de l'habitat rural afin de contrer l'exode rural et la mise en œuvre d'une politique d'aménagement de l'habitat rural qui doit prévenir la tendance à la bidonvilisation si caractéristique des villes africaines. Pour cela, la terre a démontré largement son apport bénéfique au sein d'une habitation tant ses vertus sont nombreuses (Bruno et *al.*, 2015). Pourtant, un certain nombre de difficultés liées à l'emploi de l'argile dans la construction se posent. Il s'agit entre autres de la variation de volume (retrait et gonflement) au cours du séchage du matériau provoquant de nombreuses fissurations et atténuant donc les performances mécaniques de ce dernier (Gc, Sebaa, 2021). L'incorporation de paille de Sissongo végétales, matières premières abondantes et bon marché, dans une matrice à base de terre peut être une voie intéressante pour améliorer les propriétés des mortiers de terre.

Cette idée est inspirée du matériau utilisé pour la construction des greniers en terre pour le stockage des vivres en milieu rural au Nord-Ouest du Bénin, ouvrages ayant une durée de vie allant jusqu'à 50 ans (Ambarka, 2002). Des analyses d'identification faites sur le banco de grenier ont donné l'idée que le mélange utilisé pourrait servir à la fabrication de blocs de maçonnerie pour les parois en élévation ou pour la réalisation de planchers à corps creux et à poutrelles de bâtiments. Swamy et *al.* (1984) se sont intéressés à l'étude de l'incorporation de fibres de sisal et de noix de coco dans un sol fin. Ils ont constaté que les performances mécaniques sont modérées avec une amélioration de la ductilité du sol fibré par rapport au sol non fibré.

L'objectif général de ce travail est: l'étude des propriétés physiques de la terre et du sissongo du présent travail, étude des propriétés mécaniques et la sensibilité à l'eau des briques de terre comprimées stabilisées à la paille de sissongo (*Pennisetum purpureum*) produites dans l'arrondissement de Yabassi.

La réalisation de l'objectif principal passe par les objectifs spécifiques ci-dessous:

- D'étudier certaines propriétés géotechniques du sol et de sissongo de Yabassi;
- De déterminer la résistance mécanique des BTC stabilisées à la paille de sissongo;
- D'étudier l'absorption en eau par capillarité des BTC stabilisées à la paille de sissongo;
- De faire une proposition en vue de l'utilisation des briques fabriquées.

2 REVUE DE LA LITTÉRATURE

2.1 LA TERRE

2.1.1 DÉFINITION

Le sol est la fraction solide de la sphère terrestre. À la surface du sol, la terre est un matériau meuble, d'épaisseur variable, qui supporte les êtres vivants et leurs ouvrages et où poussent les végétaux (Mariette, 2021). La terre est formée à partir d'une roche mère par des processus très lents de dégradation et par des mécanismes très complexes de migration de particules (Kazitani, 2016). Il en résulte une infinité de sortes de terres ayant des caractéristiques variées. La terre végétale ou sol des agronomes, riche en matière organique, surmonte la roche mère, plus ou moins altérée. Lorsqu'ils sont meubles et contiennent peu de matière organique, les niveaux superficiels des sols sont utilisables pour la construction en terre crue (Houben, Guillaud, 2006).

2.1.2 NIVEAU GÉOLOGIQUE

La terre est définie comme la couche d'épaisseur variable de matière meuble disponible sur la surface terrestre. Cette fine couche est issue de la dégradation des roches mères par des procédés d'altération sur des périodes géologiques. À l'épreuve des années d'érosion causée par le vent, la pluie, le soleil ou encore le gel, les particules de roches solides se fragmentent progressivement pour former des grains de plus en plus petits, les sédiments (Benhaoua, 2021).

Ainsi, la terre présente à la surface de notre planète peut être transformée facilement pour constituer un matériau de construction idéal. Les grains très fins la constituant peuvent être agglomérés entre eux lorsqu'on les mélange avec de l'eau et les met en forme. L'excès d'eau va progressivement s'échapper pour être remplacé par l'air. Le mélange grain, air et eau forme un complexe relativement solide, permettant de construire. C'est le passage « du grain à l'architecture » (DOAT et *al.*, 1979). Comme le béton, ou la pierre, le matériau ainsi formé est amené à se dégrader au fil du temps pour être naturellement retransformé en sédiments. Une fois redevenue poussière, la terre peut être réutilisée pour confectionner des matériaux et bâtir un nouvel édifice (Houben, 2006). La Terre crue est donc un élément totalement recyclable et réutilisable. Grâce notamment aux capacités liantes des argiles qui la constituent, la terre mélangée à l'eau offre des possibilités de réemploi infinies et cette faculté a contribué fortement à l'utilisation massive de ce matériau par nos ancêtres (Meukam, 2004).

2.1.3 DIVERSITE DE LA CONSTRUCTION EN TERRE

La construction en terre crue recèle de nombreux avantages, grâce aux qualités inhérentes au matériau: recyclable, performance énergétique, résistance au feu, durabilité...mais évidemment, il est nécessaire de respecter les règles essentielles de l'art de bâtir en terre crue afin de garantir les œuvres (Mostefaoui et al, 2021).

Par ailleurs, la diversité des procédés de l'architecture de terre et la simplicité de sa mise en œuvre, sont deux points forts qui lui procurent l'autonomie technologique et la diminution de l'impact tant financier qu'environnemental de la construction grâce aux économies d'énergie. Ces architectures sont ancrées dans la vision contemporaine de progrès (Salmi, S., 2014).

Parmi les techniques les plus connues, on cite: le pisé, l'adobe, (ou thob) les blocs de terre comprimée (BTC), les blocs de terre stabilisée (BTS), la terre paille et le torchis. Elles font l'objet actuellement d'un développement technologique tant sur le plan de la maîtrise et de l'amélioration des performances que sur le processus de production.

2.2 ADOBE

2.2.1 DÉFINITION

Les premiers éléments de construction préfabriqués utilisés par l'homme étaient des briques moulées en terre crue appelées « adobes » (Figure 1), on a une technologie utilisée depuis des millénaires partout à travers le monde. L'adobe est un matériau de construction fait d'un mélange de sable, d'argile, une quantité du paillé hachée ou d'autre fibres. De nature assez argileuse (jusqu'à 30 % de fraction fine), mais très sableuse, ajoutée d'eau jusqu'à obtenir un état de pâte semi ferme (15 à 30 % d'eau) (Mostefaoui et al, 2021).



Fig. 1. Moule de l'adobe

Source: Djouhri (2007)

2.2.2 TORCHIS

C'est le premier matériau composite de l'histoire (Richard, 2010). Il est composé d'une matrice plastique (terre) et de renforts fibres végétales (Figure 2). C'est le matériau de construction des habitations dès le néolithique. Il était utilisé par les Celtes pour la construction des murs. L'essor de cette technique a principalement été du XIV^e au XVI^e siècle, mais a perduré jusqu'au lendemain de la seconde guerre mondiale avec un colombage plus simple. Le torchis est une technique de construction du type ossature-remplissage. Traditionnellement, l'ossature porteuse principale est constituée de colombes de bois, complétée par un clayonnage à base de bois.



Fig. 2. Construction Torchis

Source: Heath (2011)

2.3 Pisé

Le pisé, technique séculaire de mise en œuvre de terre crue, offre des qualités d'habitabilité et d'adaptation exceptionnelles mais nécessite une attention et un suivi régulier (Rhone, A, 2010). Bien construit et protégé, le bâtiment en pisé traverse les siècles et s'adapte tout naturellement aux divers besoins des hommes. Traditionnellement, les bâtiments en pisé portent de « bonnes bottes » et un « bon chapeau ».

2.4 BAUGE

2.4.1 DÉFINITION

La bauge est un système constructif monolithique en terre crue empilée. La terre est dans un état plastique, généralement mélangée à des fibres végétales ou animales même si ça n'est pas obligatoire (Samou, et *al.*, 2016). Les surfaces verticales sont dressées par découpe après un court temps de séchage alors que le matériau n'est pas trop dur (Mariette, 2021). Le matériau mélangé est soit empilé à la main sous forme de monticules, soit jeté vigoureusement contre le mur. La surface rugueuse est ensuite enduite de manière à obtenir une paroi lisse.

2.4.2 SAC DE TERRE

La construction en sacs de terre s'inspire de la construction en pisé: on remplit de terre compactée, des sacs de polyéthylène ou polypropylène (utilisés notamment pour le conditionnement des grains). Le mélange peut être constitué de divers matériaux comme de l'argile, du sable, du béton etc. (Djoughri, 2007).

2.4.3 TERRE COULÉE

La technique de la terre coulée peut être comparée à la technique du béton maigre coulé. Elle met en œuvre la terre à l'état de boue liquide dont la granularité est de préférence sableuse ou graveleuse (Craterre, 2006). Les avantages de cette technique sont multiples: préparation aisée du matériau, facilité de mise en œuvre et large registre d'applications, mais elle comporte également un gros désavantage: le retrait au séchage est important. La stabilisation peut néanmoins résoudre ce problème (Meukam, 2004). On peut également compartimenter les constructions afin de réduire le retrait ou alors simplement boucher les fissures après séchage lorsque celles-ci ne posent pas de problèmes structurels. Les outils utilisés pour cette technique sont les mêmes que ceux utilisés couramment pour le béton. La terre coulée permet de fabriquer des briques, des pavés et des murs, armés ou non (Guillaud, 1995) Coulée, un Béton de Terre.

2.4.4 TERRE FAÇONNÉE

La technique de la terre façonnée se met en œuvre avec de la terre à l'état plastique, sans moule ni coffrage. Cette façon de faire permet d'obtenir une large gamme de formes architecturales souvent très riches tout en réduisant la main d'œuvre et les coûts de construction (Ouedraogo, 1995). Les outils utilisés sont simples et les murs réalisés avec cette technique permettent un bon accrochage des enduits. Par contre, le contrôle du séchage et des fissurations de retrait sont complexes et les performances mécaniques du matériau sont plutôt problématiques (Millogo et al, 2016).

2.4.5 DIVERSITÉ DES BLOCS DE TERRE COMPRIMÉE

Aujourd'hui, le marché accueille une large gamme de produits de terre comprimée (Houben, 2006).

BLOCS PLEINS

Ils sont principalement de forme prismatique (parallélépipèdes, cubes, hexagones multiples, etc.). Leur usage est très varié.

BLOCS CREUX

On observe normalement de 15 % de creux, 30 % avec des procédés sophistiqués. Les évidements créés au sein des blocs améliorent l'adhérence du mortier et allègent les blocs. Certains blocs évidés permettent la réalisation de chaînages (coffrage perdu).

BLOCS ALVÉOLAIRES

Ils présentent l'avantage d'être légers mais exigent des moules assez sophistiqués ainsi que des pressions de compression plus forte que la normale.

BLOCS    EMBOITEMENTS

Ils peuvent éventuellement permettre de se passer de mortier mais exigent des moules assez sophistiqués et en général des pressions de compression plus ou moins élevées.

BLOCS PARASISMIQUES

Leur forme améliore leur comportement parasismique ou permet une meilleure intégration de systèmes structuraux parasismiques: chainage par exemple.

2.5 CONSTRUCTION EN TERRE ET DÉVELOPPEMENT

L'esprit productif adopté par les humains tout au long du 20^{  me} siècle a dominé tous les domaines de l'activité industrielle, notamment les secteurs de bâtiment. Produire plus, fut le mot d'ordre, sans tenir compte des retombées néfastes sur l'environnement naturel (Magniont, 2010). Les procédés de constructions rationalisent la construction tout en négligeant la qualité, la durabilité, l'adaptation de l'habitat avec son milieu, et ils considèrent l'utilisateur comme un consommateur passif (Benouali et al., 2011). Il faut donc se référer au développement durable. Le développement durable est un développement qui répond aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion (Mostefaoui et al. 2021): Le concept de «besoins», et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité; L'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir.

2.6 PILIERS DU DÉVELOPPEMENT DURABLE

La notion du développement durable s'appuie sur trois piliers complémentaires qui sont **l'environnement, l'économie et le social**, auxquels on pourrait ajouter le culturel: Environnement et social (des rapports sociaux dans un environnement viable); Environnement et économie (une prise en compte de l'environnement avec une approche économique viable); économie et social (un développement économique équitable).

Engager une politique de développement durable revient à faire en sorte que ces trois cercles qui se superposent au maximum (Figure .3). Par conséquent, agir en faveur du développement durable consiste à concilier au mieux le progrès économique, les conditions sociales et le respect de l'environnement.

Aménageurs, urbanistes, maîtres d'ouvrage et promoteurs doivent donc établir des compromis entre les exigences environnementales, sociales et économiques.

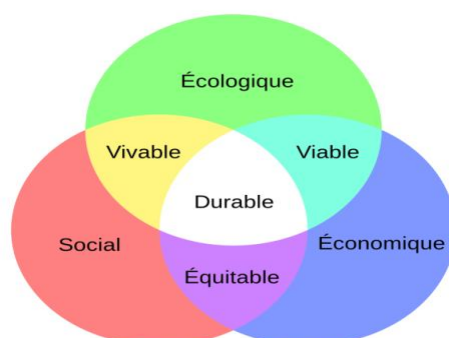


Fig. 3. Piliers du développement durable

Source: Benouali et al. (2011)

2.7 CONSTRUCTION DURABLE

La construction durable ou l'éco construction est la production d'un bâtiment en lui permettant de respecter au mieux l'écologie à chaque étape de la construction. Elle cherche à s'intégrer le plus respectueusement possible dans un milieu en utilisant au mieux des ressources peu transformées, locales, saines, et en favorisant les liens sociaux (Magniont, 2010).

Secteur du bâtiment comme un écosystème:

Ne pas dilapider le capital non renouvelable de la planète; Une transformation simple de matière en matériaux; Des déchets biodégradables.

Naissance de l'approche sérieuse du matériau terre dans la construction et son inscription dans une réflexion multidisciplinaire sur un habitat écoresponsable: Un habitat socialement équitable; Écologiquement soutenable; Économiquement viable.

La terre crue ne nécessite pratiquement pas de dépenses énergétiques. L'énergie nécessaire à la construction d'une maison moyenne de 100 m² en béton armé est suffisante pour construire l'équivalent de 50 maisons en terre crue de même surface (Benouali et al, 2021).

2.8 STABILISATION DE MATÉRIAUX TERRE

2.8.1 DÉFINITION

Le Centre des Nations Unies pour les établissements humains a défini la stabilisation d'un sol comme étant, la modification des propriétés d'un système terre-eau-air pour obtenir des propriétés permanentes compatibles avec une application particulière (United Nations, 1992).

Mais la stabilisation est un problème complexe car de très nombreux paramètres interviennent. Il faut en effet connaître: les propriétés de la terre, les améliorations envisagées, l'économie du projet, les techniques de mise en œuvre de la terre choisie pour le projet et la maintenance du projet réalisé (Houben, 2006).

2.8.2 OBJECTIFS

Les principaux objectifs de stabilisation des sols sont présentés dans les travaux réalisés par (**Winterkorn, 1975; Nations Unies, 1992; Symons, 1999**): L'obtention de meilleures caractéristiques mécaniques de la terre (augmenter les résistances à la compression, à la traction et au cisaillement); La réduction de la porosité et les variations de volume (réduire le retrait et le gonflement à l'eau); L'amélioration de la résistance à l'érosion du vent et de la pluie (réduire l'abrasion de surface et la perméabilité à l'eau).

2.8.3 PROCÉDÉS

On dénombre trois procédés de stabilisation (Winterkorn, 1975).

2.8.3.1 STABILISATION MÉCANIQUE

La stabilisation mécanique est le terme général utilisé pour la stabilisation du sol par compactage. Ce procédé modifie les propriétés de la terre (la densité, la compressibilité, la perméabilité et la porosité), en intervenant sur la structure (Taallah, 2004).

2.8.3.2 STABILISATION PHYSIQUE

Il est possible de modifier les propriétés d'un sol en agissant sur sa texture, notamment en effectuant un mélange contrôlé de différentes fractions de grains telles que l'argile et le sable. Ce processus est appelé "stabilisation granulométrique". En mélangeant différentes fractions de sol, on peut obtenir des propriétés mécaniques plus stables et améliorer la résistance du sol à la compression, à la traction et au cisaillement (Mariette, 2021). Cette méthode permet également de réduire la porosité et les variations de volume du sol, ce qui peut réduire les risques de retrait et de gonflement à l'eau. La stabilisation granulométrique est une technique courante de modification des propriétés du sol, utilisée dans de nombreux projets de construction et d'aménagement du territoire (Baley, 2013).

2.8.3.3 STABILISATION CHIMIQUE

La stabilisation de la terre est assurée par l'ajout d'autres matériaux ou de produits chimiques qui modifient ses propriétés, soit du fait d'une réaction physicochimique entre les particules de la terre et le produit ajouté soit en créant une matrice qui lie ou enrobe les particules (Djelloul, 2018). On peut citer, en particulier du ciment, de la chaux, du bitume, et de sous-produits industriels. Le choix et la

quantité de matériau ou de produit chimique à ajouter dépend de la nature du sol et du degré d'amélioration de la qualité du sol souhaité (Akpodje, 1985).

Le traitement du matériau terre par des produits chimiques se fait pratiquement de deux manières (Ghoumari, 1989): Un traitement dans la masse (introduction dans la masse du sol d'une quantité minimale de stabilisant); Un traitement de surface (enduits, badigeons, hydrofuges), pour protéger la surface par imprégnation sur la partie exposée.

2.8.3.4 STABILISATION PAR FIBRES

La stabilisation par armature à l'aide de fibres est très employée de par le monde en construction en terre. Les fibres sont principalement employées pour la confection des blocs moulés par pétrissage, avec des terres plutôt argileuses présentant souvent un important retrait (Tang et al., 2010).

Les productions artisanales de briques d'adobe stabilisées à la paille sont très variées mais on connaît aussi l'emploi de fibres pour construire en torchis, en terre paille, en bauge ainsi qu'en blocs comprimés et en pisé (Houben, 2006). Pour le cas des fibres synthétiques, elles sont utilisées généralement dans le renforcement des sols pour augmenter les résistances à la compression et au cisaillement (Estabragh et al., 2011).

Dans le domaine de la construction, plusieurs types de fibres sont utilisées, et elles peuvent être classées par famille. Ainsi on peut avoir les fibres naturelles (Les fibres animales (poils; sécrétions); Les fibres minérales; Les fibres végétales) (Baley, 2013). Les fibres végétales (Des fibres des poils séminaux de graines (coton, kapok); Les fibres des tiges de plantes (lin, chanvre, jute, ortie); Les fibres extraites de feuilles (sisal), de troncs (palmier), d'enveloppes de fruits (noix de coco)) (FRD, 2021).

2.8.4 L'EFFET DE LA STABILISATION PAR LES FIBRES NATURELLES SUR LES PROPRIETES DES ADOBES

L'ajout de ces fibres naturelles est un moyen de stabilisation couramment utilisé dans la fabrication des adobes et autres produits de terre, et ceci depuis des milliers d'années (Ambarka, 2010).

2.8.5 AMELIORATION DES PROPRIETES MECANQUES DES MATERIAUX EN TERRE CRUE PAR DES FIBRES VEGETALES

La terre renforcée par des fibres fait l'objet de beaucoup d'investigations par plusieurs chercheurs ces dernières années. La littérature a permis d'appréhender les réflexions déjà menées dans le sens de l'utilisation de la terre renforcée par des fibres comme matériau de construction. La majorité des auteurs sont unanimes pour reconnaître les opportunités qu'offre ce matériau de construction. De nombreuses études ont été réalisées dans ce sens. On sait que les fibres végétales ont un caractère hydrophile qui favorise l'absorption d'eau, alors que d'autres types de fibres ont un caractère hydrophobe comme le cas des fibres de polypropylène. Cette faible insensibilité à l'eau des fibres végétales constitue un point faible dans son utilisation pour la fabrication des produits en terre crue, chose qui a poussé les chercheurs à essayer d'étudier ce problème et d'évaluer son ampleur. Sallehan et Yaacob (Sallehan, 2011) ont conclu à travers les résultats des essais d'absorption d'eau réalisés dans l'étude, qu'il y a une légère augmentation de l'absorption de l'eau avec l'augmentation de la teneur en fibres de palmier.

2.8.6 MODE DE PRODUCTION DE LA PAILLE DE PENNISSETUM PURPUREUM

Des différents modes d'implantation bien que les grains de Sissongo existent, la méthode de reproduction la plus utilisée est la reproduction végétative: éclat de souche ou bouturage. Pour tous les types de reproduction du Sissongo, la distance entre les lignes est de 1m.

3 MATERIELS ET METHODES

3.1 PRÉSENTATION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Cette étude est réalisée dans la ville Yabassi, située dans la Région du Littoral Cameroun et dans le Département du Nkam. La Commune de Yabassi créée en 1985, couvre une superficie de 3080 km². Elle est comprise entre 4° et 4°45 de Latitude Nord et 9°40 et 10 °30 de Longitude Est (Figure 4). La Commune de Yabassi est limitée:

- Au Sud par les Arrondissements de Dibamba et Douala III;
- À l'Est par les Arrondissements de Nkondjock et Yingui;
- Au Nord par les arrondissements de Njombé/Penja, Loum et Nlonako;
- À l'Ouest par les Arrondissements de Dibombari et Douala V.

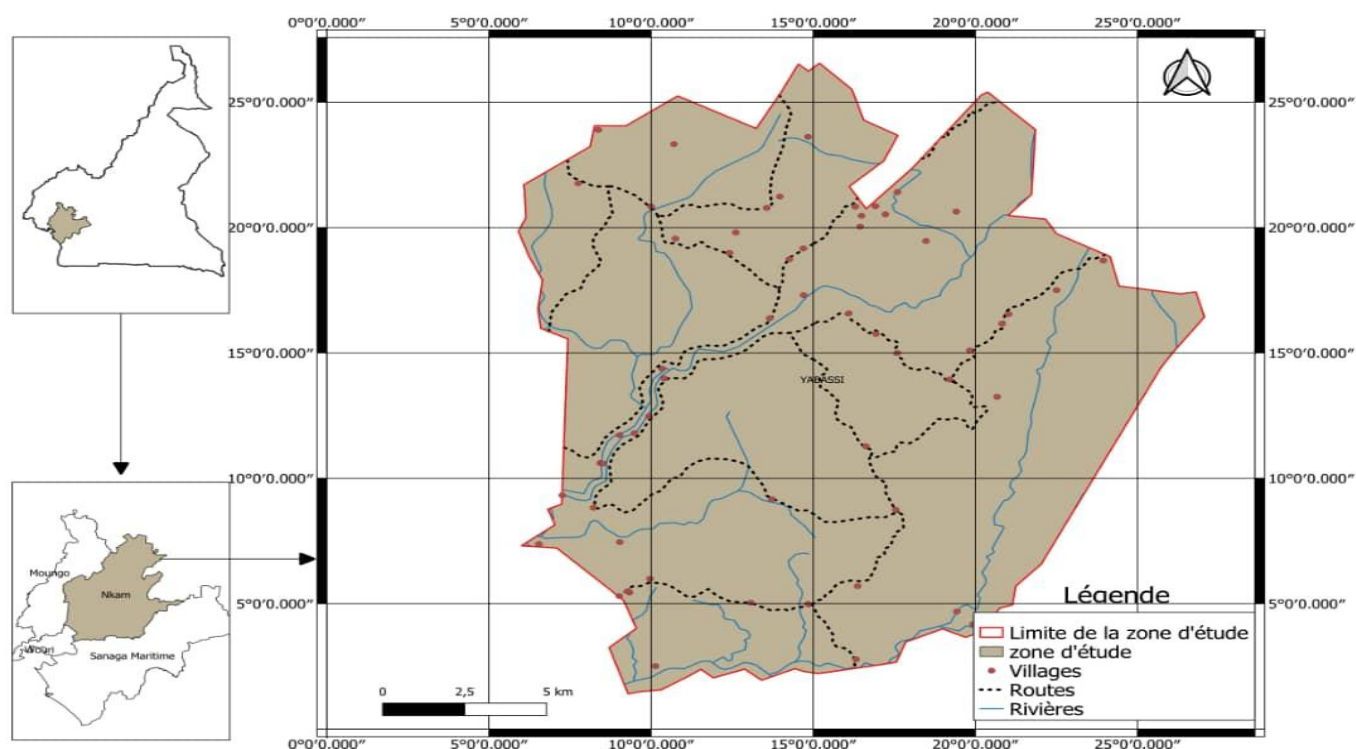


Fig. 4. Localisation de l'Arrondissement de Yabassi dans le Département du Nkam au Littoral Cameroun

3.2 CONDITION AGRO-PEDO-CLIMATOLOGIQUE, VEGETATION ET FAUNE

Le secteur d'étude est arrosé par des pluies de mousson qui ont été appelées pluies de turbulence géographique par (Suchel, 1987). Le climat est caractérisé par une forte humidité. La température varie généralement entre 23°C et 33°C, le mois le plus chaud étant celui de février. Comme dans le département du Nkam en général, l'arrondissement de Yabassi notre zone d'étude est très pluvieux. Les hauteurs annuelles de pluie se situent entre 2900 mm et 3000 mm. La saison sèche va de mi-novembre à mi-mars. Elles résultent directement des turbulences et d'ascendances dues aux inégalités du relief. Ces pluies sont généralement abondantes, de longue durée et de fortes intensités comparables à celles des pluies d'orages. Le climat du secteur d'étude est de type équatorial côtier Nord à deux saisons. On peut également parler de climat de mousson à paroxysmes pluviaux, avec une courte saison sèche allant de Décembre à Février et une longue saison pluvieuse de Mars à Novembre. Les données climatiques ont été prises sur 34 ans entre 1990 et 2024. Les vents les plus forts dont la vitesse est 2,50 m/s soufflent du nord-est et du sud plus fréquemment du Nord de la ville d'après l'annuaire statistique de la région du littoral 2019. Deux vents sont présents dans cette localité, la mousson et l'alisé, encore appelé vent de pluies. Les vents violents soufflent pendant les périodes de juin à octobre. L'air à Yabassi est humide. L'humidité moyenne annuelle est de 87,696% dont le maximum étant de 91,58 % au mois d'Août et le minimum au mois de Janvier avec une humidité de 79,72 %. Les sols sont essentiellement latéritiques à l'horizon humifère plus ou moins épais (rapport trimestriel d'activités Délégation MINFOF, 2011). Le sous-sol est argileux latéritique marqué par une prédominance des termitières et des cailloux et se transformant par endroits en sable et massif rocheux (PNDP, 2012). Ce sol est argilo- sableux dans les plaines inondables du territoire communal. Zone essentiellement forestière, la végétation de l'Arrondissement de Yabassi est une forêt dense humide. Elle est dominée par l'Azobé (*Lophira alata*), l'Illomba (*Pycnanthus angolensis*), le frakè (*Termilia superba*) (MINFOF, 2011). De même, on y retrouve le Bubinga, le padouck, l'Iroko, le Dobenatalmi et le Morvingui; Cette végétation abrite une importante diversité faunique, objet d'une intense activité de braconnage. Les espèces présentes dans la forêt sont les éléphants, les chimpanzés, les potamochères, le pangolin, le porc épic. Il s'agit essentiellement ici des animaux intégralement protégés par la loi.

3.3 HABITAT ET CONDITIONS DE VIE

Selon le recensement général de la population et de l'habitation (ACAM, 2007), 60% de la population rurale et urbaine vit dans des habitats précaires, délabrés et construits en matériaux provisoires (planches, carabottes, et les bambous de chînes).

3.4 MATÉRIAUX, MATÉRIELS ET ESSAIS

3.4.1 SOL UTILISÉ

Le sol utilisé dans cette étude pour la production des briques de terre compressées dans la commune de si est présenté sur la figure 5.



Fig. 5. Sol utilisé pour la production des briques de terre compressées dans la commune de Yabassi

Le sol utilisé provient de Yabassi à vingt mètres derrière le garage de la commune de Yabassi à 50 cm de profondeur sous la couche organique, il est choisi sur la base de sa disponibilité et son abondance dans la région. Ce sol est de couleur jaunâtre brun et se présente sous forme des mottes compactes. Après excavation, elle est séchée au soleil jusqu'à l'état anhydre (10% d'eau) et broyée pour obtenir des poudres fines prêtes pour utilisation.

3.4.2 SISSONGO (*Pennissetum purpureum*)

Les déchets de sissongo sont mélangés à la terre pour la production des briques de terre compressées. Le site de prélèvement de sissongo, les tiges fraîches et sèches sont présentées sur la figure 6.



Fig. 6. *Sissongo (pennissetum purpureum)* utilisé dans cette étude

La figure 6 présente le site de prélèvement du Sissongo (a), le Sissongo frais fauché (b), le sissongo découpé en longueur de 03 cm puis séché au soleil pendant 03 semaines (c) et enfin rendu en fibre sec (d). Le *Pennissetum purpureum* utilisé pour notre étude provient de Yabassi, sur le long de la rive du cours d'eau du NKAM près du pont qui mène au centre-ville, ayant pour coordonner GPS 5°10'59.999"

N et 11°10'0.001" E. Le choix du site n'est pas anodin, étant données l'abondance, et son accessibilité on peut y trouver des quantités assez importantes pour la réalisation de plusieurs projets dans la fabrication des briques composite. Ces pailles de tige *Pennisetum purpureum* sont finalement découpées en morceaux de longueurs qui varient de 3 cm à 4 cm. Pour cet essai nous n'avons opté pour aucun traitement sur la paille, pour ne pas modifier ses propriétés mécaniques ou chimiques.

3.4.3 ESSAIS

Du point de vue géotechnique, il est nécessaire de réaliser les essais préliminaires qui sont d'une importance vitale. En plus de la détermination des caractéristiques physiques du sol testé, ils permettent d'identifier les états du sol. Cette partie du travail présente les matériels utilisés et les essais d'identification du sol étudié. Les essais d'identification du sol reconstitué du présent travail sont les suivants: Essai d'analyse granulométrique du sol étudié, essai de teneur en eau, essai de Limites d'Atterberg, essai de poids spécifiques des matériaux testés, essai de Proctor des sols étudiés, essai de teneur en eau des pailles des tiges de sissongo, essai de masse volumique absolue γ_s , essai de résistances à la compression des briques produites et essai de résistances à la flexion des briques produites.

3.4.3.1 MATÉRIELS UTILISÉS

Les matériels utilisés dans ce travail sont présentés sur la figure 7.



Fig. 7. Matériels utilisés dans ce travail

La figure 7 présente les matériels de la présente étude constitués d'une presse manuelle avec force maximale de 275 kN, la mise en compression de l'éprouvette cubique de 4 cm d'arête (b), la mise en flexion de l'éprouvette prismatique de 4 cm x 4 cm x 16 cm en trois points (c), moule pour production de quatre (04) éprouvettes de 4 cm x 4 cm x 16 cm (d), moule pour production d'éprouvettes cubiques de 4 cm d'arête (e) et une balance de précision.

3.4.3.2 ANALYSE GRANULOMETRIQUE PAR TAMISAGE À SEC APRES LAVAGE (NF EN 933-1 ET NF EN 933-2)

L'analyse granulométrique joue un rôle déterminant dans la composition du mélange. En effet, elle permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Il consiste à faire passer un échantillon de sol à travers différent tamis de diamètre décroissant et de peser les refus et les passants de tamisage de chaque tamis pour pouvoir tracer la courbe granulométrique à fin de classer notre sol. Les dimensions de mailles et le nombre des tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision attendue.

3.4.3.3 TENEUR EN EAU DU SOL (NF P 94 – 049-1)

La teneur en eau d'un matériau est le rapport du poids d'eau contenu dans ce matériau au poids du même matériau sec. Cette teneur en eau (w) est donnée par l'équation 3.1:

$$W = 100 \times \frac{w_h - w_s}{w_s} \quad (3.1)$$

Où:

W : Teneur en eau (%);

W_h : Masse du matériau humide (kg);

W_s : Masse du matériau sec en kg (après 24 heures à l'étuve à la température de 105 °C).

3.4.3.4 LIMITES D'ATTERBERG (NF P 94-051 (1993))

Compte tenu de leurs structures, les argiles ont la propriété d'absorber des quantités d'eau très importantes ou de se dessécher en fonction des conditions d'humidité auxquelles elles sont soumises.

Quels que soient la nature et le type d'argile, celle-ci malaxée à des quantités d'eau de plus en plus importantes, finit par se transformer en boue, l'argile est dans un comportement liquide. Dans une situation contraire où l'argile est suffisamment desséchée les grains sont très resserrés et les liaisons deviennent intenses, et l'argile est dans un comportement solide. Entre ces deux états extrêmes, l'argile est malléable, elle a un comportement plastique. Les limites d'Atterberg ont pour but de définir les états d'humidité correspondant aux limites entre ces trois états, l'état d'humidité du sol étant exprimé par sa teneur en eau.

L'essai se fait sur une partie du matériau tamisé au tamis 0,40 mm. La teneur en eau d'un sol est le rapport entre le poids d'eau contenue dans un certain volume de sol et le poids des grains solides contenus dans le même volume. Elle s'exprime en % et a pour symbole W .

- Limite de plasticité d'un sol (W_p (%)) marque le passage du sol de l'état solide à l'état plastique.
- Limite de liquidité d'un sol (W_L (%)) marque le passage du sol de l'état plastique à l'état liquide.
- Indice de plasticité d'un sol (IP (%)), c'est-à-dire sa faculté de devenir très déformable en absorbant de l'eau est appréciée par le couple (W_L , W_p) qui dépend de la nature des minéraux argileux contenus dans le sol et de leur quantité. C'est ainsi que Casagrande a défini un diagramme dit "Abaque de plasticité de Casagrande" qui permet de classer les sols fins. L'indice de Plasticité (IP) est défini par l'équation 3.2:

$$IP = W_L - W_p \quad (3.2)$$

Où les quantités w_l et w_p sont définies précédemment.

3.4.3.5 ESSAI DE POIDS SPECIFIQUE (NF EN ISO 17892-3)

La masse volumique absolue des particules solides du sol (ρ_s) est le quotient de la masse de ces particules solides (M_s) par leur volume des solides (V_s). La masse volumique absolue est donnée par la formule 3.3:

$$\rho_s = \frac{M_s}{V_s} \quad (3.3)$$

La masse des particules solides est obtenue par pesage, le volume est mesuré au pycnomètre. L'échantillon de sol est séché à l'étuve puis pesé. Le volume des particules est déduit par pesée à l'aide d'un pycnomètre.

3.4.3.6 ESSAI PROCTOR MODIFIE (NF P 94-093, 2014)

L'essai Proctor est un essai géotechnique qui permet de déterminer la teneur en eau nécessaire pour obtenir la densité sèche maximale d'un sol granulaire ou non par compactage à une énergie fixée. Elle a pour but de déterminer les valeurs maximales de la courbe Proctor. Il consiste à humidifier un sol à plusieurs teneurs en eau et à le compacter selon un procédé et une énergie conventionnelle. Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérée, on détermine la densité sèche du sol et on établit la courbe des variations de cette densité sèche en fonction de la teneur en eau. D'une manière générale, cette courbe appelée courbe Proctor présente

une valeur maximale de la masse volumique sèche, elle est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau. Ce sont ces 2 valeurs qui sont appelées caractéristiques de compactage Proctor Normal ou Proctor Modifié suivant l'essai réalisé. L'énergie de compactage (EC) est donnée par la formule 3.4:

$$EC = \frac{\text{hauteur de chute} \times \text{poids de la dame} \times \text{Nb de coups} \times \text{Nb de couches}}{\text{volume total du moule}} \quad (3.4)$$

3.4.3.7 ESSAI DE TENEUR EN EAU DU PENNISSETUM PURPUREUM

La teneur en eau du Sissongo (Te %) est donnée par la formule après découpage et séchage pendant trois (03) semaines au soleil est donnée par la relation 3.5:

$$Te = \frac{Mh - Ms}{Ms} \quad (3.5)$$

Où,

Te: représente la teneur en eau du pennisetum purpureum;

Mh: Masse du matériau humide;

Ms: Masse du matériau séché pendant 03 semaines au soleil.

3.4.3.8 ESSAI DE RESISTANCE À LA COMPRESSION DES BRIQUES PRODUITES (NF P 18-400, EN 12390-1, EN 12390-2 ET EN 12390-3)

➤ Eau de gâchage

L'eau utilisée ne doit pas présenter un excès d'impureté et des sels au-delà une certaine limite, qui peuvent détériorer les propriétés du mélange (résistance en flexion, résistance en compression, la fragiliser les capacités hydrophiles et la ductilité du stabilisant bio végétale). L'eau utilisée pour la confection des éprouvettes est l'eau du robinet, propre à la consommation.

➤ Confection des blocs

Matériel spécifique

Pour la confection des éprouvettes nécessaires au programme d'essai, on a conçu un moule selon le modèle de Guettala et *al.*, (2006). Il est constitué des éprouvettes de dimensions 4 cm x 4 cm x 16 cm avec des moules prismatiques (Figure 7. d plus haut), où les éprouvettes sont fabriquées avec des matériaux locaux en utilisant plusieurs formulations. Des moules cubiques sont aussi utilisés (Figure 7.e plus haut). Pour la préparation des mélanges de cette étude, nous nous sommes basés aussi sur l'étude réalisée par, Mariette T. Adagbe (Mariette T et *al.*, 2021) sur Utilisation de la terre renforcée par des tiges de paille de riz comme matériau des éléments porteurs des bâtiments, armé avec le rônier. Dès lors nous optons pour sept dosages de tiges de paille de *Pennisetum purpureum* à savoir: 0 % (échantillons de terre témoin), 0.05 %, 0,1 %, 0,2 %, 0, 3 %, 0, 4 % et 0,5 %.

➤ Malaxage du mélange

Après avoir fait des formulations, le mélange est mis dans un récipient pour subir un malaxage manuel.

- Mélangez bien les constituants du mélange enfin d'éviter tout tassement des fibres d'un côté du mélange. Ce mélange doit se faire à sec pendant au moins une minute;
- Ajouter les 3/4 % de l'eau prévue dans le mélange à l'aide d'un éprouvette graduée;
- Bien remuer le mélange rapidement enfin d'éviter évaporation de l'eau contenu dans le mélange;
- Éviter que l'eau touche les parois du récipient;
- Verser le reste d'eau contenue dans l'éprouvette;
- Remuez à nouveau le mélange, tout en raclant les bordures du récipient.

Le malaxage de la terre et du Sissongo, la production et le séchage des briques de terre stabilisées sont illustrés sur la figure 8.



Fig. 8. *Malaxage de la terre et du Sissongo, production et le séchage des briques de terre stabilisées*

➤ Compactage des mélanges (XP P 13-901)

Les échantillons sont préalablement séchés jusqu'à 28 jours jusqu'à obtenir une masse constante, puis pesés enfin d'en déterminer la masse sèche. A noter que les éprouvettes testées sont sous la forme d'un cube de côté (4 ± 1) cm. Les mélanges sont compactés selon le mode statique à simple effet par le biais d'une presse hydraulique à commande manuelle: le plateau inférieur de la presse se déplace entraînant l'ensemble – moule + mélange + piston, le plateau supérieur reste fixe. L'opération est conduite jusqu'à l'affichage sur l'écran de lecture de la force voulue. Durant toute cette étude on a appliqué une seule force de compactage (275 kN) (force maximale de la presse).

La pression de compactage (P_c) est donnée par la relation 3.6:

$$P_c = \frac{F}{S} \quad (3.6)$$

Où:

F : représente la force de compactage de la presse hydraulique manuelle;

S : représente la surface du piston de la presse;

$S = L \times l$, (ou L et l ; représente respectivement la longueur et la largeur du piston).

3.4.3.9 ESSAI DE RESISTANCE À LA FLEXION DES BRIQUES PRODUITES (NF P 18-400, EN 12390-1, XP P 13-901, EN 12390-2 ET EN 12390-3)

Malgré que nos BTC dans le bâtiment ne soient pas vraiment sollicités en flexion, nous avons soumis les éprouvettes de chaque formulation à l'essai de traction, juste pour voir comment elles se comportent.

Les échantillons sont préalablement séchés jusqu'à 28 jours jusqu'à obtenir une masse constante, puis pesés enfin d'en déterminer la masse sèche. A noter que les éprouvettes testées ICI sont sous la forme d'un prisme de 4 cm x 16 cm. Les mélanges sont compactés selon le mode statique à simple effet par le biais d'une presse.

3.4.3.10 ESSAI DE COEFFICIENT D'ABSORPTION D'EAU PAR CAPILLARITE (ASTM-D559)

Les échantillons sont préalablement séchés pendant 28 jours jusqu'à obtenir une masse constante, puis pesés enfin d'en déterminer la masse sèche. A noter que les éprouvettes testées sont sous la forme d'un cube de côté (4 ± 1) cm. Les échantillons sont ensuite placés dans un bac permettant une mise en contact constante d'une face de la pierre avec 3 ± 1 mm d'eau (Figure 9). Une pesée de l'éprouvette est assurée au cours du temps à l'instant défini par la norme.

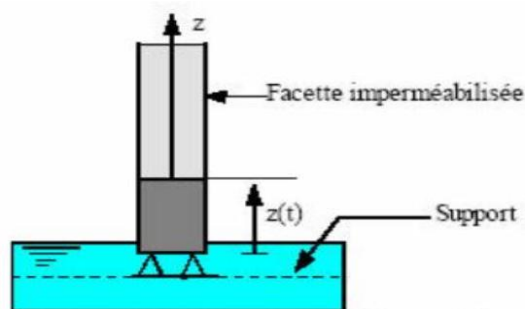


Fig. 9. Echantillon de brique compressée placé dans un bac

Dispositif expérimental de la mesure absorption d'eau par capillarité

Le coefficient d'absorption (C) est défini par l'équation 3.7:

$$C = \frac{M_x - M_0}{A} \quad (3.7)$$

Où:

M_x: Masse de l'éprouvette en une échéance donnée (kg);

M₀: Masse initiale de l'éprouvette (kg);

A: Section de l'éprouvette (m²).

4 RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les paramètres physico-mécaniques des sols déterminés dans ce travail sont l'analyse granulométrique, la teneur en eau, les limites d'Atterberg, le poids spécifique, le proctor et enfin les caractéristiques des pailles de tiges de sissongo ainsi les résistances à la compression et celles à la flexion des briques de terre avec substitution partielle avec les pailles de sissongo.

4.1 ANALYSE GRANULOMÉTRIQUE

Les résultats de l'analyse granulométrique des sols utilisés dans cette étude sont présentés dans le tableau 1:

Tableau 1. Résultats de l'analyse granulométrique des sols utilisés dans cette étude

Tamis (maille) en mm	Passant (%)	Passant cumulé (%)
6,3	0	100
5	5,8	100
2,5	7,1	94,2
1,25	6,1	87,1
0,63	5,4	81
0,315	23,7	75,6
0,160	5,3	51,9
0,08	45,6	45,6

D'après le tableau 1, nous avons $D_{max} \leq 50 \text{ mm}$ et $tamisât \text{ à } 80 \mu\text{m} \geq 35\%$ ontrant selon le classement GTR (Guide des terrassements des remblais) que les sols utilisés dans le présent sont des sols fins.

4.2 TENEUR EN EAU DES SOLS UTILISES

Les valeurs de teneur en eau des sols utilisés représentant trois échantillons sont présentées dans le tableau 2:

Tableau 2. Teneurs en eau des sols utilisés dans la présente étude

Tare	Masse tare (g)	Masse totale humide (g)	Masse totale sèche (g)	Masse de l'eau (g)	Masse sol sec (g)	Teneur en eau %	Moyenne de teneur en eau %
T1	26	216	194	22	168	13.09	11,51
T2	26	258	236	22	210	10.47	
T3	26	228	208	20	182	10.98	

D'après le tableau 2, La moyenne de teneurs en eau des sols utilisés dans cette étude tourne autour de 11,51%. Valeur largement supérieure à celles déterminées par Moundom et *al.* (may 2021) de 0,02% pour les sols non compactés et 0,03% pour les sols compactés au Tchad.

4.3 LIMITES D'ATTERBERG

Les valeurs de la limite de liquidité et de la limite de plasticité sont présentées dans le tableau 3 et le tableau 4 respectivement.

Tableau 3. Valeurs de Limite de liquidité

Limite de Liquidité				
Nombre de coups	17	23	28	33
Tare N°	Z19	L9	L7	L11
Masse totale humide (g)	22,36	25,01	26,56	19,88
Masse totale sèche (g)	17,74	20,24	21,4	16,74
Masse Tare (g)	7,34	9,35	9,5	9,41
Masse d'eau (g)	4,62	4,77	5,16	3,14
Masse sèche nette sol (g)	10,4	10,89	11,9	7,33
Teneur en eau %	44,4	43,8	43,3	42,8

D'après le tableau 3, la valeur de la Limite de Liquidité (WL) du sol étudié correspondant à 25 coups, après interpolation est de 43,6, très inférieure aux valeurs de 38,54 à 64,36 trouvées Moundom et *al.* (January 2022).

Tableau 4. Valeurs de Limite de Plasticité

Limite de Plasticité				
Tare N°	L2	L1	M1	L10
Masse totale humide (g)	12,47	10,68	10,71	11,31
Masse totale sèche (g)	12,21	10,42	10,45	10,96
Masse Tare (g)	11,18	9,51	9,47	9,54
Masse d'eau (g)	0,26	0,26	0,26	0,35
Masse sèche nette sol (g)	1,03	0,91	0,98	1,42
Teneur en eau	25,24	28,57	26,53	24,65

D'après le tableau 4, la limite de plasticité qui est la moyenne des trois teneurs en eau est $W_p = 26,24\%$, très supérieure aux valeurs de 7,781 à 10,505 trouvées Moundom et *al.* (January 2022). La valeur de l'indice de plasticité (I_p) du présent sol est de 17,36%. Cette valeur étant comprise entre 15 et 40, Burmister cité dans (Verdeyen et al. 1968) propose que notre sol soit plastique. Selon Atterberg (1973), I_p plus grand que 17 confère à notre sol une plasticité élevée. Selon aussi l'indice de consistance (I_c) qui est de 1,85 supérieur à 1, d'après la norme XP P 13-901, notre sol est une argile solide. En général, une bonne terre de construction a un indice de plasticité (I_p) compris entre 16% à 28 % et une limite de liquidité (LL) entre 32 % à 46 % (Jiménez et *al.*, 2007). Au regard des essais de l'analyse granulométrique de la terre de Yabassi et les résultats de la limite d'Atterberg ($I_p = 17,36\%$ et $LL = 43,6\%$), la terre de Yabassi est une terre recommandable pour la construction des BTC.

4.4 POIDS SPÉCIFIQUES

Les valeurs de poids spécifique des sols de Yabassi sont regroupées dans le tableau 5:

Tableau 5. Valeurs de poids spécifique des sols de Yabassi

N°	Désignation	ZA	ZB
1	Poids picno+eau (g)	808,34	803,68
2	Poids picno+eau (g)	187,3	188,06
3	Poids eau (g)	621,04	615,62
4	Température (°C)	28	28
5	Densité d'eau à la T° lue	0,99	0,99
6	Volume picno	623,53	618,09
7	Poids picno+matériau (g)	429,62	450
8	Poids matériau (g)	242,32	261,94
9	Poids total (g)	1050,66	1065,62
10	Poids picno +matériau + eau (g)	953,4	961,65
11	Poids eau déplacée (g)	97,26	103,97
12	Température (°C)	28	28
13	Densité d'eau à la T° lue	0,99	0,99
14	Volume matériau (cm³)	97,65	104,39
15	Poids spécifique (g/cm³)	2,49	2,51
16	Moyenne du poids spécifique (g/cm³)	2,5	

D'après le tableau 5, le poids spécifique de ce matériau est égal 2,5 g/cm³. Valeur proche de celles déterminées dans les travaux de Moundom et *al.* (Avril 2022) sur les granulats de SAFRICAS en République Démocratique du Congo qui sont de 2,5 g/cm³ pour les sables 0/5 et de 2,63 g/cm³ pour les graviers 5/20.

4.5 PROCTOR MODIFIÉ

Les valeurs de teneur en eau et densité sèche résultant du Proctor modifié sont représentées sur la figure 10:

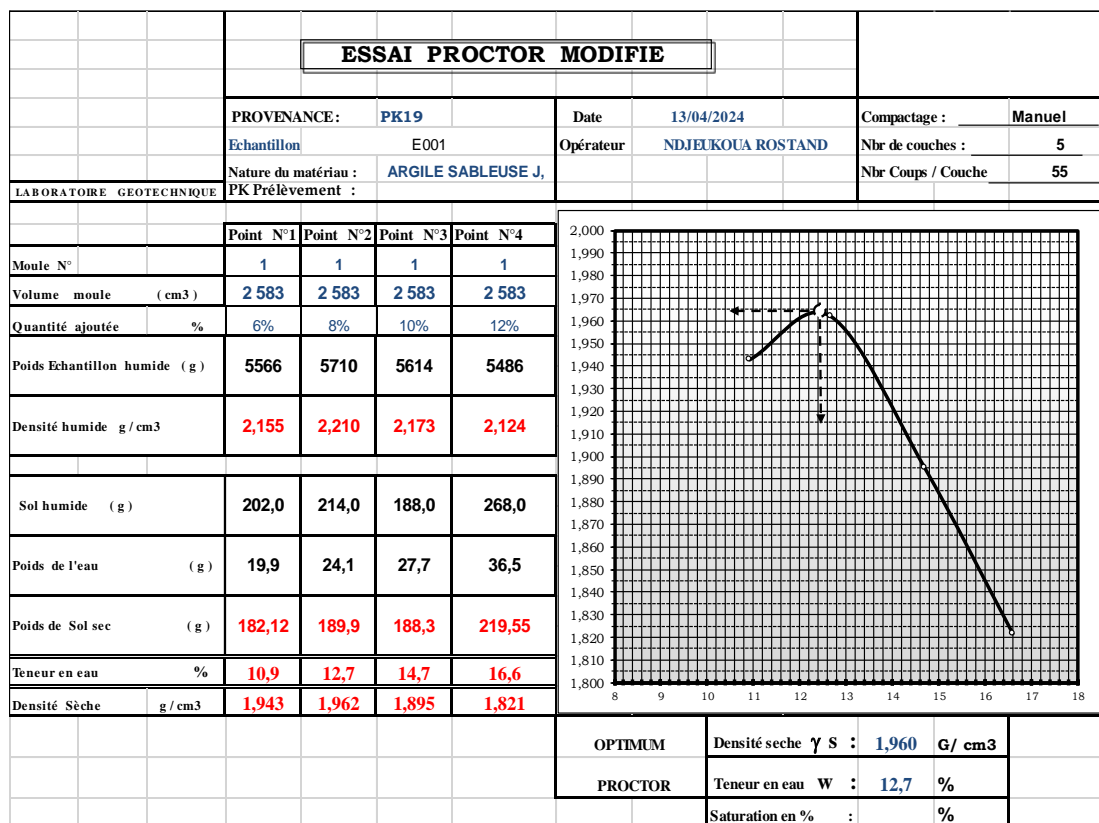


Fig. 10. Valeurs de teneur en eau et densité sèche résultant du Proctor modifié

À partir de la courbe on peut avoir les paramètres fondamentaux de cet essai (paramètres de Proctor), qui sont la teneur en eau optimale et le poids volumique sec maximum.

$$W = 12,7 \% ; \gamma = 1,960 \text{ g/cm}^3$$

La teneur en eau a une action primordiale sur le comportement des matériaux. Pour tous les matériaux testés, naturels ou reconstitués, surtout lorsqu'ils sont fins, une variation de 2 à 3 points autour de l'optimum de compactage statique entraîne toujours une chute de la résistance à sec de 30 à 50 % (Guettala et Guenfoud, 1997).

Pour obtenir une fabrication homogène, il est donc indispensable de déterminer cette teneur en eau optimale pour chaque composition.

4.6 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DES PAILLES DES TIGES DE SISSONGO

La teneur eau (**Te**) extraite sur les tiges de Sissongo lors de leur séchage au soleil au bout de trois (03) semaines est de:

$$Te = 80,98 \%$$

4.7 RESISTANCES À LA COMPRESSION DES BRIQUES DE TERRE FABRIQUEES AVEC SUBSTITUTION PARTIELLE DE LA TERRE PAR LES PAILLES DE TIGES DE SISSONGO

Les échantillons des éprouvettes stabilisées avec une teneur en paille de tige de Sissongo de 0,05 %, 0,1 %, 0,2 %, 0,3 %, 0,4 % et 0,5 % et une éprouvette témoin ont été compactés aux pressions constante de 3,43MPa durant tout l'essai et les valeurs de résistances à la compression présentées sur la figure 11:

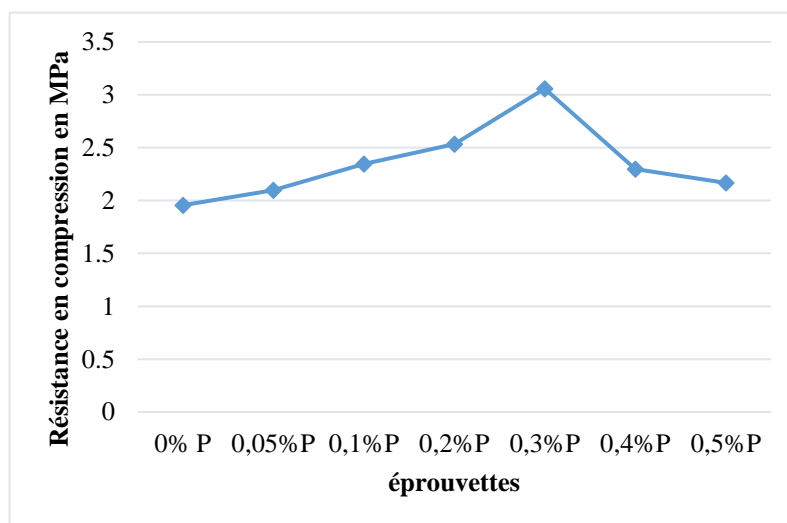


Fig. 11. Valeurs de résistances à la compression des blocs de terre stabilisés

D'après la figure 11, les résistances à la compression augmentent avec l'augmentation de pailles de tiges de Sissongo, atteignent le maximum (environ 3MPa) avec pour une stabilisation de 0,3% de pailles de tiges de Sissongo avant de chuter. Les valeurs de résistances des blocs stabilisés restent supérieures aux résistances des blocs sans stabilisation. Les résultats de compression restent relativement proches de ceux de Guettala *et al.*, (2016) qui ont travaillé sur des mélanges de terre, sable de dune et granulés de liège à différentes pressions de compactage avec 2 MPa de résistance à la compression, proches de ceux obtenus par Moundom *et al.* (January 2022) sur les briques de terre stabilisées avec les fibres de noix de palmiste dans le village Ndong avec des valeurs qui varient entre 0,32 MPa à 4,5 MPa à 28 jours et très inférieures à la valeur maximale obtenue par Katte *et al.* (2017) sur les briques produites en incorporant les boues des systèmes d'assainissement dans de l'argile calcinée. La résistance en compression moyenne d'une brique de terre se situe entre 2 et 4 MPa. Dans certains cas particuliers, briques de terre atteignent 12 MPa (ROHLEN *et al.*, 2013). La BTCS est plus résistante que la BTC. Touré *et al.* (2017) montrent une résistance en compression de 2,5 à 4 MPa pour les BTC, et de 2 à 6 MPa pour les BTCS avec 8 % de ciment. Dès lors au vu des résultats obtenus lors de l'essai en compression nous avons obtenus une résistance maximale de 3,05MPa à travers l'éprouvette contenant 0,3%P d'incorporation des pailles.

4.8 RESISTANCES À LA FLEXION DES BRIQUES DE TERRE FABRIQUEES AVEC SUBSTITUTION PARTIELLE DE LA TERRE PAR LES PAILLES DE TIGES DE SISSONGO

Malgré que nos BTC dans le bâtiment ne soient pas vraiment sollicités en flexion, nous avons soumis 1es échantillons de chaque formulation à l'essai de traction, juste pour voir comment elles se comportent. La Figure 12 présente les valeurs de la résistance maximale en flexion (R_f) des BTC, en fonction de la pression de compactage constante de 3,43 MPa.

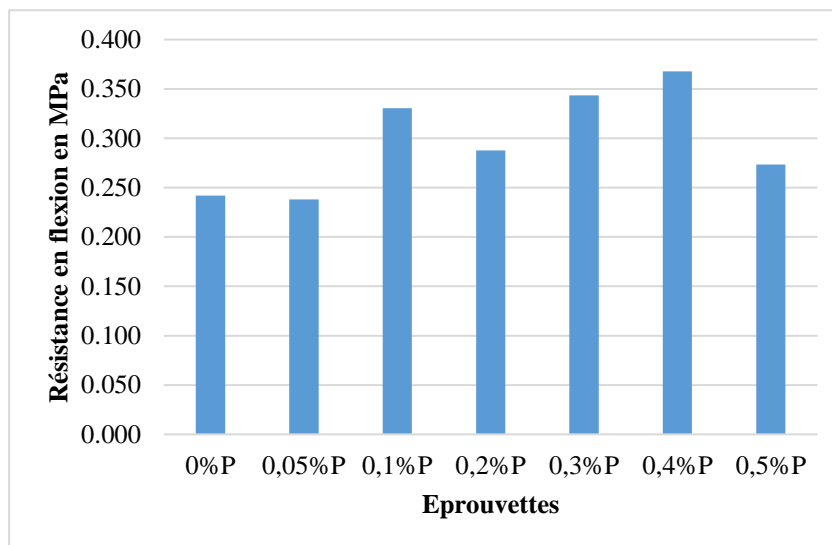


Fig. 12. Valeurs de la résistance maximale en flexion

La valeur maximale de résistance à la flexion est obtenue pour 0,4% de stabilisation avec les pailles de tiges de Sissongo correspondant à 0,370 MPa tandis que la valeur minimale est obtenue pour 0,05% de stabilisation correspondant à 0,244 MPa. La relation entre variation du taux de stabilisation et variation de la résistance à la flexion ne peut pas être établie.

4.9 ABSORPTIVITÉ CAPILLAIRE

Les résultats de l'absorption d'eau des briques par capillarité sont présentés sur la figure 13

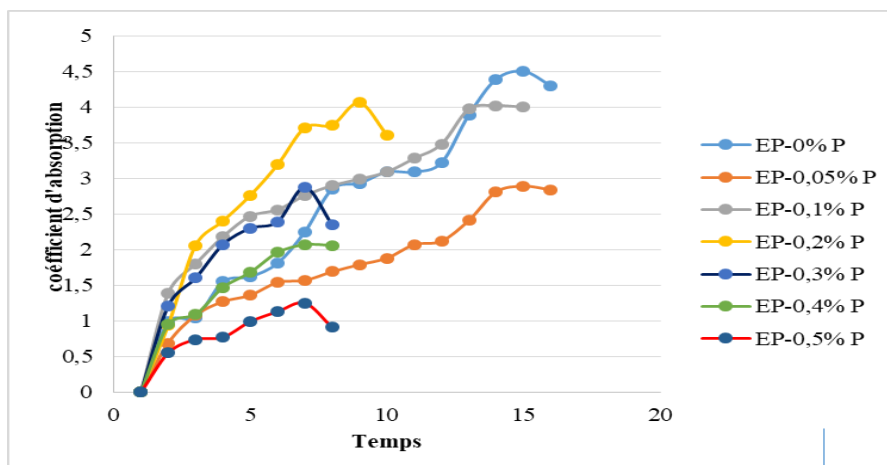


Fig. 13. Résultats de l'absorption d'eau des briques par capillarité

D'après la figure 13, les échantillons contenant respectivement 0 % et 0,05 % d'incorporation des pailles de tiges de Sissongo ont le même temps maximal d'absorption. Par contre le coefficient d'absorption des échantillons contenant 0,05 % de paille est inférieur à celui de l'échantillon témoin (0 % P); L'échantillon contenant 0,05 % paille absorbe moins d'eau par rapport à l'échantillon témoin, car son coefficient d'absorption maximal est inférieur à celui de l'échantillon témoin 0 % P; Pour les échantillons contenant 0 % à 0,1 % le temps d'absorption maximal sont assez élevés par rapport autres échantillons; De 0,3 % à 0,5 % d'incorporation de pailles de sissongo les échantillons ont un temps d'absorption très bas et un coefficient d'absorption réduit; Les échantillons contenant 0,3 % et 0,5 % d'incorporation de pailles ont un temps d'absorption très court autrement dit elles absorbent très vite de l'eau et se dégradent très

rapidement par rapport autres éprouvettes; Les éprouvettes contenant 0,3 %, 0,4 % et 0,5 % d'incorporation de paille on le même temps maximal d'absorption.

5 CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Afin de répondre aux objectifs de développement de la localité de Yabassi, les politiques sont fortement orientées vers la valorisation des matériaux locaux tels que les sous-produits agricoles. Le Cameroun intègre cette importante préoccupation dans ses stratégies de développement, avec à la clé la prise en compte du volet protection de l'environnement. C'est dans ce contexte que notre étude propose la mise au point des briques de terre comprimées (BTC) stabilisées à la paille de sissongo (*Pennisetum purpureum*). L'objectif principal de ce travail est d'étudier l'effet de l'utilisation des pailles végétales, notamment les pailles de sissongo sur les propriétés mécaniques (BTC) stabilisées à la paille de sissongo (*Pennisetum purpureum*) et aussi la sensibilité à l'eau de ces BTC. Les essais (d'analyse granulométrique, de teneur en eau, de Limites d'Atterberg, de Proctor Modifié, de poids spécifique) ont été réalisés sur les sols utilisés à Yabassi; L'essai de teneur en eau réalisé sur le sissongo; Les essais (de résistance à la compression, à la flexion, d'absorption d'eau) ont été réalisés sur les BTC; Pour les formulations, les taux d'incorporation du sissongo dans le sol de 0%, 0,05 %, 0,1 %, 0,2 %, 0,3 %, 0,4 % et 0,5 % du poids du mélange sec ont été testés en se basant sur des études antérieures ayant utilisé les mêmes taux pour l'incorporation de la paille de riz dans la fabrication des briques de terre et une contrainte de compactage 3,43 MPa (contrainte maximale de la presse hydraulique). Les résultats ont montré que l'ajout de ces matériaux à 0,3 % de paille a donné une résistance maximale en compression de 3,058 MPa et a contribué à l'amélioration de la résistance mécanique des briques de 1,1 MPa par rapport à l'éprouvette témoin 0% de paille (1,95MPa). Malgré que nos BTC dans le bâtiment ne soient pas vraiment sollicitées en flexion, nous avons soumis 1es éprouvettes de chaque formulation à l'essai de traction, la contrainte maximale en flexion enregistrée est celle l'éprouvette contenant 0,4% de paille avec une contrainte de 0,367 MPa. Concernant la sensibilité à l'eau, les éprouvettes contenant 0 % à 4% de sissongo ont des coefficients d'absorption respectifs 4,5 et 2,06 qui se situent dans la plage recommandée (2 à 15). Le temps d'absorption par capillarité est plus important à 0 % de pailles (30s) que celle contenant 0,3 % de pailles avec une durée maximale de 14s. Les recommandations ont été faites pour l'utilisation de ces BTC stabilisées avec les pailles de sissongo dans la construction compte tenu des avantages environnemental, économique et social.

REFERENCES

- [1] Ahmed, A. S., (2012). Performances thermiques du matériau terre pour un habitat durable des régions arides et semi-arides: cas de Timimoune. Mémoire magister, université Tizi Ouzou. Algérie. Pp 46-48.
- [2] Baley, C, (2004). Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites. Techniques de l'ingénieur AM6 (AM5130). Pp 1-12.
- [3] Benouali, H., Brara, A., Mahdad, M., Mokhtari, F., (2011). Caractérisation thermo physique et suivi Thermique de deux bâtisses réalisées en blocs de terre comprimés, Actes de la 29^{ème} rencontre de l'Association Universitaire de Génie Civil (AUGC), Tlemcen p.265, pp 29-31.
- [4] Benhaoua, W., 2021.Stabilisation des sols, durabilité des blocs et constructions en Terre (Thèse de doctorat). Université de Blida 1, Alg2rie. pp 48-49.
- [5] Bruno, A.W., Gallipoli, D., Perlot. C, Mendès. J, et Salmon.N., (2015). Briques de terre crue: procédure de compactage haute pression et influence sur les propriétés mécaniques. 33èmes Rencontres de l'AUGC, ISABTP/UPPA, Anglet.
- [6] Chaib, H., 2017. Contribution à l'Etude des Propriétés Thermo-Mécaniques des Briques en Terre Confectionnée par des Fibres Végétale Locale. (Cas de la ville de Ouargla), pp: 8-10.
- [7] Djelloul, R., (2018). Thèse de doctorat: Influence de l'ajout de chaux et de ciment sur les propriétés physico-mécaniques d'une argile naturelle de la région d'Oran en vue de sa valorisation en construction routière. Université d'Oran. Algérie.
- [8] Djouhri, M., (2007). « Confection d'une brique à base de sable de dune » mémoire magister, Université de Ouargla.
- [9] Estabragh AR, Bordbar AT, et Javadi A., (2011). Mechanical Behavior of a Clay Soil Reinforced with Nylon Fibers. GeotechGeolEng, 29 pp: 899–908.
- [10] FRD., (2012). Fibres et renforts végétaux Solutions composites, Fibres Recherche Développement, Troyes – France.
- [11] Guettala A., Abibsi A., et Houari H., (2006). Durability study of stabilized earth concrete under both laboratory and climatic conditions exposure. Construction and Building Materials; 20 (3) pp: 119–27.
- [12] Guettala M. et Guenfoud M., (1997). Béton de terre stabilisé propriétés physico-mécaniques et influence des types d'argiles. La technique moderne 1-2 pp: 21-26.
- [13] Houben H., et GUILLAUD H., (2006). Traité de construction en terre. CRATerre, Edition Parenthèse, Marseille, France, p 335.
- [14] Jehanne., (2015). Construction en Terre Crue: Disposition qualitative, constructives et architecturales, Mémoire de Master en Ingénieur Civil Architecte, pp: 17-20.
- [15] Katte Y.V., Seukep N. J.F., Moundom A., Wouatong L. S. A. and Kamgang K.B.V., (2017). The Effect of Partial Replacement of Waste Water Treatment Sludge on the Properties of Burnt Clay Brick. International Journal of Civil Engineering and Technology, Volume 8, Issue 6, June 2017, pp. 567-583.

- [16] Magniont, C., (2010). Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un éco matériau de construction à base d'agroressources (Thèse de doctorat). Université Toulouse III.
- [17] Mariette, T., Adagbe., (2021). Utilisation de la terre renforcée par des tiges de paille de riz comme matériau des éléments porteurs des bâtiments armés avec le rônier (Thèse de doctorat). Pp34-36.
- [18] Meukam, p., (2004). Caractérisation des Matériaux Locaux en vue de l'Isolation Thermique de Bâtiment (Thèse de doctorat). Université de Yaoundé I, Cameroun. PP: 5-6.
- [19] Millogo Y., Aubert J.E., SERE A.A., FABBRI A., et MOREL J.C., (2016). Earth blocks stabilized by cow-dung. Materials and structures, 49, pp: 458–459.
- [20] Mostefaoul, Salima., et Derder Karima., (2021). Etude des comportements de la terre crue stabilisée à l'aide des fibres. Université Ibn Khaldoun de Tiaret., pp 85.
- [21] Moundom A., Tangka K. J., Kongdi I., Tamo Tatietse T., (2021). Study of Some Physical Parameters of Soils Subjected to Compaction by Agricultural Tractors in Mayo Kebbi East Region (Chad). International Journal of Advanced Research in Science, Engineering and Technology (IJARSET), Volume 8, Issue 5, May 2021, pages: 17308-17317.
- [22] Moundom A., Muhatikani T. and Maheshe Bishikwabo O., (2022). Physico-mechanical properties of concrete made with the most used types of cements admixed with Polycarboxylate superplasticizer in the city of Goma, Democratic Republic of Congo (DRC). International Journal of Engineering and Techniques (IJET), Volume 8, Issue 2, April 2022, pp. 55-68.
- [23] Moundom A., Katte Y. V., Abanda Ngono B. and Amboko Muhiwa B., (2022). Physico-mechanical properties of stabilized mud bricks with palm nut fibres in Ndong village, Mfou district, Mefou -Afamba division in the Centre Region of Cameroon. International Journal of Engineering and Techniques (IJET), Volume 8, Issue 1, January 2022, pp. 70-87.
- [24] NF EN 933-1, (2012). Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 1: détermination de la granularité – Analyse granulométrique par tamisage. AFNOR, Paris.
- [25] NF EN 933-2, (1996). Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Partie 2: détermination de la granularité – Tamis de contrôle, dimensions normales des ouvertures. AFNOR, Paris.
- [26] NF EN 12390-1, (2001). Essais pour béton durci – Partie 1: forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules. AFNOR, Paris.
- [27] NF EN 12390-2, (2001). Essais pour béton durci – Partie 2: confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance. AFNOR, Paris.
- [28] NF EN 12390-3, (2003). Essais pour béton durci – Partie 3: résistance à la compression des éprouvettes. AFNOR, Paris.
- [29] NF P EN ISO 17892-3, (2015). Sols: Reconnaissance et essais géotechniques –Essais de Laboratoire sur les sols-Partie 3: Détermination de la masse volumique des particules solides. AFNOR, Paris.
- [30] NF P 18-400, (1981). Bétons-Moules pour éprouvettes cylindriques et prismatiques. AFNOR, Paris.
- [31] NF P 94-049-1, (1996). Sols: Reconnaissance et Essais-Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux-Partie 1: Méthode de la dessiccation au four à micro-ondes. AFNOR, Paris.
- [32] NF P 94-051, (1993). Sols: Reconnaissance et Essais-Détermination des limites d'Atterberg-Limite de liquidité à la coupelle-Limite de plasticité au rouleau. AFNOR, Paris.
- [33] NF P 94-093, (2014). Sols: Reconnaissance et Essais-Détermination des références de compactage d'un matériau-Essai.
- [34] Proctor Normal-Essai Proctor modifié. AFNOR, Paris.
- [35] Richard P., (2010). Adobe., mémoire Maître en environnement, Université de Sherbrooke, Canada.
- [36] Rhone A., (2010). « Le pisé » www.ageden.org.
- [37] Salmi.S., (2014). La Construction en pisé entre performances énergétiques et perception des usagers cas du village kabyle Ait Itchir.
- [38] Taallah, Bachir, (2004). Etude de comportement physique-mécanique de bloc de terre comprimée avec fibre 'thèse de doctorat, université Mohamed Khider biskra.
- [39] Tang C, Shi B, Zhao L., (2010). Interfacial shear strength of fiber reinforced soil. Geotext Geomembr; 28: 54–62.
- [40] XP P 13-901, (2022). Briques et Blocs de terre crue pour murs et cloisons-Définitions-Spécifications-Méthodes d'essai-Conditions de réceptions. AFNOR, Paris.