

ÉTUDE DES CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES ET MÉCANIQUES DE LA TERRE DE KENENDE DANS LA ZONE CÔTIÈRE GUINÉENNE

Labilé KOLIE^{1*}, Ibrahima Sory KOUROUMA¹
et Alama CAMARA²

¹ Université Gamal Abdel Nasser de Conakry, Département de Génie Civil,
BP 1147, République de Guinée

² Centre de Recherche Scientifique de Conakry-Rogbané (CERESCOR),
Département de Géologie Environnement et Matériaux, Laboratoire National
du Bâtiment et de Travaux publics, BP 1615, République de Guinée

(reçu le 02 Avril 2023; accepté le 25 Mai 2023)

* Correspondance, e-mail : klabile2017@gmail.com

RÉSUMÉ

Cette étude examine les propriétés physiques et mécaniques de la terre utilisée par les briquetiers à Kenendé, une localité située près de la mangrove, dans la commune urbaine de Dubréka. La méthodologie de travail adoptée comprend l'identification des sites de prélèvement, le prélèvement d'échantillons et les essais en laboratoire. Les caractéristiques de cette terre sont déterminées à travers une série d'essais comprenant la granulométrie, les limites d'Atterberg, le Proctor modifié, le CBR, le cisaillement et la compressibilité œdométrique. L'analyse granulométrique révèle que 16 % de l'échantillon se compose de gravier, avec un diamètre supérieur à 20 mm, 49 % de sable, avec un diamètre compris entre 0,050 mm et 2 mm, et 35 % de silt et d'argile, dont le diamètre varie de 0,050 à 0,002 mm. La teneur en eau après 25 coups est de 32,6 %, la limite de plasticité est de 18,0 et l'indice de plasticité est de 14,6. L'analyse Proctor révèle une densité sèche maximale de 1,80 g/cm³ avec une teneur en eau optimale de 14,8%. L'essai de cisaillement montre un angle de frottement de $\varphi = 28,77^\circ$ et une cohésion de $c = 0,287$ bar. L'essai de compressibilité œdométrique donne un indice des vides initial de $e_c = 0,621$, une pression de préconsolidation de $\sigma'_p = 1,079$ bar, un indice de compression de $I_c = 0,0462$ et un indice de gonflement de $c_g = 0,0066$. Tous ces essais ont été réalisés sur des échantillons prélevés sur le site de Kenendé, dans le quartier Kenendé. Les résultats obtenus dans cette étude démontrent de manière cohérente le caractère peu gonflant de cette terre. Cette étude présente une particularité en fournissant des informations importantes sur les caractéristiques physiques et mécaniques des terres de cette zone, ainsi que sur les défis de la construction durable dans cette région.

Mots-clés : *caractéristiques, physiques, mécaniques, côtière.*

ABSTRACT

Study of the physical and mechanical characteristics of Kenende earth in the coastal zone of Guinea

This study examines the physical and mechanical properties of the soil used by the brick manufacturers of Kénendé, a locality situated by the mangrove side, in the urban town of Dubréka. The adopted working methodology includes the identification of sampling sites, sampling and laboratory test. The characteristics of this soil are determined through a series of tests including particle size, Atterberg limits, modified Proctor, CBR, shear and oedometric compressibility. Particle size analysis demonstrates that 16 % of the sample consists of gravel, with a diameter greater than 20 mm, 49 % of sand, with a diameter between 0.050 mm and 2 mm, and 35 % of silt and clay, from which the diameter varies from 0.050 to 0.002 mm. The water content after 25 strokes corresponds to 32.6 %, the plasticity limit is 18.0 and the plasticity index is 14.6. The Proctor analysis demonstrates a maximum dry density of 1.80 g/cm³ with an optimal water content of 14.8 %. The shear test shows a friction angle of $\varphi = 28.77^\circ$ and a cohesion of $c = 0.287$ bar. The oedometric compressibility test gives an initial void index of $e_c = 0,621$, a pre-consolidation pressure of $\sigma'_p = 1,079$ bar, a compression index of $I_c = 0,0462$ and a swelling index of $c_g = 0,0066$. All these tests were carried out on samples taken from the Kénendé site, from the district of Kénendé. The results obtained from the study in fact, quiet accurately demonstrate that this particular soil is little bit swelling. This study presents a particularity, by providing a broad important information about the physical and mechanical characteristics of the soil from this area, as well as about challenges of durable construction within the region.

Keywords : *characteristics, physical, mechanical, coastal.*

I - INTRODUCTION

Le monde actuel est dans l'optique de l'atteinte de l'ODD 11 qui prône l'accès à un logement décent pour tous, à travers une construction durable. Selon coresponsable conseil cité par Kolié (2017), une construction durable exige : i) l'amélioration de la qualité de vie notamment : les performances sociale et sociétale qui renferme les critères de santé, de bien être, de confort, de service et d'économie ; ii) le respect de l'environnement tenant compte des enjeux du changement climatique, d'utilisation rationnelle de l'énergie et ressources naturelles, de la diminution du niveau de pollution, de dégradation de la nature et de biodiversité; iii) de la performance économique et iv) d'un management responsable basé sur la transparence des informations. Dans ce monde du 21e siècle qui migre vers les choix durables, le monde de la construction s'oriente

vers l'utilisation des matériaux composites au détriment des matériaux conventionnels. L'orientation vers l'utilisation des matériaux composites est un facteur de réduction des consommations d'énergie et d'émissions de CO₂ (Phung, 2018). Ces matériaux en terre crue permettent de réduire l'empreinte environnementale des bâtiments et s'avèrent s'adapter facilement aux conditions climatiques surtout dans une zone littorale où les vents sont chargés de vapeurs salées, un facteur dégradeur des constructions en béton. De plus, les propriétés mécaniques des matériaux de construction subissent une dégradation difficilement prévisible sous les contraintes environnementales (Hallonet, 2016). Les matériaux composites permettent non seulement de réduire l'empreinte environnementale des bâtiments, de s'adapter aux conditions climatiques mais aussi permettent de migrer vers l'utilisation des ressources renouvelables. D'un point de vue impact environnemental, la consommation énergétique durant la vie d'un bâtiment dépend de différents facteurs : les matériaux de construction, la construction, l'usage, la maintenance et la démolition ou fin de vie. Actuellement, pour la plupart des bâtiments, la quasi-totalité de la consommation énergétique est liée à son exploitation (l'usage). Cependant, l'évolution des bâtiments vers les hautes performances énergétiques entraîne une hausse de la part des matériaux de construction en défaveur de l'usage.

Mélangés les fibres aux sols à granulométrie étalée (un grand coefficient d'uniformité $C_u > 2$) sont recommandés à cause de leur structure permettant d'augmenter la densité de la bauge et donc sa résistance mécanique (Reeves et al., 2006 ; Watson et McCabe, 2011). Les particules de graviers, de sable et de limons sont destinées à former le squelette granulaire qui confère de la résistance au matériau (Boufflet et Jacoutot, 1982 ; Clark, 2013 ; Harries et al., 1995 ; Reeves et al., 2006 ; Saxton, 1995 ; Watson et McCabe, 2011). Les différents modes de construction en terre sont issus des traditions, des climats et des cultures des populations locales. Il existe une douzaine modes d'utilisation de la terre en construction dont les plus courantes sont : l'adobe, le pisé, la terre-paille, le torchis, les blocs comprimés et la bauge (Houben et al., 2006). Au-delà de cela, plusieurs raisons justifient l'attention que le monde de la construction porte sur l'utilisation des matériaux composites à base de terre et de fibres végétales. Les composites sont légères, résistantes et inoxydables et sont des matériaux hétérogènes constitués d'une matrice et d'un renfort. La combinaison de deux matériaux aux propriétés bien distinctes permet l'obtention d'un nouveau matériau aux propriétés hors du commun. Différents procédés de construction existent en France : en Bretagne et en Normandie, la bauge supplante les autres modes de construction en terre. Dans le Sud-Ouest, c'est l'adobe, une brique de terre moulée qui permet de réaliser des murs en maçonnerie. Dans le Nord et l'Est de l'hexagone, la technique

dominante relève du torchis-colombage, un mélange de terre et de fibres végétales maintenu dans une ossature porteuse, qui est généralement en bois. Dans la région Rhône Alpes, la technique privilégiée est le pisé, de la terre compactée entre des banches à l'aide d'un piseoir pour réaliser des murs monolithiques. La production et les mises en œuvre sont extrêmement variables en termes d'extraction et de préparation du matériau, mise en œuvre sur le chantier (Villain, 2020). Dans les pays en voie de développement, l'habitat en terre correspondrait à 50 % de la population rurale et au autour de 20 % de la population urbaine et périurbaine (Guillaud et Houben, cité par Villain, 2020). Par ailleurs, les populations de ces pays ont tendance à s'éloigner de ces modes de constructions. Au Burkina Faso, il ressort de l'étude réalisée par Paulus (2015) que la construction en terre n'est plus acceptée par les Ouagalais suite à son association avec « le matériau du pauvre » ; aux constructions en BTC mal conçues qui sont autant de mauvais exemples ; à la méconnaissance du matériau ; au prix élevé de la main d'œuvre ; à la stabilisation et à la conception non adaptées ainsi qu'à une qualité médiocre de la terre qui engendrent une non durabilité des constructions. Pour ce faire, il estime que la promotion des BTC devrait se faire au travers de bâtiments pilotes correctement conçus, c'est-à-dire avec des murs de 44cm d'épaisseur non enduits et une toiture de 29cm en voussettes protégée par une sur-toiture, et via des formations de maçons ainsi que des cours dans les universités.

Pour cet auteur, les principales causes du rejet du matériau terre et ces différentes démarches proposées en vue de vulgariser les BTC ne sont pas exclusives mais invitent à une réflexion globale sur les changements qu'il faudrait opérer dans la politique du logement au Burkina Faso afin de promouvoir les matériaux locaux auprès de la population. Dans le but de protéger l'environnement, de valoriser les ressources végétales et de trouver des solutions visant l'orientation vers les constructions durables, résistantes, plusieurs études sont réalisées sur la caractérisation des matériaux composites à base de terre et de fibres végétales. Ces études concluent sur des conclusions pouvant éclairer non seulement les scientifiques mais aussi le monde de la construction dans le choix des matériaux et l'avenir de l'utilisation de ces matériaux dans la construction. Comme affirme Gagné (2011), qui souligne que les concepteurs de projets sont constamment à la recherche de nouveaux matériaux plus performants, plus légers, plus durables et moins onéreux. Cet auteur, insinue que les matériaux composites représentent une avenue très intéressante pour plusieurs applications, vu que le choix de matériau est très populaire dans les domaines de l'aérospatial et de la réhabilitation de structures en béton armé. Claude Bathias et al (2005) s'intéressant aux caractéristiques des matériaux composites à base de terre et de fibres végétales, soulignent qu'on renforce un matériau afin de produire un matériau structural à la fois

léger, résistant et rigide, autrement dit possédant des propriétés spécifiques (rapport de résistance ou de rigidité à la densité très élevé). Selon cet auteur ci-haut, la rigidité de la matière n'est pas liée à la densité puisque la résistance de séparation des atomes est contrôlée par les électrons de valence à la périphérie et non par le noyau. Pour cette raison, des fibres de très haut module élastique sont fabriquées avec les éléments parmi les plus légers. L'utilisation des fibres végétales dans les constructions est à la fois historique et traditionnelle en Guinée. Les fibres végétales, les pailles, les lianes, les bois, etc. étaient parmi les principaux éléments constitutifs des matériaux de construction utilisés. Traditionnellement, les habitations étaient construites par les briques, appelées « adobe ou banco », soit de bauge et de bois. Ces briques étaient faites d'argile, de pailles, d'eau et de liquide visqueux issu d'une liane (lasi en manikan), mélangé pour en faire une pâte qui sera utilisée pour faire des briques dans les régions de la Haute et Moyenne Guinée et ou simplement utilisée avec des bois pour construire des habitations dans les régions de Basse et de la Guinée forestière. Avec l'effet de la mondialisation et le désir de se comparer aux réalisations des autres pays du monde, le monde de la construction guinéen migre vers l'utilisation des matériaux à base de briques en terre cuite et de béton.

Pourtant, les vents des côtes maritimes chargés de particules ont un effet dégradant sur les matériaux ou construction en béton, ce qui fait que toutes les constructions ou installations voient leurs durées de vie réduites (Massie, 2021). Même si on ne le voit pas à l'œil nu, le béton est composé d'alvéoles qui absorbent une partie de l'eau causée par les sels de déglacage (ibid.). La disponibilité de différentes terres et de fibres végétales en Guinée, constitue un atout pour le monde de la construction en Guinée de migrer vers les matériaux composites à base de terre et de fibres végétales. De plus, l'avantage des maisons en bauge ou des briques à base de terre et de fibres végétales font qu'elles sont des matériaux traditionnels de nos régions et sont composés des éléments naturels de sources locales, écologiques et renouvelables, dont leur fabrication demande moins d'énergie, donc de faible impact environnemental (UNICAEN, 2020). Cette idée de migration vers le choix des matériaux composites à base de terre et de fibres végétales se valide plus qu'en menant une étude de caractérisation des paramètres mécaniques et physiques de ces types de matériaux utilisés déjà par les guinéens dans la construction. Une telle étude permettrait de connaître le niveau de porosité, de rigidité, de légèreté, de durabilité, de longévité, d'adaptation climatique, etc. de ces matériaux par rapport aux types de matériaux convoités par la population guinéenne, particulièrement celle de la côte maritime. Le choix de la zone de Kenendé est motivé par l'orientation des habitants de Conakry et Dubréka vers cette zone à la recherche de terres utilisables dans la construction.

Le constat est que la plupart des constructions dans ces localités ne sont pas adaptées aux conditions climatiques, notamment les vents provenant de la mer, chargés de particules de sel qui dégradent progressivement des constructions en béton. Ladite étude axée sur l'identification des caractéristiques physiques et mécaniques des terres dans la zone côtière guinéenne, s'inscrit dans le cadre d'une thèse qui pourrait servir de source d'information sur les caractéristiques des terres de la zone visitée par les nombreux fabricants de brique de terre. Ainsi, l'obtention de ces connaissances capables de guider le choix de ces matériaux pousse à se poser les questions suivantes : Quelles sont les caractéristiques physiques et mécaniques des terres utilisées par la population de la Basse Guinée pour faire des briques, précisément la terre de Kenendé dans la préfecture de Dubréka? Pour répondre à cette question, nous nous sommes fixés pour objectifs d'apprécier les résistances mécaniques et physiques des éprouvettes préparées issu des matériaux composites à base de la terre de Kenendé. Spécifiquement, déterminer la nature de cette terre, les critères de porosité, de rigidité, de légèreté, de durabilité, de longévité, d'adaptation climatique, etc.

II - MATÉRIEL ET MÉTHODES

II-1. Identification du site de l'étude

Le travail a débuté par l'identification et la géolocalisation des sites de prélèvement, ainsi que par la description et le prélèvement d'échantillons de terre. Kenendé est une localité située dans la commune urbaine de Dubréka, dans la préfecture de Dubréka, à proximité de la mangrove. Dubréka se situe sur la côte de l'océan Atlantique, à une latitude de 10° 15' 0" N et une longitude de 13° 25' 0" O. Cette préfecture est bordée par l'océan Atlantique au sud-ouest, par la capitale Conakry au sud, par les préfectures de Kindia et de Coyah à l'est, par la préfecture de Boffa au nord-ouest, et par la préfecture de Fria au nord. Elle est composée de six (06) sous-préfectures : Bady, Falessade, Khorira, Wassou, Tanènè et Tondon. Dubréka présente des terrains plats au sud-est, au nord-ouest et à l'ouest, ainsi qu'une zone marécageuse. Le relief est dominé par le Mont Kakoulima, culminant à 1007 mètres d'altitude, et le Mont Dixinn, également connu sous le nom de "tête d'éléphant", atteignant 530 mètres. La préfecture de Dubréka a été choisie comme zone de prélèvement des échantillons en raison de sa proximité avec Conakry et de la forte probabilité d'y trouver différents types de sol, tels que des sols latéritiques, argileux et de mangrove. Le site de prélèvement sélectionné se trouve à Kenendé, dans une plantation de palmiers près de la mangrove, à une altitude de 9,774778 et une longitude de 13,505298.

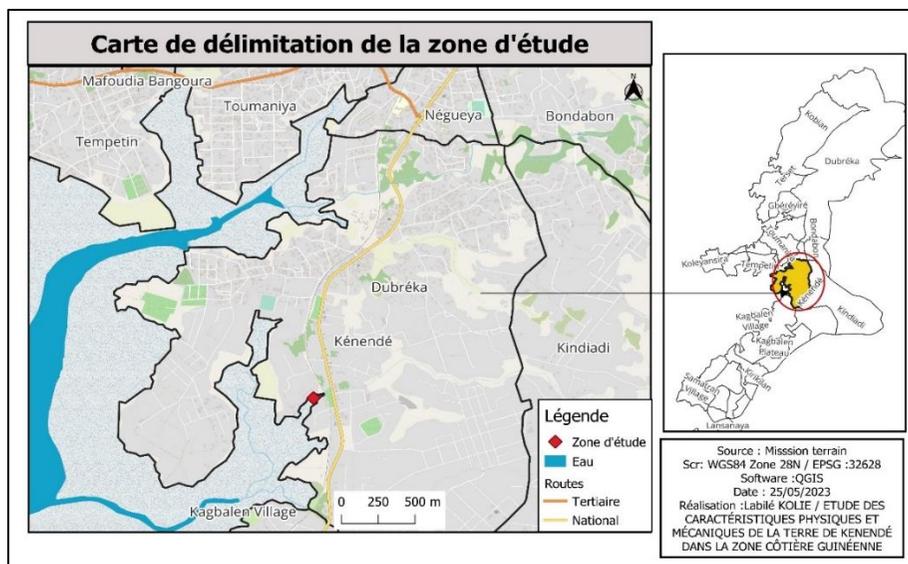


Figure 1 : Carte de localisation de la zone d'étude

II-2. Prélèvement des échantillons

Un prélèvement de 200 kg de terre a été effectué sur le site. Les échantillons ont été excavés à l'aide d'une houe, d'une pelle et d'une pioche, en désherbant la terre de haut en bas sur trois fronts de la carrière ouverte de Kenendé. Les échantillons récoltés sur les trois fronts ont été rassemblés, mélangés et après trois séries de quartage, une quantité représentative de 200 kilogrammes d'échantillon a été placée dans des sacs.

II-3. Analyses au laboratoire

II-3-1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique par tamisage a été réalisée conformément à la norme NFP 94-056, en utilisant des tamis à mailles carrées de dimensions comprises entre 100 mm et 0,080 mm. Pour les particules de dimensions inférieures à 0,080 mm, l'analyse a été effectuée par sédimentation selon la norme NF P94-057. Les matériels utilisés pour réaliser cet essai sont : un dispositif de lavage avec arroseur ; une colonne de tamis emboîtable avec couvercle et fond ; une balance électronique de précision 0,01g ; les bols ; l'étuve de dessiccation à température réglable ; le mortier avec pilon en caoutchouc et les brosses, pinceaux. Le mode opératoire suivi est le prélèvement d'une prise d'essai après quartage, pour la détermination de la masse nette humide et de la teneur en eau ; le trempage de l'échantillon pour bien séparer les particules ; le lavage au tamis 0,080 mm avec un tamis support de 2,5mm ; le séchage à l'étuve ; le tamisage et le pesage des refus.

II-3-2. Essais de limites d'Atterberg

L'essai des limites d'Atterberg est réalisé sur des échantillons de 0,40 mm de granulométrie. L'échantillonnage est effectué sur du matériau non séché à l'étuve, en prélevant une quantité suffisante pour obtenir 150 g de mortier pour chaque essai. Avant le tamisage, l'échantillon est immergé dans de l'eau pendant 24 heures dans un récipient étanche. Le tamisage est effectué manuellement, en remuant l'échantillon à l'aide d'un pinceau souple sur la toile tamisant. Le processus de tamisage a été accompagné par l'ajout d'un peu d'eau de lavage. Après décantation de l'eau de lavage, l'eau a été siphonnée avec précaution pour ne pas entraîner les éléments inférieurs à 0,40 mm et ensuite, l'échantillon a été mis à la température ambiante. La fraction des éléments à dimensions inférieures à 0,40 mm (à l'état pâteux) est soumise à l'essai des limites d'Atterberg après séchage et tamisage.

❖ *Limite de liquidité W_L (méthode de Casagrande)*

La limite de liquidité W_L est déterminée à l'aide de l'appareil de Casagrande. Une portion d'échantillon est placée dans une coupelle, dans laquelle une rainure est tracée préalablement à l'aide d'un instrument en forme de V. La coupelle est ensuite soumise à un certain nombre de coups pour fermer la rainure sur environ 1 cm. La teneur en eau de l'échantillon du sol est ensuite déterminée. Le même essai est répété 4 fois avec des teneurs en eau décroissantes et telles que le nombre de coups à chaque essai soit compris entre 15 et 35. Pour déterminer la limite de liquidité, on se base sur un graphique qui représente la teneur en eau (W) en fonction du logarithme du nombre de coups (N) nécessaires pour refermer une rainure de 1 cm de longueur. La limite de liquidité (W_L) correspond à la teneur en eau pour laquelle la rainure se ferme en 25 coups. Cependant, il est souvent difficile d'obtenir cette fermeture précisément en 25 coups, c'est pourquoi la limite de liquidité est lue directement sur le graphique pour $N = 25$ coups.

❖ *Limite de plasticité*

La Limite de plasticité W_p (Rolling-test) est déterminée par la procédure définie dans la norme (AFNOR, 2002).

II-3-3. Proctor modifié

Le but de l'essai Proctor est de déterminer la teneur en eau à laquelle le sol doit être compacté pour obtenir la densité sèche maximale. Un échantillon de 15 kg tamisé à l'aide de tamis à ouverture 5mm a été prélevé et divisé en 5 tas de 3 kg. Les matériels qui ont été utilisés lors de l'essai Proctor sont : le moule Proctor constitué par un tube cylindrique métallique de diamètre intérieur 10,15 cm et de hauteur 11,7 cm ; la dame standard est constituée par un mouton

cylindrique de 5,1 cm de diamètre guidé par une tige à l'intérieur d'un fourreau sur une certaine de centimètre de longueur. Le poids du mouton pour le Proctor modifié est 2,49 kg et sa hauteur de chute est 30,5 cm ; des truelles et des spatules pour le malaxage ; une balance sensible au gramme près, d'une portée maximum au moins égale à 20 kg et une balance de précision égale à 0,01g ; des tars et une étuve de portée 105°C. La mise en œuvre de l'essai Proctor a commencé par la préparation de l'échantillon, sur la table de malaxage. L'échantillon est d'abord arrosé par la quantité d'eau approximativement nécessaire au premier compactage, ensuite, il a subi un malaxage pour obtenir une humidification uniforme de la masse. Le processus de compactage se déroule en cinq étapes, où chaque couche d'environ 2,5 cm d'épaisseur reçoit 55 coups de dame. Une fois le compactage terminé, la partie supérieure du moule est retirée pour peser l'éprouvette et obtenir le poids précis de l'échantillon, avec une précision d'un gramme. Ce processus est répété sur cinq échantillons identiques, chacun ayant reçu une quantité d'eau différente.

II-3-4. Essai : « California Bearing Ratio » (CBR)

L'opération de l'Essai CBR a commencé par le tamisage des échantillons à l'aide de tamis à ouverture 5mm. Après le tamisage, 16 kg ont été mesurés et utilisés dans cet essai. L'échantillon est pesé avec le moule, ensuite, la quantité de terre qui est mise dans le moule est déterminée après soustraction du poids du moule. La quantité d'eau utilisée est celle de l'optimum Proctor. Ce volume d'eau est ajouté à l'échantillon, ensuite malaxé, une main (500ml) d'échantillon de terre est mis dans le moule, pour recevoir 55 coups. Successivement, cinq couches, sont compactées avec le même nombre de coups. Après le compactage, l'échantillon est pesé avec le moule. Les mêmes procédures sont répétées pour 25 coups et 10 coups. La prochaine étape consiste à immerger les moules remplis de terre compactée pendant quatre jours. Pour mesurer la déformation de l'échantillon, un comparateur et une charge sont placés sur l'éprouvette, puis l'ensemble est immergé dans l'eau. Après les quatre jours d'immersion, les variations sont lues et les moules avec leur contenu sont retirés de l'eau. Les échantillons prélevés dans les tares, pesés sont mis à l'étuve puis repesés pour déterminer les teneurs en eau.

II-3-5. Essai de cisaillement

Cet essai est réalisé sur trois éprouvettes fabriquées à partir du même sol. Ces éprouvettes sont placées chacune dans une boîte de cisaillement constituée de deux demi boîtes indépendantes, respectivement sous les charges : 1 bar, 2 bars et 3 bars. Le plan de séparation des deux demi boîtes constitue un plan de glissement correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette. Il consiste à : l'appliquer sur la face supérieure de l'échantillon un effort vertical maintenu

constant pendant toute la durée de l'essai ; après consolidation de l'éprouvette durant 24 heures sous l'effort vertical, produire un cisaillement dans l'éprouvette suivant le plan horizontal de glissement des deux demi boîtes l'une par rapport à l'autre en leur imposant un déplacement relatif à vitesse constante ; mesurer l'effort horizontal de cisaillement correspondant ; tracer la droite intrinsèque (contrainte normale - contrainte de cisaillement) et déterminer l'angle de frottement interne φ ($^{\circ}$) et la cohésion C (bar).

II-3-6. Essai de compressibilité œdométrique

L'essai est effectué sur une éprouvette placée dans une enceinte cylindrique rigide. Un dispositif est appliqué sur cette éprouvette exerce un effort axial vertical, l'éprouvette étant drainée en haut et en bas est maintenue saturée d'eau pendant l'essai. La charge est progressivement augmentée puis diminuée par paliers, selon un programme établi. Les variations de hauteur de l'éprouvette sont mesurées à l'aide de deux comparateurs pendant l'essai, après une durée d'application de la charge de 24 heures. La moyenne des mesures de la variation de la hauteur de l'éprouvette est ensuite calculée.

III - RÉSULTATS

III-1. Analyse granulométrique

Les *Tableaux* et *Figure* ci-après, présentent, les informations sur les différentes composantes de la terre de Kenendé.

Tableau 1 : Taux des composantes de la terre de Kenendé

Cailloux(%)	Gravier(%)	Sable(%)	Silt & Argile(%)
0	16	49	35

Tableau 2 : Analyse Granulométrique (Norme NF P EN ISO 14688-2)

Analyse Granulométrique										NF P 94-056 & NF P 94-057							
Tamis (mm)	20	16	12,5	8	5	2,5	1,25	0,75	0,25	0,15	0,075	0,04	0,02	0,01	0,006	0,003	0,0015
Tamisât (%)	100	89	88	88	87	85	80	69	54	41	35	21	12	5	3	3	3

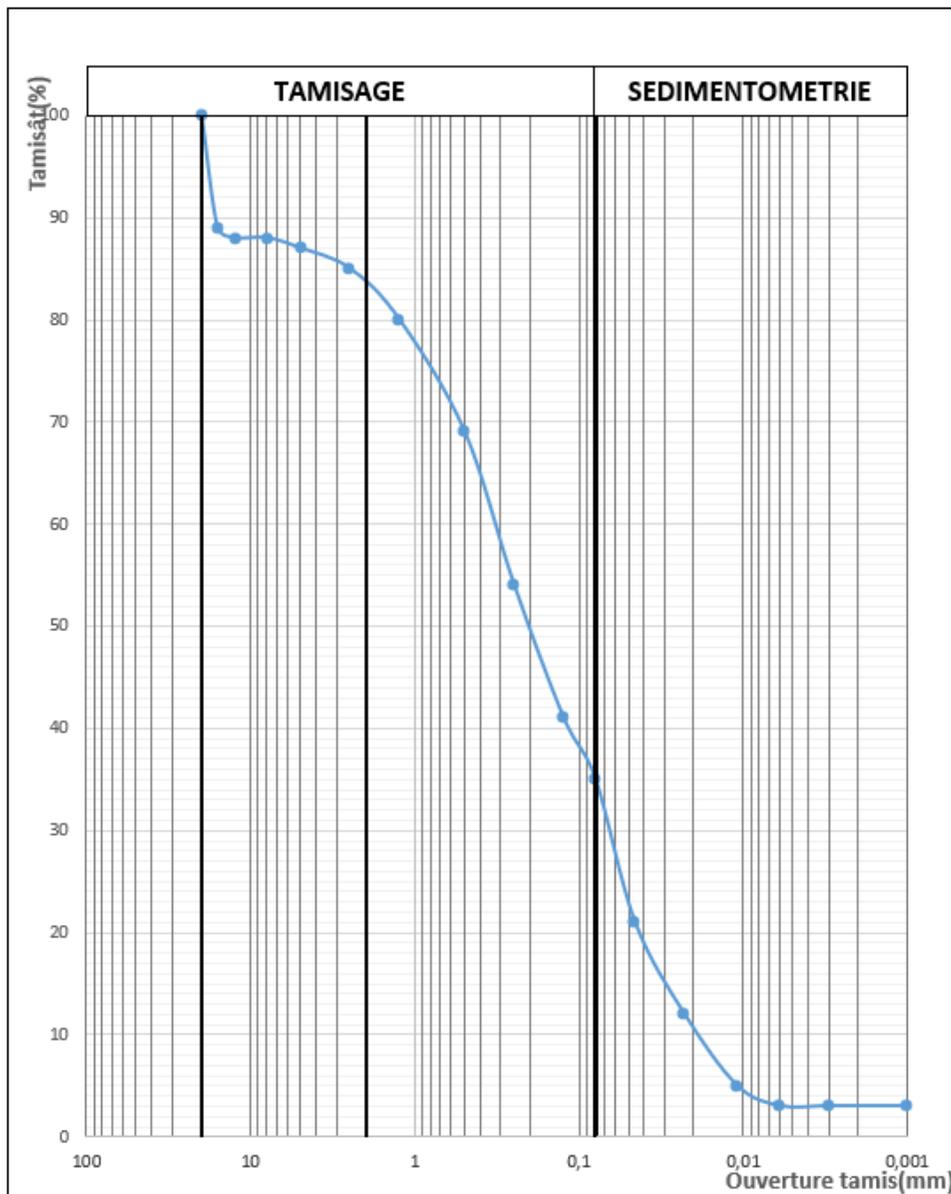


Figure 2 : *Courbe granulométrique*

La détermination de la composition granulométrique est nécessaire pour décider de beaucoup de questions pratiques et en particulier la dénomination précise du sol selon la classification, ce qui donne la possibilité de juger des propriétés mécaniques du sol. Cette méthode est utile pour estimer la perméabilité, évaluer la capacité du sol à être utilisé comme remblai, digue ou corps de barrage, déterminer la taille optimale des orifices des filtres, évaluer la qualité des sols meubles en tant que matériau de construction et agrégat pour béton.

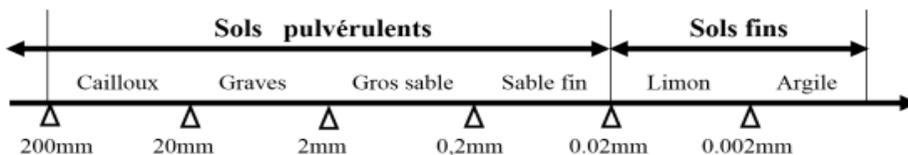


Figure 3 : *Diamètre de grains décroissant*

La **Figure (1)** montre la teneur élevée de la terre de Kenendé en sable avec la présence de quelques fractions d'argile, ce qui amène à classer cette terre dans la catégorie des sols fins.

III-2. Limites d'Atterberg

Les limites d'Atterberg permettent de fournir des données essentielles sur la mécanique des sols. Elles consistent à estimer l'étendue du domaine de plasticité et éventuellement de cohésion des sols plus ou moins argileux, tels que limons, glaises et sable argileux. (Yaon, 2017).

Tableau 3 : *Limites d'Atterberg (NF P 94-051)*

Limites d'Atterberg					NF P 94-051	
Nombre de coups	17	21	25	29	Limite de liquidité WL (%)	32,6
Teneur en eau(%)	33,79	33,19	32,6	31,98	Limite de plasticité WP (%)	18,0
					Indice de plasticité IP (%)	14,6

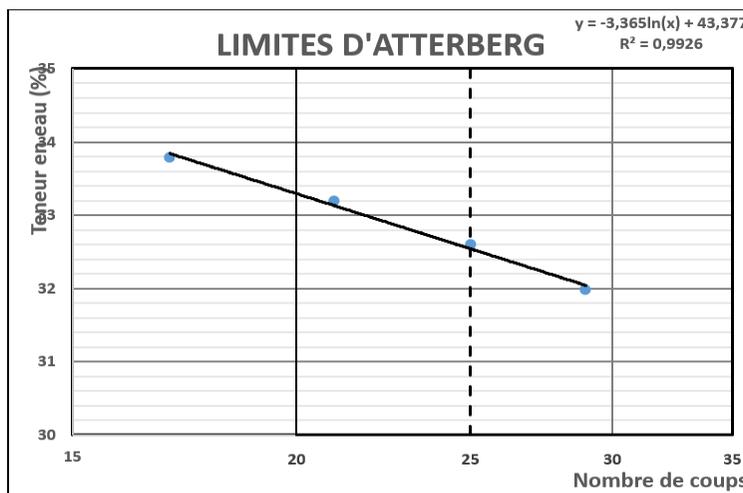


Figure 4 : *Courbe de l'essai de limites d'Atterberg*

L'analyse de la **Figure (3)** des essais de limites d'Atterberg de l'échantillon de Kenendé, à 25 coups donne les teneurs en eau, suivantes :

- limite de liquidité est de 32,6 ;
- la limite de plasticité 18,0 ;
- et l'indice de plasticité 14,6.

Le **Tableau** ci-dessous, est la synthèse des analyses granulométriques et Limites d'Atterberg qui nous a permis de déterminer le type de sol.

Tableau 4 : Synthèse des analyses granulométriques et limites d'Atterberg

Analyse granulométrique				Limite d'Atterberg		
Tamisât (%)				WL	WP	IP
50	20	2	0,08			
100	100	84	35	32,6	18,0	14,6

Selon la norme NFP EN ISO 14688-21, le sol est du type « Sable argileux ».

III-3. Proctor modifié

Le compactage modifie la structure du sol et la répartition des graines du sol. Cela se fait en utilisant l'eau, avec un dosage contrôlé. Il s'agit de diminuer la porosité. Le but de l'essai Proctor est de déterminer la teneur en eau à laquelle doit être compacté un sol pour obtenir la densité sèche maximale.

Tableau 5 : Essai proctor modifié (NF P 94-093)

ESSAI PROCTOR Modifié						^^	
Teneur en eau (%)	10,06	12,39	14,29	16,25	17,97	Teneur optimale (%)	14,80
Densité sèche (g/cm ³)	1,67	1,77	1,80	1,78	1,74	Densité maximale (g/cm ³)	1,800

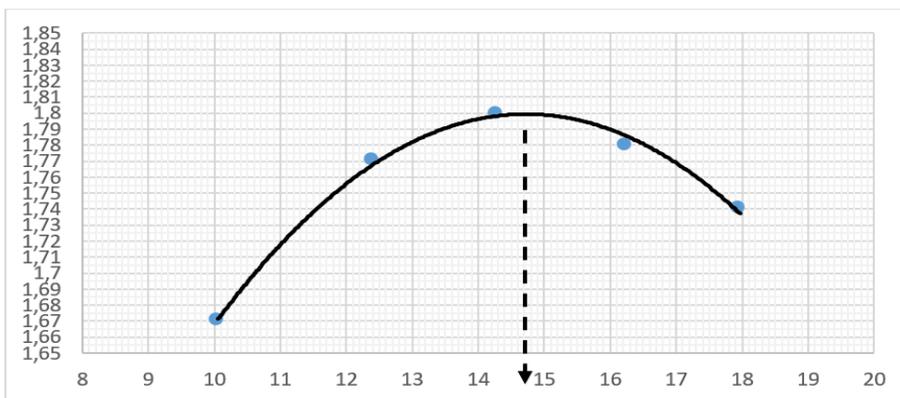


Figure 5 : Courbe de l'essai proctor modifié (NF P 94-093)

D'après l'analyse Proctor de l'échantillon de Kenendé, la densité sèche maximale est de 1,80 g/cm³ avec une teneur en eau optimale de 14,8 %. Cela signifie que pour obtenir une compaction maximale des grains dans une éprouvette, il est recommandé de la fabriquer avec une teneur en eau de 14,8 % et en utilisant l'énergie de Proctor pour cette densité.

III-4. Essai : « California Bearing Ratio » (CBR)

L'essai CBR, mesure la résistance à l'effort tranchant d'un sol et le gonflement du sol lorsqu'il est immergé dans l'eau pendant 4 jours. Il nous permet de calculer la portance du sol, en connaissant sa résistance au poinçonnement.

Tableau 6 : Essai: « California Bearing Ratio » (CBR)

CBR		Immersion 4 jours				CBR à 95 % OPM
Nombre de coups/couche	CBR	Y _d (g/cm ³)	W (%) avant	W (%) après	gonf. (%)	8
55	19,60	1,86	13,94	14,73	0,087	
25	9,35	1,76	13,94	15,09	0,098	
10	6,40	1,63	13,94	15,86	0,126	

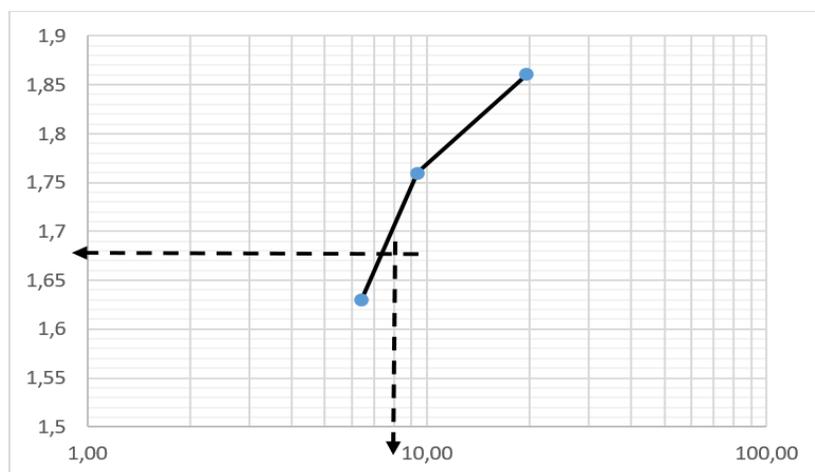


Figure 6 : Courbe de l'essai : « California Bearing Ratio » (CBR)

L'essai CBR de l'échantillon de Kenendé, donne un indice portant CBR à 95 % de l'optimum Proctor, égal à 8. A cette valeur correspond une densité sèche de 1,71g/cm³. Pour l'énergie à 55 coups par couche, et après quatre (04) jours d'immersion, on obtient un gonflement relatif de 0,087 %. Quant à 10 coups par couche, et après quatre (04) jours d'immersion, on obtient un gonflement relatif de 0,126 %.

III-5. Essai de cisaillement

Les résultats de l'essai de cisaillement sont portés dans le *Tableau* et sur la *Figure* ci-après :

Tableau 7 : Essai de cisaillement rectiligne (NF P 94-071-1)

Eprouvette N°	I	II	III
Contrainte normale	1	2	3
Tassement	0,104	0,156	0,207
Teneur en eau	15,87	16,15	15,56
Desité sèche	1,71	1,60	1,79
Résistance au cisaillement	0,836	1,385	1,934

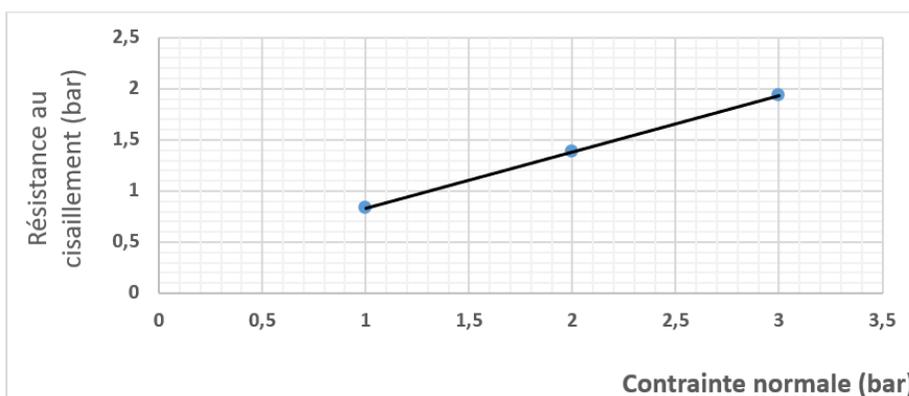


Figure 7 : Courbe de l'essai de cisaillement rectiligne (NF P 94-071-1)

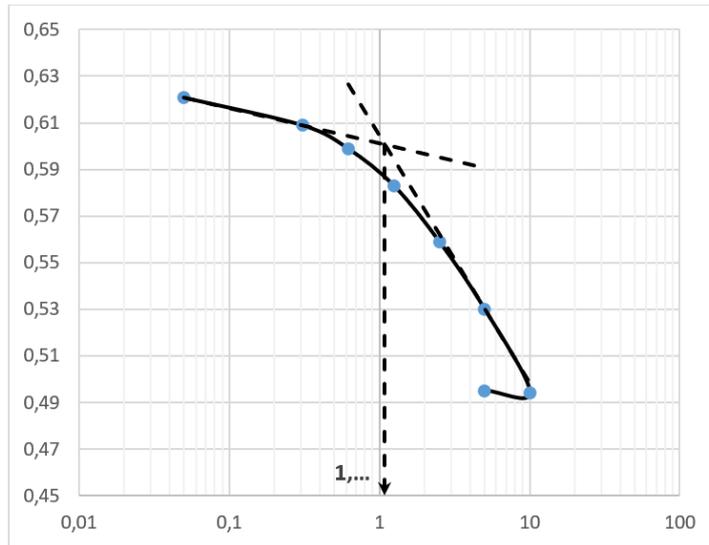
La résistance de cisaillement τ agit dans le plan de rupture (surface d'un matériau), tandis que la contrainte appliquée est constante et perpendiculaire à celui-ci. Suite à l'essai de cisaillement de l'échantillon prélevé à Kenendé, l'angle de frottement a été mesuré à $\varphi = 28,77^\circ$ et la cohésion à $c = 0,287$ bar. Ces résultats indiquent que ce sol est principalement caractérisé par une résistance de frottement.

III-6. Essai de compressibilité œdométrique

La capacité d'un sol de diminuer de volume sous l'action des forces extérieures dépend du type, de la structure et de l'état du sol. L'essai de compressibilité œdométrique sur l'échantillon prélevé à Kenendé a donné un indice de vide initial $e_c = 0,621$, une pression de préconsolidation $\sigma'_p = 1,079$ bar, un indice de compression $c_c = 0,0462$ et un indice de gonflement $c_g = 0,0066$.

Tableau 8 : Indice des vides

Contrainte (bar)	0,05	0,31	0,62	1,25	2,5	5	10	5
Indice des vides	0,621	0,609	0,599	0,583	0,559	0,530	0,494	0,495

**Figure 8 : Courbe œdométrique****Tableau 9 : Caractéristiques de l'éprouvette et résultats de compressibilité**

Caractéristiques de l'éprouvette			
Poids spécifique.	$\gamma_s =$	2,74	g/cm^3
Densité humides.	$\gamma_h =$	1,94	g/cm^3
Densité sèche.	$\gamma_d =$	1,69	g/cm^3
Teneur en eau.	$W(\%) =$	14,74	
Résultats			
Indice des vides initial	$e_0 =$	0,621	
Pression de consolidation	$\sigma'_p =$	1,079	
Indice de compression.	$C_c =$	0,0462	
Indice de gonflement	$C_s =$	0,0066	

IV - DISCUSSION DES RÉSULTATS

Dans le cadre de la présente étude, l'analyse granulométrique a fait comprendre que 16 % de l'échantillon était gravier dont le diamètre est supérieur à 20mm, 49 % était du sable qui a un diamètre compris entre 0,050 mm et 2 mm et le taux de 35 % pour le silt et l'argile dont le diamètre commence de 0,050 à 0,002 mm. Par ailleurs, *Costi de Castrillo et al., (2017)*

suggèrent que la teneur en argile/limon pour la production d'adobe devrait être comprise entre 5 et 70 %. Dao *et al.*, (2018) ont utilisé un sol qui se compose de 4,7 % de sable grossier, 37,9 % de sable fin (20-200 m), 22,7 % de limon (2-20 m) et 29,9 % d'argile. L'échantillon de Kenendé présente un taux d'argile et limon (35%) est comprise dans l'intervalle proposé par Costi de Castrillo *et al.*, (2017). En se référant au choix fait par Dao *et al.*, (2018) qui a utilisé un échantillon contenant 29,9 % d'argile, le taux d'argile de l'échantillon de Kenendé qui concerne notre étude est largement supérieur (35 %). Quant à l'étude de Houben *et al.*, (1996) pour la construction de blocs de terre compressée, ces auteurs recommandent un sol contenant : 0-40 % de gravier, 25-80 % de sable, 10-25 % de limon et 8-30 % d'argile. L'échantillon de Kenendé est situé également dans les intervalles recommandés par ces derniers. Partant de ces analyses, la présence de graviers dans la composition des terres destinées à la confection des briques n'est pas une nécessité, mais demande la présence d'une certaines proportions d'argile, du sable et du limon. Les travaux de laboratoire ont donné, la teneur en eau à 25 coups est de 32,6, avec une limite plasticité de 18,0 % et un indice de plasticité de 14, 6 %.

Pour Alshihabi (2002), dans le cadre de sa thèse sur l'influence des cycles de séchage- humidification, ses résultats d'analyse labo donne une limite de plasticité 28 % avec un indice de plasticité de 16 %. L'échantillon étudié par Alshihabi donne une limite de plasticité largement supérieure (28 %) à celle de l'échantillon de Kenendé (18 %). Il en est de même pour l'indice de plasticité de l'échantillon de cet auteur (16 %) qui dépasse celle de l'échantillon Kenendé (14 %) de 2 %, pour l'échantillon de Kenendé. Brian *et al.*, ont étudié l'effet de séchage humidification sur le potentiel de gonflement pour plusieurs sols ayant un indice de plasticité (I_p) compris entre 11 et 46. L'analyse Proctor a donné une densité sèche maximale de $1,80\text{g/cm}^3$ avec une teneur en eau optimale de 14,8%. Ce qui veut dire, pour avoir un serrage maximum des graines pour une éprouvette, il faut la confectionner à la teneur 14,8% à l'énergie du Proctor pour cette densité. L'essai de cisaillement sur les échantillons de la terre de Kenendé a donné un angle de frottement $\varphi = 28,77^\circ$ et une cohésion $c = 0,287$ bar. Cela sous-entend que ce sol est essentiellement frottant. L'essai de compressibilité œdométrique a donné un indice des vides initial $e_c = 0,621$, une pression de préconsolidation $\sigma'_p = 1,079$ bar, un indice de compression $c_c = 0,0462$ et un indice de gonflement $c_g = 0,0066$.

V - CONCLUSION

Ce travail a pour objectif de déterminer les propriétés physiques et mécaniques de la terre utilisée par les briquetiers de Kenendé, à travers une démarche méthodologique comprenant l'identification des sites de prélèvement, le prélèvement d'échantillons et les essais en laboratoire. Les caractéristiques de cette terre sont évaluées à travers une série d'essais, notamment la granulométrie, les limites d'Atterberg, le Proctor modifié, le CBR, le cisaillement et la compressibilité œdométrique. Malgré les performances satisfaisantes de cette terre dans la pratique de la fabrication de briques, il est à noter qu'elle présente une faible capacité de gonflement, ce qui peut constituer un inconvénient pour son utilisation dans la construction. De plus, le site de prélèvement se trouve à proximité de la mangrove, qui est une zone humide protégée au niveau national et international.

RÉFÉRENCES

- [1] - ABIS CHRISTELLE, STI2D : Caractérisation des matériaux. Ressource pédagogique, (2015)
- [2] - African Pegmatite, Différents types d'argile utilisés dans la fabrication de la céramique. consulté le 17 juillet 2022 sur : <https://mineralmilling.com/fr/differents-types-dargile-utilises-dans-la-fabrication-de-ceramiques/>, (2020)
- [3] - BOUGHAZI DALAL et GRINE SIHEM, Étude expérimentale des facteurs de variation des limites d'Atterberg. Mémoire de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme : Master Académique en Géologie Option : Génie géologique. Université Mohammed Seddik Benyahia-Jijel, (2017) 66 p.
- [4] - DIAA MEREIB, Fabrication et caractérisation des matériaux composites lamellaires à matrice Ti et TA6V Sous la direction de Jean-Louis BOBET et de Michel NAKHL Et l'encadrement de Jean-François SILVAIN et de Mirvat ZAKHOUR, pour obtenir le grade de docteur de l'université de bordeaux et de l'université libanaise école doctorale des sciences chimiques et école doctorale des sciences et technologies spécialité : physico-chimie de la matière condensée, (2018) 171 p.
- [5] - HOUBEN, HUGO, H. GUILLAUD, M. DAYRE et I. Centre de recherche et d'application pour la construction en terre (Grenoble : Villefontaine), Traité de construction en terre. Marseille : Éd. Parenthèses, (2006)
- [6] - LIONEL GENDRE, Les grandes familles de matériaux composites. L'université Paris-Saclay. Adresse : Bâtiment Bréguet, 3 Rue Joliot Curie 2e ét, 91190 Gif-sur-Yvette, France. Edité le 04/05/2011, (2011) 8 p.

- [7] - DJEBLOUN YOUCEF, Structure schématique d'une fibre végétale [17]. Contribution à la caractérisation des matériaux composites renforcés de fibres végétales. Soutenue publiquement le 28/10/2018, (2018)
- [8] - E. BRETAGNE, Éco-matériaux : les enjeux et les problématiques pour la mécanique. Université de Picardie Jules Verne, Laboratoire des Technologies Innovantes (LTI, EA 3899), équipe IMaPIUT de l'Aisne, 15 avenue F. Mitterrand, F-02880 Cuffies, estelle.molines@u-picardie.fr, (2009)
- [9] - IDRISSE TOCKOL, Contribution à l'étude des graveleux latéritiques dans les pays du Sahel : cas des routes non revêtues. Thèse de NI.Sc.A. (Génie civil). Université de Moncton, Nouveau-Brunswick, Canada, (1993) 225 p.
- [10] - DOLIN FLERMOND RATSIFAREHANDAHY, MAMIHARIJAONA RAMAROSON, RAJAONAH RABEVALA, et RANDRIAMALALA TIANA RICHARD, étude de la stabilisation de latérite par les liants, végétaux locaux et additifs pour la construction routière. *Am. J. innov. res. appl. sci.*, ; 11(3) (2020) 180 - 186, Hernot F, l'argile, son utilisation à l'officine, thèse doctorat université angers, (2016) 116 p., <https://www.cnrtl.fr/definition/chaux>
- [11] - G. PHILIPPONNAT et B. HUBERT, Fondations et ouvrages en terre, éditions Eyrolles, (2003) 548 p.
- [12] - SOPHIE, Tout savoir sur l'argile : quelle argile choisir pour quel usage ? Publié le vendredi 26 juin 2020 et consulté le 17 juin 2022 sur : <https://blog.lafourche.fr/tout-savoir-sur-l-argile-quelle-argile-pour-quel-usage>, (2020)
- [13] - ZONDJ'E POANGUY BERNADIN BOHI, Caractérisation des sols latéritiques utilisés en construction routière : cas de la région de l'Agneby (Côte d'Ivoire). Mécanique des matériaux [physics.classph]. Ecole des Ponts ParisTech, Français, (2008)
- [14] - TUAN ANH PHUNG, Formulation et caractérisation d'un composite terre-fibres végétales : la bauge. Génie civil. Normandie Université. Français. ffNNT : 2018NORMC219ff. fftel-01938827f, (2018) 180 p.
- [15] - LABILE KOLIE, Analyse du système de normalisation des constructions civiles sur la côte maritime guinéenne. Université Gamal Abdel Nasser de Conakry. Centre Océanographique de Conakry Rogbané, (2017) 58 p.
- [16] - ANNE HALLONET, Développement et caractérisation d'un matériau composite à base de fibres de lin : application au renforcement de structures en béton par collage externe. Matériaux. Université de Lyon, Français. ffNNT : 2016LYSE1111ff. fftel-01402139f., (2016) 259 p.
- [17] - VI VI DO THI DO THI, Matériaux composites à fibres naturelles / polymères biodégradables ou non. Alimentation et Nutrition. Université

- de Grenoble; Université des Sciences Naturelles d'Ho Chi Minh Ville, (2011). Français. (NNT : 2011GRENA012)
- [18] - BUTTIN GUILLAUME, Le béton, mis au défi des enjeux environnementaux. Publié le 25 mai 2020. Consulté le 09 janvier 2023 sur : <https://www.lafabriqueecologique.fr/le-beton-mis-au-defi-des-enjeux-environnementaux/>, (2020) 14 p.
- [19] - VINCENT GAGNÉ, Utilisation de profilés en matériaux composites dans les lignes aériennes de transport d'énergie électrique. Université de sherbrooke. Faculté de génie Département de génie civil, (2011) 192 p.
- [20] - DO THI VI VI, Matériaux composites fibres naturelles/polymères biodégradables ou non. These pour obtenir le grade de docteur de l'université de grenoble et de l'université des sciences de hochiminh ville, Spécialité : Matériaux Polymères et Composites Arrêté ministériel : 7 août 2006, (2011) 189 p.
- [21] - CLAUDE BATHIAS et COLL, Matériaux composites. Dunod, Paris, 2005, 2009, 2020 pour la nouvelle présentation 11 rue Paul Bert, 92240 Malakoff ISBN 978-2-10-081163-2, (2005) 30 p.
- [22] - TAHAR MASRI, Contribution au développement des matériaux de construction à base des sous-produits du palmier dattier. Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en sciences : Génie mécanique Option : Génie Mécanique. Université Mohamed Khider – Biskra Faculté des Sciences et de la technologie récupéré sur : https://www.researchgate.net/publication/326190547_Contribution_au_developpement_des_materiaux_de_construction_a_base_des_sous-produits_du_palmier_dattier., (2018) 171 p.
- [23] - CAEN NORMANDIE, La bauge : un matériau d'avenir. Échosciences Normandie. Publié le 23 septembre 2020, sur : <https://www.echosciences-normandie.fr/articles/la-bauge-un-materiau-d-avenir>, (2020).
- [24] - PAVAGE MASSIE, Sels et abrasifs : les effets sur le pavage et le béton. 48 Rue de Granby, Gatineau, QC, J8R 3X6. Régie du bâtiment, Québec. Publié le 8 novembre 2021, sur : <https://www.pavagemassie.ca/fr/sels-et-abrasifs-les-effets-sur-le-pavage-et-le-beton-2>, (2021)
- [25] - GUILLAUD HUBERT et HOUBEN HUGO, Traité de construction en terre, op. cit., 16 p.
- [26] - VICTOR VILLAIN, Sociologie du champ de la construction en terre crue en France (1970-2020). Science politique. Université de Lyon. Français. ffNNT : 2020LYSE2067ff. fftel-03115679v2f, (2020)
- [27] - DIAA MEREIB, *Fabrication et caractérisation des matériaux composites lamellaires à matrice Ti et TA6V*. Sous la direction de Jean-Louis BOBET et de Michel NAKHL Et l'encadrement de Jean-François SILVAIN et de Mirvat ZAKHOUR, pour obtenir le grade de docteur de

- l'université de bordeaux et de l'université libanaise école doctorale des sciences chimiques et école doctorale des sciences et technologies spécialité : physico-chimique de la matière condensée, (2018) 171 p.
- [28] - LIONEL GENDRE, Les grandes familles de matériaux composites. L'université Paris-Saclay. Adresse : Bâtiment Bréguet, 3 Rue Joliot Curie 2e ét, 91190 Gif-sur-Yvette, France. Edité le 04/05/2011, (2011) 8 p.
- [29] - HOUBEN, HUGO, H. GUILLAUD, M. DAYRE et I. *Centre de recherche et d'application pour la construction en terre (Grenoble : Villefontaine)*. Traité de construction en terre. Marseille : Éd. Parenthèses, (2006)
- [30] - DJEBLOUN YOUCEF, Structure schématique d'une fibre végétale [17]. Contribution à la caractérisation des matériaux composites renforcés de fibres végétales. Soutenue publiquement le 28/10/2018, (2018)
- [31] - IDRISSE TOCKOL, Contribution à l'étude des graveleux latéritiques dans les pays du Sahel : cas des routes non revêtues. Thèse de NI.Sc.A. (Génie civil). Université de Moncton, Nouveau-Brunswick, Canada, (1993) 225 p.
- [32] - ZONDJ'E POANGUY BERNADIN BOHI, Caractérisation des sols latéritiques utilisées en construction routière : cas de la région de l'Agneby (Côte d'Ivoire). Mécanique des matériaux [physics.classph]. Ecole des Ponts ParisTech. Français, (2008)
- [33] - DOLIN FLERMOND RATSIFAREHANDAHY, MAMIHARIJAONA RAMAROSON, RAJAONAH RABEVALA et RANDRIAMALALA TIANA RICHARD, Étude de la stabilisation de latérite par les liants, végétaux locaux et additif pour la construction routière. *Am. J. innov. res. appl. sci.*, 11 (3) (2020) 180 - 186
- [34] - LE ROBERT, le dico en ligne. Caractériser. Consulté le 25 Mai 2022 sur : <https://dictionnaire.lerobert.com/definition/caracteriser>
- [35] - CNRTL, Définition de caractérisation. Consulté le 25 Mai 2022 sur : <https://www.cnrtl.fr/definition/caracteriser>