



Full Length Research Paper

Caractérisation du sol de Nkayi, République du Congo.

Nice Ngouallat Mfoutou^{1,2,5}, Narcisse Malanda^{1,3*}, kris Berjovie Maniongui¹, Christ Ariel Ceti Malanda³,
Erman Eloge Nzaba Madila⁴, Paul Louzolo-Kimbembe^{1,5}

¹Université Marien Ngouabi, Ecole Nationale Supérieure Polytechnique, Brazzaville, Congo.

²Institut Nationale de Recherche en Science de l'Ingénieur, Innovation et Technologie (INRSIIT)

³Université Denis Sassou Nguesso, Institut Supérieur d'Architecture, d'Urbanisme, de Bâtiment et Travaux Publics, Brazzaville, Congo

⁴Université du Québec à Trois-Rivières, Institut de recherche pour l'hydrogène, Québec, Canada.

⁵Université Marien Ngouabi, Ecole Normale Supérieure, Brazzaville, Congo.

Received February 2023 – Accepted October 2023



*Corresponding author. Nar6malanda@gmail.com / n.ngouallat@gmail.com

Author(s) agree that this article remain permanently open access under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 International License.

Résumé :

La terre reste le matériau principal pour la construction des habitations dans les départements de la Bouenza. Les caractéristiques géotechniques du sol de Nkayi ont montré que ce sol est fin et argileux et idéal pour la production des briques en terre, avec une teneur en eau optimale de 15%. Les analyses infrarouges et DRX ont montré que ce sol est principalement constitué de kaolinite et de géothite. L'analyse MEB a montré une microstructure en agrégats séparés, une texture ouverte. L'adsorption physique d'azote a montré que ce sol a une surface spécifique BET de 32,8433 m²/g et la présence d'une porosité tridimensionnelle de mésopores centrée vers 5,2 nm, vers 7 nm et vers 12,5 nm. Ce sol possède un potentiel promoteur dans le secteur de la construction en terre.

Mots clés: Caractérisation, géotechnique, physicochimique, minéralogique, sol, Nkayi, Congo

Cite this article :

Nice Ngouallat Mfoutou, Narcisse Malanda, Erman Eloge Nzaba Madila, Paul Louzolo-Kimbembe (2023). Caractérisation du sol de Nkayi, République du Congo. Revue RAMReS – Sci. Appl. & de l'Ing., Vol. 5(1), pp. 113-121. ISSN 2630-1164.

1. Introduction

Le continent africain, avec un taux de croissance annuel moyen de 5% sur la dernière décennie, comptera 1,5 milliards d'habitants dont 50% d'habitants urbains à l'horizon 2050 [1].

Ce dynamisme démographique s'accompagne de défis majeurs à relever pour améliorer les conditions de vie des populations telles que le déficit de logements et des infrastructures. On estime que près d'un tiers de la population mondiale vit dans une habitation en terre. Environ 50% de la population des pays en développement, et au moins 20% de la population urbaine, vivent dans des maisons de terre [2].

En République du Congo, la terre reste le matériau principal dans la construction des habitations dans les départements de la Bouenza, du Niari, de la Lekoumou, de la Sangha et de la Likouala. L'analyse, selon les départements, montre que la construction en brique de terre prédomine dans la Bouenza (76,3%) et le Niari (60,6%), 52,0% des ménages dans la Cuvette et 50,0% dans les Plateaux ont des logements dont les murs sont en torchis [3].

La terre, utilisée comme matériau dans la construction possède des atouts tel que la disponibilité et la gratuité. Selon l'UNESCO "construire en terre, c'est défendre le droit de mettre en œuvre un matériau de construction naturel et écologique, abondant, facilement disponible et accessible au plus grand nombre, afin de permettre aux plus démunis de bâtir leurs habitats avec ce qu'ils ont sous les pieds" [4].



Figure 1: Four des briques dans la Bouenza

Le sol du département de la Bouenza est le matériau principal utilisé dans construction dans ce département (figure 1). L'habitation et la construction sont constituées majoritairement des matériaux en terre (brique crue et brique en terre cuite). Pour améliorer la durabilité des maisons, le ciment est utilisé comme mortier. Parfois une construction associant la terre et le ciment est employée, permettant ainsi de réduire la consommation en ciment. Cependant, il n'existe pas dans la littérature des travaux rendant compte des caractéristiques de ce sol à potentiel très promoteur dans le secteur de la construction en terre. L'objectif de ce travail est de mettre à la disposition des entreprises, des chercheurs et des ingénieurs des données scientifiques sur les caractéristiques géotechniques et physico-chimique de ce sol, ce qui est une contribution dans la quête d'amélioration de la qualité et la durabilité des produits issus de cette terre dans la construction.

2. Matériels et méthodes

2.1. Site de prélèvement du sol

La terre est prélevée à partir d'une profondeur de 1 m, afin de réduire au mieux la présence des matières organiques dans le sol. Un seul site est localisé pour le prélèvement des échantillons de sol dans la ville de Nkayi (figure 2), département de la Bouenza (république du Congo).



Figure 2 : Site de prélèvement des échantillons de la terre

Après prélèvement, le sol est emmené au laboratoire de Génie-civil de l'école nationale supérieure polytechnique (ENSP) et au bureau de contrôle de bâtiment et travaux publics (BCBTP) pour différents traitements avant d'être transféré au laboratoire de l'Institut de recherche sur l'hydrogène (IRD), université du Québec à Trois-Rivières, Québec, Canada.



Figure 3 : Sol jaune prélevé dans la ville de Nkayi

2.2. Analyse granulométrique par voie humide : NF P94-56

L'analyse granulométrique par tamisage permet de déterminer la répartition en pourcentage de grains du sol selon leurs dimensions jusqu'à 80 μ m. Une série de tamis emboîtables, à mailles carrées : 1mm (module AFNOR 31), 0,400 μ m (module AFNOR 27), 0,200 μ m (module AFNOR 24), 100 μ m (module AFNOR 21) et 80 μ m (module AFNOR 20) est utilisé ;

Mode opératoire

- Prélever une quantité de matériau ;
- Passer le matériau au tamis de 2,5mm (module AFNOR 35)
- Laver les passants obtenus après tamisage ;
- Mettre à l'étuve de température 105°C pendant une durée de 24h ;
- Peser deux échantillons de masse 200g ;
- Tamiser au tamis compris en 1mm et 80 microns.

2.3. Analyse granulométrique par sédimentation : NF P 94-057

L'analyse granulométrique par sédimentométrie complète l'analyse granulométrique par tamisage qui est limitée aux grains de diamètre supérieur à 0,08mm. Elle permet de quantifier les diamètres des grains < 80 μ m et de tracer la courbe granulométrique des éléments fins jusqu'à un diamètre d'environ 2 μ m.



Figure 4 : Agitateur mécanique, densimètre dans une éprouvette, solution d'hexaméthaphosphate de sodium, éprouvette du mélange.

Mode opératoire

- Traitement de l'échantillon de sol par lavage au tamis 0,400mm (module AFNOR 27) ;
- Décantation et siphonage de l'eau du bac sans perte d'éléments fins ;
- Séchage à température ambiante ;
- Imbibition de la prise d'essai, consistant à introduire dans une éprouvette 40g de masse de sol dans 100ml de solution d'hexaméthaphosphate de sodium pendant 24h ;
- Dispersion à l'agitateur mécanique ;
- Incorporer le mélange dans une éprouvette d'essai contenant 2000ml d'eau distillée ;

- Au moyen de l'agitateur normalisé ou manuel, agité verticalement et vigoureusement pour obtenir une concentration uniforme sur toute la hauteur de l'éprouvette ;
- Réaliser des lectures de la température et de la densité de la solution au temps suivants en minutes : 0,25 - 0,5 - 1 - 2 - 5- 10 - 20- 40- 80-120 -1200 -1440 ;

2.4. Limite d'Atterberg : NF P 94-051

Les limites d'Atterberg sont les teneurs en eau présentant les limites de passage du sol d'un état à un autre : la limite de liquidité et la limite de plasticité. La limite de plasticité (w_p), correspond à la teneur en eau pour laquelle les grains du sol passent de l'état solide à l'état plastique. La limite de liquidité (w_L), correspond à la teneur pour laquelle les grains du sol passent de l'état plastique à l'état liquide. L'indice de plasticité (I_p), est la différence entre la limite de liquidité (w_L) et la limite de plasticité (w_p), il définit l'étendue de la plage de plasticité et définissant l'argilosité des sols.

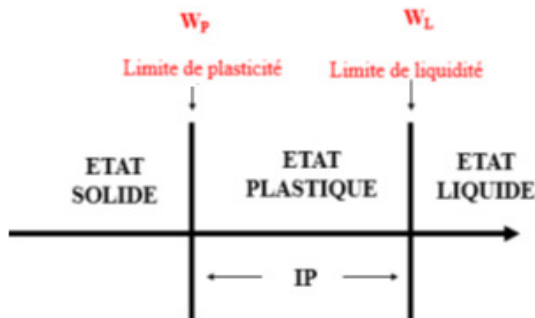


Figure 5 : Etats d'un sol selon Atterberg

La faible valeur de l'indice de plasticité signifie qu'une faible quantité d'eau permet de passer de l'état solide à l'état liquide. La limite de plasticité donne la quantité d'eau nécessaire lors de façonnage des briques (extrusion), sans tenir compte des adjuvants. Ces essais permettent d'anticiper pour économiser la quantité d'eau nécessaire dans la production des briques.

Mode opératoire

- Mettre une quantité de matériau passant au tamis de 0,400mm (module AFNOR 27) sur le carreau en marbre;
- Imbiber et malaxer jusqu'à obtenir un matériau homogène ;
- A l'aide d'une spatule mettre en place le matériau dans la coupelle ;
- Faire une rainure dans l'axe de la coupelle ;
- Tourner la manivelle à raison de deux coups par secondes ;
- Recommencer le processus en observons la rainurez jusqu'à ce qu'elle se ferme dans un intervalle de chocs compris entre 15 et 35 coups ;
- Prélever les points de fermeture ;

- Laisser sécher et confectionner des cylindres de 3mm puis peser ;
- Mettre à l'étuve pendant 24h et peser



Figure 6 : Casagrande, spatules, échantillon de plasticité sur carreau en marbre

2.5. Essai Proctor : NF P94-093 Octobre 1999

L'essai Proctor permet de déterminer la teneur en eau optimale pour un sol de remblai donné et des conditions de compactage qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximale. On distingue : l'essai Proctor normal et l'essai Proctor modifié. L'essai consiste à compacter dans un moule normalisé, à l'aide d'une dame normalisée, selon un processus bien défini l'échantillon de sol à étudier, à mesurer sa teneur en eau et son poids spécifique sec après compactage.

Mode opératoire :

- Ecrêter le matériau au tamis de 2,5mm après étuvage pendant 24h ;
- Peser trois échantillons de 2500g le moule et les tares ;
- Déterminer la teneur en eau de départ (14%) et peser la masse d'eau ;
- Imbiber le matériau d'eau et l'homogénéiser ;
- Passer au compactage de trois couches à 25coups chacune ;
- Araser soigneusement et peser l'ensemble ;
- Répéter le processus plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à différentes teneurs en eau jusqu'à tracer une courbe dont le maximum en abscisse est la teneur en eau optimale et celui en ordonnée la densité sèche optimale.

2.6. MEB

Pour la caractérisation microstructurale Les bétons en terre stabilisés à 8%, 12% et 16%, et un échantillon témoin (0%) (sans mélasse de canne à sucre) séchés ont été sectionnés transversalement. Les microstructures ont été visualisées sous microscopie électronique à balayage (MEB, JEOL JSM-6084LV à 10 kV) pour l'étude du comportement d'agglomération.

2.7. ATG et ATD

L'analyse thermogravimétrique (ATG) a été réalisée sur tous les échantillons par un appareil d'analyse thermogravimétrique Diamond Pyris 6000 TGA/DTA

de Perkin-Elmer dans la gamme de température entre 30 °C et 850 °C en utilisant des creusets en aluminium sous flux de N₂ à une vitesse de chauffage de 20 °C/min. La précision de température de l'appareil est de ± 0,5 °C. L'analyse thermique différentielle mesure la différence de température entre un échantillon et une référence en fonction de la température. L'analyse thermogravimétrie (TG) permet de suivre la variation de la masse d'un échantillon en fonction de la température.

2.7. XRD

Les diagrammes de diffraction des rayons X ont été acquis sur un diffractomètre Bruker D8 (rayonnement Cu-K α , géométrie Θ -2 Θ , monochromateur arrière) avec un mode de balayage pas à pas sur une plage 2 Θ de 10°-70°, en utilisant le rayonnement CuK α (1,5406 Å) sous une tension et un courant électrique de 40 kV et 100 mA, respectivement, et pendant une durée totale de mesure de 2 h, avec un pas de ~0,006° et une fente de divergence fixe de 0,3°.

2.8. IR

Nous allons déterminer les variations de structure des sols stabilisés en fonction du taux de mélasse de canne à sucre. L'absorption infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) a été enregistré avec un spectromètre FT-IR Nicolet iS 10 Smart dans la gamme de 4000 à 400 cm⁻¹.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques géotechniques

Les résultats de quelques essais géotechniques réalisés sur le sol prélevé à Nkayi sont présentés dans le tableau 1 et la figure 8. Le sol de Nkayi est un sol fin argileux car il renferme 88% des particules fines et 54% d'argile.

Tableau 1. Caractéristiques géotechniques du sol

Répartition granulométrique				
Matériaux	% fines	Argile < 2 mm	Limon entre 2 μ m et 63 μ m	Sable entre 63 μ m et 2mm
	80	54	34	12
Limites d'Atterberg				
WP(%)		21		
WL(%)		42		
Ip (%)		21		
Compactibilité				
γ_s (g/cm ³)		1,68		
$\omega(OPM)$ (%)		15		
Bleu de méthylène				
VBS (g/100) [5]		0,34		

prélevé à Nkayi.

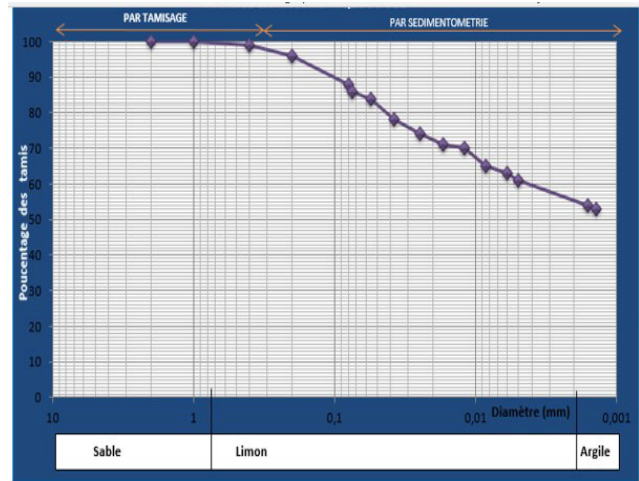


Figure 7 : Courbe granulométrique du sol prélevé dans la ville de Nkayi

3.1.2. Courbe de compactage du sol de Nkayi

Selon la courbe de compactage (figure 9), le sol de Nkayi a une teneur en eau optimale de 15% et une densité sèche maximale de 1,68 g/cm³.

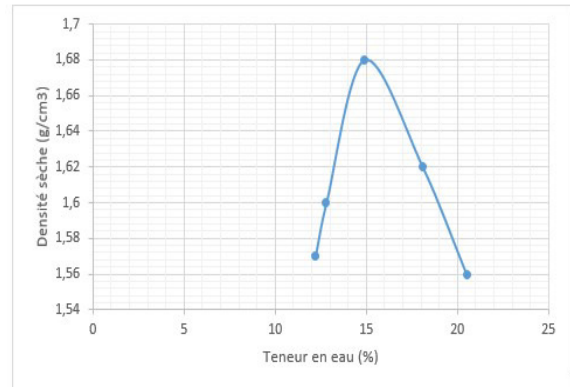


Figure 8 : Courbe de compactage du sol de Nkayi

3.1.3. Abaque triangulaire de Taylor du sol de Nkayi

Selon l'abaque triangulaire de Taylor (figure 9) le sol de Nkayi est un sol argileux.

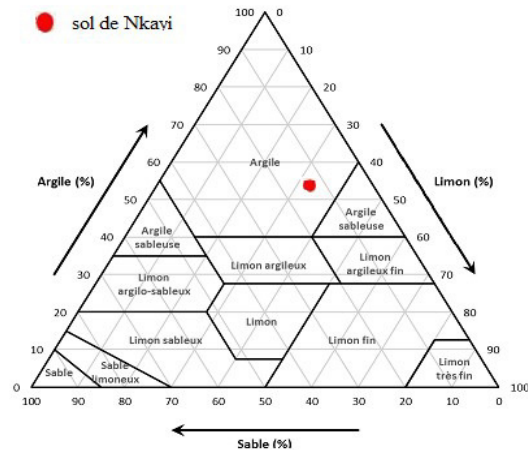


Figure 9 : Abaque triangulaire de Taylor du sol de Nkayi

3.1.4. Diagramme de plasticité de Casagrande du sol de Nkayi

Ce diagramme permet la classification des types de sols, en se basant sur l'indice de plasticité I_p et la limite de liquidité w_L .

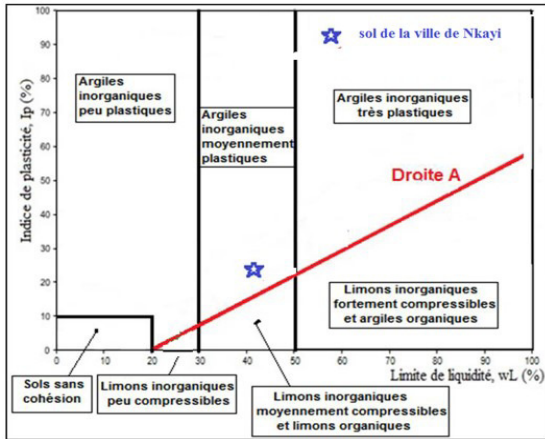


Figure 10 : Diagramme de plasticité de Casagrande du sol de Nkayi

Le diagramme de plasticité des sols fins est divisé en six sections par la droite A d'équation $I_p = 0,73(w_L - 20)$ et par deux lignes verticales tracées de façon que $w_L = 30\%$ et $w_L = 50\%$. Chaque section du diagramme correspond à un groupe de sols aux propriétés mécaniques bien définies. Selon ce diagramme (figure 10) le sol de Nkayi est un sol argileux inorganique moyennement plastique.

3.1.5. Diagramme de plasticité (la norme XP P 13-901) du sol de Nkayi

Selon la norme XP P 13-901 (figure 11) le sol de Nkayi est idéal pour la production des briques. Il présente une plasticité adaptée pour les BTC.

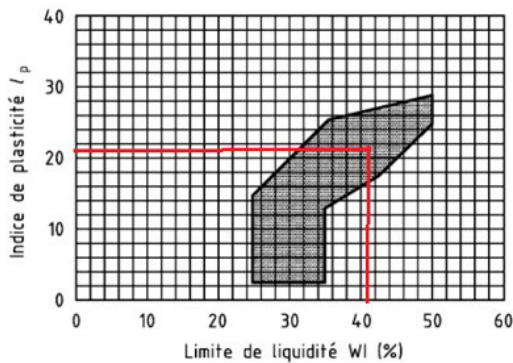


Figure 11 : Diagramme de plasticité (la norme XP P 13-901) du sol de Nkayi

3.1.6. Classification des sols selon le Guide des Terrassements Routiers (GTR)

Le guide GTR est utilisé pour classer les sols selon leur nature et leur état pour les travaux de terrassement, et notamment pour la réalisation de remblais ou de couches de forme. La classification GTR se base sur : la granulométrie du sol, l'indice de plasticité et sur la valeur de bleu de méthylène VBS. Selon cette

classification (figure 12) le sol de Nkayi est de classe A_1 [5].

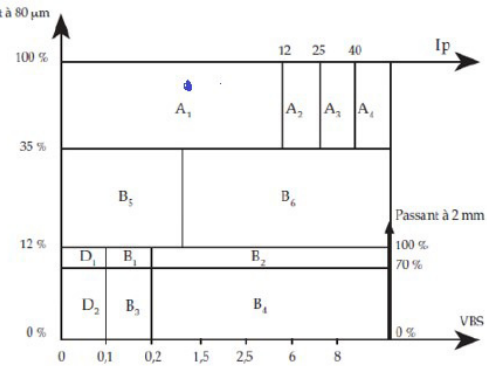


Figure 12 : Classification des matériaux selon leur nature (cas des sols avec un D_{max} ; 50 mm).

3.1.7. Abaque de plasticité de Casagrande et position des minéraux argileux les plus connus

Les paramètres de plasticité vont nous permettre d'identifier la nature de l'argile du sol de Nkayi, en servant de l'abaque de Casagrande (1948) (Figure 13).

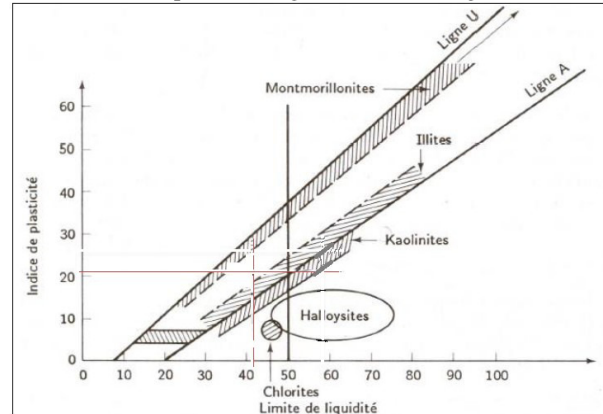


Figure 13 : Position des minéraux argileux les plus connus selon l'Abaque de plasticité de Casagrande.

Le point de coordonnées ($I_p = 21\%$, $w_L = 42\%$) ne correspond à aucune zone hachurée sur l'abaque de plasticité de Casagrande. Les paramètres de plasticité ne permettent pas d'identifier la nature de l'argile du sol de Nkayi sur l'abaque de Casagrande.

3.2. Analyse chimique

3.2.1. Analyse chimique EDAX

Les résultats chimiques par EDAX obtenus pour le sol sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2 : Résultats de l'analyse par EDAX du sol.

Eléments	Poids %	Atomique %	Erreur %
C k	3,95	6,47	17,14
Ok	53,78	66,05	7,57
Al k	18,39	13,40	5,32
Si k	16,30	11,41	5,87
Ti k	0,36	0,15	25,50
Fe k	7,21	2,54	4,38

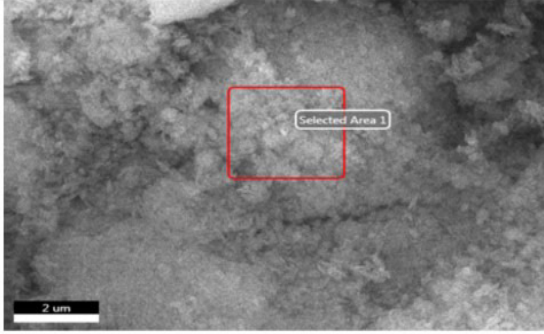


Figure 14 : Surface externe de la zone encadrée analysée sur l'échantillon du sol.

Le tableau 2 montre la présence des éléments : Al, Si, Fe, C, O et Ti à la surface de la zone encadrée de l'échantillon (figure 14). On note un pourcentage élevé d'oxygène, environ 53,78%, suivi par l'aluminium avec 18,39 %, le silicium 16,30%, le fer 7,21%, le carbone 3,95 % et le titane sous forme de trace 0,36%. Les principaux éléments en plus de l'oxygène sont : le silicium et l'aluminium, ces éléments constituent la structure de l'argile de type kaolin.

3.2.2. Analyse chimique par infrarouge

Le spectre infrarouge est divisé en deux zones principales. La première zone correspond aux bandes de fréquences élevées situées entre 3700-3400 cm^{-1} , la seconde correspond aux fréquences plus faibles situées dans la zone des 1500-400 cm^{-1} . Les grandes fréquences concernent vibrations des hydroxyles O-H, en revanche les bandes des petites fréquences (partie à droite) concernent les liaisons Al-OH, Si-O, Si-O-Si et Si-O-Al. Le spectre infrarouge (figure 15) du sol indique la présence d'un seul minéral, la kaolinite. La présence de la géothite confirme la nature ferralitique du sol.

Les vibrations de valence de groupes OH composant la maille élémentaire de kaolinite se traduisent par trois bandes de vibration centrées sur les fréquences 3695, 3650 cm^{-1} (hydroxyles externes) et 3620 cm^{-1} (hydroxyle interne). L'absence de la bande de vibration centrée sur la fréquence 3667 cm^{-1} (hydroxyle externe) signifie que cette kaolinite a une structure désordonnée [6, 7]. La présence de vibration OH à 3181 cm^{-1} caractérise la présence de la géothite [6, 7]. Le nombre d'onde 1661 cm^{-1} correspond à la vibration des liaisons H-O-H de l'eau [6].

La bande d'absorption dans l'intervalle 1006-950 cm^{-1} correspond à l'élongation de la liaison Si-O et à la liaison par étirement antisymétrique de Si-O-Si [6]. Les bandes observées dans les régions 913 cm^{-1} sont attribuées à la déformation des liaisons d'Al₂O-H (OH libres internes et OH en externe).

Les vibrations autour de 840 cm^{-1} et 808 cm^{-1} caractérisent la présence de SiO₄ du quartz. D'après Russel, la bande d'intensité située à 750 cm^{-1} indique la présence de kaolinite [8].

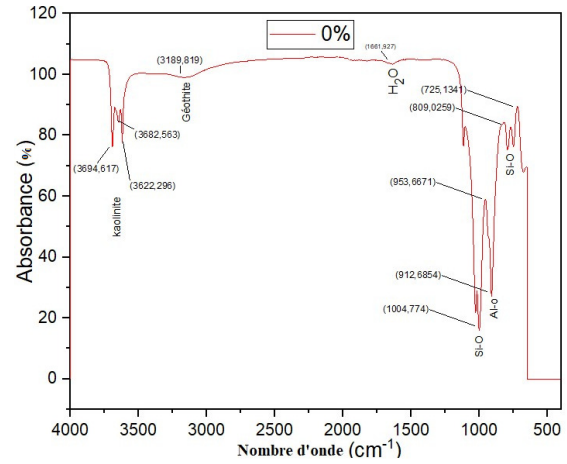


Figure 15 : Spectre infrarouge du sol

Millogo Younoussa (2008) [6], Farmer (1974) [9], Madejova J. (2001) [10] ont obtenu les bandes de la kaolinite à (3700, 3668, 3620, 1090, 1050, 920, 696, 520, 470 cm^{-1}). Cette kaolinite a une structure désordonnée à cause de l'absence de sa bande caractéristique de 3650 cm^{-1} [8,9]. Bich (2005) a obtenu les bandes infrarouges de trois kaolinites: le kaolin Kita (kaolin provenant du Brésil) présente seulement trois bandes hydroxyles entre 3800 cm^{-1} et 3500 cm^{-1} (Hydroxyles OH⁻ à 3699, 3645, 3622 cm^{-1}) alors que les kaolins KIpi (kaolin provenant du Brésil)(Hydroxyles OH⁻ à 3695, 3669, 3652, 3619 cm^{-1}) et KSia (kaolin provenant de Bretagne)(Hydroxyles OH⁻ à 3696, 3669, 3653, 3619 cm^{-1}) ont quatre bandes [11], ce qui suppose que les kaolins KIpi et KSia sont bien cristallisés contrairement au kaolin Kita [8]. Notre kaolinite présente quatre pics et a les mêmes caractéristiques infrarouges avec les deux kaolins KIpi et KSia. Millogo (2008), Farmer (1974), Madejova J. (2001) ont attribué à l'eau hygroscopique la bande (1640 cm^{-1}) [6, 9,10]. Bich (2005) a obtenu pour les trois kaolinites : pour le kaolin Kita (H₂O à 1634 cm^{-1}), pour le kaolin KIpi (H₂O à 1637 cm^{-1}), pour le kaolin KSia (H₂O à 1630 cm^{-1}) [11]. Wetshondo Osomba (2012) a attribué la large bande d'absorption de faible intensité centrée autour de 1626 cm^{-1} à des molécules d'eau [12].

3.3. Analyse minéralogique par DRX

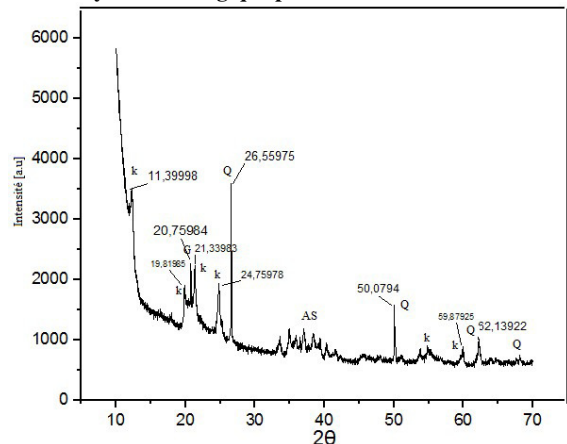


Figure 16 : Diffractogramme des rayons X de l'échantillon de sol

Le diffractogramme de l'échantillon du sol (figure 16) montre qu'il est essentiellement composé de kaolinite, des aluminosilicates, de géothite et de quartz.

3.4. Analyse thermique

La courbe TG (figure 17) montre que la décomposition thermique de l'échantillon se fait en deux étapes.

Les points importants des pertes de masse des échantillons et les températures correspondantes sont définis sur la courbe dérivée de la courbe thermogravimétrique (DTG). Deux pics sont observés sur la courbe DTG et montrent les points d'inflexion de la courbe ATG qui se caractérise par :

- autour de 300 °C, une perte de masse correspondant à la décomposition de la géothite en hématite [6].
- autour de 480-500 °C, une perte de masse importante liée au départ de l'eau de constitution et à la décomposition de la kaolinite et sa transformation en métakaolin [6, 2, 13].

La température de déshydroxylation d'une kaolinite ordonnée est autour de 600°C tandis que celle d'une kaolinite désordonnée est plus faible [6]. La température de déshydroxylation de la kaolinite de notre échantillon étant de 480-500°C, cette kaolinite serait désordonnée. La structure désordonnée de la kaolinite pourrait se justifier par le remplacement de l'aluminium dans le feuillet octaédrique par le fer trivalent engendrant des lacunes dans sa structure [6].

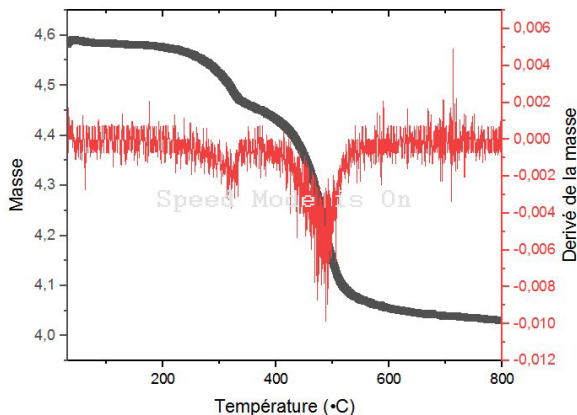


Figure 17 : Superposition des courbes TG et DTG de l'échantillon sol

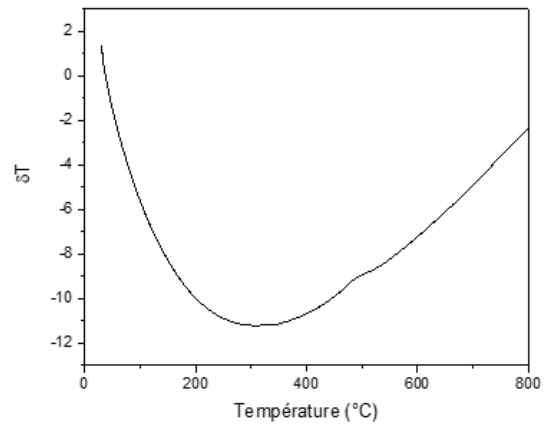


Figure 18 : Courbes ATD de l'échantillon sol

La courbe thermique différentielle (figure 18) montre, un pic endothermique autour de 300°C, qui traduit l'expulsion des OH due à la transformation de la géothite en hématite, à la déshydroxylation de la kaolinite et une transition vitreuse autour de 480°C due à la transformation de la kaolinite en métakaolinite [2, 6,13].

3.5. Porosité et surface spécifique BET

La Porosité et surface spécifique BET sont obtenus par adsorption physique d'azote. La surface spécifique BET (brunauer-emmett et teller) obtenue pour notre sol est de 32,8433 m²/g. Les résultats porosimétriques obtenus par la méthode BJH (barrett-joyner-halenda) sont présentés dans la figure 19 et la figure 20, le volume poreux cumulé est de 0,055 cm³/g.

La surface spécifique obtenue pour le sol non traité (Kaolin) est S(BET)= 32,8433 m²/g ; elle est supérieure à l'intervalle de 5-20 m²/g, cet intervalle de valeur correspond à la surface spécifique totale des argiles de type kaolinite selon Harrat (2007) [14]. Cette augmentation peut s'expliquer par le fait que notre sol a une structure en grains très fine, ce qui confère au sol la qualification de sol fin et argileuse. Par ailleurs, notre sol a été remanié. Cela a contribué à la multiplication des particules fines d'argile et donc de sa surface spécifique. Car, Hadj Salah Nadjet (2012) note qu'avec la diminution de la taille des particules, la surface spécifique du matériau augmente [15]. Arris Sihem (2008) note que le rendement de rétention augmente quand la taille des grains diminue [16]. En effet, la surface spécifique de l'adsorbant augmente lorsque le diamètre des grains diminue. Bouacherine Souheila (2013) note que la subdivision de la particule du solide influe directement sur les pores de ce dernier ainsi que sur sa surface spécifique qui va être développée [17]. Néanmoins, la surface spécifique obtenue pour le sol non traité (S(BET)= 32,8433 m²/g) correspond à l'intervalle de 10-45 m²/g de surface spécifique totale des argiles de type kaolinite selon Butel (2001), cité par Chrétien Mari (2010) [18].

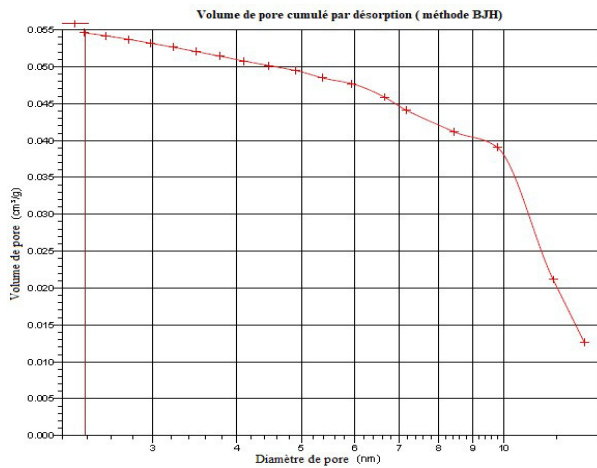


Figure 19 : Courbe de distribution des volumes en fonction du diamètre des pores de l'échantillon du sol

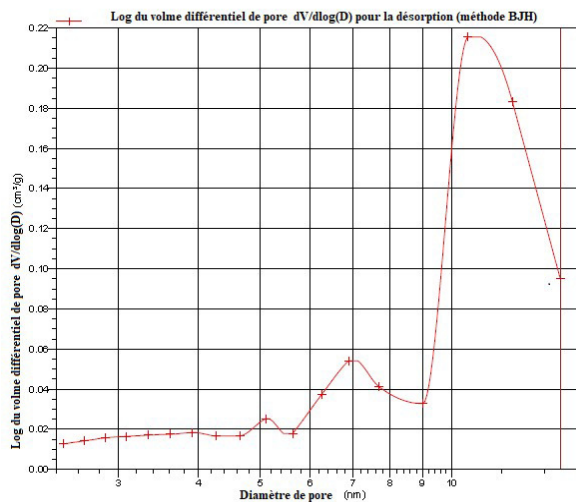


Figure 20 : Courbe de dérivée logarithmique de distribution des pores de l'échantillon du sol

La courbe de distribution des diamètres de pores (figure 20) montre que, l'échantillon du sol présente une distribution trimodale avec trois familles de mésopores : une famille de mésopores centrée vers 5,2 nm, une famille de mésopores centrée vers 7 nm et une famille de mésopores centrée vers 12,5 nm.

3.6. Texture par MEB

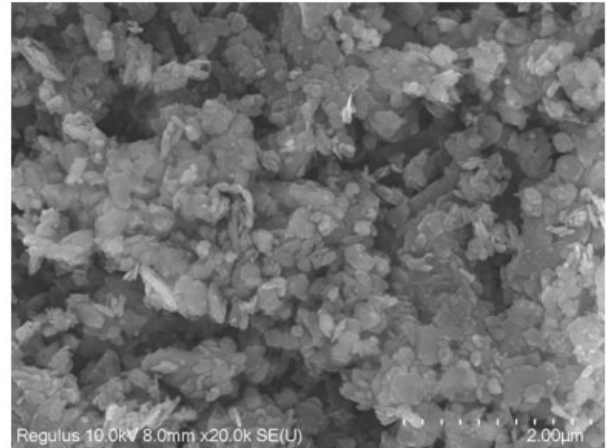


Figure 21 : Micrographe MEB de l'échantillon de brique crue à un grossissement de 20.000.

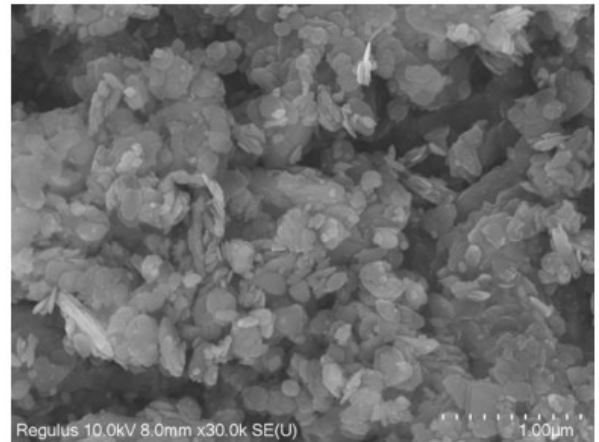


Figure 22 : Micrographe MEB, des grains de l'échantillon de brique crue à un grossissement de 30.000

Les micrographes nous permettent de distinguer une structure en grains. Le sol étant fin on observe une microstructure en agrégats séparés, une texture ouverte et une porosité tridimensionnelle (figures 21 et 22). EL Fgaier Faycal (2013) fait le même constat pour l'échantillon de sol de Leers qui présente une texture ouverte dont les grains n'ont pas de disposition préférentielle [2]. L'orientation aléatoire laisse apparaître des vides dans la structure de l'échantillon, et par la suite l'apparition d'un réseau de discontinuités. De même Yigzaw (2009) a rapporté pour le sol argileux de Romainville que sa microstructure évolue en une microstructure en agrégats séparés par des pores bidimensionnels [19].

4. Conclusion

Les résultats obtenus ont permis de constater que :

- le sol de Nkayi a une teneur en eau optimale de 15% et une densité sèche maximale de 1,68 g/cm³,
- les limites de liquidité et plasticité de sol de Nkayi sont respectivement de 42% et 21% et l'indice de plasticité de 21%.
- le sol de Nkayi est un sol fin argileux, inorganique, moyennement plastique,
- le sol de Nkayi est idéal pour la production des briques en terre et des BTC,
- le sol de Nkayi est de classe A₁,
- le sol de Nkayi contient majoritairement de la kaolinite et de la géothite,
- la structure de la kaolinite du sol de Nkayi est désordonnée,
- la surface spécifique BET de l' du sol de Nkayi est de 32,8433 m²/g,
- le sol de Nkayi est un matériau mésopores, avec trois familles de mésopores centré vers 5,2 nm, 7 nm et 12,5 nm,
- le sol de Nkayi présente une microstructure en agrégats séparés, une texture ouverte et une porosité.

REFERENCES

- [1] Ginies Paul (2013). Eco-matériaux de construction: pilier de la croissance verte en Afrique. Conférence Internationale d'Ouagadougou, Juin 2013. (Source <https://issuu.com/frikhabechir/docs/collection-acte-conference-eco-mate>).
- [2] Faycal EL Fgaier (2013), *Conception, production et qualification des briques en terre cuite et en terre crue*. Thèse de doctorat délivrée par l'école centrale de Lille. (Source <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel01242549/document>).
- [3] INS (Institut national de la statistique) (2013), *Enquête de clôture du projet de développement agricole et de réhabilitation des pistes rurales (PDARP)*. Source www.cnsee.org/pdf.
- [4] Simon Loréa (2014), *brique en terre crue, développement d'une filière en région Wallonne*, mémoire de l'université de Liège.
- [5] Malanda Narcisse, Paul Louzolo-Kimbembe, Yannick Destin Tamba-Nsemi (2017), *Etude des caractéristiques mécaniques d'une brique en terre stabilisée à l'aide de la mélasse de canne à sucre*. Revue du CAMES – Sciences Appliquées et de l'ingénieur Cames 2017 - Published Online 2017 [http://publication.lecames.org/Vol.2\(2\), pp. 1-9, Online January 2018 ISSN 2312-8712 December 2017](http://publication.lecames.org/Vol.2(2), pp. 1-9, Online January 2018 ISSN 2312-8712 December 2017).
- [6] Millogo Younoussa (2008), *étude géotechnique, chimique et minéralogique de matières premières argileuse et latéritique du burkina faso améliorées aux liants hydrauliques : application au génie civil (bâtiment et route)*. Thèse de l'université de ouagadougou.
- [7] Bouzidi Nedjima (2012). *Influence des impuretés des kaolins sur les propriétés des produits de cuisson*. Thèse de doctorat de l'Université de Bejaia, Algérie. École Supérieure des Mines de Saint : Génie des procédés.
- [8] Russel J.D. (1987). *Infrared spectroscopy of inorganic compounds. Laboratory Methods in infrared Spectroscopy*. New York : Wiley, 1987, 320p.
- [9] Farmer VC (1974). *The infrared spectra of minerals. Chapter 15: The layer silicates*. Mineralogical Society, London, 1974, 331-363.
- [10] Madejova J, Komadel P (2001). Baseline studies of the clay minerals society source clays: infrared methods. *Clays and Clay Miner.* 2001; 49 (5) : 410-432.
- [11] Bich Christelle (2005), *Contribution à l'étude de l'activation thermique du kaolin : évolution de la structure cristallographique et activité pouzzolanique*. Institut National des Sciences Appliquées de Lyon.
- [12] Wetsshondo OSOMBA Dominique (2012), *caractérisation et valorisation des matériaux argileux de la province de kinshasa (RD congo)*. Thèse Pour l'obtention du grade de Docteur en Sciences de l'Ingénieur (Architecture, Génie civil et Géologie).
- [13] Courard Luc.2010. *Constructions: matériaux et pathologies*. Université de Liège, faculté des sciences appliquées.
- [14] Harrat Nabil.(2013). *Elimination de la matière organique naturelle dans une filière conventionnelle de potabilisation d'eaux de surface*. Thèse de doctorat de l'Université Mohamed Khider-Biskra, spécialité : hydraulique.
- [15] Hadj Salah Nadjat. (2012). *Etude de la dégradation photocatalytique de polluants organiques en présence de dioxyde de titane, en suspension aqueuse et en lit fixe*. Thèse de l'Université de Grenoble et l'Université Mentouri de Constantine.
- [16] Arris Sihem (2008). *Etude Expérimentale de l'élimination des Polluants Organiques et Inorganiques par Adsorption sur des Sous-Produits de Céréales*.
- [17] Bouacherine Souheila (2013). *Eliminations des polluants spécifiques par adsorption sur charbon actif et argile traitée et non traitée*. Thèse de l'Université Mentouri Constantine, Algeri.
- [18] Chrétien Marie (2010). *Compréhension des mécanismes de retrait-gonflement des sols argileux : approche sur site expérimental et analyse de sinistres sur constructions individuelles*. Thèse de doctorat de l'Université Bordeaux I, spécialité : géoresources, patrimoines et environnements.