

Détermination des paramètres physiques et mécaniques du sol de la région de Niamey (Niger) à l'aide des essais géotechniques in situ et au laboratoire

[Determination of physical and mechanical parameters of soil in the Niamey region (Niger) by using in situ and laboratory geotechnical tests]

Baraou Souley Idi¹, Abdoulwahid Sani¹, and Moussa Konaté²

¹Université d'Agadez, Faculté des Sciences et Techniques, Département de Géologie, P.O. Box 199, Agadez, Niger

²Université Abdou Moumouni de Niamey, Faculté des Sciences et Techniques, Laboratoire de Géologie: Eaux Souterraines et Géoressources, BP 10662, Niamey, Niger

Copyright © 2024 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: The present study focuses in situ and laboratory determination of geotechnical parameters of soil samples from the Niamey region (Niger). The collected soil samples were analyzed at the geotechnical laboratory (GEO-LAB CONSULT). Petrographic analysis of samples from manual wells showed three stratas of varying thickness. From top to bottom, these are: medium to coarse yellowish-red sand (50 to 80 centimeters), lateritic gravel (20 to 40 centimeters) and ferruginous armour (40 to 60 centimeters). The obtained results from the penetrometer boreholes were used to determine the depth of the foundations, the thickness of the studied stratas and the ultimate stress of the soil for foundations dimensioning. At the Aeroport site, the depth of the lowest point is 1.5 meter, with an ultimate stress of 5.05 bars. The Satu site has a lowest depth point of one meter, with an ultimate stress of 7.47 bar. The Kalley Plateau site gave a lowest depth point of 1.5 meters with an ultimate stress of 2.20 bars, and the Saguia Béné site had a lowest depth point of 1.5 meter with an ultimate stress of 2.15 bars. Analysis of the water content of studied soils, combined with the penetrometric results, shows that water content influences soil strength.

KEYWORDS: Geotechnical tests, soil, penetrometer drilling, manual well, physical and mechanical parameters, Niamey, Niger.

RESUME: La présente étude porte sur la détermination in situ et au laboratoire des paramètres géotechniques des échantillons de sol, prélevés dans la région de Niamey. Les échantillons de sol prélevés ont fait l'objet d'une description pétrographique et d'analyse au laboratoire d'expertise en géosciences de Niamey (GEO-LAB CONSULT). Les résultats obtenus par la description des différents lithofaciès ont montré trois niveaux d'épaisseur variables. Il s'agit de haut vers le bas de: sable moyen à grossier rouge-jaunâtre (50 à 80 centimètres, graveleux latéritique (20 à 40 centimètres) et la cuirasse ferrugineuse (40 à 60 centimètres). Les résultats obtenus par les sondages au pénétromètre ont permis de déterminer la profondeur des fondations, l'épaisseur des différents niveaux étudiés ainsi que la contrainte ultime du sol pour le dimensionnement des fondations. Ainsi, au niveau du site de l'aéroport, la profondeur du point le plus bas se situe à 1.5 mètres, avec une contrainte ultime de 5.05 bars. Le site de Satu a une profondeur du point le plus bas à 1m, avec une contrainte ultime de 7.47 bars. Le site de Kalley Plateau a donné une profondeur du point le plus bas à 1.5 mètres avec une contrainte ultime de 2.20 bars et le site de Saguia Béné a une profondeur du point le plus bas à 1.5 mètres avec une contrainte ultime de 2.15 bars. L'analyse des teneurs en eau des sols étudiés, combinée aux résultats pénétrométriques, montre que la teneur en eau influence la résistance du sol.

MOTS-CLEFS: Essais géotechniques, sol, sondage au pénétromètre, puits manuel, paramètres physique et mécanique, Niamey, Niger.

1 INTRODUCTION

Les sols sont des formations naturelles superficielles en place résultant de l'altération des roches mères sous-jacente au contact de l'atmosphère sous l'influence des processus physiques, chimiques, et biologiques. L'utilisation des sols comme assises de fondation des ouvrages nécessite une bonne connaissance de leurs caractéristiques [1]. La connaissance préalable des paramètres géotechniques du sol est nécessaire surtout quand il s'agit de réalisation des ouvrages [1]. Bien qu'il existe des études géotechniques sur la formulation des bétons de résistance 30MPa à 28 jours [2], le phénomène de fracturation des bâtiments persiste surtout dans les régions de Niamey, Agadez [3], conduisant souvent à la l'abandon de l'ouvrage. Pour assurer la protection des populations et éviter ou réduire les dégâts liés aux risques d'effondrement ou de fissuration des bâtiments, l'Etat nigérien a proposé un document qui servira de base de travail pour l'étude des terrains à bâtir. Ce document définit les conditions pour l'étude géotechnique des sols à l'aide du pénétromètre dynamique léger (PDL), suivant la Norme Européenne EN ISO 22476 – 2, simple et moins coûteuse. Dans le cadre des travaux de construction des ouvrages au niveau de la ville de Niamey, le Laboratoire d'Expertise en Géosciences (GEOLAB Sarl) a été sollicité pour des études géotechniques. Des sondages au pénétromètre dynamique léger (PDL) ont été réalisés dans quatre quartiers périphériques de Niamey tels que: Saguia Béné, Aéroport, Cité Satu et Kalley Plateau (objets de la présente étude). L'objectif de cette étude est de déterminer les caractéristiques pétrographiques du sol ainsi que ses paramètres physiques et mécaniques nécessaires pour le dimensionnement des fondations des ouvrages à réaliser. Pour atteindre cet objectif, une approche méthodologique intégrant les essais géotechniques in situ et au laboratoire a été mise en œuvre.

2 CONTEXTES GEOLOGIQUE

La ville de Niamey est à cheval entre le socle birimien du Liptako et le bassin des lullemeden. Les formations birimiennes du Liptako nigérien sont constituées par une alternance de roches vertes et de plutons granitoïdiques ([4]; [5]; [6]; [7]; [8]; [9]) (Fig. 1). Les formations du bassin quant à elles sont représentées par des grès infracambriens ou grès de Niamey, des formations du Continental Terminal 3 (CT³) et les dépôts quaternaires représentés par les alluvions fluviales et les dunes ([10]; [11]; [12], [13]). L'étude pédologique du sol de la région de Niamey réalisée par [14] a révélée cinq niveaux ou terrasses (T1, T2, T3, T4, T5) définissant une structure tabulaire et reposant en discordance sur le socle birimien ([14], Fig. 2). Les niveaux d'érosion des terrasses T1 et T2 ont été attribués au Pléistocène supérieur et inférieur. La terrasse T1 se situe à 40 mètres au-dessus du fleuve, à une altitude de 220 mètres. La terrasse T2 située à une altitude de 200 mètres est formée d'oolithes ferrugineuses, reposant sur des grès argileux. Les terrasses T1 et T2 reposent sur les niveaux à oolithes ferrugineuses du Ct³. La terrasse alluviale T3 (terrasse moyenne) et les basses terrasses T4 et T5 ont été à attribuées à l'Holocène. Elles s'emboîtent dans la litho-marge du socle birimien ([15], 1989).

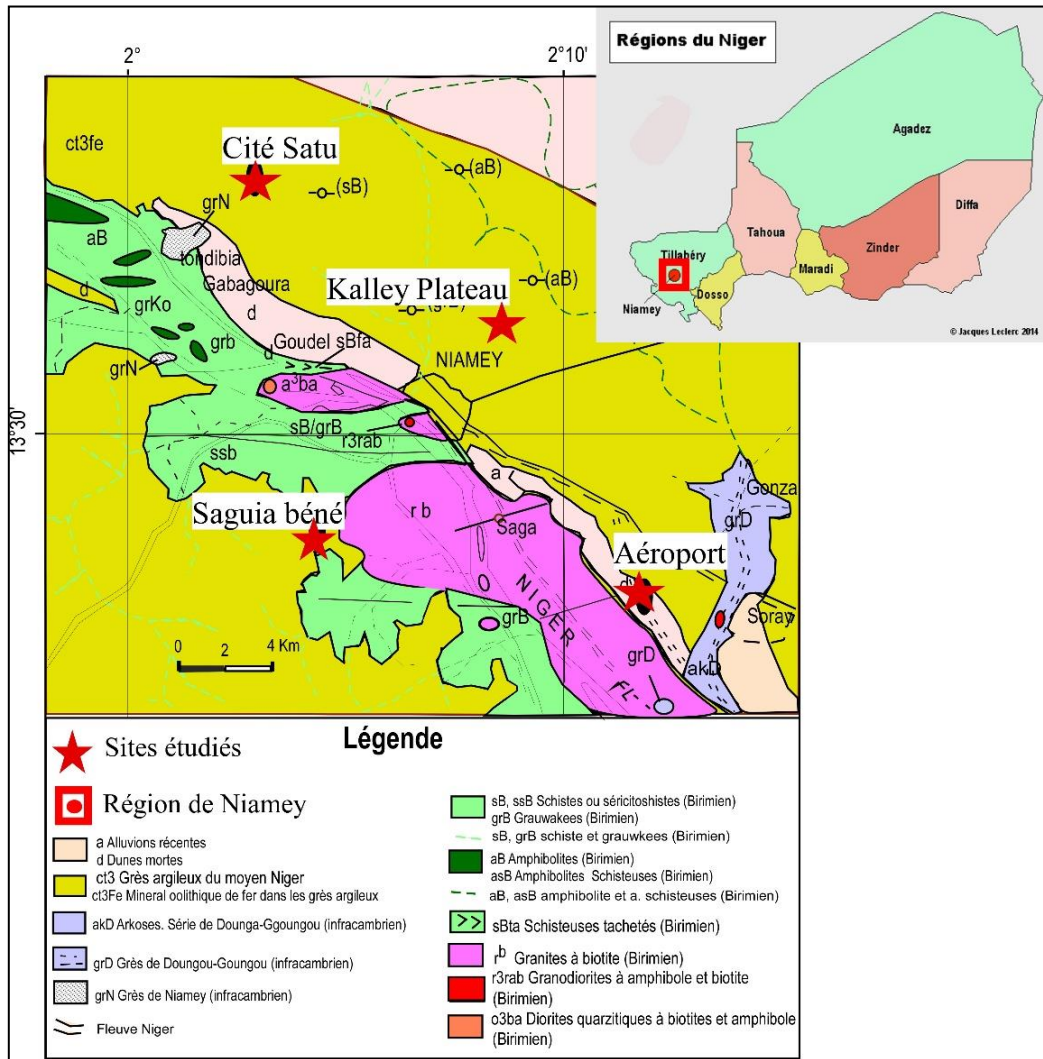


Fig. 1. Carte géologique de la région de Niamey [4] montrant la localisation des zones de sondages

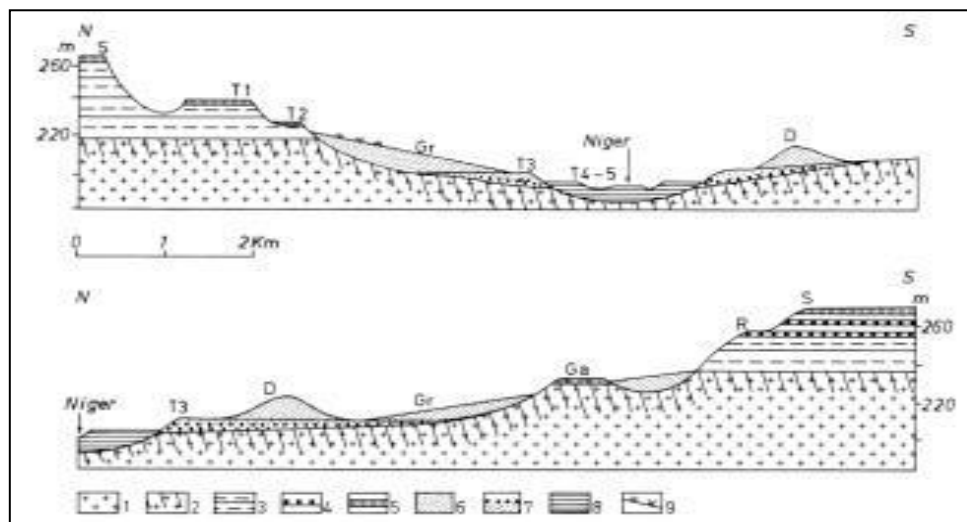


Fig. 2. Morphologie des terrasses du Niger dans la région de Niamey [14] et [15]

1: Socle. 2: Socle altéré. 3: Continental terminal. 4: Bancs ferrugineux à oolithes. 5: Cuirasse ferrugineuse. 6: Sable. 7: Gravier. 8: Argile. 9: Encroûtements à tubulaires. S: Surface fini-Ct. R: Replat structural. D: Dune fossile. Ga: Glacis anciens. Gr: Glacis récents. T1 et T2: Terrasses anciennes. T3: Terrasse moyenne. T4 et T5: Terrasses récentes.

3 MATERIEL ET METHODES

3.1 TRAVAUX DU TERRAIN

Les travaux du terrain se sont déroulés en deux étapes: la première étape a consisté à l’implantation des sondages et la seconde était consacrée la réalisation des essais in-situ sur le terrain.

3.1.1 IMPLANTATION DES SONDAGES

Cette étape a permis d’investiguer les sites de l’ouvrage et permettre l’emplacement des points manuels et des points de sondages au pénétromètre dynamique léger (PDL) sur le terrain à bâtir (Fig. 3). Au niveau de chaque site étudié, un puits manuel autour duquel quatre (4) sondages au pénétromètre dynamique léger sont implantés. Les puits sont creusés au centre des points a sondés et les sondages sont réalisés au niveau de l’emprise du futur bâtiment ou site investigués. La figure 3 représente un exemple du plan des sondages et du puits manuel sur le site de l’Aéroport.

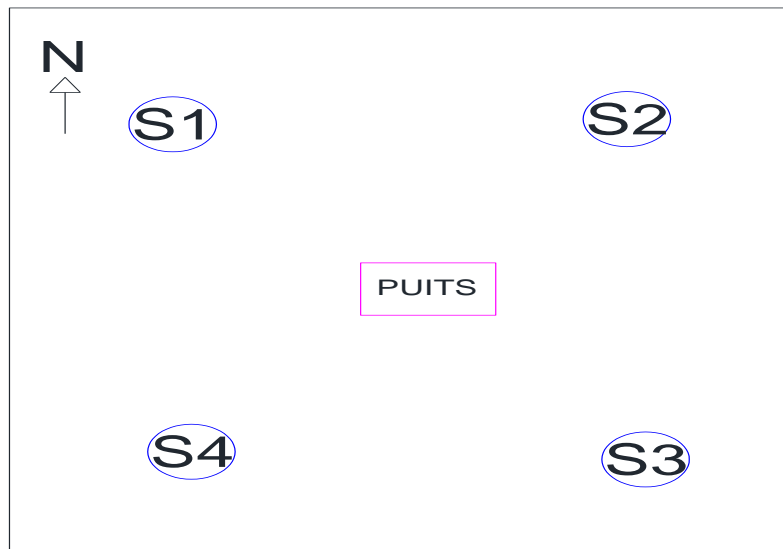


Fig. 3. Exemple d’implantation des sondages sur un terrain de 400 m² au niveau du site de l’Aéroport

3.1.2 REALISATION DE SONDAGES AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LEGER PDL (NF P 22476 – 2)

La pointe est enfoncée dans le sol par battage d’un mouton qui tombe régulièrement d’une hauteur constante sur l’enclume. Le train de tige est battu de manière continue (Fig. 5). A chaque ajout de tige tous le mètres, l’opérateur fait tourner le train de tiges sur lui-même à l’aide d’une clef dynamométrique. On mesure alors l’enfoncement des tiges graduées tous les 10 centimètres en fonction du nombre de coups. La résistance à la rupture sous la pointe du pénétromètre est donnée par la formule des Hollandais suivante:

$$Q_d = \frac{M}{e \cdot (M + M')} \cdot \frac{M \cdot g \cdot H}{A}$$

Où M est la masse du mouton, M’: masse de l’enclume+ train de tiges + pointe, A: Section droite de la pointe, H: Hauteur de chute du mouton, e: enfoncement moyen par coup et g: accélération de la pesanteur.



Fig. 4. (a) réalisation du sondage au pénétromètre dynamique léger (PDL) sur le site et (b) puits manuel sur le site

3.2 ESSAIS DE LABORATOIRE

Les échantillons prélevés sur les différents sites ont été analysés au laboratoire pour la détermination des paramètres physiques des sols tels que: la teneur en eau, la granulométrie, l'équivalent de sable du matériau et la limite d'Atterberg selon les normes françaises (NF).

3.2.1 LA TENEUR EN EAU (NORME NF P 94 050)

La teneur en eau des échantillons analysés est déterminée par la relation:

$$TE (w\%) = \frac{P_w}{P_{SS}} * 100$$

Où **W**: teneur en eau exprimé en %, **Pw**: poids d'eau exprimé en g, **Pss**: poids du sol sec (g). La masse du matériau sur laquelle est déterminée la teneur en eau est choisie en fonction de la dimension des éléments qu'il contient. Elle doit être supérieure ou égale aux valeurs indiquées dans le tableau 1.

Tableau 1. Masse minimale de matériau pour la détermination de la teneur en eau en fonction de la dimension des éléments passant aux tamis à mailles carrée d'ouverture (dm)

dm (µm)	400	500	630	800
Masse (g)	20	50	100	150

3.2.2 ANALYSE GRANULOMETRIQUE (NORME NF P 94 6 – 056)

Cette étape a consisté à séparer les grains agglomérés d'une masse connue de matériau, une fois séché au moyen d'une série des tamis et à peser successivement le refus cumulé sur chaque tamis. Avec les résultats, on trace la courbe granulométrique du matériau sur un graphique (Fig. 10) et on déduit le coefficient de HAZEN ou d'uniformité: $C_u = D_{60}/D_{10}$ et le coefficient courbure: $C_c = D_{30}^2/D_{10}D_{60}$ où D10, D30 et D60 correspondent respectivement aux diamètres pour lesquelles on a 10, 30 et 60 %de passants. Pour ce cas: **D60 = 0,315; D30 = 0,200; D10 = 0,080**. Ainsi le sol est classé comme suit: $C_u < 2$, granulométrie très serré, $2 < C_u < 5$, granulométrie serré, $5 < C_u < 20$, granulométrie Semi-serré, $20 < C_u < 200$, granulométrie Etalée et $C_u > 200$, granulométrie Très étalée.

3.2.3 EQUIVALENT DE SABLE (NORME NF P 18 598)

Cet essai consiste à séparer les particules fines du sable par lavage à l'aide d'une solution à pouvoir floculant. L'équivalent de sable est donné par la formule suivante: $ES = 100 * h_2/h_1$, où h1: hauteur des sédiments + floculats, h2: hauteur à piston, ES: Equivalent Sable.

Le sol est argileux si $ES = 0 \leq ES \leq 15\%$, sol plastique si $ES = 15\% < ES < 20\%$ et sol non plastique si $ES = 20\% < ES < 40\%$. Les échantillons dont les $ES \leq 15\%$ peuvent faire l'objet de la détermination des limites d'Atterberg.

3.2.4 LIMITE D'ATTERBERG (NORME NF P 94 051)

Cette norme est utilisée pour la détermination des deux limites d'Atterberg (limite de liquidité W_L à la coupelle et limite de plasticité au rouleau W_p). L'essai est réalisé sur les éléments du sol passants au tamis de 0.4mm. On distingue ainsi: le sol non plastique si $WP = 0$ à 5, peu plastique si $WP = 5-15$, plastique si $WP = 15$ à 40 et très plastique si $WL > 40$.

4 RESULTATS

4.1 DESCRIPTION DES FACIÈS LITHOLOGIQUES

Cette étape consiste à la description des faciès lithologiques des déblais de quatre puits manuels réalisés sur les sites de l'Aéroport, de Cité Satu, de kalley plateau et de Saguia Béné.

4.1.1 SITE DE L'AÉROPORT

Au niveau du site de l'Aéroport, le puits creusé a un mètre de profondeur. L'analyse pétrographique des faciès rencontré a montré, du bas vers le haut, deux niveaux notés N1 et N2 (Fig. 6a): Le niveau N1 a été observé à une profondeur de -1 à -0,80m soit 20 centimètres d'épaisseur. Il est représenté par des conglomérats à matrice ferrugineuse. Il est constitué de galets plus ou moins arrondis, de grains de quartz de taille variant de 2 à 5mm et des oolithes ferrugineuses. Des tubulures de termitiques sont également observées, marquant les caractéristiques typiques du Continental terminal (Ct³). Le niveau N2 va de 0,0 à - 0.80 mètre de profondeur soit une épaisseur de 80 centimètres d'épaisseur. Il est constitué de sable grossier renfermant majoritairement des grains de quartz de taille inférieur à 2 millimètres.

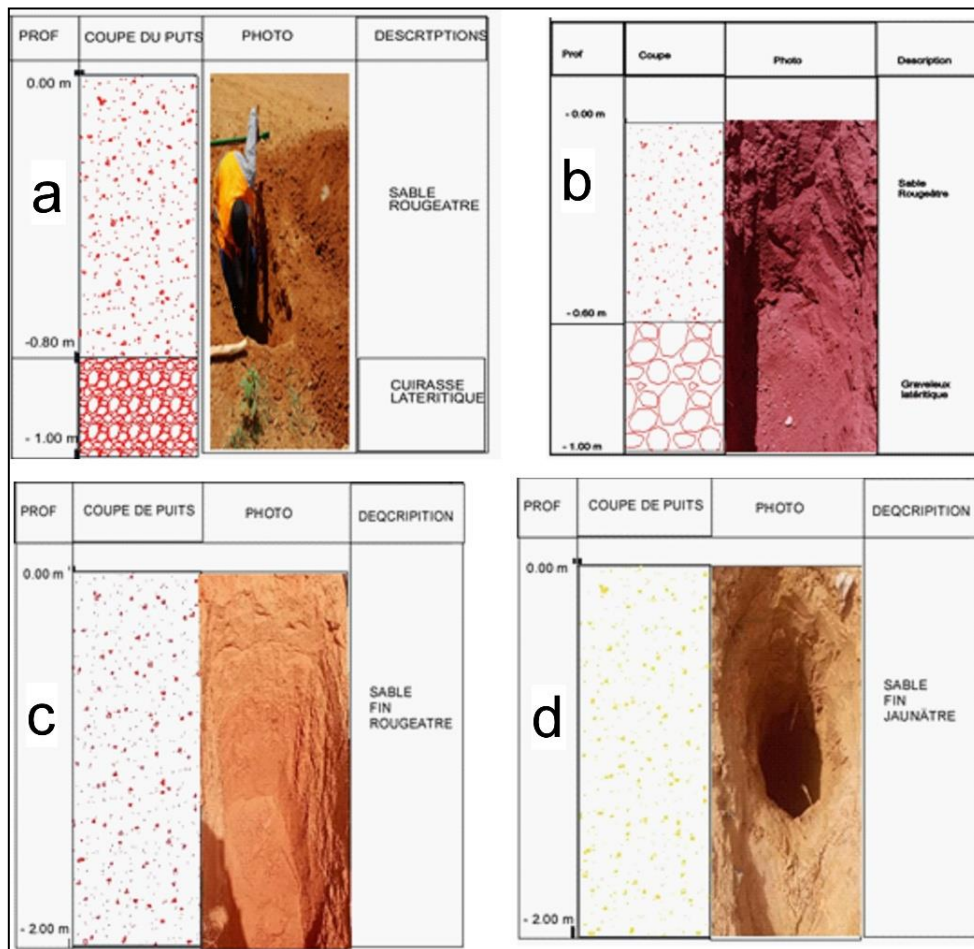


Fig. 5. Coupes lithologiques des puits réalisés. (a) site de l'Aéroport, (b) Cité Satu, (c) Kalley Plateau et (d) Saguia Béné

4.1.2 SITE DE CITÉ SATU

Le puits réalisé sur ce site a montré également, du bas vers le haut, deux niveaux ou faciès lithologiques, notés N1 et N2 (Fig. 6b):

Le premier niveau N1 a été observé à une profondeur de -1 à -0,60 mètre soit une épaisseur de 40 centimètres. Il est représenté par des sables grossiers latéritiques à matrice ferrugineuse. Il est constitué de galets, de grains très grossiers de quartz de taille variant de 2 à 10 millimètres et des oolithes ferrugineuses. Des figures sédimentaires représentées par des traces de tubulures termitiques ont été observées comme dans les autres niveaux du Ct³. Le niveau N2 est observé à une profondeur de -0,6 à 0,0 mètre soit 60 centimètres d'épaisseur. Il est constitué du sable cohésif très grossier renfermant des grains de quartz de 2 à 4 millimètres.

4.1.3 SITE KALLEY PLATEAU

Sur le site de Kalley Plateau, un puits de deux mètres a été réalisé. L'analyse pétrographique a montré un seul faciès lithologique représenté par du grès moyen à fin rougeâtre. Il est constitué par des grès fins dont la taille n'excède pas 1 millimètre (Fig. 6c).

4.1.4 SAGUIA BÉNÉ

Le puits réalisé sur ce site montre des sables alluvionnaires moyens à fins provenant du Fleuve. Ces alluvions ont été observées à une profondeur de moins de 2,00 mètres. Ils pressentent une couleur jaunâtre, avec une granulométrie de l'ordre de 1 millimètre (Fig. 6d).

4.2 SYNTHÈSE DES DIFFÉRENTES COUPES LITHOLOGIQUES

L'analyse pétrographique des coupes lithologiques des puits manuels réalisés montrent trois faciès lithologiques différents: la cuirasse latéritique, du sable rougeâtre à jaunâtre peu cohérent et des dépôts alluvionnaires du fleuve. La corrélation des coupes lithologiques réalisées montre des niveaux bien stratifiés, épais de quelques centimètres, constitués de grès argileux de couleur rougeâtre (sable rougeâtre), et qui porte parfois des graviers de nature quartzuse. A l'échelle d'affleurement, la surface supérieure des niveaux de cuirasses ferrugineuse est le plus souvent indurée et comporte de fines oolithes ferrugineuses de goethite. Cette corrélation fait ressortir des hétérogénéités granulométrique et pétrographique du sous-sol de la Région de Niamey. Cela constitue un impact sur la réalisation des fondations des grands ouvrages.

4.3 RESULTATS DE SONDAGES AU PENETROMETRE DYNAMIQUE LEGER (NF P 22476-2) 3.3. SITE DE L'AÉROPORT

L'analyse de la courbe contrainte-profondeur (Fig. 7a) montre trois couches d'épaisseur de contrainte différentes. La première couche a une épaisseur de 80 centimètres avec des contraintes: minimale 1.50 daN/cm² (ou 1.50 bar), moyenne 2.25 daN/cm² (ou 2.25 bars) et maximale 3.01 daN/cm² (ou 3.01 bars). La deuxième couche a une épaisseur de 40 centimètres avec des contraintes: minimale 3.51 daN/cm², moyenne 5.27 daN/cm² et maximale 7.03 daN/cm². La troisième couche a une épaisseur de 30 centimètres avec des contraintes: minimale 3.51 daN/cm², moyenne 5.05 daN/cm² et maximale 6.59 daN/cm². Après analyse des résultats, il est recommandé de fonder l'ouvrage en tenant compte de la profondeur du point le plus bas située à 1.50 mètre avec une contrainte moyenne de 5.27 daN/cm².

4.3.1 SITE DE CITÉ SATU

L'analyse de la courbe contrainte-profondeur (Fig. 7b) montre deux couches majeures. La première couche a une épaisseur de 50 centimètres avec des contraintes: minimale 3.01 daN/cm², moyenne 4.13 daN/cm² et maximale 7.51 daN/cm². La deuxième a une épaisseur de 50 centimètres également avec des contraintes minimale 7.47 daN/cm², moyenne 7.69 daN/cm² et maximale 7.91 daN/cm². Après analyse des résultats, il est recommandé de fonder l'ouvrage en tenant compte de la profondeur du point le plus bas située à un mètre avec contrainte de 7.47 daN/cm².

4.3.1.1 SITE DE KALLEY PLATEAU

L'analyse de la courbe contrainte-profondeur de ce site fait ressortir trois couches (Fig. 7c). La première couche a une épaisseur d'un mètre avec des contraintes: minimale 1.76 daN/cm², moyenne 2.20 daN/cm² et maximale 2.64 daN/cm². La deuxième couche a une épaisseur de 50 centimètres avec des contraintes: minimale 1.76 daN/cm², moyenne 2.20 daN/cm² et maximale 2.64 daN/cm². La troisième couche a une épaisseur de 40 centimètres avec des contraintes: minimale 1.76 daN/cm², moyenne 2.20 daN/cm² et maximale 2.64 daN/cm². Après analyse des résultats, il est recommandé de fonder l'ouvrage en tenant compte de la profondeur du point le plus bas située à 1.50 mètre et de la contrainte de 2.20 daN/cm².

4.3.1.2 SITE DE SAGUIA BÉNÉ

L'analyse de la courbe contrainte-profondeur de ce site (Fig. 7d) montre trois niveaux différents. Le premier niveau a une épaisseur d'un mètre avec des contraintes: minimale 1.32 daN/cm² moyenne 1.98 daN/cm² et maximale 2.64 daN/cm². Le deuxième niveau a une épaisseur de 50 centimètres avec de contraintes: minimale 1.32 daN/cm² moyenne 1.98 daN/cm² et maximale 2.64 daN/cm². Le troisième niveau a une épaisseur de 50 centimètre avec des contraintes: minimale 1.56 daN/cm² moyenne 2.15 daN/cm² et maximale 2.74 daN/cm². Après analyse des résultats, il est recommandé de fonder l'ouvrage en tenant compte de la profondeur du point le plus bas située à 1.50 mètre et de la contrainte de 2.15 daN/cm².

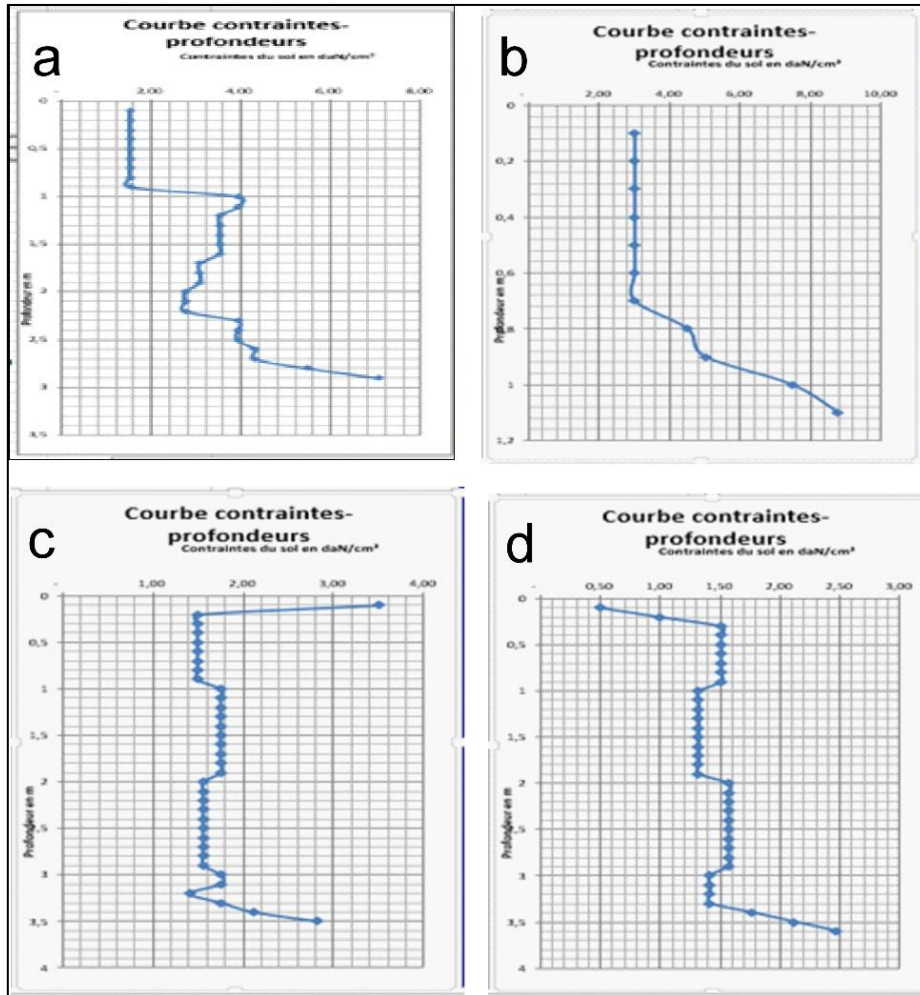


Fig. 6. Courbes contrainte / profondeur des différents sites. (a) Aéroport, (b) Cité Satu, (c) Kalley Plateau et (d) Saguia Béné

4.4 RÉSULTATS DES ESSAIS AU LABORATOIRE

4.4.1 RÉSULTATS DES ESSAIS GRANULOMÉTRIQUES

La figure 7A représenté la courbe granulométrique du site de l'Aéroport. Les coefficients de courbure et d'uniformité ont été ainsi déterminés. Le coefficient de courbure déterminé pour le site de l'Aéroport est de $Cc = D_{30}^2 / D_{10}D_{60} = (0.080)^2 / (0.080)(0.315) = 0.25$ et le coefficient d'uniformité $Cu = D_{60} / D_{10}$; $Cu = 0.315 / 0.080$; $Cu = 3.93$.

D'après la classification granulométrique du sol en fonction de **Cu**, il s'agit d'un sol à une granulométrie serré car le coefficient d'uniformité **Cu** compris entre 2 et 5 ($2 < Cu < 5$).

La figure 7B représente la courbe granulométrique du site de Cité Satu. Le coefficient de courbure $Cc = D_{30}^2 / D_{10}D_{60} = (0.500)^2 / (0.080)(5) = 0.625$ et le coefficient d'Uniformité $Cu = D_{60} / D_{10} = 5 / 0.080 = 62.5$. Il s'agit d'un sol à une granulométrie étalée.

La figure 7C représente la courbe granulométrique du site de Saguia Béné. Le coefficient de courbure $Cc = D_{30}^2 / D_{10}D_{60} = (0.200)^2 / (0.315)(0.080) = 1.58$ et celui d'Uniformité $Cu = D_{60} / D_{10} = 0.315 / 0.080 = 3.93$. Il s'agit donc d'un sol serré car le coefficient d'uniformité compris entre 2 et 5.

La figure 7D représente la courbe granulométrique du site de l'Aéroport. Le coefficient de courbure $C_c = D_{30}^2 / D_{10}D_{60} = (0.200)^2 / (0.315)(0.100) = 1.26$ et celui d'Uniformité $C_u = D_{60} / D_{10} = 0.315 / 0.100 = 3.15$. Il s'agit d'un sol serré également car C_u est compris entre 2 et 5.

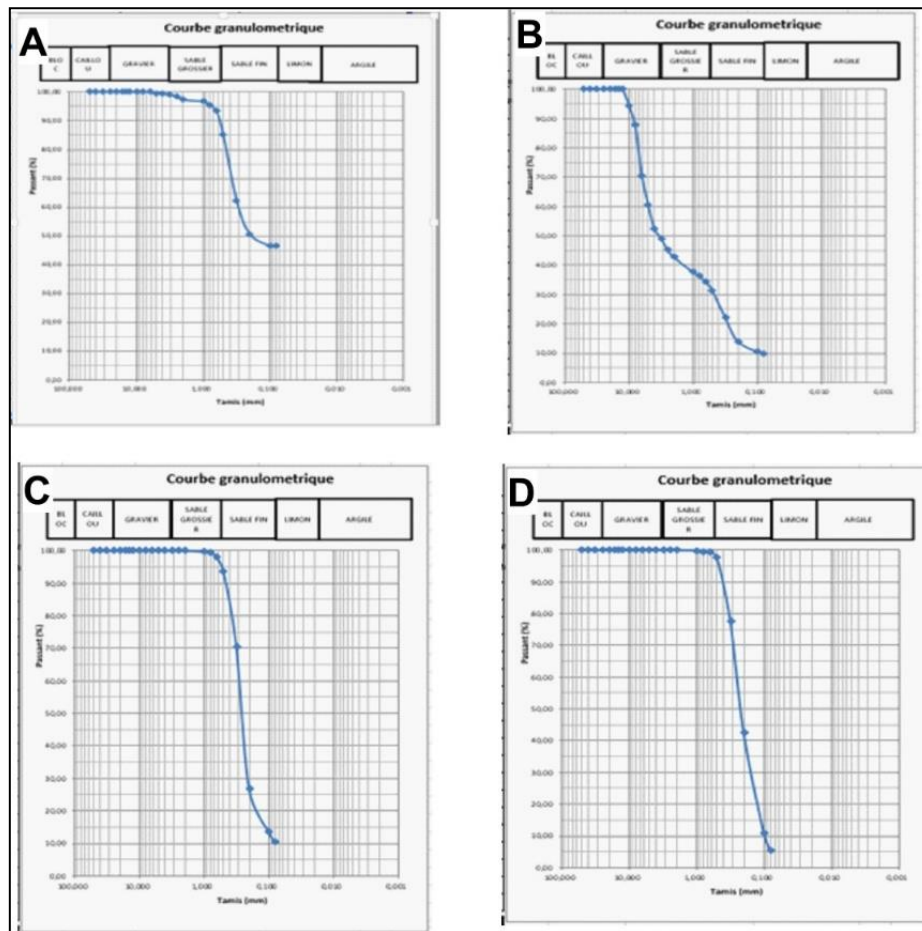


Fig. 7. Les courbes granulométriques des différents sites. (A) site d'Aéroport, (B) site de Cité Satu, (C) site de Kalley plateau et (D) site de Saguia Béné

4.4.2 RÉSULTATS DES ESSAIS D'ÉQUIVALENT SABLE

- Site de l'Aéroport

Le tableau 2 donne les résultats d'équivalent sable du site de l'Aéroport. D'après le tableau 2 d'interprétation de ces résultats, il s'agit d'un sol plastique (argileux) car son ES moyen est égal à 19 (tableau 2).

Tableau 2. Résultat d'équivalent sable du site Aéroport

Equivalent de sable norme (NF P 18 – 598)	Première éprouvette 1	Deuxième éprouvette 2
h_1	33.7	33.70
h_2	6.00	6.5
ES	17	19.29
ES moyen	19	

- Site de Cité Satu

Le tableau 3 donne les résultats d'équivalent sable du site de Cité Satu. D'après l'interprétation des résultats, il s'agit d'un sol plastique (argileux) car son ES moyen est égal à 20 (Tableau 3).

Tableau 3. Résultat d'équivalent sable du site Cité Satu

Equivalent de sable norme (NF P 18 – 598)	Première éprouvette 1	Deuxième éprouvette 2
h ₁	32,40	33,50
h ₂	6,50	7,00
ES	20,06	20,90
ES moyen	20	

- Site de Kalley Plateau

Le tableau 2 donne les résultats d'équivalent sable du site de Kalley Plateau. D'après l'interprétation des résultats, il s'agit d'un sol plastique (argileux) car son ES moyen est égal à 31 (Tableau 4).

Tableau 4. Résultat d'équivalent sable du site Kalley Plateau

Equivalent de sable norme (nf p 18 – 598)	Première éprouvette 1	Deuxième éprouvette 2
h ₁	20,10	20,20
h ₂	6,30	6,30
ES	31,34	31,19
ES moyen	31	

- Site de Saguia Béné

Le tableau 2 donne les résultats d'équivalent sable du site de Saguia Béné. D'après l'interprétation des résultats, il s'agit d'un sol non plastique (sable argileux) car son ES moyen est égal à 41 (tableau 5).

Tableau 5. Résultat d'équivalent sable du site Saguia Béné

Equivalent de sable norme (NF P 18 – 598)	Première éprouvette 1	Deuxième éprouvette 2
h ₁	19,00	19,00
h ₂	7,70	7,70
ES	40,53	40,53
ES moyen	41	

Le tableau 6 représente les résultats des essais équivalents de sable de tous les quatre sites. L'analyse de ce tableau montre que tous les échantillons étudiés présentent un équivalent sable supérieur à zéro: donc pas de limite d'Atterberg.

Tableau 6. Les résultats des essais équivalent de sable de tous les quatre sites étudiés

Sondages	Profondeur(m)	Equivalent de Sable (ES%)
Aéroport (puits n°1)	1m	19
Cité Satu (puits n°2)	1m	20
Kalley plateau (puits n°3)	2m	31
Saguia Béné (puits n°4)	2m	41

4.4.3 RÉSULTATS DES TENEURS EN EAU

L'analyse de ces résultats obtenus (tableau 7) montre que les échantillons (prélevés à 1 m) de l'Aéroport et de Cité Satu ont une teneur en eau respectivement de 4% et 3% alors les échantillons de Kalley Plateau et Saguia Béné (prélevés à 2 m) ont des teneurs respectivement de 7% et 6.5% (tableau 7). On constate que les échantillons de sols prélevés autour de 2 mètres sont plus humides que ceux prélevés autour d'un mètre.

D'après les résultats pénétrométriques, Les sols de saguia et Kalley plateau (plus humides) présentent une portance de faible à moyenne alors que les sols (moins humides) de l'Aéroport et Cité Satu ont une bonne portance. L'analyse des teneurs en eau des sols étudiés combinée aux résultats pénétrométriques montre que la teneur en eau influence la résistance du sol.

Tableau 7. Teneurs en eau des matériaux prélevés

Sondages	Profondeur(m)	Teneur en eau (w%)
Aéroport (puits n°1)	1m	4
Cité Satu (puits n°2)	1m	3
Kalley plateau (puits n°3)	2m	7
Sagua Béné (puits n°5)	2m	6,5

5 DISCUSSIONS

5.1 DISCUSSION SUR LES FACIÈS LITHOLOGIQUES

La description pétrographique des faciès lithologiques identifiés sur l'ensemble de quatre sites a montré que les formations superficielles de la ville de Niamey sont constituées de trois niveaux du haut vers le bas tels: le sable argileux peu cohérent rouge-jaunâtre, le graveleux latéritique quartzeux et la cuirasse ferrugineuse, le plus souvent indurée et comportant de fines oolithes ferrugineuses de goëthite. Ces observations sont en accord avec les travaux de [14] et [15] réalisés dans la région de Niamey. Selon ces auteurs, le sol est marqué du haut vers le bas par cinq niveaux ou terrasses (T1, T2, T3, T4, T5) définissant une structure tabulaire et reposant en discordance sur le socle birimien [14] (Fig. 2). Les niveaux T1 et T2 ont été attribués au Pléistocène supérieur et inférieur. La terrasse T1 se situe à 40 m au-dessus du fleuve. La terrasse T2 à 200 mètres est formée d'oolithes ferrugineuses, reposant sur des grès argileux. Les terrasses T1 et T2 reposent sur les niveaux à oolithes ferrugineuses du Ct³. La terrasse alluviale T3 (terrasse moyenne) et les basses terrasses T4 et T5 datée à Holocène s'emboîtent dans la litho-marge du socle birimien [15].

5.2 DISCUSSION SUR L'ESSAI AU PÉNÉTROMÈTRE

D'après les rapports techniques antérieurs réalisés par le laboratoire GEO-LAB CONSULT [16], le sol de la région de Niamey est constituée majoritairement des niveaux de grès ferrugineux représentés par le Continental Terminal Ct³ (niveau résistant) surmonté par les graveleux latéritiques comme c'est le cas du site de la Cité Satu qui est recouvert par des niveaux moyennement résistants à moins résistants du sable rouge-jaunâtre alluvionnaire ou dunaire, décrits au niveau des sites de Kalley plateau, de Sagua et de l'Aéroport. D'après les résultats obtenus, la formation du Continental terminal a enregistré des contraintes relativement élevées capable de supporter des charges énormes, alors que les formations sableuses ont montré des faibles résistances au frottement avec des faibles valeurs de contraintes.

5.3 DISCUSSION DES RÉSULTATS DU LABORATOIRE

Des essais granulométriques antérieurs réalisés par le Laboratoire GEO-LAB CONSULT [16] ont montré que le sol de la région de Niamey a une granulométrie serrée au niveau des sites d'Aéroport, Kalley Plateau et Sagua Béné avec des coefficients d'uniformité respectifs de 5; 4 et 3,4. A l'exception de la Cité Satu qui a toujours une granulométrie semi serrée. Ces sites présentent un équivalent de sable comme tel: Aéroport ES=21%; Cité Satu ES=24 % Kalley Plateau ES=37 % et Sagua ES=52%. Les résultats obtenus par cette étude ont montré que les sites de l'Aéroport, Cité Satu et Kalley plateau ont un sol argileux et le site de Sagua présente un sol purement alluvionnaire. Contrairement à la présente étude, les travaux antérieurs de [17] sur les matériaux latéritiques de la région d'Agadez (Nord Niger) où des limites d'Atterberg (WL de 24.30% à 38.90% et WP de 12.9% à 20.60%) ont enregistré, les résultats de cette étude ont montré l'absence de la limite d'Atterberg car tous les échantillons analysés ont des équivalents sable supérieurs à zéro.

D'après les résultats obtenus par les sondages au pénétromètre dynamique léger, tous les échantillons présentent une teneur en eau variant de 3% (Cité Satu), 4% (Aéroport), 6.5% (Sagua Béné) et 7% (Kalley Plateau). Ces observations sont en accord avec les travaux de [15] sur le sol latéritique de Dogon Doutchi (Sud Niger) où les échantillons de sol analysés présentent des teneurs autour de 6%.

Les sols de Sagua et Kalley Plateau (plus humides) présentent une portance de faible à moyenne alors que les sols (moins humides) de l'Aéroport et Cité Satu ont une bonne portance. L'analyse des teneurs en eau des sols étudiés combinée aux résultats pénétrométriques montre que la teneur en eau influence la résistance du sol.

6 CONCLUSION

Cette étude a concerné quatre sites ou quartiers périphériques de la région de Niamey. Il s'agit des sites de quartier: Aéroport, Kalley Plateau, Cité Satu et Sagua Béné. Ces sites ont, dans un premier temps, fait l'objet d'une mission de reconnaissance et d'implantation des puits manuels, puis des essais de sondages au pénétromètre dynamique léger. Les échantillons de sol prélevés ont fait l'objet d'essais

géotechniques au laboratoire, afin de déterminer la granulométrie, la teneur en eau et l'équivalent de sable. Il ressort de cette étude que:

- La description des différents lithofaciès a fait ressortir des hétérogénéités granulométriques et pétrographiques du sous-sol de la région de Niamey. Cela peut impacter la résistance des fondations des grands ouvrages.
- Les résultats obtenus par les sondages au pénétromètre ont permis de déterminer l'épaisseur de différentes couches, la profondeur et la contrainte qu'il faut respecter pour le dimensionnement des fondations.
- Les résultats des essais au laboratoire ont permis de déterminer les paramètres physiques (coefficient d'uniformité, l'équivalent sable et la teneur en eau) des sols investigués.

REMERCIEMENTS

Les auteurs expriment toute leur gratitude à Mr. DAN BABA Harouna, directeur du Laboratoire d'expertise en Géosciences (GEO-LAB CONSULT, Niger) pour son appui matériel et technique lors de l'acquisition des données du terrain et de laboratoire.

REFERENCES

- [1] Mahamoud I. A. Caractérisation géotechnique des sols de la ville d'Oum-hadjer (Batha-Est, Tchad) en vue de leur utilisation comme fondation des ouvrages. Mémoire de Master 2. Université Abdou Moumouni de Niamey. 56p. 2022.
- [2] Tchiroma M. M. Etude comparée d'un mélange granulaire (Granulats roulés et granulats concassés) pour la fabrication de béton de 30 MPa de résistance à 28 jours. Mémoire de master 2, Université de Niamey, 81p. 2022.
- [3] Baraou I. S., Abdoulwahid S., Abdoul W. D. M, Moussa K. Geotechnical Risk Assessment and Geological Origin of Building Fracturation in Agadez City (North Niger). *Journal of Environmental & Earth Sciences*. 04 (02), 33-44p, 2022.
- [4] Machens E. Contribution à l'étude des formations du socle cristallin et de la couverture sédimentaire de l'Ouest de la République du Niger. Editions BRGM (No. 82), 167 p. 1973.
- [5] Dupuis D., Pons J. et Prost A.E. Mise en place de plutons et caractérisation de la déformation birimienne au Niger occidental. *Compte Rendus Acad. Sci. Paris*, n° 312 (II), p. 769-776. 1991.
- [6] Ama-Salah I., Liegeois J. P. and Pouclet A. Évolution d'un arc insulaire océanique birimien précoce au Liptako nigérien (Sirba): géologie, géochronologie et géochimie. *Journal of African Sciences*, 22 (3), p. 235 – 254, 1996.
- [7] Soumaila A. Etude structurale, pétrographique et géochimique de la ceinture de Diagorou-Darbani, Liptako, Niger Occidental (Afrique de l'Ouest). Thèse, Univ. Franche- Comté, 203 p, 2000.
- [8] Garba S. H., Konaté M., Ahmed Y. et Soumaila A. «Les minéralisations de manganèse du Nord Téra (Liptako, Ouest Niger): origine et conditions de mise en place,» *REV. CAMES - 5 2*), 15 p, 2017.
- [9] Hallarou M. M., Konaté M., Olatunji A.S., Ahmed Y., Ajayi F.F. and Abdul R.M. Re-Os Ages for the Kourki Porphyry Cu-Mo Deposits, North West Niger (West Africa): Geodynamic Implications. *European Journal of Environment and Earth Sciences*, 13 p. 2020.
- [10] Beauvais A., Ruffet G., Henocque O. and Colin F. Chemical and physical erosion rhythms of the West African Cenozoic morphogenesis: The 39Ar-40Ar dating of supergene K-Mn oxides. *Journal of Géophysical Research*, Vol. 113, F04007,15p, 2008.
- [11] Chardon, D., Jean-Louis, G., Anicet, B. and Ousmane, B. West African lateritic pediments: Landform-regolith evolution processes and mineral exploration pitfalls. *Elsevier, Earth-Science Reviews*, 124–146p. 2018.
- [12] Ousmane H., Dia Hantchi K., Boubacar Hamidou L., Abdou Ali I. et Konaté M. Caractérisation de la déformation des dépôts oligocènes du Continental terminal 3 (Ct3) dans la région de Niamey (Bordure Orientale du Craton Ouest Africain, Bassin des lullemeden). *European Scientific Journal*, 16 (15), 15p, 2020.
- [13] Abdoul G. A. S. Analyse tectono-sédimentaire de la formation du Continental terminal 3 de la rive droite du fleuve Niger (secteurs de Karey Gorou, de Ganguel et des Trois Soeurs), Niamey (Liptako-Niger). Mémoire de master 2, Université de Niamey, 82 p, 2022.
- [14] Dubois D., Icole M. et Trichet J. Evolution géomorphologique de la vallée du Niger aux abords de Niamey (République du Niger). *Bull. Soc. Géol. France*, 6: p1305-1318. 1984.
- [15] Ousseini I. et Morel A. Utilisation de formations alluviales azoïques pour l'étude des paléoenvironnements du Pléistocène supérieur et de l'Holocène au sud du Sahara: l'exemple de la vallée du fleuve Niger dans le Liptako nigérien. *Bull Soc Géol de France*, 8 (5), p85-90, 1989.
- [16] DAN BABA H. L'interprétation des données du pénétromètre dynamique. *Bulletin d'information Technique*. Vol. 13, n o 2, 2p, août 2008.
- [17] Wadjana F. T. Etude des propriétés géotechniques des matériaux lateritiques et leur utilisation en application routière (lithostabilisation): cas de la route tamaya- mararaba (ingall, région d'agades, niger). Mémoire de Master 2. Université Abdou Moumouni de Niamey. 76p, 2022.
- [18] YACOUBOU N. Contribution à l'étude des dégradations des routes bitumées: cas du tronçon de la RN1 entre Dogondoutchi et Birni N'Konni (Sud Niger) «. Mémoire de Master 2. Université Abdou Moumouni de Niamey, 74p, 2020.