

Caractérisation géotechnique des sols latéritiques de Kélo-Pala (Sud-Ouest Tchad) en vue de leur utilisation dans la construction routière

[Geotechnical characterization of Kélo-Pala (South-West Chad) lateritic soils for use in road construction]

Al-Hadj Hamid Zagalo¹, Bemba Kant Alfred², and Bozabe Renonet Karka³

¹Université des Sciences et de Technologie d'Ati, Faculté des Sciences de la Vie, de la Terre et de l'Aménagement du Territoire, Ati, Chad

²Université de Dschang, Faculté des Sciences, Cameroon

³Ecole Nationale Supérieure des Travaux Publics, N'Djamena, Chad

Copyright © 2021 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: This article focuses on the evaluation and determination of the geotechnical characteristics of lateritic soils in South-West Chad (Kélo-Pala) with a view to better use in road construction. The study shows that borrowing volumes range from 29374.4 m³ to 87920 m³. The lateral soils studied consist of a mixture of fine particles and gravel with low plasticity. On the physical side, loans have a sieve percentage of 0.08 mm, ranging from 13.7% to 24.8% with an overall average of 18.9%. These values give the soils studied a grainy character. The liquidity limit of the soils studied ranges from 17.2% to 27.4% with an average of 21.17% and the plasticity index ranges from 3.6% to 9.3% with an average of 7%. These results show that the materials studied are noninflating with a small percentage of fine particles. They belong to class A-2-4 according to the HRB classification and class S5 (CBR > 30) according to the LCPC classification. On the mechanical side, the borrowings studied show that the optimal content ranges from 7.3% to 10.1% with an average of 8.55% and the optimal dry density ranges from 2.07g/cm³ to 2.2 g/cm³ with an average of 2.12 g/cm³. The CBR index ranges from 61% to 98% with an average of 79.90%. These results show that the engravers studied belong to class G1 and are usable and usable in road construction according to the recommendations of the CEBTP.

KEYWORDS: Kélo-Pala, lateral soils, evaluation, road construction, geotechnical characterization.

RESUME: Le présent article porte sur l'évaluation et la détermination des caractéristiques géotechniques des sols latéritiques du Sud-Ouest du Tchad (Kélo-Pala) en vue d'une meilleure utilisation dans la construction routière. Il ressort de cette étude que les volumes des emprunts varient de 29374,4 m³ à 87920 m³. Les sols latéritiques étudiés sont constitués d'un mélange de particules fines et de gravillons avec une faible plasticité. Sur le plan physique, les emprunts présentent un pourcentage de tamisât au tamis de 0,08 mm qui se situe entre 13,7 à 24,8% avec une moyenne générale de 18,9%. Ces valeurs confèrent aux sols étudiés un caractère grenu. La limite de liquidité des sols étudiés varie de 17,2 à 27,4% avec une moyenne de 21,17% et l'indice de plasticité varie de 3,6 à 9,3% avec une moyenne de 7%. Ces résultats montrent que les matériaux étudiés sont non gonflants avec un faible pourcentage des particules fines. Ils appartiennent à la classe A-2-4 suivant la classification HRB et à la classe S5 (CBR > 30) selon la classification LCPC. Sur l'aspect mécanique, les emprunts étudiés montrent que la teneur optimale varie entre 7,3% à 10,1% avec une moyenne de 8,55% et la densité sèche optimale varie dans l'intervalle de 2,07g/cm³ à 2,2 g/cm³ avec une moyenne de 2,12 g/cm³. Quant à l'indice CBR, il varie de 61% à 98% avec une moyenne de 79,90%. Ces résultats montrent que les graveleux étudiés appartiennent à la classe G1 et sont exploitables et utilisables dans la construction routière suivant les recommandations du CEBTP.

MOTS-CLEFS: Kélo-Pala, sols latéritiques, évaluation, construction routière, caractérisation géotechnique.

1 INTRODUCTION

L'utilisation des matériaux locaux pour la réalisation des routes est une démarche logique qui peut s'avérer difficile à mettre en œuvre en présence des sols complexes comme les latérites. Ces sols présentent souvent des caractéristiques géotechniques difficiles à appréhender pour une construction routière. Ils sont utilisés comme matériaux de plate-forme, de couche de fondation ainsi que de couche de base pour les différents types des chaussées. La recherche de leurs réelles performances, et leur utilisation idoine, surtout dans le domaine de la construction routière, gagneraient à être inscrites dans toutes actions stratégiques du développement durable d'un pays. Mais avant de les utiliser, il est important de déterminer les caractéristiques géotechniques que renferment ces matériaux pour pouvoir dire qu'ils sont utilisables ou non dans les assises des routes revêtues.

Plusieurs auteurs ont travaillé sur les propriétés des sols latéritiques qui sont utilisés comme matériaux de construction ou comme supports d'ouvrages divers de génie civil.

Vallerg B. et al. ont étudié les caractéristiques des sols latéritiques utilisés dans la construction routière en Thaïlande [1]. Chen V. N. a étudié les possibilités de gonflement et les propriétés de résistance de la latérite [2]. Goudari R. a montré quelques caractéristiques physiques et mécaniques des sols latéritiques de l'île Maurice comme support des fondations des ouvrages [3].

Eu égard à tout ce qui précède, la caractérisation géotechnique des sols latéritiques du tronçon Kélo-Pala dans le Sud-ouest du Tchad (Fig. 1) constitue notre apport dans la connaissance de leur comportement en vue de leur meilleure utilisation dans la géotechnique routière.

2 METHODOLOGIE

2.1 LOCALISATION DES SITES ET ÉCHANTILLONNAGE

La zone d'étude Kélo-Pala est située au Sud-ouest du Tchad entre les parallèles 09°10' 00" et 09°30'00" de latitude Nord et les méridiens 14°50'00" et 15°30'00" de longitude Est. Les sols rencontrés sont les latérites ferrugineuses, les sables à sesquioxydes et des sols hydromorphes et les formations géologiques rencontrées sont des formations volcaniques, magmatiques, volcano-sédimentaires, sédimentaires et métamorphiques [4].

Les études géotechniques ont été faites sur les emprunts disponibles le long du tracé Kélo-Pala dont onze (11) sites ont été identifiés et explorés. A cet effet, six (6) puits de 2 m de profondeur pour chaque emprunt ont été réalisés excepté l'emprunt 6 où il a été réalisé 10 puits et l'emprunt 5 où il a été réalisé 5 puits. Dans le souci d'avoir des échantillons représentatifs, la surface des emprunts est entièrement maillée avant tout prélèvement. Au total, 69 échantillons ont été collectés sur les emprunts pour les essais géotechniques. De plus, le volume de ces matériaux est évalué par le calcul qui met en jeu l'épaisseur et la surface du matériau. Le volume exploitable de chaque emprunt est déterminé à l'aide de la formule suivante: $V = A \times e$ où V : volume, A : surface du matériau et e : épaisseur de l'horizon prélevé pour les analyses.

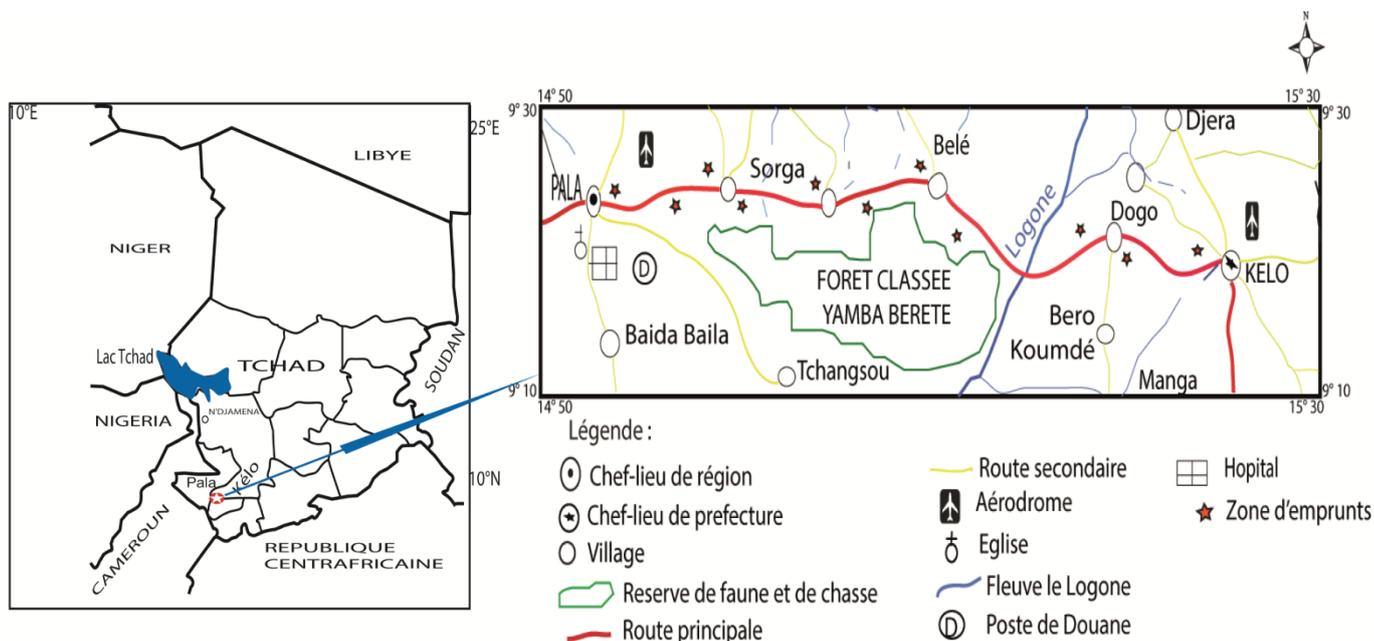


Fig. 1. Carte de localisation de la zone d'étude

2.2 EXPÉRIMENTATION

L'analyse granulométrique des sols étudiés a été effectuée par tamisage à sec après lavage suivant les prescriptions de la norme NF P 94 – 056 [5]. L'étude de la consistance des sols a été menée sur la base des limites d'Atterberg. La limite de liquidité (w_L) a été déterminée à l'aide de l'appareil de Casagrande et la limite de plasticité (w_p) selon la méthode du rouleau. Ces limites d'Atterberg ont été déterminées en suivant la norme NF P 94-051 [6]. L'indice de plasticité a été calculé comme étant la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité. L'essai Proctor modifié a été effectué suivant la norme NF P 94 - 093 [7] et celui de CBR a été réalisé suivant la norme NF P 94-078 [8].

3 RESULTATS ET DISCUSSIONS

La première étape de toute étude géotechnique consiste à identifier et classer les sols avant de passer à la deuxième étape qui est la détermination de leurs caractéristiques mécaniques utilisées dans la construction routière.

Les travaux effectués sur le terrain et au laboratoire ont abouti à des résultats. Ces derniers portent notamment sur la description lithologique des puits réalisés et les caractéristiques géotechniques des sols obtenus.

3.1 DESCRIPTION MACROSCOPIQUE DES EMPRUNTS

La description macroscopique a mis en évidence la nature des sols rencontrés dans la zone d'étude. Des niveaux y ont été identifiés et décrits en allant du sommet vers la base de tous les emprunts (Figure 2, 3, 4, 5,6 et 7).

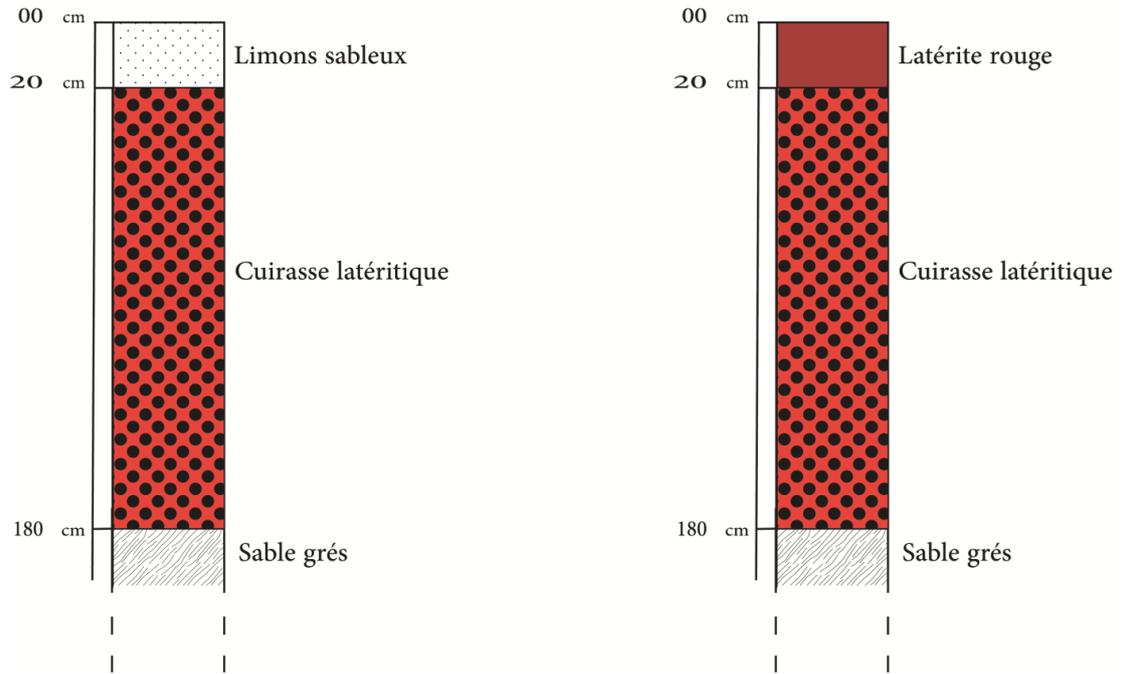


Fig. 2. Profils des sols étudiés: cas des emprunts 1 (situé à gauche) et 2 (situé à droite)

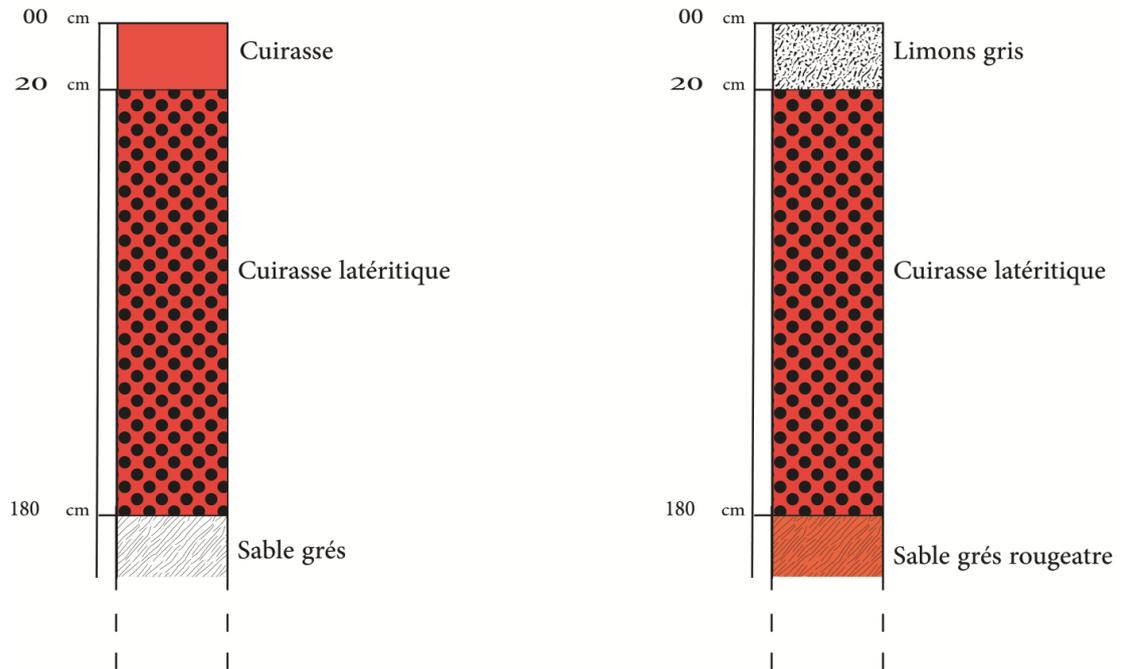


Fig. 3. Profils des sols étudiés: cas des emprunts 3 (situé à gauche) et 4 (situé à droite)

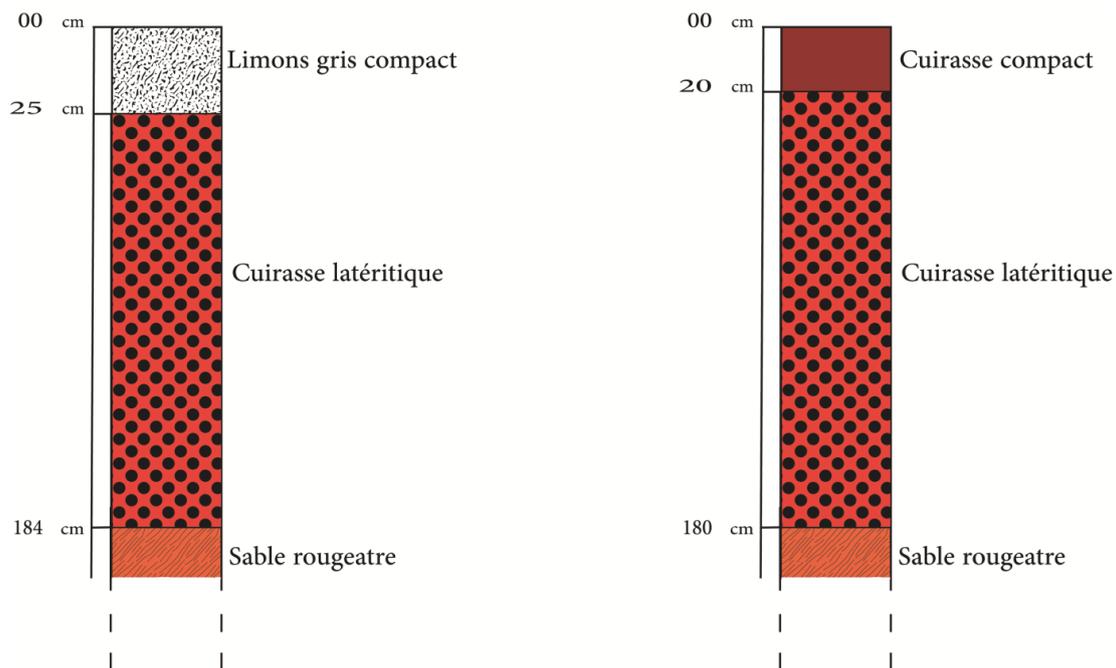


Fig. 4. Profils des sols étudiés: cas des emprunts 5 (situé à gauche) et 6 (situé à droite)

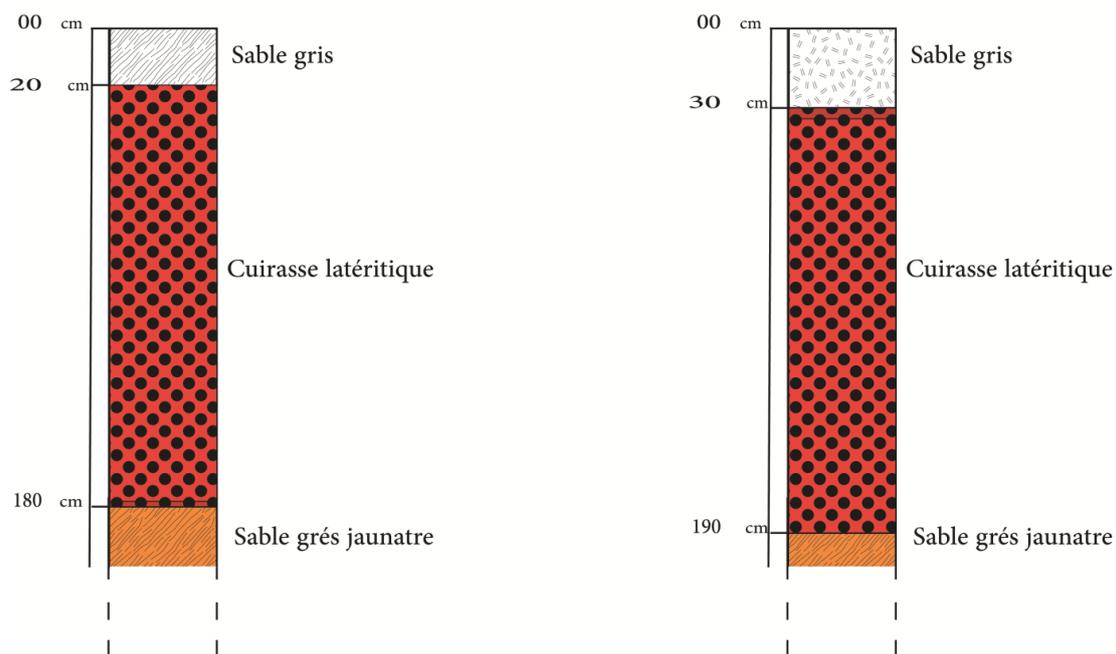


Fig. 5. Profils des sols étudiés: cas des emprunts 7 (situé à gauche) et 8 (situé à droite)

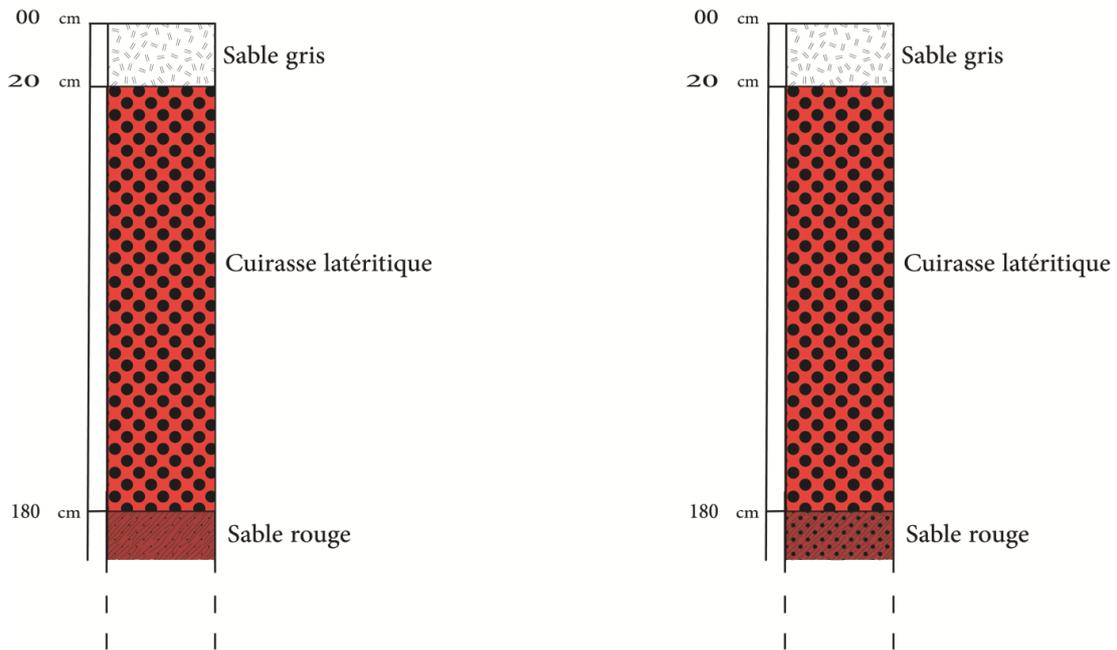


Fig. 6. Profils des sols étudiés: cas des emprunts 9 (situé à gauche) et 10 (situé à droite)

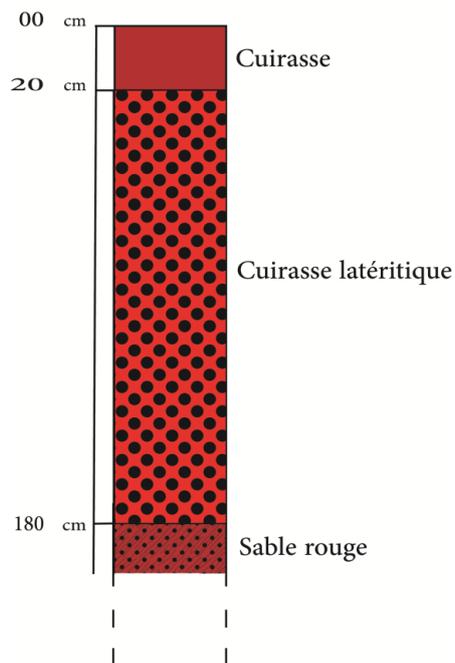


Fig. 7. Profil des sols étudiés: cas des emprunts 11

Il ressort de cette description que les emprunts montrent une succession des couches avec une variation de couleur en fonction de la profondeur. De plus, ces emprunts renferment de façon globale des sols latéritiques semblables mais avec des profondeurs différentes.

3.2 CARACTÉRISATION GÉOTECHNIQUE

3.2.1 PARAMÈTRES PHYSIQUES

L'étude des paramètres physiques des sols latéritiques du tronçon Kélo-Pala a été effectuée sur 69 échantillons. Les valeurs moyennes de pourcentage des passants au tamis de 0,08 mm et celles des paramètres de consistance des sols étudiés sont présentées sur le tableau 1.

Du point de vue géotechnique, la granulométrie de ces emprunts est acceptable dans la couche de base et couche de fondation des chaussées. Une comparaison est établie entre les fuseaux granulométriques de ces échantillons et fuseaux granulométriques type recommandé par le CEBTP [9] pour l'utilisation des graveleux latéritiques en couche de fondation et de base. Les enveloppes granulométriques de ces sols latéritiques étudiés sont inscrites dans les fuseaux granulométriques type recommandé par le CEBTP pour la couche de base et couche de fondation.

Tableau 1. Valeurs moyennes des particules fines et des caractéristiques de consistance des sols

Désignation	Teneur en particules < 0,08mm	Limite de liquidité w_L (%)	Limite de plasticité w_P (%)	Indice de plasticité I_P (%)
Emprunt 1	16,9	21,1	15,5	5,6
Emprunt 2	20,2	24,0	16,5	7,5
Emprunt 3	14,6	18,7	13,9	4,8
Emprunt 4	18,8	22,5	15,9	6,6
Emprunt 5	13,7	17,2	13,6	3,6
Emprunt 6	24,8	20,5	14,5	6,0
Emprunt 7	20,8	18,5	13,7	4,8
Emprunt 8	23,7	26,9	17,6	9,3
Emprunt 9	22,2	24,2	16,7	7,5
Emprunt 10	14,9	27,4	18,5	8,9
Emprunt 11	17,3	23,5	14,5	9

Le tableau 1 montre que la teneur moyenne en particules fines de onze (11) emprunts varie de 13,7% à 24,8% avec une moyenne générale de 18,9%. Ces valeurs confèrent aux sols étudiés un caractère grenu. Ce faible pourcentage des particules fines de ces emprunts pourrait s'expliquer par le degré d'altération des roches mères et la topographie de la zone d'étude. Cet intervalle de variation ne concorde pas avec les résultats des travaux de [10], d'après lesquels la teneur en particules de dimension inférieure à 0,08mm des sols latéritiques de Bafoussam (Cameroun) varie de 66,10% à 96,50% avec une moyenne de 88,01%. De plus, le pourcentage des particules fines obtenu est supérieur à celui trouvé par [11] sur les sols latéritiques utilisés en construction routière au Niger.

La limite de liquidité des sols étudiés varie de 17,2 à 27,4% avec une moyenne de 21,17%. Cette valeur moyenne confère aux sols étudiés un caractère non gonflant selon la classification proposée par [12]. La limite de plasticité varie entre 13,6 à 18,5% avec une moyenne de 15,53% et l'indice de plasticité varie de 3,6 à 9,3% avec une moyenne de 7%. Le faible indice de plasticité confirme les résultats des travaux menés par [13] dans cette zone. Ce chercheur montre que ces sols latéritiques sont constitués des argiles de type 1/1 qui sont généralement de nature peu gonflante.

3.2.2 PARAMÈTRES MÉCANIQUES

Les caractéristiques mécaniques les plus utilisées dans la géotechnique routière et obtenues en laboratoire sont la densité optimale, la teneur en eau optimale et l'indice CBR. L'étude de ces caractéristiques, effectuée sur 69 échantillons de sol remaniés, fait l'objet de la présente section.

Tableau 2. Valeurs moyennes des densités et teneurs en eau optimales des emprunts étudiés

Emprunts	Densité optimale g/cm ³	Teneur en eau optimale %
Emprunt 1	2,1	8,8
Emprunt 2	2,1	10,1
Emprunt 3	2,1	8
Emprunt 4	2,1	8,7
Emprunt 5	2,1	7,8
Emprunt 6	2,2	9,4
Emprunt 7	2,1	7,7
Emprunt 8	2,07	8,8
Emprunt 9	2,1	9
Emprunt 10	2,2	8,5
Emprunt 11	2,1	7,3

Le tableau 2, montre que la teneur en eau optimale des emprunts étudiés varie entre 7,3% à 10,1% avec une moyenne de 8,55%. Quant à la densité sèche optimale la valeur obtenue varie dans l'intervalle de 2,07 g/cm³ à 2,2 g/cm³ avec une moyenne de 2,12 g/cm³. Ces valeurs obtenues montrent un écart faible à celles des travaux de [14] sur les graveleux latéritiques naturels au Burkina Faso (densité maximale 2,2 g/cm³ et teneur en eau optimale 7%). Cet écart pourrait être expliqué par la nature et le degré d'altération des sols étudiés. De même, il existe aussi un écart faible entre les données obtenues et les résultats des sols latéritiques de la région d'Agneby en Côte-d'Ivoire (densité optimale est de 2,13 g/cm³ et teneur en eau optimale est de 8,72%) [15].

L'essai CBR déterminé à 95% à l'OPM du compactage après 4 jours d'immersion des échantillons dans l'eau a donné les valeurs d'indice de CBR. Ces résultats détaillés sont présentés sur le tableau 3.

Tableau 3. Valeurs moyennes de CBR à 95% des emprunts étudiés

Emprunts	CBR à 95%
Emprunt 1	83
Emprunt 2	85
Emprunt 3	98
Emprunt 4	81
Emprunt 5	87
Emprunt 6	72
Emprunt 7	68
Emprunt 8	62
Emprunt 9	61
Emprunt 10	86
Emprunt 11	96

Le tableau 3 montre que l'indice CBR varie de 61% à 98% avec une moyenne de 79,90%. D'après la classification de [16], ces graveleux appartiennent à la classe G11 et de ce fait, ces sols peuvent être utilisés comme couche de forme dans la construction des routes non revêtues et revêtues.

4 CONCLUSION

La zone d'étude localisée dans le Sud-ouest du Tchad a un climat de type soudano-guinéen et son relief présente une variation d'altitude. Les sols rencontrés sont des sols latéritiques, hydromorphes et les formations géologiques rencontrées sont de types endogènes et exogènes.

Les échantillons étudiés ont été prélevés dans l'horizon B des différents emprunts situés tout au long du tracé de la zone d'étude. Les résultats obtenus ont permis d'évaluer la réserve exploitable et de caractériser ces emprunts dans le domaine de

la géotechnique routière. La détermination du volume par le calcul qui a mis en jeu l'épaisseur des graveleux latéritiques et la surface de ces emprunts montrent qu'ils existent une réserve importante de ces matériaux pour une utilisation dans la construction routière. Le pourcentage de passant au tamis de 0,08 mm montre le caractère grenu des latérites graveleuses. La moyenne de l'indice de plasticité confère aux sols étudiés un caractère non plastique. D'après la classification LCPC, ces sols appartiennent à la catégorie des graves. En se référant à la classification HRB, ces matériaux appartiennent au groupe A-2 avec un sous-groupe A-2-4.

Les caractéristiques physiques et mécaniques de ces emprunts indiquent qu'on peut les utiliser dans la couche de forme, couche de base et couche de fondation à l'état naturel.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les responsables de l'entreprise SATOM pour avoir mis à notre disposition leur laboratoire et les équipements et données nécessaires pour la réalisation de ce travail.

REFERENCES

- [1] Vallerg B., Nibon R., (1969): Characteristics of lateritic soil used in Thailand road construction. Highway Research record.N284. Washington, 85-101pp.
- [2] Chen V. N., (1988): A study of some engineering properties of lateritic soils. Geotech.Tropical Soils: Proc.2nd Int. Conference, Singapore, 12-14 Dec., 1988. Vol. 1. - Rotterdam. Brookfield,1988, 245-251pp.
- [3] Goudari R., (1990): Etude des propriétés géotechniques des sols et des méthodes de calcul des fondations dans les conditions de l'Ile Maurice. Thèse de Ph.D., kharkov, 179p.
- [4] Doumnang J.C., (2006): Géologie des formations Néoprotérozoïques du Mayo Kebbi (Sud-ouest du Tchad): Apport de la pétrologie et de la géochimie implications sur la géodynamique au panafricain. Thèse de Doctorat, université d'Orléans, France. 223p.
- [5] NF P 94 – 056, (1996). Sols: reconnaissance et essais. Analyse granulométrique des sols. Méthode par tamisage à sec après lavage. AFNOR, Paris.
- [6] NF P 94 – 051, (1993). Sols: reconnaissance et essais. Détermination des limites d'Atterberg. Limite de liquidité à la coupelle – limite de plasticité au rouleau. AFNOR, Paris.
- [7] NF P 94 - 093, (1993). Sols: reconnaissance et essais. Détermination des références de compactage d'un matériau: Essai Proctor Normal- Essai Proctor Modifié. AFNOR, Paris.
- [8] NF P 94 – 078, (1997). Sols: reconnaissance et essais. Indice CBR après Immersion- Indice CBR Immédiat- Indice Portant Immédiat. AFNOR, Paris.
- [9] CEBTP., (1984): Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux. Manuel sur les routes dans les zones tropicales et désertiques. Tome 2: Études et construction. Ministère de la coopération Paris. 155p.
- [10] Amadou T., (2008).Caractéristiques physiques et mécaniques des sols ferrallitiques de Bafoussam et leurs corrélations. Thèse doctorat, Ecole Nationale Polytechnique de l'Université de Yaoundé I, Cameroun,162p.
- [11] Mahamadou S. I., Nadia S., Yannick A., Cécile G., Maignien R., (2015). Etude des matériaux latéritiques utilisés en construction routière au Niger: méthode d'amélioration. Rencontres universitaires de génie civil, Bayonne, France. 10p.
- [12] Dakshanamurthy V., Raman V., (1973). A simple method of identifying an expansive soil. Soils and Foundations. Japanese Soc. Of soil Mech and foundation Eng. Vol.13, 97-104pp.
- [13] Wacrenier Ph., (1953). Les roches calcaires du Mayo-Kebbi. Paris, France: B.R.G.M. 17 p.
- [14] Mahamat Nganasso, (2012). Amélioration des graveleux latéritiques au ciment en couches de chaussée au Burkina Faso: cas des travaux de renforcement de la RN1 entre Boromo et Bobo-Dioulasso. Mémoire pour l'obtention de diplôme de Master. Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement, Ouagadougou, 61p.
- [15] Bohi Zondjé Poanguy Bernadin (2008). Caractérisation des sols latéritiques utilisés en construction routière: cas de la région de l'Agneby (Coted'Ivoire). Thèse doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France, 142p.
- [16] Bagarre E., (1990). Utilisation des graveleux latéritiques en technique routière: Synthèses. ISTE. 148p.