



Full Length Research Paper

Amélioration des propriétés géotechniques du graveleux latéritique par ajout de la grave alluvionnaire concassée 0/31,5

Louis AHOUE^{1,2,*}, Raymond Gentil ELENGA¹, Stévyne BOUYILA¹, Mondésir NGOULOU¹, Eric KENGUE¹

¹Laboratoire des Matériaux et Energie, Faculté des Sciences et Techniques, Université Marien Nguabi – Brazzaville, Congo

²Bureau de Contrôle du Bâtiment et Travaux Publics, Brazzaville, Congo

Received July 2018 – Accepted November 2018



*Corresponding author. E-mail: louisahouet2@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.

Abstract:

L'utilisation des matériaux locaux appropriés contribue à la réduction des coûts et de l'impact environnemental des constructions. Dans cette optique, ce travail a consisté à déterminer les utilisations routières conformes aux normes du CEBTP 1980, des mélanges grave latéritique - grave alluvionnaire de la région de la Bouenza, au Congo. Les résultats obtenus montrent que l'indice CBR à 95 % de l'optimum Proctor modifié du mélange présente un maximum de 110 % pour une teneur en grave alluvionnaire de 30 % et que l'indice de plasticité décroît linéairement avec la teneur en grave alluvionnaire. Au vu de leurs indices CBR et de plasticité, les mélanges à 30% et 35 % sont utilisables pour la couche de base des trafics T1 et T2 tandis que la grave latéritique brute et les mélanges à 15%, 20 %, 25 % et 40 % le sont pour la couche de fondation des trafics T3 et T4. La déflexion sur une planche d'essai de 150 m du mélange à 30 % est de 0,4 mm à 0,55 mm, le maximum autorisé étant de 0,8 mm. Cette grave latéritique n'entre dans aucune classe des sols latéritiques du CEBTP.

Keyword: Grave latéritique; Grave alluvionnaire; Lithostabilisation; CEBTP; Route; Géotechnique.

Cite this article:

Louis AHOUE^{1,2,*}, Raymond Gentil ELENGA¹, Stévyne BOUYILA¹, Mondésir NGOULOU¹, Eric KENGUE (2018). Amélioration des propriétés géotechniques de la latérite par ajout de la grave alluvionnaire concassée 0/31,5. Revue RAMReS – Sci. Appl. & de l'Ing., Vol. 3(1), pp. 1-6. ISSN 2312-8712.

1. Introduction

La route est le mode de transport dominant en Afrique, avec plus de 80 % du trafic de marchandises interurbain et inter-Etat. Elle est souvent l'unique voie d'accès aux zones rurales. Malgré cette grande importance socio-économique, la densité routière y reste faible, environ 6,4 km pour 100 km² [1], et les routes revêtues ne représentent qu'environ 25% du réseau total bien que, selon les pays, ce taux ait été multiplié par 3 à 18 de 1970 à 2008 [2, 3]. Malheureusement, en Afrique au sud du Sahara, la durée de vie des routes en terre n'est que d'un à deux ans. Ces routes se dégradent en perdant tout ou partie de leur couche de roulement, sous les actions combinées du trafic, de la pluviométrie et du mauvais entretien [1, 3, 4]. Les programmes de développement des routes en terre ont été peu efficaces faute d'une organisation cohérente avec un plan de financement et de maintenance approprié [5]. Pour réduire les coûts et

l'impact environnemental de la construction et de la maintenance des routes, l'utilisation des matériaux locaux non conventionnels (recyclés ou naturels) peut être un atout si elle est précédée d'études géotechniques nécessaires [6, 7, 8]. En effet, certaines études montrent que certains matériaux locaux, notamment les sols latéritiques, bien que ne répondant pas aux spécifications des normes européennes ou américaines, se sont révélés bons à l'usage, alors que certaines routes construites dans le respect de ces mêmes normes se sont dégradées prématurément [3, 6-10]. C'est que ces normes ont été conçues en tenant compte du comportement des matériaux en climat tempéré.

En Afrique au sud du Sahara, les sols latéritiques sont parmi les matériaux locaux les plus utilisés pour la construction des routes en raison de leur abondance [11-19]. L'utilisation du graveleux latéritique non stabilisée en couche de roulement nécessite des

aménagement spéciaux (remblai, barrière de pluies, réguliers reprofilages et nouveaux apports de la terre) à cause de sa sensibilité à l'eau, des pertes de la fraction fine dues aux vents et au ruissellement, et des ondulations de la route générées par les pneus des véhicules et appelées « tôles ondulées ».

Pour améliorer le comportement des sols latéritiques utilisés en construction routière, plusieurs techniques et matériaux ont été testés dans la littérature : stabilisation chimique avec différents liants, stabilisation mécanique par ajout de sables naturels, de roches concassées, des coques de noix de palme, des fibres végétales, etc [15, 16, 20, 21]. Quoique très variées, ces études n'ont pas épuisé le sujet. Il importera toujours pour chaque couple sol latéritique-correcteur, d'effectuer les tests nécessaires. En effet, le comportement du mélange dépend non seulement de sa granularité mais aussi de la minéralogie du sol. A notre connaissance, l'utilisation de la grave alluvionnaire comme correcteur d'un sol latéritique n'a pas encore été rapportée. Or, certaines régions particulièrement arrosées, comme l'Afrique centrale, disposent d'importants gisements de graves alluvionnaires qui pourraient être utilisées en construction routière.

Ce travail a pour objectif de caractériser une grave latéritique et une grave alluvionnaire concassée 0/31,5 de la région de la Bouenza au Congo-Brazzaville, et leurs mélanges en vue de déterminer leurs utilisations routières possibles conformes aux spécifications de référence pour les routes habituellement utilisées dans la sous-région (CEBTP 1980).

2. Matériels et méthodes

La formulation des matériaux de la couche de base a été réalisée suivant le protocole expérimental avec les essais rapportés dans l'organigramme ci-après.

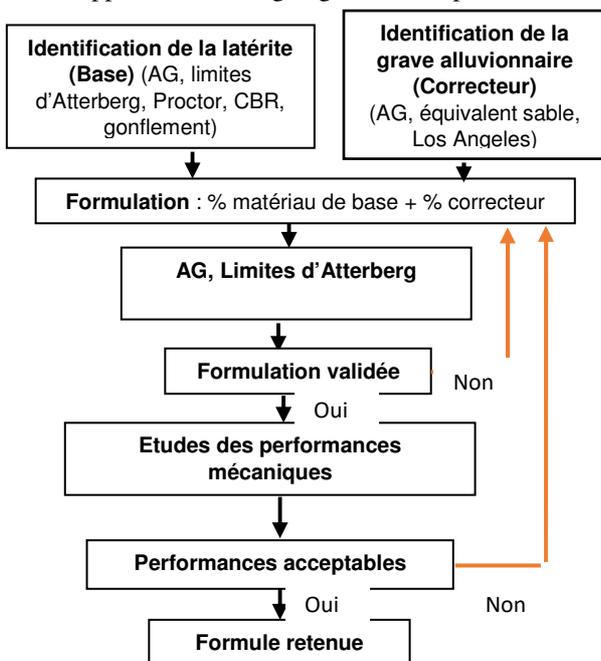


Figure 1 : Organigramme de la lithostabilisation de la grave latéritique avec la grave alluvionnaire. (AG = Analyse Granulométrique)

La grave alluvionnaire utilisée a été prélevée à la confluence du fleuve Niari et de la rivière Moukougoulou et la grave latéritique a été prélevée non loin de ladite confluence, sur l'axe de la route Bouansa – Mouyondzi, dans le département de la Bouenza au Congo.

L'analyse granulométrique de la grave alluvionnaire a été réalisée conformément à la norme (NF EN 933-1 et NF EN 13285), alors que celle du graveleux latéritique l'a été conformément à la norme NF P 94/547. Les essais de plasticité (limites d'Atterberg), de compactage (Proctor), de portance et de gonflement (Californian Bearing Ratio (CBR)) des sols ont été respectivement effectués conformément aux normes NF P94/051, NF P94/093 et NF P94-078. L'équivalent de sable et l'essai Los Angeles de la grave alluvionnaire ont été respectivement réalisés suivant les normes NF EN 933-8 et NF P18-573. Le mélange de la grave latéritique et de la grave alluvionnaire a été réalisé en brassant les proportions retenues des deux matériaux jusqu'à l'obtention d'un mélange homogène. Une planche d'essai de 150 m a été réalisée sur une couche de base de 20 cm d'épaisseur du graveleux latéritique amélioré à 30 % de la grave alluvionnaire 0/31,5, teneur correspondant à l'optimum de l'indice CBR à 95 % de l'Optimum Proctor Modifié (OPM). La surface du dit matériau a été imperméabilisée et stabilisée sur une épaisseur de 2 à 2,5 cm au cut-back fluidifié 0/1. Les essais de compactage in situ ont été réalisés au compacteur à pneus PS 500 à 5 tonnes par roue et au rouleau vibrant lourd de type Dynapac CA 512.

Les essais de déformabilité de la chaussée sous charge dynamique (mesures de la déflexion) ont été réalisés à la poutre Benkelman.

3. Résultats

3.1. Caractéristiques géotechniques de la grave latéritique.



Figure 2 : A gauche la grave latéritique brute, et à droite la lavée.

La figure 2 présente des vues de la grave latéritique brute de couleur jaune ocre et de celle lavée de couleur rouge ocre.

Le tableau 1 rapporte des caractéristiques géotechniques des graves latéritiques et alluvionnaires utilisées.

Tableau 1 : Caractéristiques géotechniques de la grave alluvionnaire et latéritique. OPM = Optimum Proctor Modifié, IP = Indice de Plasticité, VBS = Valeur au Bleu de Méthylène.

Caractéristiques géotechniques	Grave	
	Alluvions	Latérite
Passants (%)		
40 mm	100	100
2 mm	35	38
0,08 mm	4	31
Equivalent de sable (%)	80	-
Los Angeles (%)	23	25
OPM		
DS (t/m ³)	-	2,15
Eau (%)	-	10
CBR à 95% (%)	-	54
Gonflement (%)	-	0
IP (%)	-	18,9
% Fines après compactage	-	35
VBS	-	0,58
Indice de groupe	-	2

L'indice de plasticité de la grave latéritique est de 18,9 %, valeur inférieure au maximum recommandé de 30 %, c'est-à-dire dans la gamme de ceux des graveaux latéritiques moyennement plastiques utilisables en couche de fondation pour les trafics T₃ à T₄, selon la classification du CEBTP de 1980. Son gonflement mesuré lors de l'essai CBR est quasiment nul. Cependant, sa densité sèche à l'optimum Proctor Modifié (OPM) est de 2,15 t/m³, valeur supérieure au minimum recommandé de 2,0 t/m³ et sa teneur en eau optimale de 10 % est inférieure au maximum recommandé de 13 % par le CEBTP 1980. Son indice portant CBR à 95% de l'OPM après immersion est de 54%, valeur supérieure au minimum de 30% exigé pour l'utilisation en couche de fondation, mais inférieur aux 80% exigés pour la couche de base par le CEBTP, 1984. Cette portance est supérieure à celles des graves latéritiques étudiées au Congo Démocratique, en Côte d'Ivoire et à Dosso au Niger [12, 18]. En revanche, elle est inférieure à celles de plusieurs graves latéritiques étudiées au Sénégal [15]. Par ailleurs, elle a une teneur en fines de 31%, inférieure au maximum de 35 % pour les trafics T₁-T₂, recommandé par le CEBTP 1980. Le pourcentage de fines après compactage lors de l'essai Proctor modifié est de 35 %, soit une augmentation de 4 % par rapport à la grave avant compactage. Cette augmentation est inférieure au maximum de 8% exigé par le CEBTP 1980. La valeur au bleu de méthylène (VBS) est de 0,58. Ainsi, cette grave latéritique est sensible à l'eau (0,2 < VBS < 1,5). Contrairement à ce qui avait été constaté sur des graveaux latéritiques en République Démocratique du Congo [18], cette grave latéritique, bien qu'avec une VBS supérieure à 0,4 à un indice CBR à 95 % de l'OPM supérieur à 40. Le coefficient Los Angeles de la grave latérite est de 25%, inférieur

au maximum de 35 % pour une utilisation en couche de base selon le CEBTP 1980.

Une classification des sols latéritiques du Congo Démocratique et une autre de la Côte d'Ivoire avaient été proposées [18]. Ces deux classifications furent synthétisées par celle du CEBTP 1984. Toutes ces classifications repartissent les latérites en trois groupes définis à partir des grandeurs géotechniques. Malheureusement, aucune de ces classifications ne place cette grave latéritique de la Bouénza dans un groupe particulier. Certaines de ses grandeurs géotechniques la placent dans le groupe 1, d'autres grandeurs la placent plutôt dans le groupe 2, et d'autres encore la situent dans le groupe 3. Par contre, par rapport aux spécifications du Guide des Terrassements Routiers (GTR), cette grave latéritique est de la classe B5 alors que la plupart des sols latéritiques sont de la classe B6. En revanche, elle est de la classe A-2-6 selon la classification HRB.

La figure 2 rapporte les courbes granulométriques des graves latéritique et alluvionnaire avec les fuseaux granulométriques normatifs NF EN 13285 et CEBTP 1980. Pour les grains de taille supérieure à 0,9 mm, la courbe granulométrique de la grave latéritique est proche de la courbe moyenne des fuseaux normatifs ; en deçà de 0,2 mm, elle passe au-dessus des fuseaux normatifs. Pour une utilisation de cette grave latéritique en couche de base conforme à ces normes, il convient donc de l'amender avec un sol moins riche en fines. Par ailleurs, la courbe granulométrique de cette grave latéritique a une allure conforme à celles observées pour d'autres sols latéritiques. En effet, sans être identiques, ces courbes généralement s'inscrivent dans le fuseau pour ce qui est des éléments grossiers et elles sont évaseées pour les éléments fins [12, 15, 16, 18].

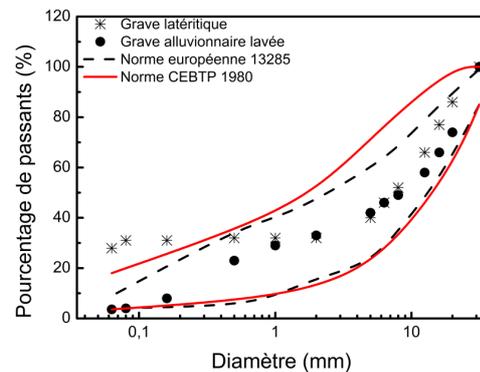


Figure 2 : Courbes granulométriques des graves alluvionnaire et latéritique en compagnie des fuseaux des normes NF NE 13285 et CEBTP 1980.

3.2. Caractéristiques géotechniques de la grave alluvionnaire.

La photo de gauche et celle de droite sont des vues respectives de la grave alluvionnaire 0/31,5 brute et de celle lavée.



Figure 3 : A gauche la grave alluvionnaire 0/31,5 brute et à droite celle lavée.

Comme on peut le constater dans la figure 2, la courbe granulométrique de la grave alluvionnaire lavée s’insère bien dans les fuseaux des deux normes. La teneur en grains de taille inférieure à 0,15 mm de cette grave étant au minimum admis, ceci explique au moins en partie son manque de cohésion et l’impossibilité de mesurer son indice CBR. En conséquence, le pourcentage de la grave alluvionnaire à ajouter doit rester limité pour que la courbe de la grave latéritique intègre le fuseau du CEBTP 1980. Par ailleurs, la grave alluvionnaire a une bonne résistance au frottement puisque son coefficient Los Angeles est de 23 %, inférieur au maximum de 30 % exigé pour les trafics T4 et T5 par le CEBTP 1980. Cependant, l’équivalent de sable est de 80 %, ce sable est propre à la fabrication du mortier et du béton. Cette teneur de l’équivalent de sable est supérieure aux 40 % exigés pour une couche de base pour les trafics T3 et T4 par le CEBTP 1980. L’indice de plasticité de ce matériau est nul et sa teneur en fines est de 4%. Or, selon le CEBTP 1980, pour une utilisation en couche de chaussée, les sols à indice de plasticité nul doivent avoir une teneur en fines supérieure à 4%. Ainsi, pour une formulation d’une couche de chaussée, cette grave alluvionnaire pourrait être utilisée comme correcteur de la grave latéritique caractérisée ci-dessus.

3.3. Formulation de la grave latéritique améliorée à la grave alluvionnaire

La figure 4 représente les courbes granulométriques de la grave latéritique mélangée à la grave alluvionnaire à différentes teneurs (15 %, 20 %, 25 %, 30 %, 35 % et 40 %).

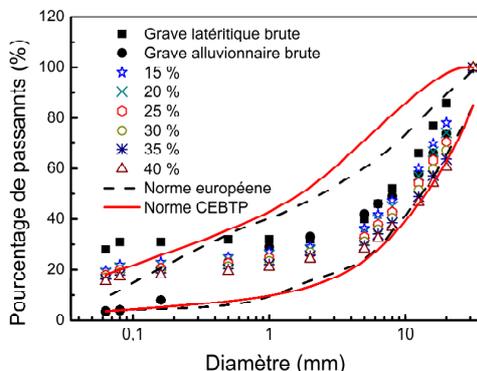


Figure 4 : Courbes granulométriques des graves alluvionnaire et latéritique, celles de leurs mélanges à 15, 20, 25, 30, 35, et 40 % et les fuseaux des normes NF NE 13285 et CEBTP 1980.

Cette figure montre que l’ajout de la grave alluvionnaire ramène quasiment toutes les courbes dans le fuseau de la norme du CEBTP 1980. En revanche, tous ces mélanges restent trop fins en deçà de 0,15 mm pour la norme européenne.

La figure 5 montre les évolutions de la densité et de l’indice CBR du mélange en fonction de la teneur en grave alluvionnaire.

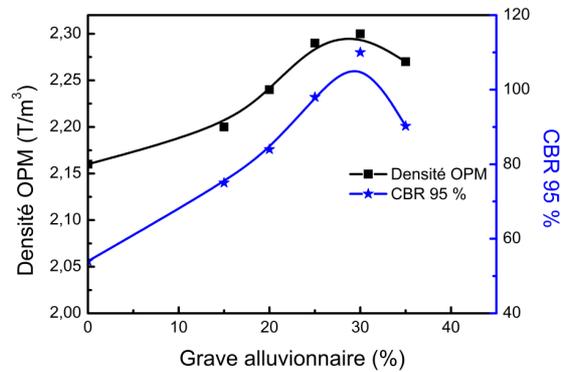


Figure 5. Evolution de la densité sèche et du CBR du mélange en fonction de la teneur en grave alluvionnaire

On peut y voir que l’évolution de la densité et celle de l’indice CBR sont très corrélées et leur optimum est environ à 30 %. La figure 6 représente l’indice CBR en fonction de la densité. La relation trouvée entre l’indice CBR à 95 % $I_{CBR}(\%)$ et la densité $d(t/m^3)$ de ces mélanges est la suivante :

$$I_{CBR}(\%) = -5,7 + 7,6d - 3,4d^2 + 0,06d^3 ; R^2=0,995$$

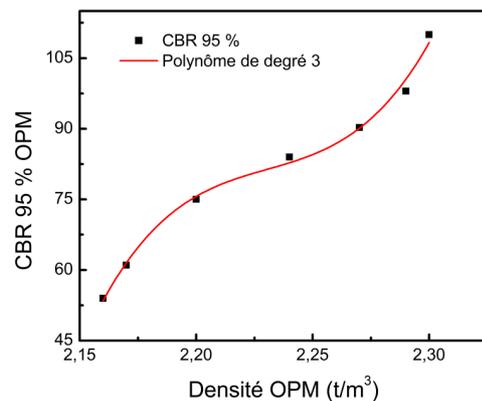


Figure 6 : Evolution de la densité optimum en rapport avec le CBR à 95% de l’OPM

L’indice CBR à 95 % de l’OPM passe de 54 % pour la grave latéritique brute à 110 % pour le mélange à 30 % avec la grave alluvionnaire, soit une augmentation de 104 %. Cette augmentation reste moindre que celle obtenue par Issiakou sur le graveleux latéritique de Dosso au Niger avec 15% de nodules latéritiques de la classe 0/5 mm. [12]. En effet, avec cette teneur en nodules, l’indice CBR de son graveleux latéritique est passé de 14 % à 43 %, soit une augmentation de 207 %. A noter aussi qu’avec un autre emprunt latéritique,

ce même auteur pour une teneur en nodules de 10 %, a obtenu une augmentation de l'indice CBR de seulement 22 % à 32 %, soit une augmentation de 45 % [22]. En revanche, le résultat obtenu ici est bien meilleur que celui obtenu par Madjadoubaye et al. qui ont étudié la lithostabilisation du graveleux latéritique avec des coques de noix. Ils ont obtenu un optimum de l'indice CBR à 95 % pour une concentration en coques de 20 %. L'indice CBR est passé de 38% sans coques à 48% avec 20 % de coques, soit une augmentation de 26 %. A 30% il est tombé à 11 %. Les résultats obtenus avec le sable pour correcteur sont variables : la portance augmente pour certains graveleux latéritiques et diminue pour d'autres [15].

Les mélanges grave latéritique-grave alluvionnaire avec des teneurs en grave alluvionnaire allant de 20 % à 35 % ont un indice CBR supérieur aux 80 % exigés pour l'utilisation en couche de base par le CEBTP 1980.

L'évolution de l'indice de plasticité (IP) du mélange en fonction de la teneur de la grave alluvionnaire est une droite décroissante (Figure 6) d'équation :

$$IP(\%) = 19 - 48,4C ; R^2 = 0,997$$

C'est la teneur en grave alluvionnaire du mélange.

Ainsi, on peut dire que l'IP obéit à la loi des mélanges pour ce couple de graves : la droite passe par la valeur de l'IP de la grave latéritique brute.

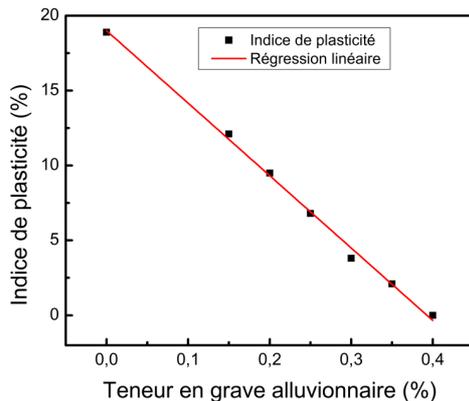


Figure 7 : Evolution de l'indice de plasticité en fonction de la teneur en grave alluvionnaire.

L'IP passe de 18,9 % pour le graveleux latéritique brute à non mesurable pour le mélange à 40 % de la grave alluvionnaire. Au maximum de l'indice CBR à 95 %, l'IP est de 3,8 %, valeur inférieure au maximum recommandé de 6 % par le CEBTP 1980, pour une utilisation en couche de base. Cette baisse de l'IP est plus conséquente que celle obtenue par Issiafou (de 17 % à 12 %) avec des nodules latéritiques [12]. Les mélanges à 15 %, 20% et 25 % de la grave alluvionnaire ont des indices de plasticité non autorisés en couche de base, mais autorisés en couche de fondation par le CEBTP 1980.

La figure 8 répertorie les utilisations du mélange en construction routière conformes aux spécifications du

CEBTP 1980 qui se basent sur l'indice portant CBR et l'indice de plasticité.

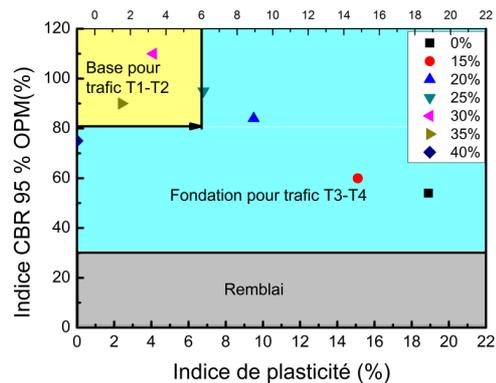


Figure 8. Utilisation du mélange en construction routière en fonction de l'indice portant CBR, et l'indice de plasticité (CEBTP 1980).

Ainsi, les mélanges à 30 % et 35 % sont recommandables en couche de base pour les trafics T₁ et T₂. Les mélanges à 15%, 20%, 25%, 40% et la latérite brute sont recommandables en couche de fondation pour les trafics T₃ et T₄ (CEBTP 1980).

3.4. Essais sur planche d'essai

Les essais de densité réalisés in situ ont montré qu'avec 6 passes du compacteur à pneus et 4 passes du rouleau vibreur, les compacités obtenues sont supérieures à 98 % de l'OPM. Les valeurs de déflexions obtenues sont comprises entre 0,4 mm et 0,55 mm. Elles sont donc largement dans la fourchette admise (déflexion inférieure ou égale à 0,8 mm).

4. Conclusion

Dans le but de contribuer à la valorisation des matériaux locaux non conventionnels en construction routière, ce travail caractérise une grave latéritique, une grave alluvionnaire 0/31,5 et leurs mélanges et détermine leurs utilisations conformes aux spécifications de référence en vigueur en Afrique subsaharienne (CEBTP 1980). Les résultats obtenus montrent que :

- En deçà de 0,5 mm, les grains de la grave latéritique sont plus fins que ceux autorisés par le CEBTP. En revanche, la courbe granulométrique de la grave alluvionnaire est entièrement dans le fuseau du CEBTP.
- L'indice CBR à 95 % de l'OPM présente un maximum pour une teneur en grave alluvionnaire de 30%. Il est de 54% pour la grave latéritique lavée et de 110 % pour le mélange à 30%.
- L'indice de plasticité du mélange décroît linéairement avec la teneur en grave alluvionnaire. L'IP passe de 18,9 % pour la grave latéritique lavée à 0 % pour le mélange à 40 %. L'IP du mélange à 30% est de 3,8%, bien inférieur au maximum de 6 % fixé par le CEBTP pour les couches de base.
- Au regard de l'indice CBR et de l'IP, les mélanges à 30 et 35 % répondent aux spécifications du

CEBTP pour les couches de base des trafics T1 et T2 tandis que les autres mélanges sont autorisés pour la couche de fondation des trafics T3 et T4.

- Les valeurs de la déflexion obtenues sur planche d'essai sont de 0,4mm à 0,55mm, valeurs inférieures au maximum de 0,8 mm autorisé.
- La grave latéritique étudiée n'obéit pas à la classification des sols latéritiques du CEBTP 1984. Cependant elle est classée A-2-6 et B5 respectivement dans les classifications HRB et GTR.

REFERENCES

- [1] Nations Unies Commission économique pour l'Afrique. Situation des transports en Afrique. Cinquième session du Comité de Commerce et de Coopération et de l'intégration régionale. Addis Abeba. E/ECA/CTRCI/5/3. 2007
- [2] Lombard, G., Ninot, O. Connecter et intégrer : les territoires et les mutations des transports en Afrique. BAGF, Géographies, 2010.
- [3] Kana, E. M. Geotechnical engineering practice for road works in tropical regions of Africa. Lettre Afrigeo n°2, 2016
- [4] Sangaré, M., Atiase, S. Synthèse de données sur l'entretien et la réhabilitation des routes rurales en Afrique de l'ouest et du centre. Projet d'appui au développement africain n° 698-0464.28, 1991.
- [5] Riverson, J., Gaviria, J., Thruscutt, S. Rural Roads in Sub-Saharan Africa, Lessons from World Bank Experience. World Bank. Technical Paper, No. 141. 2002.
- [6] Molenaara, A.A.A.. Durable and Sustainable Road Constructions for Developing Countries. Procedia Engineering 54, 2013.
- [7] Cocks, G., Keeley, R., Leek, C., Foley, P., Bond, T., Crey, A., Paige-Green, P., Emery, S., Clayton, R., Iness, Mc D., Les Marchant. The use of naturally occurring materials for pavements in western australia. Australian Geomechanics, 30, 1, 2015.
- [8] Weinert, H. H. The natural road construction materials of South Africa. Academica, Pretoria, Cape Town, 1980.
- [9] Paige-Green, P., Pinard, M. Netterberg, F. A review of specifications for lateritic materials for low volume. Transportation Geotechnics, 5, 2015.
- [10] Gidigasu, M.D., Mate-Korley, E.N. Tropical gravel paving materials specifications in relation to the environment. Proc 8 RCMFE. Harare, 1984.
- [11] Nwaiwu, C. M. O., Alkali, I. B. K., Ahmed, U. A. Properties of ironstone lateritic gravels in relation to gravel road pavement construction. Geotechnical and Geological Engineering, 24, 2006.
- [12] Souley Issiakou, M. Caractérisation et valorisation des matériaux latéritiques utilisés en construction routière au Niger. Université de Bordeaux, 2016.
- [13] Ndiaye, M. Contribution à l'étude des sols latéritiques du Sénégal et du Brésil. Université de Paris-Est, 2013.
- [14] Quadri, H. A., Adeyemi, O. A., Olafusi, O. S. Investigation of the geotechnical engineering properties of laterite as a subgrade and base material for road constructions in Nigeria. Civil and Environmental Research, 2, 2012.
- [15] Ndiaye, M., Magnan, J.-P., Cissé, I. K., Cissé, L. Étude de l'amélioration de latérites du Sénégal par ajout de sable. Bulletin des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 280-281, 2013
- [16] Madjadoumbaye, J., Kamdjo, G., Mbessa, M., Defo, F. E. H., Tamo, T. T. Possibilities for improving the bearing capacity of laterite with a vegetable shell : the shell of palm kernels. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 18, 2013.
- [17] Onana, V. L., Ngo'o Ze, A., Medjo Eko, R., Ntouala, R. F. D., Nanga Bineli, M. T., Ngonon Owoudou, B., Ekodeck, G. E. Geological identification, geotechnical and mechanical characterization of charnockite-derived lateritic gravels from Southern Cameroon for road construction purposes. Transportation Geotechnics, 10, 2017.]
- [18] Bohi, Z. P. B. Caractérisation des sols latéritiques utilisés en construction routière : cas de la région de l'Agneby (Côte d'Ivoire). Mécanique des matériaux. Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 2008.
- [19] Zolfeghari Fara, S.Y., Kassimb, K. A., Eisazadeh, A., Kharib, M. An Evaluation of the Tropical Soils Subjected Physicochemical Stabilization for Remote Rural Roads. Procedia Engineering 54, 2013.
- [20] Winterkorn, H. F., Chandrasekharan, E. C. Laterite soils and their stabilization. Highway Research Board Bulletin, 1951.
- [21] Attoh-okine, N. O. Lime treatment of latérite soils and gravels revisited. Construction and Building Materials, 9, 1995.
- [22] Issiakou, M. S., Nadia Saiyouri, N., Anguy, Y., Gaborieau, C., Fabre, R. Etude des matériaux latéritiques utilisés en construction routière au Niger : méthode d'amélioration. Rencontres Universitaires de Génie Civil, 2015, Bayonne, France.