

Influence des granulats basaltiques 0/5 sur les propriétés géotechniques des sols fins latéritiques de Bafang (Ouest-Cameroun) en vue de leur valorisation en technique routière

Effect of 0/5 basaltic aggregates on geotechnical properties of fine lateritic soils from Bafang (West-Cameroon) for road construction purposes

William TCHUNGOUELIEU HYOUMBI^{1,2}; Patrick PIZETTE²; Armand Sylvain Ludovic WOUATONG¹; Nor-Edine ABRIAK²; Louis Robert BORREL³; Norotiana Francine RAZAFIMAHATRATRA³, François NGAPGUE⁴, Thomas GUOULLIER³

¹ Laboratoire de Géologie de l'Environnement, Département de Sciences de la Terre, Faculté de Sciences, Université de Dschang, B.P : 67, Dschang, Cameroun

² IMT Lille Douai, Univ. Lille, EA 4515 -LGCgE – Laboratoire de Génie et géo-Environnemental, Département Civil Engineering, F-59000 Lille, France

³ Razel-Bec. Fayat, 3, rue René Razel-Christ de Saclay 91892 Orsay Cedex-France

⁴ Institut de Technologie Fotso Victor, Université de Dschang, B.P : 134, Bandjoun, Cameroun

RÉSUMÉ -L'étude vise à déterminer l'effet de l'addition des granulats basaltique 0/5 sur les sols fins latéritiques de classe de portance S4 de Bafang, utilisés en remblai routier. Il en ressort que l'ajout d'au moins 30% de ces granulats 0/5 permet de passer de la classe de portance S4 à la classe de portance S5 sans changements notables de la composition chimique malgré la présence de nouvelles phases minérales dans le mélange.

ABSTRACT-The present study aims to determine the effect of addition of 0/5 basaltic aggregates on Bafang fine lateritic soils S4 class bearing grade, used as roads embankment materials. It emerges that the addition of at least 30% of these 0/5 aggregates makes it possible to pass from the S4 class bearing grade to the S5 class bearing grade without deep changes in the chemical composition despite the presence of new mineral phases in the mixture.

1. Introduction

La latérite est le matériau rouge supergène répandu dans la zone Intertropicale. Elle est de différents types : (1) les cuirasses latéritiques; (2) les carapaces latéritiques; (3) les graveleux latéritiques et (4) les fines latéritiques. Tous ces types sont rencontrés au Cameroun et représentent 70% de la couverture pédologique. (Mbumbia et al., 2000; Sikali and Mir Emérati, 1986). Parmi eux, les sols graveleux latéritiques sont les matières premières par excellence, utilisés en technique routière dans ce pays comme partout d'ailleurs en Afrique Sub-Saharienne. Ils sont de la catégorie de sols utilisée pour réaliser les couches de forme et de fondation car ils ont de bonnes portances ou de bonnes propriétés géotechniques (CEBTP, 1984; Attoh-Okine, 1990; Fekpe and Attoh-Okine, 1995; Frempong and Tsidzi 1999; Sikali and Mir Emérati, 1986; Millogo et al., 2008; Onana et al., 2017).

Aujourd'hui au Cameroun, on note une nette croissance du taux d'infrastructures routières. Cela est due aux différents travaux de bitumages qui ont lieu sur l'ensemble du pays en général, et dans sa région de l'Ouest en particulier. Ces travaux impliquent l'utilisation des sols graveleux. Cependant, Hyoumbi et al. (2017) montrent que les sols graveleux latéritiques convenables pour la confection de la couche de fondation sont peu répandus dans la zone montagneuse de l'Ouest-Cameroun. Cette faible concentration des sols graveleux latéritiques amène parfois les entreprises de réalisation des travaux routiers de trouver les carrières d'emprunts de ce type de matériau à plus de 15 km des tracés routiers. Les conséquences sont l'augmentation des coûts de réalisation des travaux et la difficulté de livraison de l'ouvrage dans le temps imparti. C'est ainsi qu'il est judicieux de

mener l'étude géotechnique des sols fins latéritiques pour remblais routiers améliorés aux granulats basaltiques.

Les sols fins latéritiques sont les plus répandus. Ce sont les matériaux sur lesquels traversent les tracés routiers. Les différents travaux antérieures ne traitent que des sols fins latéritiques améliorés au ciment ou au liant hydraulique (Tan et al., 2016; Yadav et al., 2017). De plus, Frempong et Tsidzi (1999); Okagbue et Onyeobi (1999) ; Madjadoumbaye et al. (2012); Ampadu et Fiadjoe (2015) complètent ces études en améliorant les caractéristiques géotechniques de ce type de sols avec les granulats. Ainsi dans la zone de Bafang, les sols fins latéritiques sont formés sur les roches basaltiques (Tchuimegnie et al., 2015; Hyoumbi et al., 2017). Les basaltes sont les roches qui servent à la production des granulats utilisés dans les travaux routiers. Considérant la proximité de ces deux matériaux, les études géotechnique et géochimique des sols fins mélangés aux granulats basaltiques 0/5 restent fondamentales pour des fins de valorisation en techniques routières.

2. Méthodes et matériaux

2.1- Méthodes (Fig.1)

Plusieurs essais géotechniques ont permis de réalisés cette étude.

La granulométrie a été réalisée selon la norme NF P 94- 056. Les courbes de distribution des particules ont été tracées pour les fractions de tailles supérieures à 80µm, obtenues par tamisage par voie sèche sur une colonne de tamis aux mailles de tailles décroissantes : 6,5- 4- 2- 0,8- 0,5- 0,4- 0,2- 0,1 et 0,08 mm. Pour les sols fins latéritiques, le tamisage au laser sous conditions humides, a permis d'obtenir les différentes tailles des particules.

Les limites d'Atterberg ont été indispensables pour la détermination des indices de plasticité. La limite de liquidité a été réalisée en utilisant l'appareil de Casagrande tandis que la limite de plasticité a été identifiée sur les baguettes de mortier de 15 cm de long et de 3 mm d'épaisseur environ, en se basant sur la norme NF P94-051. Selon cette norme, l'indice de plasticité est déterminé par la relation : $I_P = W_L - W_P$; I_P est l'indice de plasticité ; W_L représente la limite de liquidité et W_P correspond à la limite de plasticité. De plus l'essai au bleu de méthylène a été faite sur les différents échantillons selon la NF P 94-068, afin de compléter l'essai de plasticité.

La granulométrie, les limites d'Atterberg et l'essai au bleu de méthylène ont servi à la classification des matériaux en se basant sur les référentiels géotechniques Highway Research Board (HRB) et le Guide de Terrassement Routier (GTR).

Sur le plan mécanique, la densité sèche optimale (γ_{dopm}) et de la teneur en eau optimale (w_{opm}) ont été déterminées selon l'essai Proctor modifié en référant à la norme NF P94-093. Ces deux paramètres sont indispensables pour la détermination de la portance d'un matériau à travers le CBR après quatre jours d'immersion selon la norme NF P94-078.

Pour évaluer la composition minéralogique et chimique des matériaux étudiés, la diffraction aux rayons X et la fluorescence aux rayons X ont été réalisées sur les fractions de particules de tailles inférieures 80 µm. Ces tests ont été fait sur l'appareil BUCKER AXS D8 ADVANCE, utilisant la radiation Cu K α ($K\alpha=1.78 \text{ \AA}$). Ses caractéristiques sont : 40 KV, 40 mA voltage et le domaine d'acquisition est 2Θ (1° - 60° intervalle) à la vitesse de scan de $5^\circ/\text{min}$.

2.2- Matériaux

Les matériaux étudiés sont les sols fins latéritiques et les granulats basaltiques 0/5. Ce sont les matériaux prélevés dans la zone de Bafang (Ouest-Cameroun). Bafang est la zone d'étude qui s'étend sur 64 km². Son périmètre est limité par les parallèles : 05°05'02,96"- 05°09'07,40"Nord d'une part; et d'autre part, par les méridiens : 10°08'03,70"-10°13'24,44"Est (Fig. 1).

Les basaltes sont les formations géologiques prédominantes (Tchuimegnie et al., 2015; Hyoumbi et al., 2017). Les granulats 0/5 proviennent de la carrière industrielle de

basaltes localisée au point de coordonnées : $05^{\circ}06'18.1''$ Nord et $10^{\circ}11'36.8''$ Est. Ce sont les roches volcaniques massives, de couleur gris sombre. Ils sont de texture microlitique porphyrique. L'assemblage minéralogique est fait de : olivine, augite, plagioclase, magnétite (Fig. 3).

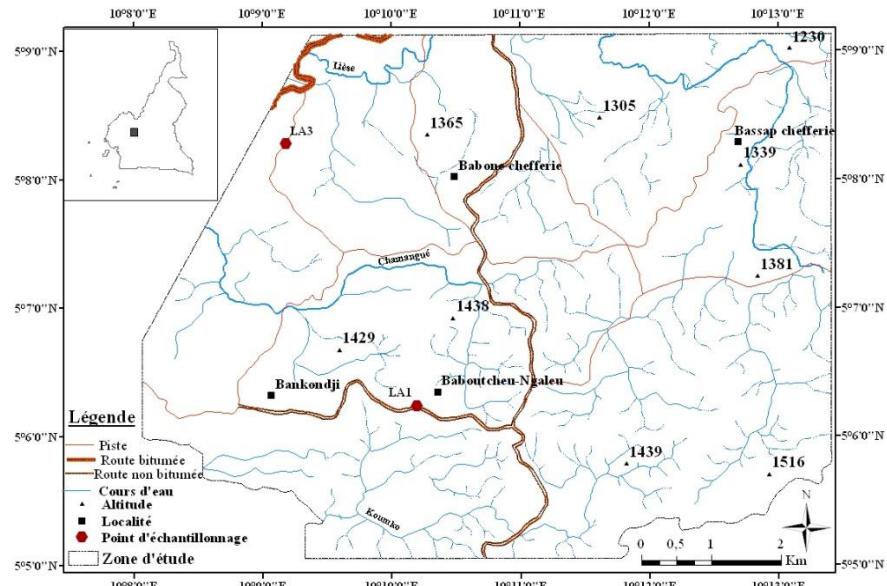


Figure 1: Zone d'étude présentant les points d'échantillonnages

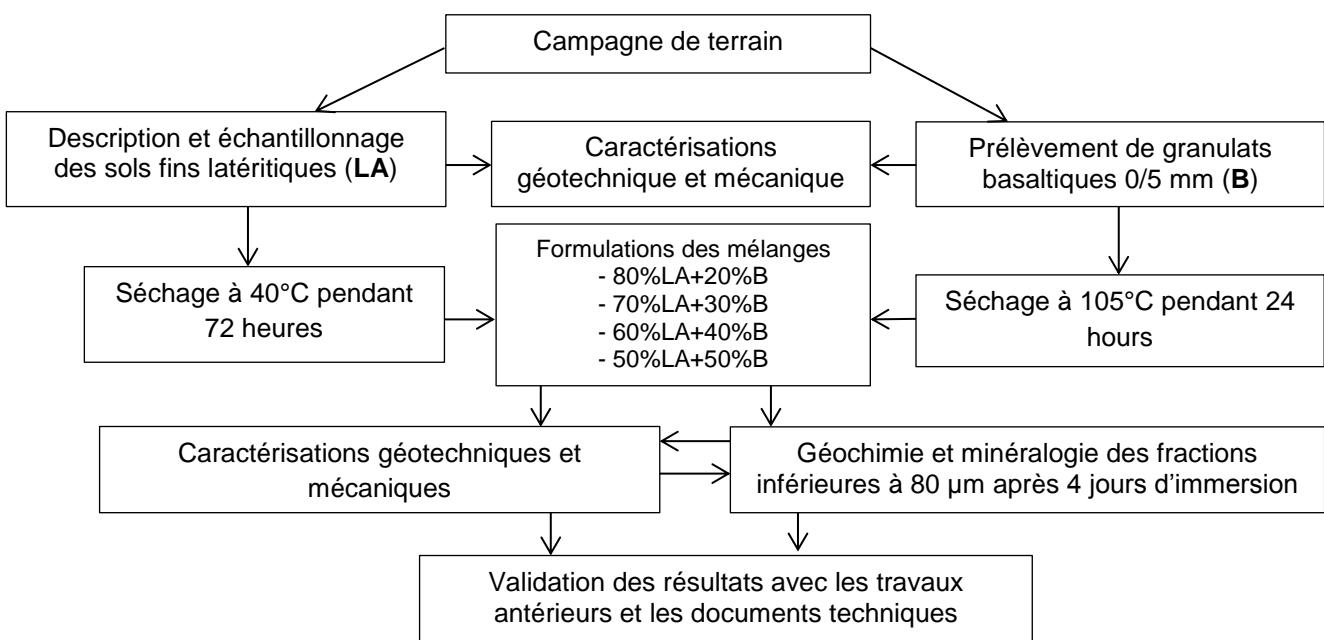


Figure 2: Méthodologie du travail

Sur le plan granulométrique (Fig. 4), les granulats basaltiques 0/5 contiennent 4,6% de particules supérieures à 5 mm. La proportion de la classe 0,08-5 mm est de 86%. Les particules fines (0,08 mm) représentent 9,4%.

Concernant les sols fins latéritiques, deux principaux faciès ont été répertoriés le long des tracés des routes non bitumées de la zone de Bafang : les sols fins latéritiques rougeâtres (LA1) et sols fins latéritiques jaunâtres (LA3) (Fig. 5).

L'épaisseur de l'horizon minéral du sol fin latéritique rougeâtre est supérieure à 200 cm (Fig. 5 A). La coloration de cet horizon est rouge sombre (2,5YR3/6) (Munsell color chart, 1975). Les nodules (particules indurées) peu abondants, sont disséminés dans cette partie. La texture est limono-argileuse. Cette partie du profil de sol se trouve en dessous de l'horizon organo-minéral d'environ 15 cm d'épaisseur.

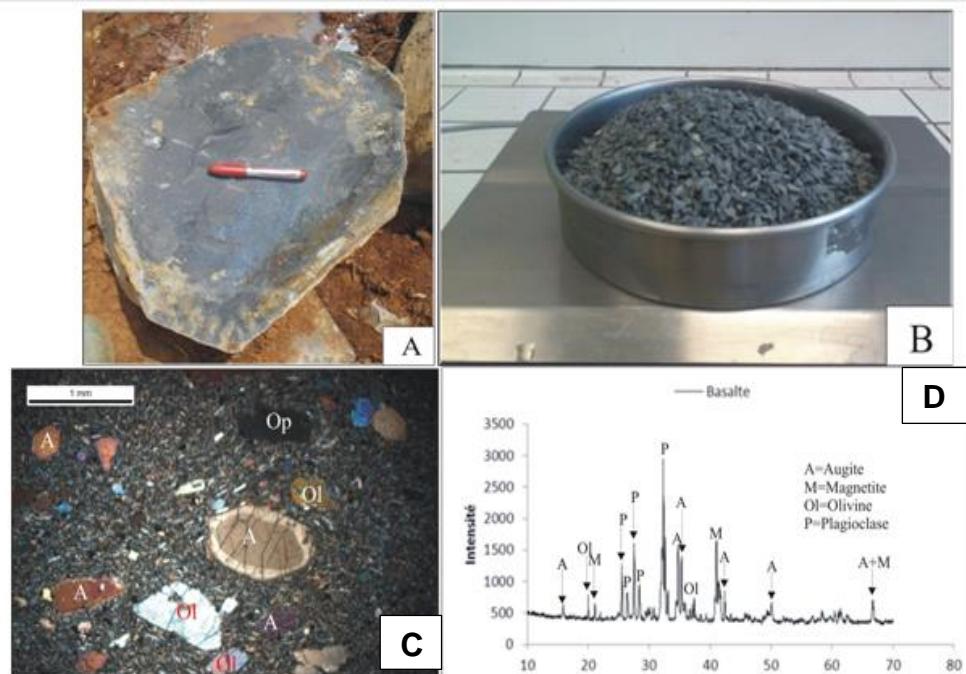


Figure 3: Échantillon de basalte observé sur différents aspects: (A): basalte compact; (B): granulats 0/5 mm; (C) : microphotographie de basalte; (D) : spectre DRX du basalte

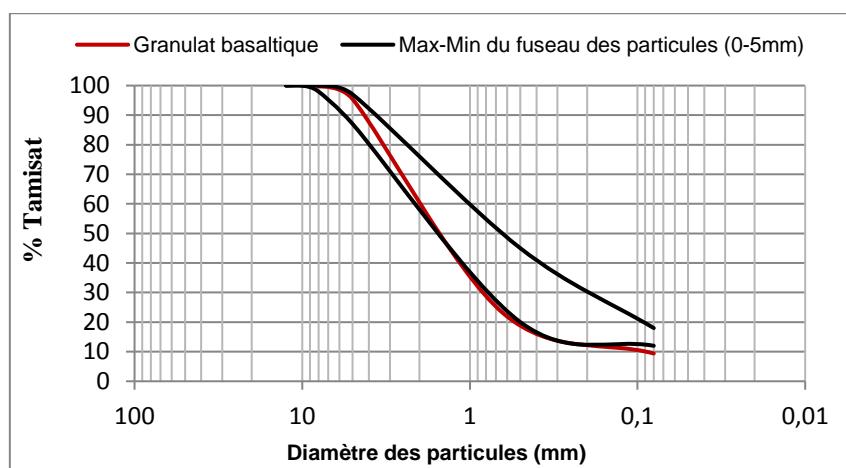


Figure 4: Courbe granulométrique des granulats basaltiques 0/5 par rapport aux courbes

Le profil de sols fins latéritiques jaunâtres est issu des matériaux meubles formant les tranchées routière (Fig. 5 B). Son horizon minéral noté horizon B a une épaisseur minimale de 130 cm. C'est un horizon jaune orange (10YR7/8) (Munsell color chart, 1975), presque sans nodules. Il a une structure polydrique et de texture argilo-sableuse. Il est caractérisé par les fentes de dessication. Proche de sa partie superficielle, la coloration jaune orange diminue d'intensité et passe progressivement au brun jaunâtre. Cela matérialise la zone de transition avec l'horizon organo-minéral appelé horizon A, de couleur brun jaunâtre (10YR/6) (Munsell color chart, 1975). La figure 6 montre que les sols étudiés sont les matériaux constitués de particules dont le diamètre maximal n'excède pas 0,2 mm. Le faciès rougeâtre (LA1) est formé de 41% de particules d'argiles, 44% de limons et 15% de sables.

Cependant, le faciès jaunâtre (LA3) est plus concentré en sables (60%) ; les limons et les argiles sont respectivement de 28% et 12%.

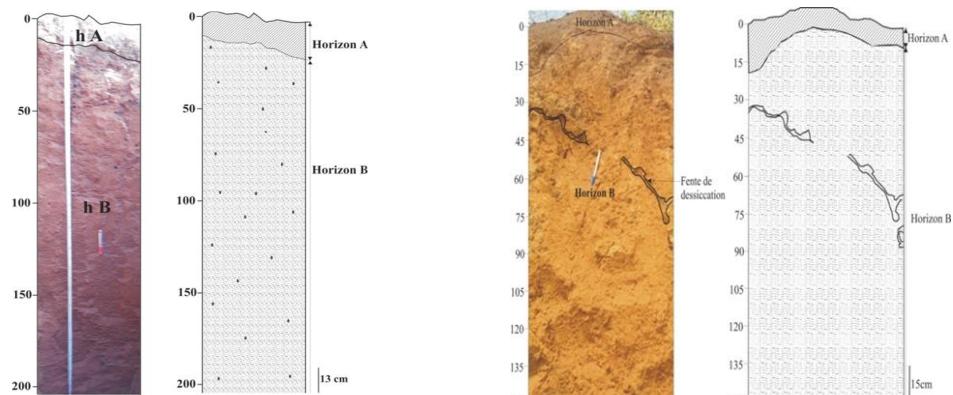


Figure 5: Profils des sols sans latéritiques : (A) : faciès rougeâtre ; (B) : Faciès jaunâtre

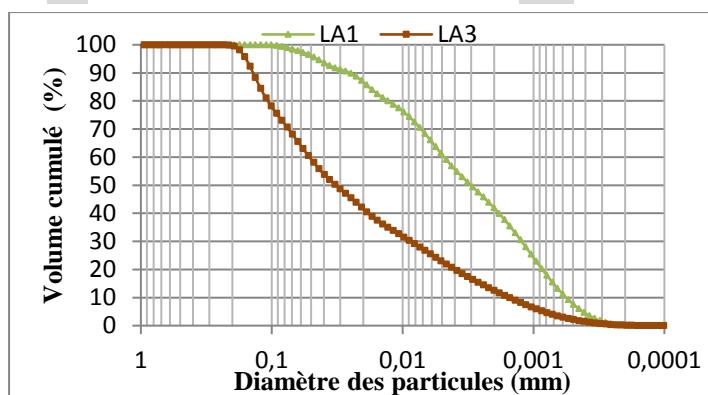


Figure 6: courbes granulométriques des sols fins

3. Résultats

3.1- Compositions minéralogique et chimique

La figure 7 présente les différentes phases minérales que l'on retrouve dans les deux faciès de sols. Le faciès rougeâtre est constitué de : gibbsite, ilménite, quartz, kaolinite et illite. La prédominance de ces différentes phases est due à l'assemblage chimique constitué de : Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 et MnO ; ce qui leur confère un rapport silice/sexquioxyde égale à 1 (Fig.8). Le taux élevé de Al_2O_3 est à l'origine de la faible valeur du rapport silice/sexquioxyde. Le second groupe de ces éléments majeurs : CaO , MgO , K_2O , Na_2O , P_2O_5 et les éléments comme V, Ni, Sr, Zr, Nb, Ba, Cr, Cu, S sont présents sous forme de traces. Par contre le faciès jaunâtre est formé de minéraux : goethite, quartz, kaolinite et illite. Sa composition chimique montre que c'est matériau formé de SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , K_2O et Zr. Les oxydes : CaO , MgO et P_2O_5 et l'élément Ni sont sous forme de traces tandis que les éléments chimiques comme V, Sr, Nb, Ba, Cr, Cu, S sont absents (Fig.8). Le rapport silice/sexquioxyde de ce matériau est de 1,8. Les additions des granulats 0/5 aux différentes proportions que ce soit le faciès rougeâtre ou jaunâtre entraînent la concentration en phases minérales supplémentaires qui sont : plagioclase, olivine et augite (Fig. 7). Cela implique les augmentations relatives des teneurs en oxydes et en éléments traces mais sans modifications notables des rapports silice/sexquioxyde (S/R).

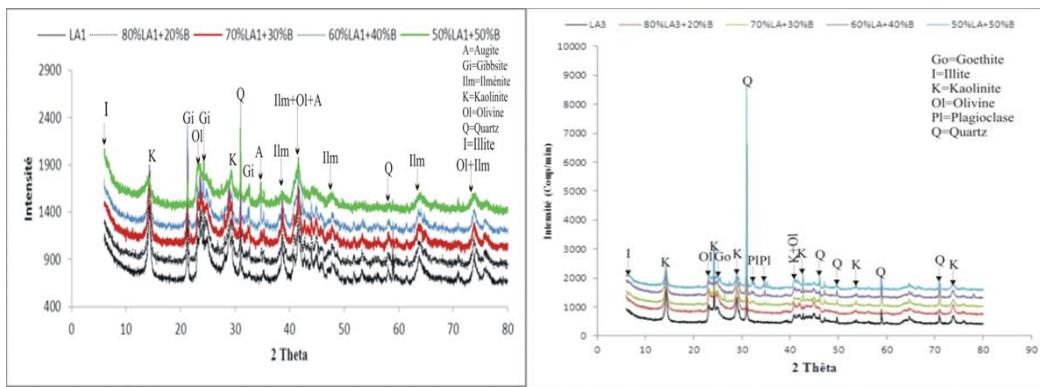


Figure 7: Spectres de DRX des fractions 80µm des fins latéritiques et de celles traitées aux granulats basaltiques 0/5

3.2- Caractéristiques physiques

La figure 9 présente les effets d'additions des granulats basaltiques 0/5 aux sols fins latéritiques. Ces additions entraînent la présence de 1% de particules supérieures à 5 mm. De manière générale, les ajouts de 20% à 50% de granulats 0/5 aux sols fins réduisent graduellement les teneurs en particules fines, mais les quantités de particules formant le mortier restent élevées. Ces actions d'additions de granulats 0/5 ont pour conséquences l'augmentation des taux de particules de tailles comprises entre 0,2-5 mm. Ainsi, les sols fins latéritiques et ceux mélangés aux granulats 0/5 ont les particules de tailles très réduites par rapport aux matériaux latéritiques utilisés en couche de fondation des assises de chaussées souples (CEBTP, 1984; Onana et al.; 2017). Concernant les limites d'Atterberg et les valeurs de bleu de méthylène, les essais ont été réalisés respectivement sur les mortiers et les classes des particules de tailles comprises entre 0-5 mm. Les valeurs des limites de liquidité et de plasticité, de l'indice de plasticité et de bleu de méthylène sont élevées dans les sols fins latéritiques (Fig. 10). Pour les limites de liquidité, elles diminuent progressivement avec l'augmentation des teneurs en granulats 0/5 tandis que celles de limites de plasticité sont variables. Ainsi, les valeurs de l'indice de plasticité et de bleu de méthylène comme celles de limites de liquidité diminuent avec l'ajout des granulats 0/5. Ceci peut s'expliquer par la présence des particules de granulats 0/5 inférieures à 400 µm, qui sont insensibles à l'eau et qui jouent le rôle de dégraissant dans les matériaux mélangés. Ces tendances régressives sont similaires à celle trouvées par Yadav et al. (2017); Ojuri et al. (2017). En général, les ajouts des granulats 0/5 aux sols fins latéritiques modifient modérément leurs propriétés physiques : granulométrie, limites d'Atterberg et valeurs au bleu de méthylène. Ceci s'explique par la conservation de leurs groupes selon le HRB et le GTR. Suivant ces référentiels géotechniques, ce sont les matériaux du groupe A-7 (HRB) et de la class A (GTR).

3.2- Paramètres de compactage et de portance

Selon les figures 11 a et 11 b, les valeurs de la teneur en eau optimale sont maximales pour les sols fins naturels alors que leurs valeurs de densité sèche et de CBR à 95% de compacité et après quatre jours d'immersion, sont les plus faibles. Les traitements de ces sols aux différents pourcentages de granulats 0/5 (0%-50%) entraînent les diminutions des valeurs de la teneur en eau optimale et les augmentations des valeurs de densité sèche et de CBR. Les valeurs de CBR initialement entre 22 et 25, correspondent à la classe de portance S4 (CEBTP, 1984). Elles progressent pour atteindre les valeurs variant entre 45 et 64 pour les matériaux contenant 50% de granulats 0/5 et correspondant à la classe de portance S5 (CEBTP, 1984). Ainsi à partir de 30% d'addition de granulats aux sols fins, les valeurs CBR sont supérieures à 30 et correspondent à la réalisation de la couche de fondation des chaussées souples de type T3⁻.

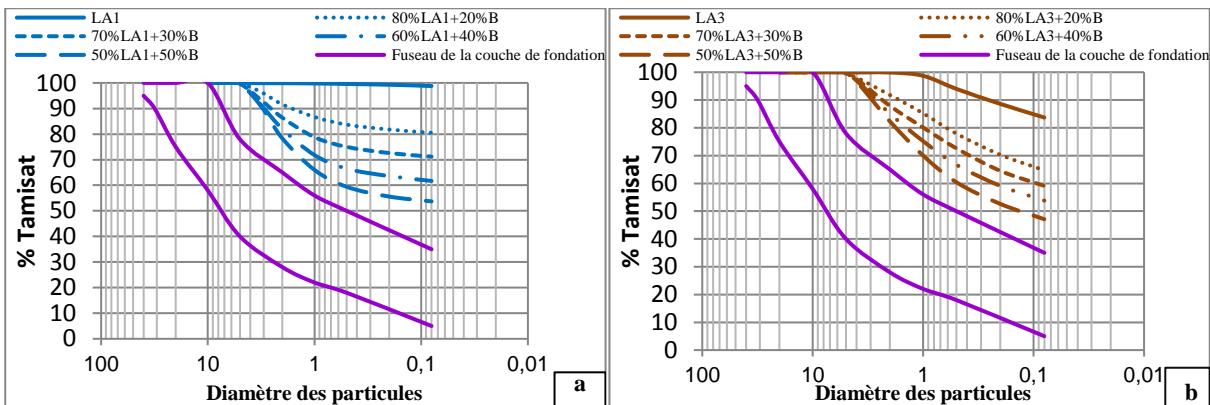


Figure 9 (a, b): Granulométries des sols fins naturels et des sols fins améliorés aux différentes proportions de granulats basaltiques 0/5

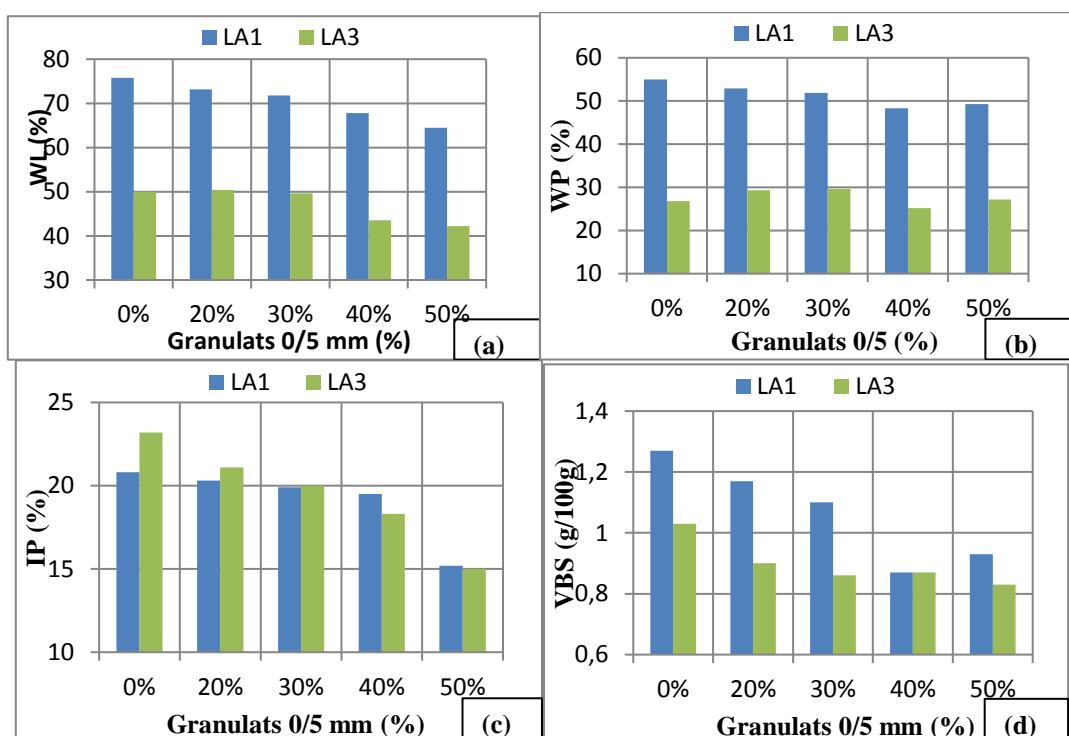


Figure 10: Variations de : limites de liquidité (10 a); limites de plasticité (10 b); indices de plasticité (10 c) et des valeurs au bleu de méthylène (10 d) avec le taux d'ajouts des granulats 0/5

4- Conclusion

La présente étude a consisté à montrer l'impact des granulats 0/5 sur les caractéristiques géotechniques des sols fins latéritiques de Bafang, utilisés en remblai routier. Il en ressort que les ajouts de ces granulats sur les sols fins latéritiques ont un effet positif sur les propriétés géotechniques de ces derniers car les taux de particules fines, les valeurs de limites de liquidité, des indices de plasticité, de bleu de méthylène et de teneurs en eau optimale diminuent. Cependant les valeurs de densité sèche et de CBR augmentent avec l'augmentation du taux de granulats 0/5 dans ces sols. La géochimie révèle que les rapports Silice/Sexquioxyde sont aussi inférieurs à 2 ($S/R < 2$) dans les sols fins latéritiques que dans les différents matériaux mélangés.

Les études futures visent à la vérification de la portance au niveau d'une planche d'essai et à la recherche de l'activation de la réaction pouzzolanique dans ces mélanges pouvant renforcer encore plus la portance.

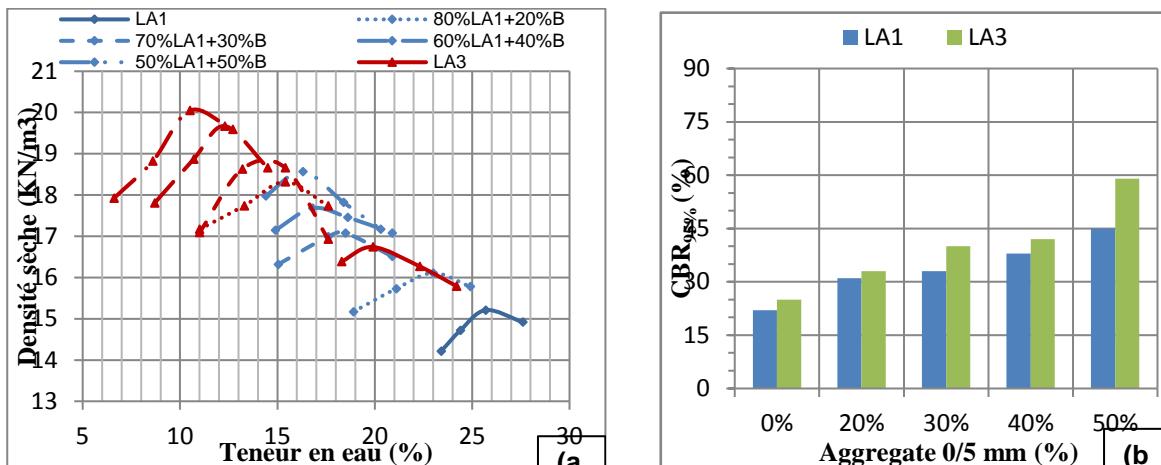


Figure 11: Effets de la quantité de granulats 0/5 mm sur les paramètres de compactage (11 a) et sur la portance des sols fins latéritiques (11 b)

Références

- Ampadu K. I. S., Fiadjoe Y. J. G. (2015).** The influence of water content on the Dynamic Cone Penetration Index of a lateritic soil stabilized with various percentages of a quarry by-product. *Transportation Geotechnics* 5: 68-85.
- Attoh-Okine N.O. (1990).** Stabilizing effect of locally produced lime on selected lateritic soil. *J. Construction and building materials* 4: 86-91.
- CEBTP (1984).** Guide pratique de dimensionnement des chaussées des pays tropicaux. Ministère de la coopération de la république française. 155p
- Fekpe E., Attoh-Okine N. O. (1995).** Deterioration modeling for lateritic-base flexible pavements. *J. Construction and building materials* 9, 159-163.
- Frempong E. M., Tsidzi N. E. K. (1999).** Blending of marginally suitable tropical sub-base materials for used in base course construction. *J. Construction and building materials*; 13: 129-141.
- Hyoumbi T. W., Wouatong A. S. L., Pizette, P., Abriak N.E., Medjo E. R. (2017).** Assessment of laterite suitable for road construction in Bafang Area (West-Cameroon) based on physical properties, geo-environmental factors and GIS software. *JMEST* 4: 6815-6829.
- Madjadoumbaye J., Ngapgue F., Nouanga P., Abdou C. M., Tamo T. T. (2012).** Improving the bearing capacity of laterite by adding sand. *EJGE*; 17: 23-32.
- Mbumbia L., Mertens de Wilmars A., Tirlocq J. (2000).** Performance characteristics of lateritic soil bricks fired at low temperatures: a case study of Cameroon. *J. Construction and Building Materials*; 14: 121 -131.
- Millogo Y., Traoré K., Ouedraogo R., Kaboré K., Blanchart P., Thomassin J. H. (2008).** Geotechnical, mechanical, chemical and mineralogical characterization of a lateritic gravel of Sapouy (Burkina Faso) used in road construction. *J. Construction and building materials* 22: 70-76.
- Munsell color charts (1975).** Color Guides. Baltimore Md: Handbook manual, 34 p.
- Ojuri O. O., Adavi A. A. , Oluwatuyi O. E. (2017).** Geotechnical and environmental evaluation of lime-cement stabilized soil-mine tailing mixtures for highway construction. *Transportation Geotechnics* 10: 1-12.
- Okagbue C. O., Onyeobi S. U. T. (1999).** Potential of marble dust to stabilise red tropical soils for road construction. *J. Eng. Geol.*; 53: 371-380.
- Onana L. V., Ngo'o Ze A., Medjo E. R., Ntouala R. F. D., Nanga B. M. T., Owoudou N. B., Ekodeck G. E. (2017).** Geological identification, geotechnical and mechanical characterization of charnockite-derived lateritic gravels from Southern Cameroon for road Construction purposes. *Transportation Geotechnics* 10: 35-46.
- Sikali, Mir Eméратi. (1986).** Utilisation des latérites en techniques routières au Cameroun. Acte du séminaire régional sur les latérites : Douala-Cameroun :277-288.
- Tan Y., Hu M., Li D. (2016).** Effects of agglomerate size on California bearing ratio of lime treated lateritic soils. *IJSBE* 5 : 168-175.
- Tchuimegnie N. B. N., Kamgang P., Chazot G., Agranier A., Bellon H., Nonnote P. (2015).** Age, geochemical characteristics and petrogenesis of Cenozoic intraplate alkaline volcanic rocks in the Bafang region, West Cameroon. *J. Afr. Earth Sc.* 102: 218-232.
- Yadav K. A., Gumar K., Kishor R., Suman K. S. (2017).** Stabilization of alluvial soil for subgrade using rice husk ash, sugarcane bagasse ash and cow dung ash for rural roads. *International Journal of Pavement Research and Technology* 10: 254-261.