

UNIVERSITE DE YAOUNDE I

FACULTE DES SCIENCES

CENTRE DE RECHERCHE ET DE
FORMATION DOCTORALE EN SCIENCES,
TECHNOLOGIES ET GEOSCIENCES



THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

FACULTY OF SCIENCE

POSTGRADUATE SCHOOL OF SCIENCES,
TECHNOLOGY AND GEOSCIENCES

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE

DEPARTEMENT OF EARTH SCIENCES

UNITE DE RECHERCHE ET DE FORMATION DOCTORALE EN GEOSCIENCES
ET APPLICATIONS

DOCTORALE RESEARCH UNIT FOR GEOSCIENCES AND APPLICATIONS

LABORATOIRE DE GEOSCIENCES DES FORMATIONS SUPERFICIELLES
ET APPLICATIONS

LABORATORY FOR GEOSCIENCES OF SURFACE FORMATION AND APPLICATIONS

CARACTERISATION GEOTECHNIQUE DES GRAVELEUX LATERITIQUES DU SECTEUR NKOLBISSON – EKEKAM (CENTRE - CAMEROUN)

Mémoire présentée en vue de l'obtention du diplôme de Master2 en Science de la Terre

Option : Sol, Eau et Sciences Géotechniques

Spécialité : Sciences Géotechniques

Par

HAMADOU MOUSTAPHA

Matricule **16J2424**

Licencié ès en Science de la terre

Sous la direction de

Vincent Laurent ONANA

Professeur
Université de Yaoundé I



Année Académique 2024 / 2025

A

ALLAH le tout Miséricordieux ;

BISSECK JOSEPH[†] et HAMADOU MOUSTAPHA, mes pères ;

EBELA APPOLONIE et DJENABOU épse MOUSTAPHA, mes mères ;

Mes frères et sœurs ;

« Ce qui se conçoit bien s'énonce clairement, et les mots pour le dire arrivent aisément. ».

Nicolas Boileau

REMERCIEMENTS

Un mémoire de Master est le fruit d'un travail personnel, mais qui pour ma part, n'aurait jamais abouti sans le concours constant d'un bon nombre de personnes que je souhaite remercier.

Je rends grâce au Seigneur Dieu Tout Puissant, pour avoir rendu possible, la réalisation de ce mémoire. Je lui suis infiniment reconnaissant pour le souffle de vie renouvelé chaque jour, sa grâce, sa bonté, ses bienfaits dans ma vie.

Je remercie de façon très respectueuse le Professeur Onana Vincent Laurent, qui a accepté encadrer mes travaux de Master. Il a mis sur mon chemin des personnes appropriées pour tenir ma main et mener à bien ce travail.

J'ai une pensée pour le Professeur Bisso Dieudonné, Chef du Département des Sciences de la Terre pour toutes les connaissances transmises.

Mes remerciements vont à l'endroit de mes enseignants du Département des Sciences de la Terre de l'Université de Yaoundé I pour les connaissances transmises. J'aimerais remercier particulièrement les Professeurs Ndam Ngoupayou Jules Remy, Yongue-Fouateu Rose, Yene Atangana Josephe Quentin, Sababa Elisé, Ngo Bideck Louise Marie Epse Bondje, Ndjigui Paul-Désiré, Temga Jean Pierre, Nyeck Brunot, Ngos III Simon, Tchouankoue Jean Pierre, Ganno Sylvestre, Metang Victor, Njilah Isaac, Ngo Belnoun.

Je remercie le Docteur Ngo'o Ze et monsieur Enock Christophe mes grand-frères, qui m'ont accompagné sur le terrain, guidé et conseillé. Je leur dis merci pour le temps consacré et pour les nombreuses connaissances apportées. Je leur serais éternellement redevable pour les renseignements partagés sur le plan académique et pour leurs disponibilités et la rigueur dans le travail.

Une pensée également pour mes compagnons de classe et amis, Abraham Assogba, Ahmat Mahamat Tchitchao, Akamba Pierre Élysée, Arrachid Annour Abderahim, Atanne Benjamin, Bika Junior, Djaowe Ouang, Djofang Ebong Ewang Joseph, Onguene Tabi Donald Pierre, Efon Mekeu Ulrich Guymel, Mawut Riostelle, Elone Praise Mechane, Kuissie Panghepko Yancinthe Rosée, Mbono Obianga Gilles Serge, Meyong Nkenlifack Cédric Laurent, Kougue Jack Lord, Tchongolo Gaëtan, Nafisatou Moussa, Modjo Kenmogne Charlene, Ndongo Ayi Dako Alida Frankline, Ngann Christine Inès Suzy, Ngot Ondobo Abel Tatiana, Ousman Hassan Malick, Panta Tchappmegni Laeticia, Teubo Nyitchombeu Paule Martine, Tchebou Jean Loic Charnel (mon beau), Um Lisuck II José Alain, pour tous les bons moments passés en cours et au laboratoire lors de la préparation de ce travail, je vous aime mes amis.

Je ne saurais achever ce volet académique sans remercier particulièrement tous le personnel de l'entreprise Arab Contractors ltd. Il s'agit de Monsieur Asraf Fahmy le Directeur d'Arab Contractors Cameroon ltd, pour l'opportunité qu'il a bien voulu m'offrir de faire mes premiers pas en entreprise et sa contribution à la formation de la jeunesse Camerounaise, Rachid Ouldechikh Directeur technique d'Arab Contractors, M. Badawy Mohamady, Directeur du projet Boucle de la Lekié, M. Maemble Donatien, M. Owona Mathieu, M. Assembe Daniel, M. Etoundi Léopold, Mme Nguembou Rose, Mme Evina Tatiana, Mlle Danielle.

Un mot plus grand que "Merci" ne saurait exprimer tout l'amour et la gratitude que j'ai envers ma mère Ebela Appolonie et mes parents Hamadou et Djenabou Moustapha pour leur amour inconditionnel, leurs multitudes conseils et sacrifices financiers. Ils ont toujours été là pour moi de ma naissance jusqu'à ce jour. J'espère mes chers et tendres parents, que ce travail vous permettra de voir que vos efforts n'ont pas été vains et de pouvoir trouver en cela une satisfaction.

Je ne saurais terminer sans remercier les familles Bisseck, Ndzié et Moustapha pour leur soutien inconditionnel, leurs nombreux conseils et leurs aides financières.

De nombreuses personnes ont énormément contribué à la réalisation de ce mémoire. J'ai malheureusement oublié de mentionner leurs noms. Que ces personnes trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude.

HAMADOU MOUSTAPHA

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	i
CITATION.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
TABLE DES MATIERES	v
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES ABRÉVIATIONS, ACRONYMES ET SIGLES	x
RESUME.....	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
CHAPITRE I. GÉNÉRALITÉS	4
INTRODUCTION.....	5
I.1. Milieu naturel.....	5
I.1.1 Aperçu géographique.....	5
I.1.1.1. Localisation de la zone d'étude	5
I.1.1.2. Géographie physique.....	5
I.1.1.3. Géomorphologie.....	8
I.1.1.4. Géologie.....	8
I.1.1.5. Population et activité économique	11
I.2. Travaux antérieurs complémentaires	11
I.2.1. Pétrographie	11
I.2.1.1. Propriété géotechniques des roches	11
I.3. Travaux antérieurs sur les graveleux latéritique	13
I.3.1. Définition	13
I.3.2. Caractéristiques géotechnique des graveleux latéritiques.....	13
I.3.3. Spécification des graveleux latéritiques en construction routière	14
I.4. Généralités sur les chaussées	16
I.4.1. Structure d'une chaussée	16

I.4.1.1. Plate-forme	16
I.4.1.2. Couches d'assise	18
I.4.1.3. Couche de surface.....	18
I.4.2. Dimensionnement des chaussées.....	18
CONCLUSION.....	20
CHAPITRE II. MATÉRIELS ET MÉTHODES	21
INTRODUCTION.....	22
II.1. Enquêtes bibliographiques	22
II.2. Méthode d'acquisition des données	22
II.2.1. Méthodes d'acquisition des données de terrain.....	22
II.2.1.1. Localisation des points de prélèvement et matériels	22
II.2.1.2. Principe de description des matériaux.....	23
II.2.1.3. Prélèvement et codification des échantillons.....	23
II.3. Méthode d'acquisition des données de laboratoire	23
II.3.1. Analyses pétrographiques	23
II.3.2. Essais géotechniques	25
II.4. Méthode d'exploitation des données géotechniques	27
CONCLUSION.....	29
CHAPITRE III. RÉSULTATS	30
INTRODUCTION.....	31
III.1. LOCALISATION DES POINTS DE PRÉLÈVEMENTS.....	31
III.2. CARACTÉRISATION PETROLOGIQUE DES MATERIAUX.....	31
III.2.1. Pétrographie des échantillons de roche	31
III.2.1.1. pétrographie des matériaux d'Ekole	31
III.2.1.1.1. Description macroscopique	31
III.2.1.1.2. Description microscopique	31
III.2.1.2. pétrographie des matériaux de Obak.....	34
III.2.1.2.1. Description macroscopique	34
III.2.1.2.2. Description microscopique	34
III.2.2. Pétrographie des matériaux latéritiques.....	36
III.2.2.1. Pétrographie des graveleux latéritiques sur micaschistes.....	36

III.2.2.2. Pétrographie des graveleux latéritiques sur gneiss.....	38
III.3. CARACTÉRISATION GÉOTECHNIQUES DES MATÉRIAUX.	40
III.3.1. Caractérisation géotechnique des granulats rocheux	40
III.3.1.1. Paramètres granulométriques.....	40
III.3.1.2. Masse volumique des grains solides et équivalent de sable	40
III.3.1.3. Paramètres de compactage	40
III.3.1.4. Paramètres mécaniques	40
III.3.2. Caractéristiques géotechniques des graveleux latéritiques	40
III.3. Classification HRB (Highway Research Board)	44
III.4. DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE	46
III.4.1. Paramètres d'entrée	46
III.4.2. Vérification de la structure optimale	46
CONCLUSION.....	51
CHAPITRE IV. INTERPRÉTATION ET ESSAI DE DISCUSSION.....	52
INTRODUCTION.....	53
IV.1. Pétrographie des matériaux	53
IV.2. VARIATION DES PARAMÈTRES GÉOTECHNIQUES.....	53
IV.3. INTERETS DES MATERIAUX EN CONSTRUCTION ROUTIÈRE.....	56
CONCLUSION.....	62
CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES.....	64
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	67
ANNEXES.....	I

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Carte de localisation de la zone d'étude.....	6
Figure 2: Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1957) appliqué aux données	7
Figure 3: Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1957) appliqué aux données Climatiques de la zone d'Ekekam pour la période allant de 1993 à 2022.....	7
Figure 4. Géomorphologie de zone d'étude	9
Figure 5. Hydrologie de la zone d'étude	10
Figure 6. Géologie de la zone d'étude.....	12
Figure 7. Structure d'une chaussée.....	17
Figure 8. Carte d'échantillonnage	32
Figure 9. Aspect macroscopique du micaschiste a grenat et disthène.....	33
Figure 10. Aspects microscopiques du micaschiste a grenat et disthène.....	33
Figure 11. Aspects macroscopiques du gneiss a grenat et biotite	35
Figure 12. Aspects microscopiques du micaschiste a grenat et disthène.....	35
Figure 13. Profils latéritiques des matériaux dérivés des micaschistes	37
Figure 14. Profils latéritiques des matériaux développés sur gneiss	39
Figure 15 Courbe granulométrique des concassés de gneiss de la zone d'Okola.....	41
Figure 16. Courbes granulométriques des graveleux latéritiques dérivés des micaschistes.....	42
Figure 17. Courbes granulométriques des graveleux latéritiques développés sur gneiss	44
Figure 18. Vérification des contraintes en valeur moyenne sur les couches de la structure optimale pour trafic T3.....	48
Figure 19. Comparaison des valeurs de LA et MDE de cette étude avec celles des travaux antérieurs	54
Figure 20. Comparaison des valeurs de poids volumique des grains solides et de teneurs en fines de cette étude avec celles des travaux antérieurs	57
Figure 21. Comparaison des valeurs de IP et de DSM de cette étude avec celles des travaux antérieurs	57
Figure 22. Comparaison des valeurs CBR de cette étude avec celles des travaux antérieurs	57
Figure 23. Positions des matériaux étudiés dans l'abaque de plasticité de Casagrande.....	58
Figure 24. Positions des courbes granulométriques moyennes des matériaux étudiés dans le fuseau de spécification pour couche de fondation.....	59
Figure 25. Coupes verticales schématiques des structures de chaussées vérifiées.....	60
Figure 26. Comparaison des valeurs des déformations admissibles à celles des déformations calculées des structures vérifiées	61

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Données sur les précipitations et température moyennes annuelles de la zone de Nkolbisson(1993 à 2022).	6
Tableau 2. Données sur les précipitations et température moyennes annuelles de la zone.....	6
Tableau 3. Classification des graveleux latéritiques (Bgarre, 1990).....	15
Tableau 4. Classe de portance des sols en fonction du trafic (Anonyme,1984).....	19
Tableau 5. Classes de trafics (Anonyme.,1984).....	20
Tableau 6. Coordonnées des points d'échantillonnages.....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 7. Données récapitulatives des valeurs de poids volumique des grains solides des graveleux latéritiques de la zone d'Okola.....	41
Tableau 8. Valeurs des paramètres granulométriques des graveleux latéritiques sur micaschistes de la zone d'Okola	42
Tableau 9. Valeurs des paramètres granulométriques des matériaux développés sur gneiss dans la zone d'Okola.....	45
Tableau 10. Valeurs des paramètres de plasticité et paramètres dérivés des graveleux latéritiques de la zone d'Okola	45
Tableau 11. Valeurs des paramètres de compactage des graveleux latéritiques de la zone d'Okola ...	47
Tableau. 12. Données récapitulatives de pré-dimensionnement pour le trafic T3	47
Tableau. 13. Données récapitulatives de pré-dimensionnement pour un trafic T2	47
Tableau. 14. Comparaison des déformations calculées aux déformations admissibles pour T3.....	49
Tableau. 15. Comparaison des déformations calculées aux déformations admissibles pour T3.....	50
Tableau. 16. Comparaison des déformations calculées aux déformations admissibles pour T2.....	50
Tableau. 17. Comparaison des déformations calculées aux déformations admissibles pour T2.....	50

LISTE DES ABRÉVIATIONS, ACRONYMES ET SIGLES

AASHTO: *American Association of State Highway and Transportation Officials*

AFNOR : Association française de normalisation

CBR: *California Bearing Ratio*

CEBTP : Centre d'Expertise du Bâtiment et des Travaux Publics.

DEGN : Direction des Etudes Générales et de la Normalisation

DSM : densité sèche maximale

NE : Norme Européenne

Gm: module de classement

GPS: *Global positioning system*

HRB: *Highway Research Board*

IP : Indice de plasticité

LBTP : Laboratoire du Bâtiment et Travaux Publics

LCPC : Laboratoire Central des ponts et Chaussées

LL : Limite de liquidité

NF : Norme Française

OPM : Optimum Proctor modifié

Pm : module de plasticité

TEO : Teneur en Eau Optimale

USCS: *Unified Soil Classification System*

Ky : Disthène

Op : Minéraux opaques

Grt : Grenat

Qtz : Quartz

Px : Pyroxène

Bt : Biotite

Amp : Amphibole

Kfs : Feldspaths alcalin

Pl : Plagioclases

Ms : Muscovite

RESUME

Le présent travail avait pour but de caractériser sur le plan géotechnique les graveleux latéritiques développés sur roches métamorphiques dans la zone de Nkolbisson-Ekekam en vue de leur utilisation en construction routière. Après une recherche bibliographique le travail s'est poursuivi par les travaux de terrain et les travaux en laboratoire. Les travaux de terrain ont été focalisés sur la localisation des points de prélèvement, la description macroscopique des matériaux prélevés au niveau des affleurements rocheux et dans les carrières latéritiques de la zone d'étude. Les travaux en laboratoire ont consisté en une étude pétrographique des matériaux prélevés suivie de la réalisation des essais géotechniques. Les résultats obtenus montrent que deux types d'affleurements rocheux ont été identifiés dans la zone d'étude. Il s'agit des gneiss à grenat et à biotite et des micaschistes à grenat et à disthène. Les granulats gneissiques de la classe granulaire 0/31,5 sont utilisables en couche de chaussée notamment en couche de base. Cette utilisation peut se justifier par de valeurs d'équivalent de sable (58,4 %) supérieure à 30 %, de Los Angeles inférieures à 32 % et de CBR (180 %) supérieure à 80 %. Les niveaux nodulaires développées sur gneiss sont plus épais que ceux développés sur micaschistes. Les graveleux latéritiques issus des micaschistes sont légèrement plus denses, plus plastiques (IP = 27 %) et plus portants (CBR = 43 %) que ceux développés sur gneiss (IP = 25 %, CBR = 40 %). Ces matériaux contiennent des mortiers de haute plasticité. Leur utilisation en couche de chaussée nécessite une amélioration par réduction de la plasticité avec des liants tels que la chaux malgré leurs teneurs en fines inférieures à 35 %. Les valeurs moyennes du module de classement G_m (2,01 et 1,84) supérieures à 1,5, de densité sèche maximales (2,1 et 2,04) supérieures à 1,90 et une portance CBR à 95 % OPM (40 et 43 %) supérieure à 30 % indiquent que matériaux latéritiques étudiés sont donc aptes pour une utilisation en couche de chaussée sous réserve de la vérification des déformations que les couches les utilisant peuvent subir. Les vérifications des structures de chaussée avec le logiciel Alizé-LCPC montrent que les matériaux latéritiques de la zone d'étude sont utilisables en couche de fondation pour les classes de trafics T2/T3 (CEBTP,1984) avec une couche de fondation de 20 cm d'épaisseur en graveleux latéritiques, et une couche de base en concassés de gneiss avec des épaisseurs de 15 cm à 20 cm. Ceci se justifie par le fait que pour les structures optimales proposées, les valeurs des déformations admissibles sont supérieures aux déformations calculées.

Mots clés : Gneiss et micaschistes, graveleux latéritiques, construction routière, Alize-LCPC, dimensionnement, déformations admissibles et calculées.

ABSTRACT

The present work aimed to characterize, from a geotechnical perspective, the lateritic gravels developed on metamorphic rocks in the Nkolbisson-Ekekam area for their use in road construction. After a bibliographic review, the work continued with fieldwork and laboratory work. The fieldwork focused on the localization of sampling points and the macroscopic description of the materials collected from rock outcrops and lateritic quarries in the study area. The laboratory work consisted of a petrographic study of the collected materials, followed by geotechnical testing. The results obtained show that two types of rock outcrops were identified in the study area: gneiss with garnet and biotite, and garnet and kyanite micaschists. The gneissic aggregates of the granular class 0/31.5 are suitable for use in pavement layers, particularly as a base layer. This use is justified by sand equivalent values (58.4%) greater than 30%, Los Angeles values less than 32%, and a CBR (180%) greater than 80%. The nodular levels developed on gneiss are thicker than those developed on micaschists. The lateritic gravels derived from mica-schists are slightly denser, more plastic (IP = 27%), and more load-bearing (CBR = 43%) than those developed on gneiss (IP = 25%, CBR = 40%). These materials contain high-plasticity mortars. Their use in pavement layers requires improvement by reducing plasticity with binders such as lime, despite their fine content being less than 35%. The average values of the grading modulus G_m (2.01 and 1.84) greater than 1.5, maximum dry densities (2.1 and 2.04) greater than 1.90, and a CBR at 95% OPM (40 and 43%) greater than 30% indicate that the studied lateritic materials are suitable for use in pavement layers, provided that the deformations that the layers using them may undergo are verified. The checks of pavement structures using the Alizé-LCPC software show that the lateritic materials from the study area can be used in foundation layers for traffic classes T2/T3 (CEBTP, 1984), with a foundation layer of 20 cm thick of lateritic gravels, and a base layer of crushed gneiss with thicknesses of 15 cm to 20 cm. This is justified by the fact that for the proposed optimal structures, the values of admissible deformations are greater than the calculated deformations.

Keywords: Gneiss and micaschists, lateritic gravels, road construction, Alizé-LCPC, design, admissible and calculated deformations.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Les latérites ou sols latéritiques présentent une grande famille de sols qui se forment dans les régions tropicales (Ndzié Mvindi *et al.*, 2024). Ils résultent de certains processus d'altération et sont constitués de pisolites et/ou de nodules ferrugineux incrustés dans une matrice limono-argileuse (Bagarre, 1990). Leur utilisation en construction routière présente un intérêt évident dans les pays tropicaux et, tout particulièrement, au Cameroun en raison de leur abondance et de leur faible coût d'exploitation (Bagarre, 1990 ; Mebouinz, 2021). Cette abondance et ce faible coût d'exploitation les rendent économiquement intéressants lors de l'exécution des travaux de construction routière même si leurs performances géotechniques s'avèrent parfois médiocres et surtout variables.

Le réseau routier Camerounais en général et celui de la région du Centre en particulier, est sujet à des dégradations considérables (Albert, 2024). Ces dégradations sont dues dans la plupart du temps à des mauvaises procédures de mise en œuvre, l'intensité du trafic routier et l'insuffisance des essais géotechniques (Nzabakurikiza *et al.*, 2017 ; Mebouinz, 2021). Une bonne connaissance de ces matériaux est nécessaire pour leur utilisation optimale et efficiente. L'un des paramètres pouvant déterminer et évaluer l'aptitude de ces matériaux en construction routière est la portance CBR (*California Bearing Ratio*) (CEBTP, 1984 ; AFNOR, 1997). Ce paramètre est utilisé pour déterminer le module de Young intervenant dans le dimensionnement d'une chaussée notamment la détermination des épaisseurs des couches qui la constituent ainsi que le calcul des contraintes admissibles en fonction du trafic (CEBTP, 1984 ; LCPC-SETRA, 1994).

Des études ont été menées sur les graveleux latéritiques développés sur roches métamorphiques au Centre Cameroun pour une utilisation en construction routière (Ndzié Mvindi *et al.*, 2017 ; Ngo'o Ze *et al.*, 2019 ; Ibrahim Baba, 2023 ; Ngo'o Ze *et al.*, 2025). Leur aptitude en construction routière a été déterminée uniquement sur la base de la valeur CBR par comparaison aux spécification. Peu de ces études ont associé la comparaison de la valeur CBR au spécification et la vérification par des logiciels appropriés pour l'évaluation de l'aptitude d'utilisation de ces matériaux en construction routière (Ngo'o Ze *et al.*, 2025). Le présent travail a donc pour objectif de caractériser sur le plan géotechnique, les graveleux latéritiques développés sur roches métamorphiques dans la zone d'étude en vue de leur utilisation en construction routière. Les objectifs spécifiques de l'étude sont :

- identifier les matériaux rocheux et les graveleux latéritiques de la zone de Nkolbisson-Ekekam sur le plan pétrographique ;
- déterminer les propriétés géotechniques de ces matériaux ;

- évaluer les contraintes sous différents trafics de ces matériaux ;
- ressortir l'intérêt en construction routière de ces matériaux.

Le présent mémoire de Master II après l'introduction générale comprend, 04 chapitres :

- le premier chapitre, 'Généralités' porte sur le cadre naturel de la zone d'étude et la revue complémentaire des travaux antérieurs ;
- le chapitre II intitulé 'Matériels et méthodes' présente les travaux antérieurs effectués sur le terrain et en laboratoire, ainsi que les différents modes d'exploitations des données obtenues ;
- le troisième chapitre, 'Résultats' rapporte les principaux faits d'observation et d'analyses pétrographique et géotechnique des matériaux rocheux et des graveleux latéritiques de la zone d'étude ;
- Quatrième chapitre intitulé 'interprétation et essais de discussions' interprète et discute les principaux faits d'observations et d'analyses.

Le mémoire s'achève par une conclusion générale suivie des principales perspectives.

CHAPITRE I. GÉNÉRALITÉS

INTRODUCTION

Le présent chapitre définit le cadre géographique, les données climatologiques, hydrographiques et phytogéographiques de la zone d'étude. Par la suite, il présente une revue des travaux antérieurs complémentaires, dans le souci de mieux appréhender les propriétés des matériaux étudiés

I.1. Milieu naturel

I.1.1 Aperçu géographique

I.1.1.1. Localisation de la zone d'étude

La zone d'étude est située dans le plateau Sud-Camerounais, entre Nkolbisson et Ekekam. Elle s'étend entre 03° 52' et 04° 02' de latitude Nord ; et entre 11° 27' et 11° 11' de longitude Est. Cette zone se localise le long de la route régionale R0105. Sur le plan administratif, la zone d'étude appartient à la Région du Centre et, est partagée entre les arrondissements de Yaoundé 7 dans le Mfoundi et Okola dans le département de la Lekié (Fig. 1)

I.1.1.2. Géographie physique

I.1.1.2.1. Climat

Les relevés pluviométriques de Nkolbisson-Ekekam entre 1993 et 2022, montrent que le total annuel des précipitations varie entre 1801,4 mm (Tab. 1) et 1694 mm (Tab. 2). La température moyenne annuelle est de 24,5°C et 25,5°C (www.climatecharts.net). Les diagrammes Ombrothermiques de Bagnouls et Gaussen (1957) établis à partir des données pluviométriques permettent de distinguer une saison sèche de décembre à février, une saison de pluie de mars à novembre avec des pics de précipitation en mai et octobre (Figs. 2 et 3). Cette région est soumise à un climat équatorial de type guinéen de transition.

I.1.1.2.2. Végétation

Les conditions climatiques de la région du Centre rendent compte de l'important massif forestier qui couvre une bonne partie de la région. C'est en effet le prolongement vers le Nord de la forêt congolaise, l'un des plus riches bassins forestiers du monde. La région du Centre fut couverte jadis sur toute son étendue par la forêt qui loin d'être homogène apparaît de nos jours très dégradée. C'est le domaine de la forêt dense humide toujours verte et semi-caducifoliée (MINAT/PNUD, 2020). Dans les départements du Mfoundi et de la Lékoumou, la forêt devient semi-

décidue riche en *Celtis* et en *Sterculiacées* et fortement influencée par les défrichements (MINAT/PNUD, 2020)

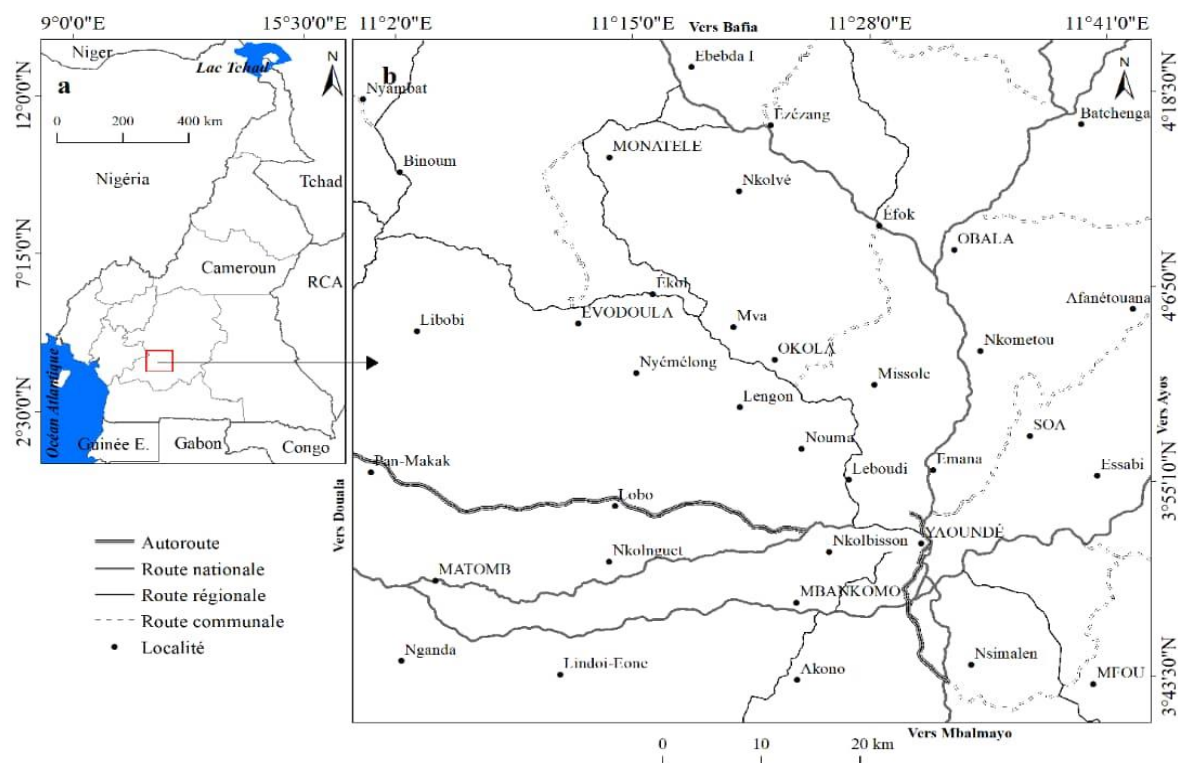


Figure 1. Carte de localisation de la zone d'étude (INC-Cameroun)

Tableau 1. Données sur les précipitations et température moyennes annuelles de la zone de Nkolbisson(1993 à 2022).

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total	Moy
P(mm)	19,9	45,6	158,1	195,8	210,3	181,6	79	159,9	267,4	317	140,9	26,8	1802,3	-
T (°C)	25,2	26	25,4	25,2	24,8	24,1	23,3	23,2	23,7	23,8	24,5	24,6	-	24,50

Tableau 2. Données sur les précipitations et température moyennes annuelles de la zone d'Ekekam (1993 à 2022)

Mois	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Total	Moy
P(mm)	13,7	30,5	134,2	170,8	198,9	164,7	87,5	187,7	270,5	309	109,6	16,9	1694	-
T (°C)	26,4	27,2	26,8	26,3	25,8	25,1	24,4	24,2	24,5	24,7	25,6	25,4	-	25,5

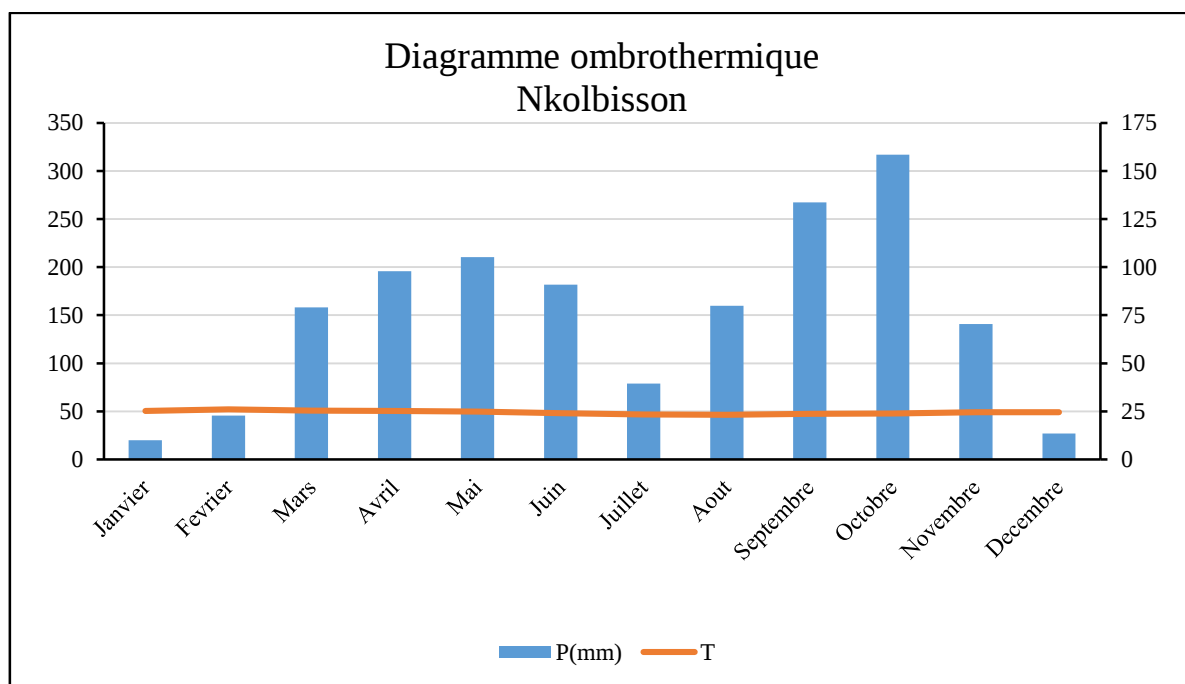


Figure 2: Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1957) appliqué aux données climatiques de la zone de Nkolbisson pour la période allant de 1993 à 2022

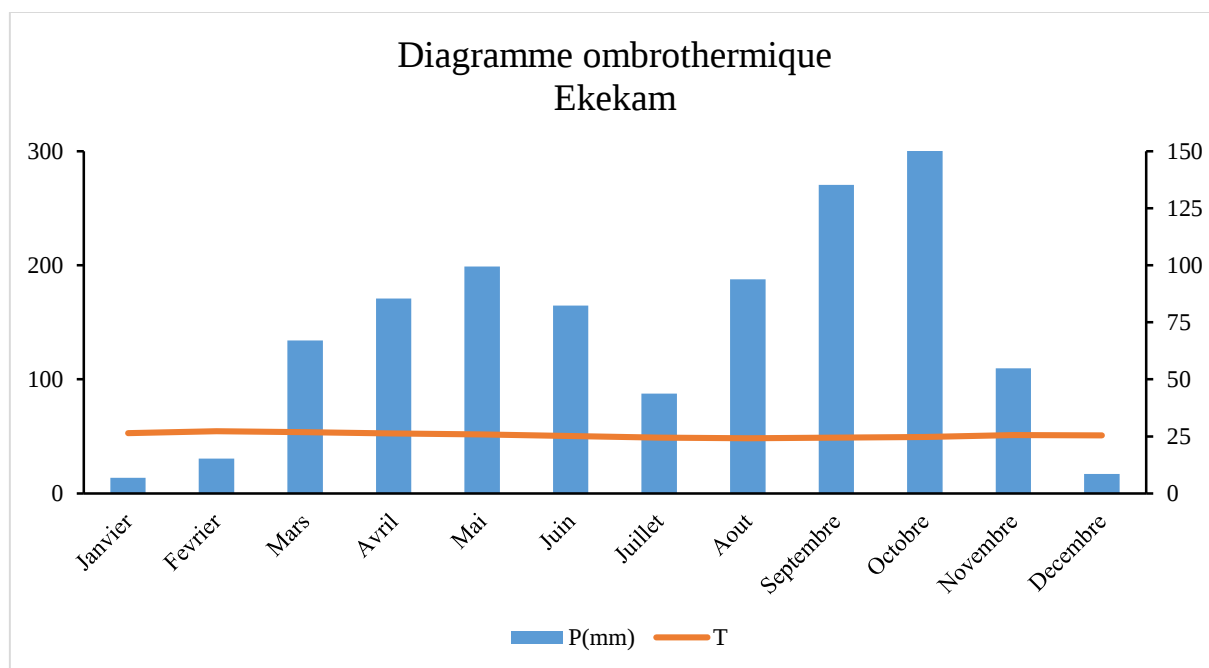


Figure 3: Diagramme ombrothermique de Bagnouls et Gaussen (1957) appliqué aux données climatiques de la zone d'Ekekam pour la période allant de 1993 à 2022.

I.1.1.3. Géomorphologie

I.1.1.3.1. Orographie

La zone d'étude appartient au plateau Sud-camerounais dans la région du Centre Cameroun, elle présente une orographie variée. Le relief de cette zone est dominé par les plateaux et les collines, avec des vallées fluviales importantes (Fig. 4). La région est traversée par plusieurs rivières, dont la Sanaga qui joue un rôle crucial dans le drainage de la zone. La zone comprend des altitudes variant de 325 et 1275 m et définissant trois 03 unités morphologiques (Fig. 4) :

- les zones d'altitudes comprises entre 250 et 600 m qui représentent les plaines ;
- les zones d'altitudes variant entre 600 et 1000 m, qui représentent les piedmonts ;
- les zones d'altitudes comprises entre 1000 et 1275 m, qui représentent les sommets.

I.1.1.3.2. Hydrographie

Le réseau hydrographique de la zone d'étude appartient à deux bassins d'importants versants : celui de la Sanaga au Nord et celui du Nyong au Sud de la région (Fig. 5). Le fleuve Sanaga mesure 918 km et couvre un bassin d'environ 140 000 km² (Olivry, 1986) dont les principaux tributaires dans la zone d'étude sont les rivières Ngobo, Afamba et la Lékié qui arrosent le département de la Lékié en particulier l'arrondissement d'Okola. Le fleuve Nyong, long de 800 km qui couvre un bassin d'environ 28 000 km² est très peu représenté dans la zone d'étude. Il a pour principaux affluents les cours d'eaux du sous bassin de la Mefou, qui arrosent le département du Mfoundi aux alentours de Nkolbisson. Ces cours d'eaux sont utilisés pour la pêche et l'extraction du sable (Fig. 5).

I.1.1.4. Géologie

I.1.1.4.1. Contexte géologique

La Chaîne Panafricaine du Cameroun (CPC) est subdivisée du Nord au Sud en trois grands domaines géodynamiques distincts (Nzenti et *al.*, 2011). Ces domaines sont : le domaine Nord-Cameroun, le domaine Centre-Cameroun et le domaine Sud-Cameroun. La zone d'étude appartient au domaine centre Cameroun. Le domaine centre Cameroun auquel appartient la zone d'étude est constitué de roches métamorphiques plissées mais de natures variées. Deux ensembles lithologiques y sont définis à l'échelle régionale (Ndzié Mvindi., 2019) :

- un ensemble faiblement métamorphisé (séries d'Ayos, Bengbis et Yokadouma) ;
- un ensemble de moyen à haut degré métamorphique, composé de gneiss, migmatites, micaschistes, amphibolites et de roches à silicates calciques (série de Yaoundé et de Nanga-Eboko).

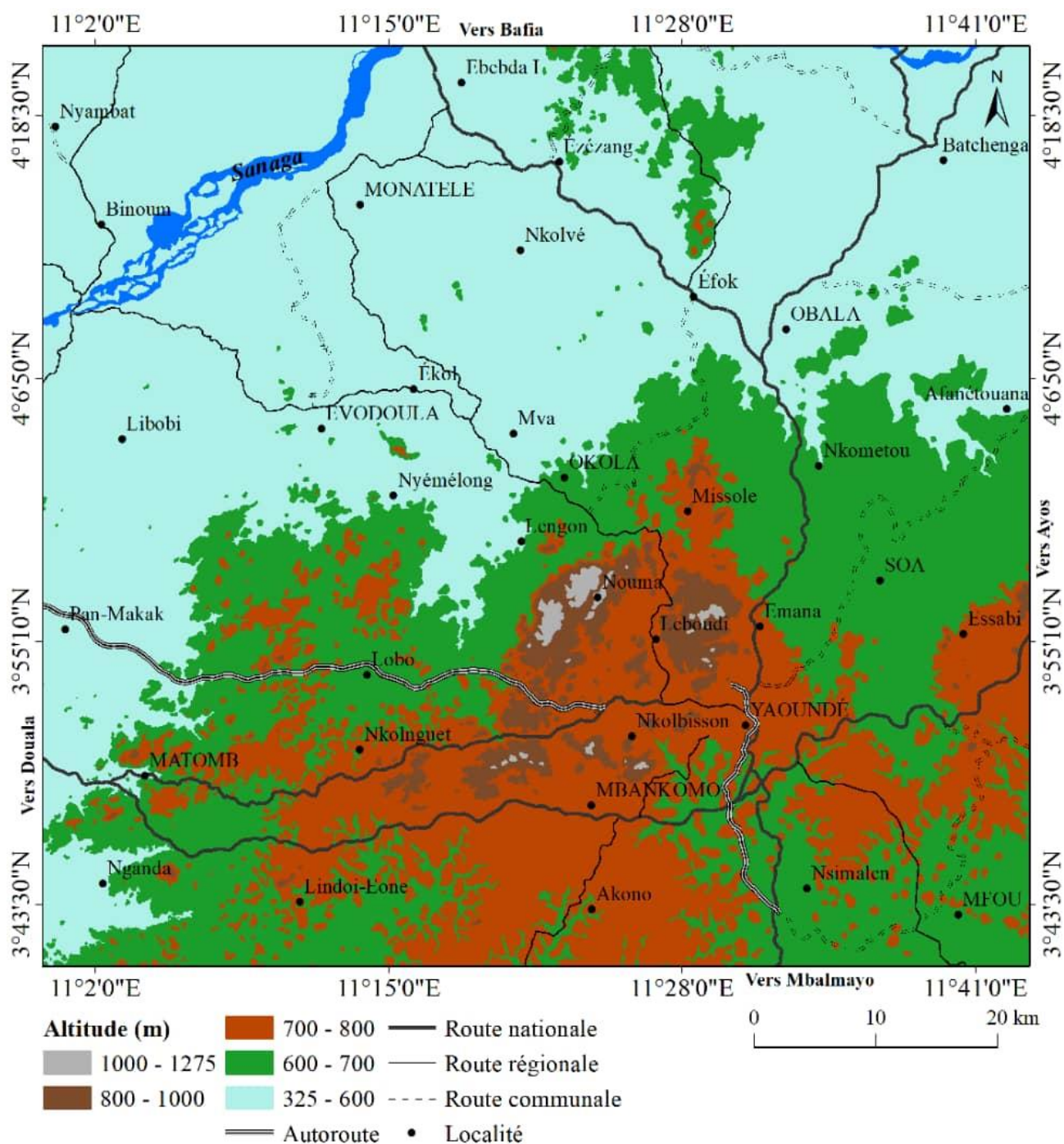


Figure 4. Orographie de la zone d'étude (SRTM)

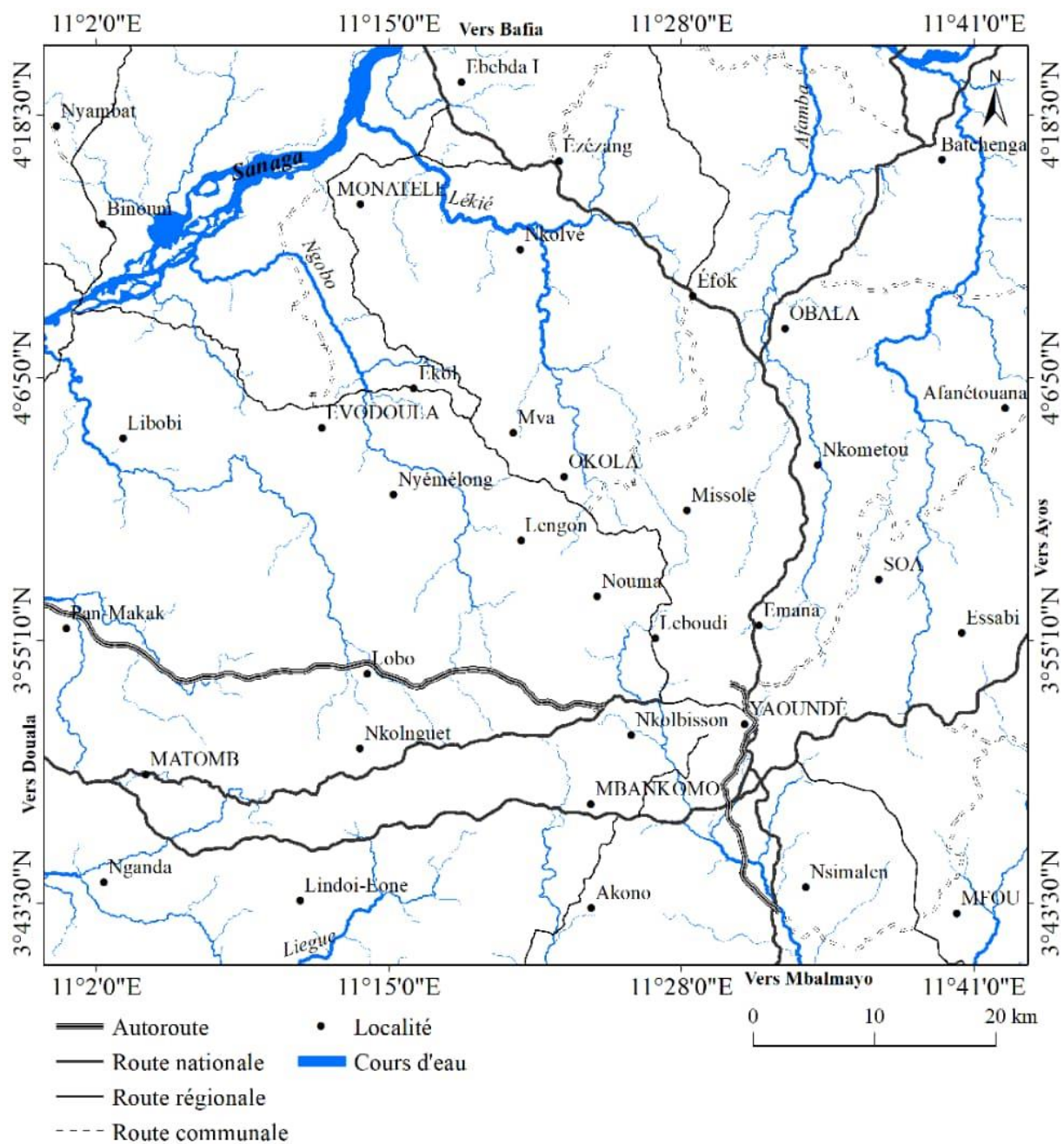


Figure 5. Hydrographie de la zone d'étude (Olivry, 1984)

La zone d'étude est constituée de 05 principaux groupes lithologiques, les quartz micacés, les micaschistes, les gneiss-diadysites, gneiss grenatifères à deux micas et les gneiss migmatitiques (Fig. 6).

I.1.1.4.2. Sols

La zone d'étude est située dans le domaine des sols ferralitiques. Ce sont le plus souvent des sols très pauvres en base, présentant un potentiel de fertilité variable. Cette variabilité est due en particulier à la présence d'horizons concrétionnés ou indurés à plus ou moins grande profondeur et à la fluctuation de la nappe phréatique plus ou moins proche de la surface (Tchindjang et *al.*, 2019). La zone d'étude est constituée de sols ferralitiques de couleur rouge que l'on rencontre au niveau des interfluves, et des sols hydromorphes se développant particulièrement dans les vallées (Ekodeck, 1984 ; Tchindjang et *al.*, 2019).

I.1.1.5. Population et activités économiques

Les départements du Mfoundi et de la Lekié sont des départements cosmopolites et peuplés par les betis, les bassa'a, les bamileké, les haussa et les peules. Ces groupes ont des coutumes, traditions et une littérature orale commune. Sur le plan socio-politique, les Fang-Beti sont organisés en clans. L'autorité y est patriarcale (MINAT/PNUD, 2020). L'économie de cette région repose principalement sur l'agriculture, l'élevage, la pêche et l'activité touristique.

I.2. Travaux antérieurs complémentaires

I.2.1. Pétrographie

Sur le plan macroscopique, les roches présentent un aspect d'ensemble gris sombre à gris clair. Elles présentent un litage compositionnel, marqué par une alternance de lits clairs quartzo-feldspathiques et des lits sombres ferromagnésiens (Ndzié Mvindi et *al.*, 2024). Sur le plan microscopique, ces roches ont une texture grenue hétérogranulaire, et sont constitués de quartz, orthose, plagioclase, biotite, amphibole, muscovite, disthène et grenat.

I.2.1.1. Propriété géotechniques des roches

En zone de plateau Sud Camerounais, les gneiss possèdent respectivement des valeurs de masse volumique des grains solides variant entre 2,92 g/cm³ et 3,02 g/cm³ (Ndzié Mvindi., 2019). Les valeurs moyennes du coefficient Los Angeles (LA) des gneiss sont de 34 % pour la fraction granulométrique 3/8 (Nzabakurikiza, 2018). Les valeurs de LA sont de 26 % pour la fraction granulométrique 10/14 et, de 29 % pour la fraction 6/10 (Nzabakurikiza, 2018). Dans ces roches, les valeurs de l'équivalent de sable (ES) varient entre 74 et 80 %. Ces gneiss présentent une valeur moyenne de densité sèche de 2,36. Leur valeur moyenne de teneur en

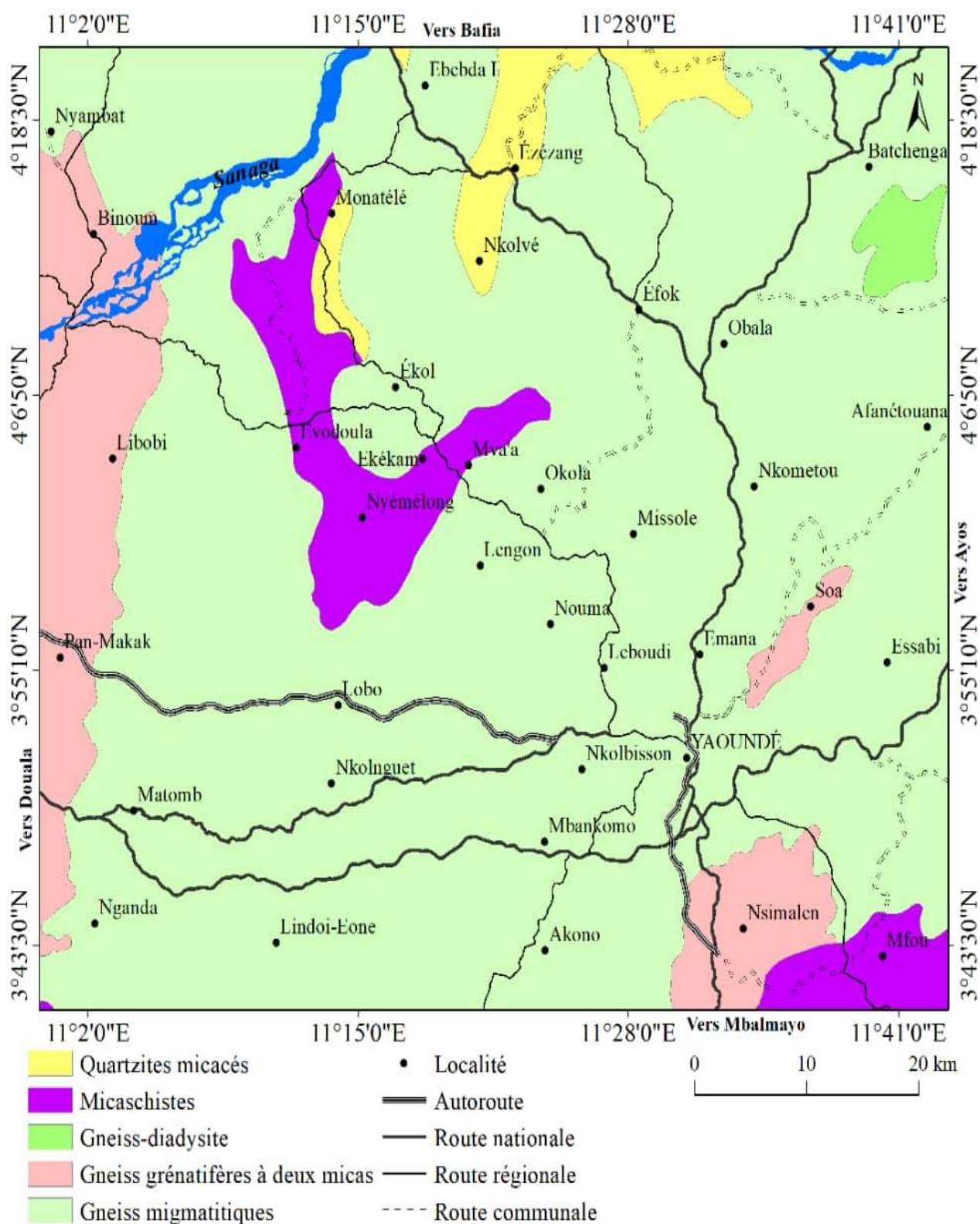


Figure 6. Géologie de la zone d'étude d'après la carte géologique de reconnaissance du Cameroun au 1/10 000. D'après Dumont, 1968.

eau est de 6 %. Les gneiss en zone de plateau Sud-Camerounais présentent une valeur moyenne de *California Bearing Ratio* (CBR) de 175 % (Ndzié Mvindi, 2019).

I.3. Travaux antérieurs sur les graveleux latéritique

I.3.1. Définition

Pour l'ingénieur routier, les graveleux latéritiques, sont des matériaux meubles, formés en milieu tropical, composé d'une fraction granulaire constituée de pisolithes ou de nodules ferrugineux emballé dans une matrice limono-argileuse (Auret, 1983). Les facteurs qui ont une influence prédominante sur la formation de ces matériaux sont le climat, la roche mère, la topographie (érosion, drainage), la végétation et le facteur temps (Bagarre, 1990).

Le climat agit sous l'action jumelée de la température et du bilan hydrique. Une pluviométrie importante est nécessaire pour provoquer l'altération des roches, mais le mouvement de l'eau dans le sol (bilan hydrique), exerce une influence déterminante sur la nature du produit final (Massamba Ndiaye, 2013) ;

- la température catalyse les réactions chimiques et joue sur l'altération, en favorisant la formation où la destruction d'humus (Bagarre, 1990) ;
- la nature de la roche mère ne semble pas avoir d'incidence sur l'existence du phénomène de latérisation, puisque celui-ci concerne autant les roches basiques ignées (basalte) que des roches acides de type (granite/gneiss) ou d'autres roches sédimentaires de type (grès/schistes/calcaires). Par contre, elle exerce une influence sur le type de réaction et la nature du constituant argileux (Auret, 1983) ;
- le relief conditionne le drainage et contrôle la vitesse de l'altération (Bohi, 2008). La topographie influe donc sur le processus de latérisation en favorisant ou en défavorisant l'accumulation d'eau (Auret, 1983) ;
- la végétation influence le ruissellement et le bilan hydrique, elle favorise aussi la formation d'un type de latérite spécifiques selon qu'on se trouve en zone de forêt ou de savane (Tockol, 1993) ;
- le facteur temps peu aussi expliquer de très importantes différenciations géochimiques à la surface de la terre.

I.3.2. Caractéristiques géotechnique des graveleux latéritiques

Les graveleux latéritiques sont sur le plan géotechnique des sols meubles de granulométrie 0/20 à 0/40 mm comportant 10 à 35 % de fines, 20 à 60 % de squelette et un mortier dont la valeur de plasticité varie de 10 à 35 % (Bagarre, 1990). Les courbes

granulométriques de ces matériaux montrent très généralement un palier entre 0,080 et 2 mm (Ekodeck, 1984). Ceci traduit bien la dualité d'origine des composants du mélange naturel qu'est ce matériau (Ekodeck, 1984).

Les essais réalisés sont ceux requis pour le choix d'un matériau comme matière première d'assise de chaussée en construction routière. Il s'agit de la densimétrie, des essais de détermination de la teneur en eau naturelle, des limites d'Atterberg, de la valeur du bleu de méthylène, de la granularité, des essais Proctor, CBR, traction et compression simple.

Les travaux sur les graveleux latéritiques dérivés des roches métamorphiques présentent des valeurs de masse volumique des grains solide comprises entre 2,44 et 2,90 g/cm³. Les valeurs de la limite de liquidité, comprises entre 46 et 81 %, les valeurs d'indice de plasticité varient de 22 et 39 %. Les paramètres Proctor varient entre 10 et 24 % pour la teneur en eau à l'optimum Proctor modifié (TEO) et, entre 1,75 et 2,06 pour la densité sèche maximale (DSM). Les valeurs CBR sont comprises entre 31 et 88 % (Ndzié Mvindi, 2019).

I.3.3. Spécification des graveleux latéritiques en construction routière

Les sols latéritiques utilisables en construction routière sont des latérites contenant une proportion suffisante d'éléments dont les passants au tamis de 2 mm sont supérieurs à 50 % (Ndzié Mvindi, 2019). La classification du Centre d'Expertise du Bâtiment et des Travaux Publics (CEBTP, 1984) distingue trois familles de latérites (G1, G2, G3) d'après leur indice de plasticité, leurs pourcentages de fines et la valeur du produit de ces deux paramètres (Fines*IP) (Tab. 3). Dans la classification Américaines HRB (Highway Research Board) ou AASHTO (American Association for State Highway and Transportation Officials), les latérites couvrent plusieurs classes. Les sols les plus argileux sont de classe A-2-6 et A-2-7. L'un des paramètres important de ces classifications est l'indice de groupe Ig (Robitaille et Tremblay., 1997) qui permet de qualifier les matériaux comme couche d'infrastructure routière. Les classifications USCS (*Unified Soil Classification Système*) et LCPC (Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées) considère les graveleux latéritiques comme des sols grenus (Bagarre, 1990). Ils se répartissent entre les classes GC (gravier argileux) et SC (sable argileux) lorsque leur granularité maximale est réduite. Des études ont montré que les graveleux latéritiques offrent un compromis providentiel aux conditions climatiques des pays tropicaux à saisons bien marquées. Leur plasticité assure une bonne cohésion en saison sèche et leur squelette permet que la portance reste bonne en saison de pluies (Tab. 3). L'épaisseur adoptée doit être telle qu'elle ne devienne jamais inférieure à celle requise pour éviter le poinçonnement de la plateforme. La détermination de cette épaisseur tient compte de l'usure due au trafic et de l'épaisseur

Tableau 3. Classification des graveleux latéritiques (Bagarre, 1990)

Classification	GL1	GL2	GL3
% de fines	15	15-25	25-35
IP (%)	>16	>24	>28
F X IP	<250	250-600	600-1000
CBR (%)	>30	15-40	<30
DSM	>2,10	2,00-2,25	1,90-2,20
TE-OPM (%)	5-8	7-10	8-12

minimale nécessaire. Les spécifications liées à l'utilisation des latérites en couche de chaussée sont consignées tableau 5. Selon les recommandations formulées par le CEBTP (1984) et le DEGN (1987), les latérites peuvent être utilisées à différents niveaux du corps de la chaussée :

- En couche de forme pour tous les trafics ;
- En couche de fondation pour les trafics faibles à moyens de classes T1 à T3 et, pour les trafics élevés T4 et T5. Pour les classes de trafics élevés T4 et T5, il est nécessaire de stabiliser les graveleux latéritiques avant leur utilisation en construction routière ;
- En couche de base pour les faibles trafics T1 à T3.

D'un pays à un autre, ces spécifications sont différentes (CEBTP, 1984) et pour la plupart, provisoires.

I.4. Généralités sur les chaussées

I.4.1. Structure d'une chaussée

La chaussée a pour rôle de répartir les charges mécaniques sur le sol support et ce quelles que soient les conditions environnantes de façon à réduire la pression transmise au sol jusqu'à une valeur admissible par celui-ci. Les chaussées se présentent comme des structures multicouches mises en œuvre sur un ensemble appelé plate-forme support de chaussée constitué du sol terrassé (dit sol support) surmonté généralement d'une couche de forme (LCPC-SETRA, 1994 ; Brabet, 2012). De façon générale, la chaussée comprend une plateforme, éventuellement une couche de forme, une couche de fondation, une couche de base et une couche de roulement.

I.4.1.1. Plate-forme

La partie supérieure des terrassement (PST) désigne la zone supérieure des terrains en place et fait environ 1 m d'épaisseur. La plateforme de la PST est l'arase de terrassement. Elle doit être insensible à l'eau et aux intempéries. Sa portance influence pour une grande part l'épaisseur des couches de chaussée qui reposent sur elle. Afin de permettre la mise en place du corps de chaussée dans des conditions satisfaisantes et, de lui permettre de conserver avec le temps une déformabilité suffisante, une bonne plate-forme indispensable (CEBTP, 1984). La couche de forme n'est pas obligatoire si la PST a une portance suffisamment forte. Si non, elle se charge de protéger le sol-support et d'améliorer les caractéristiques dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place vis-à-vis du fonctionnement mécanique de la chaussée.

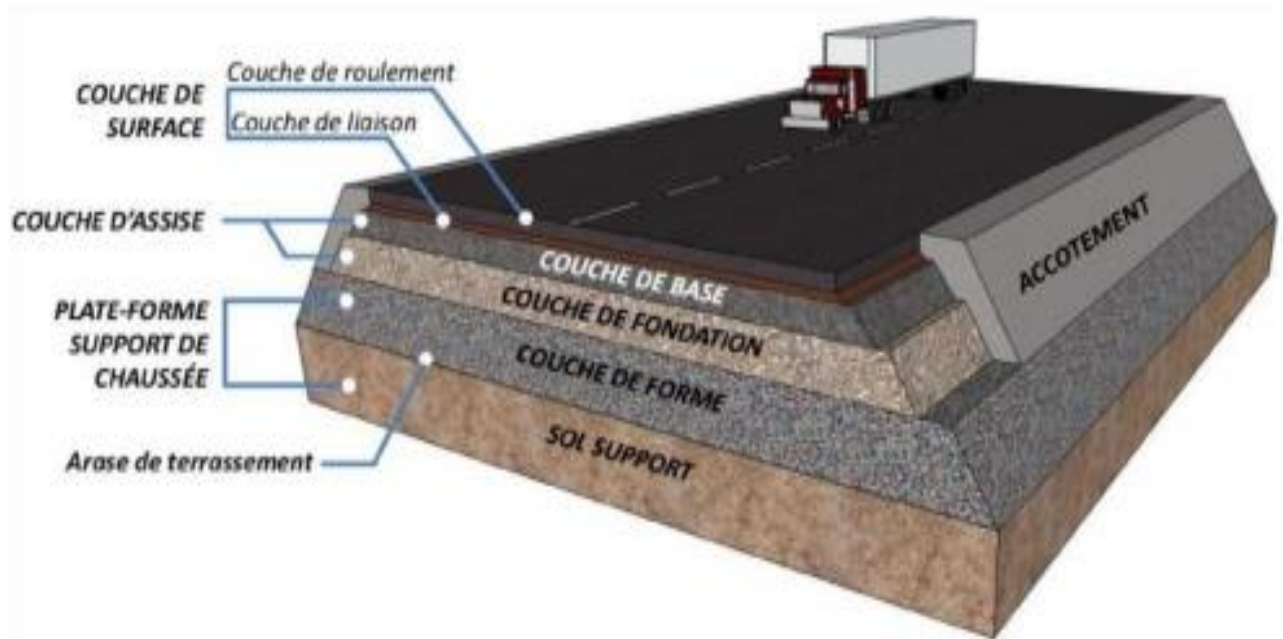


Figure 7. Structure d'une chaussée (LCPC-SETRA, 1994., Brabet, 2012)

I.4.1.2. Couches d'assise

L'assise de chaussée est constituée de couches en matériaux élaborés apportant à la chaussée la résistance mécanique aux charges verticales induites par le trafic (Brabet, 2012). Elle permet de répartir la pression sur la plate-forme support afin de maintenir les déformations à ce niveau dans les limites admissibles (LCPC-SETRA, 1994). L'assise de chaussée est généralement constituée d'une couche de fondation et d'une couche de base (LCPC-SETRA, 1994). La couche de fondation est sus-jacente à la plate-forme et permet une répartition homogène des contraintes sur la couche de forme ou sur la plate-forme. Destinée à supporter les différentes couches qui constituent la chaussée et d'absorber les contraintes de la circulation transmises en profondeur, les matériaux qui la constituent doivent avoir une valeur CBR ≥ 30 % (Sandoumbe, 2006). La couche de base est plus proche de la couche de surface, elle reçoit des contraintes et déformations notables. Elle est prépondérante et doit être constituée de matériaux suffisamment durs pour résister à la traction avec un indice portant doit être ≥ 80 % (Sandoumbe, 2006).

I.4.1.3. Couche de surface

La couche de surface est la partie supérieure de la chaussée. Elle est composée d'une couche de liaison sur laquelle repose une couche de roulement (LCPC-SETRA, 1994). La couche de liaison est située entre les couches d'assises et la couche de roulement (LCPC-SETRA, 1994). Elle permet d'adapter les spécificités de la couche de roulement au confort et à la sécurité des usagers. La couche de roulement ou couche supérieure de la chaussée est celle sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat (LCPC-SETRA, 1994). Elle doit résister à une circulation souvent canalisée avec freinages fréquents et limiter les bruits de roulement des véhicules et assure la fonction de protection de l'assise contre les agressions du trafic, du climat (LCPC-SETRA, 1994).

I.4.2. Dimensionnement des chaussées

Le dimensionnement des chaussées au Cameroun en particulier, s'est inspiré très largement du 'Guide pratique pour de dimensionnement des chaussées dans les pays tropicaux' (CEBTP, 1984). C'est l'un, sinon, le seul document disponible parmi les documents de référence. Il prend en compte la qualité des ressources en matériaux propres au contexte local. Ce document ne pouvait pas à la fois couvrir toute la gamme de matériaux susceptibles d'être utilisés en construction routière et cerner les meilleures conditions d'utilisation des matériaux dans des conditions différentes relatives au climat, au trafics et à l'économie. Deux paramètres permettent de dimensionner les structures de chaussées : le CBR de la plate-forme et le trafic

de la structure de chaussée concernée (CEBTP, 1984). Le CBR reste le meilleur paramètre permettant de différencier les sols sur la base de leur résistance au poinçonnement (CEBTP, 1984). La valeur à retenir est la portance CBR des sols mis en œuvre dans les 30 cm supérieurs de la plate-forme (Nyemb Bayamack, 2021). Ce paramètre permet de définir des classes de portance des sols servant de cadre pour leur utilisation (Tab. 4). Les classes de trafic sont définies de plusieurs façons, en fonction du degré de précision recherché et en tenant compte des charges potentielles (Tab. 5). On distingue :

- Le trafic journalier, toutes catégories de véhicules confondues ;
- Le trafic cumulé de poids lourds (véhicules définis comme ayant un poids total, en charge, supérieure à 3 tonnes) ;
- Le trafic cumulé selon les équivalences d'essieux (CEBTP, 1984).

Tableau 4. Classe de portance des sols en fonction du trafic (Anonyme,1984)

Types de sols	Portance	Utilisation
S1	CBR<5	Matériaux ne devant pas se trouver dans le corps de remblai sauf dans les zones où les sols latéritiques sont pratiquement absents
S2	5< CBR <10	Remblais
S3	10< CBR <15	Remblais et couche de forme
S4	15< CBR <30	Couche de forme et couche de fondation pour T1
S5	30< CBR <60	Couche de fondation pour T2, T3, et couche de base pour T1
S6	60< CBR <120	Couche de fondation pour T3, T4 et couche de base pour T2
S7	CBR>120	Couche de base pour T3

Tableau 5. Classes de trafics (Anonyme.,1984)

Classe de trafic proposée	FORMULES D'EXPRESSION DU TRAFIC		
	1	2	3
	Nombre journalier de vehicules (veh/j)	Nombre cumulé de poids lourds (PL)	Nombre cumulé d'essieu equivalent de 13 t (EE13t)
T1	$100 \leq T < 300$	$1 \times 10^5 \leq T \leq 5 \times 10^5$	$1 \times 10^5 \leq T \leq 5 \times 10^5$
T2	$300 \leq T < 1\ 000$	$5 \times 10^5 \leq T \leq 1,5 \times 10^6$	$5 \times 10^5 \leq T \leq 1,5 \times 10^6$
T3	$1\ 000 \leq T < 3\ 000$	$1,5 \times 10^6 \leq T \leq 4 \times 10^6$	$1,5 \times 10^6 \leq T \leq 4 \times 10^6$
T4	$3\ 000 \leq T < 6\ 000$	$4 \times 10^6 \leq T \leq 1 \times 10^7$	$4 \times 10^6 \leq T \leq 1 \times 10^7$
T5	$6\ 000 \leq T < 12\ 000$	$1 \times 10^7 \leq T \leq 2 \times 10^7$	$1 \times 10^7 \leq T \leq 2 \times 10^7$

CONCLUSION

La région du Centre Cameroun appartient à la zone forestière à pluviométrie bimodale, elle présente un climat équatorial de type guinéen. Cette région présente des altitudes de 700 m en moyenne, le réseau hydrographique est de type dendritique et appartient à deux grands bassins versants (la Sanaga et le Nyong). La végétation est constituée de forêt, de galeries, et de savanes péri-forestière. Les principales activités des populations sont l'agriculture, la chasse, la pêche, l'élevage et le tourisme. Les formations rocheuses rencontrées sont des roches métamorphiques sur lesquels se développent des sols ferrallitiques accompagnés dans les bas-fonds des sols hydromorphes. La topographie, la pluviométrie et les battements de la nappe phréatique dus à des variations de périodes sèches et humides entraînent le développement des graveleux latéritiques objet du présent travail.

CHAPITRE II. MATÉRIELS ET MÉTHODES

INTRODUCTION

Le présent chapitre porte sur la méthodologie suivie lors de ces travaux. Après les enquêtes bibliographiques, les travaux se sont poursuivis sur le terrain et en laboratoire. Les travaux de terrain ont consisté en la localisation des différents affleurements de roche et site de prélèvement, la description des matériaux et au prélèvement des échantillons. Les travaux en laboratoire ont consisté en la confection des lames minces de roches, des études pétrographiques et la réalisation des essais géotechniques. Le chapitre s'achève par les méthodes d'exploitation des résultats.

II.1. Enquêtes bibliographiques

Les enquêtes bibliographiques ont précédé les travaux de terrain et ceux en laboratoire. Elles ont consisté en l'exploitation des cartes topographiques, géologiques et des ouvrages scientifiques dédiés à la zone d'étude et au thème développé. Les informations obtenues sur internet et dans la bibliothèque du Département des Sciences de la Terre ont été utilisées à cet effet. Les informations collectées ont servi à la rédaction de la problématique et de l'ensemble du présent mémoire.

II.2. Méthode d'acquisition des données

II.2.1. Méthodes d'acquisition des données de terrain

II.2.1.1. Localisation des points de prélèvement et matériels

Les points de prélèvement sont des affleurements rocheux non loin de la route et des carrières de matériaux latéritiques (Tab. 6). Les coordonnées de ces points de prélèvements sont présentées dans le tableau 6.

Le matériel utilisé comprend :

- une carte topographique et géologique à l'échelle 1/50 000. Ces dernières ont permis d'obtenir des renseignements sur le relief, les localités et les types pétrographiques présents dans la zone d'étude ;
- un appareil photos, pour la prise de photos sur le terrain et en laboratoire ;
- un appareil récepteur GPS de marque Garmin pour relever les coordonnées des points d'échantillonnage ;
- un marteau du géologue et une massette pour le prélèvement des échantillons de roches ;

- un bloc notes pour prendre les observations et un marqueur pour la codification des échantillons ;
- un décimètre, pour déterminer l'épaisseur des profils et les tailles des cuirasses et nodules rencontré tout au long de la prospection ;
- des sacs à échantillonner d'une contenance de 50 kg minimum ;
- une pioche et une pelle pour rafraichir les profils d'altération dans la zone d'étude et procéder au prélèvement des échantillons.

II.2.1.2. Principe de description des matériaux

La description macroscopique des profils latéritiques s'est faite verticalement, du bas vers le haut suivant les différents profils des carrières latéritiques rencontrées le long de la zone d'étude. Les critères de description sont la texture, la structure, la minéralogie, l'épaisseur et les limites entre les différents niveaux. La description s'est poursuivie en laboratoire sur des échantillons secs à l'aide de la charte des couleurs Munsell (Munsell Color Chart, 2000).

II.2.1.3. Prélèvement et codification des échantillons

Les échantillons de roches ont été prélevés sur les affleurements dans la localité Nkolbison-Ekekam aux fins d'études pétrographiques et géotechniques. Les échantillons de graveleux latéritiques ont été prélevés sur des fronts de tailles des carrières de matériaux latéritiques. Ces différents échantillons ont été emballés, étiquetés et numérotés selon l'ordre chronologique de prélèvement. L'encodage comporte les initiales des noms des localités des prélèvements des échantillons. Les chiffres allant de 1 à 4 indiquant le numéro d'ordre du prélèvement dans les différentes carrières latéritiques y sont ajoutés. Le code BIL 1 indique le premier échantillon prélevé dans la localité de Bilono. Pour la roche, le suffixe R a été ajouté pour faire la différence avec les matériaux latéritiques.

II.3. Méthode d'acquisition des données de laboratoire

Les échantillons de roches prélevés ont fait l'objet d'analyses pétrographiques et géotechniques tandis que les matériaux latéritiques ont été soumis à la détermination des paramètres géotechniques.

II.3.1. Analyses pétrographiques

Les études pétrographiques macroscopiques et microscopiques détaillées des matériaux prélevés ont été effectuées au Département des Sciences de la Terre de la Faculté des Sciences de l'Université de Yaoundé I ; un microscope optique polarisant de marque XP 201 muni d'une caméra OPTICAM a été utilisé pour réaliser ces études. Les proportions des minéraux ont été

déterminées visuellement. La couleur des matériaux a été déterminée à l'aide de la charte des teintes Munsell (2000).

Tableau 6. Coordonnées des points d'échantillonnages

Matériaux prélevés	Localités	Latitude	Longitude	Altitude
Roches	Ekole	N 04°06'16''	E11°16'30''	552m ± 3m
	Obak	N 04°00'13''	E11°26'20,5''	694m ± 3m
Graveleux latéritiques sur Micaschistes	Ekekam	N 04°04'35,9''	E11°18'49,4''	576m ± 3m
	Mva'a	N 04°04'19,5''	E11°19'46''	595m ± 3m
Graveleux latéritiques sur gneiss	Okola	N 04°02'01,6''	E11°22'09,2''	656m ± 3m
	Bilono	N 04°01'07,1''	E11°26'53,3''	702m ± 3m
	Obak	N 03°58'39,8''	E11°26'42,7''	818m ± 3m

II.3. Confection des lames minces

Les échantillons de roche prélevés dans la zone d'étude ont été sciés en un bloc de forme parallélépipédique (sucre de roche) au laboratoire de pétrographie de l'Institut de Recherche Géologiques et Minière (IRGM) de Nkolbisson à Yaoundé ; suivant les dimensions suivantes : longueur (L) 45 mm, largeur (l) 30 mm et épaisseur (e) 30 μm . Le sucre de roche est ensuite collé à l'aide de la résine sur une plaque de verre ; l'échantillon de roche est aminci par polissage successif à l'épaisseur souhaité (30 μm). La préparation à cette épaisseur permet ainsi de visualiser les propriétés optiques des minéraux présents dans la roche. Cette confection passe par plusieurs étapes à savoir :

- prélèvement des échantillons de roche ;
- découpe initiale ; les échantillons sont ensuite découpés en morceaux d'environ 0,5 cm d'épaisseur
- identification et marquage ; chaque échantillon est marqué avec un feutre indélébile pour éviter toute confusion lors des analyses ultérieures ;
- ponçage et polissage ; la face non marquée de chaque échantillon est soigneusement poncée et polie pour atteindre une épaisseur d'environ 20 à 30 micromètres ;
- montage sur verre ; la lame de roche polie est ensuite placée sur une lame de verre, prête à être observé sous un microscope pétrographique.

II.3.2. Essais géotechniques

Les essais géotechniques ont été réalisés au laboratoire de chantier Arab-contractor ltd Cameroun (Centre-Cameroun). Ces essais, réalisés sur les graveleux latéritiques et les granulats ont porté sur la détermination des propriétés physiques, des paramètres de compactages et mécaniques.

II.3.2.1. Poids volumique des grains solides

La détermination du poids volumique des grains solides est prescrite par la norme NF P 94 – 054 (AFNOR, 1991). Elle a été réalisée par la méthode des pesées successives.

II.3.2.2. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique a été réalisée tant sur les concassés de roches que sur les échantillons de graveleux latéritiques. Le but de l'analyse granulométrique consiste à séparer selon leur grosseur des éléments constituant d'un échantillon en employant des tamis à maille carré. L'exploitation des données de tamisage permet d'obtenir une représentation de la

répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension. L'analyse granulométrique par tamisage a été réalisée suivant la norme NF P 94-056 (AFNOR, 1996).

II.3.2.3. Limites Atterberg et Indice de plasticité

La consistance d'un sol varie de façon continue selon sa teneur en eau ; lorsque celle-ci augmente, le sol passe successivement de l'état solide à l'état plastique puis à l'état liquide. L'essai définit conventionnellement les limites entre ces états (AFNOR, 1993) :

- LL : limite de liquidité, c'est la teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique ;
- LP : limite de plasticité, c'est la teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et solide ;
- IP : indice de plasticité, c'est la différence entre les LL et LP. Cet indice définit l'étendue du domaine plastique.

II.3.2.4. Essai Proctor modifié

Cet essai est réalisé sur des fractions de roche et latérite ; l'essai Proctor normalisé consiste à placer dans un moule de dimensions déterminées, un échantillon humidifié de manière homogène à une teneur en eau donnée, peu élevée au début, et à compacter cet échantillon par couche au moyen d'une dame de poids standardisé tombant d'une hauteur standard. Pour chacune des teneurs en eau considérée, on détermine le poids volumique sec du sol et on établit la courbe des variations de ce poids volumique en fonction de la teneur en eau NF P 94-093 (AFNOR, 2005).

II.3.2.5. Essai CBR

L'indice portant californien CBR est le rapport exprimé en pourcentage de la pression produisant un enfoncement donné au moyen d'un poinçon cylindrique normalisé (de section $19,32 \text{ cm}^2$) se déplaçant à une vitesse déterminé (1,27 mm/min) et de la pression nécessaire pour enfoncer le même poinçon dans les mêmes conditions dans un matériau. La portance CBR a été déterminée sur les concassés de roches et sur les graveleux latéritiques. L'essai a été réalisé par référence à la norme NF P 94-078 (AFNOR, 1997).

II.3.2.6. Essai équivalent de sable au piston

L'essai équivalent de sable s'effectue uniquement sur les échantillons de roche et sur la fraction passant au tamis de 2 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments les plus fins contenus dans cette fraction, en exprimant un rapport conventionnel

volumétrie entre les éléments plus fins. L'équivalent de sable a été déterminé suivant la norme NF EN 933-8 (AFNOR, 1996).

II.3.2.7. Coefficient d'aplatissement

La détermination du coefficient d'aplatissement (CA) est effectuée sur un échantillon de granulats dont les dimensions sont comprises entre 4 et 50 mm. Le coefficient d'aplatissement d'un lot de granulats soumis à l'essai est, par définition, le pourcentage des éléments tels que $G/E > 1,58$. Où G et E sont les dimensions principales de l'élément.

- E (Épaisseur E) est le plus petit écartement d'un couple de plans tangents parallèles ;
- Grosseur G = dimension de la maille carrée minimale à travers laquelle passe l'élément.
- L'essai est réalisé suivant la norme NF EN 933-3 (AFNOR, 1997).

II.2.3.8. Essai Los Angeles

La résistance à la fragmentation par chocs est mesurée sur des éléments d'un échantillon de granulat. L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite en soumettant les matériaux aux chocs de boules normalisés dans la machine Los Angeles. L'essai est réalisé suivant la norme NF EN 1097-2 (AFNOR, 1998).

II.2.3.9. Essai Micro-Deval

L'essai Micro-Deval consiste à mesurer l'usure des granulats produite par frottements réciproque dans un cylindre en rotation. Cette usure est qualifiée par la masse d'éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai NF P 18-572 (AFNOR, 1996).

II.4. Méthode d'exploitation des données géotechniques

II.4.1. Paramètres dérivés et statistiques descriptive

Les paramètres dérivés servent à quantifier l'influence de la plasticité des fines sur la performance de l'ensemble du matériau, qui dépend de la proportion et de la nature de celle-ci (Ndzié Mvindi, 2019). Dans le cadre de ce travail, quatre (04) paramètres dérivés ont été déterminés. Il s'agit du module de classement (G_m), le produit de plasticité (P_p), l'indice de groupe (I_g) et le module de plasticité (P_m). Ces paramètres sont définis par les formules suivantes :

$$G_m = 300 - (\% \leq 2 \text{ mm} + \% < 425 \mu m + \% < 80 \mu m) / 100 \quad (1)$$

$$P_p = I_p \times (\% < 80 \mu m) \quad (2)$$

$$P_m = I_p \times (\% < 425 \mu m) \quad (3)$$

$$I_g = (F - 35)[0,2 + 0,005(LL - 40)] + 0,01[(F - 15)(IP - 10)] \quad (4)$$

Où : F = nombre entier exprimant le pourcentage de passant au tamis de 75 µm, LL = limite de liquidité, Ip = indice de plasticité.

Les données obtenues ont fait l'objet de détermination et de calcul des paramètres de statistique descriptive. Il s'agit des valeurs minimales, maximales, moyennes, de l'écart-type et du coefficient de variation CV.

II.4.2. Comparaison des résultats aux spécifications

L'exploitation des résultats d'analyses géotechniques passe par l'utilisation des abaques spécifiques. Il s'agit de l'abaque de plasticité de Casagrande et, fuseaux granulométriques de spécification pour couche de base et couche de fondation en construction routière. Cette exploitation compare également les résultats obtenus aux spécifications définies par les normes AFNOR et par les documents de référence tels, le guide de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux (CEBTP, 1988), les directives et recommandations des études générales au Cameroun (DEGN, 1988).

II.4.3. Classifications des matériaux

Le système de classification HRB (*Highway Research Board*) et USCS (*Unified Soil Classification System*) présenté en annexe (Annex. 1) ont été utilisés. Ces deux systèmes sont basés sur la granularité et sur les limites de consistance des sols. Ces classifications consistent à regrouper les sols aux caractéristiques semblables.

II.4.4. Dimensionnement des chaussées

Le dimensionnement de la chaussée s'est fait par le logiciel Alizé-LCPC. C'est un logiciel professionnel conçu pour le dimensionnement et l'analyse des structures de chaussée. Il met en œuvre une méthode rationnelle de calcul des valeurs de contraintes admissibles en fonction du trafic et des contextes matériels (LCPC-SETRA, 1994). Le logiciel est considéré comme un outil essentiel pour la conception et la vérification de projets routiers de rénovation la réalisation du dimensionnement de cette structure (LCPC-SETRA, 1994). La chaussée étant constituée de plusieurs couches sujettes à des contraintes liées trafic, il revient de déterminer l'épaisseur de ces couches en relation avec les charges verticales et horizontales appliquées à la structure. Le paramètre d'entre de ces calculs est le module de Young (E) obtenu à partir du CBR suivant la formule ci-dessous :

$$E = k \cdot \text{CBR} \quad (6)$$

k est un facteur dont la valeur varie entre 5 et 10. Dans cette étude, la valeur conservative 5 a été choisie. La plateforme utilisée dans le cadre de ce dimensionnement est de classe Pf₃. Ceci correspond à un module Ev2 de 120 MPa.

CONCLUSION

La méthodologie suivie dans le cadre de ce travail s'est appuyée sur la recherche bibliographique, les travaux de terrain et les travaux en laboratoire. Les travaux de terrain ont été focalisés sur la localisation des points de prélèvement, la description macroscopique des matériaux prélevés au niveau des effleurements rocheux et dans les carrières latéritiques de la zone d'étude. Les travaux en laboratoire ont consisté en une étude pétrographique des matériaux prélevés suivie de la réalisation des essais géotechniques et à la pétrologie des roches. Les résultats obtenus à la suite de toutes ces différentes analyses sont consignés dans le prochain chapitre ont fait l'objet d'une exploitation.

CHAPITRE III. RÉSULTATS

INTRODUCTION

Ce chapitre présente les résultats obtenus à la suite des travaux de terrain et ceux de laboratoire. Il s'agit des données pétrographiques et géotechniques des roches et graveleux latéritiques prélevées sur socle métamorphique.

III.1. LOCALISATION DES POINTS DE PRÉLÈVEMENTS

Dans la zone d'étude, à l'aide d'une carte géologique de la zone, 02 types de matériaux (les roches et latérites) ont été prélevés non loin de la route dans les localités d'Ekole, Obak et cinq carrières de graveleux latéritiques (Ekekam, Mva'a, Okola, Bilono et Obak) sont localisées. Les matériaux latéritiques ont été collectés sur deux types de substratums lithologiques gneiss et micaschistes, et à des positions topographiques variables (Fig, 8).

III.2. CARACTÉRISATION PETROLOGIQUE DES MATERIAUX

III.2.1. Pétrographie des échantillons de roche

III.2.1.1. pétrographie des matériaux d'Ekole

III.2.1.1.1. Description macroscopique

La roche prélevée dans la localité d'Ekole présente un aspect d'ensemble gris sombre à gris (Fig, 9). Elle présente un litage compositionnel, marqué par une alternance de lits clairs (quartzo-feldspathiques) et des lits sombre ferromagnésiens. Les minéraux observables à l'œil nu sont la muscovite, le quartz, le grenat, la biotite et le disthène. La roche affleure sous forme dôme en demi-orange.

III.2.1.1.2. Description microscopique

L'observation microscopique de la lame montre une texture granolépidoblastique hétérogranulaire (Fig, 10). Les minéraux observables sont classifiés en fonction de leur proportion dans la roche sont présentés ci-dessous :

- le quartz (22 %) se présente sous forme de cristaux subautomorphes à xénomorphes. Les grains de quartz ont une taille comprise entre 0,1 mm à 1 mm de grand axe et présentent une extinction roulante ;
- les feldspaths alcalins (20 %) se présentent sous forme des cristaux sub-automorphes de tailles comprises entre 0,3 mm et 0,1 mm de grand axe. Ils présentent par endroit des inclusions de quartz, biotite et muscovite (Fig, 10B)



Figure 9. Aspect macroscopique du micaschiste a grenat et disthène

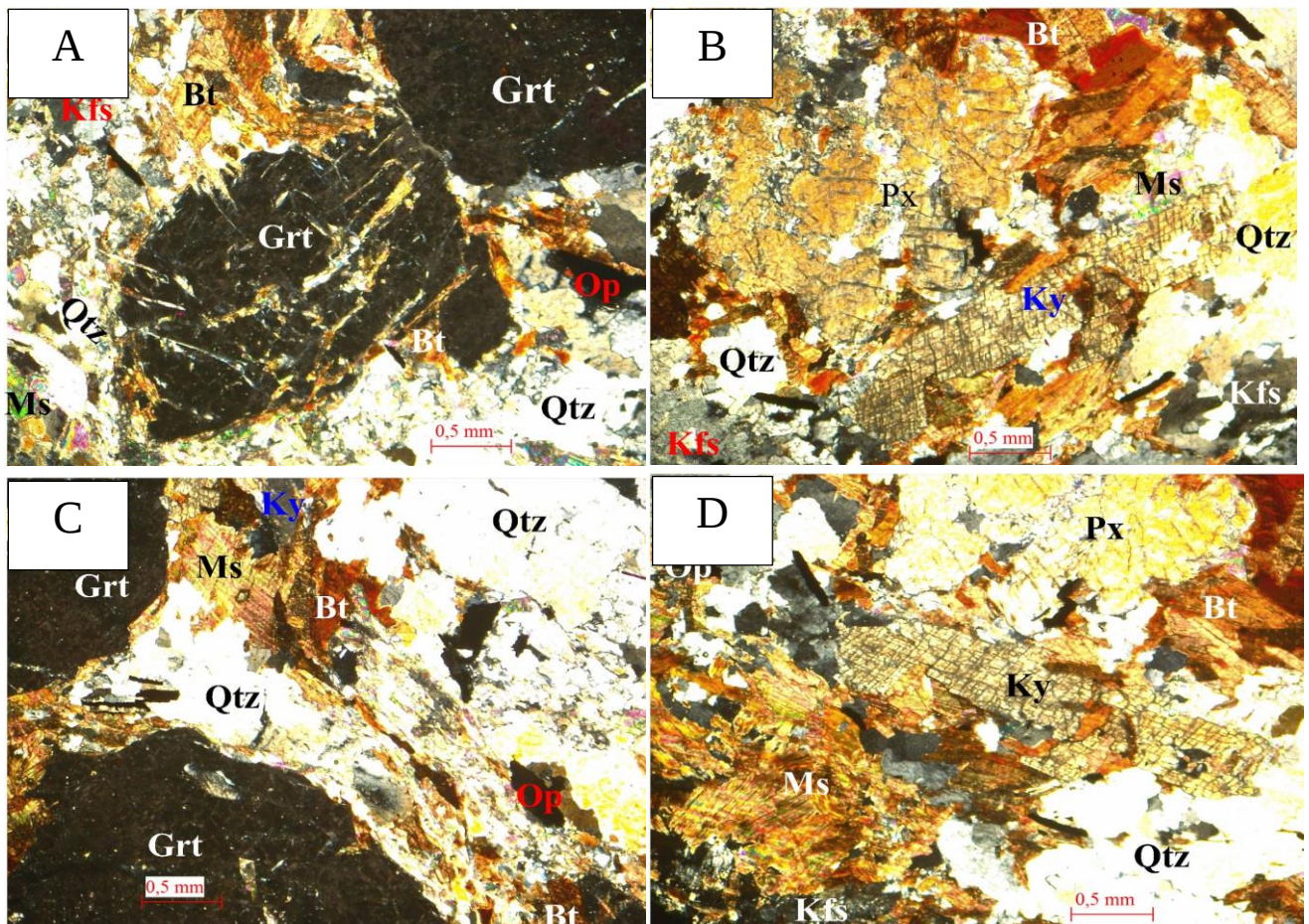


Figure 10. Aspects microscopiques du micaschiste a grenat et disthène

feldspathiques. Ces cristaux sont en association avec les feldspaths alcalins (Fig, 10D), le quartz et la biotite ;

- la biotite (12 %) est sous forme de lamelles sub-automorphes à xenomorphes et tailles variables. Les plus grands cristaux peuvent atteindre 0,5 mm de grand axe tandis que les plus petits ont une taille qui varie de 0,08 mm à 0,2 mm. Elles sont associées au quartz et aux feldspaths alcalins (Fig, 10B) ;
- le grenat (10 %) se présente sous forme de baguettes sub-automorphes en association avec les feldspaths alcalins, le quartz et la biotite ;
- l'amphibole (08 %) se présente sous forme de cristaux de taille millimétrique ;
- le disthène (06 %) se présente sous forme prismatique en association avec le quartz et les micas ;
- les minéraux opaques (06 %) ont des tailles variables, inférieures à 0,2 mm pour les plus petits cristaux et pouvant atteindre 1 mm pour les gros cristaux. On les retrouve en association avec les cristaux de quartz, biotite, grenat et les feldspaths alcalins. Il s'agit des micaschistes à grenat et disthène.

III.2.1.2. pétrographie des matériaux de Obak

III.2.1.2.1. Description macroscopique

La roche prélevée dans la localité de Obak présente un aspect d'ensemble gris à gris sombre (Fig, 11) avec un litage compositionnel, caractéristique des gneiss. Dans cette roche, on peut distinguer à l'œil nu, les minéraux comme le quartz, le grenat, les feldspaths, la biotite et la muscovite.

III.2.1.2.2. Description microscopique

Au microscope, la roche présente une texture granolépidoblastique hétéro-granulaire (Fig, 12). Les minéraux observables sont classés en fonction de leur abondance dans la roche à savoir :

- le quartz (21 %) se présente sous forme de rubans sub-automorphes à xenomorphes de tailles comprises entre 0,2 mm et 1 mm de grand axe. Le quartz est en association avec les feldspaths alcalins, la biotite et le grenat (Fig, 11C) ;
- les feldspaths alcalins (20 %) se présentent sous forme poly-cristallines sub-automorphes à xenomorphes de tailles comprises entre 0,3 mm et 0,5 mm de grand axe. Certains cristaux renferment des inclusions de quartz et de biotite (Fig, 12D). Ils sont en association avec les cristaux de quartz, biotite et de plagioclase (Fig, 12A) ;



Figure 11. Aspects macroscopiques du gneiss a grenat et biotite

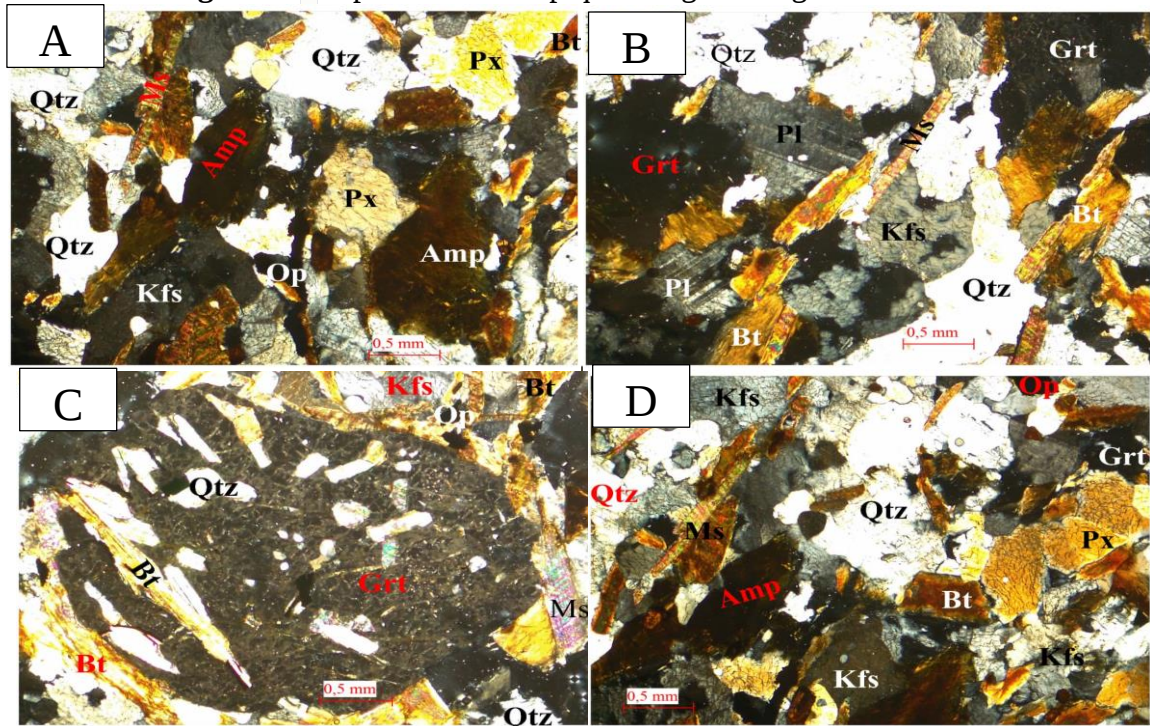


Figure 12. Aspects microscopiques du micaschiste a grenat et disthène

- la biotite (17 %) se présente sous forme de lamelles sub-automorphes à xénomorphes de tailles comprises entre 0,5 mm et 1,1 mm de grand axe. Elle forme des associations avec le quartz, les plagioclases et les feldspaths alcalins. Certains cristaux renferment des inclusions de quartz (Fig, 12D) ;
- la muscovite (13 %) se présente sous forme de lamelles de tailles variables entre 0,4 mm et 1 mm. Elle est en association avec le quartz, la biotite, plagioclases et feldspaths alcalins ;
- les plagioclases (12 %) se présentent sous forme de cristaux xénomorphes, de tailles variant entre 0,2 mm à 0,5 mm pour les petits cristaux et 0,5 mm à 1 mm pour les plus gros cristaux. Ils forment des associations avec le quartz et la biotite (Fig, 12B) ;
- le grenat (10 %) se présente sous forme de cristaux globuleux de tailles comprises entre 0,7 mm et 1,5 mm de grand axe. Certains cristaux renferment des inclusions de quartz, biotite et des minéraux opaques (Fig, 12 B/D)
- les minéraux opaques (06 %) sont des cristaux sombres en LPA et LPNA et proviennent de la déstabilisation de la biotite et sont de tailles inframillimétrique (Fig, 12C). La roche prélevée dans la localité de Obak est un gneiss à grenat et biotite

III.2.2. Pétrographie des matériaux latéritiques

III.2.2.1. Pétrographie des graveaux latéritiques sur micaschistes

Les graveaux latéritiques dérivés sur micaschistes ont été prélevés dans les localités de Ekekam et Mva'a. Les points de prélèvement sont des carrières de graveaux latéritiques en cours d'exploitation.

Le front de taille observé dans la carrière de Ekekam est épais de 02 m avec une couleur d'ensemble brunâtre. Le profil mis à découvert permet de distinguer deux niveaux : un niveau nodulaire (1,6 m) surmonté d'un niveau argileux meuble superficiel (0,1 m). Le niveau nodulaire est constitué de nodule arrondi à subarrondi millimétriques à centimétriques (65 à 70 %) et de fragments de quartz millimétriques à centimétriques (3 à 5 %) emballés dans une matrice argilo-sableuse (25 à 30 %) de couleur rougeâtre (10YR 6/6). La limite entre les deux niveaux est nette et ondulée.

Dans la carrière de la localité de Mva'a, le profil d'observation est de couleur rougeâtre et épais de 05 m (Fig. 13). Deux niveaux distincts sont observables à savoir un niveau nodulaire (3,7 m) et le niveau argileux meuble superficiel (1 m). Le niveau nodulaire est constitué de nodules (70 à 80 %) et des fragments de quartz (5 à 10 %) de taille millimétrique à pluri-

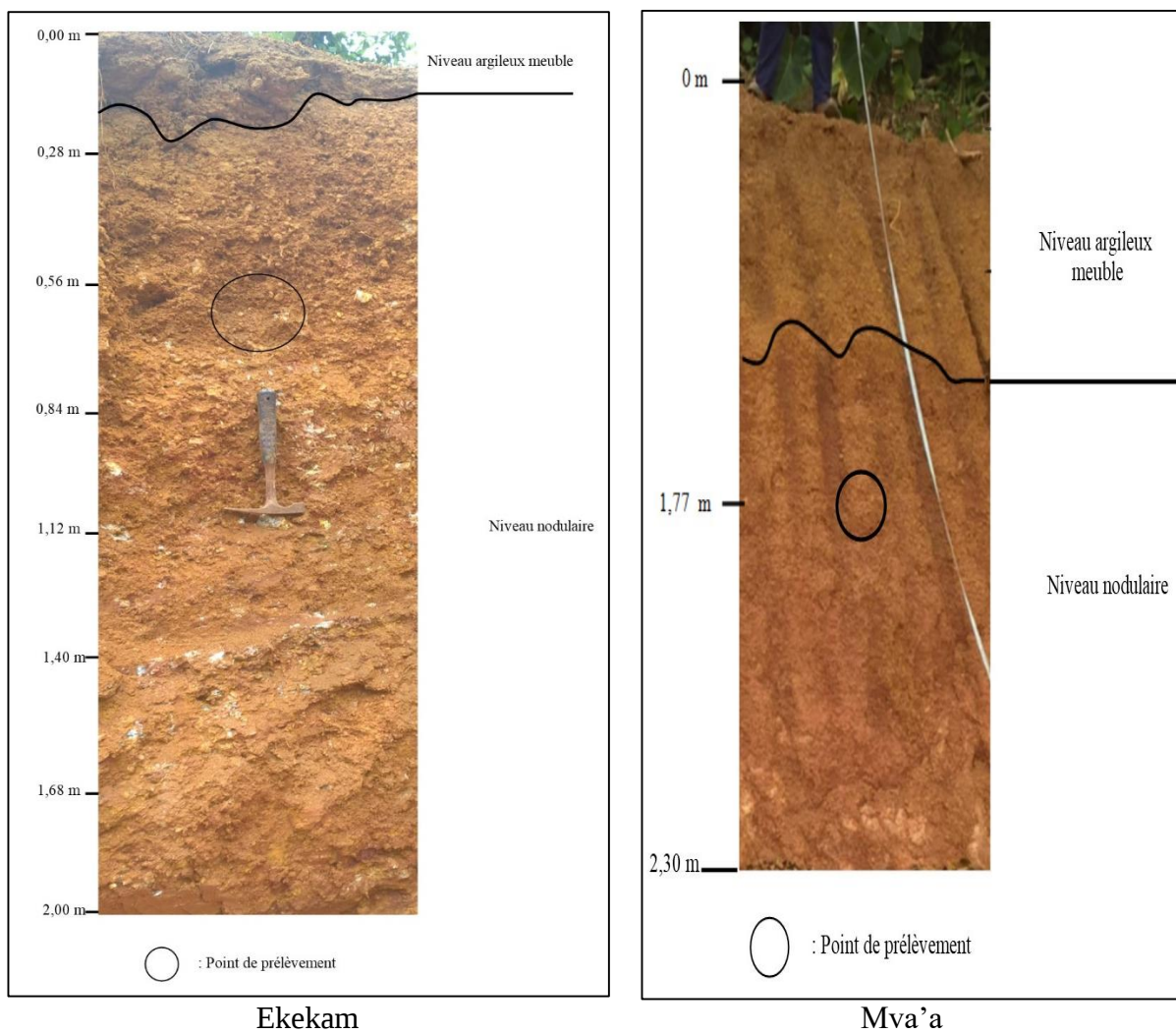


Figure 13. Profils latéritiques des matériaux dérivés des micaschistes

millimétrique emballés dans une matrice limono-sableuse rougeâtre (2,5YR 4/6), (15 à 20 %). La limite entre les deux niveaux est nette et ondulée.

III.2.2.2. Pétrographie des graveleux latéritiques sur gneiss

Les graveleux latéritiques dérivés sur gneiss dans cette étude proviennent des localités de Okola, Bilonon et Obak.

Le front de taille observé dans la localité d'Okola est épais 5,3 m (Fig 14) et présente une couleur rougeâtre. Le profil observable montre un niveau nodulaire surmonté d'un niveau argileux superficiel. Le niveau nodulaire épais de 05 m est constitué de nodules ferrugineux, de fragments de quartz et de blocs de cuirasse. Les nodules ferrugineux (45 à 50 %) sont de taille millimétrique à centimétrique et de forme arrondies à subarrondies. Les fragments de quartz millimétriques à centimétriques représentent 5 à 10 %. Les blocs de cuirasse occupent un volume variant entre 10 et 15 %. Tous ces éléments sont emballés dans une matrice argilo – sableuse (20 à 25 %) de couleur rougeâtre (2,5 YRX 5/6). La limite entre le niveau nodulaire et le niveau argileux meuble est nette et ondulée (Fig, 14).

La carrière Bilonon présente un profil observable épais de 2 m (Fig. 14). La couleur d'ensemble est rougeâtre. Deux niveaux sont observables, un niveau nodulaire surmonté d'un niveau argileux meuble superficiel. Le niveau nodulaire épais de 1,4 m est constitué d'une matrice argilo-sableuse (20 à 30 %) rougeâtre (2,5 YRX 3/6) emballant deux types d'éléments grossiers à savoir les nodules ferrugineux et les fragments de quartz. Les nodules ferrugineux (45 à 50 %) sont de taille millimétrique à centimétrique et de forme arrondi à subarrondi. Les fragments de quartz (10 à 15 %) sont de taille millimétrique à centimétrique. La limite entre les deux niveaux est nette et ondulée. Le niveau argileux superficiel est peu épais de 0,6 m.

Le profil observable dans la carrière d'Obak présente une couleur d'ensemble rougeâtre. Il présente une épaisseur visible de 1,7 m (Fig. 14). Deux niveaux sont observables, un niveau nodulaire à la base et un niveau argileux meuble au sommet. Le niveau nodulaire épais de 1,6 m est constitué de fragments de quartz (20 à 25 %) et de nodules de forme arrondis à subarrondis (45 à 50 %) de taille millimétrique à plurimillimétrique. Ces éléments sont emballés dans une matrice argilo-sableuse rougeâtre (10 RX 4/7). Le niveau argileux est épais de 0,4 m. Sa limite avec le niveau nodulaire est nette et ondulée (Fig. 14).

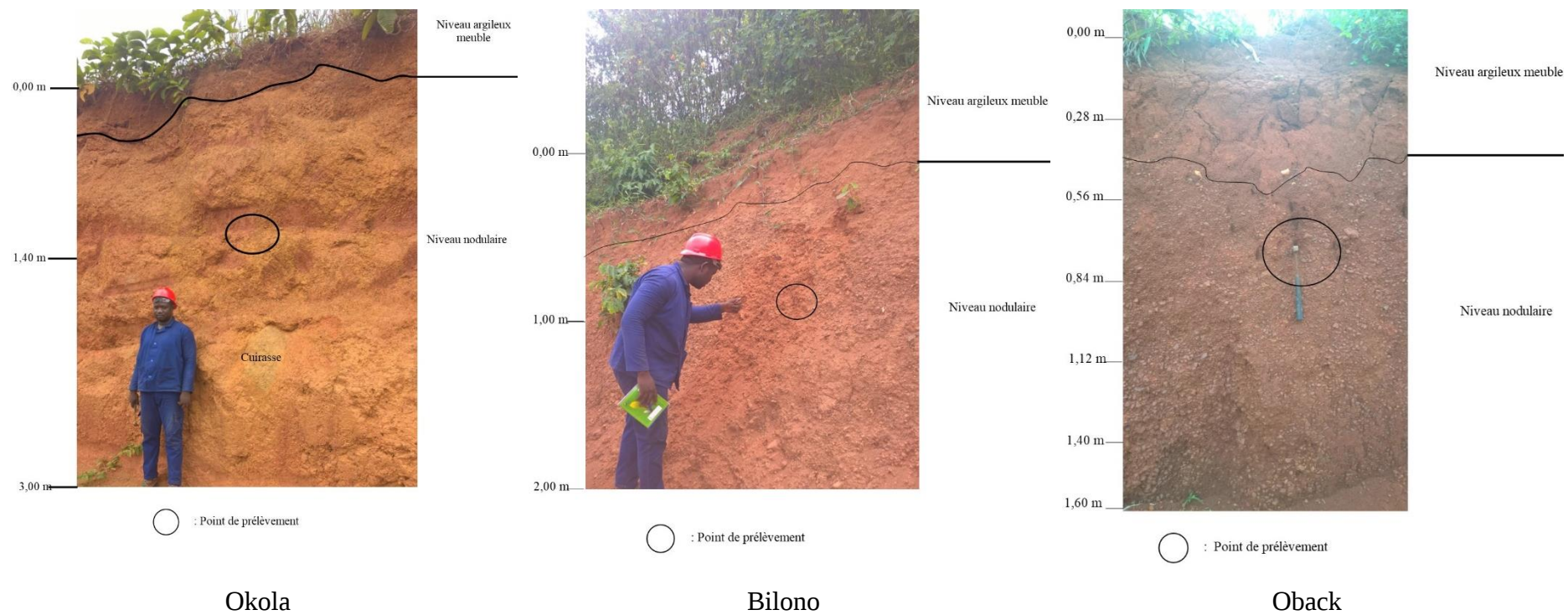


Figure 14. Profils latéritiques des matériaux développés sur gneiss

III.3. CARACTÉRISATION GÉOTECHNIQUES DES MATÉRIAUX.

III.3.1. Caractérisation géotechnique des granulats rocheux

Les paramètres géotechniques étudiés sont la granularité, l'équivalent de sable, la masse volumique sèche, le Proctor modifié, le CBR, le Micro-Deval et le Los Angeles.

III.3.1.1. Paramètres granulométriques

La granulométrie des matériaux rocheux a été déterminée sur des concassés de classe 0/31,5. Les résultats obtenus sont rendus sous forme de courbe granulométrique (Fig. 15). L'exploitation de cette courbe montre que les matériaux étudiés sont constitués de 4,4 % de fines, 11 % de cailloux, 66 % de graviers et 20 % de sables.

III.3.1.2. Poids volumique des grains solides et équivalent de sable

La valeur du poids volumique des grains solides des concassés est de 3,042. La valeur de l'équivalent de sable des matériaux étudiés est de 58,4 %.

III.3.1.3. Paramètres de compactage

La valeur de densité sèche maximale (DSM) des concassés de roches étudiés est de 2,401 pour une valeur de teneur en eau à l'optimum Proctor (TE-OPM) de 6,3 %. La valeur de portance CBR obtenue à 95 % de l'optimum Proctor est de 180 %.

III.3.1.4. Paramètres mécaniques

Les valeurs de Micro-Deval et Los Angeles sont respectivement de 19 % et 33 %. Les valeurs de MDE sont de 20, 18,2 et 16,2 % respectivement pour les classes granulaires 4/6,3, 6,3/10 et 10/14. Les valeurs de Los Angeles correspondantes sont de 32,2, 31,0 et 24,3 %.

III.3.2. Caractéristiques géotechniques des graveleux latéritiques

III.3.2.1. Poids volumique des grains solides

Les matériaux développés sur gneiss présentent des valeurs de poids volumique des grains solides variant entre 2,50 et 2,89 gf/cm³ pour une valeur moyenne de 2,75 gf/cm³ (Tab.7). Pour les matériaux dérivés des micaschistes, la valeur moyenne de ce paramètre est de 2,73 gf/cm³ pour des valeurs comprises entre 2,60 et 2,89 gf/cm³ (Tab.7).

III.3.2.2. Granularité

Les courbes granulométriques des graveleux latéritiques étudiés sont présentées par les figures 16 et 17. L'exploitation de ces courbes montre que les graveleux latéritiques prélevés sur micaschistes présentent 55,60 à 72,80 % de squelette, 21,35 à 30,50 % de teneur mortier et, 17,80 à 22,60 % de teneur en fines. Les valeurs moyennes de ces paramètres sont de 64,36 %, 21,35 % et 20,15 % respectivement.

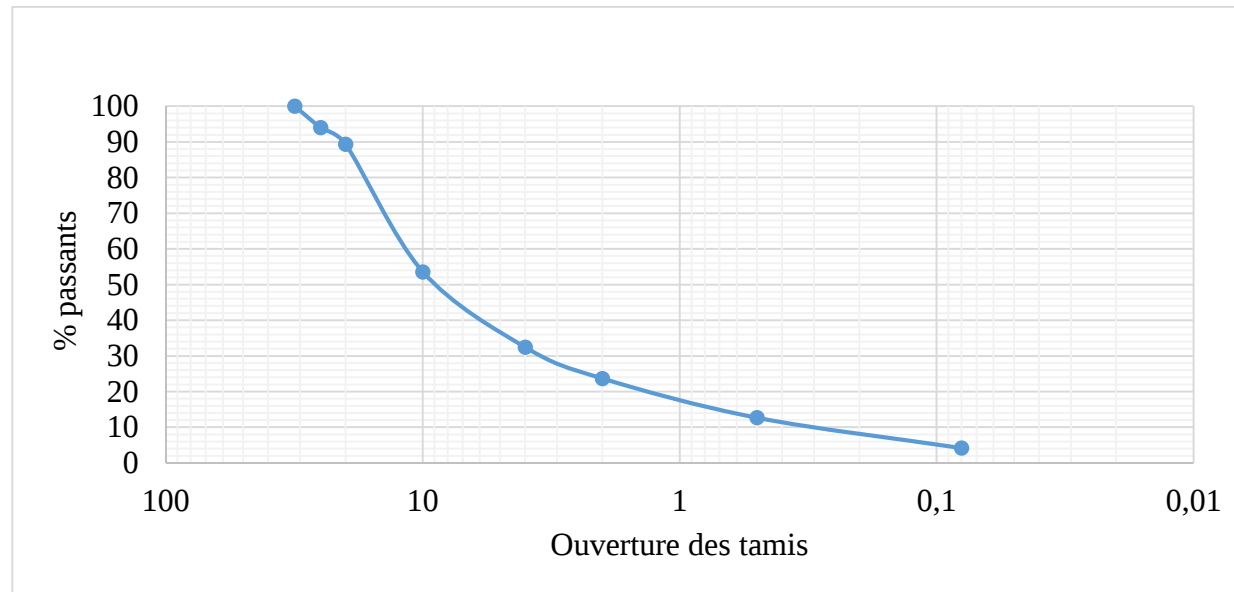


Figure 15 Courbe granulométrique des concassés de gneiss de la zone d'Okola

Tableau 7. Données récapitulatives des valeurs de poids volumique des grains solides des graveleux latéritiques de la zone d'Okola

Matériaux sur gneiss	Codes	BIL1	BIL2	BIL3	BIL4	OBA1	OBA2	OBA3	OBA4	OKO1	OKO2	OKO3	Min	Moy	Max
	γ_s (gf/cm ³)	2,89	2,71	2,87	2,89	2,74	2,84	2,87	2,75	2,50	2,64	2,59	2,50	2,75	2,89
Matériaux sur micaschistes	Codes	EKE1	EKE2	EKE3	EKE4	MVA1	MVA2	MVA3	MVA4	-	-	-	Min	Moy	Max
	γ_s (gf/cm ³)	2,84	2,79	2,78	2,89	2,66	2,62	2,67	2,60	-	-	-	2,60	2,73	2,89

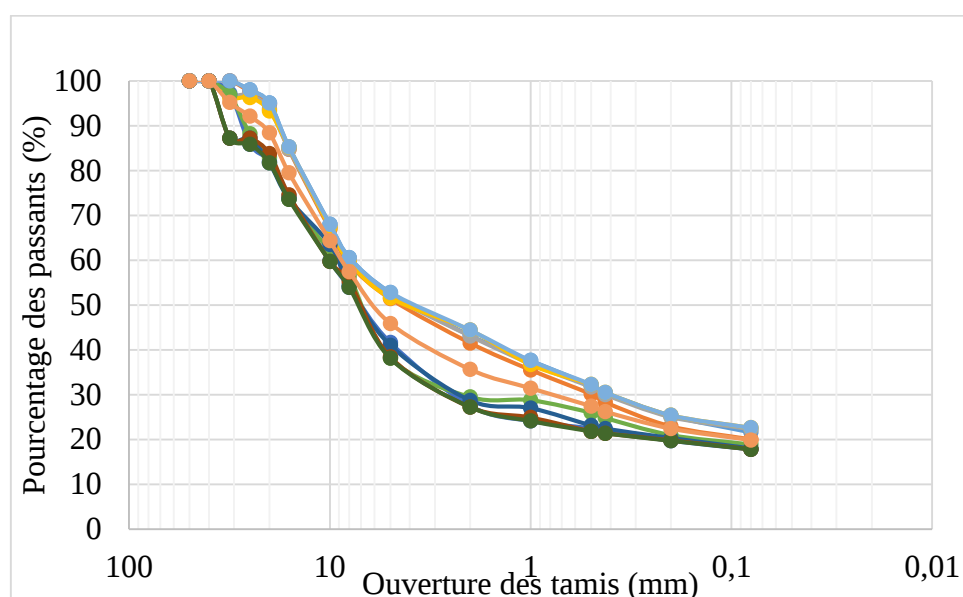


Figure 16. Courbes granulométriques des graveleux latéritiques dérivés des micaschistes

Tableau 8. Valeurs des paramètres granulométriques des graveleux latéritiques sur micaschistes de la zone d'étude

Paramètres	Cailloux (%)	Graviers (%)	Squelette (> 2 mm), %	Mortier (<0,425 mm), %	Fines (< 0,08 mm), %
EKE1	4,90	51,90	56,80	30,41	21,60
EKE2	5,20	53,30	58,50	28,27	20,00
EKE3	6,30	50,60	56,90	30,00	22,30
EKE4	6,70	48,90	55,60	30,50	22,60
MVA1	17,90	54,60	72,50	21,90	17,80
MVA2	17,1	53,40	70,50	24,83	18,90
MVA3	18,30	53,00	71,30	22,40	18,00
MVA4	16,20	56,60	72,80	21,35	17,80
Max.	18,30	56,60	72,80	30,50	22,60
Min.	4,90	48,90	55,60	21,35	17,80
Moy.	11,56	52,79	64,363	26,21	19,86

26,21 % et 17,80 % respectivement. Ces matériaux sont constitués en moyenne de 11,58 % de cailloux et 52,79 % de graviers.

Les matériaux dérivés des gneiss présentent des teneurs en squelette comprises 49,70 et 69,70 % pour une valeur moyenne de 61,88 %. Le mortier présente une teneur moyenne de 29,78 pour des valeurs variant entre 23,40 et 39,15. Les teneurs en fines de ces matériaux sont comprises entre 20,30 et 32,50 % pour une valeur moyenne de 24,59 %. Les teneurs moyennes en cailloux et graviers de ces matériaux sont de 7,85 % et 54,04 % respectivement.

III.3.2.3. Paramètre de plasticité des graveleux latéritiques

Les valeurs de limite de liquidité (LL) des graveleux latéritiques dérivés des micaschistes sont comprises entre 52 % et 58 %. Les valeurs moyennes de l'indice de plasticité (IP) de ces matériaux sont comprises entre 25 % et 29 %. Les valeurs moyennes de ces paramètres sont de 55 % et 27 % respectivement.

Les valeurs moyennes de LL et IP des matériaux développés sur gneiss sont de 55 % et 25 % respectivement. Les valeurs de ces paramètres varient entre 50 et 60 % pour LL et, entre 21 et 30 % pour IP.

III.3.2.4. Paramètre dérivés

Les graveleux latéritiques dérivés des gneiss présentent des valeurs de Gm variant entre 1,78 et 2,26 pour une valeur moyenne de 2,08. Les valeurs de Pp sont comprises entre 463 et 852 tandis que celles de Pm varient entre 531 et 1029. Les valeurs moyennes respectives sont de 617 et 746.

Pour les matériaux dérivés des micaschistes, les valeurs moyennes de Gm, Pp et Pm sont de 2,18, 531 et 701 respectivement. Les valeurs de ces paramètres varient entre 2,03 et 2,34 pour Gm, 447 et 620 pour Pp et entre 550 et 834 pour Pm.

III.3.2.5. Paramètres de compactage des graveleux latéritiques

Les paramètres de compactage des matériaux latéritiques étudiés sont présentés dans le tableau 11. Les matériaux prélevés sur micaschistes présentent des valeurs de densité sèche maximale (DSM) à l'optimum Proctor Modifié comprises en moyenne de 2,00 et 2,18 pour une valeur moyenne de 2,07. Les valeurs de teneur en eau à l'optimum Proctor modifié (TE-OPM) correspondantes varient entre 6,5 et 14,20 % pour une valeur moyenne de 10,80 %. La valeur moyenne de portance CBR est de 45 % pour des valeurs comprises entre 35 et 53 % avant un gonflement linéaire présentant une valeur moyenne de 0,18 %.

Les graveleux latéritiques prélevés sur gneiss présentent des valeurs de DSM variant entre 1,93 et 2,14 pour une valeur moyenne de 2,05. La valeur moyenne de TE-OPM est de 10,95 % pour des valeurs comprises entre 9,10 et 14,10 %. La valeur moyenne de la portance CBR est de 43 % pour des valeurs variant entre 31 et 70 %. Le gonflement libre mesuré sur des éprouvettes CBR de ces matériaux présente une valeur moyenne 0,21 %.

III.3. Classification HRB

Cette classification indique que les graveleux latéritiques de la zone d'étude sont de classes A-2-7, ces matériaux sont des graviers et sable argileux et l'estimation comme sous-sol de chaussée d'après la classification est passable.

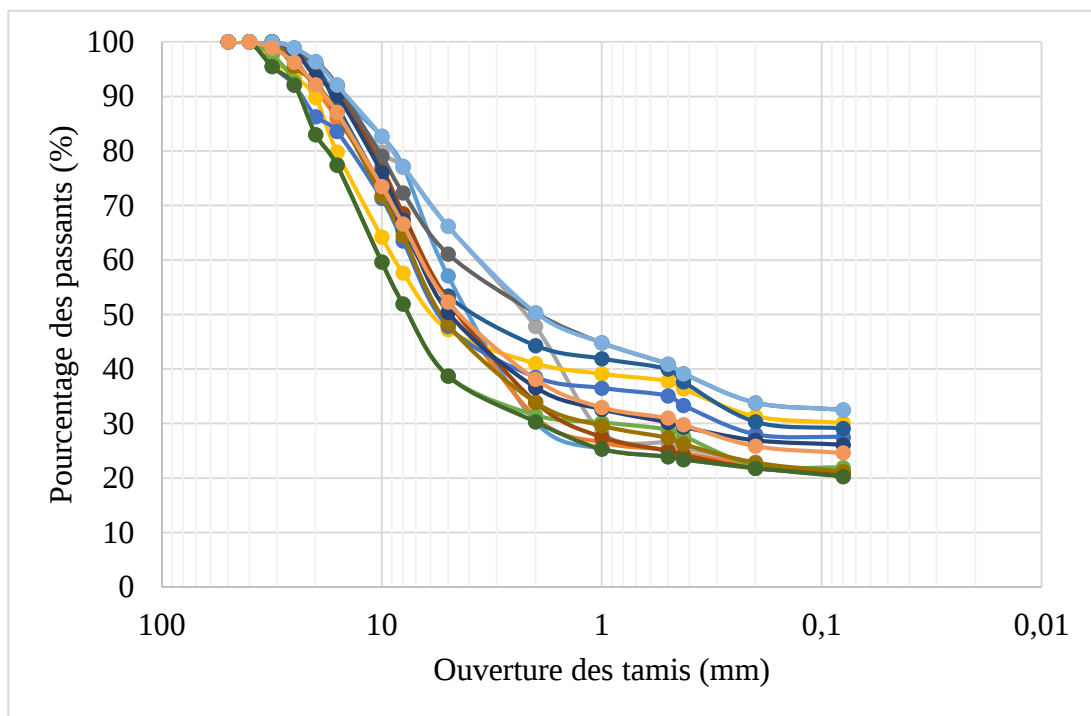


Figure 17. Courbes granulométriques des graveleux latéritiques développés sur gneiss

Tableau 9. Valeurs des paramètres granulométriques des matériaux développés sur gneiss dans la zone d'étude

Paramètres	Cailloux (%)	Graviers (%)	Squelette (> 2 mm), %	Mortier (<0,425 mm), %	Fines (< 0,08 mm), %
BIL1	10,20	48,80	59,00	36,35	30,10
BIL2	13,70	47,80	61,50	33,32	27,50
BIL3	17,00	51,50	68,50	27,70	21,90
BIL4	4,10	51,60	55,70	37,66	29,10
OBA1	3,90	62,20	66,10	24,22	20,90
OBA2	3,60	46,10	49,70	39,15	32,50
OBA3	7,60	58,50	66,10	26,25	21,20
OBA4	6,50	56,90	63,40	29,35	26,10
OKO1	4,80	64,90	69,70	23,40	20,40
OKO2	8,60	60,20	68,80	24,60	20,30
OKO3	6,30	45,90	52,20	25,60	20,50
Max	17,00	64,90	69,70	39,15	32,50
Min	3,60	45,90	49,70	23,40	20,30
Moy	7,85	54,04	61,88	29,78	24,59

Tableau 10. Valeurs des paramètres de plasticité et paramètres dérivés des graveleux latéritiques de la zone d'étude

Substratum	Codes	LL (%)	IP (%)	Gm	Pp	Pm
Gneiss	BIL1	60	28	1,93	852	1029
	BIL2	57	27	2,01	745	903
	BIL3	55	23	2,19	502	634
	BIL4	54	21	1,89	599	776
	OBA1	54	22	2,21	464	538
	OBA2	56	26	1,78	829	998
	OBA3	55	25	2,19	524	648
	OBA4	58	27	2,08	710	798
	OKO1	51	23	2,26	463	531
	OKO2	51	30	2,24	611	740
	OKO3	50	24	2,06	492	614
	Max	60	30	2,26	852	1029
	Min	50	21	1,78	463	531
	Moy	55	25	2,08	617	746
Micaschistes	EKE1	57	27	2,05	583	821
	EKE2	58	29	2,10	582	823
	EKE3	57	28	2,05	620	834
	EKE4	55	25	2,03	556	750
	MVA1	54	25	2,33	447	550
	MVA2	56	28	2,27	520	683
	MVA3	54	26	2,31	473	589
	MVA4	52	26	2,34	468	562
	Max	58	29	2,34	620	834
	Min	52	25	2,03	447	550
	Moy	55	27	2,18	531	701

III.4. DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE

III.4.1. Paramètres d'entrée

Les paramètres d'entrée dans le dimensionnement d'une structure de chaussée sont le trafic, la structure de la chaussée obtenue après pré-dimensionnement avec les caractéristiques des couches qui la constitue. Le pré-dimensionnement a été obtenu en utilisant une plateforme de classe S4. Les classes de trafics considérés sont T3 pour la route principale et T2 pour les axes secondaires. Les données issues de ce pré-dimensionnement sont présentées dans les tableaux 12 et 13. Le pré-dimensionnement réalisé utilise en plateforme et couche de fondation les graveleux latéritiques et, les concassés de roches (grave non traitée ou grave naturelle) en couche de base quel que soit le trafic. Le revêtement préconisé est un béton bitumineux pour T3 et un enrobé dense pour T2.

III.4.2. Vérification de la structure optimale

La vérification de la structure optimale par calcul des valeurs de contraintes admissibles avec le logiciel Alizée – LCPC s'est faite en utilisant pour le trafic T3, une moyenne journalière annuelle de 510, une durée de service de 15 ans et un taux d'accroissement arithmétique de 4%. Pour le trafic T2, la moyenne journalière annuelle est de 200 avec une durée de service de 20 ans et un taux d'accroissement arithmétique de 4%. Les vérifications ont été faites en utilisant pour la couche de fondation, les valeurs CBR minimale (30) et moyenne (40 %). La visualisation des paramètres obtenus après calculs est rendue par la figures 18.

Tableau 11. Valeurs des paramètres de compactage des graveleux latéritiques de la zone d'étude

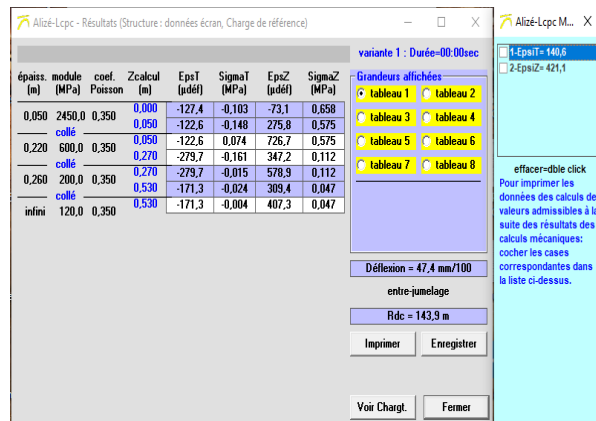
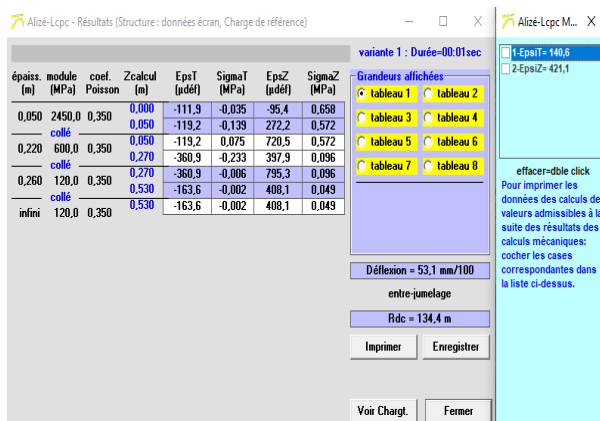
Substratum	Codes	DSM	TE-OPM	CBR 95%	GL
Gneiss	BIL1	2,00	13,00	31	0,47
	BIL2	2,08	12,50	40	0,32
	BIL3	2,11	9,80	38	0,24
	BIL4	2,11	11,00	41	0,27
	OBA1	2,14	9,60	47	0,08
	OBA2	2,01	14,10	32	0,22
	OBA3	2,03	11,00	70	0,13
	OBA4	2,14	9,20	44	0,13
	OKO1	1,99	9,10	41	0,17
	OKO2	2,01	11,00	43	0,16
	OKO3	1,93	10,10	42	0,15
	Max	2,14	14,10	70	0,47
	Min	1,93	9,10	31	0,08
	Moy	2,05	10,95	43	0,21
Micaschistes	EKE1	2,01	14,20	52	0,17
	EKE2	2,03	13,00	53	0,2
	EKE3	2,05	12,00	53	0,2
	EKE4	2,10	12,40	50	0,17
	MVA1	2,18	6,50	41	0,17
	MVA2	2,08	9,10	35	0,15
	MVA3	2,00	10,60	36	0,19
	MVA4	2,07	8,60	39	0,19
	Max	2,18	14,20	53	0,2
	Min	2,00	6,50	35	0,15
	Moy	2,07	10,80	45	0,18

Tableau. 12. Données récapitulatives de pré-dimensionnement pour le trafic T3

	Epaisseur (m)	Module de Young (MPa)	Type de matériaux
couche de roulement	0,05	2450	BB (Béton bitumineux)
couche de base	0,20	600	Gnt (Grave non traité)
couche de fondation	0,20	200	Gl (Grave latéritique)
plate-forme	∞	120	Gl (Grave latéritique)

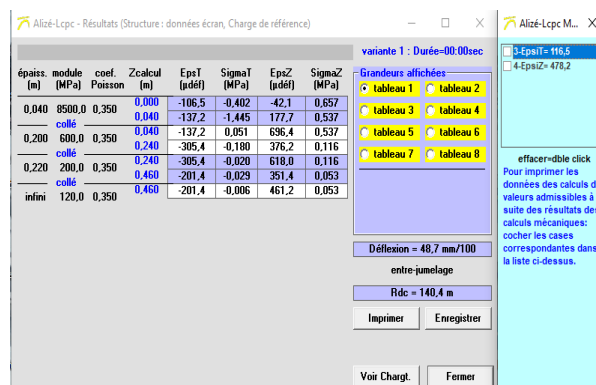
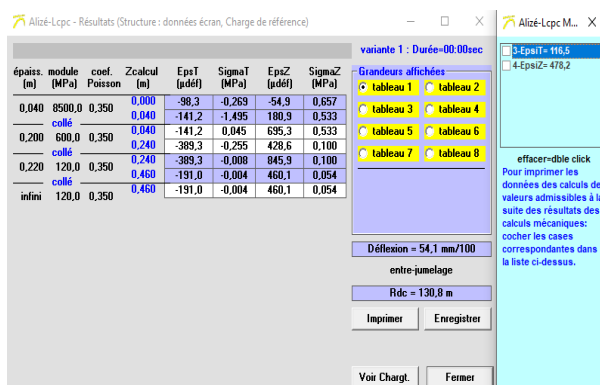
Tableau. 13. Données récapitulatives de pré-dimensionnement pour un trafic T2

Couches de chaussées	E (m)	Module (Mpa)	Type de matériaux
Revêtement	0,04	8500	Enrobé dense
couche de base	0,15	600	Gnt (Grave naturelle)
couche de fondation	0,20	200	Gl (Grave latéritique)
plate-forme	∞	120	Gl (Grave latéritique)



T3 – valeur minimale CBR

T3 – valeur moyenne CBR



T2 – valeur minimale CBR

T2 – valeur moyenne CBR

Figure 18. Vérification des contraintes en valeur moyenne sur les couches de la structure optimale pour trafic T3 et T2

Pour la vérification des déformations, les couches sont considérées comme collées. Pour le trafic T3, les valeurs des déformations admissibles sont 140,6 MPa pour la couche de roulement et de 421,1 MPa pour les couches inférieures (Tabs.14). Les vérifications pour ce trafic en considérant la valeur CBR maximale des matériaux étudiés donnent 122,1 MPa pour la couche de roulement et de 407,3 MPa pour les couches inférieures. En vérifiant la structure de chaussée à partir de la valeur CBR minimale, les déformations calculées sont de 111,9 MPa pour la couche de roulement et de 408,1 MPa pour les couches inférieures (Tabs.15). Les valeurs de déflexions maximales obtenues sont de 47,4 mm/100 et 53,1 mm/100 respectivement pour les vérifications faites avec les valeurs CBR moyenne et minimale.

Concernant les vérification des déformations faites pour le trafic T2, les valeurs des déformations admissibles sont 116,5 MPa pour la couche de roulement et de 478,2 MPa pour les couches inférieures. Les vérifications pour ce trafic en considérant la valeur CBR moyenne des matériaux étudiés donnent 103,5 MPa pour la couche de roulement et de 461,2 MPa pour les couches inférieures. En vérifiant la structure de chaussée à partir de la valeur CBR minimale, les déformations calculées sont de 98,3 MPa pour la couche de roulement et de 460,1 MPa pour les couches inférieures. Les valeurs de déflexions maximales obtenues sont de 53,7 mm/100 et 54,1 mm/100 respectivement pour les vérifications faites avec les valeurs CBR maximale et minimale (Tabs.16 et 17).

Tableau. 14. Comparaison des déformations calculées aux déformations admissibles pour T3 en valeur moyenne de CBR

Type de matériaux pour chaque couche	Valeurs admissibles (MPa)	Valeurs calculées (MPa)	Deflexion maximale
Couche de roulement en BB	140,6	127,4	47,4 mm/100
Couche de base en Gnt	421,1	407,3	
Couche de forme en Gl	421,1	407,3	
Plate-forme en Gl	421,1	407,3	

Tableau. 15. Comparaison des déformations calculées aux déformations admissibles pour T3 en valeur minimale de CBR

Type de matériaux pour chaque couche	Valeurs admissibles (MPa)	Valeurs calculées (MPa)	Deflexion maximale
Couche de roulement en BB	140,6	111,9	53,1 mm/100
Couche de base en Gnt	421,1	408,1	
Couche de forme en Gl	421,1	408,1	
Plate-forme en Gl	421,1	408,1	

Tableau. 16. Comparaison des déformations calculées aux déformations admissibles pour T2 en valeur moyenne de CBR

Type de matériaux pour chaque couche	Valeur admissibles	Valeurs calculés	Deflexion maximale
Revêtement enrobé superficiel	116,5	106,5	48,7 mm/100
Couche de base en Gnt	478,2	461,2	
Couche de forme en Gl	478,2	461,2	
Plate-forme en Gl	478,2	461,2	

Tableau. 17. Comparaison des déformations calculées aux déformations admissibles pour T2 en valeur minimale de CBR

Type de matériaux pour chaque couche	Valeur admissibles	Valeurs calculées	Deflexion maximale
Revêtement enrobé superficiel	116,5	98,3	54,1 mm/100
Couche de base en Gnt	478,2	460,1	
Couche de forme en Gl	478,2	460,1	
Plate-forme en Gl	478,2	460,1	

CONCLUSION

Deux types d'affleurements rocheux ont été identifiés dans la zone d'étude. Il s'agit des gneiss à grenat et à biotite et des micaschistes à grenat et disthène. Les essais géotechniques réalisés sur les concassés de gneiss étudiés montrent que ces derniers présentent une valeur de poids volumique des grains solides de $3,042 \text{ gf/cm}^3$ pour un équivalent de sable de 58,4 % et une teneur en fines 4 %. Le compactage de ces matériaux permet d'obtenir une densité moyenne de 2,401 et une portance CBR de 180 %. Les essais mécaniques par contre montrent des valeurs de Los Angeles et de Micro Deval à l'eau de 33 % et 19 % respectivement.

Les profils d'altération développés sur ces formations rocheuses présentent une couleur d'ensemble rougeâtre avec des niveaux nodulaires constitués de trois types d'éléments granulaires emballés par une matrice argileuse. Les matériaux constituant ces niveaux nodulaires présentent des valeurs de poids volumique des grains solides moyennes variant entre $2,73$ et $2,74 \text{ gf/cm}^3$, des valeurs de Gm supérieures à 2,00 et des valeurs de teneurs en fines moyennes comprises entre 20 et 25 %. Les paramètres de plasticité présentent des valeurs de LL de 55 % pour des valeurs de IP de 27 % et 25 % respectivement pour les graveleux latéritiques dérivés des micaschistes et ceux développés sur gneiss. Ces matériaux présentent des valeurs moyennes de densité sèches maximales supérieures à 2,00 pour des valeurs moyennes CBR de 45 % et 43 % respectivement pour les graveleux latéritiques dérivés des micaschistes et ceux développés sur gneiss.

La vérification des structures proposées par le CEBTP avec le logiciel Alizé-LCPC a permis d'obtenir des structures optimales pour les trafics T2 et T3. La structure de trafic T3 est constituée du haut vers le bas d'une couche de roulement en béton bitumineux (BB) d'épaisseur 0,05 m, une couche de base en concassés (Gnt) épaisse de 0,22 m et une couche de fondation en graveleux latéritiques (GL) d'épaisseur 0,26 m. Pour ce trafic, les valeurs de déflexions maximales varient de 53,1 mm/100 à 47,4 mm/100. Les contraintes admissibles transversales et verticales pour la classe de trafic T3 sont respectivement de 140,6 Mpa et 421,1 Mpa celles obtenus après calculs en valeur minimale de CBR sont de 111,9 Mpa et 408,1 Mpa. Pour la classe de trafic T2, la structure proposée nécessite une couche de roulement en enrobé dense épaisse de 0,04 m, une couche de base en Gnt de 0,20 m d'épaisseur et une couche de fondation en Gl ayant une épaisseur de 0,22 m. Les déflexions sur la couche de roulement varient de 54,1mm/100 à 47,4 mm/100. Les valeurs de déformations admissibles sont respectivement de 116,5 Mpa et 478,2 Mpa tandis que ceux calculées sont de 98,3 Mpa et 460 Mpa.

CHAPITRE IV. INTERPRÉTATION ET ESSAI DE DISCUSSION

INTRODUCTION

Le présent chapitre discute les principaux faits d'observation et d'analyse en laboratoire. Les données géologiques et géotechniques sont associées, afin de permettre l'utilisation judicieuse des graveleux latéritiques des gneiss et micaschistes de la zone d'étude en construction routière.

IV.1. Pétrographie des matériaux

Les roches observées dans la zone d'étude sont de couleur grise. Leur aspect macroscopique est similaire à ceux des gneiss à grenat et biotite de Nkonkadak (Ngo Mandeng, 2017) et des gneiss à grenat et disthène de Nkolnyada dans la zone d'Okola (Bekon Ndong, 2012). Du point de vue microscopique, la composition minéralogique des gneiss étudiés est presque similaire à celles des matériaux gneissiques de Nkonkadak et de Nkolnyada (Bekon Ndong, 2012 ; Ngo Mandeng, 2017). Des observations faites sur le terrain, les niveaux nodulaires développées sur gneiss sont plus épais que ceux développés sur micaschistes. Les latérites développées sur micaschiste présentent des teneurs élevées en fragments de quartz et nodules. Les blocs de cuirasse sont plus présents dans les niveaux médians sur gneiss comparés à ceux développés sur micaschistes. Ces observations sont proches de celles sur matériaux graveleux développés sur socle métamorphique de la région du Centre (Ndzié Mvindi, 2019).

IV.2. VARIATION DES PARAMÈTRES GÉOTECHNIQUES

IV.2.1. Paramètres géotechniques des matériaux rocheux

Les gneiss de la zone d'étude présentent une valeur de poids volumique des grains solides ($3,042 \text{ gf/cm}^3$) supérieure à celles des gneiss de Nkolyada ($2,82 \text{ gf/cm}^3$) (Bekon Ndong, 2012) et sur les gneiss de la zone d'Obala ($2,83 \text{ gf/cm}^3$) (Ndzié Mvindi, 2019). Cette valeur est similaire à celle obtenue sur les gneiss de Yaoundé $3,00 \text{ gf/cm}^3$ (Ndzié Mvindi et al., 2024). Les gneiss étudiés sont donc plus denses que ceux des zones de Nkolyada et d'Obala. Les valeurs de LA des matériaux étudiés diminuent avec l'augmentation de la taille de éléments (Fig.19). Les valeurs obtenues sur la classe 4/6,3 sont similaires à celles obtenues sur la même classe et le même type de matériaux à Obala (Ndzié Mvindi, 2019). Les valeurs obtenues sur les classes 6,3/10 et 10/14 sont inférieures à celles obtenues sur la même classe dans le zone de Nkolyada par Okola (Bekon Ndong, 2012). Les gneiss étudiés dans ces travaux sont plus résistants aux chocs que les gneiss de Nkolnyada. Les valeurs de MDE des matériaux étudiés diminuent également avec l'augmentation de la taille de éléments. Les valeurs obtenues sur la classe 6,3/10 sont similaires à celles obtenues sur la même classe et le même type de

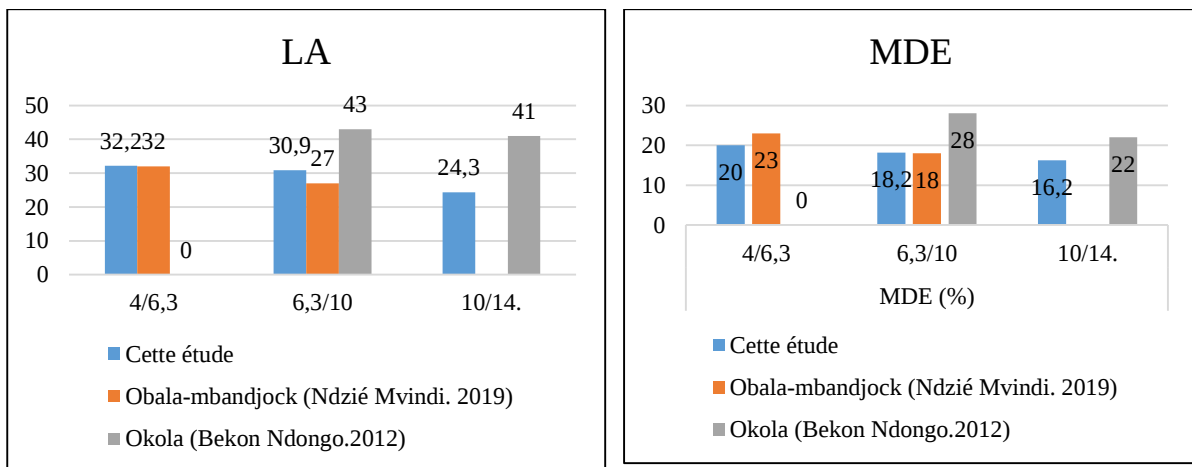


Figure 19. Comparaison des valeurs de LA et MDE de cette étude avec celles des travaux antérieurs

matériaux à Obala (Ndzié Mvindi, 2019). Pour les granulats de classe 4/6,3 la valeur de MDE obtenue est inférieure celle obtenue sur la même classe et le même type de matériaux à Obala (Ndzié Mvindi, 2019). Comme pour LA, les valeurs de MDE obtenues sur les classes 6,3/10 et 10/14 sont inférieures à celles obtenues sur la même classe dans le zone de Nkolyada par Okola (Bekon Ndongo, 2012). La valeur de densité sèche maximale des concassés de roches étudiés (2,401) est similaire à celle obtenue sur les gneiss d'Obala (2,41) (Ndzié Mvindi, 2019). Elle est cependant supérieure à celle présentée par les gneiss de Yaoundé (2,35) (Ndzié Mvindi et al., 2024). Les gneiss étudiés dans ces travaux sont plus résistants à l'usure que les gneiss de Nkolnyada. La valeur CBR des concassés étudiés (180 %) est très élevée. Elle est supérieure à celles obtenues sur les gneiss de la zone d'Obala (102 %) (Ndzié Mvindi, 2019) et sur les gneiss de Yaoundé (88 %) (Ndzié Mvindi et al., 2024).

IV.2.1. Paramètres géotechniques des matériaux latéritiques de la zone d'étude

Les graveleux latéritiques étudiés présentent des valeurs de poids volumique des grains solides similaires à celles des travaux antérieurs (Fig.20). Les graveleux latéritiques sur micaschistes sont légèrement plus denses que ceux développés sur gneiss. Les matériaux dérivés des micaschistes présentent une valeur moyenne de teneur en fines (20 %) inférieure à celle obtenue sur les graveleux latéritiques développés sur gneiss (25 %). Les matériaux sur micaschistes sont en moyenne plus fins que ceux dérivés des gneiss. Ces valeurs moyennes de teneurs en fines sont toutes inférieures à celles obtenues dans les travaux antérieurs (Fig.21). De tous les paramètres dérivés étudiés, seul G_m (2,18) a une valeur plus élevée sur les matériaux sur micaschistes comparés à ceux développés sur gneiss.

La valeur moyenne de IP des matériaux dérivés des micaschistes (27 %) est supérieure à celle obtenue sur les matériaux développés sur gneiss (25 %). Ceci montre que le mortier des graveleux latéritiques sur micaschistes est le plus plastique. La valeur obtenue sur gneiss est similaire à celle présentée par le même type de matériaux dérivés des gneiss à Nkolkoumou (25 %) (Nkenglefac, 2018). Toutes ces valeurs sont dans l'ordre de celles présentées dans les travaux antérieurs (Fig.21).

Les valeurs moyennes obtenues dans la présente étude sont presque similaires. Ces valeurs sont dans l'ordre de celles présentées par les travaux antérieurs dans la même zone (Fig.22). Les matériaux dérivés des micaschistes présentent une portance moyenne (45 %) supérieure à celle des graveleux latéritiques développés sur gneiss (43 %). Les valeurs obtenues sont inférieures à celles obtenues sur les matériaux nodulaires dérivés des gneiss de Nkolyada (73 %) (Bekon Ndongo, 2012). Ces valeurs sont dans l'ordre de celles obtenues dans

la zone de Nkolkoumou et environs (Ngo Mandeng, 2017 ; Souanfo, 2017 ; Nkenglefac, 2018) (Fig.22).

IV.3. INTERETS DES MATERIAUX EN CONSTRUCTION ROUTIERE

Les granulats gneissiques de la classe granulaire 0/31,5 présentent un diamètre du plus gros élément inférieur à 40 mm. Ils peuvent de ce fait être utilisés en couche de chaussées (CEBTP, 1984 ; DEGN, 1988). La teneur en fines de ces matériaux (4,4 %) est dans l'ordre de celles préconisées pour une utilisation en couche de base (4 – 10 %) (CEBTP, 1984). Cette utilisation peut également se justifier par leur valeur d'équivalent de sable (58,4 %) supérieure à 30 %, le minimum pour une utilisation en couche de base (CEBTP, 1984). Les valeurs maximales de LA recommandées pour une utilisation des matériaux en couche de base sont de 45 % pour les trafics T1/T3 et 30 % pour les trafics T4/T5 (CEBTP, 1984). Les granulats gneissiques de la zone d'étude avec des valeurs de LA inférieures ou égales à 32 % sont utilisables en couche de base et en couche de roulement pour les trafics T1 à T3. La valeur CBR de ces matériaux (180 %), supérieure à 80 % confirment que ces granulats sont utilisables en couche de base pour tout type de trafics. Les graveleux latéritiques ont de mauvaises performances si leurs valeurs de poids volumique des grains solides sont inférieures à 2,58 gf/cm³ et des performances excellentes, si cette valeur est supérieure à 2,85 gf/cm³ (Nwaiwu et al., 2006). Les graveleux latéritiques développées sur micaschistes et gneiss de la zone d'étude sont de performances moyennes car leurs valeurs moyennes de poids volumiques des grains solides sont de 2,74 gf/cm³ et 2,75 gf/cm³ ; elles sont comprises entre 2,58 gf/cm³ et 2,85 gf/cm³. Pour une utilisation des graveleux latéritiques en construction routière, les spécifications de plasticité stipulent que les valeurs de IP doivent être inférieures à 25 % pour les couches de fondation et, inférieures à 15 %, pour les couches de base (CEBTP, 1984). La valeur moyenne de IP des matériaux latéritiques développés sur micaschistes (27 %) est supérieure à cette limite contrairement à celle des matériaux développés sur gneiss (25 %). Ces matériaux d'altération peuvent être utilisés uniquement en couche de fondation. La projection de ces matériaux dans l'abaque de plasticité de Casagrande montre que ces matériaux sont constitués d'un mortier de haute plasticité (Fig.23). Leur utilisation en couche de chaussée nécessite une amélioration par réduction de la plasticité avec des liants tels que la chaux (CEBTP, 1984). Les paramètres granulométriques sont utilisés pour le choix d'un matériau en couche de chaussée (CEBTP, 1984). Les teneurs en fine doivent être inférieures à 35 %. Les valeurs de teneurs en fines des graveleux latéritiques étudiés sont toutes inférieures à 35 %.

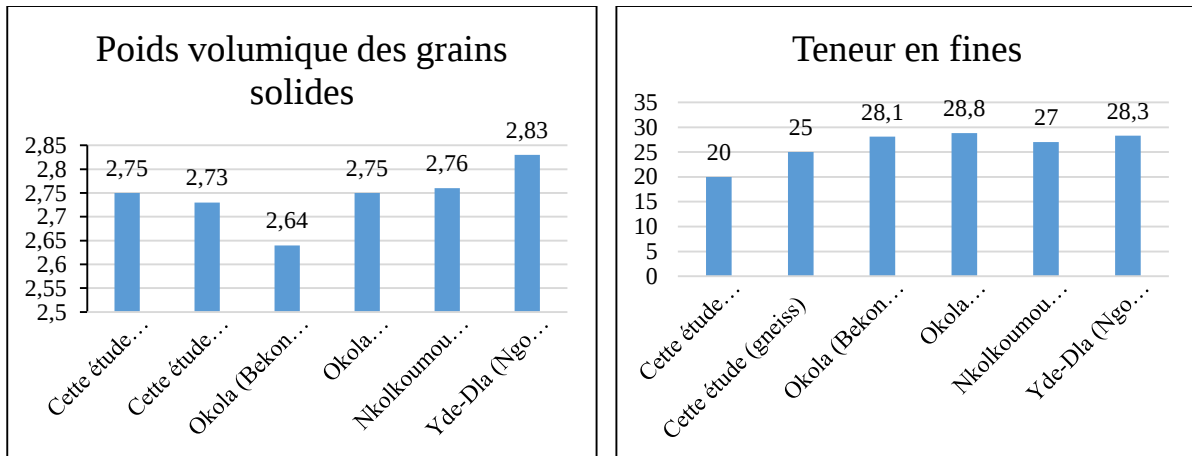


Figure 20. Comparaison des valeurs de poids volumique des grains solides et de teneurs en fines de cette étude avec celles des travaux antérieurs

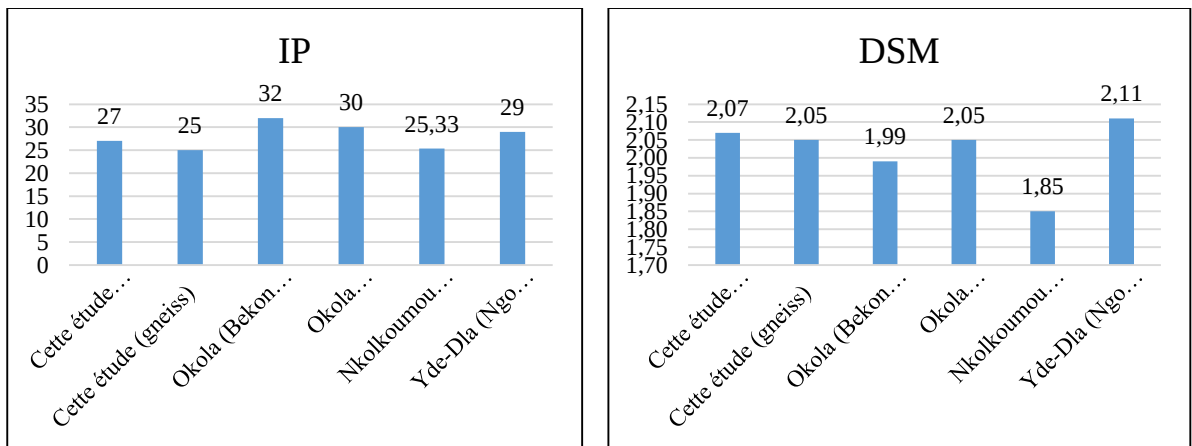


Figure 21. Comparaison des valeurs de IP et de DSM de cette étude avec celles des travaux antérieurs

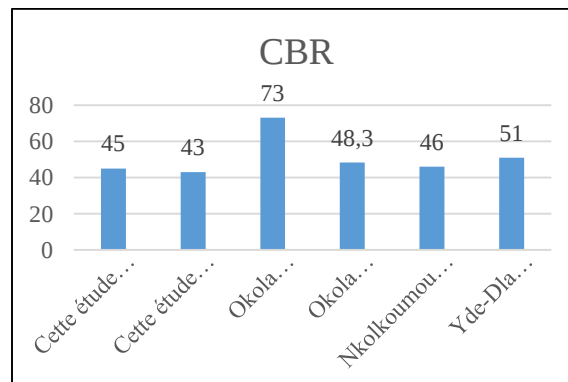


Figure 22. Comparaison des valeurs CBR de cette étude avec celles des travaux antérieurs

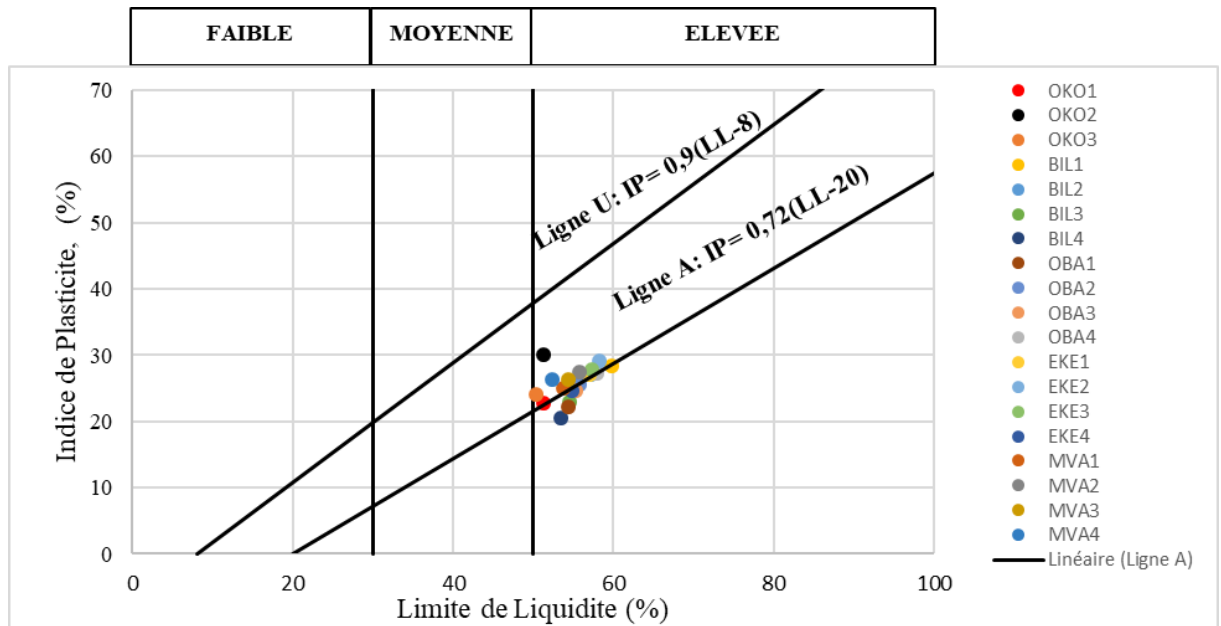


Figure 23. Positions des matériaux étudiés dans l'abaque de plasticité de Casagrande

Ils sont donc bons pour une utilisation en construction routière notamment en couche de fondation sous réserve des autres caractéristiques. La courbe granulométrique moyenne des matériaux dérivés des gneiss s'insère parfaitement dans le fuseau de spécification pour couche de fondation (Fig.24). Par contre pour les matériaux développés sur micaschistes, la courbe granulométrique côtoie le côté intérieur, de la courbe minimale du fuseau de spécification (Fig.24).

Les matériaux dérivés des gneiss peuvent être utilisés en couche de fondation sur la base de leur courbe moyenne, par contre ceux dérivés des micaschistes nécessitent une légère correction granulométrique. Les valeurs moyennes du module de classement G_m (2,01 et 1,84) des graves latéritiques développés sur micaschistes et sur gneiss sont supérieures à 1,5 le minimum exigé pour une utilisation en couche de fondation (Nwaiwu et al., 2006). Ces valeurs indiquent qu'ils sont utilisables en couche de fondation pour les routes à fort trafic et, dans une moindre mesure, en couche de base, pour les routes mineures (Nwaiwu et al., 2006). Les valeurs du produit de plasticité P_p (577 et 608) sont toutes proches de 600, montrent que ces matériaux sont utilisables en couche de fondation pour les trafics T1, T2 et T3 (Bagarre, 1990).

Les graveleux latéritiques doivent avoir une valeur de DSM supérieure ou égale à 1,90 et, une valeur de TE-OPM inférieure ou égale à 15 %, pour une utilisation en couche de fondation (CEBTP, 1984).

Les valeurs moyennes de TE-OPM (11 %) et de DSM (2,1 et 2,04) obtenues confirment que les graveleux latéritiques de la zone d'étude sont utilisables en couche de fondation. Les

valeurs minimales de CBR à 95 % OPM admises pour les couches de fondation et les couches de base pour trafic T3 sont respectivement de 30 et 80 % (CEBTP, 1984).

Les matériaux latéritiques développés sur micaschistes et gneiss ont des valeurs de CBR (40 et 43 %) supérieures à 30 %. Ces matériaux sont utilisables en couche de fondation. Selon les 7 classes de portance définies au Cameroun (DEGN, 1987). Les matériaux étudiés sont aptes pour une utilisation en couche de chaussée sous réserve de la vérification des déformations que les couches les utilisant peuvent subir.

Les vérifications des structures de chaussée avec le logiciel Alizé-LCPC montrent que les matériaux latéritiques de la zone d'étude sont utilisables en couche de fondation pour les classes de trafics T2/T3. La structure choisie est une chaussée souple avec en couche de fondation en graveleux latéritiques de cette étude et en couche de base, en concassés des gneiss de la zone d'Okola (Fig.24). La réalisation des chaussées avec ces matériaux préconise une couche de fondation de 20 cm d'épaisseur de graveleux latéritique, quel que soit le trafic. Pour la réalisation de la couche de base, les concassés de gneiss peuvent être utilisés avec des épaisseur de 15 cm et 20 cm respectivement pour T2 et T3 (Fig.25).

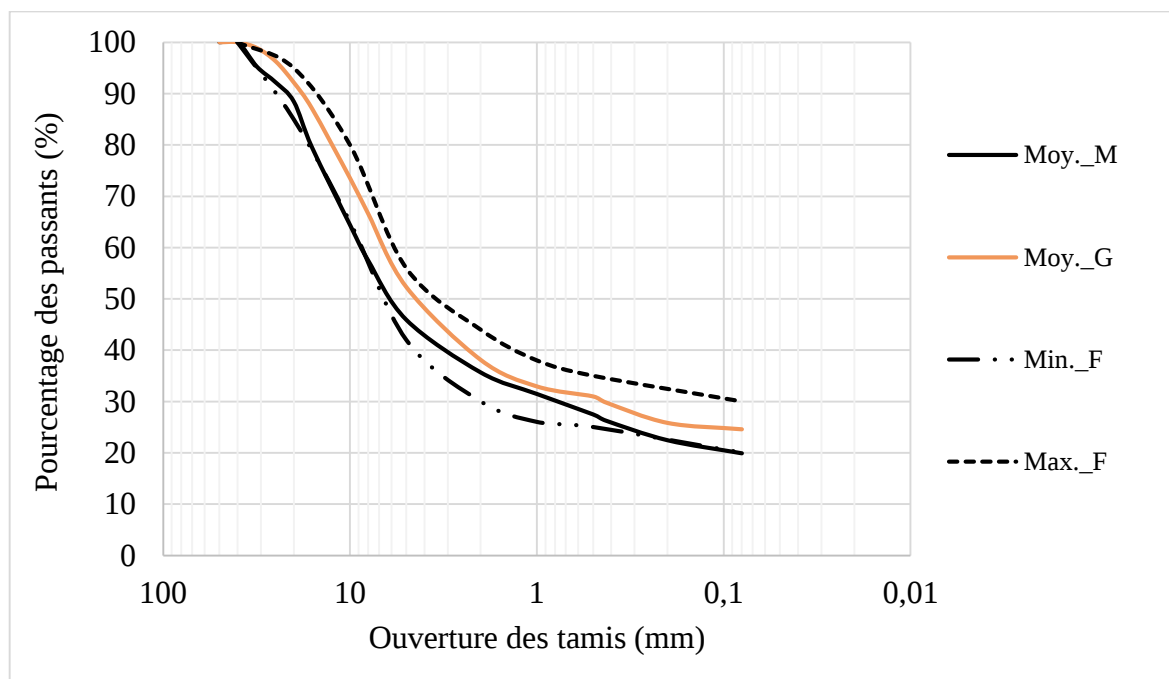
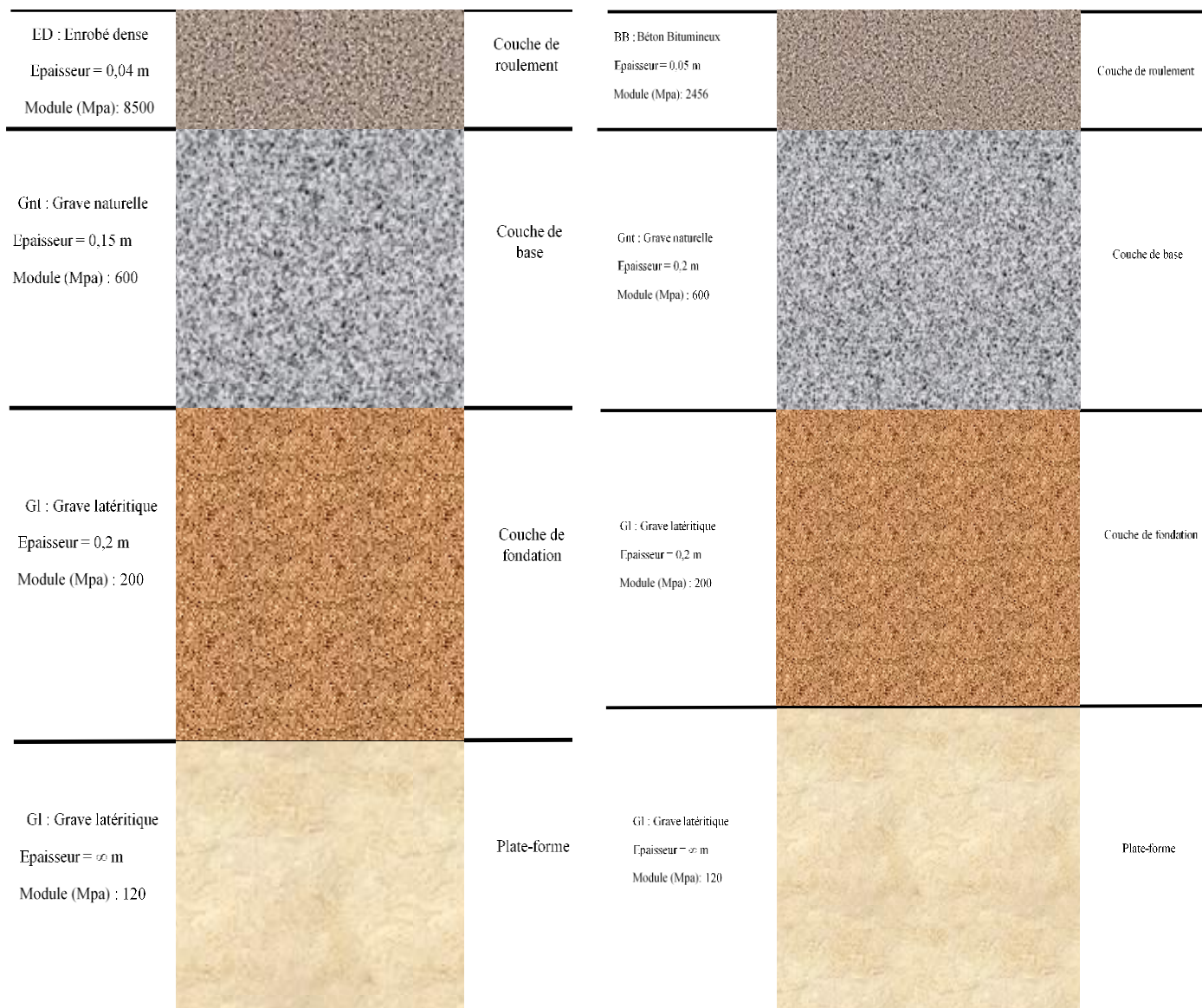


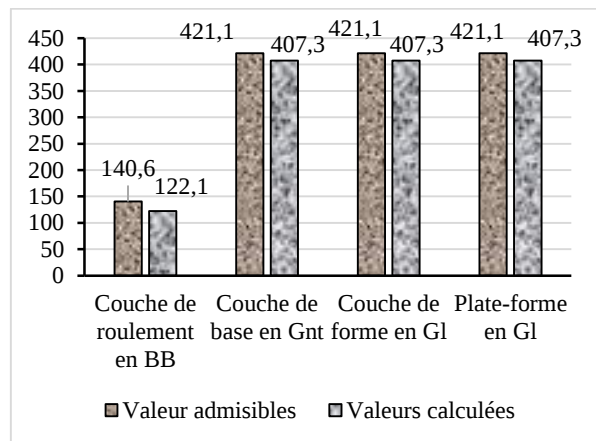
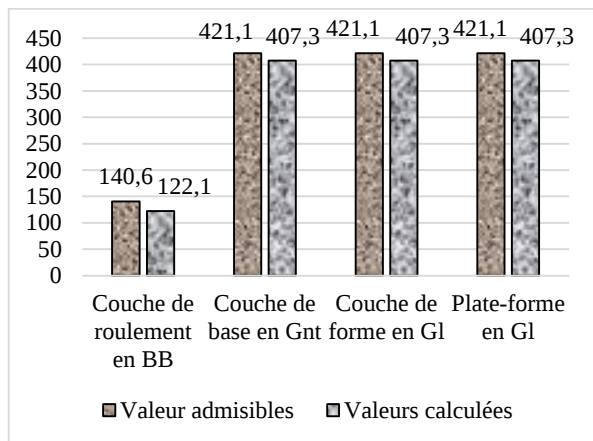
Figure 24. Position des courbes granulométriques moyennes des matériaux étudiés dans le fuseau de spécification pour couche de fondation



Structure de chaussée souple pour trafic T2

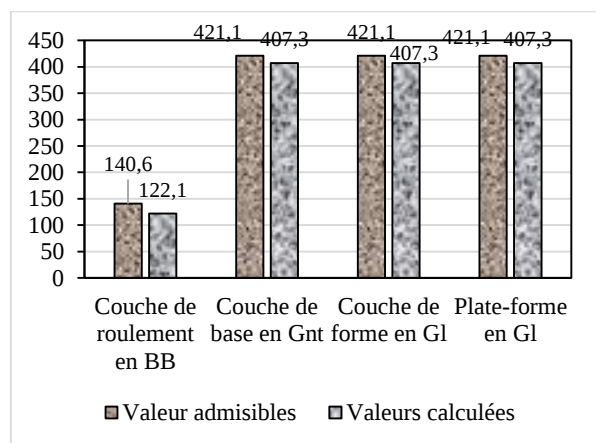
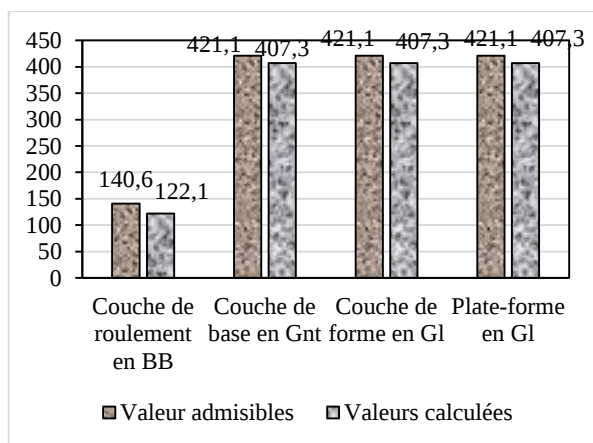
Structure de chaussée souple pour trafic T3

Figure 25. Coupes verticales schématiques des structures de chaussées vérifiées



T3 – valeur minimale CBR

T3 – valeur moyenne CBR



T2 – valeur minimale CBR

T2 – valeur moyenne CBR

Figure 26. Comparaison des valeurs des déformations admissibles à celles des déformations calculées des structures vérifiées

Lors de la vérification des structures de chaussées, les déformations calculées doivent être inférieures aux déformations admissibles (CEBTP, 1984 ; LCPC et SETRA, 1994). Les structures optimales proposées ont des valeurs des contraintes admissibles supérieures aux contraintes calculées (Fig.26). Ceci justifie l'utilisation des matériaux étudiés dans les structures choisies.

CONCLUSION

Les interprétations et discussions des différents résultats obtenus ont fait l'objet de ce chapitre. Deux types d'affleurements rocheux ont été identifiés dans la zone d'étude. Il s'agit des gneiss à grenat et à biotite et des micaschistes grenat et disthène. Les granulats gneissiques de la classe granulaire 0/31,5 présentent un diamètre du plus gros élément inférieur à 40 mm, teneur en fines de 4,4 %. Ces matériaux sont utilisables en couche de chaussée. Cette utilisation peut également se justifier par leur valeur d'équivalent de sable (58,4 %) supérieure à 30 %, le minimum pour une utilisation en couche de base (CEBTP, 1984). Les valeurs de Los Angeles inférieures ou égales à 32 % et de CBR (180 %) supérieure à 80 % confirment l'utilisation de ces granulats en couche de base pour tout type de trafics.

Les niveaux nodulaires développés sur gneiss sont plus épais que ceux développés sur micaschistes. Les latérites développées sur micaschistes présentent des teneurs élevées en fragments de quartz et nodules. Les blocs de cuirasse sont plus présents dans les niveaux médians sur gneiss comparés à ceux développés sur micaschistes. Les graveleux latéritiques issus des micaschistes sont légèrement plus denses que ceux développés sur gneiss. Ces matériaux présentent des valeurs de poids volumiques des grains solides comprises entre 2,58 gf/cm³ et 2,85 gf/cm³. Ils ont donc des performances moyennes en construction routière. Ces matériaux contiennent des mortiers de haute plasticité. Les graveleux latéritiques dérivés des micaschistes (IP = 27 %) étant légèrement plus plastiques que ceux issus des gneiss (IP = 25 %). Leur utilisation en couche de chaussée nécessite une amélioration par réduction de la plasticité avec des liants tels que la chaux malgré leurs teneurs en fines inférieures à 35 %. Les valeurs moyennes du module de classement G_m (2,01 et 1,84) des graves latéritiques développés sur micaschistes et sur gneiss sont supérieures à 1,5 le minimum exigé pour une utilisation en couche de fondation. Cette utilisation est confortée par des valeurs de densité sèche maximale (2,1 et 2,04) supérieures à 1,90 et une portance CBR à 95 % OPM (40 et 43 %) supérieure à 30 %, le minimum admis pour une utilisation en couches de fondation. Les matériaux latéritiques

étudiés sont donc aptes pour une utilisation en couche de chaussée sous réserve de la vérification des déformations que les couches les utilisant peuvent subir.

Les vérifications des structures de chaussée avec le logiciel Alizé-LCPC montrent que les matériaux latéritiques de la zone d'étude sont utilisables en couche de fondation pour les classes de trafics T2/T3. La réalisation des chaussées avec ces matériaux préconise une couche de fondation de 20 cm d'épaisseur de graveleux latéritiques, quel que soit le trafic. Pour la réalisation de la couche de base, les concassés de gneiss peuvent être utilisés avec des épaisseur de 15 cm et 20 cm respectivement pour T2 et T3. Ceci se justifie par le fait que pour les structures optimales proposées, les valeurs des déformations admissibles sont supérieures aux déformations calculées.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

La zone d'étude est située dans la région du Centre-Cameroun, dans les départements du Mfoundi et de la Lekié, arrondissements de Yaoundé 7 et d'Okola. Avec des altitudes moyennes de 700 m la zone d'étude est soumise à un climat équatorial chaud et humide, la température moyenne est de l'ordre de 25,5 ° C avec de précipitations de 1694 mm/an. Le couvert végétal est secondaire et est constitué des forêts par endroit. Le socle est constitué des roches de l'orogénèse Panafricaine (600 Ma) à savoir les roches métamorphiques (gneiss et micaschiste) ; sur ce socle se développent des graveleux latéritiques qui font l'objet du présent travail. Le présent travail avait donc pour but de caractériser sur le plan géotechnique les graveleux latéritiques développés sur roches métamorphiques dans la zone de Nkolbisson-Ekekam en vue de leur utilisation en construction routière. La méthodologie suivie dans le cadre de ce travail s'est appuyée sur la recherche bibliographique, les travaux de terrain et les travaux en laboratoire. Les travaux de terrain ont été focalisés sur la localisation des points de prélèvement, la description macroscopique des matériaux prélevés au niveau des effleurements rocheux et dans les carrières latéritiques de la zone d'étude. Les travaux en laboratoire ont consisté en une étude pétrographique des matériaux prélevés suivie de la réalisation des essais géotechniques et à la pétrologie des roches.

Les résultats obtenus montrent que deux types d'affleurements rocheux ont été identifiés dans la zone d'étude. Il s'agit des gneiss à grenat et à biotite et des micaschistes grenat et disthène. Les granulats gneissiques de la classe granulaire 0/31,5 présentent un diamètre du plus gros élément inférieur à 40 mm, teneur en fines de 4,4 %. Ces matériaux sont utilisables en couche de chaussée. Cette utilisation peut également se justifier par leur valeur d'équivalent de sable (58,4 %) supérieure à 30 %, le minimum pour une utilisation en couche de base (CEBTP, 1984). Les valeurs de Los Angeles inférieures ou égales à 32 % et de CBR (180 %) supérieure à 80 % confirment l'utilisation de ces granulats en couche de base pour tout type de trafics.

Les niveaux nodulaires développés sur gneiss sont plus épais que ceux développés sur micaschistes. Les latérites développées sur micaschistes présentent des teneurs élevées en fragments de quartz et nodules. Les blocs de cuirasse sont plus présents dans les niveaux médians sur gneiss comparés à ceux développés sur micaschistes. Les graveleux latéritiques issus des micaschistes sont légèrement plus denses que ceux développés sur gneiss. Ces matériaux présentent des valeurs de poids volumiques des grains solides comprises entre 2,58 gf/cm³ et 2,85 gf/cm³. Ils ont donc des performances moyennes en construction. Ces matériaux contiennent des mortiers de haute plasticité. Les graveleux latéritiques dérivés des micaschistes (IP = 27 %) étant légèrement plus plastiques que ceux issus des gneiss (IP = 25 %). Leur

utilisation en couche de chaussée nécessite une amélioration par réduction de la plasticité avec des liants tels que la chaux malgré leurs teneurs en fines inférieures à 35 %. Les valeurs moyennes du module de classement G_m (2,01 et 1,84) des graves latéritiques développées sur micaschistes et sur gneiss sont supérieures à 1,5 le minimum exigé pour une utilisation en couche de fondation. Cette utilisation est confortée par des valeurs de densité sèche maximale (2,1 et 2,04) supérieures à 1,90 et une portance CBR à 95 % OPM (40 et 43 %) supérieure à 30 %, le minimum admis pour une utilisation en couches de fondation. Les matériaux latéritiques étudiés sont donc aptes pour une utilisation en couche de chaussée sous réserve de la vérification des déformations que les couches les utilisant peuvent subir.

Les vérifications des structures de chaussée avec le logiciel Alizé-LCPC montrent que les matériaux latéritiques de la zone d'étude sont utilisables en couche de fondation pour les classes de trafics T2/T3. La réalisation des chaussées avec ces matériaux préconise une couche de fondation de 20 cm d'épaisseur de graveleux latéritiques, quel que soit le trafic. Pour la réalisation de la couche de base, les concassés de gneiss peuvent être utilisés avec des épaisseurs de 15 cm et 20 cm respectivement pour T2 et T3. Ceci se justifie par le fait que pour les structures optimales proposées, les valeurs des déformations admissibles sont supérieures aux déformations calculées.

La présente étude, pour aboutir à des conclusions scientifiques plus solides, doit être poursuivie et approfondie par la cartographie de ces graveleux latéritiques, à l'aide d'une analyse multicritères tenant compte des données géologiques et géotechniques, par l'élargissement de la zone d'investigation des graveleux latéritiques développés sur micaschistes de ces matériaux. La réalisation des essais de détermination des résistances à l'usure des nodules des matériaux latéritiques pourrait aider à la détermination de leur aptitude en construction routière. Une mise en œuvre de ces matériaux sur le terrain et une planche d'essais permettraient de confirmer ou infirmer les données obtenues après vérification sur Alizé-LCPC.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Autret, P., 1983. Latérites et graveleux latéritiques, laboratoire central des ponts et chaussées. 38p.
- Abdoul Kadiri., 2005. Étude Géotechnique des produits d'altération sur micaschistes de Ngaoundéré. Mém. DEA, Fac. Sci. Univ. Yaoundé I, 68 p.
- AFNOR NF P 94-051, 1993. Sols : détermination des limites d'Atterberg : limite de liquidité à la coupelle – limite de plasticité au rouleau.
- AFNOR NF EN 933-8, 1997. Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 8 : Évaluation des fines - Équivalent de sable.
- AFNOR NF EN 1097-2, 1998. Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 2 : Méthodes pour la détermination de la résistance à la fragmentation.
- AFNOR NF EN 1097-7, 1999. Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 7 : Détermination de la masse volumique réelle du filler
Méthode au pycnomètre
- AFNOR NF P 94-056, 1996. Sols : reconnaissance et essais. Analyse granulométrique.
Méthode par tamisage à sec après lavage.
- AFNOR NF P 94-078, 1997 : Sols : reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion.
Indice CBR immédiat. Indice Portant Immédiat Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR. Association française de normalisation, Paris.
- AFNOR NF P 94-093. Sols, 1999 : reconnaissance et essais. Détermination des références de compactage d'un matériau. Essai Proctor normal - Essai Proctor modifié. Association française de normalisation, Paris.
- AFNOR NF P 94-420, 2000 : Roches : détermination de la résistance à la compression uniaxiale. Association française de normalisation, Paris.
- Bagarre E., 1990 : Utilisation des graveleux latéritiques en technique routière. ISTED, 143 p.
- Bagnouls F., Gaussen H., 1957. Les climats biologiques et leur classification. Annales de géographie 335, 193-220.
- Bekon Ndongo., 2012, Etude géotechnique des produits d'altération sur gneiss du secteur Okola pour une utilisation en construction routière
- Bikoy I. R., 2015. Caractérisation géologique et géotechnique des graveleux latéritiques sur granites dans la région de Ngoulmakong (Sud – Cameroun). Mém. Master, Fac. Sci. Univ. Yaoundé I, 77p.
- CEBTP, 1984. Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux.

- Ministère de la coopération de la République Française. 157 p.
- C. Tsobgny.,2023. Caractérisation pétrographique géochimique et géotechnique des graveleux latéritiques de Mama, Est-Cameroun. Mém. Master, Fac. Sci. Univ. Yaoundé I 82 p.
- DEGN, 1987. Recommandation pour l'utilisation en corps de chaussée des graveleux latéritiques naturels. Bulletin du Ministère de l'équipement. Direction des études générales et de la normalisation, Cameroun, 16 p.
- DEGN, 1988. Directives pour la réalisation des assises de chaussée en grave concassée. Ministère de l'équipement. Direction des études générales et de la normalisation, Cameroun, 14 p.
- Djuickouo C. N., 2012. Caractérisations géotechniques des graveleux latéritiques sur basaltes de la zone de MAKKA (Ouest Cameroun). Mém. DIPES II, Sci. Bio. ENS. Univ. Yaoundé I, 56p.
- Edzimbi Mbarga C., 2013. Caractérisation Minéralogique, Géochimique et géotechnique des graveleux latéritiques sur gneiss de la région d'Eséka (Centre - Cameroun). Mém. Master, Fac. Sci. Univ. Yaoundé I, 75 p.
- Ekodeck G. E., 1984. L'altération des roches métamorphiques du Sud Cameroun et ses aspects géotechniques. Th. Doct. d'Etat ès Sci. Nat., IRIGM. Univ-Scientif.et Médic. Grenoble I, France, 368 p.
- Eyenga P., 2011. Caractérisation géotechnique des produits d'altération sur quartzites micacés de Sa'a. Mém. Master, Fac. Sci. Univ. Yaoundé I, 81 p.
- Ibrahim Baba., 2023. Stabilisation géotechnique des graveleux latéritiques d'Akonolinga (Centre-Cameroun) par ajout de granulat
- Kuété, M., 1977. Etude Géomorphologique du Massif de Yaoundé (Cameroun). Thèse de 3^{ème} Cycle de Géomorphologie, Université Michel Montaigne - Bordeaux III, 279p.
- Kuété, M., 1990. Géomorphologie du plateau Sud Camerounais au Sud du 13^{ème} Parallèle. Thèse de Doctorat d'Etat. Université Michel Montaigne - Bordeaux III, 859p.
- LCPC, SETRA.,1994. Conception et dimensionnement des structures de chaussée, Guide technique.France, décembre.
- Letouzey R.,1985. Notice de la carte phytogéographique du Cameroun au 1/500000. Fascicule N°3, Domaine de la forêt dense semi caducifoliée. Institut de la carte de la végétation (Toulouse) et IRA (Yaoundé), pp. 63-94.

- Makou Mbevo L.D., 2023. Vérification d'une structure et contrôle géotechnique des couches de chaussée : cas des travaux de réhabilitation du tronçon routier Zamengoue-Ekekam (région du Centre-Cameroun).
- Mebouinz Danielle Léa., 2021. Caractérisation pétrographique, géochimique et géotechnique des graveleux et cuirasses latéritiques sur granites de Mandjou, Bertoua, Es-Cameroun Mém. Master, Fac. Sci. Univ. Yaoundé I 89 p.
- MINPAT/PNUD., 2020. Etudes socio-économiques régionales au Cameroun. Région du Centre. MINPAT / Projet PNUD-OPS CMR/98/005/01/99, 154.
- Nagaraj H. B., Suresh M. R., 2018. Influence of clay mineralogy on the relationship of CBR of fine-grained soils with their index and engineering properties. *Transportation Geotechnics* 15, 29–38.
- Nanga B. M. T., 2015. Caractérisation Géologique et Géotechnique des graveleux latéritiques sur granites de la région d'Ebolowa (Sud – Cameroun). Mémoire Master, Fac Sci. Univ. Yaoundé I, 73 p.
- Ndzié Mvindi A. T., 2019. Caractérisation minéralogique, géochimique et géotechnique des graveleux latéritiques de la zone Obala-Mbandjock (Centre Cameroun). Thèse. Doct./Ph.D., Fac. Sci. Univ. Yaoundé I, 168 p.
- Ndzié Mvindi, A. T., Lobe Bille, J. F., Ngo'o Ze, A., Enock Embom, C., Tsoyi À Koung, E., Ngono Mbenti Emvana, M. S., & Onana, V. L. (2024). Assessment of crushed rock aggregates addition to granular lateritic materials in sub-saharan extensive urbanization context (Yaoundé Cameroon) for road construction purposes. *Discover Civil Engineering*, 1(1), 3..
- Ngadena.,2020, comportement géomercatique des blocs de terre de sa'a (centre Cameroun). Master 2020, université de Yaoundé I.
- Ngami P. F., 2012. Caractérisation géotechnique des matériaux d'altération sur gneiss migmatitiques et sur basaltes de la région de Tonga-Bangangté (Ouest-Cameroun).Mém. Master, Fac Sci. Univ. Yaoundé I, 123 p.
- Ngo'o Ze A., 2011. Effets de la chaux sur quelques propriétés physico-mécaniques de deux types de graveleux latéritiques de la zone d'Akonolinga (Région du Centre). Mém Master, Fac. Sci. Univ. Yaoundé I, 91 p.
- Ngo,o Ze A et al., 2024. Procédés de fabrication ex-situ et in-situ pour optimiser les caractéristiques d'un beton de sol à base de grave latéritiques et granulats granitiques : application dans la construction routière.

- Ngo'o Ze, A., Ntoulala, R. F. D., Lobe Bille, J. F., Enock Embom, C., Onana, V. L., Medjo Eko, R., & Ekodeck, G. E. (2025). Enhancement of geotechnical properties of lateritic gravels from metamorphic rocks in Cameroon with quicklime to improve road construction material quality. *Discover Civil Engineering*, 2(1), 46.
- Nietcho Domegni A,F., 2023. Caractérisation géotechnique des graves latéritiques et concassées pour leur utilisation en couche d'assise en réhabilitation routière. Mém. Master, Fac. Sci. Univ. Maroua.
- Nkenglefack d., 2018. Geotechnical characterisation of the Nkolkoumou gneiss derived lateritic gravel. Mem Master Fac. Sci. Univ. Yaoundé I, 66 p
- Nkounmou A. J.-F., Mouhamadou B. D., Fary D., Parisot J. C., Ndiane D., 2004. Etude corrélative entre propriétés géochimiques et caractéristiques géomécaniques des latérites. *Journal des Sciences et Technologies* 3, N° 1 et 2.
- Ntoh N., 2013. Caractérisation pétrologique et géotechnique des graveleux latéritiques développés sur basaltes de la région de Mbouda (Ouest cameroun) Mém. Master, Fac. Sci. Univ. Yaoundé I, 82 p.
- Nyemb Bayamack J,F., 2021. Caractérisation pétrologique et géotechniques des latérites de la région du Sud-Ouest Cameroun. Mém. Thèse, Fac. Sci. Univ. Yaoundé I.
- Nzabakurikiza A., Onana V. L., Ngo'o Ze A., Ndzié Mvindi A. T., Ekodeck G. E., 2017. Geological, geotechnical. and mechanical characterization of lateritic gravels from Eastern Cameroon for road construction purposes. *Bulletin of Engineering Geology and Environment* 76 (4), 1549–1562.
- Nzenti et al., 2011, geological map of cameroun. Article, www.journalcra.com
- Olivry J.C., 1986, Fleuves et rivières du Cameroun. ORSTOM, Collection Monographies Hydrologiques n° 9, Paris (ORSTOM), Yaoundé (MESRES) ; 733p.
- Onana V. L., 2010 : L'altération supergène des chloritoschistes de la série de Mbalmayo Bengbis (Sud Cameroun) et ses implications géotechniques. Thèse. Doct./Ph.D., Fac. Sci. Univ. Yaoundé I, 246 p.
- Ongobassomben C. P., 2020. Caractérisation pétrologique et géotechnique des matériaux latéritiques indurés de la zone de Babongo, Adamaoua – Cameroun. Mém. Mast. Fac. Sci. Univ. Yaoundé I, 73 p.
- Sandji Mejing C. G., 2021. Caractérisation géologique et mécanique des graveleux et cuirasses

- latéritiques de la zone de Goumbela (Adamaoua - Cameroun). Mém. Mast. Fac. Sci. Univ. Yaoundé I, 84 p.
- Sandoume Triaw., 2006. Dimensionnement mécanistique-empirique des structures de chaussée : Application au tronçon Séo-Diourbel, mémoire en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur de Génie Civil département de Génie Civil, Ecole Supérieure Polytechnique Centre de THIES, 2006.
- Sikali F., Djalal M. E., 1987. Utilisation des latérites en technique routière au Cameroun. In Séminaire Régional sur les latérites : Sols. Matériaux. Minerais. Douala (Cameroun), ORSTOM Ed., 277–288 pp.
- Souamfo H., 2018. Caractérisation minéralogique, géochimique et géotechnique des graveleux latéritique de Nkong, Messa. 87 P
- Tchindjang, M., Ngo Makak, R., Issan, I., Saha, F., Voundi, E., Mbevo Mfendoung, P. & Manfo, D. (2019), Appui au Zonage agricole dans la Région administrative du Centre-Cameroun. In Actes OSFACO, Sous presse.
- Villiers, J.-F. (1995), La végétation. Dans C. Santoir, & A. Bopda, Atlas régional du Sud Cameroun. Paris, Yaoundé: ORSTOM, MINREST.

ANNEXES



Annexe 1. Prélèvement des échantillons de graveleux latéritique dans la zone d'étude



Annexe 2. Réalisation de l'équivalent de sable et détermination des hauteurs H1 et H2



Annexe 3. Réalisation de l'analyse Granulométrique



Annexe 4. Réalisation de l'analyse Granulométrique



Annexe 5. Poinçonnement et Détermination de l'indice portant CBR



Annexe 15. Réalisation de l'essai Pressiometrique avec prélèvement des carottes de roche