



THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A DIFFERENTES CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

MÉMOIRE POUR L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR 2IE AVEC GRADE DE MASTER

SPÉCIALITÉ : GÉNIE CIVIL BATIMENT ET TRAVAUX PUBLICS

Présenté et soutenu publiquement le 26/01/ 2023 par

Marie Viviane Wamanegba OUEDRAOGO (20200121)

Directeur de mémoire : Marie Thérèse Marame GOMIS/MBENGUE, enseignante à l'Institut 2iE

Maître de stage : Kpatcha EDJAMPTOLI, ingénieur géotechnicien à Globex Construction

Structure d'accueil : **Globex Construction**

Jury d'évaluation du mémoire :

Président : **Dr Mamadou DIOP**

Membres et correcteurs :

Dr Arnaud Louis Sountoug-Noma OUEDRAOGO

M. Mamadou Pousga Junior KABORE

Promotion [2022-2023]

TABLES DE MATIERE

TABLES DE MATIERE.....	I
CITATION	IV
DEDICACE.....	V
REMERCIEMENTS	VI
RESUME.....	VII
ABSTRACT	VIII
LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES.....	IX
LISTE DES TABLEAUX.....	X
LISTE DES FIGURES	XI
INTRODUCTION.....	1
I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU CADRE DE L'ETUDE.....	3
I.1 Présentation de la structure d'accueil	3
I.2 Organigramme de la structure d'accueil.....	3
I.3 Présentation du cadre de l'étude	5
I.3.1 Description du projet.....	5
I.3.2 Localisation du projet.....	5
I.3.3 Spécifications techniques chaussée à réaliser	6
II. REVUE DE BIBLIOGRAPHIQUE.....	7
II.1 Généralités sur les chaussées	7
II.1.1 Définition	7
II.1.2 Types de chaussée	8
II.1.3 Structure de chaussée	8
II.2 La latérite	9
II.2.1 Définition	9
II.2.2 Types de latérite	10
II.2.3 Les facteurs de déformation des latérites	11
II.2.4 La latérite en construction routière.....	11
II.3 Le granite	11
II.3.1 Définition	11

THEME : « INFLUENCE DE L’AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D’UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

II.3.2	Les types de granite.....	12
II.4	Les techniques de stabilisation des sols.....	12
II.4.1	La technique de stabilisation aux liants hydrocarbonés	12
II.4.2	La technique de stabilisation chimique	12
II.4.3	La technique de stabilisation mécanique par apport de matériaux.....	13
III.	OBJECTIFS ET HYPOTHESES DE L’ETUDE.....	15
III.1	Objectifs de l’étude.....	15
III.2	Hypothèses de l’étude.....	15
IV.	MATERIELS ET METHODES.....	15
IV.1	Essais d’identification.....	15
IV.1.1	Echantillonnage.....	16
IV.1.2	Analyse granulométrique	17
IV.1.3	Les limites d’Atterberg.....	21
IV.1.4	La mesure du coefficient d’aplatissement.....	23
IV.1.5	Los Angeles.....	25
IV.1.6	Micro-Deval	27
IV.2	Essais géomécaniques.....	28
IV.2.1	Proctor Modifié	28
IV.2.2	CBR.....	30
IV.2.3	Essai de compression simple.....	32
V.	RESULTATS ET DISCUSSIONS A LA PHASE D’ETUDE	34
V.1	Caractérisation du graveleux latéritique et des différentes classes de concassés	34
V.1.1	Caractérisation du graveleux latéritique.....	34
V.1.2	Caractéristique des différentes classes de concassé	41
V.2	Identification et portance du graveleux latérique litho stabilisé aux concassés	45
V.2.1	Analyse Granulométrique.....	45
V.2.2	Les limites d’Atterberg.....	48
V.2.3	Proctor Modifié	49
V.2.4	CBR.....	52

THEME : « INFLUENCE DE L’AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D’UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

V.2.5	Conclusion sur les mélanges	55
V.2.6	Résistance à la compression	56
V.3	Conclusion	59
VI.	MISE EN ŒUVRE ET CONTROLE	60
VI.1	La méthode de mise en œuvre	60
VI.1.1	Les étapes de la mise en œuvre	60
VI.1.2	Le contrôle.....	60
VI.2	Le contrôle des caractéristiques physique et mécanique	62
VI.3	Comparaison des résultats in-situ et ex-situ	63
	CONCLUSION	67
	RECOMMANDATION	68
	BIBLIOGRAPHIE	69
	ANNEXES	72

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

CITATION

« Rien de grand ne s'est accompli sans passion. » HEGEL

DEDICACE

Ce présent document est dédié :

-  *A feu **P. JUDICAËL OUEDRAOGO**, mon grand frère qui peu importe les circonstances m'a toujours accordé son soutien ;*

-  *A mon père **RIGOBERT OUEDRAOGO** pour les valeurs inculquées ;*

-  *A mes mamans **HÉLÈNE KIMA** et **THERÈSE OUEDRAOGO**, vous qui m'avez toujours prodigué de bons conseils ;*

-  *A mon oncle **ABEL KIMA** pour le soutien indéfectible ;*

-  *A mon père adoptif **CYPRIEN OUEDRAOGO** pour toute l'aide ;*

-  *A mon confident **FRANÇOIS BAYILI** pour tes encouragements ;*

-  *A ma princesse **SHARON** pour l'inspiration ;*

-  *A mes frères (**NASSIROU**, **AMZA** et **MAGUIDE**) et sœurs (**FLORA** et **AZIZA**).*

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

REMERCIEMENTS

Nos reconnaissances vont à l'égard de toutes les personnes qui d'une manière ou d'une autre ont contribué grâce à leurs conseils, leurs disponibilités et leurs soutiens constants à la réalisation de ce travail. Nous traduisons ici notre gratitude particulièrement à :

- L'Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (**2iE**) à travers le personnel administratif et enseignant pour les connaissances acquises durant la formation ;
- Notre encadrant interne Madame **Marie Thérèse Marame GOMIS/ MBENGUE** qui n'a ménagé aucun effort pour l'élaboration et la réalisation des travaux. Merci infiniment pour les conseils et votre disponibilité ;
- Au Directeur Technique Monsieur **Jonas KPOCHAN** de l'entreprise Globex Construction (GC) pour m'avoir permis d'effectuer mon stage au sein de leur entreprise ;
- Mon maitre de stage Monsieur **A. Kpatcha EDJAMTOLI** pour m'avoir accompagné pour l'obtention du stage et pour avoir mis tous les documents nécessaires à ma disposition. Merci pour vos soutiens multiformes ;
- Monsieur **Midakena BOLA** et Monsieur **François BAYILI** pour m'avoir obtenu ce stage. Que Dieu vous rende au centuple vos bienfaits ;
- Monsieur **Adjima THIOMBIANO** et Monsieur **Ali SANA** pour les directives et les apports multiformes ;
- L'ensemble du **personnel** du Laboratoire Eco-Matériaux et Habitat Durable (**LEMHaD**) **2iE** ;
- La Banque Mondiale (**BM**) pour l'octroi de cette bourse ;
- L'ensemble du personnel de laboratoire de **GC** et du **LNBTP** pour toute l'aide apportée ;
- L'ensemble des **collègues stagiaires** de l'entreprise **GC** et des **étudiants** de **2iE** pour la collaboration et les encouragements ;
- Mes **amis** pour l'ambiance fraternelle durant ma formation ;

Que le Tout Puissant vous comble tous au-delà de vos attentes.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

RESUME

Les graveleux latéritiques sont des matériaux très utilisés dans la construction routière. Elles sont plus utilisées en assise de chaussée dans les pays tropicaux d'Afrique. Cependant, les études menées montrent certaines limites à son utilisation. Au Burkina Faso, la plupart des sols latéritiques rencontrés ne répondent pas aux exigences fixées par le CEBTP (Centre Expérimental de Recherche du Bâtiment et des Travaux Publics) pour les chaussées à forts trafics. Il est donc nécessaire, voir obligé de traiter ces matériaux latéritiques lors de leur utilisation en vue d'une amélioration de leurs propriétés géotechniques. C'est dans cette optique que s'inscrit cette présente étude.

L'étude menée dans le cadre de notre recherche concerne un matériau latéritique prélevé à quelques encablures de la capitale du Burkina Faso. Ce matériau a été amélioré par ajout de concassés de granites ayant des classes granulaires différentes : 0/31,5, 5/25, 15/25 à des pourcentages de 20%, 25% et 30%. Le but est de caractériser d'abord le matériau latéritique cru et de vérifier qu'il est apte à être amélioré conformément aux spécifications du CTP (Cahier de Prescription Technique). Ensuite, d'identifier les mélanges qui répondent aux spécifications techniques du CPT pour une utilisation en couche de fondation. Des essais d'identifications (analyse granulométrique, limites d'Atterberg...) et géomécaniques (Proctor, CBR...) ont été effectués sur la latérite, le concassé et les mélanges. Les propriétés géotechniques du graveleux latéritique sont améliorées. Du point de vue CBR, il ressort que la classe de concassé 5/25 donne les meilleurs résultats (CBR à 98% égal à 188% à un taux d'amélioration de 25%). Et du point de vue résistance à la compression et module le concassé 0/31,5 a obtenu les meilleurs résultats ($R_c=1,87\text{MPa}$ et $E=120\text{MPa}$). Lors de la mise en œuvre, la classe 5/25 a finalement été retenue.

Mots clés :

- 1. Boulevard des Tansoba**
- 2. Couche de fondation**
- 3. Classe granulaire**
- 4. Graveleux latéritique**
- 5. Litho-stabilisation**

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

ABSTRACT

Lateritic gravels are widely used materials in road construction. They are more used in pavement foundation in tropical African countries. However, the studies conducted show certain limitations to its use. In Burkina Faso, most of the lateritic soils encountered do not meet the requirements set by the CEBTP (Experimental Research Center for Construction and Public Works) for high-traffic pavements. It is therefore necessary, even obligatory, to treat these lateritic materials during their use in order to improve their geotechnical properties. It is in this optic that this study is registered.

The study carried out within the framework of our research concerns a lateritic material taken from a few miles away from the capital of Burkina Faso. This material was improved by adding granite crushed with different granular classes: 0/31.5, 5/25, 15/25 at percentages of 20%, 25% and 30%. The aim is to characterize the raw lateritic material and to verify that it is suitable for improvement according to the specifications of the CTP (Cahier de Prescription Technique). Then, to identify the mixes that meet the technical specifications of the CPT for use in sub-base. Identification tests (particle size analysis, Atterberg limits...) and geomechanical tests (Proctor, CBR...) were carried out on laterite, crushed rock and mixes. The geotechnical properties of the lateritic gravel are improved. From the CBR point of view, it appears that the 5/25 crushed stone class gives the best results (CBR at 98% equal to 188% at a 25% improvement rate). And from the point of view of compressive strength and modulus, the 0/31.5 crushed stone obtained the best results ($R_c=1.87\text{MPa}$ and $\epsilon=120\text{MPa}$). During the implementation, the 5/25 class was finally selected.

Key words:

- 1. Tansoba Boulevard**
- 2. Foundation layer**
- 3. Granular class**
- 4. Lateritic gravel**
- 5. Litho-stabilization**

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

LISTE DES ABREVIATIONS ET SYMBOLES

2iE : Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement

AFNOR : Association Française de Normalisation

AGEIM-IC : Agence d'Etudes d'Ingénierie et de Maitrise d'œuvres

BOAD : Banque Ouest Africaine de Développement

CBR : California Bearing Ratio

CEBTP : Centre Expérimental de Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics

CPT : Cahier de Prescription Technique

GTR : Guide de Terrassement Routier

GAL : Graves Argileuse Latéritique

GC : Globex Construction

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

LEMHaD : Laboratoire Eco-Matériaux et Habitat Durable

LNBTP : Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics

OPM : Optimum Proctor Modifié

PK : Point Kilométrique

PNDES : Plan National de Développement Economique et Social

RN : Route Nationale

SETRA : Service d'Etudes Technique des Routes et Autoroutes

SORUBAT : Société de Routes et de Bâtiments

TPC : Terre-Plein Central

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Coefficient d'uniformité et de coefficient de courbure du GAL	36
Tableau 2: Les limites d'Atterberg du GAL	37
Tableau 3: Exigence du CPT concernant la latérite	41
Tableau 4: Coefficient d'uniformité et de Courbure des concassés	43
Tableau 5: Exigence du CPT concernant les concassés	45
Tableau 6: Coefficients d'uniformité et de courbure des lithostabs	47
Tableau 7: Résultats des limites d'Atterberg	48
Tableau 8: Récapitulatif des résultats de l'essai Proctor	49
Tableau 9: Récapitulatif des résultats de l'essai CBR	53
Tableau 10: Exigence du CPT concernant le lithostab.....	56
Tableau 11: Résultats de la compression simple.....	58
Tableau 12: Valeurs de la déflexion admissible.....	62
Tableau 13: Résultats de la planche d'essai.....	63

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATÉRIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

LISTE DES FIGURES

Figure 1: Organigramme GC.....	4
Figure 2: Localisation de la zone d'étude	6
Figure 3: Coupe verticale de la chaussée à exécuter	7
Figure 4: Structure de chaussée (Alassane et al 2022).....	9
Figure 5: Prélèvement de matériau latéritique	10
Figure 6: Le quartage de la latérite.....	16
Figure 7: Un échantillonneur.....	17
Figure 8: Tamis et balance pour la granulométrie.....	18
Figure 9 : Réalisation de l'analyse granulométrique par sédimentométrie.....	20
Figure 10 : Matériels pour la limite d'Atterberg et la balance utilisée	23
Figure 11: Tamis à fente pour l'essai d'aplatissement	24
Figure 12: Echantillon, billes normalisées et appareil pour l'essai de Los Angeles.....	26
Figure 13 : Cylindre contenant l'échantillon et les billes normalisées et l'appareil Micro- Deval.....	28
Figure 14: Moule Proctor et les Dames Proctor	29
Figure 15: Presse CBR	31
Figure 16: Presse Hydraulique pour la compression.....	33
Figure 17 : Analyse granulométrique du GAL.....	35
Figure 18: Courbe de la limite d'Atterberg du GAL.....	37
Figure 19: Abaque de plasticité de Casagrande simplifié	38
Figure 20 : Courbe Proctor du GAL.....	39
Figure 21 : Courbe CBR du GAL	40
Figure 22: Analyse Granulométrique des classes de concassé	42
Figure 23: Courbe Granulométrique des lithostabs avec le 0/31,5	46
Figure 24: Représentation des optimums Proctor Modifiés du 0/31,5.....	49
Figure 25: Représentation des densités sèches en fonction de taux d'amélioration	51
Figure 26: Représentation des teneurs en eau en fonction du taux d'amélioration	52
Figure 27: Courbe CBR de la litho-stabilisation avec le 0/31,5.....	53
Figure 28: Représentation des Portances CBR en fonction du taux d'amélioration.....	55
Figure 29: Courbes de la compression des échantillons (0/31,5 E2)	57
Figure 30: Prélèvement après régalage	61
Figure 31: Mesure de la déflexion à l'aide de la poutre de Benkelman	64
Figure 32: Passage de la citerne à eau	65
Figure 33: Malaxage et humidification	65
Figure 34: Régalage et compactage	66
Figure 35: Compacteur Monobille	66

INTRODUCTION

La route du développement passe par le développement de la route, telle est la phrase couramment employée lorsqu'il est question de l'importance de la route dans le développement des sociétés humaines. En tant que support de transport terrestre avec les charges qui vont avec, la route doit être suffisamment bien conçue pour jouer son rôle durablement. En Afrique Sub-Saharienne, le sous-sol regorge d'une grande quantité de matériaux latéritiques qui sont exploités en construction routière (assise de chaussée). Les sols les plus utilisés en construction routière en Afrique, au sud du Sahara, sont des sols latéritiques, qu'il s'agisse de graveleux latéritiques, d'argiles latéritiques, de carapaces ou de cuirasses latéritiques (Bohi 2008). Ces sols ont été utilisés pour la construction des routes dans les programmes de développement des infrastructures des pays tropicaux (Bohi 2008) dont le Burkina Faso.

Avec l'évolution des connaissances, des besoins, la récente prise en compte des contraintes environnementales et la rareté des graveleux latéritiques de bonne qualité, les sols latéritiques fins sont de plus en plus utilisés dans plusieurs domaines du génie civil (Mesbah et al. 1999 et Ouattara 2021) et (De Medina J and et al. 2006 et Ouattara 2021). Cependant, les sols latéritiques fins sont considérés comme des sols « à problèmes » (Gidigasou 1976). Cette situation a conduit les professionnels du secteur à réfléchir à des solutions de renforcement des matériaux traditionnellement utilisés en couche de fondation. Parmi ces solutions, il y a la technique de litho-stabilisation (latérite renforcée par du concassé de granite), proposée dans les années 80 par Lompo (1980) et Toé (2007) du laboratoire national du bâtiment et des travaux publics du Burkina Faso.

Au Burkina Faso, pays d'Afrique tropical enclavé, au sous-sol très riche en matériaux latéritiques, la latérite est très utilisée en construction routière notamment en couche d'assise. Il est devenu courant au Burkina de renforcer la latérite par la technique de la litho-stabilisation pour des chaussées très sollicitées. C'est dans ce contexte qu'il est prévu le renforcement de la latérite par du concassé de granite, en couche de fondation pour le projet de bitumage de la rocade Nord du Boulevard des Tansoba entre l'échangeur du Nord et la Route Nationale 3 (RN3). Notre étude sera axée sur ce projet et particulièrement sur la couche de fondation.

Le présent mémoire est structuré en 6 grandes parties.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Tout d'abord, il s'agira de présenter la structure d'accueil et le projet d'étude, ensuite de faire la revue bibliographique sur la litho-stabilisation aux concassés de granite et des différents éléments constitutifs. Par la suite, nous présenterons les objectifs et hypothèses et également les matériels et méthodes utilisés pour mener à bien notre étude. Enfin, nous présenterons les résultats obtenus à la phase d'étude et de contrôle.

I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU CADRE DE L'ETUDE

I.1 Présentation de la structure d'accueil

L'entreprise Globex Construction (GC) a été créée par son Président Directeur Général Monsieur Issaka KANAZOE en 2007 au Burkina Faso. Son siège se trouve à Ouaga 2000 et elle a, depuis sa création, d'importantes réalisations dans le pays ainsi que dans la sous-région Ouest Africaine. L'entreprise compte à son actif quelques filiales dont la bretelle location d'engins, Globex carrière pour la production des concassés de granite et Globex BTP pour la réalisation des structures. Les domaines d'intervention de l'entreprise sont entre autres :

- Les travaux routiers ;
- Les travaux ferroviaires ;
- Les travaux aéroportuaires ;
- Les travaux dans le secteur du bâtiment ;
- Les travaux de constructions métalliques ;
- La réalisation des ouvrages d'art ;
- Les aménagements hydro-agricoles ;
- La production industrielle des granulats ;
- La location des engins aux filiales, aux petites et moyennes entreprises et aux sociétés minières.

I.2 Organigramme de la structure d'accueil

L'entreprise Globex Construction est structurée comme présentée dans la Figure 1:

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

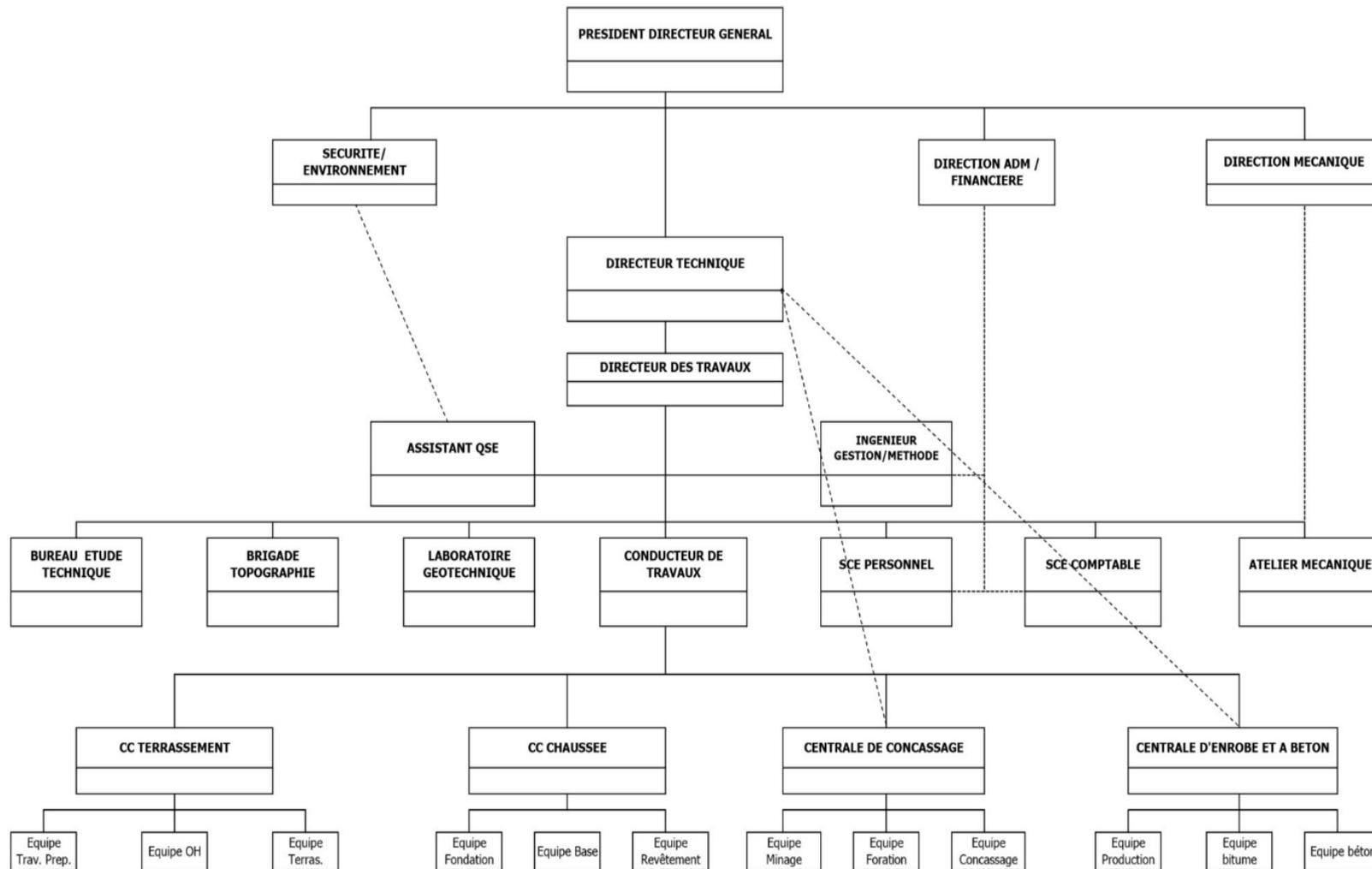


Figure 1: Organigramme GC

I.3 Présentation du cadre de l'étude

I.3.1 Description du projet

Dans le cadre du Plan National de Développement Economique et Social (PNDES), le gouvernement du Burkina Faso a engagé diverses actions en vue d'une part de permettre une bonne structuration des voiries de la ville de Ouagadougou et d'autre part la mobilité interne et la fluidité du trafic à l'intérieur de la ville. De ce fait, le gouvernement Burkinabè représenté par le ministère des infrastructures, a obtenu de la Banque Ouest Africaine de Développement (BOAD) un fond pour le financement des travaux de la Rocade Sud-Est et Nord du Boulevard des Tansoba.

Il est question ici de la réalisation des travaux de construction et de bitumage du boulevard des Tansoba entre l'intersection avec la RN3 et l'échangeur du Nord en lot unique. Le groupement d'entreprises Globex Construction et SOROUBAT assure l'exécution des travaux, le contrôle est assuré par AGEIM-IC et le Ministère des Infrastructures est le Maître d'ouvrage.

I.3.2 Localisation du projet

Le projet est situé à Ouagadougou dans la capitale du Burkina Faso. La rocade nord du Boulevard des Tansoba est la voie reliant la RN3 et l'échangeur du Nord dans le quartier de Tanghin. Elle est sur un linéaire de 10,20 kilomètres et couvre une superficie d'environ 77 hectares.

La Figure 2, montre une vue d'ensemble du trajet de la rocade ainsi que son emplacement.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

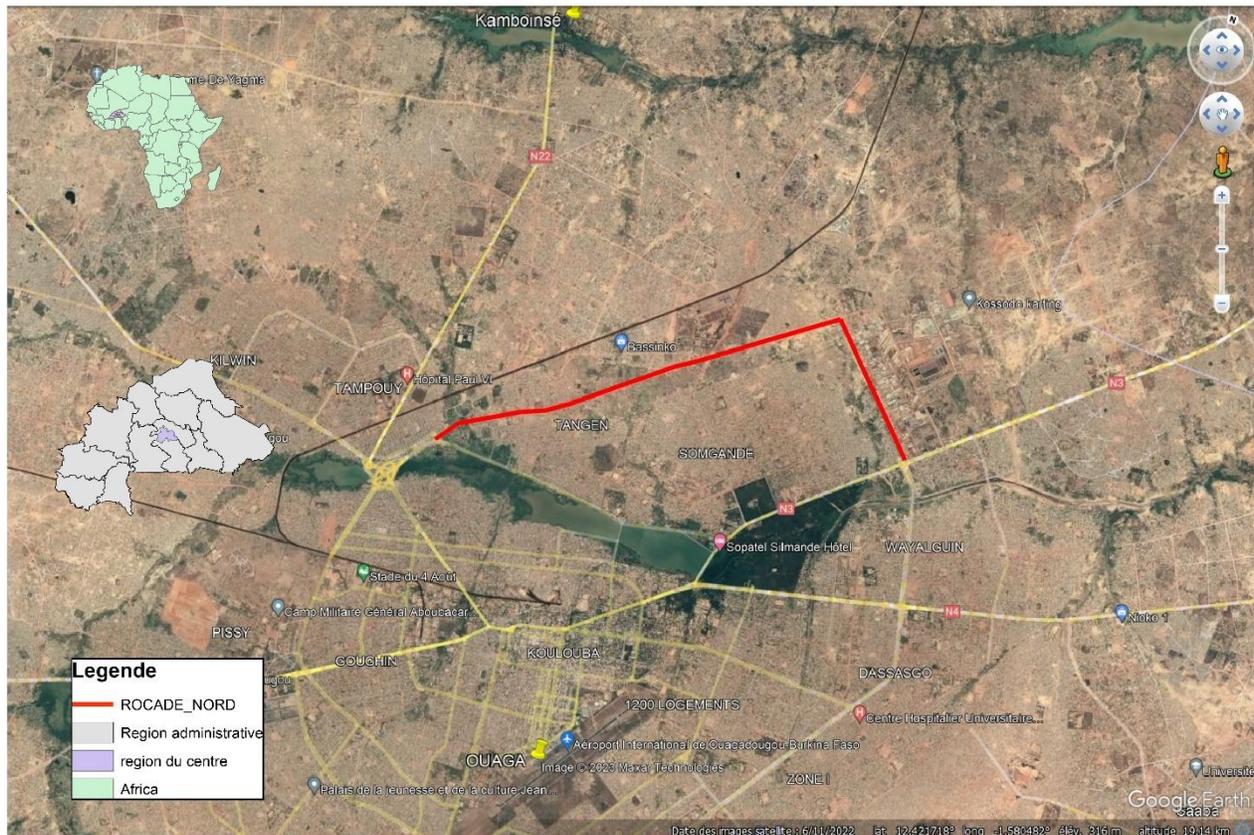


Figure 2: Localisation de la zone d'étude

1.3.3 Spécifications techniques chaussée à réaliser

Les travaux de construction comprennent : deux chaussées, dont chacune comporte 2 voies, chaque voie à une largeur de 3,5 mètres ; deux pistes cyclables de 3,5 mètres chacune ; deux accotements de 0,5 mètre chacun ; un terre-plein central (TPC) de 3 mètres et des trottoirs de 2 mètres de part et d'autre de la route. Il est prévu également un dispositif de drainage qui sera composé de caniveaux couvrant tout le linéaire de la route. Selon le Centre Expérimental de Recherches et d'études des Bâtiments et des Travaux Publics (*Cebtp* 1983) la classe du sol de plateforme est S5 avec ainsi une chaussée à réaliser de classe de trafic T5. La chaussée est constituée de l'extérieure vers l'intérieure :

- D'un revêtement en Béton Bitumineux à Module Elevé (BBME) de 5cm d'épaisseur ;
- D'une couche de base en Grave Bitume (GB) de 10cm d'épaisseur ;

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

- D'une couche de fondation en Graveleux Latéritique Litho-stabilisé (GLL) de 20cm d'épaisseur.

La Figure 3 schématise la structure de la chaussée ainsi que les épaisseurs de ses différentes couches.

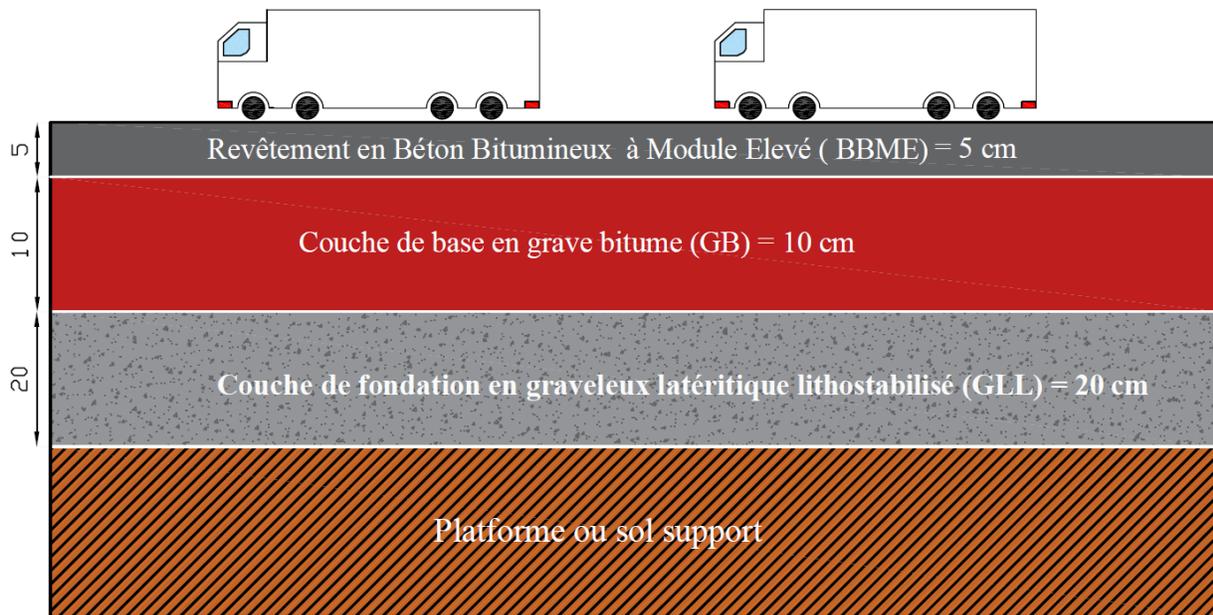


Figure 3: Coupe verticale de la chaussée à exécuter

Notre étude concernera particulièrement la couche de fondation constituée de graveleux latéritiques litho-stabilisés.

II. REVUE DE BIBLIOGRAPHIQUE

II.1 Généralités sur les chaussées

II.1.1 Définition

La structure d'une chaussée est l'ensemble des couches de matériaux rapportés sur un terrain naturel pour permettre la circulation des véhicules. Les couches qui constituent la chaussée sont composées de matériaux de nature différente et de qualité généralement croissante de la base à la surface (Alassane et al 2022). Elle a pour rôle de reporter sur le sol support les efforts dus au trafic.

II.1.2 Types de chaussée

On distingue plusieurs types de chaussée dont (“Lcpc setra” 1994):

- Les chaussées bitumineuses épaisses : elles ont une épaisseur comprise entre 15cm et 40cm et sont composées d'un revêtement bitumineux. Elles disposent d'une assise en matériaux traités aux liants hydrocarbonés ;
- Les chaussées souples : elles ont une épaisseur comprise entre 30cm et 60cm et une couche superficielle en matériaux bitumineuse ;
- Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques ou semi-rigide : elles ont une épaisseur comprise entre 20cm et 50cm et comportent une couche de surface bitumineuse qui repose sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques ;
- Les chaussées à structure mixte : elles sont composées de matériaux bitumineux pour la couche de surface et de base et repose sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques ;
- Les chaussées à structure inverse : elles sont composées de trois couches dont une couche de surface en matériaux bitumineux, une couche granulaire et une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques ;
- Les chaussées en béton de ciment : elles sont constituées d'un revêtement en béton de ciment.

II.1.3 Structure de chaussée

Les chaussées sont des structures (Figure 4) constituées de plusieurs couches :

- Une couche de base : Elle est soumise à des contraintes verticales, des contraintes de cisaillement et à l'effet de poinçonnement dû à la pression des pneumatiques ;
- Une couche de fondation : Elle est destinée à supporter les différentes couches qui constituent la chaussée et d'absorber les contraintes de la circulation transmises en profondeur, en répartissant les charges sur la couche de forme ;
- Une couche de forme : Elle est destinée à recevoir les contraintes et les déformations notables dues au trafic.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATÉRIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

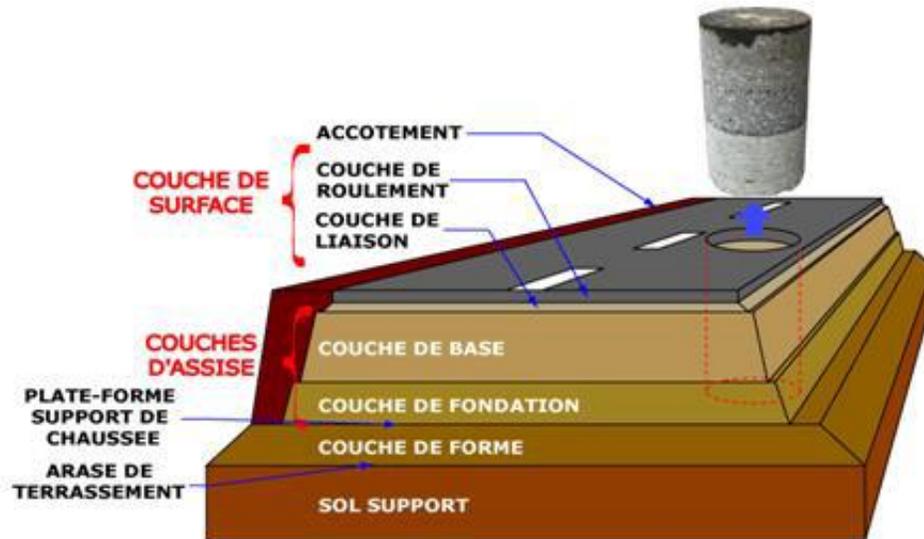


Figure 4: Structure de chaussée (Alassane et al 2022)

II.2 La latérite

II.2.1 Définition

Le terme « Latérite » a vu le jour en 1807 grâce à Francis Buchanan, un médecin de la compagnie des Indes orientales, chargé de faire l'inventaire des territoires nouvellement conquis (Bourgeon et Gunnell 2005). Il définit la latérite (Figure 5) comme étant une masse de terre, rouge durcissant à l'air et se transformant en un matériau utilisable pour la construction (Aubert 1966). Ce terme dérive du latin « later » qui signifie brique et désigne un matériau provenant de l'altération d'une roche mère sous les climats tropicaux. La latérite est essentiellement constituée d'oxyde de fer et d'alumine. Un sol latéritique est désigné en construction routière par les termes graveleux latéritique et grave argileuse latéritique. La granulométrie des sols latéritiques est comprise entre 0/20 mm et 0/40 mm, comportant 10% à 35% de passant au tamis de 80 μ m et 20% à 60% de refus au tamis 2mm (Kikone 2016).



Figure 5: Prélèvement de matériau latéritique

II.2.2 Types de latérite

Les types de latérite selon les différents profils d'altération

- La Cuirasse latéritique, compacte, rocheuse, vacuolaire avec une épaisseur comprise entre 30 à 70cm ;
- L'argile latéritique qui est de couleur jaune, rouge ou rouge vif avec une épaisseur d'environ 80 cm ;
- La roche mère qui est essentiellement constituée de gravillons.

Selon Kanazoe 2011, il existe deux types de latérite suivant la morphologie :

- Les latérites meubles qui sont généralement graveleuse ;

- Les latérites indurées.

II.2.3 Les facteurs de déformation des latérites

Plusieurs facteurs influencent la formation des latérites d'après (Mahamat 2019) et (Salomon 2018) :

- Le climat qui agit grâce à la température (formation d'oxyde de fer et d'alumine) et au bilan hydrique excédentaire ou déficitaire (phénomène de lessivage due à la pluviométrie) ;
- La topographie qui agit grâce au drainage des eaux due aux pentes du relief et des érosions ;
- La végétation joue un rôle dans le processus de latéritisation grâce au dépôt de matière organique et des bactéries ;
- La roche-mère qui dépend de la localité ;
- Le temps : les pores des roches retiennent les eaux de pluie qui ruissellent au fil du temps.

II.2.4 La latérite en construction routière

Actuellement les études de génie civil portent sur les limites d'Atterberg et la portance des graveleux latéritique en vue de la construction des BTC, des BLT, des routes, des pistes rurales et des barrages en terre.

Un des avantages essentiels du matériau latéritique est sa faible possibilité de gonflement à l'eau, ce qui en fait un excellent produit de compactage, surtout quand il n'est pas trop sableux (Maignien 1966).

II.3 Le granite

II.3.1 Définition

Le granite vient du latin granum qui signifie grain en référence à la texture granuleuse. Dans l'antiquité, la plupart des roches granitiques au sens large étaient appelés « syénites » mais ce terme est aujourd'hui réservé aux roches plutoniques dépourvue de quartz apparenté au granite. Le granite se définit comme étant une roche plutonique à texture grenue, riche en quartz, qui comporte plus de feldspath alcalin que de plagioclase. Il est caractérisé par sa constitution en minéraux : quartz, feldspaths potassiques (orthoses) et plagioclases, micas (biotite ou muscovite). Le granite et ses roches associées forment l'essentiel de la croûte continentale de la planète. Le granite est le résultat

du refroidissement lent, en profondeur, de grandes masses de magma intrusif qui formeront le plus souvent des plutons, ces derniers affleurant finalement par le jeu de l'érosion qui décape les roches sus-jacentes. Le granite est une roche acide c'est-à-dire riche en silice et dense.

II.3.2 Les types de granite

D'après la littérature Kanazoe 2011, il existe différents types de granites. On peut citer entre autres :

- Les granites calco-alcalins : Ils sont d'origine mixte et ont la particularité d'être grenus ;
- Les granites tholéitiques : Ils sont de teintes claires et riches en feldspaths ;
- Les granites alcalins : Ils sont constitués de minéraux appelés feldspaths alcalins.
- Les leuco granites : Ils sont relativement riches en alumine et sont caractérisés par la présence de muscovite (mica blanc) à côté de la biotite ;
- Les granites d'anatexie : Ils sont issus de la fusion de la croûte continentale.

II.4 Les techniques de stabilisation des sols

Les techniques de stabilisation des sols sont des procédés qui permettent la modification des propriétés géotechniques des sols pour obtenir des sols de bonne portance pour leur éventuelle utilisation. Cette stabilisation a pour objectif de fixer durablement l'eau dans les sols. On rencontre plusieurs méthodes de stabilisation regroupée en 3 grandes parties : la technique de stabilisation aux liants hydrocarbonés, la technique de stabilisation chimique et mécanique.

II.4.1 La technique de stabilisation aux liants hydrocarbonés

Il s'agit d'une stabilisation des graves à l'aide d'un produit hydrocarboné comme le bitume et le goudron. Les mélanges obtenus sont dits graves-bitume ou graves-émulsion. Les dosages à respecter varient en fonction du type d'application, de la nature et de la qualité des matériaux à traiter.

II.4.2 La technique de stabilisation chimique

Cette technique de stabilisation se fait à l'aide de produit chimique comme la chaux, le ciment, le chlorure de sodium et calcium, l'asphalte... Les produits chimiques les plus utilisés sont la chaux et le ciment.

- ❖ Stabilisation au ciment :

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

La stabilisation au ciment est une amélioration des matériaux latéritiques par apport à un ciment afin d'obtenir un matériau de bonne qualité en vue d'une utilisation en construction routière. La réaction d'hydratation du ciment présente l'avantage d'une évolution rapide, ce qui permet d'obtenir les résistances mécaniques nécessaires dans un délai court.

❖ Stabilisation à la chaux

Elle consiste à utiliser la chaux vive ou éteinte pour l'amélioration des propriétés des matériaux latéritiques. Les pourcentages de chaux utilisés pour l'amélioration des performances mécaniques sont le plus souvent compris entre 4 et 7%. Cette adjonction permettra de réduire la teneur en eau, d'atteindre une densité optimale de compactage et d'augmenter la résistance mécanique du matériau.

II.4.3 La technique de stabilisation mécanique par apport de matériaux

Cette technique permet de stabiliser les sols à l'aide de matériaux. Il s'agit de l'amélioration spécifique de la granulométrie des sols par ajout d'autres types de matériaux. Les techniques de stabilisation les plus reconnues sont : ajout de sable pour amaigrir une plate-forme argileuse ou de cailloux pour lui donner du squelette, ajout de géotextiles dits additifs de structure.

❖ Stabilisation aux géotextiles

Les géotextiles sont des tissus généralement en matériaux synthétiques, destinés aux travaux de génie civil et d'infrastructure hydraulique. Il s'agit d'une trame, tissée ou non, en matière synthétique, qui a la propriété de laisser passer l'eau. En génie civil, ils font partie de la famille des géosynthétiques. Ce type de géotextile sert aussi à protéger les drains et ouvrages de drainage, afin d'éviter leur colmatage et donc de participer à leur pérennité.

Il existe aussi des géotextiles de renforts utilisés en assise de plateforme routière et ferroviaire ainsi que pour armer les massifs de remblais renforcés.

Ils définissent les caractéristiques techniques suivantes :

- Résistance à la traction ;
- Allongement à la rupture ;
- Perméabilité ;
- Porosité

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

- ❖ Technique de la litho-stabilisation
 - Historique

La litho-stabilisation est née des études géotechniques réalisées au LNBTP/Burkina concernant le projet d'aménagement de la route Ouagadougou-Yako. Ces études ont été menées par Pierre Lompo, le chef de service géotechnique routière du laboratoire et présenté à la IV^{ème} Conférence Routière Africaine qui s'est tenue entre le 20 et le 25 Janvier 1980 à Nairobi au Kenya. Les essais avaient été réalisés sur un GAL présentant les caractéristiques suivantes :

% de fines (< 0.08mm) : 25

Indice de Plasticité (IP) : 20

CBR à 95% de la densité sèche maximale et après 4 jours d'imbibition : 58

Ce matériau a été amélioré à 10, 15, 20 et 25% de concassé 5/15 ; ces résultats ont montré que l'indice portant CBR à 95% est égal à 80 lorsque le matériau est amélioré à 30% de concassé. Cependant cette étude n'a pas connu de suite immédiate ; C'est par la suite que cette technique a été utilisée en couche de base avec le concassé 12/40 par l'entreprise « Bourdin et chaussée » pour la réalisation de la route Ouagadougou/ Koudougou (Lompo 1980).

- Avantages de la litho-stabilisation

La litho-stabilisation est une technique qui présente de nombreux avantages au triple plan, technique, environnemental et économique.

- Sur le plan environnemental :
 - La réduction de la déformation des composantes du sol ;
 - L'exploitation limitée des gisements ;
- Sur le plan technique :
 - La facilité de la mise en œuvre ;
 - La répartition uniforme des charges sur le sol support ;
 - L'amélioration de la portance et des capacités mécaniques ;
 - La réduction de la dégradation des chaussées.
- Sur le plan économique :

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

- Le gain concernant la durée de la mise en œuvre ;
- Le faible coût des transports ;
- La bonne résistance de la chaussée au moindre coût.

III. OBJECTIFS ET HYPOTHESES DE L'ETUDE

III.1 Objectifs de l'étude

L'objectif général de cette étude est de proposer la formulation (mélange sol latéritique et concassés) qui présente les meilleures caractéristiques mécaniques pour une utilisation en couche de fondation de la voie reliant la RN3 à l'échangeur du Nord.

De façon spécifique il s'agira de :

- Déterminer les propriétés physique et mécanique de la latérite et vérifier si la latérite répond aux exigences du CPT ;
- Déterminer les propriétés physiques et mécaniques des mélanges latérites + concassés de granites à différents pourcentages (20% granites+ 80% latérite, 25% granites+75%, 30%granites+ 70% latérite) pour toutes les classes granulaires (0/31,5, 5/25 et 15/25) ;
- Identifier le mélange qui présente les meilleures caractéristiques physiques et mécaniques.

III.2 Hypothèses de l'étude

- Il existe une classe de concassé entre le 0/31,5, 5/25, et le 15/25 plus approprié pour la réalisation de la litho-stabilisation ;
- Il existe un meilleur pourcentage de concassé qui produit une bonne portance CBR et une bonne résistance à la compression.

IV. MATERIELS ET METHODES

IV.1 Essais d'identification

IV.1.1 Echantillonnage

L'échantillonnage est un processus permettant de prélever un échantillon de matériau tel que cet échantillon soit représentatif de l'ensemble du matériau qu'on soumet à l'étude. Il existe différentes méthodes d'échantillonnage :

- La méthode par le quartage : c'est une méthode manuelle utilisée pour les solides en vrac. Le quartage est la réduction de la taille d'un échantillon en formant un tas conique qui est étalé en une galette plate circulaire. La galette est divisée en quatre parts ; la Figure 6 nous présente un exemple d'échantillonnage par quartage.



Figure 6: Le quartage de la latérite

- La méthode par l'échantillonneur (Figure 7) : l'échantillonneur est un appareil qui permet de diviser facilement en deux parties représentatives la totalité d'un échantillon initial, chaque partie recueillie dans un bac.



Figure 7: Un échantillonneur

Dans le cadre de notre étude, nous avons utilisé la méthode du quartage pour tous les matériaux.

IV.1.2 Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer et d'observer les différents diamètres de grains qui constituent un granulat. L'analyse granulométrique se fait par tamisage à sec pour les sols dont le diamètre des grains est supérieur à 0,08mm et par sédimentométrie pour les sols dont le diamètre des grains est inférieur à 0,100mm. L'analyse granulométrique par sédimentométrie a donc été utilisée sur les fines de la latérite tandis que l'analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage a été appliquée aux autres fractions de sol latéritique, différentes classes de concassé ainsi qu'aux différents mélanges litho-stabilisés. La norme "NF EN 933-1" 2012 est exploitée pour l'analyse granulométrique par tamisage à sec et celle "NF P94-057" 1992 est exploitée pour la méthode sédimentométrique.

- Analyse granulométrique par tamisage à sec
- Principe

L'essai consiste à peser et classer à l'aide de tamis des grains selon leur diamètre. Les grains ainsi isolés peuvent être pesés pour déterminer la proportion de chacun dans le matériau.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

- Mode opératoire
 - L'échantillon choisis après quartage est séché à l'étuve durant 4h de temps à 105°C ;
 - Il est pesé, lavé à plusieurs reprises au tamis de 80µm et est remis à l'étuvé à nouveau (24h à 105°C) ;
 - Après l'étuvage, il est à nouveau pesé avant d'être versé dans la colonne de tamis (voir Figure 8) qui est classée par ordre décroissant des mailles (cette colonne est agitée manuellement ou mécaniquement) ;
 - Enfin, les refus des tamis sont pris (en commençant par celui qui a la plus grande ouverture) et pesés de façon cumulée.



Figure 8: Tamis et balance pour la granulométrie

- **Expression des résultats**

La masse des refus cumulés est rapportée à celle de l'échantillon sec et les pourcentages de refus sont calculés par la formule : $\%_{refus} = \frac{R_i}{M_s} * 100$; R_i est la masse de refus cumulé à chaque tamis et M_s la masse de l'échantillon sec. Les pourcentages de tamisât sont calculés par la formule :

$$\%_{tamisat} = 100 - \%_{refus}$$

Après ces calculs, les résultats obtenus serviront à déterminer la courbe granulométrique du matériau étudié. La courbe granulométrique est une représentation graphique donnant :

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

- La masse de tamisât cumulée (%) en ordonnée sur une échelle arithmétique
- Le diamètre des particules en abscisse sur une échelle logarithmique.

Pour caractériser la granulométrie d'un sol on peut déterminer les rapports suivants :

- Le coefficient d'uniformité de Hazen : $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$
- Le coefficient de courbure : $C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \cdot d_{60}}$

D'où d_x est la dimension de grain correspondant à x % en poids de tamisât. Un sol tel que :

- $C_u < 2$, est dit à granulométrie uniforme ou serrée ;
- $C_u > 2$, est dit à granulométrie étalée ou variée.

Pour $1 < C_c < 3$, donne une granulométrie bien étalée et le sol est dit bien gradué.

➤ Essai d'analyse granulométrique par sédimentométrie

L'analyse granulométrique par sédimentométrie permet de déterminer la distribution en poids des particules fines (diamètre inférieur à 0,100mm) d'un sol en fonction de leurs dimensions. La sédimentométrie est un essai qui complète l'analyse granulométrique par tamisage des sols ("Méthode d'essai LCPC" 1887).

- Mode opératoire
 - L'échantillon de sol est obtenu par tamisage par voie humide au tamis de 0,100mm et les passants sont recueillis dans un bac ;
 - Après décantation, il est siphonné (au maximum l'eau devenue claire) avant de le mettre à l'étuve de dessiccation pour éliminer toute l'eau par évaporation ;
 - Une fois le matériau bien sec, il est recueilli et désagrégé pour l'homogénéiser avant de prélever la quantité nécessaire pour la réalisation de l'essai (40g de matériau pour une éprouvette de 1litre dans notre cas) ;
 - Le matériau prélevé (40g) est mis dans l'éprouvette (1litre) et 220ml d'eau distillée et 30ml de défloculants y sont ajoutés ;

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

- Après avoir laissé au repos 12h à 15h de temps il est agité et complété par de l'eau distillée jusqu'à 1 litre exactement de l'éprouvette ;
- Enfin, il est agité vigoureusement à l'aide d'un agitateur. Le retrait de l'agitateur se fait au même moment que le déclenchement du chronomètre avant d'y introduire lentement le densimètre nettoyé au préalable. Les lectures se font en fonction du temps indiqué dans la norme (30s, 1min, 2min, 5min...) au sommet du ménisque et la température est prise régulièrement.

La Figure 9 représente l'échantillon après siphonnage, étuvage et lors de la réalisation de l'essai proprement dit.

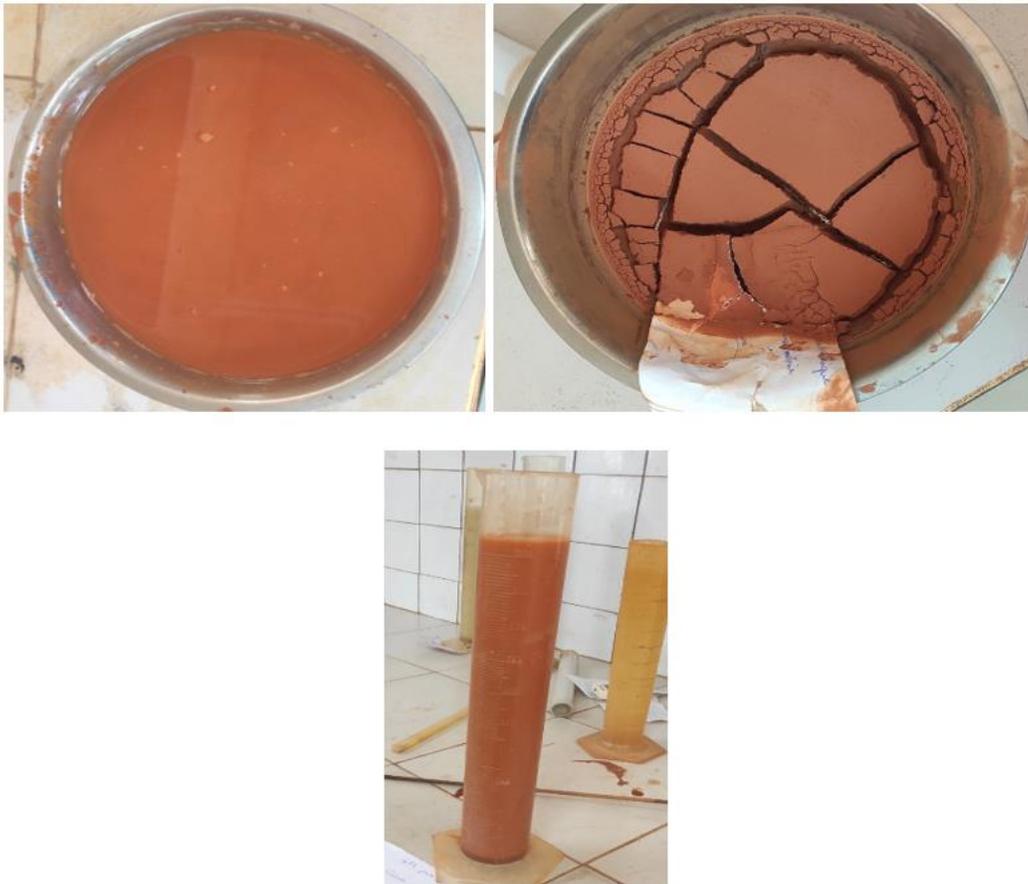


Figure 9 : Réalisation de l'analyse granulométrique par sédimentométrie

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

- Expression des résultats

Le pourcentage pondéral d'éléments inférieurs ou égaux à D contenus dans la suspension et le diamètre équivalent des plus grosses particules non sédimentées sont déterminés pour chaque lecture.

- Le pourcentage d'éléments inférieurs ou égaux à D : $p = \frac{V_s}{m} * \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_w} * \rho_w \left[\frac{\rho_t}{\rho_w} - 1 \right]$ Avec :
p le pourcentage des particules de diamètre inférieur ou égal à D ; V_s le volume de la suspension ; m la masse de sol sec prélevée sur le tamisât à 0,100mm ; ρ_s la masse volumique des particules solides ; ρ_w la masse de l'eau distillée ; ρ_t la masse volumique de la suspension au temps t.
- Le diamètre équivalent D : $D = \left[\frac{1}{g} * \frac{18\eta}{\rho_s * \rho_w} * \frac{H_t}{t} \right]^{(0,5)}$ Avec : η la viscosité dynamique de la solution ; ρ_s la masse volumique des particules solides ; ρ_w la masse volumique de l'eau distillée ; g l'accélération de la pesanteur ; H_t la profondeur effective du centre de poussée du densimètre à l'instant t ; t le temps écoulé depuis le début de l'essai.

IV.1.3 Les limites d'Atterberg

Les limites d'Atterberg sont des constantes physiques conventionnelles qui marquent les seuils entre :

- Le passage d'un sol de l'état liquide à l'état plastique (limite de liquidité : W_L)
- Le passage d'un sol de l'état solide (limite de plasticité : W_P)

La méthode utilisée est celle de la norme Française P94 -051 ("NF P94 -051" 1993). Cet essai a concerné uniquement la latérite et le mélange lithostab avec le concassé de la classe 0/31,5 aux différents pourcentages.

- Principe

L'essai consiste à rechercher la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquée dans un sol placé dans la coupelle de l'appareil de Casagrande se referme lorsque la coupelle et son contenu sont soumis à des chocs répétés. Il consiste également à rechercher la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol de 3mm de diamètre confectionné manuellement, se fissure.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

- Mode opératoire
 - Après échantillonnage du sol et homogénéisation par brassage, une masse m de matériau est imbibée durant 24h au moins ;
 - Le matériau imbibé est alors tamisé par voie humide au tamis 400 μ m et l'eau de lavage est recueilli pour décantation durant au moins 12h avant d'être siphonné et laissé à l'air libre jusqu'à évaporation complète de l'eau restante ;
 - L'essai est alors réalisé à l'aide de l'appareil de Casagrande après homogénéisation du matériau ;
 - La coupelle est remplie avec la pâte et à l'aide de l'outil à rainurer, tenir perpendiculairement la partie biseautée de l'outil vers l'avant de l'appareil, et diviser la pâte en deux ;
 - La coupelle fixée sur l'appareil est soumise, à l'aide de la manivelle, à une série de chocs réguliers ;
 - Le nombre de coups nécessaires pour que les lèvres de la rainure se rejoignent sur une longueur de 1 cm est noté ;
 - Deux échantillons du matériau de part et d'autre de la rainure pour mettre à l'étuve. Ces échantillons donnent les teneurs en eau ; La recherche de la limite de plasticité se fait après celle de la limite de liquidité ;
 - L'échantillon est desséché et enroulé de façon à former un rouleau ayant 3 mm de diamètre. La limite de plasticité est atteinte quand le rouleau se fissure en son milieu et un prélèvement est effectué pour mettre à l'étuve. La Figure 10 présente le matériel pour la réalisation de l'essai.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »



Figure 10 : Matériels pour la limite d'Atterberg et la balance utilisée

- Expression des résultats

La limite de liquidité ω_L en pourcentage est la valeur de la teneur en eau lue sur la courbe au niveau des 25 coups ;

La limite de plasticité ω_P en pourcentage est la moyenne des teneurs en eau des deux rouleaux de 3mm ;

L'indice de plasticité est donné par la formule $IP = \omega_L - \omega_P$

IV.1.4 La mesure du coefficient d'aplatissement

La détermination du coefficient d'aplatissement est l'un des tests permettant de caractériser la forme plus ou moins massive des granulats. La méthode utilisée est la méthode de la norme Française "NF EN 933-3" 2012.

- Principe

Le coefficient d'aplatissement (A) s'obtient en faisant une double analyse granulométrique, en utilisant successivement, et pour le même échantillon de granulats :

- Une série de tamis normalisés à mailles carrées
- Une série de tamis à fentes de largeurs normalisées
- Mode opératoire

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

- L'échantillon de matériau soumis à l'essai est lavé et séché à l'étuve à $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ pendant au moins 4 h et est ensuite écrêté au tamis à mailles carrées de 4mm avant d'être pesé ;
- L'opération est débutée sur une colonne de tamis à mailles carrées et le refus de chaque classe granulaire est pesé avant le tamisage avec les tamis à fente d'écartement E correspondant ;
- Les passants sur la grille correspondant à chaque classe granulaire sont pesés.

La Figure 11 présente les tamis à fente utilisés pour la mesure du coefficient d'aplatissement.



Figure 11: Tamis à fente pour l'essai d'aplatissement

- Expression des résultats

On peut donc définir un coefficient d'aplatissement partiel pour une classe granulaire donnée : $A_i = \frac{m_i}{M_i} * 100$; A_i est le coefficient d'aplatissement partiel ; M_i est la masse de chaque classe granulaire partiel ; m_i est la masse de passant à travers le tamis à fente d'écartement E.

Le coefficient d'aplatissement global A s'exprime en intégrant les valeurs partielles déterminées sur chaque classe granulaire : $A = \frac{\sum m_i}{\sum M_i} * 100$; $\sum M_i$ est la masse totale des classes granulaires ; $\sum m_i$ est la masse totale de passant à travers le tamis à fente d'écartement E.

IV.1.5 Los Angeles

L'essai Los Angeles permet de mesurer les résistances combinées à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques des éléments d'un échantillon de granulats. La méthode utilisée est celle de la norme Française "NF P18 573" 1990 p. 18. Cet essai s'effectue uniquement sur les concassés.

- Principe

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6mm produite en soumettant le matériau aux chocs des boulets normalisés dans la machine de Los Angeles.

- Mode opératoire

- Le matériau soumis à l'étude est lavé, étuvé et tamisé entre les tamis correspondant à la classe granulaire choisie, et une masse $M = 5000 \text{ g} \pm 2\text{g}$ de la classe granulaire du matériau est prélevée ;
- En fonction de la classe granulaire choisie, un abaque donne le nombre de billes normalisées à utilisées pour l'essai ;
- Le matériau et les boulets sont introduit dans le cylindrique de l'appareil et le couvercle est remplacé ;
- Ensuite, la machine effectue 500 rotations sauf pour la classe 25-50 ou l'on effectue 1000 rotations à une vitesse régulière comprise entre 30 et 35 tours/min ;
- Après l'essai, le matériau est recueilli dans un bac placé sous l'appareil et est tamisé avec le tamis 1,6mm ;
- Le refus du tamis 1,6mm est lavé et séché à 105°C avant d'être pesé ; Soit m la masse pesée.

La Figure 12 est la représentation de l'appareil de Los Angeles, de quelques boulets ainsi que de l'échantillon avant et après réalisation de l'essai.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »



Figure 12: Echantillon, billes normalisées et appareil pour l'essai de Los Angeles

- Expression des résultats

Le coefficient de Los Angeles est obtenu par le rapport : $C_{LA} = \frac{M-m}{M} * 100$

IV.1.6 Micro-Deval

L'essai micro- Deval a pour but la détermination de la résistance à l'usure par le frottement réciproque des éléments d'un granulat. La norme "NF EN 1097-1" 2011 a été utilisée pour la réalisation des essais. Cet essai s'effectue uniquement sur les concassés.

- Principe

Le matériau soumis à l'essai évolue par frottement des éléments les uns sur les autres, sur le cylindre de la machine en rotation et sur les boulets (charge abrasive). La granulométrie de l'échantillon doit être conforme à l'une des classes granulaires types : 4-6,3 ;6,3-10 ;10-14 ;25-50.

- Mode opératoire

- Le matériau soumis à l'essai est tamisé entre les tamis correspondant à la classe granulaire choisie, et une masse $M = 500 \text{ g} \pm 2\text{g}$ de la classe granulaire du matériau est prélevée ;
- En fonction de la classe granulaire choisie, un abaque donne le nombre de billes normalisées à utilisées pour l'essai ;
- Le matériau, la masse d'eau (comme étant l'essai Micro-Deval humide) et les billes sont introduit dans les cylindres de l'appareil qui sont ensuite placés dans la machine ;
- L'appareil est mis en marche pendant 2h soit 12000 ± 10 tours ;
- Après l'essai, le matériau et les billes sont recueillis et les refus au tamis 1,6mm sont conservés ; Soit m la masse du refus au tamis de 1,6mm.

La Figure 13 présente l'appareil, l'échantillon, la masse d'eau et de boulets à introduire dans le cylindre :

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »



Figure 13 : Cylindre contenant l'échantillon et les billes normalisées et l'appareil Micro- Deval

- Expression des résultats

La résistance à l'usure s'exprime par le coefficient de micro-Deval : $C_{MD} = \frac{M-m}{M} * 100$

IV.2 Essais géomécaniques

IV.2.1 Proctor Modifié

L'essai Proctor est un essai géotechnique qui permet de déterminer la teneur en eau nécessaire pour obtenir la densité sèche maximale d'un échantillon de sol par compactage à une énergie bien définie et fixée selon le type de l'essai. Il existe deux types d'essai Proctor :

- Le Proctor normal qui est généralement utilisé pour les couches de forme et pour les remblais ;
- Le Proctor modifié qui est utilisé pour les couches d'assise.

Les directives de la norme "NF P94-093" 2014 ont été suivies et dans notre cas il s'agit d'un Proctor modifié. L'essai Proctor modifié a concerné la latérite, les différents mélanges aux différents pourcentages.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

- Principe

Le principe de l'essai consiste à humidifier un matériau à plusieurs teneurs en eau et à le compacter selon un procédé et une énergie conventionnelle. Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérée, on détermine la masse volumique sèche du sol et on établit la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau.

- Mode opératoire

- On doit solidariser moule, embrase et rehausse, lubrifier les parois intérieures du moule ;
- Ensuite, le matériau est introduit dans le moule pour que la hauteur de la première couche après compactage soit légèrement supérieure au tiers de la hauteur du moule respectivement pour l'essai Proctor normal et pour l'essai Proctor modifié ;
- Cette couche est compactée avec la dame Proctor (voir Figure 14) en appliquant 56 coups et on répète l'opération jusqu'à la cinquième couche ;
- Après le compactage de la cinquième couche, on retire la rehausse, et on rase soigneusement au niveau du moule en opérant radialement du centre vers la périphérie du moule ;
- L'ensemble du moule avec le matériau est pesé, on démoule le matériau et des échantillons représentatifs sont extraits pour en déterminer les teneurs en eau.

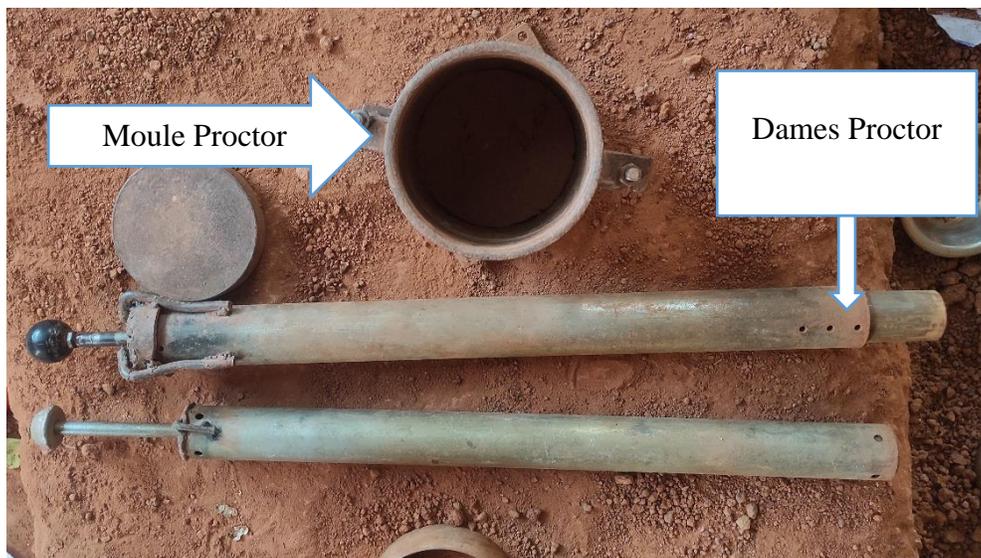


Figure 14: Moule Proctor et les Dames Proctor

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

- Expression des résultats

Pour chaque éprouvette compactée il convient de calculer :

- La teneur en eau ;
- La masse de matériau sec contenu dans le moule ;
- La masse volumique du matériau sec en tenant compte du volume réel du moule utilisé ;

On trace ensuite la courbe ajustée sur les points expérimentaux. Sauf dans le cas des matériaux très perméables, cette courbe présente un maximum dont les coordonnées sont dénommées respectivement masse volumique sèche optimum et teneur en eau Optimum Proctor Normal (ou Proctor Modifié suivant l'essai réalisé).

IV.2.2 CBR

L'essai CBR (Californian Bearing Ratio) est un essai qui permet de déterminer la capacité de portance d'un sol compacté, en estimant sa résistance au poinçonnement, en fonction de son état, sa densité et son humidité, ainsi que les charges appliquées. Il mesure la résistance à l'effort tranchant d'un sol sous conditions d'humidité et de densité contrôlées et du niveau de compactage variable, en permettant d'obtenir un pourcentage du rapport de portance. La norme de référence utilisée est la norme "NF P94-078" 1997 p. 94. L'essai CBR a concerné la latérite, les différents mélanges aux différents pourcentages.

- Principe

L'essai consiste à mesurer les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à une vitesse constante dans une éprouvette de matériau précédemment immergée durant 4 jours.

- Mode opératoire
 - Trois moules CBR sont apprêtées pour la réalisation de l'essai ;
 - Le compactage du matériau se fait à l'aide de la dame Proctor Modifié et en raison de cinq couches par moules ;
 - Le compactage est effectué à différent coups pour chaque moule : 10 coups, 25 coups, et 56 coups, et cela par couche ;

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

- Après le compactage de la cinquième couche, on retire la rehausse, et on rase soigneusement au niveau du moule en opérant radialement du centre vers la périphérie du moule ;
- Ensuite on pèse l'ensemble du moule avec le matériau puis on retourne le moule pour le fixer à la plaque de base ;
- On dépose les surcharges dans le moule et imbiber les trois moules pendant quatre jours avant le poinçonnement ;
- Pour le poinçonnement on place l'ensemble au niveau de la presse, de façon centrée au piston. Le poinçonnement se fait à vitesse constante et on note les efforts de poinçonnement correspondant à des valeurs d'enfoncements prédéfinies par la norme.

La Figure 15 présente la presse CBR utilisée pour le poinçonnement.



Figure 15: Presse CBR

- Expression des résultats

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Les valeurs obtenues lors du poinçonnement sont reportées sur un graphe effort-déformation. On lit sur chacune des courbes, les valeurs des efforts correspondant à 2,5mm et 5mm d'enfoncement et celle-ci sont utilisées au niveau des formules :

$$\frac{\text{Effort de pénétration à 2,5mm d'enfoncement (kN)}}{13,35} * 100$$

$$\frac{\text{Effort de pénétration à 5mm d'enfoncement (kN)}}{20} * 100$$

L'indice recherché est par convention la plus grande des valeurs. Les grandes valeurs ainsi obtenues des trois courbes sont utilisées pour le tracé de la courbe de saturation sur laquelle est lue les indices CBR après immersion à 98%, 95% et 90% de la densité sèche maximale de référence.

IV.2.3 Essai de compression simple

L'essai de compression permet de connaître la résistance à la compression et la capacité à supporter les charges des éprouvettes de matériaux confectionnées au laboratoire ou obtenues à partir des carottes. Les normes "NF EN 13286-41" 2003 et "NF EN 13286-43" 2003 ont été exploitées pour l'obtention de la résistance à la compression et du module d'élasticité. Cet essai sera uniquement utilisé sur le meilleur pourcentage (pourcentage donnant le CBR le plus élevé) de chaque classe de concassé.

- Principe

L'essai consiste à confectionner des éprouvettes et à les compresser jusqu'à rupture. L'effort maximal de chaque éprouvette est enregistré et la résistance à la compression est alors calculée ; en plus la courbe contrainte déformation est enregistrée lors de l'essai pour permettre l'obtention du module d'élasticité.

- Mode Opérateur

Le moulage se fait comme celui du CBR sauf que le compactage s'effectue en raison de 5 couches de 56 coups chacune. Les moules fendus du CBR utilisées pour la confection des éprouvettes ont une hauteur H= 12,6 ; un diamètre D= 15,2 et un rayon R= 7,6. Aussi, les éprouvettes après compactage ont été conservé dans du plastique pour réduire les effets de l'air du milieu de

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

conservation sur les éprouvettes pendant 7 jours avant l'exécution de l'essai proprement dit. Les moules ainsi que les éprouvettes doivent être peser avec exactitude. L'essai s'effectue à l'aide d'un dispositif de compression (Figure 16) et l'éprouvette est placée au centre du plateau inférieur et pour le début de l'essai.

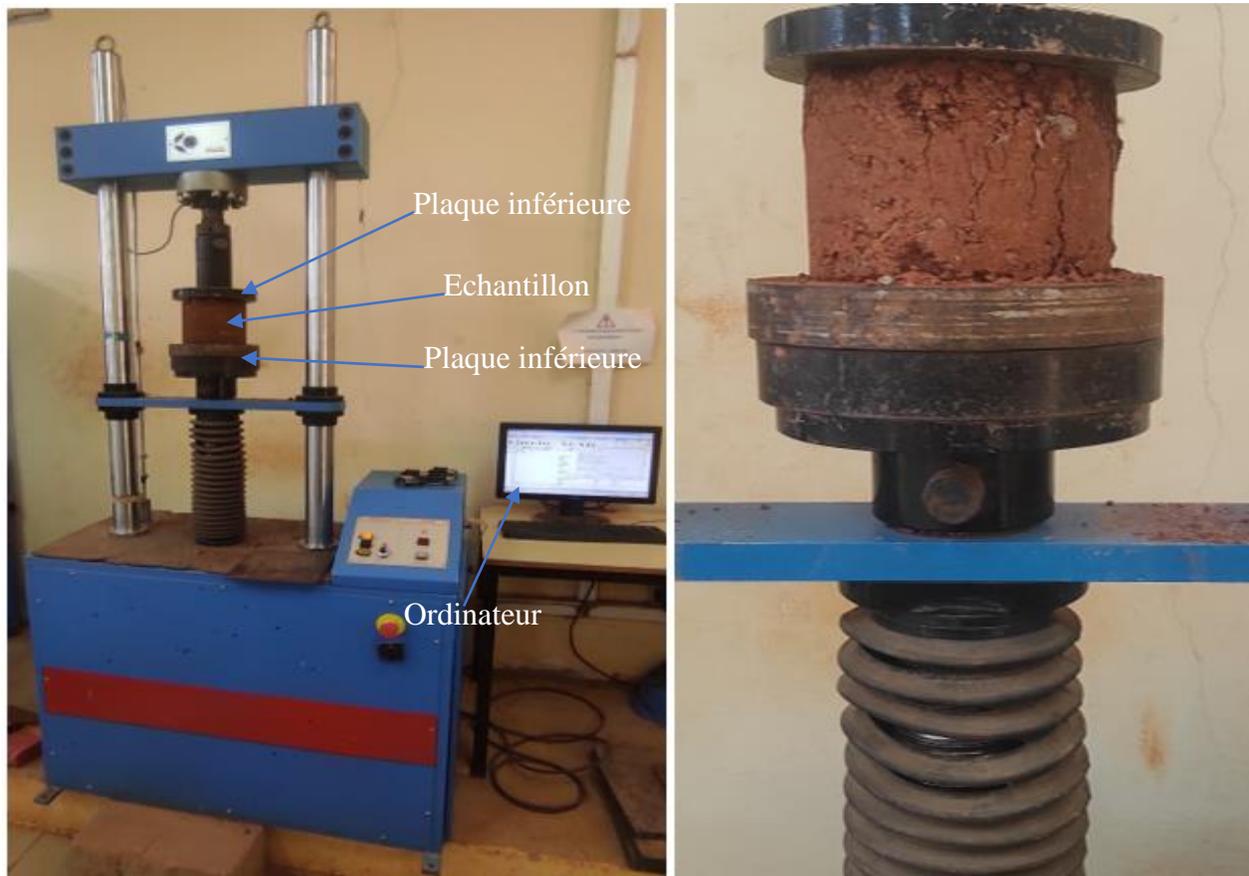


Figure 16: Presse Hydraulique pour la compression

- Expression des Résultats

Les données recueillies sont traitées à l'aide de Excel pour pouvoir. De ces données on obtiendra la contrainte, la déformation et le module d'élasticité. Les courbes contrainte- déformation sont représentées. La résistance à la compression est donnée par la formule :

$$R_c = \frac{F}{A_c}$$

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

R_c , est la résistance à la compression de l'éprouvette ;

F, est la force maximale supportée par l'éprouvette ;

A_c , est la surface de section transversale de l'éprouvette.

Le module d'élasticité en compression est donné par la formule :

$$E_c = \frac{1,2 * F_r}{\pi * D^2 \varepsilon_3}$$

E_c , est le module d'élasticité en compression ;

F_r , est la force maximale ;

D est le diamètre de l'éprouvette ;

ε_3 , est l'allongement longitudinal de l'éprouvette lorsque $F = 0,3 * F_r$

V. RESULTATS ET DISCUSSIONS A LA PHASE D'ETUDE

V.1 Caractérisation du graveleux latéritique et des différentes classes de concassés

V.1.1 Caractérisation du graveleux latéritique

❖ Analyse Granulométrique par tamisage et Sédimentométrie du graveleux latéritique

La Figure 17 présente les résultats de l'analyse granulométrique de la latérite.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

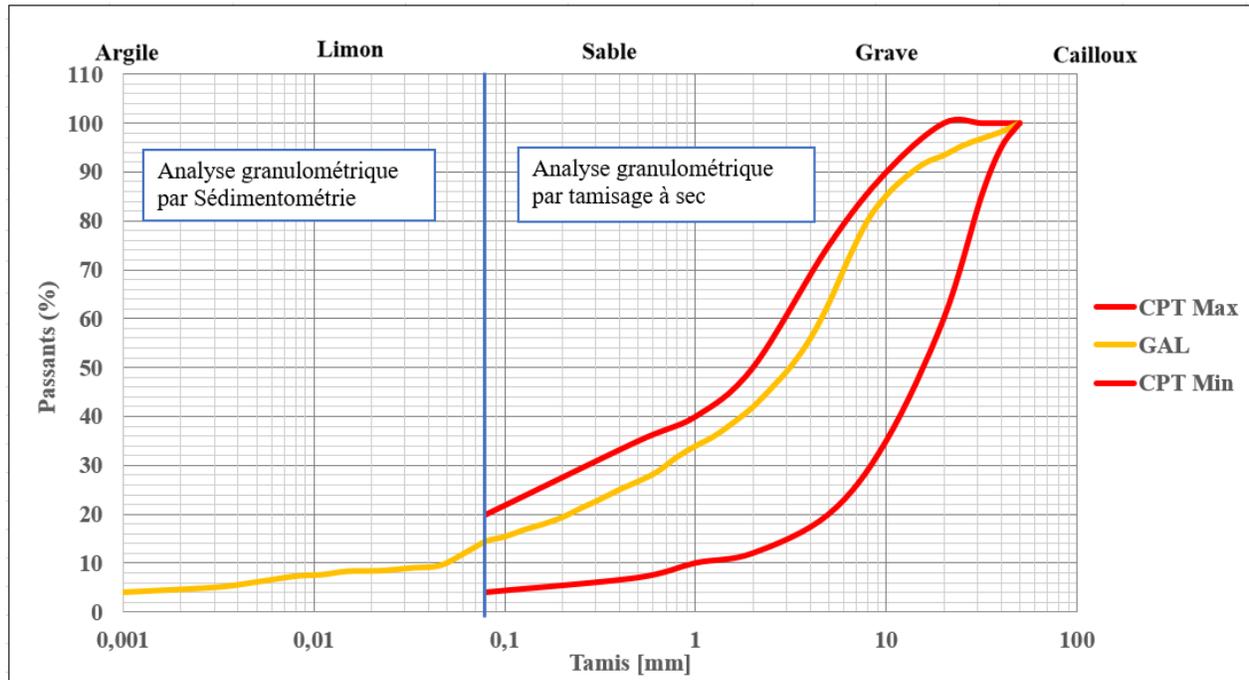


Figure 17 : Analyse granulométrique du GAL

La Figure (voir annexe 1 pour les détails du graphique) ci-dessus présente du haut vers le bas la courbe qui fixe la borne supérieure de la granulométrie selon le CPT ensuite la courbe du matériau latéritique utilisée pour l'étude et enfin la borne inférieure fixée par le CPT. D'après donc cette figure, l'on voit que le graveleux latéritique étudié satisfait aux exigences du CPT. Le Tableau 1 présente les coefficients de courbure et d'uniformité de la latérite :

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Tableau 1: Coefficient d'uniformité et de coefficient de courbure du GAL

La latérite	
Refus au tamis 2μm	96%
Refus au tamis 80μm	86%
Refus au tamis 2mm	58%
Dmax(mm)	40
D10(mm)	0,046
D30(mm)	0,7
D60(mm)	4,6
Cu	100
Cc	2,31

Le pourcentage de refus au tamis 80 μ m est de 86%, ce qui signifie que le matériau contient 14% de fines ; le pourcentage de refus au tamis 2mm est de 58% donc 42% de passants ainsi la latérite est constituée d'autant de fines que de grains.

On constate également que C_u est très élevé, $C_u = 100$ qui est supérieur à 2 et C_c est compris entre 1 et 3 donc la granulométrie de la latérite est dite étalée et bien graduée.

❖ Les limites d'Atterberg du graveleux latéritique

La Figure 18 présente l'ensemble des résultats des limites d'Atterberg, plus précisément de la limite de liquidité :

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

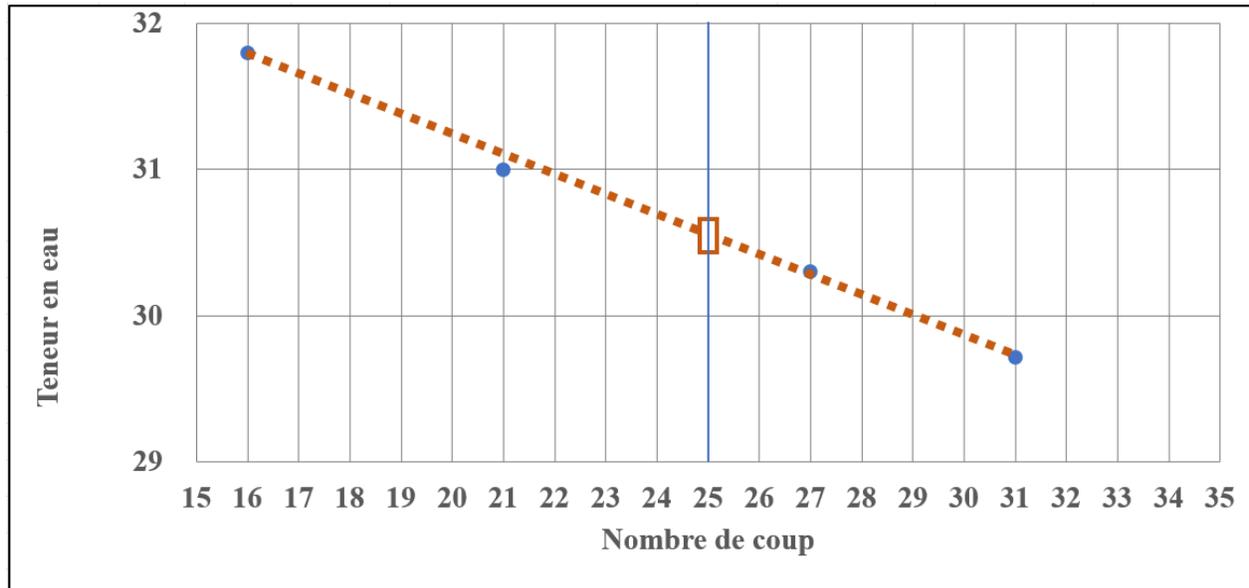


Figure 18: Courbe de la limite d'Atterberg du GAL

Les résultats obtenus après l'essai sont présentés dans le Tableau 2 :

Tableau 2: Les limites d'Atterberg du GAL

Limites d'Atterberg	
Limite de Liquidité WL (%)	30,5
Limite de Plasticité WP (%)	15,5
Indice de Plasticité IP (%)	15,00

La limite de liquidité (les détails de la Figure 18 sont en annexe 2) du graveleux latéritique obtenue après l'essai est égale à 30,5% qui est inférieur à la valeur fixée par le CPT ; l'indice de plasticité obtenu est de 15% qui est égale à la valeur fixée par le CPT. Ainsi, nous pouvons conclure que les limites de liquidité et de plasticité satisfont aux exigences du CPT. Il ressort également que ce matériau est de classe B₆ car le tamisât à 80µm est compris entre 12 et 35% et I_p supérieur à 12 selon la classification des sols du Guide des Terrassements Routiers ("Gtr" 2000).

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATÉRIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Pour la classification des sols fins suivant leur plasticité, on utilise le diagramme de Casagrande (“Introduction à la MDS” 2019) qui est représenté dans la Figure 19:

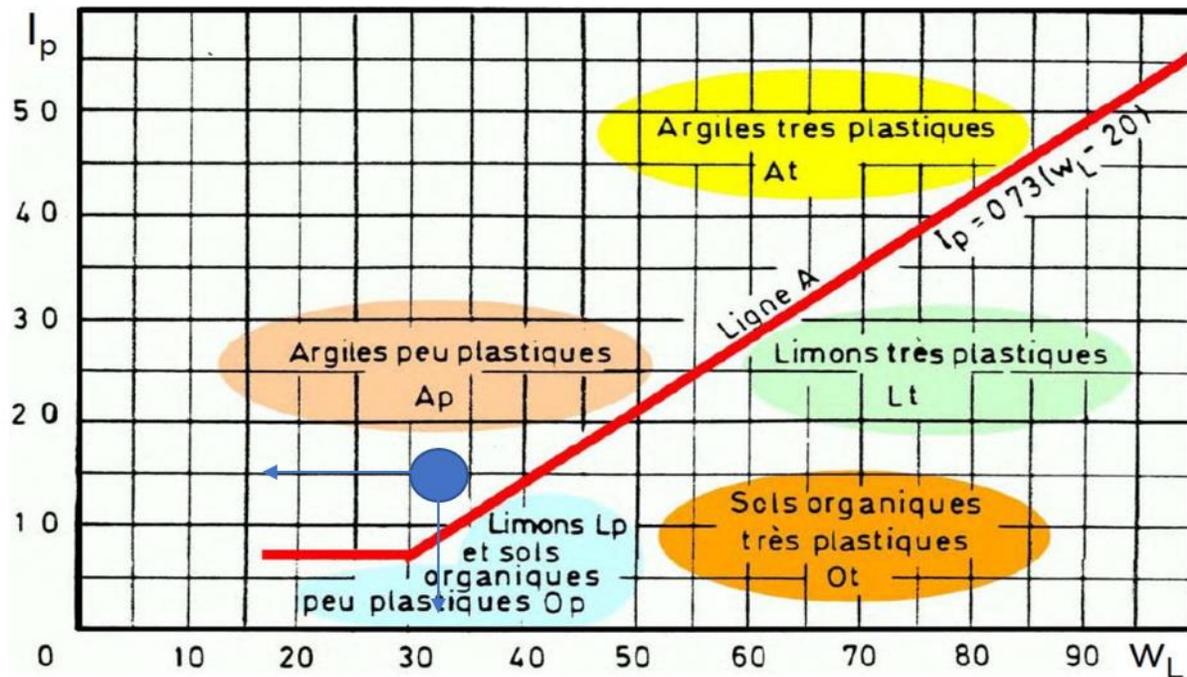


Figure 19: Abaque de plasticité de Casagrande simplifié

Avec une limite de liquidité de 30,5% et un indice de plasticité de 15%, le diagramme de Casagrande nous permet de dire que notre matériau latéritique est une argile peu plastique (représentation sur le diagramme en bleue).

❖ **Proctor Modifié du graveleux latéritique**

Les résultats de l'essai Proctor sont consignés dans la Figure 20 :

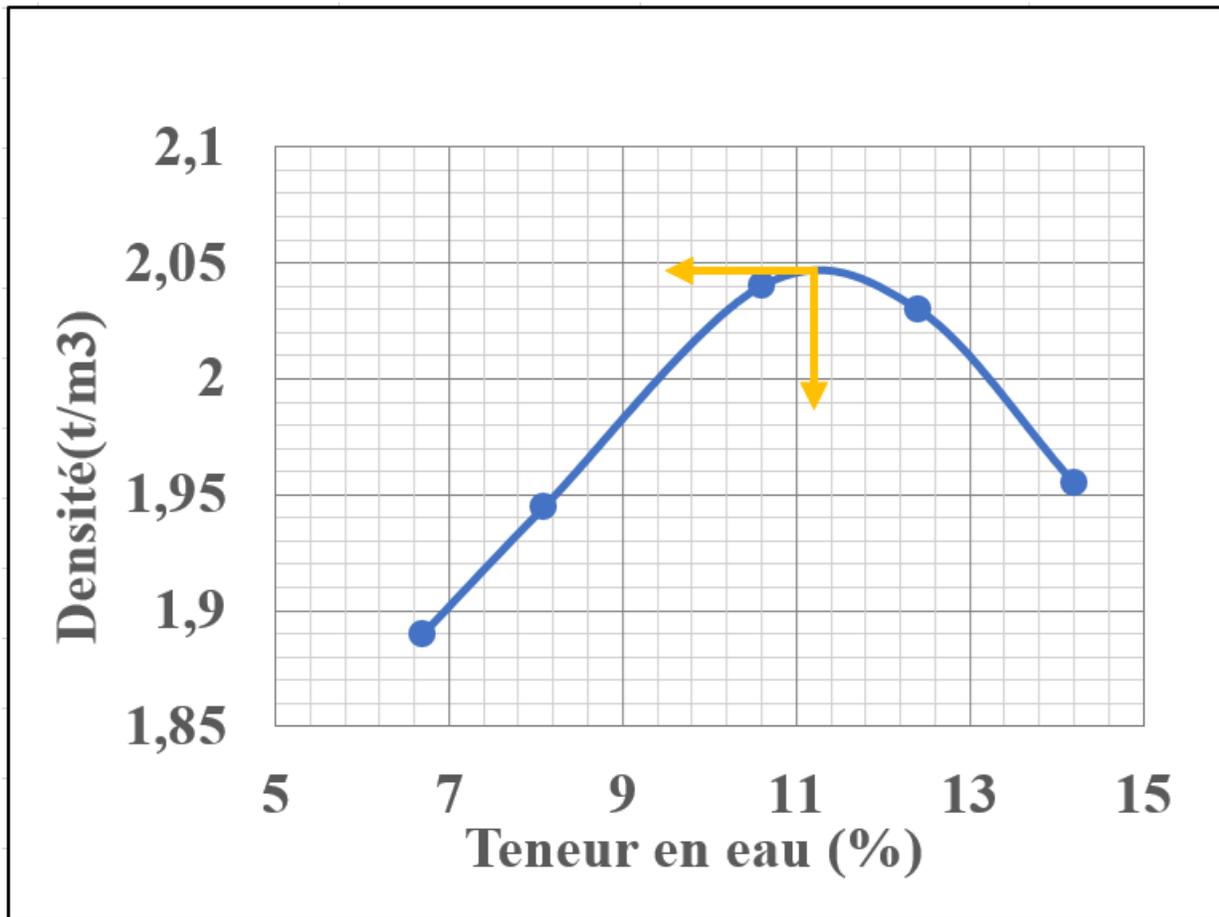


Figure 20 : Courbe Proctor du GAL

L'essai a permis d'obtenir les caractéristiques optimales de compactage du matériau. Ainsi à l'optimum Proctor nous avons obtenu une teneur en eau optimale de 11,3% et une densité sèche maximale de $2,045 \text{ t/m}^3$ qui est supérieure à la valeur minimale de 2 t/m^3 fixée par le CPT. Les détails concernant la représentation de la courbe sont en annexe 4.

❖ CBR du graveleux latéritique

La Figure 21 présente les résultats de l'essai CBR après poinçonnement. Il a été réalisé sur la latérite compactée à l'optimum Proctor Modifié et à 4 jours d'immersion.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

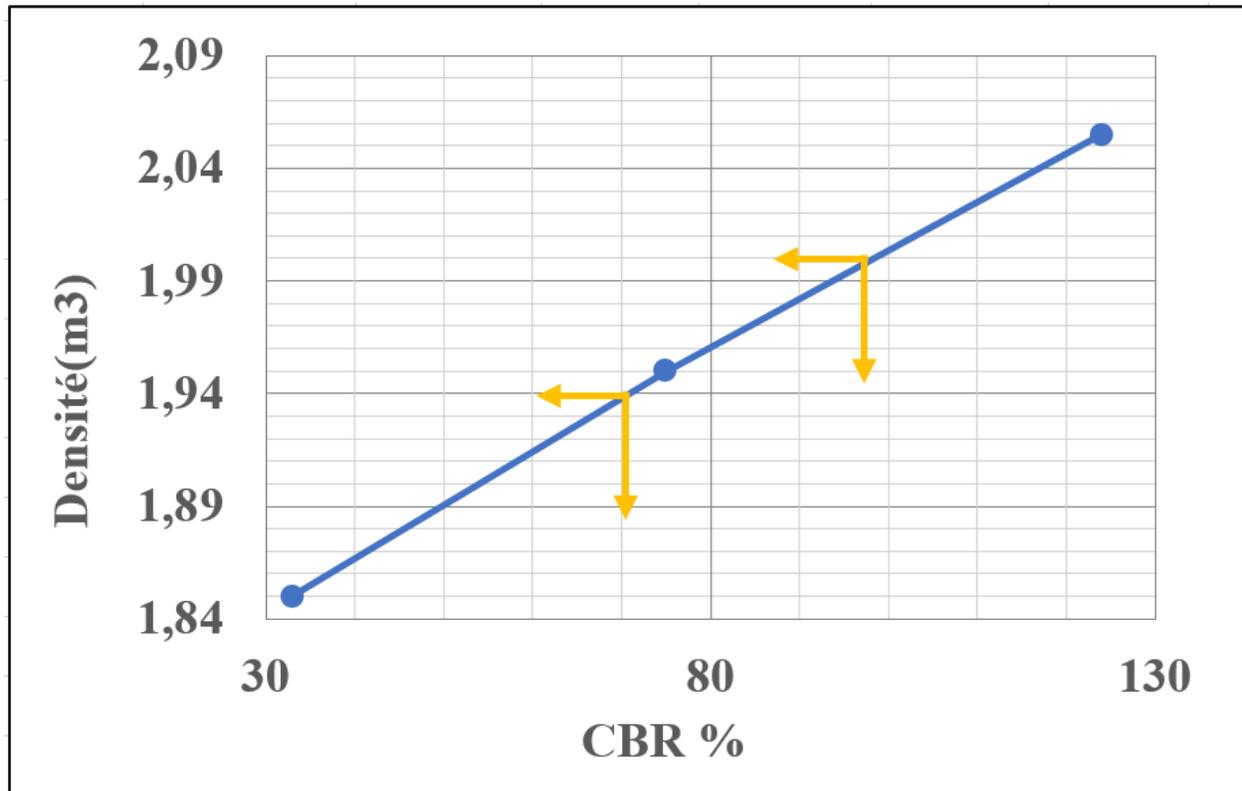


Figure 21 : Courbe CBR du GAL

Les valeurs donc obtenues sur les courbes après le poinçonnement des éprouvettes de 56, 25 et 10 coups ont permis l'obtention de la courbe densité en fonction du CBR. L'indice CBR ainsi obtenue à 95% est de 71% qui est supérieure à 50% comme l'exige le CPT d'où la possibilité d'une amélioration. Les détails concernant la représentation de la courbe sont en annexe 4.

❖ **Conclusion sur la latérite**

La courbe granulométrique de la latérite est comprise dans le fuseau granulaire du CPT. Les limites d'Atterberg donnent une limite de liquidité de 30,5% et un indice de plasticité de 15%. Ces valeurs sont conformes à la marge fixée par le CPT. La densité sèche obtenue est de 2,045t/m³ qui est supérieure à 2t/m³ comme l'exige le CPT. La portance CBR à 95% est de 71% qui est supérieure à 50% comme recommandé dans le CPT donc la latérite peut être améliorée.

D'après le cahier de spécification technique la latérite à utiliser en couche de fondation doit satisfaire aux exigences contenues dans le Tableau 3.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Tableau 3: Exigence du CPT concernant la latérite

Nature de l'essai		Exigence du CPT
La latérite	Limite d'Atterberg	Limite de liquidité < 40
		Indice de plasticité ≤ 15
	Proctor Modifié	Densité sèche à l'OPM $\gamma_{dOPM} \geq 2t/m^3$
	Portance CBR à 95% de l'OPM et à 4 jours d'immersion dans l'eau	CBR (95% de l'OPM) ≥ 50

V.1.2 Caractéristique des différentes classes de concassé

❖ **Analyse granulométrique des concassés**

La Figure 22 présente l'analyse granulométrique des différentes classes de concassés à utiliser :

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

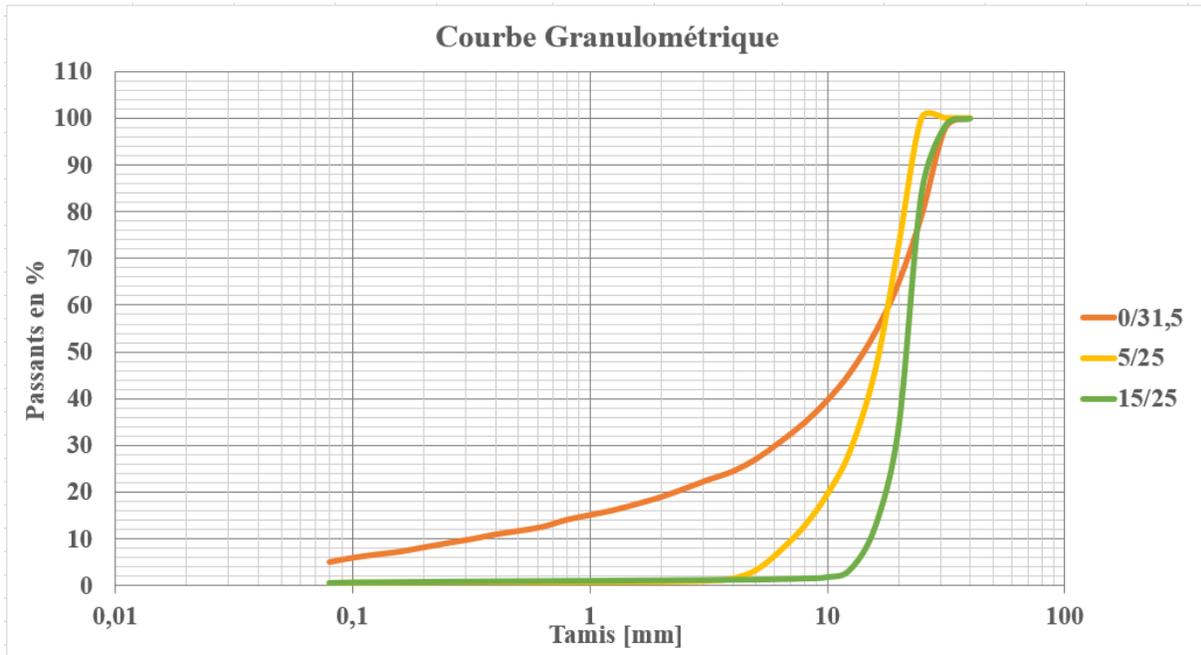


Figure 22:Analyse Granulométrique des classes de concassé

Nous remarquons que la classe de concassé 0/31,5 contient des fines ; les classes 5/25 et 15/25 sont dépourvues de fines ; ce qui permet de confirmer les classes de concassé utilisées. Les détails concernant la représentation de la courbe sont en annexe 1. Les coefficients d'uniformité et de courbure obtenus sont représentés dans le Tableau 4 :

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Tableau 4: Coefficient d'uniformité et de Courbure des concassés

Classe de concassé	0/31,5	5/25	15/25
Passants au tamis 80µm (%)	5	0	0
Passants au tamis 2mm (%)	19	1	1
Passants au tamis 6,3mm (%)	31	7	1
Dmax (mm)	31,5	25	25
D10(mm)	0,315	6,3	12,5
D30(mm)	6,3	12,5	16
D60(mm)	16	16	20
Cu	50,8	2,5	1,6
Cc	0,001	0,198	0,488

Au tamis 80 µm, nous avons 5% de fines pour le concassé 0/31,5 qui s'explique par la valeur du d (diamètre des grains les plus petits) ; 19% de passants au tamis 2mm montrant que le 0/31,5 contient en majorité des éléments grossiers. Au tamis 6,3mm le concassé 0/31,5 à 31% de passants, le concassé 5/25 à 7% de passants et le 15/25 n'a pratiquement pas de passants.

Les concassés 5/25 et 15/25 n'ont enregistré presque aucun passant au niveau des tamis 80 µm et 2mm ce qui justifie leur classe.

Les C_u des concassés 0/31,5 et 5/25 sont supérieurs à 2 donc la granulométrie des classes 0/31,5 et 5/25 est dite étalée ; le C_u du 15/25 est inférieur à 2 donc sa granulométrie est dite uniforme ou serrée ; Les coefficients de courbure C_c sont très faibles et n'entre pas dans la fourchette 1 à 3 donc ces matériaux sont mal gradués.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

❖ **La mesure du coefficient d'aplatissement**

Le coefficient d'aplatissement(A) permet de caractériser la forme des granulats. Pour cet essai nous avons obtenu :

- A=18,56% pour la classe 0/31,5
- A=15,01% pour la classe 5/25
- A= 15,85% pour la classe 15/25

Ces valeurs sont conformes à la valeur spécifiée dans le CPT qui est 20 (confère annexe 3 pour les détails du calcul). Cette valeur est élevée pour la classe granulaire 0/31,5 car elle contient plus d'éléments fins que les autres classes de concassé.

❖ **Los Angeles et Micro-Deval**

✚ L'essai Los Angeles permet de déterminer la résistance à la fragmentation par chocs des éléments d'un échantillon de granulats. Pour cet essai, la classe 10/14 a été retenue pour toutes les classes de concassé car ceux-ci proviennent de la même roche ; cette classe est donc représentative de l'échantillon. D'après la norme NF P18 573" 1990, pour apprécier la dureté d'une roche, on utilise cette classe de concassé. La classe de concassé 10/14 a été extraite et prise avec une masse d'environ 5000g ; conformément à la norme, le nombre de boulets à utiliser est de 11. Le coefficient Los Angeles obtenu à la fin de l'essai est : $C_{LA}=29$. Cette valeur est donc inférieure à 30 fixée par le CPT.

✚ L'essais Micro-Deval consiste à mesurer l'usure des granulats produite par frottements mutuels en présence d'une charge abrasive constituée par des billes en acier inox dans un cylindre en rotation. Dans notre cas l'essai a été effectué en présence d'eau. Etant donné que c'est la même roche qui a servi à extraire les différentes classes de concassés, nous avons pris la classe granulaire 10/14 pour l'essai car ces résultats correspondront à toutes les classes de concassés concernées. 500g du poids de l'échantillon ont été pris comme recommandé et 5000g du poids des boulets. Nous avons donc obtenu un coefficient Micro-Deval $C_{MD}=5$ qui est inférieure à 20 comme l'exige le CPT. C_{MD} est bas ce qui montre que les concassés étudiés (0/31,5,5/25 et 15/25) sont résistant face à l'usure.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

❖ **Conclusion sur les classes de concassé**

Après l'exécution des essais nous constatons que les résultats obtenus sont conformes à ceux exigés par le CPT. Les coefficients d'aplatissement des concassés 0/31,5, 5/25 et 15/25 sont respectivement 18,56%, 15,01% et 15,85% qui sont toutes inférieures à la 20% qui est la valeur maximale fixée par le CPT. Les coefficients Los Angeles et Micro-Deval de toutes les classes de concassé sont respectivement 29 et 5 qui sont inférieur respectivement à 40 et 20 valeurs seuils du CPT.

Les valeurs exigées par le CPT sur les différents concassés concernant les essais Los Angeles et Micro-Deval sont présentés dans le Tableau 5.

Tableau 5: Exigence du CPT concernant les concassés

Nature du matériau	Nature de l'essai	Exigence du CPT
Les concassés (0/31,5 ; 5/25 ; 15/25)	Los Angeles	Coefficient Los Angeles ≤ 40
	Aplatissement	Coefficient d'aplatissement ≤ 20
	Micro-Deval	Coefficient Micro-Deval en présence d'eau ≤ 20

V.2 Identification et portance du graveleux latérique litho stabilisé aux concassés

V.2.1 Analyse Granulométrique

La courbe granulométrique obtenue après le tamisage à sec des différents pourcentages du lithostab avec la classe 0/31,5 est représentée au niveau de la Figure 23. Les autres figures (mélanges avec 5/25 et 15/25) ainsi que leur détail sont consignées en annexe 1.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

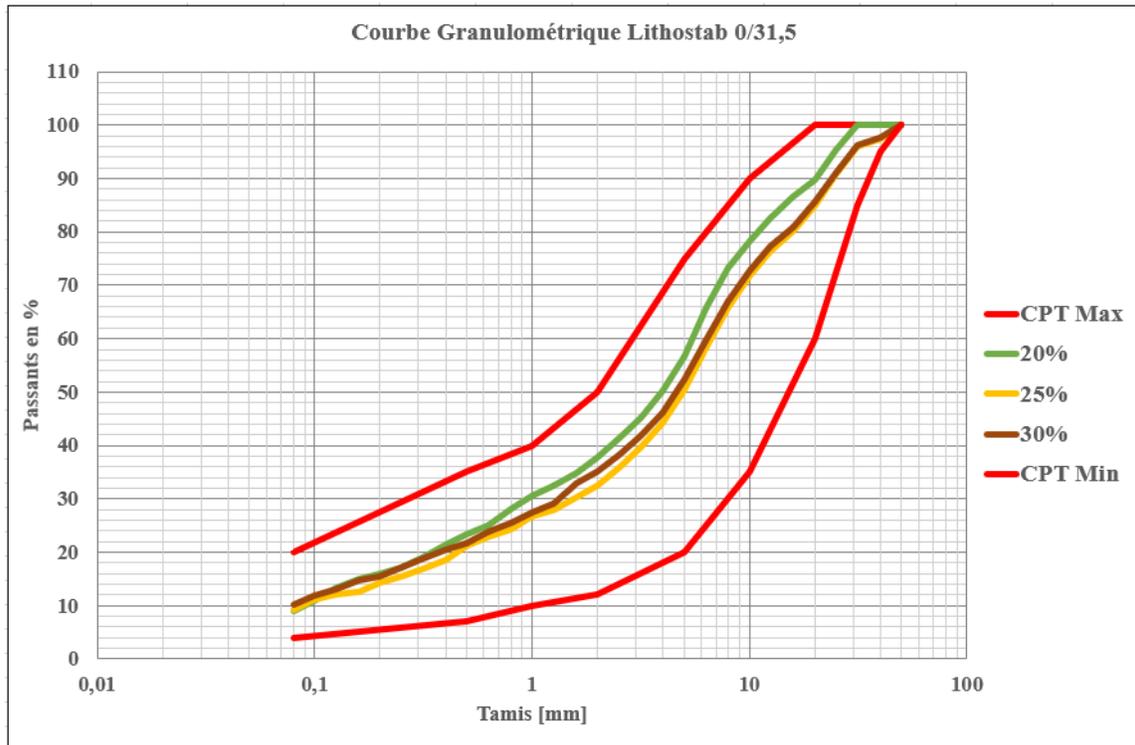


Figure 23: Courbe Granulométrique des lithostabs avec le 0/31,5

La Figure 23 ainsi que les autres figures confirme que les différents pourcentages des différentes classes de concassé se retrouvent tous dans la fourchette exigée par le CPT. Les mélanges avec le 0/31,5 montrent une légère diminution des fines puisque le concassé en lui-même contient un faible pourcentage de fines tandis que les mélanges avec 5/25 et 15/25 montrent une diminution beaucoup plus remarquable des fines dû au fait que ces concassés ne contiennent pas de fines. Les coefficients d'uniformités et de courbures de ces mélanges sont consignés dans le Tableau 6 suivant :

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Tableau 6: Coefficients d'uniformité et de courbure des lithostabs

Classe de concassé	0/31,5			5/25			15/25		
	20	25	30	20	25	30	20	25	30
% de concassé	20	25	30	20	25	30	20	25	30
Passants au tamis 80µm (%)	9	9	10	7	9	6	10	9	9
Passants au tamis 2mm (%)	38	33	35	22	37	34	27	27	27
Dmax (mm)	40	40	40	40	40	40	40	40	40
D10(mm)	0,09	0,09	0,08	0,2	0,25	0,2	0,08	0,125	0,1
D30(mm)	0,9	1,5	1,3	1,25	4	1,25	2,5	2,5	2,5
D60(mm)	5,5	6,6	6,3	6	10	6,3	8	10	10
Cu	61,1	73,3	78,8	30,0	40	31,5	100	80	100
Cc	0,013	0,031	0,021	0,052	6,4	1,24	9,77	5	6,25

Du point de vue général, on observe une réduction du taux de fines lors de l'amélioration qui s'explique par le l'ajout de matériaux rocheux contenant une faible proportion de fines. Nous remarquons également que :

- 0/31,5 : C_u est élevé pour tous les pourcentages et C_c est très faible les matériaux sont dits uniformes et mal gradués ; Aussi, on constate une augmentation du pourcentage de fine lors de la variation du taux d'amélioration. Cela s'explique par le fait que cette classe de concassé contient des fines (80µm) ; le pourcentage de passant à 2mm à 20% est supérieur à celle de 25% et 30%.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

- 5/25 : C_u est élevé pour tous les pourcentages d'amélioration donc la granulométrie de ces mélanges est dite étalée et C_c est très faible à 20% et élevé à 25% donc les matériaux à 20% et 25% sont mal gradués tandis que le C_c est compris entre 1 et 3 à 30% donc la granulométrie à 30% de concassé est bien graduée ; le pourcentage de fine augmente de 20% à 25% et connaît une baisse à 30% ($80\mu\text{m}$) ; le pourcentage de passant à 2mm à 25% est supérieur à celle de 20% et 30%.
- 15/25 : C_u et C_c sont très élevés pour tous les pourcentages d'amélioration, les granulométries sont donc dites étalés et mal gradués ; le pourcentage de fine diminue lorsque le taux d'amélioration augmente ($80\mu\text{m}$) ; le pourcentage de passant à 2mm reste constant pour les différents taux d'amélioration.

V.2.2 Les limites d'Atterberg

Le résultat des limites d'Atterberg sur les matériaux litho-stabilisés avec les classes 5/25 et 15/25 donnent pratiquement les mêmes résultats que ceux du matériau latéritique ($Wl=30,5$ et $IP=15$). Il n'y a pas eu apport de fines avec ces classes de concassé par conséquent il n'y a pas d'influence sur les limites. Le Tableau 7 présente les résultats des limites d'Atterberg du mélange avec la classe de concassé 0/31,5. Les teneurs en eau ainsi que le nombre de choc appliqué au matériau sont présentés dans en annexe 2.

Tableau 7: Résultats des limites d'Atterberg

Limites d'Atterberg Mélange avec le 0/31,5			
% de concassé	20%	25%	30%
Limite de Liquidité WL (%)	34,6	31,5	35
Limite de Plasticité WP (%)	18,8	16,7	21,5
Indice de Plasticité IP (%)	15,00	14,8	13,5

Les résultats obtenus montrent un indice de plasticité à 20% identique à celui du matériau latéritique ; L'ajout de concassé dans la latérite a un effet remarquable sur la plasticité du matériau latéritique. L'indice de plasticité diminue au fur et à mesure que le pourcentage de concassé est augmenté. Cette régression a également été obtenue par Osula 1991 qui stipule que l'indice de

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

plasticité serait physiquement dû à l'apport d'une certaine quantité de particules qui s'interposeraient entre les particules fines.

V.2.3 Proctor Modifié

La recherche de l'optimum Proctor Modifié sur chaque pourcentage avec la classe granulaire 0/31,5 est représentée sur le Figure 24. Les détails concernant la représentation de la Figure ainsi que les autres représentations sont en annexe 4.

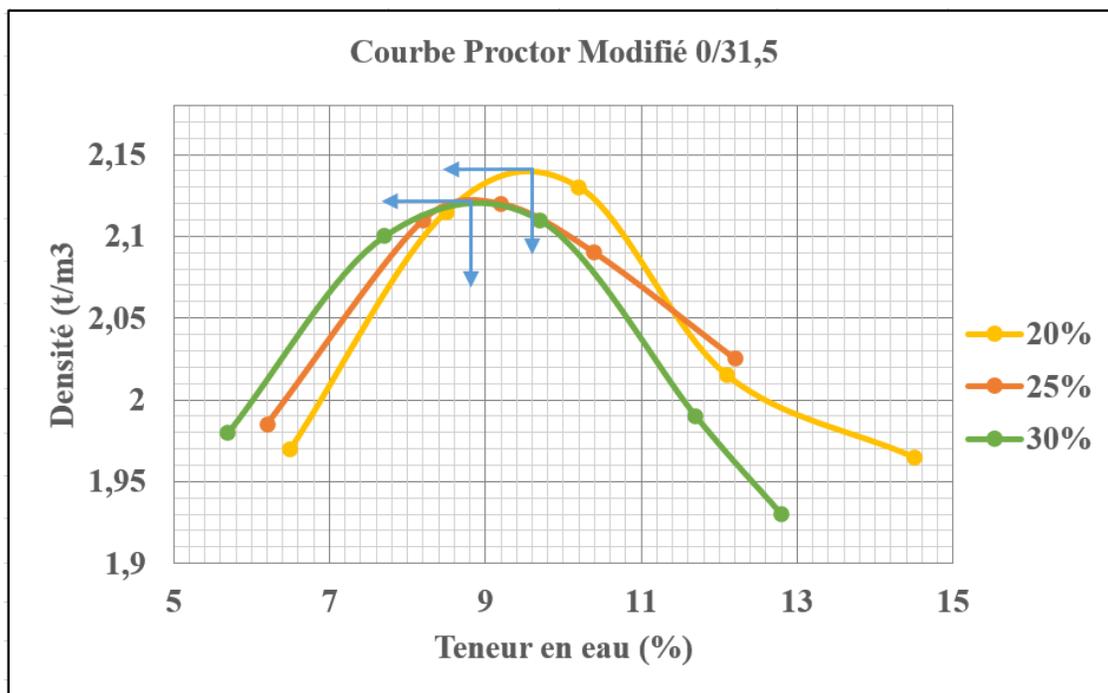


Figure 24: Représentation des optimums Proctor Modifiés du 0/31,5

Le Tableau 8 présente les optimum Proctor et les densités sèches obtenus au niveau des courbes :

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Tableau 8: Récapitulatif des résultats de l'essai Proctor

Classe de concassé	0/31,5			5/25			15/25		
	20%	25%	30%	20%	25%	30%	20%	25%	30%
Teneur en eau optimum Wopt (%)	9,6	8,8	8,8	10,4	8,8	7,6	9,8	8,6	7,3
Densité sèche optimum γ_{opt} (t/m³)	2,135	2,12	2,12	2,14	2,165	2,17	2,15	2,18	2,17

Le Tableau 8 montre les résultats obtenus après l'essai Proctor Modifié sur les différents mélanges. Nous constatons que toutes les densités sèches sont supérieures à $2t/m^3$ (elles varient entre 2,12 et 2,18) comme recommandé par le CPT. La densité sèche de la latérite 2,045 passe à une valeur supérieure lors de l'amélioration avec les concassés 0/31,5, 5/25 et 15/25 à 20%, 25% et 30% de substitution. Nous constatons également d'une manière générale qu'en fonction du pourcentage la teneur en eau est constante ou décroît ; la teneur en eau à 20% est plus élevée que celle de 25% et 30% pour tous les types de mélanges. La teneur en eau montre une diminution linéaire suivant le taux de substitution avec les concassés. Elle passe de 11,3% avant amélioration à 8,8% (pour le mélange avec le 0/31,5), 7,6% (pour le mélange avec le 5/25) et 7,3% (pour le mélange avec le 15/25). Ces résultats sont conformes avec ceux de Ouattara 2021. Les teneurs en eau obtenues sont tous inférieur à la valeur exigée du CEBTP pour les couches de fondation.

 Evolution de la densité sèche en fonction du taux d'amélioration

La Figure 25 présente l'évolution de la densité sèche maximale du graveleux latéritique amélioré à 20%, 25% et 30% pour chaque classe de concassé utilisée :

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

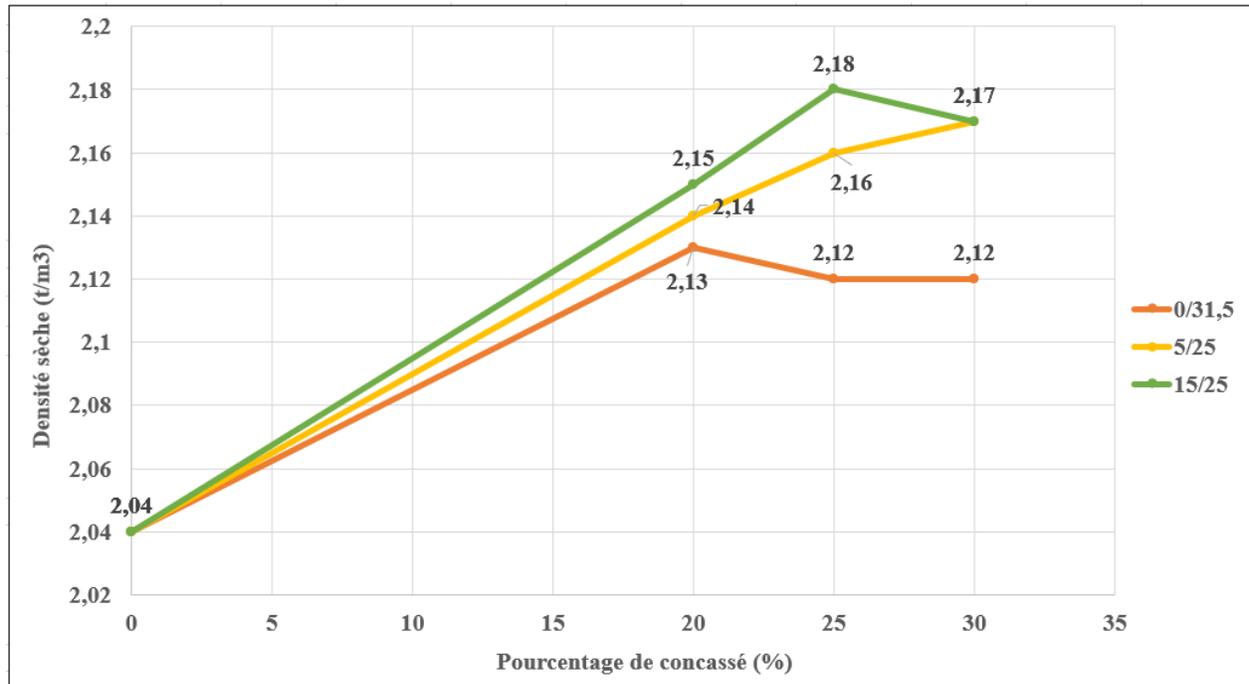


Figure 25: Représentation des densités sèches en fonction de taux d'amélioration

La densité sèche des lithostabs avec la classe de concassé 0/31,5 est maximale à 20% de concassé et chute à 25% pour rester constante jusqu'à 30% ;

La densité sèche des lithostabs avec la classe de concassé 5/25 est faible à 20% et 25% et devient maximale à 30% ;

La densité sèche des lithostabs avec la classe de concassé 15/25 est maximale à 25% de concassé et décroît de part et d'autre.

D'une manière générale, lorsque le pourcentage de concassé (pour les concassés dépourvus de fines) est augmenté à un certain niveau, les vides également augmentent et c'est ce qui explique la baisse de la densité sèche.

✚ Evolution du Proctor en fonction du taux d'amélioration

L'OPM pour chaque pourcentage de concassé obtenu après l'essai Proctor Modifié est représenté sur la Figure 26. Le Mélange0 correspond à la latérite uniquement. Le Mélange1 est constitué de

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

latérite et de concassé 0/31,5, le Mélange2 de latérite et de concassé 5/25 et enfin le Mélange3 de latérite et de concassé 15/25.

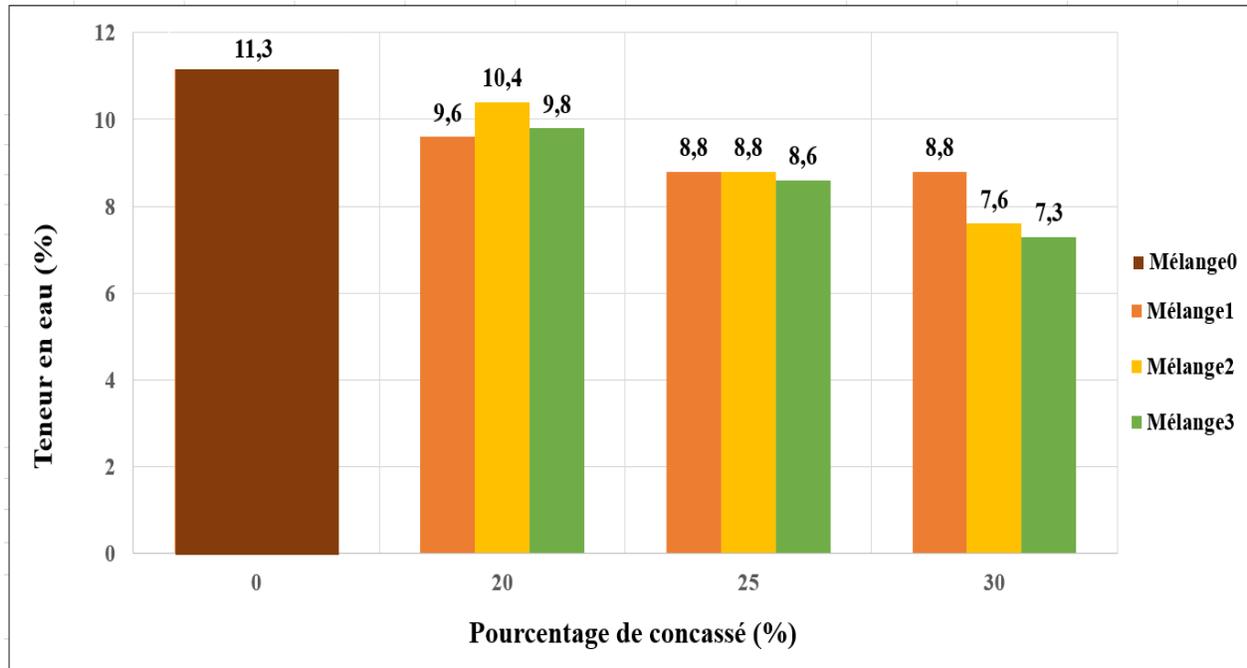


Figure 26: Représentation des teneurs en eau en fonction du taux d'amélioration

Nous remarquons au niveau de la Figure 26 que l'OPM pour chaque classe de concassé est maximale à un taux d'amélioration de 20% ; la teneur en eau diminue lorsqu'on ajoute les concassés à la latérite et lorsque le pourcentage de concassé est augmenté sauf pour le 0/31,5 qui a une teneur en eau constante à 25% et 30% (Ahouet et al. 2018). L'ajout de concassé réduit la sensibilité du graveleux latéritique à l'eau.

V.2.4 CBR

La Figure 27 présente les portances CBR des matériaux litho-stabilisés à 20%, 25% et 30% de concassé : cas des mélanges donnant les CBR les plus élevés.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

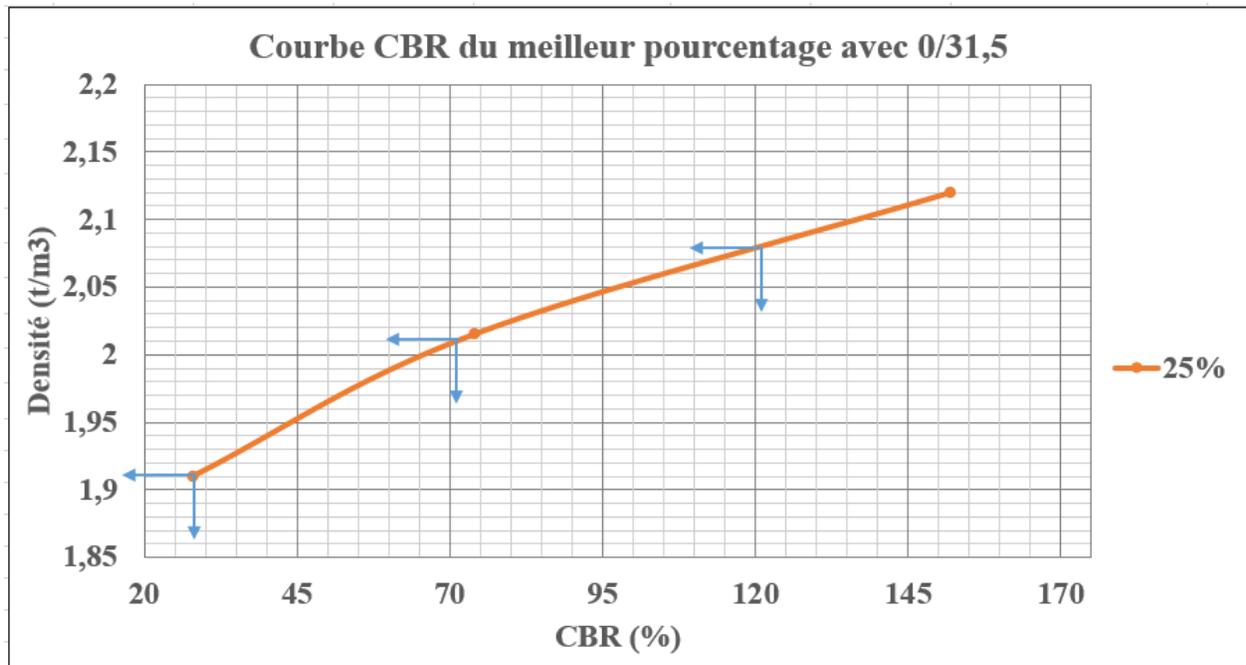


Figure 27: Courbe CBR de la litho-stabilisation avec le 0/31,5

Le Tableau 9 présente les résultats CBR obtenus sur les graphes (Voir annexe 4 pour les courbes) après compactage, immersion à 4 jours dans l'eau et poinçonnement des lithostabs aux différentes classes de concassé et aux différents pourcentages de concassé :

Tableau 9: Récapitulatif des résultats de l'essai CBR

Classe de concassé	de 0/31,5			5/25			15/25		
	20%	25%	30%	20%	25%	30%	20%	25%	30%
CBR à 90% de l'OPM	35	28	40	32	35	52	40	43	45
CBR à 95% de l'OPM	85	72	63	64	93	117	75	83	71
CBR à 98% de l'OPM	115	122	111	143	180	172	177	155	111

Les résultats de portance obtenus après les essais de portance montrent une nette amélioration de l'indice CBR de la latérite. Avec les résultats du Tableau 9, nous pouvons dire que tous les

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

pourcentages de toutes les classes de concassé répondent aux exigences du CPT. Le concassé 5/25 donne la portance CBR la plus élevée cela peut s'expliquer par le fait qu'il contient des éléments moyens en comparaison au 0/31,5 qui contient des fines et au 15/25 qui ne contient que des éléments grossiers.

La valeur CBR à 98% pour la couche de fondation d'une chaussée de trafic T5 doit être supérieure ou égale à 110% d'après le CPT.

- La valeur la plus élevée du CBR avec la classe 0/31,5 est de 122% (obtenue à 25% de concassé) qui est supérieure à 110 ;
- La valeur la plus élevée du CBR avec la classe 5/25 est de 180% (obtenue à 25% de concassé) qui est supérieure à 110% ;
- La valeur la plus élevée CBR avec la classe 15/25 est de 177% (obtenue à 20% de concassé) qui est supérieure à 110%.

L'indice portant CBR est maximal à 25% pour les concassés 0/31,5 et 5/25 et est maximal à 20% pour la classe 15/25. On remarque une augmentation de la densité sèche lorsque le taux de concassé augmente (5/25, 15/25) dans le matériau latéritique. Cela s'explique par l'absence ou la présence de peu de fines dans ces classes de concassé. Cette remarque a été également faite par (Ilboudo 2016).

Le meilleur mélange de chaque classe de concassé sera utilisé pour l'essai de compression simple avant le choix final pour l'exécution de notre chaussée. Nous avons opté pour ces pourcentages malgré qu'ils excèdent celui du CPT car à l'exécution plusieurs paramètres rentrent en jeu. Il s'agit entre autres de la qualité des engins de compactage, la qualité pour l'humidification en vue du respect de la teneur en eau.

 Evolution du CBR en fonction du taux d'amélioration

L'essai CBR réalisé donne pour chaque classe de concassé une valeur maximale pour les trois pourcentages effectués. Ce sont donc ces valeurs maximales en fonction du taux d'amélioration qui sont présentés dans la Figure 28. Le Mélange1 est constitué de latérite et de concassé 0/31,5, le Mélange2 de latérite et de concassé 5/25 et enfin le Mélange3 de latérite et de concassé 15/25.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

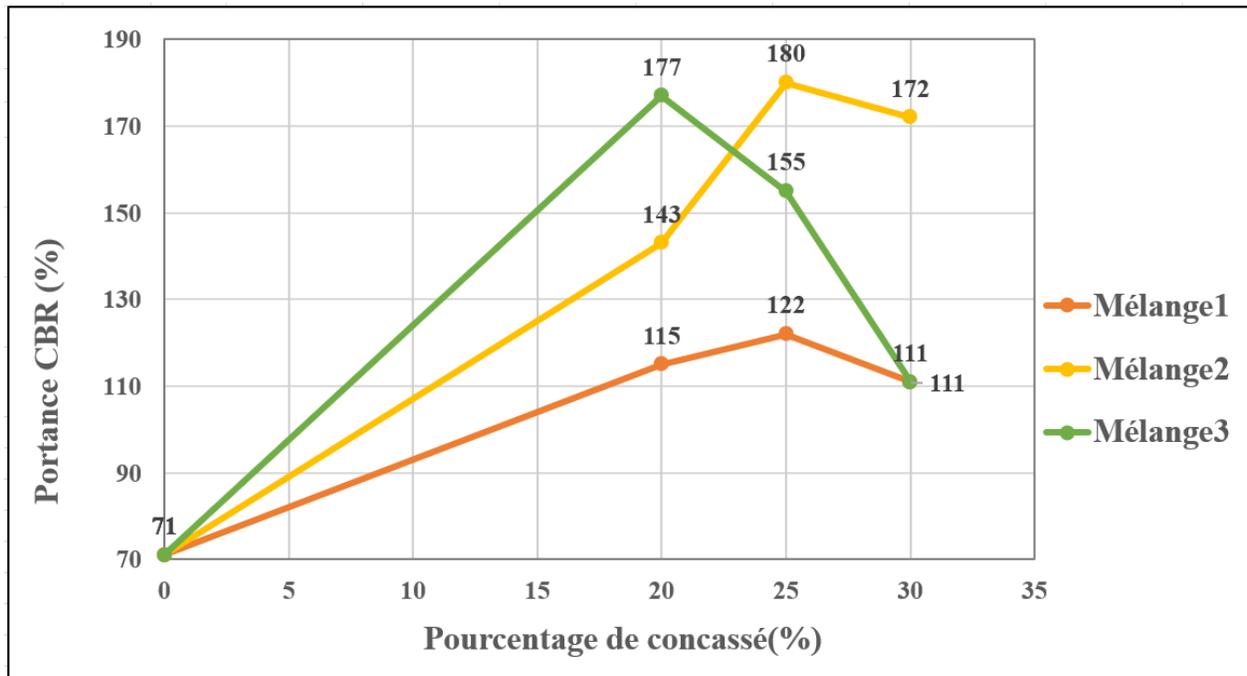


Figure 28: Représentation des Portances CBR en fonction du taux d'amélioration

Nous constatons une nette amélioration de la portance CBR de la latérite à 98% ; Nous remarquons aussi, qu'à 25% les portances CBR des lithostabs avec les concassés 0/31,5 et 5/25 sont maximales et chutent à 30% tandis que la portance CBR du lithostab avec le 15/25 est maximale dès l'ajout de 20% de concassé et chute à 25% et 30%.

V.2.5 Conclusion sur les mélanges

Les courbes granulométriques des mélanges avec les différentes classes de concassé (0/31,5, 5/25 et 15/25) aux différents pourcentages 20%, 25% et 30% sont toutes dans le fuseau granulaire prescrit par le CPT. Les limites d'Atterberg également réalisées avec ces différentes classes sont conformes aux valeurs maximales exigées par le CPT (Tableau 10) ; la classe 0/31,5 aux différents pourcentages donne un indice de plasticité respectivement de 15%, 14,8% et 13,5% et une Limite de Liquidité respectivement de 34,6%, 31,5% et 35% ; et les classes 5/25 et 15/25 donne un indice de plasticité respectivement de 15% et une limite de liquidité de 30,5% aux différents pourcentages. Les densités sèches obtenues de toutes les classes à tous les pourcentages sont supérieures à $2t/m^3$

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

comme recommandé dans le CPT. Les portances CBR également obtenues à 98% de l'OPM sont tous supérieurs à la valeur recommandée par le CPT.

Les spécifications du CPT concernant les valeurs maximales requises après exécution des essais sur les mélanges sont consignées dans le Tableau 10 :

Tableau 10: Exigence du CPT concernant le lithostab

Nature du matériau	Nature de l'essai	Exigence du CPT
Lithostab	Limite d'Atterberg	Limite de liquidité < 40
		Indice de plasticité ≤ 15
	Proctor Modifié	Densité sèche à l'OPM $\gamma_{dOPM} \geq 2t/m^3$
	Essai CBR à 98% de l'OPM et à 4 jours d'immersion dans l'eau	CBR du mélange à 98% ≥ 110

V.2.6 Résistance à la compression

Cet essai fournit en général la résistance à la compression d'un matériau à des forces variables. Les résultats de l'essai de compression simple feront ressortir des variables essentielles telles que la contrainte et la déformation. La Figure 29 nous présente les meilleurs éprouvettes de chaque classe de concassé après l'application des forces :

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

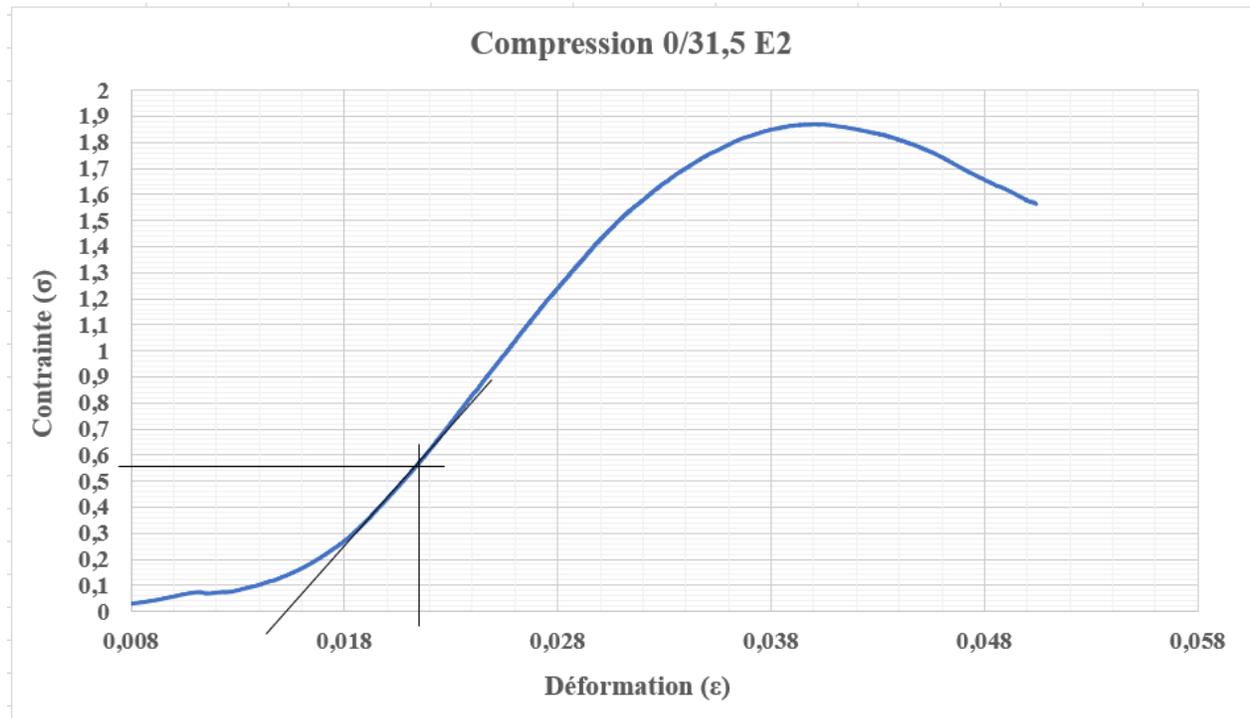


Figure 29: Courbes de la compression des échantillons (0/31,5 E2)

Les courbes (contrainte-déformation) obtenues à la fin de cet essai de compression simple montrent d'une manière générale une satisfaction vis-à-vis des matériaux ; c'est-à-dire que le compactage à l'OPM, le nombre de coups (56) par couche (5) et par échantillons a été bien respecté. Les comportements sont quasi identiques entre les types de granulats, ce qui montre un comportement mécanique identique lors de l'application de la force. Pour chaque courbe, nous remarquons une légère phase de latence qui s'explique par le début de l'application de la force ; ensuite, une phase de croissance exponentielle qui permet de soumettre le matériau la contrainte maximale ; un pic qui est la contrainte obtenue lors de l'application de la force maximale et lors de l'essai, une fois qu'on dépasse la contrainte maximale, on constate un développement de fissures et l'éprouvette se dégrade rapidement; enfin une phase de décroissance qui débute après l'enregistrement de la force maximale. Les détails concernant la représentation de la courbe sont en annexe 5.

Les éprouvettes confectionnées et conservées à 7 jours d'âge ont (juste en simulation au sol ciment et une vérification de la teneur en eau sinon l'essai peut être réaliser après confection car la résistance n'évolue pas avec le temps) été soumis à la presse hydraulique pour l'essai de

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

compression simple. Ci-dessous le résultat dans le Tableau 11 après traitement des données de l'éprouvette donnant la contrainte la plus élevée parmi les trois éprouvettes de chaque classe de concassé :

Tableau 11: Résultats de la compression simple

Classes de concassé et pourcentage	Échantillon	Poids à la confection (g)	Poids avant essai (g)	Force maximale (N)	Surface en mm ² ($\pi \cdot D^2/4$)	Compression simple Rc (MPa)	Module (MPa)
0/31,5 à 25%	E2	5328	5296	33894,07	18145,84	1,87	120,76
5/25 à 25%	E3	5377	5360	24627,00	18145,84	1,36	87,74
15/25 à 20%	E3	5429	5383	19254,40	18145,84	1,06	14,49

Le Tableau 11 donne les échantillons avec chaque classe donnant les poids des échantillons avant et après confection, la force maximale et la résistance à la compression maximale qui induisent le module maximal (Les détails concernant le calcul de tous les échantillons utilisés pour la compression simple sont en annexe 5). On remarque, que la plus grande résistance est obtenue avec le concassé 0/31,5 à 25% d'ajout (1,87MPa) avec un module de 120MPa qui est dû à la granulométrie continue de cette classe. Ensuite le concassé 5/25 donne une résistance de 1,36MPa à 25% d'ajout avec un module de 87,74MPa ; C'est la résistance moyenne obtenue entre les trois classes cela est dû à la présence de granulats moyens et grossier. Enfin le concassé 15/25 donne 1,06MPa à 20% d'ajout avec un module de 14,49Mpa qui est la plus faible résistance en comparaison avec les autres classes de concassé ce qui s'explique par la présence uniquement de matériaux grossiers dans ce concassé. Aussi, le poids des échantillons avant confection diminue à la réalisation de l'essai ce qui s'explique par la cure avant exécution de l'essai.

On observe une réduction de la masse pour tous les échantillons. Cette réduction est due à la cure c'est-à-dire qu'il y a évaporation de l'eau contenue dans les échantillons (teneur en eau optimale) ; la masse du mélange avec le concassé 15/25 était plus élevée (5429g) par conséquent

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

la perte a été plus tandis que la masse des mélanges avec les concassés 0/31,5 et 5/25 s'est un peu réduite également. Le manque de cohésion dans le matériau favorise l'évaporation c'est-à-dire que le manque d'éléments fins dans le concassé crée des vides dans le matériau.

 Comportement des matériaux retenus en compression simple

Le concassé 0/31,5 donne la plus grande résistance et le 5/25 suit avant le 15/25. Le concassé 0/31,5 a la plus grande résistance car il existe une cohésion entre ses grains avec ceux du graveleux latéritique et sa granulométrie est plus continue. Cette cohésion s'explique par la présence de fines et d'éléments grossiers dans la classe de concassé. Le graveleux devient plus dense avec l'ajout de concassé. La présence de granulats moins grossiers impacte la résistance à la compression et de là, le module d'élasticité. La compression et le module d'élasticité dépendent en grande partie de la présence en quantité moyenne, grande ou même de l'absence d'éléments grossiers (0/31,5 a le plus de fines donc le plus grand module 120,76MPa, 5/25 en a peu d'éléments grossiers et le module est de 87,74MPa ; le 15/25 ne contient que des éléments grossiers son module est de 14,49MPa). Cette remarque est également soulignée au niveau des études menées par Ouattara en 2021.

V.3 Conclusion

A la fin des études effectuées au laboratoire, notre choix se porte sur la classe de concassé 0/31,5 à 25% d'ajout. Cette classe a un CBR à 98% de 122%, une résistance à la compression de 1,87MPa et un module d'élasticité de 120,76MPa. C'est par rapport à ces valeurs que nous avons choisis cette classe.

La classe de concassé 5/25 à 25% a été retenue par l'entreprise comme le mélange optimal pour la mise en œuvre de la couche de fondation. L'entreprise ne réalise pas d'essai de résistance à la compression donc leur choix s'est basé sur la portance CBR des matériaux. Elle a donc choisi cette classe de concassé car à 25% elle a obtenu 188%.

Ainsi, compte tenu du choix de l'entreprise, la vérification de la mise en œuvre se fera sur la classe de concassé 5/25 à 25% d'ajout.

VI. MISE EN ŒUVRE ET CONTROLE

VI.1 La méthode de mise en œuvre

VI.1.1 Les étapes de la mise en œuvre

Elle est la suivante :

- Approvisionnement et répannage du graveleux latéritique à l'état naturel ; régilage sans compactage ;
- Humidification partielle du graveleux répandu par passage d'une citerne à eau munie d'une rampe de distribution ;
- Approvisionnement et répannage du concassé sur le graveleux précédemment répandu à l'état naturel ;
- Scarification de l'ensemble graveleux naturel et concassé à l'aide du scarificateur de niveleuse ;
- Humidification par passage de la citerne à eau ;
- Mise en cordon du mélange à la lame de niveleuse ;
- Malaxage et humidification du mélange par déplacements latéraux du cordon, toujours à la lame de niveleuse et passages alternés de la citerne à eau ;
- Lorsque le mélange est jugé homogène et la teneur en eau suffisante, répannage du cordon, régilage et compactage ; Le compactage est réalisé en grande partie au compacteur à pneu et parachevé au compacteur vibrant.

VI.1.2 Le contrôle

✚ Le contrôle qualité

- Sur le graveleux latéritique, des essais d'identification, de Proctor et de CBR sont réalisés sur les tas gerbés en emprunt lors de la sélection des matériaux. Ensuite quelques essais sont réalisés sur le matériau approvisionné pour se rassurer de leur conformité au CPT ;
 - Sur le concassé de granite, des essais d'analyse granulométrique, de Los Angeles et de Micro Deval sont réalisés. Les résultats doivent être conformes à ceux prescrits dans le CPT.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

✚ Le contrôle de mise en œuvre

- Granulométrie sur le lithostab :

Des prélèvements sont effectués au cours de la mise en œuvre lorsque le mélange graveleux latéritique + concassé est jugé homogène et près à être répandu, régalé et compacté ; des essais de granulométrie sont donc réalisés sur ces prélèvements (voir Figure 30) afin d'une part de se rendre compte de l'homogénéité effective du mélange et d'autre part de tester le dosage de concassé. Dans le but d'obtenir une épaisseur de 20cm après compactage du mélange, l'approvisionnement en graveleux latéritique est de 18,2cm d'épaisseur et celui du concassé 6cm d'épaisseur. Les approvisionnements se font suivant des maillages bien définis et mis en forme suivant le tracé nivelé. Pour une bande de chaussée de 7m de largeur litho-stabilisée à 25% de concassé avec une épaisseur avant compactage de 24,2cm, le maillage est disposé pour avoir environ $0,45\text{m}^3$ par mètre linéaire de concassé et $1,26\text{m}^3$ par mètre linéaire de graveleux latéritique. Ces valeurs sont réajustées et surveillées tout au long de la mise en œuvre.



Figure 30: Prélèvement après régalage

- Le contrôle du compactage est réalisé à l'aide d'un densitomètre à membrane qui permet de mesurer la densité in situ de la couche testée. Le Proctor de référence permettant de

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

calculer la compacité est déterminé selon le mode opératoire ("Lcpc ce 1" 1970) approuvé le 29 Juillet 1970 par le Ministère de l'Équipement et du Logement français.

- Mesures des déflexions :

Pour tester enfin la déformabilité des différentes structures, des mesures de déflexions à la poutre Benkelman sont réalisées sous essieu chargé à 13 tonnes. Les valeurs limites de la déflexion au Burkina sont consignées dans le Tableau 12 suivant :

Tableau 12: Valeurs de la déflexion admissible

Couche de chaussée	Valeur de déflexions $D = m + 1,3\sigma$ (1/100mm)
Couche de forme	$D \leq 100$
Couche de fondation	$D \leq 80$
Couche de base	$D \leq 60$

VI.2 Le contrôle des caractéristiques physique et mécanique

Lors de la mise en œuvre, des essais de contrôle doivent être réalisés par rapport à l'analyse granulométrique, aux limites d'Atterberg, au compactage, à la déflexion et à la portance (confère annexe 6). Dans le cas de notre étude, ces essais ont été réalisés pour vérifier la bonne mise en œuvre des matériaux et les résultats sont présentés dans le Tableau 13. Ces données représentent la moyenne des valeurs obtenues sur le tronçon de la planche d'essai du Pk10+000 au Pk10+200.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Tableau 13: Résultats de la planche d'essai

Essais		Résultats obtenus	Exigence
Analyse Granulométrique	Pourcentage des granulats à 0,08	19	Compris entre 4% et 20%
	Pourcentage des granulats à 2mm	39	Compris entre 12% et 50%
	Pourcentage des granulats à 25mm	100	100
Les limites d'Atterberg	Wl	31	Limite de liquidité < 40
	Wp	16	
	Ip	15	Indice de plasticité ≤ 15
Proctor Modifié	Teneur en eau (%)	8,5	
	Densité sèche (t/m ³)	2,18	Densité sèche à l'OPM $\gamma_{dOPM} \geq 2t/m^3$
CBR	CBR à 95%	116	
	CBR à 98%	158	CBR du mélange à 98% ≥ 110
Déflexions	Déflexion Moyenne	24,25	Couche de fondation D ≤ 80

VI.3 Comparaison des résultats in-situ et ex-situ

La classe de concassé retenue étant le 5/25 à 25% lors de la mise en œuvre, la comparaison sera axée sur le mélange réalisé au laboratoire avec cette classe de concassé. Cette classe ainsi que ce taux d'amélioration a été retenue car ce taux modifie convenablement le squelette du matériau latéritique et compte tenu du gain considérable de l'indice portant CBR observé. Aussi, la densité sèche n'est pas maximale à 20%. La granulométrie à 0,08mm, 2mm et 25mm ont des pourcentages de passant satisfaisants car au tamis 0,08mm le nombre de passants devait être

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

compris entre 4% et 30%, au tamis 2mm entre 12% et 50% et au tamis 25mm les passants sont à 100%.

- Concernant les limites d'Atterberg nous remarquons juste une légère variation de W_p due au fait que lors du compactage, les concassés peuvent s'effriter (présence d'une infime proportion de fine du concassé) et influencer la plasticité de la latérite du départ ;
- La teneur en eau et la densité sèche n'ont pas subi de variation significative sur le terrain ;
- La portance CBR (98% pour les couches de fondation) au laboratoire est plus élevée au laboratoire (188) que in-situ (158), mais cette différence n'est pas aussi grande ; cela pourra s'expliquer par le fait qu'au laboratoire toutes les conditions sont réunies pour une bonne mise en œuvre tandis que sur le terrain il peut se présenter certaines difficultés qui réduira considérablement la portance CBR ;
- La déflexion obtenue est $D=24,25$ qui est inférieur au seuil exigé (80) pour les couches de fondation, les essais se sont effectués sur tout le tronçon (gauche, axe et droite) à chaque 25mètre. La Figure 31 présente la mesure de la déflexion à l'aide de la poutre de Benkelman.



Figure 31: Mesure de la déflexion à l'aide de la poutre de Benkelman

- Les résultats de compacité : la planche d'essai a été réalisé entre le Pk 10+000 au Pk 10+200.

Les engins utilisés après approvisionnement pour l'obtention d'une bonne mise en œuvre et une bonne compacité :

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

- Une niveleuse permettant de régler l'épaisseur des matériaux ;
- Une citerne à eau pour l'arrosage qui varie en fonction de la teneur en eau (confère Figure 32) ;



Figure 32: Passage de la citerne à eau

- Un pulvimixeur ou recycleuse effectuant 01 passe et a pour rôle principal de mélanger les constituants d'un sol naturel avec les éléments ajoutés pour obtenir une composition homogène qui pourra ensuite être compacté (voir Figure 33) ;



Figure 33: Malaxage et humidification

- Un compacteur de type 815 (en remplacement à l'Albaret qui est d'habitude utilisé), il effectue 10 passes et permet des opérations de compactage et de refoulement intensives. La Figure 34 montre le passage compacteur type 815.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »



Figure 34: Régilage et compactage

- Un compacteur monobille (Figure 35) effectuant 12 passes ;

Le nombre de passe ainsi que le type d'engin utilisé a été respecté suivant le plan de qualité mis en place pour le projet. Après le respect de ces processus, des essais de compacité effectuée au niveau du tronçon concerné donne environ 99% à tous les points effectués. Ce qui montre un taux de compactage satisfaisant.



Figure 35: Compacteur Monobille

CONCLUSION

La litho-stabilisation permet d'améliorer les propriétés géotechniques des matériaux en vue d'une utilisation en construction routière. Cette technique permet de stabiliser les sols en modifiant leurs squelettes et en augmentant la capacité de l'indice CBR du matériau par l'apport de concassé de granite à des pourcentages déterminés au préalable.

C'est dans ce contexte que nous avons réalisé des études au laboratoire pour une meilleure formulation de la couche de fondation en lithostab (latérite et concassé de granite) au niveau de la rocade nord du Boulevard des Tansoba entre l'intersection avec la RN3 et l'échangeur du nord.

Nous avons déterminé les propriétés de la latérite et des concassés de granite (0/31,5, 5/25 et 15/25) avant de les mélanger à différents pourcentages (20%, 25% et 30%). Cette latérite pour être utilisée en couche de fondation devait avoir un CBR supérieur à 50 à 98% de l'Optimum Proctor Modifié et nous avons obtenu 71% ce qui a nécessité son amélioration. Après la réalisation des essais de portance nous avons constaté que tous les mélanges répondent aux exigences posées dans le CPT.

Le choix final de l'entreprise s'est porté sur la classe de concassé 5/25 car elle donne les meilleurs résultats de portance avec le graveleux latéritique. Cette forte portance qui est de 188% à 98% de l'Optimum Proctor Modifié est obtenue par ajout de 25% de concassé.

Nous avons également pu déterminer la résistance à la compression (1,6MPa avec le concassé 5/25) ainsi que le module d'élasticité (87,74MPa avec le concassé 5/25) des échantillons obtenus avec les concassés dans les pourcentages retenus après la détermination du CBR. Tandis que notre choix s'est porté sur le 0/31,5 à 25% car ayant un CBR de 122% à 98%, une résistance de 1,87MPa et un module de 120,76Mpa.

Cette technique de litho-stabilisation permet au gouvernement Burkinabè d'économiser en comparaison avec la technique de traitement au ciment qui était également proposée par le cahier de prescription technique. Elle permet d'utiliser les matériaux locaux trouvés au Burkina Faso.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

RECOMMANDATION

Au regard de la mise en œuvre de cette technique, nous formulons nos recommandations comme suit :

- ✓ Faire des essais afin de fixer les valeurs concernant la résistance à la compression et le module de Young ;
- ✓ Réaliser deux planches d'essai et comparer les modules EV2 ;
- ✓ La classe de concassé 15/25 pouvait être utilisée à 20% d'ajout ;
- ✓ Débarrasser le matériau de toutes ses impuretés ;
- ✓ Veiller au respect de la classe de concassé de granite à utiliser ;
- ✓ Veiller au respect du nombre de passe lors du compactage ;
- ✓ S'assurer qu'il n'y ait pas de ségrégation lors du régalinge des matériaux ;

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

BIBLIOGRAPHIE

- Ahouet, L., R. G. Elenga, S. Bouyila, and M. Ngoulou. 2018. "Amélioration des propriétés géotechniques du graveleux latéritique par ajout de la grave alluvionnaire concassée 0/31,5." 6.
- Alassane et al. 2022. "Etude du comportement thermique et électrique en modulation de fréquence d'une structure de chaussée à base de déchets de sacs en plastique broyés et de résidu de canne à sucre dans du mélange bitumineux pour une meilleure performance routière."
- Aubert, G. 1966. "Les sols latéritiques." 16.
- Bohi, Z. P. B. 2008. "Caractérisation des sols latéritiques utilisés en construction routière : cas de la région de l'Agneby (Côte d'Ivoire)." 144.
- Bourgeon, G., and Y. Gunnell. 2005. "Étude et Gestion des Sols, Volume 12, 2, 2005 - pages 87 à 100." Accessed September 17, 2022. <https://www.google.com/search?q=%C3%89tude+et+Gestion+des+Sols%2C+Volume+12%2C+2%2C+2005+-+pages+87>.
- Cebtp. 1980.
- De Medina J, and et al. 2006. "Etude du comportement thermique et électrique en modulation de fréquence d'une structure de chaussée à base de déchets de sacs en plastique broyés et de résidu de canne à sucre dans du mélange bitumineux pour une meilleure performance routière." Accessed December 20, 2022. <https://www.google.com/search?q=DE+MEDINA+J.%2C+MOTTA+L.M.%2C+et+DOS+SA+NTO+J.D.%2C&sxsr>.
- Gidigas, M. D. 1976. "Laterite soil engineering : pedogenesis and engineering principles." Accessed December 20, 2022. https://www.google.com/search?q=GIDIGASU+M.&sxsr=ALiCzsaOm7ffiq80X_cHIAzZgOM4cw2oog%3A1671560648595&ei=yP2hY_zwI4SmkdUPgrG0-A4&ved=0ahUKEwj89LfV6Ij8AhUEU6QEHYIYDe8Q4dUDCA8&uact=5&oq.
- "Gtr." 2000.
- Ilboudo, C. 2016. "Etude technique des différentes améliorations des chaussées (au concassé et au ciment.)"
- "Introduction à la MDS." 2019.
- Kanazoe, M. 2011. "Mémoire pour l'obtention du Master en ingénierie." 106.
- Kikone, W. D. 2016. "Etude Technico-économique des différentes techniques d'amélioration des couches de chaussée (amélioration au concassé et au ciment)." Accessed September 17, 2022. <https://www.google.com/search?q=Etude+Technico-%C3%A9conomique+des+diff%C3%A9rentes+techniques+d%E2%80%99am%C3%>.
- "Lcpc ce 1." 1970. Accessed December 2, 2022.
- "Lcpc setra." 1994.
- Lompo, P. 1980. "Les matériaux utilisés en construction routière en Haute- Volta ; un matériau non traditionnel 'le lithostab.'"
- Mahamat, S. 2019. "Caractérisation géo mécanique de la laterite de saaba." 92.
- Maignien, R. 1966. "Compte-rendu de recherches sur les latérites." 164.
- Mesbah, A., M. J. C., and O. M. 1999. "Comportement des sols fins argileux pendant un essai de compactage statique : détermination des paramètres pertinents." Accessed December 20, 2022.

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

- <https://www.google.com/search?q=MESBAH+A.%2C+MOREL+J.C.%2C+et+OLIVIER+M.%2C&sxsrf=ALiCzsa->
- “Méthode d’essai LCPC.” 1887.
- “NF EN 933-1.” 2012. Accessed December 2, 2022. <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-9331/essais-pour-determiner-les-caracteristiques-geometriques-des-granulats-part/fa163900/39221>.
- “NF EN 933-3.” 2012. Accessed December 2, 2022. <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-9333/essais-pour-determiner-les-caracteristiques-geometriques-des-granulats-part/fa163867/38938>.
- “NF EN 1097-1.” 2011. Afnor EDITIONS. Accessed December 2, 2022. <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-en-10971/essais-pour-determiner-les-caracteristiques-mecaniques-et-physiques-des-gra/fa163865/37734>.
- “NF EN 13286-41.” 2003.
- “NF EN 13286-43.” 2003.
- “NF P18 573.” 1990. Accessed December 2, 2022. <https://fr.scribd.com/document/101040901/P18-573>.
- “NF P94 -051.” 1993.
- “NF P94-057.” 1992.
- “NF P94-078.” 1997.
- “NF P94-093.” 2014. Afnor EDITIONS. Accessed December 2, 2022. <https://www.boutique.afnor.org/fr-fr/norme/nf-p94093/sols-reconnaissance-et-essais-determination-des-references-de-compactage-du/fa185491/43924>.
- Osula. 1991. “Lime modification of problem laterite.”
- Ouattara, M. A.-K. 2021. “Caractérisation géo mécanique de la latérite de Saaba (Burkina Faso) litho-stabilisation en vue d’une utilisation en construction routière.”
- Salomon, Z. 2018. “Caractérisation de la latérite de Kamboinsin en vue d’une utilisation durable dans les structures de chaussées.” 148.
- Toé. 2007. “Utilisation de la technique de la litho-stabilisation en assise de chaussée.” Accessed September 17, 2022. <https://docplayer.fr/86531646-Utilisation-de-la-technique-de-la-litho-stabilisation-en-assise-de-chaussee-une-experience-de-chantier.html>.

Sites Web

<https://fr.wikipedia.org/wiki/G%C3%A9otextile>

<https://www.helpub.com/t24067-topic>

https://www.deepl.com/translator?utm_source=lingueefr&utm_medium=linguee&utm_content=homepage_text#en/fr/granit%20crushed%20stone

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

ANNEXES

Annexe 1 : Données des essais d'analyse granulométrique	73
Annexe 2: Les limites d'Atterberg	Erreur ! Signet non défini.
Annexe 3 : les coefficients d'aplatissement	72
Annexe 4 : Les données de l'essai Proctor et CBR.....	75
Annexe 5 : Résistance à la compression	86
Annexe 6 : Fiches techniques de la planche d'essai.....	88

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Annexe 1 : Données des essais d'analyse granulométrique

GAL

➤ Tamisage à sec

GRANULOMETRIE			
Tamis(mm)	Masse des refus	Refus(%)	Passants(%)
50	0	0	100
40	99	2	98
31,5	175	3	97
25	255	5	95
20	362	7	93
16	446	8	92
12,5	612	11	89
10	812	15	85
8	1086	20	80
6,3	1530	28	72
5	2017	37	63
4	2411	44	56
3,15	2729	50	50
2,5	2968	54	46
2	3180	58	42
1,6	3346	61	39
1,25	3508	64	36
1	3617	66	34
0,8	3740	68	32
0,63	3906	71	29
0,5	4014	73	27
0,4	4105	75	25
0,315	4216	77	23
0,25	4315	79	21
0,2	4417	81	19
0,16	4491	82	18
0,125	4559	83	17
0,1	4634	85	15
0,08	4683	86	14

➤ Par Sédimentométrie

Heures	Temps cumulé t _c de lecture		Lecture R	Température T °C	Correction CT+Cm-Cd	Lecture corrigée Rc	Profondeur effective Hr (cm)	Facteur F	Diamètre équivalent Φ (μ m)	Pourcentage des grains < Φ	Passant échantillon p (p = C.P) en
t ₀ = 30/07/2019 07:25											
07:25:30	30 s	30	1004,8	26,0	1,6	1006,4	16,7	0,97	73	25,8%	12,4%
07:26:00	1 min	60	1003,6	26,0	1,6	1005,2	16,9	0,97	52	21,0%	10,1%
07:27:00	2 min	120	1003,0	26,5	1,8	1004,8	17,0	0,97	36	19,1%	9,2%
07:30:00	5 min	300	1002,6	26,5	1,8	1004,4	17,1	0,97	23	17,5%	8,4%
07:35:00	10 min	600	1002,4	27,0	1,9	1004,3	17,1	0,96	16	17,2%	8,3%
07:45:00	20 min	1200	1002,0	27,5	2,0	1004,0	17,1	0,96	11	16,2%	7,8%
08:05:00	40 min	2400	1001,8	27,5	2,0	1003,8	17,2	0,96	8	15,4%	7,4%
08:45:00	80 min	4800	1001,0	28,0	2,2	1003,2	17,3	0,95	6	12,7%	6,1%
11:25:00	4 h	14400	1000,0	29,5	2,6	1002,6	17,4	0,94	3	10,3%	5,0%
07:25:00 J+1	24 h	86400	1000,0	28,0	2,2	1002,2	17,5	0,95	1	8,7%	4,2%

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Les classes de concassé et des différents mélanges

➤ 0/31,5

		0/31,5		GRANULOMETRIE 20%			
Masse de l'échantillon=		6567		7241			
Tamis (mm)	Masse des refus cumulés(g)	Refus (%)	Passants (%)	Tamis (mm)	Masse des refus cumulés (g)	Refus (%)	Passants (%)
50	0	0	0	50	0	0	100
40	0	0	100	40	0	0	100
31,5	137	2	98	31,5	0	0	100
25	1368	21	79	25	345	5	95
20	2312	35	65	20	733	10	90
16	3001	46	54	16	968	13	87
12,5	3575	54	46	12,5	1265	17	83
10	3966	60	40	10	1577	22	78
8	4282	65	35	8	1942	27	73
6,3	4555	69	31	6,3	2482	34	66
5	4792	73	27	5	3145	43	57
4	4962	76	24	4	3612	50	50
3,15	5080	77	23	3,15	3966	55	45
2,5	5206	79	21	2,5	4240	59	41
2	5321	81	19	2	4516	62	38
1,6	5414	82	18	1,6	4708	65	35
1,25	5509	84	16	1,25	4884	67	33
1	5575	85	15	1	5032	69	31
0,8	5641	86	14	0,8	5205	72	28
0,63	5742	87	13	0,63	5421	75	25
0,5	5798	88	12	0,5	5547	77	23
0,4	5847	89	11	0,4	5693	79	21
0,315	5915	90	10	0,315	5864	81	19
0,25	5970	91	9	0,25	5994	83	17
0,2	6028	92	8	0,2	6095	84	16
0,16	6087	93	7	0,16	6155	85	15
0,125	6131	93	7	0,125	6283	87	13
0,1	6176	94	6	0,1	6443	89	11
0,08	6235	95	5	0,08	6590	91	9

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

GRANULOMETRIE 25%				GRANULOMETRIE 30%			
8142				8455			
Tamis (mm)	Mase des refus cumulés (g)	Refus (%)	Passants (%)	Tamis (mm)	Mase des refus cumulés (g)	Refus (%)	Passants (%)
50	0	0	100	50	0	0	100
40	200	2	98	40	200	2	98
31,5	322	4	96	31,5	322	4	96
25	758	9	91	25	758	9	91
20	1218	15	85	20	1218	14	86
16	1622	20	80	16	1622	19	81
12,5	1929	24	76	12,5	1929	23	77
10	2301	28	72	10	2301	27	73
8	2787	34	66	8	2787	33	67
6,3	3392	42	58	6,3	3392	40	60
5	4026	49	51	5	4026	48	52
4	4551	56	44	4	4551	54	46
3,15	4913	60	40	3,15	4913	58	42
2,5	5216	64	36	2,5	5216	62	38
2	5489	67	33	2	5489	65	35
1,6	5674	70	30	1,6	5674	67	33
1,25	5862	72	28	1,25	5995	71	29
1	5975	73	27	1	6129	72	28
0,8	6153	76	24	0,8	6306	75	25
0,63	6275	77	23	0,63	6436	76	24
0,5	6407	79	21	0,5	6617	78	22
0,4	6620	81	19	0,4	6730	80	20
0,315	6761	83	17	0,315	6861	81	19
0,25	6878	84	16	0,25	6999	83	17
0,2	6989	86	14	0,2	7154	85	15
0,16	7112	87	13	0,16	7208	85	15
0,125	7153	88	12	0,125	7345	87	13
0,1	7244	89	11	0,1	7444	88	12
0,08	7397	91	9	0,08	7597	90	10

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

➤ 5/25

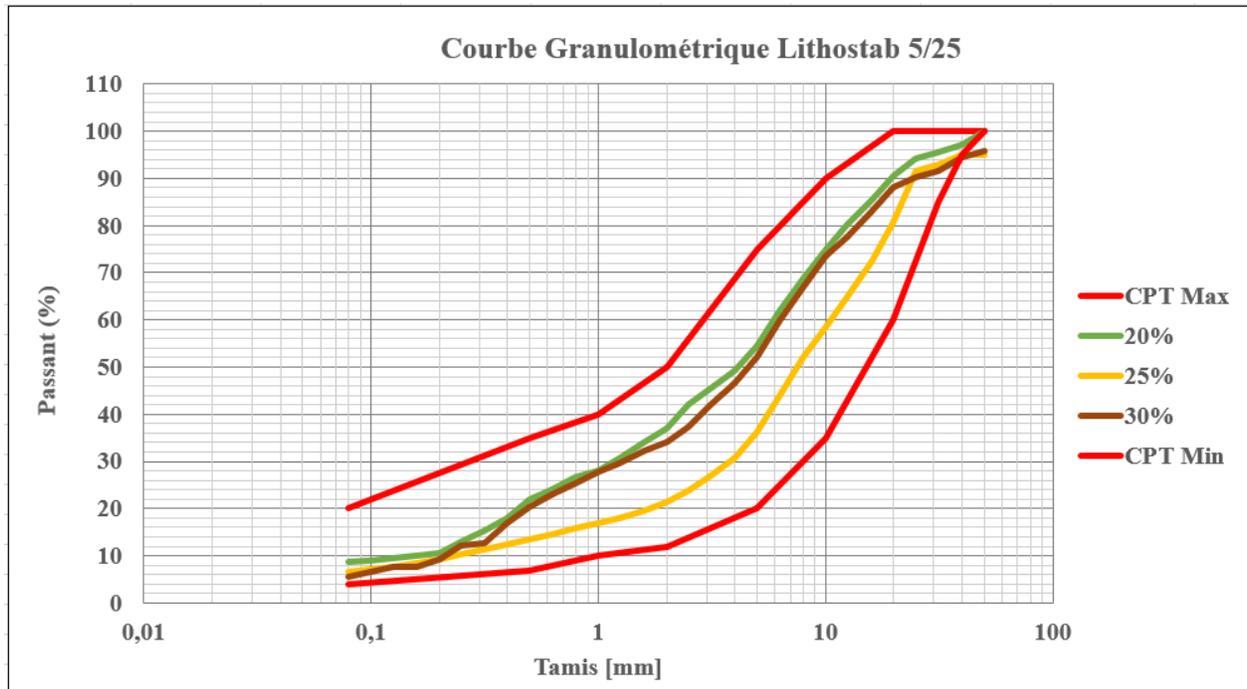
Concassé 5/25				GRANULOMETRIE 20%			
Masse de l'échantillon=		4605		5909			
Tamis(mm)	Mase des refus cumulés(g)	Refus(%)	Passants(%)	Tamis (mm)	Mase des refus cumulés (g)	Refus (%)	Passants (%)
40	0	0	100	50	0	0	100
31,5	0	0	100	40	165	3	97
25	0	0	100	31,5	271	5	95
20	1257	27	73	25	343	6	94
16	2474	54	46	20	557	9	91
12,5	3281	71	29	16	857	15	85
10	3712	81	19	12,5	1168	20	80
8	4026	87	13	10	1485	25	75
6,3	4274	93	7	8	1840	31	69
5	4460	97	3	6,3	2243	38	62
4	4541	99	1	5	2681	45	55
3,15	4563	99	1	4	2999	51	49
2,5	4569	99	1	3,15	3220	54	46
2	4572	99	1	2,5	3428	58	42
1,6	4574	99	1	2	3728	63	37
1,25	4575	99	1	1,6	3896	66	34
1	4576	99	1	1,25	4102	69	31
0,8	4577	99	1	1	4254	72	28
0,63	4577	99	1	0,8	4335	73	27
0,5	4577	99	1	0,63	4483	76	24
0,4	4577	99	1	0,5	4617	78	22
0,315	4578	99	1	0,4	4844	82	18
0,25	4578	99	1	0,315	5003	85	15
0,2	4579	99	1	0,25	5145	87	13
0,16	4580	99	1	0,2	5281	89	11
0,125	4581	99	1	0,16	5319	90	10
0,1	4582	100	0	0,125	5347	90	10
0,08	4585	100	0	0,1	5377	91	9
				0,08	5389	91	9

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

GRANULOMETRIE 25%				GRANULOMETRIE 30%			
5910				5612			
Tamis (mm)	Mase des refus cumulés (g)	Refus (%)	Passants (%)	Tamis (mm)	Mase des refus cumulés (g)	Refus (%)	Passants (%)
50	300	5	95	50	233	4	96
40	300	5	95	40	315	6	94
31,5	422	7	93	31,5	475	8	92
25	503	9	91	25	551	10	90
20	1144	19	81	20	660	12	88
16	1624	27	73	16	945	17	83
12,5	2084	35	65	12,5	1265	23	77
10	2447	41	59	10	1490	27	73
8	2831	48	52	8	1850	33	67
6,3	3308	56	44	6,3	2250	40	60
5	3771	64	36	5	2690	48	52
4	4091	69	31	4	3000	53	47
3,15	4314	73	27	3,15	3245	58	42
2,5	4498	76	24	2,5	3520	63	37
2	4636	78	22	2	3690	66	34
1,6	4747	80	20	1,6	3796	68	32
1,25	4842	82	18	1,25	3950	70	30
1	4903	83	17	1	4060	72	28
0,8	4975	84	16	0,8	4180	74	26
0,63	5048	85	15	0,63	4320	77	23
0,5	5106	86	14	0,5	4470	80	20
0,4	5168	87	13	0,4	4658	83	17
0,315	5240	89	11	0,315	4895	87	13
0,25	5298	90	10	0,25	4933	88	12
0,2	5366	91	9	0,2	5088	91	9
0,16	5411	92	8	0,16	5176	92	8
0,125	5454	92	8	0,125	5186	92	8
0,1	5487	93	7	0,1	5235	93	7
0,08	5525	93	7	0,08	5301	94	6

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Courbe granulométrique des mélanges avec le 0/31,5

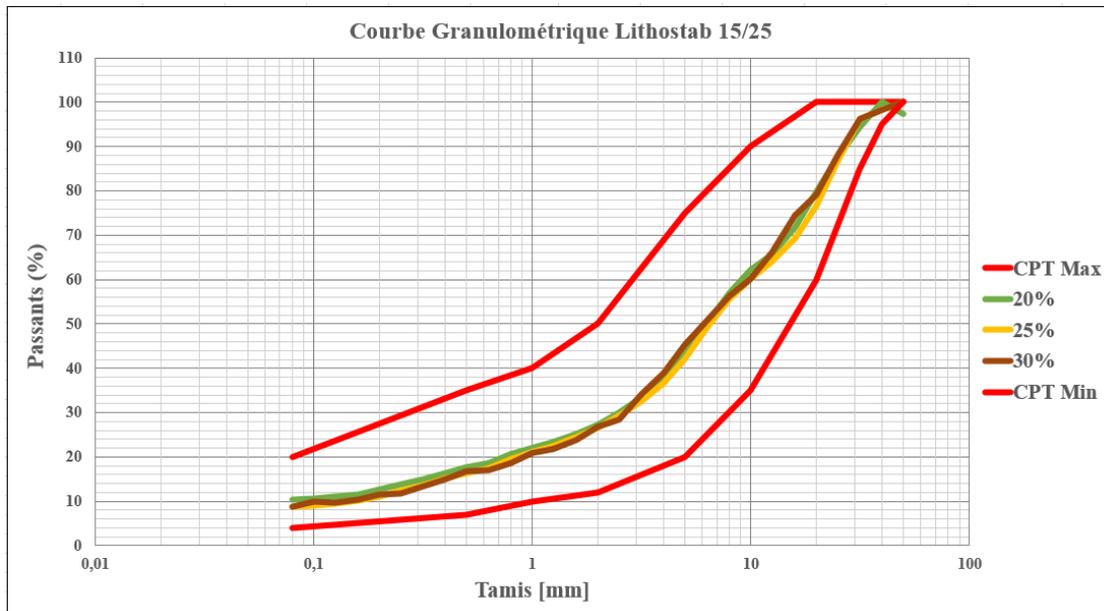


THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

GRANULOMETRIE 25%				GRANULOMETRIE 30%			
5977				5882			
Tamis (mm)	Masse des refus cumulés (g)	Refus (%)	Passants (%)	Tamis (mm)	Masse des refus cumulés (g)	Refus (%)	Passants (%)
50	0	0	100	50	0	0	100
40	97	2	98	40	100	2	98
31,5	223	4	96	31,5	222	4	96
25	805	13	87	25	700	12	88
20	1403	23	77	20	1233	21	79
16	1833	31	69	16	1500	26	74
12,5	2145	36	64	12,5	2000	34	66
10	2382	40	60	10	2340	40	60
8	2657	44	56	8	2569	44	56
6,3	3036	51	49	6,3	2888	49	51
5	3466	58	42	5	3215	55	45
4	3792	63	37	4	3595	61	39
3,15	4029	67	33	3,15	3880	66	34
2,5	4230	71	29	2,5	4211	72	28
2	4392	73	27	2	4310	73	27
1,6	4516	76	24	1,6	4480	76	24
1,25	4635	78	22	1,25	4603	78	22
1	4717	79	21	1	4653	79	21
0,8	4806	80	20	0,8	4788	81	19
0,63	4927	82	18	0,63	4883	83	17
0,5	5006	84	16	0,5	4900	83	17
0,4	5074	85	15	0,4	5004	85	15
0,315	5165	86	14	0,315	5096	87	13
0,25	5234	88	12	0,25	5190	88	12
0,2	5312	89	11	0,2	5201	88	12
0,16	5371	90	10	0,16	5277	90	10
0,125	5410	91	9	0,125	5315	90	10
0,1	5437	91	9	0,1	5300	90	10
0,08	5458	91	9	0,08	5360	91	9

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Courbe granulométrique



Les bornes fixées par le Cahier de Prescription Technique

➤ Pour la latérite

Exigence CPT		
Ouverture de tamis(mm)	Pourcentage en passant	
	Minimum	Maximum
50	100	100
40	95	100
31,5	85	100
20	60	100
10	35	90
5	20	75
2	12	50
1	10	40
0,5	7	35
0,08	4	30

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

➤ Pour les différents mélanges

Exigence CPT		
Ouverture de tamis (mm)	Pourcentage en passant Minimum	Pourcentage en passant Maximum
50	100	100
40	95	100
31,5	85	100
20	60	100
10	35	90
5	20	75
2	12	50
1	10	40
0,5	7	35
0,08	4	20

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Annexe 2 : Les limites d'Atterberg

GAL

La latérite											
	Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande WL									WP au rouleau	
Mesure n°	1		2		3		4		5	1	2
Nombres de coups	16		21		27		31				
Tare N°	A3	10	1	16	2	22	11	A24		25	12
Masse totale humide (g)	13,2	13,021	14,663	11,96	14,689	11,504	14,38	13,108		9,201	8,58
Masse totale sèche (g)	11,042	10,906	12,198	10,17	12,553	9,862	12,35	11,352		8,721	8,155
Masse tare (g)	4,126	4,375	4,251	4,385	5,513	4,437	5,513	5,451		5,586	5,458
Masse eau (g)	2,158	2,115	2,465	1,792	2,136	1,642	2,029	1,756		0,48	0,425
Masse sol sec (g)	6,916	6,531	7,947	5,784	7,040	5,425	6,837	5,901		3,135	2,697
Teneur en eau (%)	31,2	32,4	31,0	31,0	30,3	30,3	29,7	29,8		15,3	15,8
Teneur en eau moyenne (%)	31,8		31,0		30,3		29,7			15,5	

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Limites d'Atterberg concernant le 0/31,5

Litho 0/31,5 à 20%												
	Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande WL										WP au rouleau	
Mesure n°	1		2		3		4		5		1	2
Nombres de coups	16		20		24		28		32			
Tare N°	A7	A4	27	A9	A16	A12	5	A22	16	A26	10	A15
Masse totale humide (g)	17,056	12,562	13,547	13,325	14,988	15,481	15,123	14,122	14,606	13,611	8,54	7,326
Masse totale sèche (g)	14,035	10,424	11,172	10,729	12,272	12,632	12,075	11,624	12,043	11,077	7,839	6,62
Masse tare (g)	5,505	4,381	4,404	3,335	4,531	4,467	3,147	4,408	4,384	3,785	4,375	2,906
Masse eau (g)	3,021	2,138	2,375	2,596	2,716	2,849	3,048	2,498	2,563	2,534	0,701	0,706
Masse sol sec (g)	8,53	6,043	6,768	7,394	7,741	8,165	8,928	7,216	7,659	7,292	3,464	3,714
Teneur en eau (%)	35,4	35,4	35,1	35,1	35,1	34,9	34,1	34,6	33,5	34,8	20,2	19,0
Teneur en eau moyenne (%)	35,4		35,1		35,0		34,4		34,1		19,6	

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

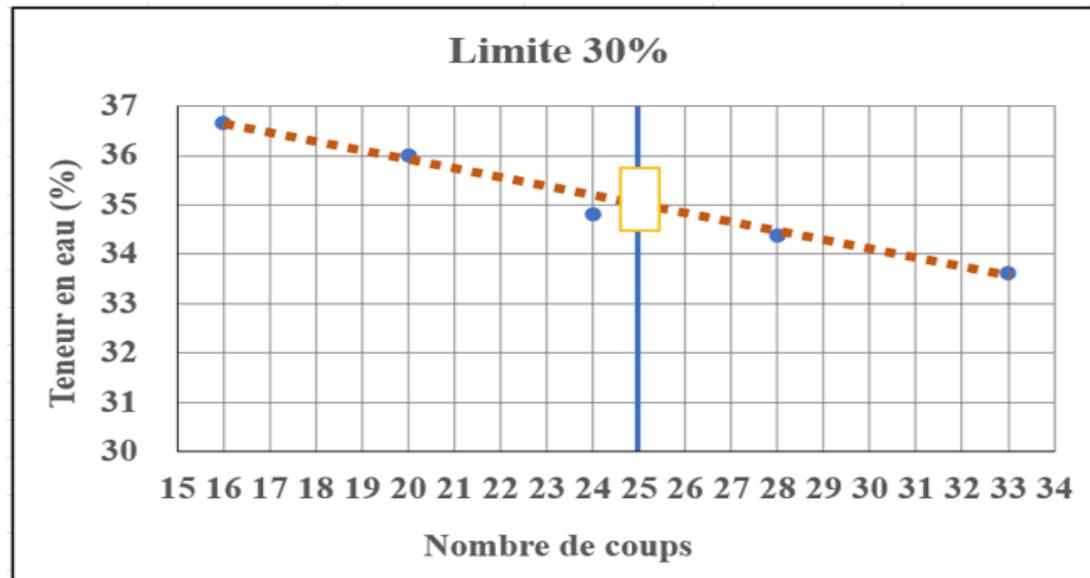
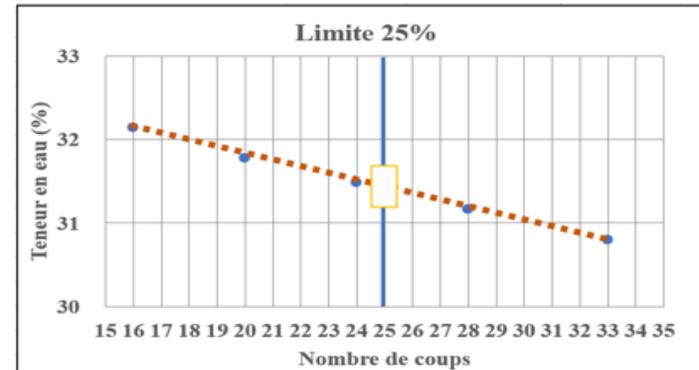
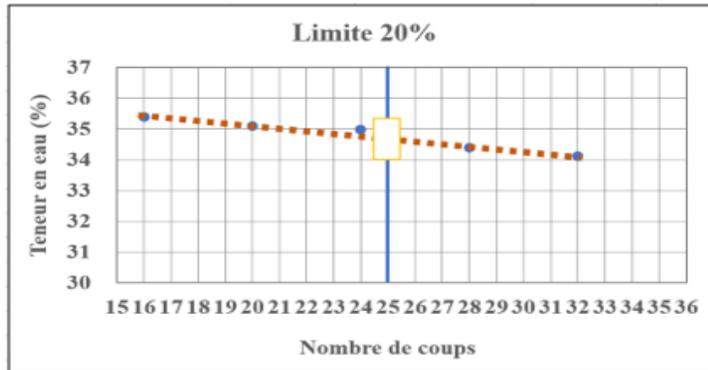
Litho 0/31,5 à 25%												
Mesure n°	Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande WL										Limite de Plasticité au rouleau WP	
	1		2		3		4		5		1	2
Nombres de coups	16		20		24		28		33			
Tare N°	24	27	A8	A12	A9	18	A26	A15	25	A14	16	10
Masse totale humide (g)	11,283	12,509	13,688	13,96	15,066	14,52	12,32	11,539	14,572	14,773	8,014	7,946
Masse totale sèche (g)	9,215	10,542	11,315	11,672	12,247	12,114	10,293	9,488	12,457	12,284	7,497	7,433
Masse tare (g)	2,801	4,403	3,854	4,467	3,336	4,437	3,786	2,908	5,588	4,203	4,387	4,378
Masse eau (g)	2,068	1,967	2,373	2,288	2,819	2,406	2,027	2,051	2,115	2,489	0,517	0,513
Masse sol sec (g)	6,414	6,139	7,461	7,205	8,911	7,677	6,507	6,58	6,869	8,081	3,11	3,055
Teneur en eau (%)	32,2	32,0	31,8	31,8	31,6	31,3	31,2	31,2	30,8	30,8	16,6	16,8
Teneur en eau moyenne (%)	32,1		31,8		31,5		31,2		30,8		16,7	

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Litho 0/31,5 à 30%												
Mesure n°	Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande WL										Limite de Plasticité au rouleau WP	
	1		2		3		4		5		1	2
Nombres de coups	16		20		24		28		33			
Tare N°	24	27	A8	A12	A9	18	A26	A15	25	A14	16	10
Masse totale humide (g)	11,263	12,509	13,688	13,96	15,066	14,52	12,283	11,529	14,562	14,773	8,014	7,946
Masse totale sèche (g)	9,215	10,542	11,315	11,672	12,247	12,114	10,293	9,488	12,457	12,284	7,497	7,433
Masse tare (g)	3,951	4,823	4,854	5,187	4,236	5,127	4,106	3,908	6,18	4,903	5,107	5,033
Masse eau (g)	2,048	1,967	2,373	2,288	2,819	2,406	1,99	2,041	2,105	2,489	0,517	0,513
Masse sol sec (g)	5,264	5,719	6,461	6,485	8,011	6,987	6,187	5,58	6,277	7,381	2,39	2,4
Teneur en eau (%)	38,9	34,4	36,7	35,3	35,2	34,4	32,2	36,6	33,5	33,7	21,6	21,38
Teneur en eau moyenne (%)	36,6		36,00		34,81		34,4		33,63		21,50	

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Représentation graphique :



THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Annexe 2 : les coefficients d'aplatissement

TRAVAUX DE CONSTRUCTION MODERNE DES POSTES DE PEAGE ROUTIER
AU BURKINA FASO

Mesure du coefficient d'aplatissement (NF EN 933 – 3)

Chantier : *Rocade*

Provenance : *Cariere Gampela*

Nature : *Concasse 0/31,5*

Date : *16/08/2022*

Opérateur : *Stagiaire*

Visa :

Classe granulaire (d/D)	Grille (D/2)	Massa (g) par tamis	Massa (g) par grille
63/80	40		
50/63	31,5		
40/50	25		
31,5/40	20	157	00
25/31,5	16	320	101
20/25	12,5	605	73
16/20	10	575	107
12,5/16	8	300	98
10/12,5	6,3	220	70
8/10	5	192	66
6,3/8	4	171	53
5/6,3	3,15	160	42
4/5	2,5	128	30
Somme		3448	640
Coefficient d'aplatissement A (%)		18,56%	

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »



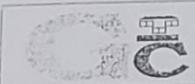
TRAVAUX DE CONSTRUCTION MODERNE DES POSTES DE PEAGE ROUTIER
AU BURKINA FASO

Mesure du coefficient d'aplatissement (NF EN 933 – 3)

Chantier : Rocade
 Provenance : Carière Gampela
 Nature : Concasse 5/25
 Date : 17/08/2022
 Opérateur : stagiaire
 Visa :

Classe granulaire (d/D)	Grille (D/2)	Massa (g) par tamis	Massa (g) par grille
63/80	40		
50/63	31,5		
40/50	25		
31,5/40	20		
25/31,5	16	00	00
20/25	12,5	788	96
16/20	10	1267	100
12,5/16	8	823	163
10/12,5	6,3	338	73
8/10	5	259	61
6,3/8	4	132	40
5/6,3	3,15	70	19
4/5	2,5		
Somme		3677	552
Coefficient d'aplatissement A (%)		15,01%	

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »


TRAVAUX DE CONSTRUCTION MODERNE DES POSTES DE PEAGE ROUTIER AU BURKINA FASO

Mesure du coefficient d'aplatissement (NF EN 933 - 3)

Chantier : Rocade
 Provenance : Carière Gampela
 Nature : Concasse 15/25
 Date : 19/08/2022
 Opérateur : Stagiaire
 Visa :

Classe granulaire (d/D)	Grille (D/2)	Massa (g) par tamis	Massa (g) par grille
63/80	40		
50/63	31,5		
40/50	25		
31,5/40	20		
25/31,5	16	960	200
20/25	12,5	2248	208
16/20	10	1750	336
12,5/16	8	813	177
10/12,5	6,3		
8/10	5		
6,3/8	4		
5/6,3	3,15		
4/5	2,5		
Somme		5811	921
Coefficient d'aplatissement A (%)		15,85%	

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Annexe 3 : Les données de l'essai Proctor et CBR

GAL

Tableau récapitulatif :

PROCTOR		CBR			
Teneur en eau (%)	Densité	Nbre coups	Densité	CBR	CBR à 95% OPM
6,7	1,89	10	1,85	33	73
8,1	1,945	25	1,95	75	
10,6	2,04	56	2,055	124	
12,4	2,03				
14,2	1,955				
Wopt	Densité opt	95%Densité opt	WI	Ip	%<80μ
11,3	2,045	1,94	30,5	15	14

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

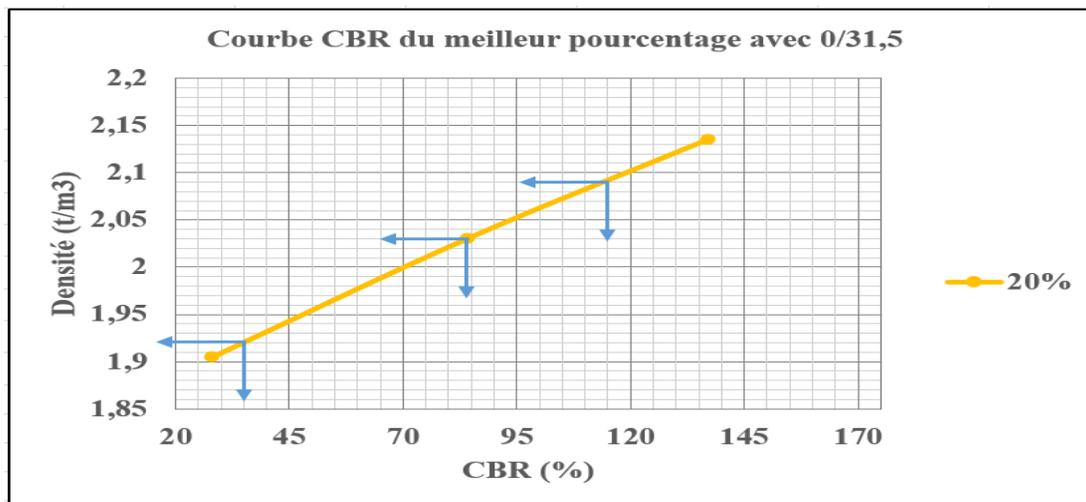
Les différents mélanges

➤ **0/31,5**

Tableau récapitulatif :

20%					
PROCTOR		CBR			
Teneur en eau (%)	Densité	Nbre coups	Densité	CBR	CBR à 98% OPM
6,5	1,97	10	1,905	28	115
8,5	2,115	25	2,03	84	
10,2	2,13	56	2,135	137	
12,1	2,015				
14,5	1,965				
Wopt	Densité opt	95%Densité opt	Wl	Ip	%<80μ
9,6	2,135	2,035	34,6	15	9

Courbe CBR à 20% :



THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Tableau récapitulatif :

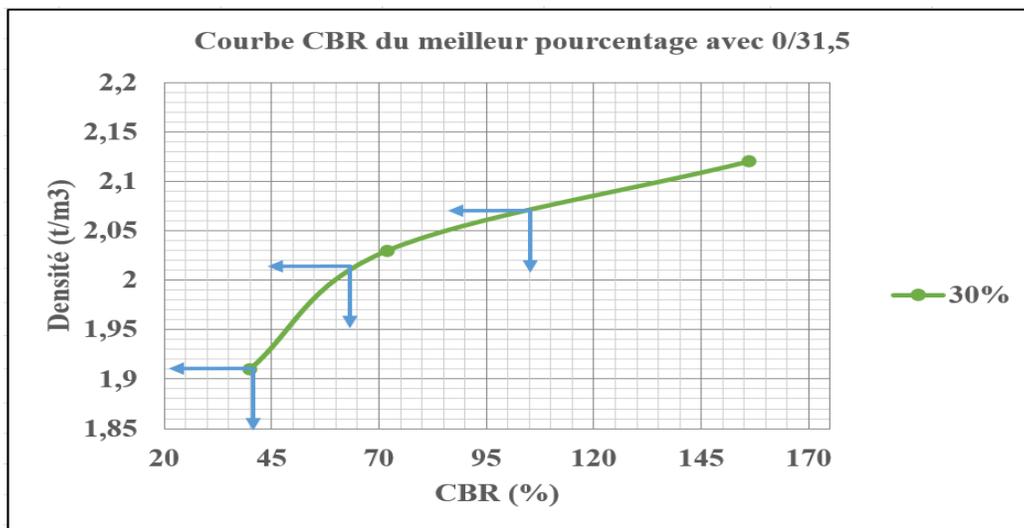
25%					
PROCTOR		CBR			
Teneur en eau (%)	Densité	Nbre coups	Densité	CBR	CBR à 98% OPM
6,2	1,985	10	1,91	28	122
8,2	2,11	25	2,015	74	
9,2	2,12	56	2,12	152	
10,4	2,09				
12,2	2,025				
Wopt	Densité opt	95%Densité opt	WI	Ip	%<80μ
8,8	2,12	2,01	31,5	14,8	9

Tableau récapitulatif :

30%					
PROCTOR		CBR			
Teneur en eau (%)	Densité	Nbre coups	Densité	CBR	CBR à 98% OPM
5,7	1,98	10	1,91	40	111
7,7	2,1	25	2,03	72	
9,7	2,11	56	2,12	156	
11,7	1,99				
12,8	1,93				
Wopt	Densité opt	95%Densité opt	WI	Ip	%<80μ
8,8	2,12	2,01	35	13,5	10

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Courbe CBR à 30%



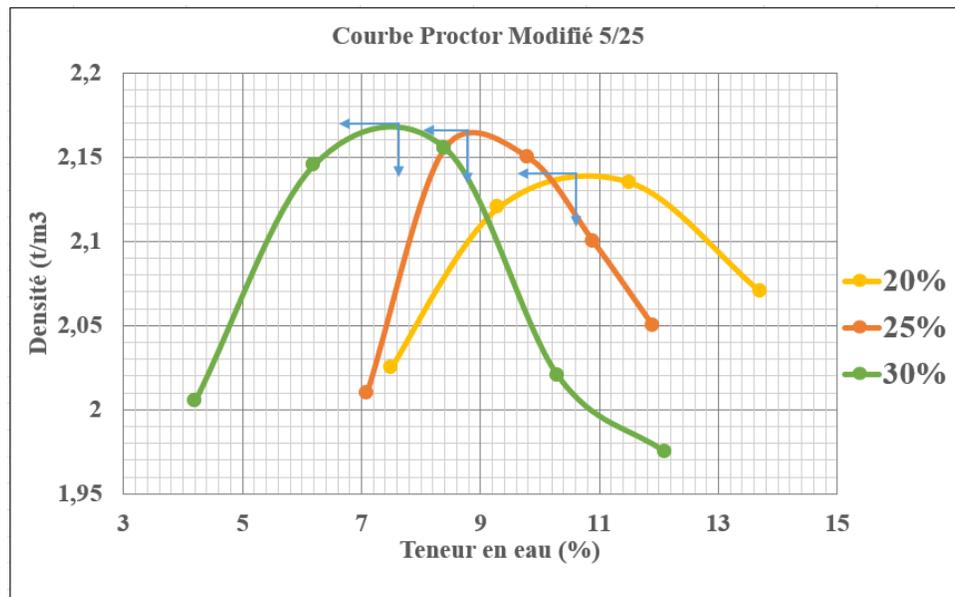
➤ 5/25

Tableau récapitulatif :

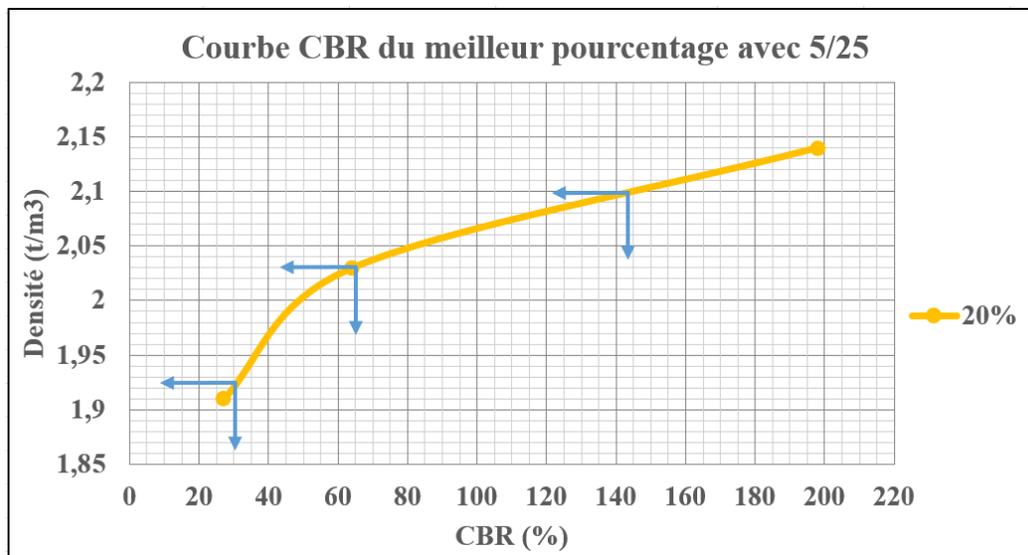
20%					
PROCTOR		CBR			
Teneur en eau (%)	Densité	Nbre coups	Densité	CBR	CBR à 98% OPM
6,8		10	1,91	27	143
7,5	2,025	25	2,03	64	
9,3	2,12	56	2,14	198	
11,5	2,135				
13,7	2,07				
Wopt	Densité opt	95%Densité opt	Wl	Ip	%<80μ
10,4	2,14	2,035	30,5	15	9

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Courbe Proctor de tous les mélanges avec le 5/25 :



Courbe CBR à 20%

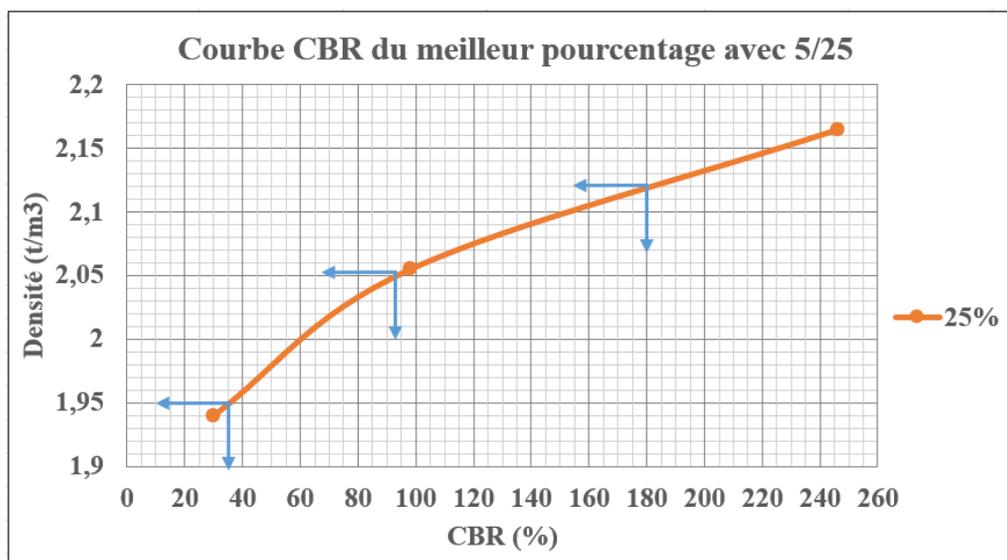


THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Tableau récapitulatif :

25%						
PROCTOR		CBR				
Teneur en eau (%)	Densité	Nbre coups	Densité	CBR	CBR à 98% OPM	
7,1	2,01	10	1,94	30	180	
8,4	2,155	25	2,055	98		
9,8	2,15	56	2,165	246		
10,9	2,1					
11,9	2,05					
Wopt	Densité opt	95%Densité opt	WI	Ip	%<80μ	
8,8	2,165	2,055	30,5	15	7	

Courbe CBR à 25% :

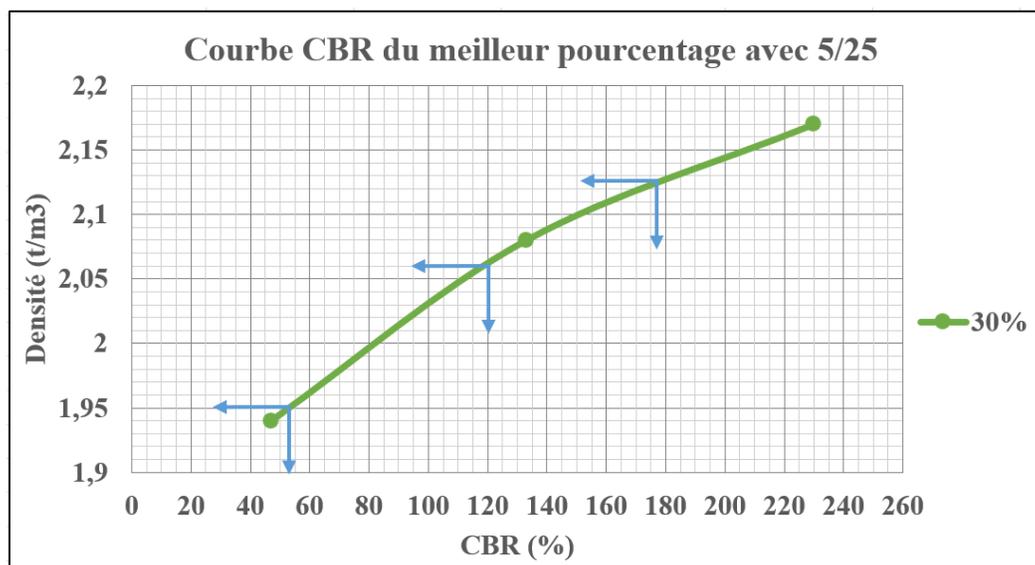


THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Tableau récapitulatif :

30%					
PROCTOR		CBR			
Teneur en eau (%)	Densité	Nbre coups	Densité	CBR	CBR à 98% OPM
4,2	2,005	10	1,94	47	177
6,2	2,145	25	2,08	133	
8,4	2,155	56	2,17	230	
10,3	2,02				
12,1	1,975				
Wopt	Densité opt	95%Densité opt	WI	Ip	%<80μ
7,6	2,17	2,06	30,5	15	6

Courbe CBR à 30%



THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

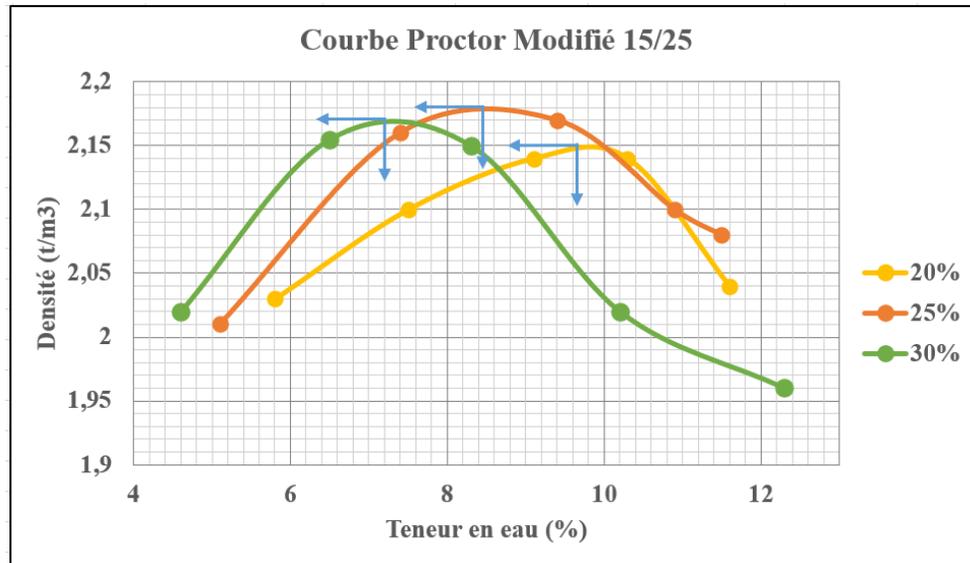
➤ **15/25**

Tableau récapitulatif :

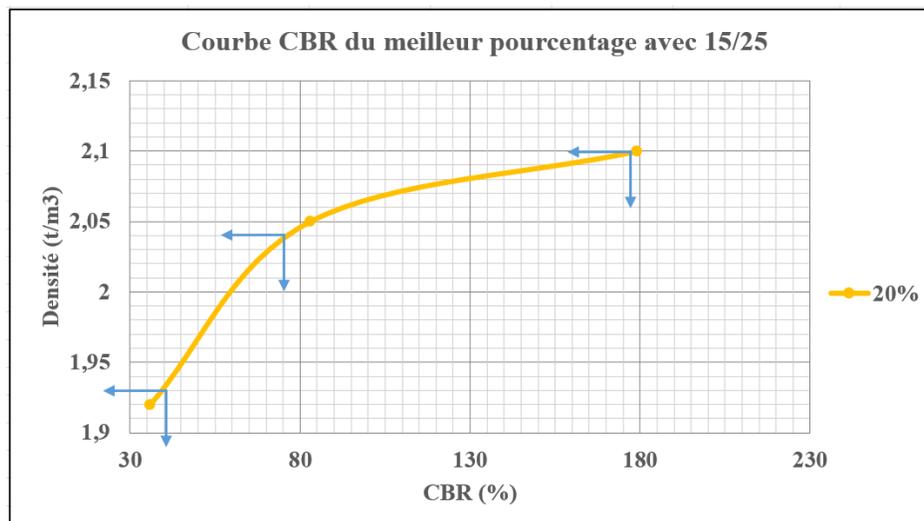
20%					
PROCTOR		CBR			
Teneur en eau (%)	Densité	Nbre coups	Densité	CBR	CBR à 98% OPM 177
5,8	2,03	10	1,92	36	
7,5	2,1	25	2,05	83	
9,1	2,14	56	2,1	179	
10,3	2,14				
11,6	2,04				
Wopt	Densité opt	95%Densité opt	Wl	Ip	%<80μ
9,8	2,15	2,04	30,5	15	10

THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Courbe Proctor de tous les mélanges avec le 15/25 :



Courbe CBR à 20% :

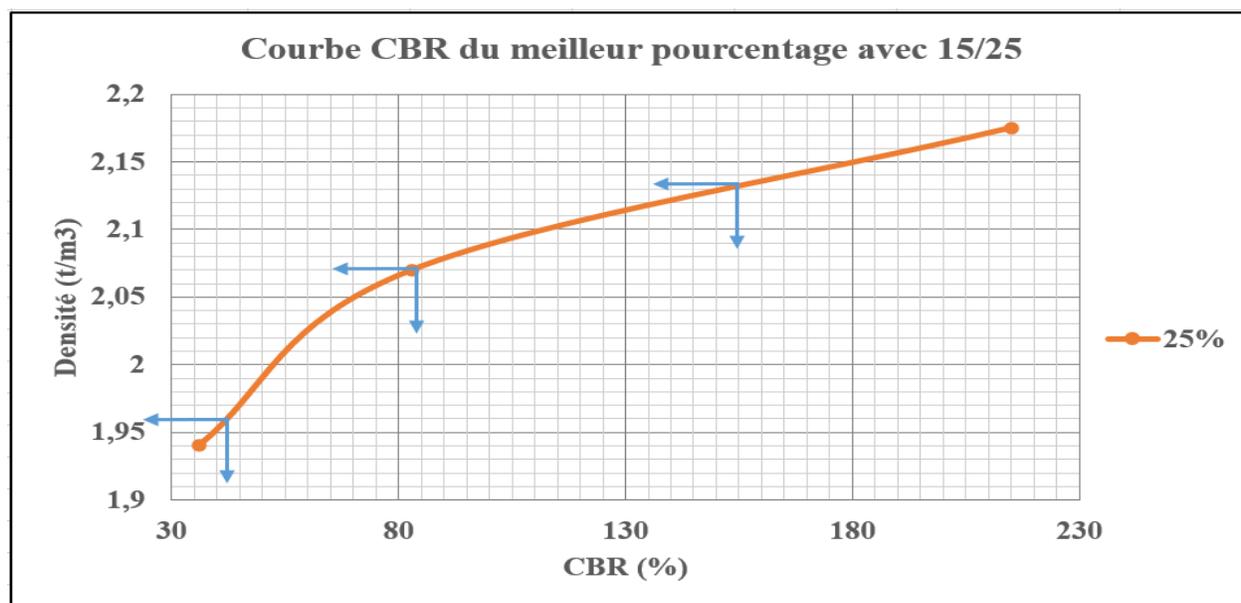


THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Tableau récapitulatif :

25%					
PROCTOR		CBR			
Teneur en eau (%)	Densité	Nbre coups	Densité	CBR	CBR à 98% OPM
5,1	2,01	10	1,94	36	155
7,4	2,16	25	2,07	83	
9,4	2,17	56	2,175	215	
10,9	2,1				
11,5	2,08				
Wopt	Densité opt	95%Densité opt	Wl	Ip	%<80μ
8,6	2,18	2,07	30,5	15	9

Courbe CBR à 25%

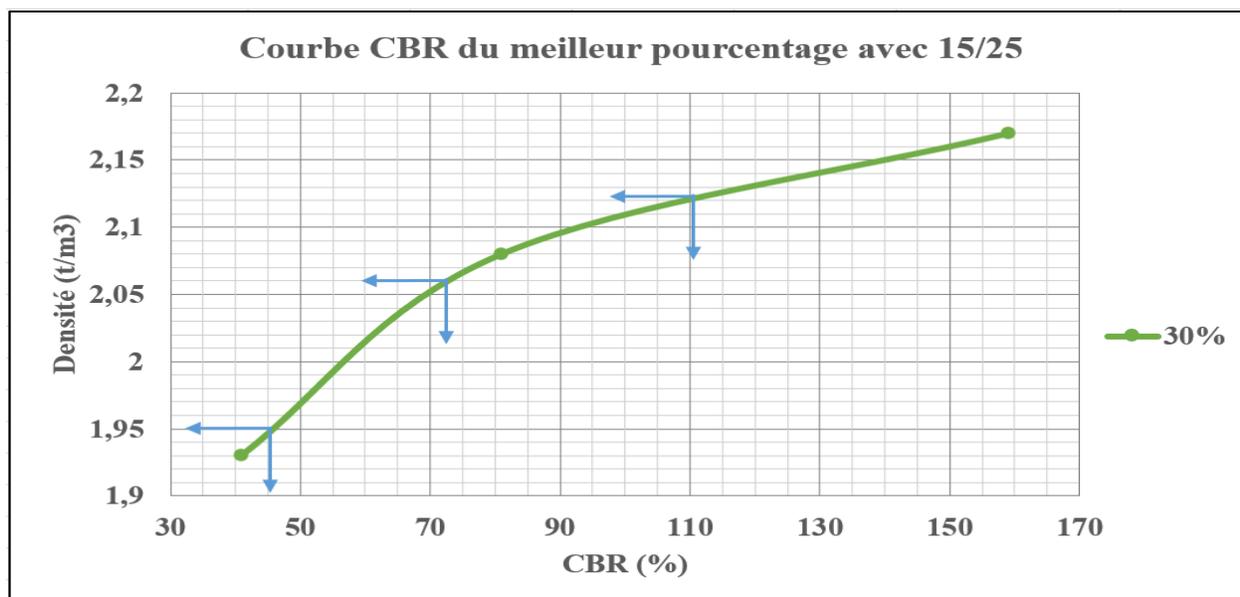


THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Tableau récapitulatif :

30%					
PROCTOR		CBR			
Teneur en eau (%)	Densité	Nbre coups	Densité	CBR	CBR à 98% OPM
4,6	2,02	10	1,93	41	111
6,5	2,155	25	2,08	81	
8,3	2,15	56	2,17	159	
10,2	2,02				
12,3	1,96				
Wopt	Densité opt	95%Densité opt	WI	Ip	%<80μ
7,3	2,17	2,06	30,5	15	9

Courbe CBR à 30%



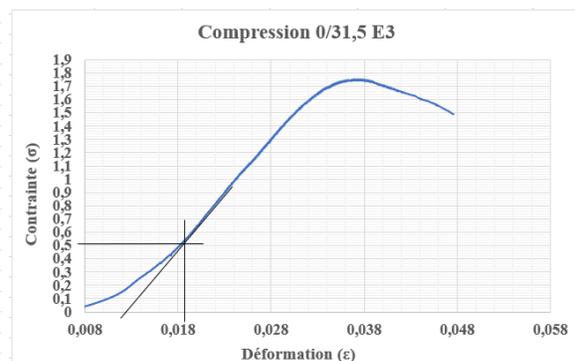
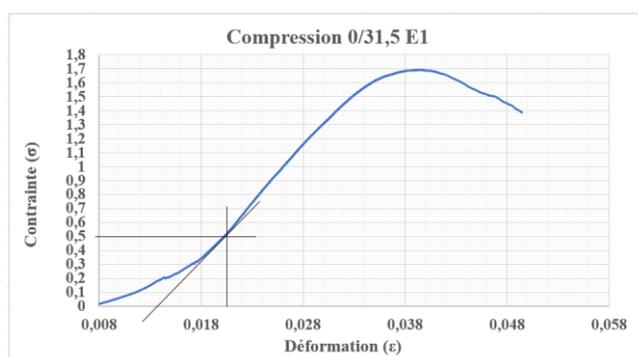
THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Annexe 4 : Résistance à la compression

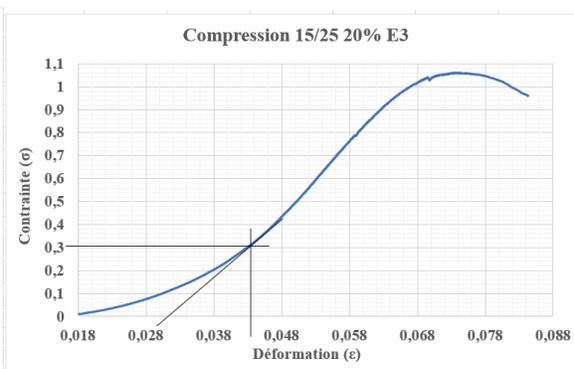
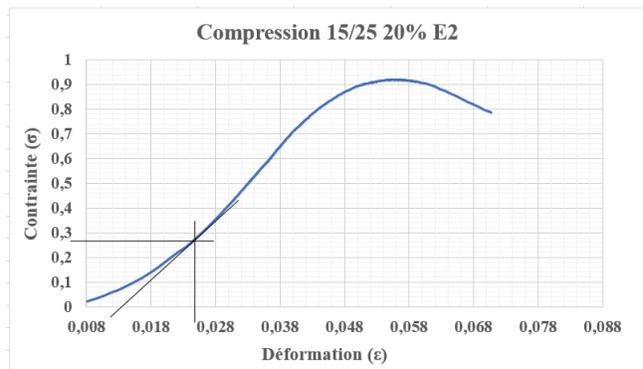
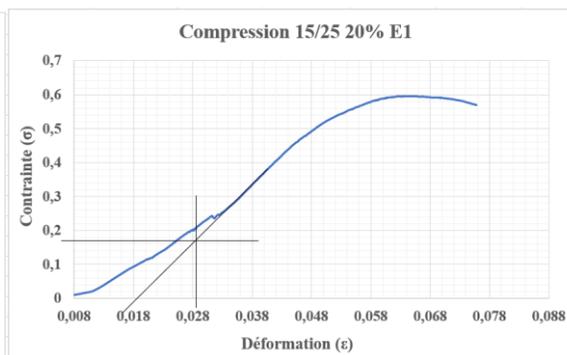
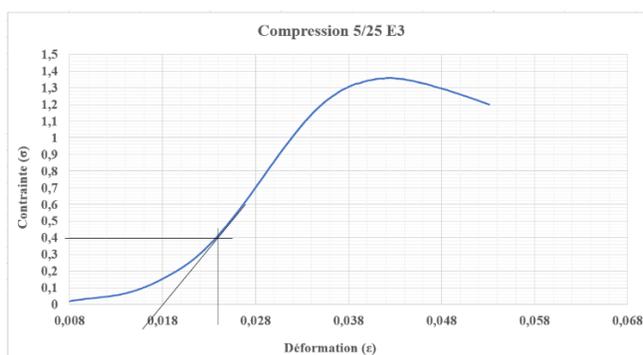
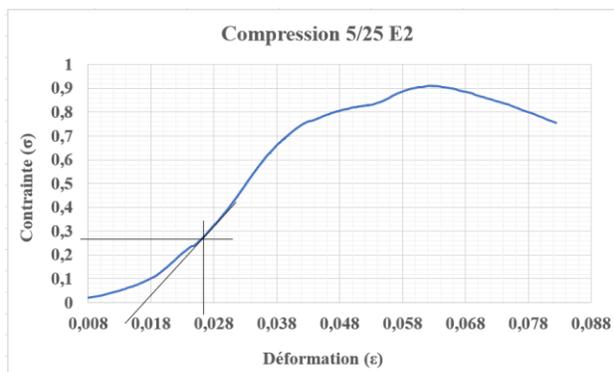
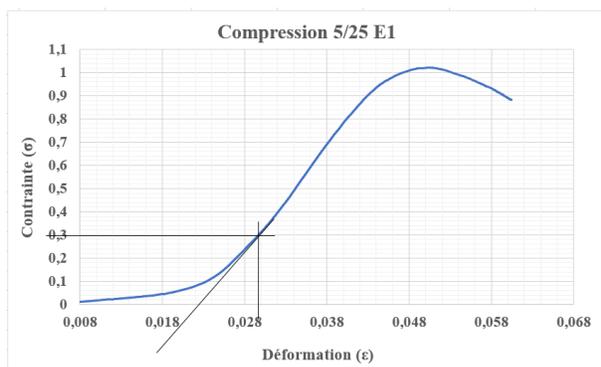
Résultats de tous les échantillons confectionnés pour l'essai de compression simple :

Classes de concassé et pourcentage	Échantillons	Poids à la confection (g)	Poids avant essai (g)	Force maximale (N)	Surface en mm ² ($\pi \cdot D^2/4$)	Compression simple Rc (MPa)	Module (MPa)
0/31,5 à 25%	E1	5332	5305	30655,25	18145,84	1,69	93,16
	E2	5328	5296	33894,07	18145,84	1,87	120,77
	E3	5310	5270	31800,97	18145,84	1,75	109,53
5/25 à 25%	E1	5337	5329	18564,62	18145,84	1,02	51,84
	E2	5387	5311	16558,96	18145,84	0,91	35,64
	E3	5377	5360	24627,00	18145,84	1,36	87,74
15/25 à 20%	E1	5409	5392	10814,56	18145,84	0,60	22,80
	E2	5391	5385	16663,78	18145,84	0,92	32,49
	E3	5429	5383	19254,40	18145,84	1,06	14,50

Les courbes contrainte-déformation obtenues :

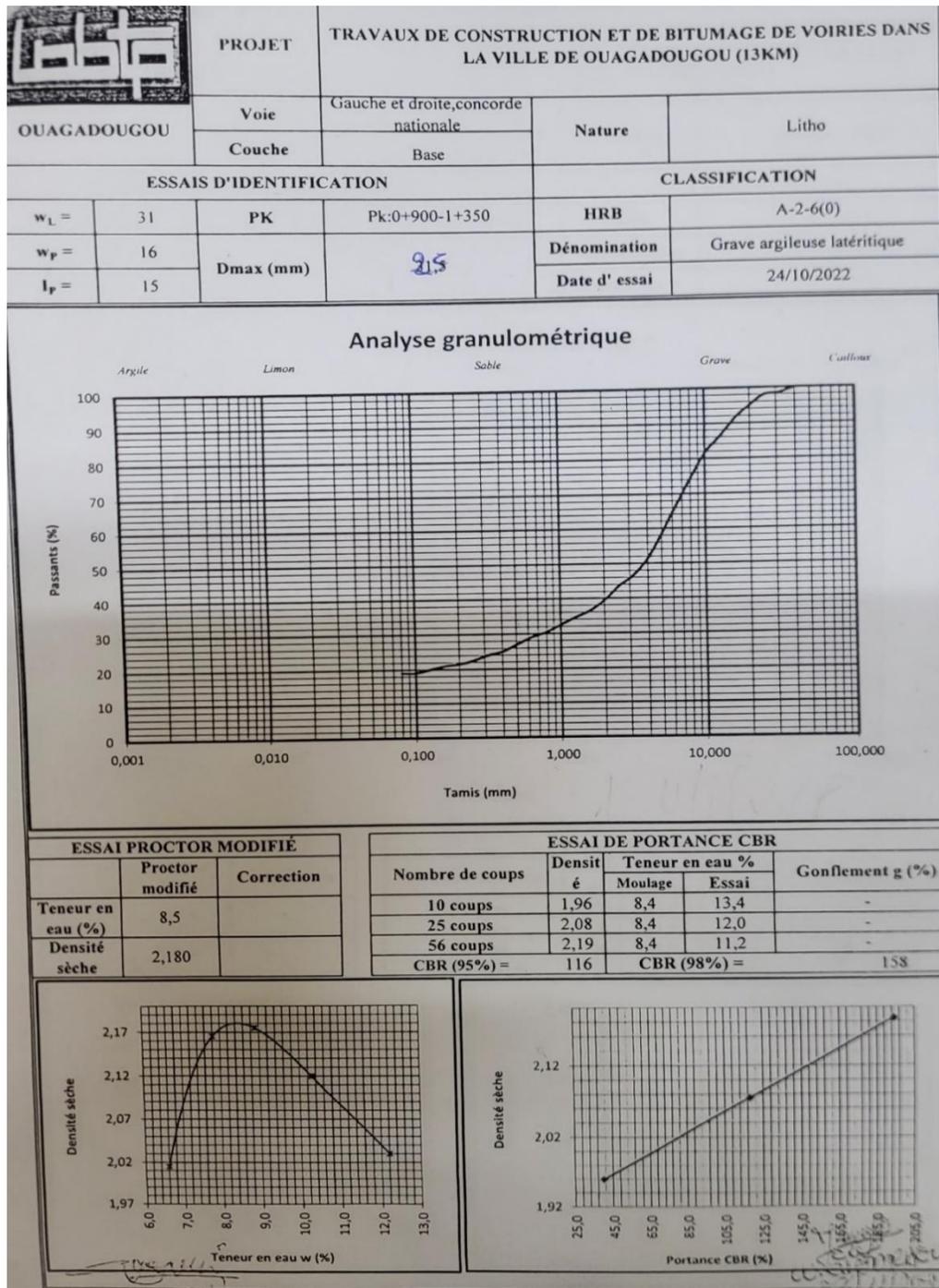


THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »



THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATÉRIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

Annexe 5 : Fiches techniques de la planche d'essai



THEME : « INFLUENCE DE L'AJOUT DE CONCASSES A CLASSES GRANULAIRES (0/31,5 ; 5/25 ;15/25) SUR LES PROPRIETES D'UN SOL LATERITIQUE : CAS DE LA ROCADE NORD DU BOULEVARD DES TANSOBA, BURKINA FASO. »

L.N.B.T.P
OUAGADOUGOU

TRAVAUX DE CONSTRUCTION ET DE BITUMAGE DU BOULEVARD DES TANSOBA ENTRE L'INTERSECTION AVEC LA RN3 ET L'ECHANGEUR DU NORD

MESURE DE DEFLEXION A LA POUTRE BENKELMAN SUR LA COUCHE DE BASE EN LITHO (PLANCHE D'ESSAI), BANDE GAUCHE

DATE	PK	POSITION	COMPARATEUR		DEFLEXION MAXIMUM (1/100 mm)
			Z ₁ (initiale)	Z ₂ (finale)	
17/10/2022	10+000	Gauche	0	11	22
17/10/2022	10+025	Axe	0	13	26
17/10/2022	10+050	Droite	0	9	18
17/10/2022	10+075	Gauche	0	9	18
17/10/2022	10+100	Axe	0	13	26
17/10/2022	10+125	Droite	0	12	24
17/10/2022	10+150	Gauche	0	15	30
17/10/2022	10+175	Axe	0	15	30
Nombre de valeurs				8	8
Valeur minimale				9	18
Valeur maximale				15	30
Valeur moyenne				12,1	24
Ecart type				2,36	4,71
Coefficient de Variation				19,50	19,63
Deflexion caractéristique D90					30,12
Prescriptions					

[Signature]
Cécile Konana
24/10/2022

[Signature]
W OUEDRAOGO
24/10/2022