



UNIVERSITE
JEAN LOROUGNON GUEDE

UFR ENVIRONNEMENT

REPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE

Union-Discipline-Travail

Ministère de l'Enseignement Supérieur et
de la Recherche Scientifique

ANNEE ACADEMIQUE

: 2018-2019

N° D'ORDRE :

0213 / 2020

N°CARTE

D'ETUDIANT :

CI0413001555

LABORATOIRE :

SCIENCES ET
TECHNOLOGIES DE
L'ENVIRONNEMENT

MASTER

GEOLOGIE APPLIQUEE

Option : **Géotechniques et Géomatériaux**

THEME :

**CARACTERISATION PHYSIQUE ET MECANIQUE DE
MATERIAUX ROUTIERS NATURELS TRAITÉS AUX
LIANTS HYDRAULIQUES : CAS DES GRAVELEUX
LATERITIQUES DU TRONÇON GRAND LAHOU-
DABOU ET LE CIMENT.**

Présenté par :

HIEN SIE

JURY

Président : M. KONAN Kouakou Séraphin, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Directeur : M. DIBI Brou, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Encadreur : M. N'DRI Brou Etienne, Maître de Conférences,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Examineur : M. BIE Goha René, Maître-Assistant,
Université Jean LOROUGNON GUEDE

Soutenu publiquement

le : 16 / 03 / 2020

TABLE DES MATIERES

DEDICACE.....	iv
REMERCIEMENTS	v
LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS	vii
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
LISTE DES ANNEXES.....	x
INTRODUCTION.....	2
PARTIE 1. GENERALITES SUR LES GRAVELEUX LATERITIQUES	4
1-1. Matériaux de chaussée	5
1-1-1. Graveleux latéritiques	6
1-1-2. Ciment.....	7
1-1-3. Caractéristiques géotechniques des graveleux latéritiques	8
1-1-3-1. Analyse granulométrique	8
1-1-3-2. Limite d’Atterberg	9
1-1-3-3. Caractéristiques des compactages.....	10
Conclusion partielle.....	11
1-2. Caractéristiques générales des matériaux routiers naturels traités au ciment	12
1-2-1. Matériaux traités aux liants hydrauliques	12
1-2-1-1. Critère de stabilisation	14
1-2-1-1-1. Indice de portant CBR.....	14
1-2-1-1-2. Résistance à la compression simple.....	14
1-2-2. Types et constitution des chaussées en Côte d’Ivoire.....	15
1-2-2-1. Types de chaussées en Côte d’Ivoire	15
1-2-2-2. Constitution de chaussée et caractéristiques des différentes couches.....	16
1-2-2-3. Causes de dégradation des chaussées	17
1-2-3. Comportement mécanique des assises de chaussées traitées au ciment	17
Conclusion partielle.....	19

PARTIE 2. MATÉRIEL ET MÉTHODE	20
2-1. MATERIEL	21
2-1-1. Matière première.....	21
2-1-2. Matériel d'Analyse Granulométrique.....	21
2-1-3. Matériel de la limite d'Atterberg	22
2-1-4. Matériel de Compactage	23
2-1-4-1. Essai Proctor Modifié	23
2-1-4-2. Essai CBR	24
2-1-4-3. Résistance à la compression et à la traction.....	24
2-2. METHODOLOGIE D'ETUDE	25
2-2-1. Description des Essais d'identification des graveleux latéritiques.....	25
2-2-1-1. Analyse granulométrique.....	25
2-2-1-2. Limite d'Atterberg.....	26
2-2-1-3. Essais Proctor.....	28
2-2-1-4. Essais CBR (NF P94-078).....	29
2-2-2. Essais sur graveleux – ciment	31
2-2-2-1. Essais sur le ciment.....	31
2-2-2-2. Essais Proctor.....	31
2-2-2-3. Essais CBR.....	32
2-2-2-4. Essais de compression simple et de traction.....	32
PARTIE 3. RESULTATS ET DISCUSSION.....	36
3-1. RESULTATS	37
3-1-1. Caractéristiques physiques et mécaniques de graveleux latéritiques à l'état naturel.....	37
3-1-1-1. Granulométrie du graveleux latéritique.....	37
3-1-1-2. Limite d'Atterberg	39
3-1-1-3. Essais Proctor.....	40
3-1-1-4. Essai CBR	41
3-1-2. Caractéristiques de graveleux – ciment	43
3-1-2-1. Synthèse d'essai Proctor Amélioré à 2 ; 3 ; 4% du ciment.....	43
3-1-2-2. Essais CBR.....	45

3-1-2-3. Essais de compression et de traction.....	47
3-2. DISCUSSION	48
3-2-1. Caractéristiques du matériau cru.....	48
3-2-2. Caractéristiques des graveleux - ciment	49
CONCLUSION GENERALE.....	52
REFERENCES	54

DEDICACE

Je tiens à dédier ce mémoire à :

-ma mère et mon père, pour leur amour et les sacrifices énormes consentis pour mes études depuis le tout début ; que le meilleur du paradis soit votre demeure.

-tous les membres de ma famille en particulier

-à mes frères et sœurs;

- à mes neveux et nièces;

- à mes cousins et cousines;

- à mes oncles et tantes.

A tous ceux qui me sont chers

REMERCIEMENTS

La rédaction d'un mémoire tel que celui que nous osons présenter aujourd'hui est certes un travail personnel, mais il est évident que ce n'est pas un travail de solitaire, accompli sans conseil, sans aide. Raison pour laquelle nous avons donc le devoir de remercier tous ceux qui nous ont aidés de diverses manières :

Je tiens à remercier l'administration de l'Université Jean Lorougnon Guédé avec à sa tête :

-Madame TIDOU Abiba Sanogo Epouse KONE, professeur titulaire, pour avoir accepté notre inscription au sein de son institution.

-Professeur KONE Tidiani, Vice-Président, chargé de la Pédagogie de la vie Universitaire pour ces efforts consentis au service de la vie pédagogique.

-Docteur AKAFFOU Doffou, Vice-Président, chargé de la planification, de la programmation et des relations extérieures de l'Université Jean Lorougnon Guédé, pour son dynamisme au sein de cette institution.

-Docteur KOUASSI Kouakou Lazare, Directeur de l'UFR environnement, pour le travail abattu au service de l'UFR.

Mes remerciements vont aussi à l'endroit de :

-Docteur NIANGORAN Kouadio Charles, chef du département des Sciences de la terre et de l'environnement, pour son dynamisme au service du département.

-Docteur DIBI Brou, Directeur scientifique de ce mémoire, pour sa disponibilité.

-Docteur N'DRI Brou Etienne, mon encadreur pédagogique, pour sa disponibilité, ses conseils et orientations lors de la rédaction de ce mémoire.

-Docteur BIE Goha René, responsable de filière de Géologie Appliquée, pour tous ses conseils et sa disponibilité.

-Docteur SOMBO Abé Parfait, responsable de parcours Master de Géologie Appliquée, pour son dynamisme au service du parcours.

-Docteur DJOMO Agré Séraphin, enseignant de Géomatériaux à l'UFR-Environnement, pour son appui et soutien.

-Tous nos enseignants de l'UFR-Environnement de Daloa pour les connaissances dispensées pendant notre formation.

J'adresse mes sincères remerciements à l'administration du Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics (LBTP) d'Abidjan avec à sa tête :

-Monsieur KOUASSI Kouassi Jean Claude, le Directeur Général, pour m'avoir accueilli et permis d'effectuer mon stage dans de bonnes conditions.

-Docteur YAPI Edi Pascal, Directeur des Opérations Techniques qui nous a reçus.

-Monsieur PANGNE Cyrille, Directeur du département Génie civil pour ses connaissances qu'il a eu à partager avec nous au cours de la mécanique des sols.

-Monsieur KARDIOULA Jonas, Chef de division Laboratoire Central pour son assistance.

Nous tenons à remercier notre maître de stage

-Monsieur BRAFF N'Guéssan René, Chef de Division Recherche Appliquée et Formation, qui a su répondre à nos moindres préoccupations.

-Madame KLOKOUIE M'Mandy Gué Flore, Chef de Service Recherche Appliquée et Formation, malgré ces nombreux travaux a pris soin de s'assurer à mes besoins.

Nous remercions aussi l'ensemble des ingénieurs et agents du Laboratoire du bâtiment et des travaux publics(LBTP) et de l'Agence de Gestion des Routes (AGEROUTE) qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de notre Travail de Fin d'Etudes. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Je remercie enfin :

-Docteur Kamagaté Koffi Dongo, Enseignant à INP-HB, pour son encouragement, son soutien financière et matériel durant mon parcours Estudiantin.

-Mes amis et frères, qu'ils trouvent ici notre reconnaissance.

LISTE DES SIGLES ET ABREVIATIONS

CPT : Cahier de Prescription Technique

TFE : Travail de Fin d'Etude

LBTP : Laboratoire du Bâtiment et des Travaux Publics

NF : Norme Française

LRH : Liants Hydrauliques Routiers

Cu : Coefficient d'uniformité

Cc : Coefficient de courbure

Ip : Indice de Plasticité

Wl : Limite de Liquidité

Wp : Limite de Plasticité

CBR : California Breling Ratio

HRB : Highway Research Board

LPC : Laboratoire des Ponts et Chaussées

CEBTP : Centre Expérimental et d'Etude du Bâtiment et des Travaux Publics

OPM : Optimale Proctor Modifié

IPI : Indice Portance Immédiat

Rc : Résistance à la compression

Rt : Résistance à la Traction

Rf : Résistance à la flexion

AFNOR : Association Française de Normalisation

σ : contrainte

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I. Structures types de chaussée en Côte d'Ivoire selon LBTP.	5
Tableau II. Caractéristiques physiques et mécaniques normalisées des ciments selon les normes ivoiriennes NI 05-06-002, 05-06-005, 05-06-004, 05-06-003, 05-06-001.....	8
Tableau III. Les Etapes de la consistance d'un sol remanié en fonction de sa teneur en eau....	9
Tableau IV. Classification géotechnique des sols	10
Tableau V: Classification Géotechnique des graveleux Latéritiques.....	11
Tableau VI. Caractéristiques physiques des graveleux latéritiques recommandées	13
Tableau VII. Valeurs limite des graveleux recommandées en fonction du trafic	13
Tableau VIII. Valeurs d'indice de plasticité maximum conseillées par les recommandations	13
Tableau IX. Valeurs limites de la Résistance à la compression simple.	15
Tableau X. Caractéristiques de l'essai Proctor.	29
Tableau XI. Présentation de la granulométrie des graveleux latéritiques.	37
Tableau XII. Les valeurs de la limite d'Atterberg sur les graveleux (Grand Lahou-Dabou). ..	39
Tableau XIII. Valeurs limite d'indice de plasticité.....	40
Tableau XIV. Caractéristiques des graveleux de l'essai Proctor.	40
Tableau XV. Indice CBR du graveleux latéritique naturel.	41
Tableau XVI. Indice CBR du matériau naturel recommandé.	42
Tableau XVII. Synthèse des résultats des essais comparés à celle de la classification du LBTP.	43
Tableau XVIII. Synthèse des caractéristiques de compactage des graveleux-ciment de l'essai Proctor.	44
Tableau XIX. Récapitulatif des essais CBR du graveleux traité au ciment à 2, 3 et 4%.	45
Tableau XX. Récapitulatif des résultats de l'essai de compression et de traction des graveleux-ciment	47

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Carte de distribution des graveleux latéritiques en Côte d'Ivoire (Autret, 1980).....	6
Figure 2. Différentes couches d'une chaussée: cas de chaussée semi-rigide	16
Figure 3. Déformation au passage d'une roue	18
Figure 4. Ciment CPA-CMI 42,5 N.....	21
Figure 5. Matériel pour l'Analyse granulométrique	22
Figure 6. Matériel pour déterminer la limite d'Atterberg	22
Figure 7. Matériel pour l'essai Proctor	23
Figure 8. Matériel pour l'essai CBR	24
Figure 9. Matériel pour l'essai de compression et de traction.....	24
Figure 10. Détermination de la limite de liquidité	27
Figure 11. Détermination de la limite de Plasticité	27
Figure 12. Séchage de graveleux latéritique	28
Figure 13. Presse CBR (Essai de poinçonnement).....	30
Figure 14. Conservation des éprouvettes CBR du graveleux-ciment à l'air et dans l'eau.....	32
Figure 15. Presse de compression	33
Figure 16. Illustration de l'essai de traction.....	34
Figure 17. Courbe granulométrique du matériau cru	38
Figure 18. Courbe de la limite d'Atterberg sur les graveleux Grand Lahou-Dabou	39
Figure 19. Courbe de l'essai Proctor Modifié.....	40
Figure 20. Courbe CBR du matériau cru Grand Lahou-Dabou	42
Figure 21. Courbes de variation des caractéristiques de compactage à l'OPM du matériau amélioré à des différents pourcentages de ciment CPA 42,5N.....	44
Figure 22. Variation de la densité sèche maximale en fonction du taux de ciment.....	45
Figure 23. Courbes récapitulatif des essais CBR du gaveleux-ciment CPA 42,5N (Grand Lahou-Dabou)	46
Figure 24. Evolution de l'indice portant CBR en fonction du pourcentage de ciment.....	47
Figure 25. Evolution des résistances en fonction du taux de ciment dans le graveleux latéritique.....	48

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1. Essai de l'analyse Granulométrique

Annexe 2. Essai de Limite d'Atterberg

Annexe 3. Essai Proctor

Annexe 4. Essai CBR

Annexe 5. Essai de Compression et de Traction.

INTRODUCTION

Introduction

Depuis son accession à l'indépendance en 1960, la Côte d'Ivoire s'est fixée comme objectif d'offrir un mieux-être aux populations. Cela passe aussi par le développement quantitatif et qualitatif du réseau routier. « La route du développement passe par le développement de la route? », disait le Professeur Prudhom pour montrer la place importante qu'occupent les infrastructures routières dans le développement de toute nation (Messou, 2008). Cet intérêt particulier a conduit à la construction de 286157 km de routes dont 277511 km en terre et 8646 km de route revêtue soit 3,02% (Krecoumou, 2019). En effet, la route permet le développement des transports routiers qui, par des véhicules de plus en plus lourds déplacent des personnes et transportent surtout des tonnages importants de produits à destination des villes et villages de l'intérieur du pays et des pays voisins. L'un des problèmes qui se posent aux routes est que le réseau routier s'use sous l'effet d'intensité du trafic et des intempéries. Cet état va inciter les ingénieurs à plus de recherche en vue d'offrir des revêtements des couches de chaussée plus résistants aux sollicitations. Ainsi, en Côte d'Ivoire et d'ailleurs, le matériau le plus utilisé dans le dimensionnement des couches de chaussée reste en particulier les graveleux latéritiques stabilisés au ciment, en raison de sa bonne résistance (Bohi, 2008). Le graveleux-ciment est comparable à la grave concassée, pas parce que ses qualités et défauts sont bien connus mais plutôt parce qu'on connaît la qualité de la grave concassée à travers les expériences internationales (Autret & Messou, 1983). En raison des propriétés géotechniques des graveleux latéritiques stabilisés au ciment, seule la méthode California Breling Ratio (CBR) est destinée à leur utilisation dans le dimensionnement des chaussées. Il est généralement recommandé dans la plupart des manuels et documents à usage dans les pays tropicaux, surtout en Afrique, d'avoir en couche de base, un matériau traité au ciment qui a un CBR supérieur ou égale à 160 (Anonyme, 1972). L'autre problème que rencontre le réseau routier ivoirien est le tracé géométrique des projets routiers qui devient de plus en plus complexe. En effet, l'on doit solliciter de large mouvement de terre dans des sols parfois difficilement réutilisables car le gisement naturel des graveleux latéritiques est diversement repartis. C'est donc pour essayer d'apporter une solution à ce problème que notre étude a été initiée ayant pour thème : « **Caractérisation physique et mécanique de matériaux routiers naturels traités aux liants hydrauliques : cas des graveleux latéritiques du tronçon Grand Lahou-Dabou et le ciment** ».

En effet, la stabilisation au ciment de ce sol en corps de chaussée est celle qui a connu et connaît un développement important. Pour la construction d'une chaussée, une période est

fixée pour qu'elle commence à se dégrader ou à se fissurer. En Côte d'Ivoire, l'on remarque que les différentes chaussées n'atteignent pas la période indiquée après la livraison de celles-ci qu'on voit apparaître des fissurations. La question que l'on se pose est de savoir, si les caractéristiques des graveleux-ciment déterminées pour le dimensionnement des chaussées sont conformes aux normes ou recommandations des cahiers de prescriptions techniques (CPT).

L'objectif général de cette étude est de déterminer les caractéristiques de matériaux pour leur prise en compte dans le dimensionnement des chaussées. Plus spécifiquement, il faudra :

- identifier les graveleux latéritiques naturels pour leur utilisation en corps de chaussées ;
- déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des graveleux-ciment par des essais géotechniques.

La démarche de cette étude s'organise en trois grandes parties.

La partie 1 constituée de deux chapitres, est consacrée aux matériaux de chaussée ; aux caractéristiques géotechniques des graveleux latéritiques, aux généralités sur les caractéristiques générales des graveleux latéritiques traités au ciment ; aux normes et recommandations des graveleux latéritiques pour leur utilisation en couches d'assises. Aussi, elle indique les types de structures de chaussée en Côte d'Ivoire ; les causes de dégradations des assises de chaussée traitées au ciment et les comportements des graveleux latéritiques traités au ciment lors d'une charge appliquée.

La partie 2 qui décrit le matériel et la méthodologie des essais utilisés au cours de la caractérisation physique et mécanique des graveleux traités au liant hydraulique.

La partie 3 présente les résultats expérimentaux des caractéristiques intrinsèques des graveleux latéritiques traités au ciment et les discussions.

Enfin, le mémoire s'achève par une conclusion générale et des références bibliographiques.

**PARTIE 1. GÉNÉRALITÉS
SUR LES GRAVELEUX
LATERITIQUES**

1-1. MATÉRIAUX DE CHAUSSEE

La géotechnique est la science qui permet de garantir les différentes structures en génie civil, du fait de sa bonne reconnaissance des études du sol (Habib, 1997). Elle est donc le fruit d'expériences. Toutefois, un effort de normalisation s'avère nécessaire et l'on a abouti par conséquent au remarquable manuel pour la conception et le dimensionnement des chaussées neuves en Côte d'Ivoire et à plusieurs autres recommandations pour le choix des matériaux. Selon Messou (1980), le choix du type de matériau dépend du mode de fonctionnement de la couche dans la chaussée. En réalité, le choix est fait parmi un certain nombre de matériaux qui existent dans l'environnement géologique immédiat ou que l'on peut obtenir à coût raisonnable. Et ce, selon des critères d'acceptabilité qui sont eux-mêmes fonction du niveau et du type de trafic et des connaissances que l'on sait du comportement des matériaux. Le catalogue du dimensionnement des structures de chaussées neuves de Laboratoire du Bâtiment et des travaux Publics (LBTP) de Côte d'Ivoire propose 16 types de chaussée énumérés dans le tableau I ci-dessous.

Tableau I. Structure types de chaussée en Côte d'Ivoire selon LBTP.

chaussées	Fondation	Base
Type 1	Graveleux naturels	Graveleux naturels
Type2	Graveleux naturels	Graveleux-ciment
Type3	Graveleux naturels	Tout venant de concassage
Type4	Graveleux naturels	Grave-ciment
Type 5	Graveleux naturels	Grave-bitume
Type 6	Tout venant de concassage	Tout venant de concassage
Type 7	Tout venant de concassage	Grave-ciment
Type 8	Tout venant de concassage	Grave-bitume
Type 9	Sable argileux	Sable argileux-ciment
Type 10	Sable argileux	Sable-bitume
Type 11	Sable argileux-ciment	Sable argileux-ciment
Type 12	Sable argileux-ciment	Grave-ciment
Type 13	Sable argileux-ciment	Grave-bitume
Type 14	Sable-bitume	Grave-bitume
Type 15	Graveleux-ciment	Grave-ciment
Type 16	Graveleux-ciment	Grave-bitume

Ce tableau regroupe deux familles de matériaux, à savoir les matériaux naturels et les matériaux traités. En Côte d'Ivoire, les matériaux naturels les plus rencontrés restent les graveleux latéritiques, des sables, des graviers, des concassés et les argiles d'altération (Sahuri, 2016). Ces matériaux sont traités par des liants hydrauliques tels que le ciment, la chaux, les cendres volantes et les laitiers. Pour ce travail, les matériaux les plus importants sont le graveleux latéritique et le ciment.

1-1-1. Graveleux latéritiques

Un graveleux latéritique est un sol résiduel d'altération tropicale, constitué d'un mélange de particules de dimensions généralement comprises entre 2 et 20 mm et d'argile latéritique de couleur le plus souvent rougeâtre ou ocre (Autret, 1983). Les graveleux latéritiques sont formés par lessivage des roches dans les zones tropicales humides. Ceci conduit à un appauvrissement en silice et bases solubles et un enrichissement en oxyde de fer et en aluminium. On distingue généralement les graveleux latéritiques de forêt et les graveleux latéritiques de savane. Les graveleux latéritiques de forêt ne sont pas de bonne qualité, du fait de leur faible épaisseur, variant de 30 à 50 cm (Idrissa, 1993). Par contre, selon le même auteur, les latérites de savane sont de bonnes qualités, avec une épaisseur variant de 50 à 100 cm. En Côte d'Ivoire, on trouve les graveleux latéritiques dans presque toutes les régions. Ces régions, au nombre de sept (07), sont dénommées respectivement R1, R2, R3, R4, R5, R6 et R7 (figure 1).

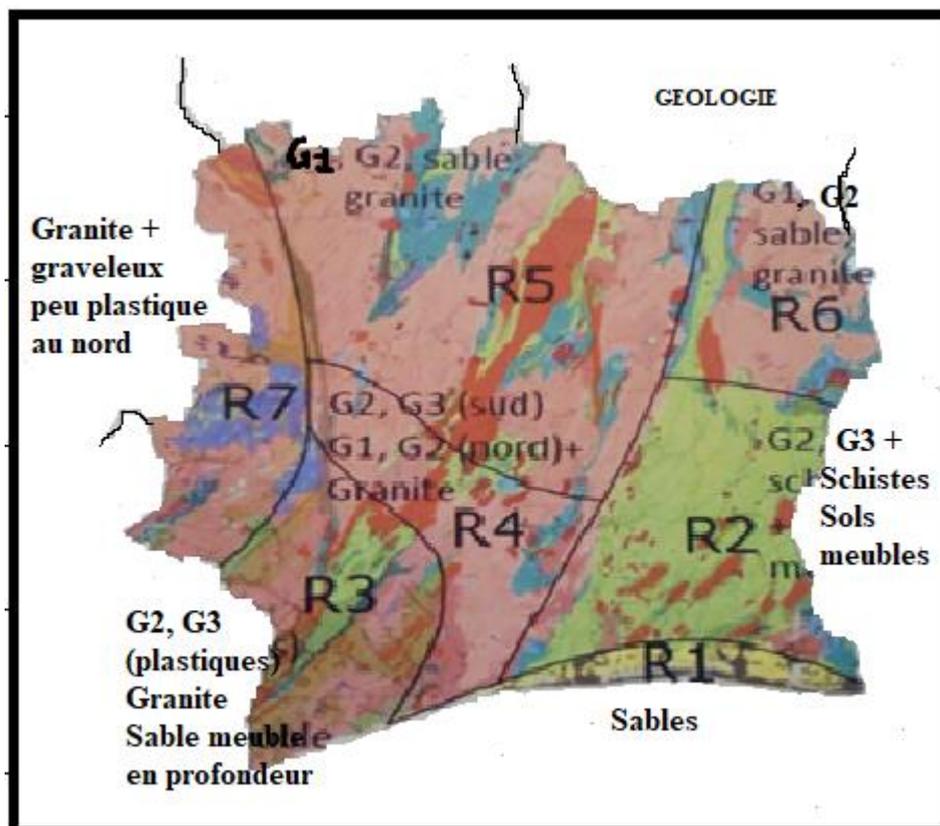


Figure 1. Carte de distribution des graveleux latéritiques en Côte d'Ivoire (Autret, 1980)

Ces graveleux se rencontrent sous forme de nappes, d'épaisseur variable entre 0,80 à 1,00 mètre entre une couche de terre végétale et une couche de sols fins latéritiques (Autret, 1980).

1-1-2. Ciment

Les ciments sont des liants hydrauliques, c'est-à-dire des poudres minérales fines qui forment avec l'eau une pâte faisant prise et durcissent progressivement. Le ciment est un mélange de principaux produits tels que le clinker, le laitier, la pouzzolane et les fillers.

Les ciments sont formés des constituants anhydres renfermant essentiellement de la silice, de l'alumine et de la chaux. Le durcissement est principalement dû à la formation par combinaison de ses constituants anhydres avec l'eau. Le rôle du ciment est de créer un feutrage dans les pores du sol compacté et de donner à ce sol une moindre faculté d'expansion sous l'action de l'humidité. Les caractéristiques du ciment sont la prise, le durcissement, le retrait. On dénombre 5 types de ciments, chacun adapté à des usages précis. Ce sont les différents types d'ajouts et leurs proportions qui déterminent ces catégories (c'est-à-dire la composition chimique et la résistance normale du ciment). La composition chimique du ciment conditionne la durabilité d'un béton dans un environnement donné quand la résistance normale du ciment permet d'envisager la résistance potentielle du béton fabriqué. Tous les ciments sont régis par la norme NF P15-301 et env197-1 et norme ivoirienne NI (Anonyme, 2001).

- CPA / CEM I Ciment Portland : ils sont destinés aux travaux de béton armé fortement sollicités, au béton précontraint, aux produits préfabriqués les plus performants (tuyaux, blocs, poutrelles), ainsi qu'aux usages spéciaux ;
- CPJ / CEM II Ciment Portland composé : ils sont utilisés pour la plupart des travaux d'usage courant en béton armé ou non, en maçonnerie ;
- CHF / CEM III Ciment de haut fourneau : ils sont réservés aux travaux de fondations profondes, de grande masse et en milieu agressif (injection, pieux, eau de mer, terrains gypseux) ;
- CLK / CEM IV Ciment pouzzolanique : ils ne sont pas fabriqués en France ;
- CLC / CEM V Ciment composé : ils sont bien adaptés aux travaux hydrauliques souterrains, fondations et injections, ainsi qu'aux travaux en milieu agressif.

Les caractéristiques physiques et mécaniques normalisées pour les différents types de ciments sont résumées dans le tableau II.

Tableau II. Caractéristiques physiques et mécaniques normalisées des ciments selon les normes ivoiriennes NI 05-06-002, 05-06-005, 05-06-004, 05-06-003, 05-06-001.

	Type de ciments						
	CPA CEMI	CPJ : CEMII			CHF : CEM III	CLK : CEM IV	CLC: CEM V
Surface spécifique cm ² /g	2600	2600			2800	2800	4000
Expansion maximale en mm	10	10			10	10	10
Temps minimale de début de prise	1h 30	1h			1h 30	1h 30	1h 30
Temps maximale de fin de prise	10 h	10 h			10 h	10 h	10 h
Retrait maximal à 28jours micromètre/m	800	800			*	*	*
Résistance minimale à la Compression à 2 jours en bars	*	*	125	200	*	*	*
Résistance minimale à la Compression à 7 jours en bars	220	160			220	220	220
Résistance minimale à la Compression à 28 jours en bars	350	325	425	525	350	350	350

* Valeur non imposée

Les ciments se répartissent en quatre (4) classes de résistance en fonction de la valeur de la résistance à la compression à 28 jours d'un mortier normalisé. Ce sont les classes 32.5, 42.5, 52.5 et HP (haute performance). Les ciments utilisés pour la stabilisation des sols sont des ciments Portland ou Portland au laitier de haut-fourneau appartenant aux classes 32.5 ou 42.5 (Anonyme, 2001). Le choix du type de ciment est basé sur le temps de prise assez long (pour la mise en œuvre), la bonne résistance à moyen et long terme, la compatibilité avec le sol à traiter et bon rapport qualité/prix.

1-1-3. Caractéristiques géotechniques des graveleux latéritiques

Généralement, en technique routière, un certain nombre de caractéristiques permettent d'identifier et de classer le matériau afin de préjuger de son comportement. Ce sont par exemple la granularité, la limite d'Atterberg et la caractéristique des compactages.

1-1-3-1. Analyse granulométrique

La granularité est l'une des caractéristiques essentielles de l'analyse granulométrique. L'analyse granulométrique permet de classer le sol en différentes catégories selon la dimension des grains. Le pourcentage du sol fin passant au tamis 80 µm varie de 10 à 35 %

composé de sable, d'argile, limon et de sol granulaire qui varie de 20 à 60 % (cailloux, graviers) de refus au tamis de 2mm. On obtient deux types d'essais à savoir :

- Essai par tamisage (par voie humide ou sèche) pour les éléments de diamètre $\varnothing \geq 80\mu\text{m}$.
- Essai par sédimentométrie pour des grains des graveleux qui ont diamètre $\varnothing \leq 80\mu\text{m}$.

Les résultats sont traduits sous forme d'une courbe granulométrique, tracée dans des axes semi-logarithmiques à partir de laquelle on peut déterminer les caractéristiques des graveleux tels que, le coefficient d'uniformité (c_u) de Hazen et le coefficient de courbure (c_c).

$$c_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad , \quad c_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \times d_{60}}$$

NB : d(i) : diamètre correspondant à i% de pourcentage de tamisât cumulé.

1-1-3-2. Limite d'Atterberg

La limite d'Atterberg est la teneur en eau pour laquelle le matériau passe de l'état solide à l'état plastique et de l'état plastique à l'état liquide. Elle permet de caractériser la quantité de l'activité de la fraction argileuse contenue dans le sol. Elle a pour rôle de classer les sols fins. On peut la mesurer à l'aide de l'indice de plasticité (I_p). Les paramètres permettant de mesurer l'indice de plasticité sont la limite de liquidité et la limite de plasticité. La limite de liquidité est la teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique. La limite de plasticité est la teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et solide. On distingue les différents états mentionnés dans le tableau III.

Tableau III. Les Etapes de la consistance d'un sol remanié en fonction de sa teneur en eau.

ETAT	Solide		plastique	Liquide
	Sans retrait	Avec retrait		
W	ws	wl	wp	
Limite de	retrait	plasticité	liquidité	

Ws, wl et wp sont les limites d'Atterberg déterminées en laboratoire sur une fraction du sol passant au tamis 0.4mm (méthode de la coupelle de casagrande et du rouleau). A partir de ces limites on détermine l'indice de plasticité I_p . Soit $I_p = wl - wp$.

1-1-3-3. Caractéristiques des compactages

Dans la caractérisation des compactages et mécaniques d'un sol, le poids spécifique sec (γ_d) d'une manière générale est fonction non seulement de la proportion de graviers mais aussi de la maturité des concrétions. Le but de la classification des sols d'une manière générale est de grouper ces sols en différentes classes ou catégories ayant des caractéristiques en commun. En technique routière, la classification doit répondre aux préoccupations des techniciens de la route. En effet, elle doit pouvoir permettre de nommer les matériaux rencontrés. En première approximation, on peut adopter, lorsque les dimensions des grains sont peu différentes, la classification suivante selon le diamètre moyen des grains est utilisée (tableau IV).

Tableau IV. Classification géotechnique des sols

Type	Sols Grenus				Sols Fins	
Classification	cailloux	Graviers	Gros sable	Sable fin	limon	Argile
Taille	20-40mm	2-20mm	0,2-2mm	20 μ m-0,2	2 μ m- 20 μ m	2 μ m

Cependant, Il existe plusieurs types de classifications dans le monde. Elles permettent à un pays donné d'avoir un langage. En Côte d'Ivoire on a les classifications suivantes :

- HRB : Highway Research Board. Cette classification est basée sur la granularité et plasticité du matériau ;
- La classification basée sur la granularité, plasticité et teneur en matières organiques du matériau du Laboratoire des Ponts et Chaussées (LPC) qui distingue les sols grenus de diamètre $\phi > 80\%$ et de Sols fins $\phi < 80\%$.
- LBTP : Laboratoire des Bâtiments et des Travaux Publics retient la classification du LPC appliquée au sol de Côte d'Ivoire.

La classification la plus utilisée en Côte d'Ivoire reste celle du LBTP. Selon la classification géotechnique (1977), les graveleux latéritiques en Côte d'Ivoire sont repartis en trois (3) catégories de classes, à savoir le G1, G2 et G3 (tableau v). Les matériaux (graveleux) de type G1 sont ceux qu'on retrouve dans la savane, ils sont ferreux et les G2 et G3 sont présents en zone forestière. Parfois, les couches G1 et G2 sont absentes. On trouve alors la couche G3 immédiatement sous la terre végétale.

Tableau V: Classification Géotechnique des graveleux Latéritiques

Classe	Indice de plasticité (Ip)	Teneur en fine ($< 0.08\text{mm}$)	Valeurs moyennes de quelques Caractéristiques		
			Indice CBR à 95% après 4jrs d'imbibition	Densité Sèche	Teneur en Eau optimum
G1	< 15	< 15	30 à 80	2.2 à 2.4	8 à 9
G2	15 - 25	15 - 25	20 à 50	2 à 2.2	9 à 10
G3	> 25	> 25	10 à 30	1.9 à 2.1	10 à 12

Source. Recommandation pour l'utilisation en corps de chaussée des graveleux latéritiques améliorés au ciment (Bamba & Gérard, 1977).

Conclusion partielle

En Côte d'Ivoire, le matériau le plus utilisé en couche des chaussées est le graveleux latéritique en raison de sa disponibilité dans plusieurs régions. Selon la classification LBTP, ces graveleux latéritiques présentent une grande diversité. Cependant des normes sont recommandées pour ces matériaux avant leur utilisation en corps de chaussée. Le chapitre suivant permettra de voir les caractéristiques générales des graveleux lorsqu'ils seront stabilisés au ciment.

1-2. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES DES MATÉRIAUX ROUTIERS NATURELS TRAITÉS AU CIMENT

Le traitement des matériaux aux liants hydrauliques est un mode de stabilisation. Si le rôle du ciment est seulement d'améliorer les caractéristiques géotechniques des matériaux de manière à rendre possible sa stabilisation mécanique, on dit que le matériau est amélioré au ciment. La distinction à priori se situerait au niveau du dosage en ciment. Cependant l'amélioration des caractéristiques géotechniques des matériaux (par exemple abaisser l'indice de plasticité) dépend de la nature du sol d'une part et d'autre part le comportement du mélange à pourcentage fixe dépend de la nature du matériau et de la proportion d'éléments fins.

1-2-1. Matériaux traités aux liants hydrauliques

Les graveleux latéritiques traités au ciment ont été jusqu'ici essentiellement destinés à la confection des couches de base des chaussées neuves. Cette application constitue à l'heure actuelle encore le domaine d'emploi privilégié. Dans le cadre des routes à trafic très élevé, les graveleux stabilisés au ciment peuvent constituer d'excellentes couches de fondation. Leur faible déformabilité en fait une assise idéale pour des couches de base.

Les couches d'assise (base et fondation) de chaussée sont destinées à des différentes charges du trafic. Ces couches seront donc le champ d'application de ce matériau (graveleux-ciment) à l'ensemble des catégories de routes ou de trafic prévues par le catalogue des structures. Le graveleux-ciment est un matériau composite. En Côte d'Ivoire, le traitement des graveleux au ciment est le plus utilisé. Ce traitement permet également d'améliorer les caractéristiques initiales des matériaux. D'après le catalogue du dimensionnement des chaussées neuves, les matériaux traités au ciment sont le graveleux naturel, le sable argileux, la grave ou le Tout venant de concassage (Bamba & Gérard, 1977). Le graveleux, pour être traité au ciment doit avoir les caractéristiques ci-dessous (tableau VI) dont les principaux critères sont basés sur la granulométrie et la plasticité du matériau.

Tableau VI. Caractéristiques physiques des graveleux latéritiques recommandées

Graveleux latéritiques	Couche de base	Couche de fondation
Densité sèche à l'OPM	2 minimums	1,9 minimum
Limites de liquidité w _l	35 maximums	50 maximums
Indice de plasticité I _p	25 maximums	15 maximums
Gonflement linéaire	0,30%	1%
Granulométrie = passant à 38 mm	85 - 100	80 - 100
19 mm	70 - 100	65 - 100
10 mm	50 - 95	50 - 100
5 mm	40 - 90	35 - 100
2,5 mm	30 - 80	25 - 80
0,7 mm	15 - 45	15 - 55
0,08 mm	2- 20	2 - 35
CBR-après 4 jours d'imbibition	80 minimums	30minimums
Pour 100 % OPM		
Pour 95% OPM		

Sur le plan de la granularité, le paramètre fondamental, celui donc qui conditionne le succès du malaxage, est la teneur en éléments fins, c'est-à-dire les particules de diamètres inférieurs à 0,08mm. Il est recommandé de s'en tenir aux limites ci-après (tableau VII) en fonction du trafic futur.

Tableau VII. Valeurs limite des graveleux recommandées en fonction du trafic

Niveau de la Chaussée concernée	Classe de trafic				
	T1	T2	T3	T4	T5
	Tamisât maximum à 0.08mm				
Couche de Fondation		25%		
Couche de Base	20%		15%	

Une plasticité excessive entraîne à la fois des sérieuses difficultés de malaxage et des risques accrus de retrait par temps chaud. Il est conseillé de s'en tenir à certaines valeurs (tableau VIII) de l'indice de plasticité avant traitement.

Tableau VIII. Valeurs d'indice de plasticité maximum conseillées par les recommandations

Couche concernée	Classe de trafic				
	T1	T2	T3	T4	T5
	100/300 V/j	300/1000 V/j	1000/3000 V/j	3000/6000 V/j	6000/12000 V/j
	Indice de plasticité maximum				
Couche de fondation	-		25		
Couche de base	20		15		-
	Valeur minimale du CBR (95% OPM 96h)				
Couche de fondation	25	30	30	30-35	30-35
Couche de base	60	80	80	-	-

Source. Recommandations (Bamba & Gérard, 1977) (V/j : nombre de véhicules par jour)

La couche de base des chaussées neuves est limitée aux classes des trafics T1, T2 et T3. Cela veut dire que sur 10 à 15 ans le nombre de véhicules qu'on doit avoir par jour est de 3000, soit environ 5 millions de passages cumulés de poids lourds. La couche de fondation des chaussées est destinée aux trafics T4 et T5 lorsqu'elles sont améliorées au ciment, le nombre de véhicules qu'on peut avoir est de 12000 par jour.

1-2-1-1 Critère de stabilisation

Stabiliser un sol, c'est le rendre apte à des usages routiers, ou plus exactement à son emploi en couche de chaussée. Les critères de stabilisation généralement utilisés pour fixer les performances requises des sols traités au ciment sont l'indice portant CBR (California Breling Ratio) et la Résistance à la compression simple (R_c).

1-2-1-1-1. Indice de portant CBR

La classification des chaussées en matériaux traités au ciment se situe dans une zone large séparant les chaussées vraiment souples des chaussées rigides. La méthode CBR est un essai de poinçonnement utilisé pour les sols et matériaux. Dans le cas des chaussées souples classiques, le CBR a été l'un des premiers essais pour tester de l'aptitude du matériau traité au ciment. Les limites admissibles pour le CBR sont très variables et dépendent des pays.

En Côte d'Ivoire, les recommandations prescrites selon Bamba & Gérard (1977) vont de pair avec ceux de CEBTP France. En couche de base, la valeur minimale que doit présenter sur l'éprouvette confectionnée en laboratoire (graveleux-ciment) est de 160 à la densité sèche prévue sur chantier et après une période de cure de 7 jours (3 jours à l'air puis 4 jours à l'eau) (Anonyme, 1972). La densité sèche de référence est normalement fixée à 95% de l'Optimum Proctor Modifié. Ces valeurs doivent permettre de définir le dosage en ciment.

1-2-1-1-2. Résistance à la compression simple R_c

La compression permet de déterminer la résistance du matériau confectionné au laboratoire. Elle est utilisée pour l'appréciation des risques de fissurations par retrait qui accompagne les fortes résistances. Les valeurs limites de résistance à la compression simple sur les éprouvettes confectionnées à 95% de l'Optimum Proctor Modifié sont consignées dans le tableau IX.

Tableau IX. Valeurs limites de la Résistance à la compression simple.

Critère	Cas 1	Cas 2
	Etude préalable	Contrôle à l'exécution
	Valeur sur mélanges confectionnés en labo et destinée à confirmer le dosage optimal en ciment	Valeur sur mélange fabriqué au chantier prélevés sur la route et écrasés en labo en vue de refuser ou d'accepter le matériau
Vis-à-vis du poinçonnement : Résistance à la compression Simple R_c après 3 jours de Cure à l'air et 4jrs d'imbibition	5 bars, mini	2.5 bars, mini
Vis-à-vis de la fissuration : Résistance à la compression Simple R'_c après 7 jours de Cure à l'air.	30 bars, maxi	

Source : Recommandations selon (CEBTP, 1972).

1-2-2. Types et constitution des chaussées en Côte d'Ivoire

Une route est une voie de communication, une surface aménagée pour assurer la circulation des différents moyens de transport (véhicules, deux roues, piétons.). La route comprend une ou plusieurs chaussées subdivisées en voie. La chaussée est une structure multicouche qui peut être composée de matériaux différents.

1-2-2-1. Types de chaussées en Côte d'Ivoire

En Côte d'Ivoire, on distingue deux types de chaussée, à savoir les chaussées souples et les chaussées rigidifiées (rigide et semi-rigide).

Une chaussée souple est constituée d'un corps de chaussée en grave non traité revêtu d'un enduit superficiel ou d'un enrobé bitumineux de faible épaisseur. Ces structures de chaussée ont un comportement élastique du fait de leur souplesse.

Une chaussée rigide peut être constituée soit par un revêtement en dalle de béton pervibré ou fluide, soit par un revêtement en béton compacté. Dans la chaussée rigide, la couche de roulement constitue à elle seule la couche de base et la couche de surface d'une structure souple ou semi-rigide. Une chaussée semi-rigide est constituée d'une assise en grave traitée aux liants hydrauliques et/ou hydrocarbonés, revêtue d'un enduit superficiel ou d'un enrobé bitumineux.

1-2-2-2. Constitution de chaussée et caractéristiques des différentes couches

Une chaussée est constituée de la couche de forme, la couche de fondation, la couche de base et la couche de surface appeler couche de roulement (figure 2).

Les épaisseurs de ces couches dépendent du type de route, du trafic, la nature des matériaux constitutifs et la résistance du sol support.

Les structures semi-rigides sont celles dont les assises sont essentiellement constituées de matériaux traités aux liants hydrauliques.

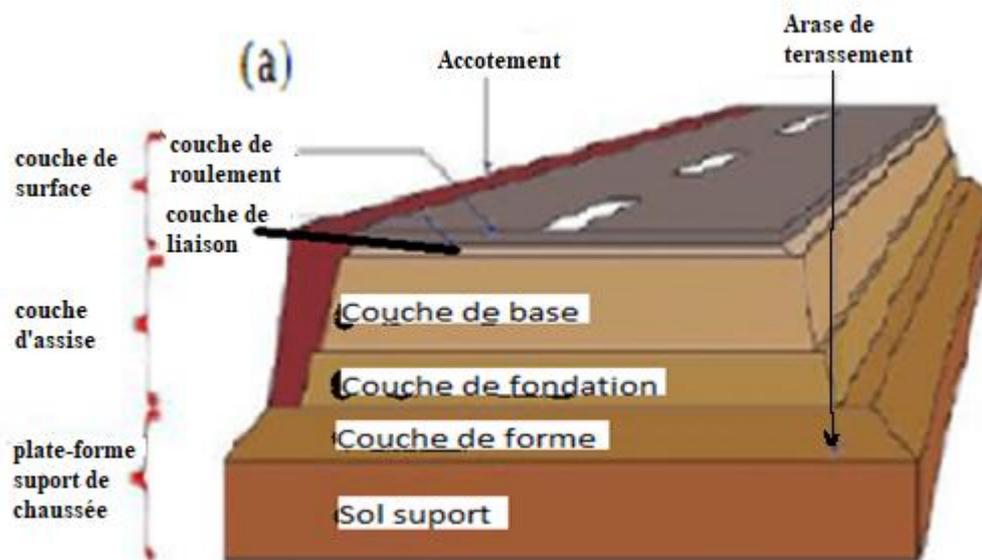


Figure 2. Différentes couches d'une chaussée dans le cas de chaussée semi-rigide

La couche de fondation permet d'assurer une répartition homogène des contraintes sur la couche de forme ou sur la plate-forme supérieure des terrassements. Pour cela, elle doit présenter une certaine résistance mécanique. Les matériaux qui la composent doivent avoir un CBR supérieur à 30 % selon le trafic et ne doivent pas être friable. La couche de fondation doit assurer aussi un bon drainage et avoir une compacité minimale de 95 % de l'Optimum Proctor Modifié. Elle peut être traitée si le trafic est très élevé. Son épaisseur varie de 10 à 25 cm au maximum.

La couche de base constitue avec la couche de fondation, l'assise de la chaussée. Elle est soumise à des contraintes verticales, effet de poinçonnement dû à la pression des pneumatiques et des contraintes de cisaillement à la base. Elle doit être constituée de matériaux suffisamment durs pour résister à l'attrition et avoir un grand indice portant.

Les chaussées revêtues en Côte d'Ivoire ont une couche de base de 12 à 20 cm de graveleux latéritique naturel traité avec 3 à 5% de ciment (Faure, 1997).

La couche de surface reçoit les effets directs de la circulation et de l'environnement (efforts tangentiels et de cisaillement). Elle protège les couches sous-jacentes contre les eaux pluviales. et son épaisseur varie de 5 à 15 cm.

1-2-2-3. Causes de dégradation des chaussées

Les diagnostics menés sur le dimensionnement des routes revêtues ou non revêtues relèvent plusieurs causes. Le mode de fonctionnement des principaux types de couche de base des chaussées revêtues explique les dégradations les plus rencontrées.

*** Cas des chaussées à couche de base granulaire**

Sous les passages successifs du trafic et post compactage (réaménagement des grains), la chaussée se déforme dans le profil en travers et le profil en long (ornières). Ainsi des déformations permanentes finissent-elles par apparaître dans la couche de base, se répercutant sur le revêtement par des fissurations et des déformations. Ces fissurations avec le temps et le trafic évoluent vers un maillage plus serré (appelé peau de crocodile, manque du phénomène de fatigue) et des nids de poule.

*** Cas des chaussées à couche de base traitée au ciment**

Ces couches sont sujettes aux phénomènes de retrait (prise de ciment) avec apparition de fissures transversales. Sous l'influence du trafic, le bas de la couche traitée est sollicité par flexion, ce qui va entraîner un processus de rupture par blocs. Les fissures de la couche de base réapparaissent sur le revêtement sous le trafic. Ces fissures évoluent vers la peau de crocodile, les nids de poule, etc. On rencontre cinq(5) grands types de dégradations que sont les déformations (les affaissements), les fissurations, les arrachements (décollements, nids de poule et désenrobage) et les usures de la couche de roulement.

Remarque

Les facteurs intervenant dans la fissuration des chaussées sont :

- les virages trop serrés, ils entraînent une usure transversale, avec rejet des matériaux due à la force centrifuge des véhicules ;
- les pentes trop raides ;
- Le trafic ;
- les conditions climatiques et au niveau d'entretien.

1-2-3. Comportement mécanique des assises de chaussées traitées au ciment

Dans le corps d'une chaussée, lorsque les graveleux sont traités au ciment, les interstices du matériau sont occupés par le ciment. La prise du ciment diminue les déplacements des grains

entre eux. La déformation sous la charge est plus faible, car la couche est plus rigide. Le fonctionnement mécanique de chaussée pourrait se présenter comme suit :

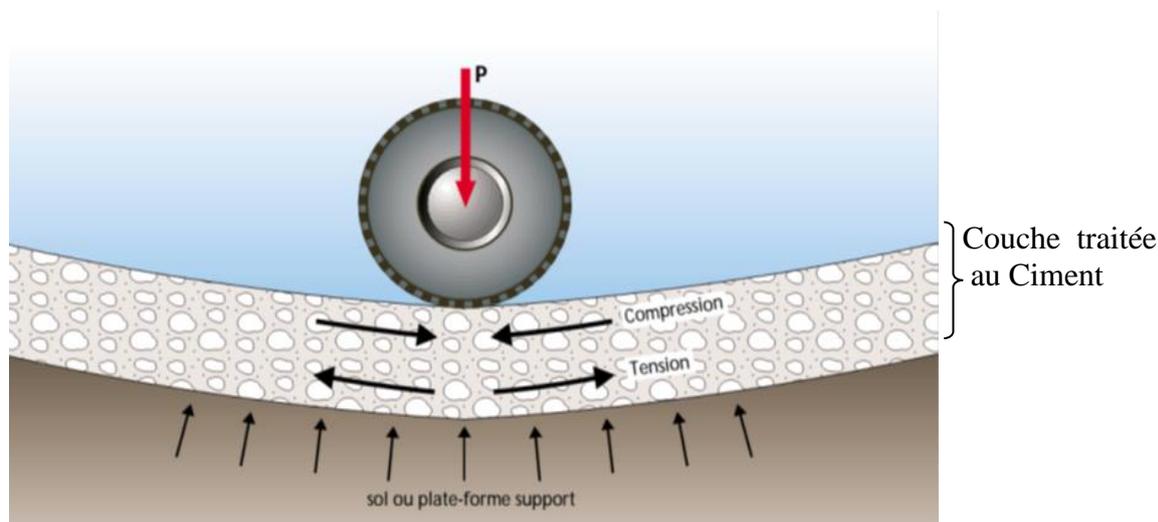


Figure 3. Déformation au passage d'une roue

Sous l'action d'une charge, une couche traitée au ciment induit les phénomènes suivants :

- Répartition uniforme de la charge sur le sol support donc, contraintes de compression sur le sol relativement faibles ;
- Apparition de deux types de contrainte au sein de la couche liée présente une contrainte de compression dont la valeur est très inférieure à la résistance en compression du matériau et une contrainte de traction par flexion, dont la valeur peut être élevée, qui se manifeste à la base de la couche traitée.

A chaque passage de la charge, la couche traitée reste élastique. Le sol reprend sa place après le passage de la charge et la déformation résiduelle est quasiment nulle. Plus le module d'élasticité augmente, plus la résistance à la traction augmente mais dans des proportions plus faibles. Lorsque le module d'élasticité est trop grand (c'est le cas des couches trop raides) les contraintes qui se développent sous charge sont élevées, ce qui favorise les ruptures par traction donc les fissures. Par conséquent la teneur en ciment devait être limitée sans descendre pour autant en dessous d'un certain seuil fixé. En effet, en dessous de ce seuil fixé, la cristallisation du ciment n'enrobe que partiellement les grains de graveleux (Messou 1980).

Conclusion partielle

L'utilisation des graveleux latéritiques dans les structures de chaussée se fait en fonction de leur disponibilité et du trafic prévisionnel à supporter. La stabilisation des routes au ciment a pour effet de rendre les matériaux de chaussées résistants contre les sollicitations causées par la circulation et l'effet des facteurs climatiques. Souvent, les matériaux stabilisés au ciment perdent de la souplesse et s'adaptent très mal aux déformations dues aux contraintes de tractions engendrées par le retrait de prise du ciment additionné au retrait thermique. L'objet du prochain chapitre consistera à déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques de graveleux stabilisés au ciment.

PARTIE 2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

2-1. MATERIEL

Le matériel utilisé dans le cadre de cette étude est composé de la matière première, de matériel d'Analyse Granulométrique, de matériel de la limite d'Atterberg et de matériel de compactage.

2-1-1. Matière première

La matière première utilisé pour stabiliser le graveleux latéritique est du ciment portland artificiel CPA : 42,5 N de classe 45 (figure 4). Ce type de ciment est représenté par des codes affichés sur les boîtes.



Figure 4. Ciment CPA-CEMI 42,5 N

Le ciment CPA et CPJ sont de classe 45. La différence est que le CPA est plus résistant et a un comportement rigide, par contre, le CPJ a un comportement souple. La composition du ciment portland est de 97% de clinker en plus de fillers et de 3 % d'ajouts d'autres produits tel que le gypse.

2-1-2. Matériel d'Analyse Granulométrique

Le matériel utilisé pour l'Analyse granulométrique est composé de tamiseuse, de colonne de tamis de dimensions décroissantes (80, 63, 50, 40, 31,5, 20, 16, 10, 5, 2, 1, 0,5, 0,2, 0,08 mm), de balance électrique, des tares et d'étuve (figure 5).



Figure 5. Matériel pour l'Analyse granulométrique (A-Tamiseuse; B-Colonne de tamis ; C-Balance électrique ; D-Etuve).

A-La tamiseuse sert à faire vibrer la colonne de tamis en faisant passer le graveleux latéritique dans chaque tamis ;

B-La colonne de tamis permet de séparer les plus gros éléments des éléments fins de façon décroissante;

C-La balance sert à peser le matériau et les tares servent à échantillonner le matériau ;

D-L'étuve sert à sécher le matériau à une température de 105°C.

2-1-3.Matériel de la limite d'Atterberg

Le matériel utilisé pour la détermination de la limite d'Atterberg est composé de pieds à coulisse, de rainure, de spatule, de l'appareil casagrande, de tamis (0.4mm), de cuvette de lavage, de Tares, de balance et d'étuve (figure 6).



Figure 6. Matériel pour déterminer la limite d'Atterberg (E-(1) Pieds à coulisse, E(2) Rainure; E(3) spatule, E(4) appareil de casagrande, F-Superposition de tamis-cuvette de lavage, G-Balance électrique.).

E(1)-Le pieds à coulisse sert à mesurer la longueur du matériau roulé pour la détermination de l'indice de plasticité;

E(2)-La rainure sert à fendre le mortier dans la coupelle à 1mm ;

E(3)-La spatule permet de malaxer le mortier ;

E(4)-L'appareil de casagrande permet d'imprimer des coups secs à la coupelle ;

F-La superposition de tamis-cuvette de lavage permet de laver le matériau sur le tamis et la cuvette reçoit les éléments fins passés à travers les mailles de tamis ;

2-1-4.Matériel de compactage

2-1-4-1.Essai Proctor Modifié

Le matériel utilisé pour la réalisation de l'essai Proctor est constitué de moules, de dame, de rehausse, d'anneau de surcharge, de règle à araser, de tamis de diamètre 20mm, de l'étuve, balance, les tares, d'une tube gradué (figure 7).

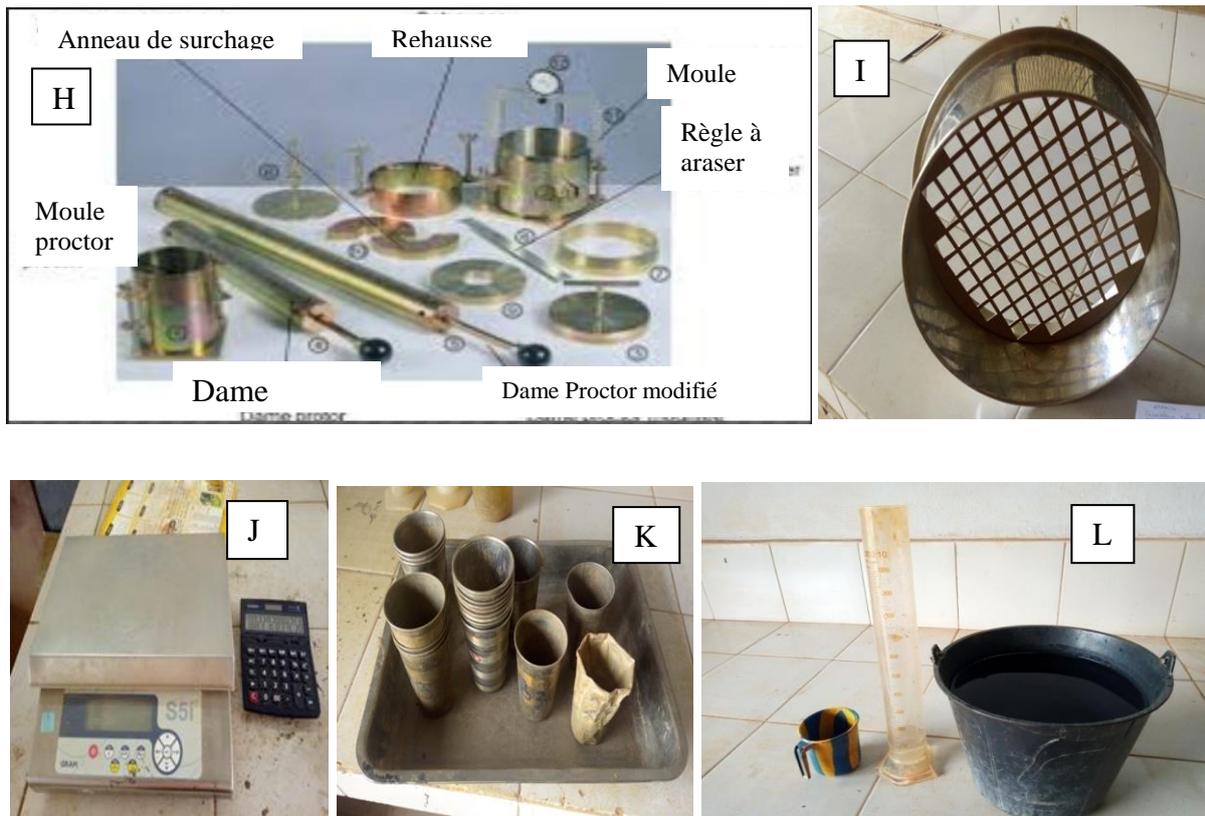


Figure 7. Matériel pour l'essai Proctor (I-Tamis de 20mm, J-Balance électrique, K-Les tares plus plateau, L-Tube gradué).

H(1)-Le moule est le matériel dans lequel le matériau est compacté ;

H(2)-La dame sert à compacter le matériau dans le moule ;

H(3)-La rehausse sert au matériau compacté de prendre le niveau du moule ;

H(4)-La règle à araser sert à limiter le niveau du matériau compacté dans le moule ;

L-Le tube gradué permet de mesurer l'eau.

2-1-4-2. Essai CBR

Les outils utilisés pour l'essai CBR sont présentés à la figure 8.



Figure 8. Matériel pour l'essai CBR (M-Moules CBR-surcharges, N-Papier filtre, O-Bac à eau, P- Presse CBR).

M-Le moule CBR est le matériel dans lequel le matériau est compacté ;

Le surcharge sert à la protection de la perte des particules du matériau compacté lorsqu'on les plonge dans l'eau ;

N-Le papier filtre sert à garder le niveau du matériau compacté dans le moule CBR ;

O-Le bac à eau sert à immerger le matériau compacté dans les moules ;

P-La presse CBR permet d'appliquer une charge sur l'éprouvette confectionnée.

2-1-4-3. Résistance à la compression et à la traction

Le matériel utilisé pour la réalisation de ces essais sont les moules cylindriques de diamètre 10cm et d'hauteur de 20 cm, de presse de compression, de presse de traction, d'une dame de compactage et une règle à araser.



Figure 9: Matériel pour l'essai de compression et de traction (Q-Moules cylindriques, R- Presse)

Q-Moules cylindriques servent à confectionner les éprouvettes

R-La Presse sert à écraser les éprouvettes

2-2. METHODOLOGIE D'ETUDE

Pour le bitumage d'une route, il faut au préalable identifier les sites des zones d'emprunts.

La démarche consiste à réaliser des essais géotechniques routiers au laboratoire sur les matériaux prélevés le long de l'axe. Les échantillons destinés aux essais passent par l'échantillonnage afin de prélever le matériau représentatif pour les essais d'identification. Ces essais d'identification sont caractérisés par les paramètres de nature, d'état hydrique et de comportement mécanique. Pour le traitement, l'on procédera aux essais Proctor, CBR et aux essais de compression et de traction, en déterminant les caractéristiques mécaniques du matériau. Les résultats obtenus à partir des essais permettront de faire des comparaisons par rapport aux recommandations des normes et de retenir le dosage optimal en ciment.

Les matériaux proposés dans le cas de notre étude pour le dimensionnement d'une route sont les graveleux latéritiques et le ciment.

Les graveleux latéritiques ont été prélevés sur l'itinéraire Dabou – Grand Lahou, au sud de la Côte d'Ivoire. Les emprunts latéritiques ont été prélevés dans la même zone. Le mélange de latérite de ces deux localités ont permis d'avoir un seul sol. Le ciment choisi est du type CPA qui est fonction du type d'ouvrage.

2-2-1. Description des Essais d'identification des graveleux latéritiques

Pour caractériser les graveleux latéritiques, il y a un certain nombre de paramètres qu'il faut considérer pour pouvoir les identifier, tels que les paramètres de nature. Les paramètres de nature indiquent les caractéristiques intrinsèques du sol. Ils caractérisent la valeur qui ne varie pas ou varie peu dans le temps ou au cours des manipulations que peut subir le sol.

2-2-1-1. Analyse Granulométrique

Cette analyse a été faite par la méthode de tamisage à sec après lavage du matériau. L'analyse est réalisée conformément à la norme (NF P94-056,1992). Le principe de cette analyse consiste à séparer le graveleux au moyen d'une série de tamis à maille carrées de dimensions décroissantes (80, 63, 50, 40, 31.5, 20, 16, 10, 5, 2, 1, 0.5, 0.2, 0.08 mm). Les masses des différents refus cumulés ou celles des passants sont rapportées à la masse initiale du matériau. Le mode opératoire de l'essai d'analyse granulométrique se fait en trois (03) étapes. La 1^{ère} étape consiste à la réception de la fiche d'expédition signée par le responsable des essais. Ensuite, nous avons le prélèvement du matériau dans une tare avec une étiquette sur laquelle on a toutes les références. Le graveleux est séché à l'étuve à une température de 105°C pendant 24heures.

La 2^{ème} étape, a consisté à faire sécher le graveleux, le peser et le tremper dans de l'eau pendant 10 à 15min pour rendre le lavage plus facile. Le lavage se fait à l'aide d'une colonne de deux tamis de diamètre 0.8mm et 0.5mm pour séparer les éléments fins. Les gros éléments sont retenus pour la suite de l'essai et sont donc à nouveau sécher à l'étuve.

La 3^{ème} étape, après le séchage, ces graveleux sont tamisés à nouveau dans une colonne de tamis à maille décroissante (80mm à 0.08mm) pour séparer les différents grains. La masse des particules retenues sur chaque tamis est pesée (M_i). Enfin, on calcule le pourcentage de particules retenues (R) en appliquant l'équation (1).

$$\% R = \frac{M_i}{M_{tot}} \times 100 \quad (1).$$

Le pourcentage des passants cumulés (PC) est déterminé par l'équation (2).

$$\% PC = 100 - \% RC \quad (2).$$

RC étant le pourcentage de retenu cumulé au niveau de chaque tamis. Une fois on a les différentes valeurs, on trace la courbe granulométrique à partir des pourcentages des passants et refus en fonction de diamètres des tamis.

2-2-1-2. Limite d'Atterberg

L'objectif de l'essai est de déterminer la limite de liquidité et la limite de plasticité.

L'essai est réalisé conformément à la norme NF P94-051. Le mode opératoire de la limite d'Atterberg est réalisé en respectant l'ordre suivant.

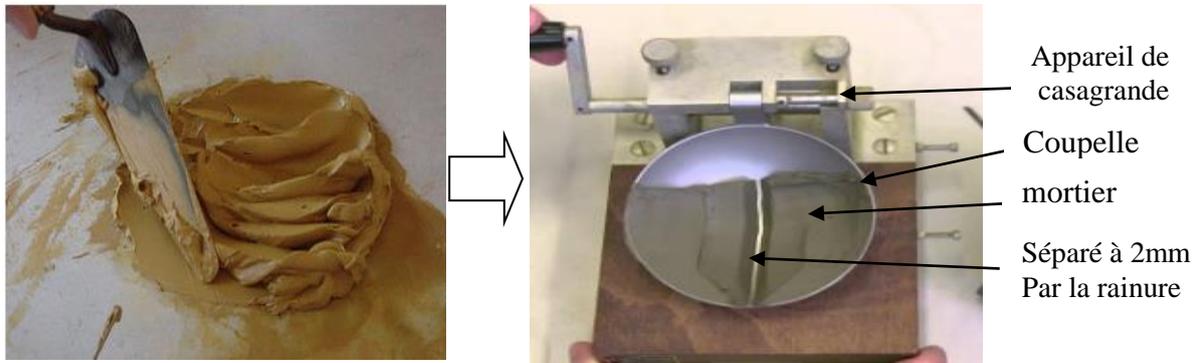
- Préparation de la prise d'essai

Un échantillon du matériau de masse $M = 2D$ (en kg et D est la dimension du plus gros élément des graveleux en mm) est imbibé dans de l'eau pendant au moins 24 heures. Une fois imbibé, le matériau est tamisé par voie humide sur un tamis de 0.4mm. L'eau de lavage et le tamisât sont recueillis dans un bac. Après 12 heures de décantation, l'eau claire est siphonnée et le matériau est conservé à une température de 50°C (évaporation de l'eau en excès). En fin, on obtient le mortier.

- Détermination de la limite de liquidité (W_L)

Le but de l'essai est de rechercher la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquée dans un sol remanié placé dans une coupelle doit se refermer sur à peu près un centimètre (1cm) sous l'effet d'environ 25 chocs répétés. Le mortier est bien homogénéisé dans le bac pour le rendre mou. Ensuite, on a prélevé une partie du mortier avec de la spatule en le plaçant dans la coupelle (figure 10). On utilise une rainure pour séparer le mortier en 2mm. Des coups secs

sont imprimés à la coupelle avec un appareillage spécial appelé Appareil de Casagrande jusqu'à ce que le mortier séparé de 2mm se referme de 1cm de longueur. On prélève la partie refermée en le pesant et est séché à l'étuve pendant 24 heures. Après le séchage, le matériau est pesé à nouveau pour déterminer sa teneur en eau.



Mortier

Figure10. Détermination de la limite de liquidité.

- Détermination de la limite de plasticité

Le but de l'essai est de rechercher la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol de dimension fixée et confectionnée manuellement se fissure. Le mortier utilisé pour la limite de plasticité est le même que celui utilisé pour la limite de liquidité. Le mortier est rendu en forme des boules de rouleau de diamètre de 3mm (figure 11). Lorsque le rouleau commence à se briser, un pied à coulisse est utilisé pour mesurer une longueur de 10 cm, puis on procède à la pesée. Enfin, le rouleau du matériau est séché à l'étuve pendant 24 heures. Après le séchage, le matériau est pesé à nouveau pour déterminer sa teneur en eau.



Figure11. Détermination de la limite de Plasticité.

*** Détermination de l'indice de plasticité**

A partir de la limite de liquidité et de la plasticité, on calcule les indices d'appréciation rapide du comportement du matériau, en faisant la différence selon l'équation (3).

$$I_p = W_L - W_p, \quad (3).$$

I_p s'exprime en pourcentage (%).

2-2-1-3. Essais Proctor

Le but de l'essai Proctor est de déterminer les conditions optimales de compactage d'un sol ou d'un matériau. C'est-à-dire, la teneur en eau (w) permettant de réaliser la compacité maximale avec une énergie de compactage donnée et les densités apparente, humide et sèche du sol correspondant à ce maximum de compacité. L'essai est réalisé conformément à la norme (NF P94-093). Nous avons d'abord procédé au séchage de l'échantillon (graveleux latéritique) au soleil (figure 12).



Figure 12. Séchage de graveleux latéritique

Après le séchage, le matériau est tamisé avec une colonne de deux (2) tamis de diamètre 20 mm au-dessus et 5 mm en dessous. Les éléments qui refusent de passer au tamis 20 mm sont rejetés, les passants sont échantillonnés et pesés. On procède ensuite au compactage des éprouvettes humidifiées en respectant les modalités indiquées dans le tableau X.

Tableau X. Caractéristiques de l'essai Proctor.

Proctor normal		
Caractéristiques de l'essai	Moule Proctor	Moule CBR
Masse de la dame	2 500 g	2 500 g
Diamètre de la dame	50 mm	50 mm
Hauteur de chute	305 mm	305 mm
Nombre de couches	3	3
Nombre de coups par couche	25	56
Masse approximative par couche	650 g	1 700 g

Proctor modifié		
Caractéristiques de l'essai	Moule Proctor	Moule CBR
Masse de la dame	4 500 g	4 500 g
Diamètre de la dame	50 mm	50 mm
Hauteur de chute	457 mm	457 mm
Nombre de couches	5	5
Nombre de coups par couche	25	56
Masse approximative par couche	400 g	1 050 g

Source : www.google

Dans notre cas d'étude, l'essai réalisé est celui de Proctor modifié du type moule CBR. Avant l'introduction du matériau dans le moule, celui-ci est malaxé à différents pourcentages d'eau dans un plateau afin d'obtenir un bon mélange. Nous avons placé un papier-filtre au fond du moule CBR pour faciliter le démoulage. Ensuite, une quantité de matériau a été dans le moule CBR sur la première couche et compacté avec une dame de 4500 kg à 56 coups par couche selon la norme. Après le compactage, le matériau est pesé et une partie prélevée puis pesée pour mettre à l'étuve. Après s'avoir retiré de l'étuve pendant les 24heures, le matériau est ensuite pesé pour la détermination de la teneur en eau et la densité sèche. Enfin on trace la courbe Proctor modifié de la densité sèche du matériau en fonction de la teneur en eau.

2-2-1-4-Essai CBR (NF P94-078)

Le California Breling Ratio (CBR) permet de déterminer la portance du matériau pour son utilisation dans le dimensionnement des assises de chaussée. Le principe général de l'essai consiste à mesurer les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante de 1.25 mm/min dans une éprouvette de matériau.

Lors de la réalisation de l'essai CBR nous avons procédé de la manière qui suit.

❖ Préparation du moule

Nous avons solidarisé (la plaque de base et le moule CBR) en plaçant une feuille de papier filtre au fond du moule. L'ensemble moule papier est pesé et nous avons déterminé le volume du moule. Pour la suite de l'essai nous avons fixé la rehausse sur le moule.

❖ Exécution de l'essai

Nous avons séché le matériau au soleil, ensuite nous l'avons tamisé avec une colonne de deux tamis de diamètres 20 mm au-dessus et 5mm en dessous. Nous avons échantillonné 18 kg de tamisât. Chaque échantillon (18Kg) est étalé dans un plateau, puis nous l'avons humidifié en malaxant à la main pour rendre le mélange plus homogène. Ensuite, on procède au compactage en introduisant le matériau dans le moule CBR selon les conditions de l'essai Proctor modifié. Nous avons retiré la rehausse du moule, puis araser soigneusement l'éprouvette au même niveau que le moule. Nous avons pesé l'éprouvette contenue dans le moule. Après le pesage, nous plongeons les éprouvettes dans de l'eau pendant 96 heures (4jours). Mais avant le plongement nous avons mis du papier filtre à la surface du moule contenant l'éprouvette et en appliquant des surcharges sur l'éprouvette.

❖ Détermination de l'Indice Portant Immédiat (IPI)

Après le retrait des moules dans de l'eau, nous plaçons l'ensemble (moule CBR+ l'éprouvette) sur la presse CBR, en centrant le moule par rapport au piston (figure 13).



Figure13. Presse CBR (Essai de poinçonnement).

Ensuite nous procédons au poinçonnement de la manière à approcher la face supérieure de l'éprouvette vers le piston jusqu'à ce qu'il vienne affleurer le matériau (stopper dès que l'aiguille de l'anneau accuse un léger déplacement). Nous avons réglé la mise à zéro du dispositif dynamométrique et celle du comparateur mesurant l'enfoncement du poinçon et exécuter le poinçonnement à une vitesse de 1.25mm/min. Enfin, on note les efforts de

poinçonnement correspondant aux enfoncements de (0.25mm à 9.00mm) dont l'écart est de 50mm après 1.00mm.

Les valeurs particulières des deux forces ayant provoqués les enfoncements conventionnels de 2,5 mm et de 5 mm sont respectivement rapportés aux valeurs des forces observées (13,35 KN et 19.93 KN) sur un matériau de référence pour les mêmes enfoncements. Ainsi l'indice portance CBR est déterminé par les expressions :

$$I_{PCBR(\text{à } 2,5)} = \frac{\text{Force (en KN) à 2.5 mm d'enfoncement}}{13.35} * 100 \quad (4)$$

$$I_{PCBR(\text{à } 5)} = \frac{\text{Force (en KN) à 2.5 mm d'enfoncement}}{19.93} * 100 \quad (5)$$

$$I_{PCBR} = \max \{ I_{PCBR(\text{à } 2.5)} ; I_{PCBR(\text{à } 5)} \}, F \text{ en KN} \quad (6)$$

2-2-2. Essais sur graveleux – ciment

2-2-2-1. Essai sur le ciment

Les essais sur le ciment consistent à déterminer les différentes caractéristiques physico-mécaniques du ciment utilisé. Ces essais ont été réalisés conformément à la norme ivoirienne NI 05-06-004.

- Caractéristiques physiques

Les différentes caractéristiques physiques à déterminer sont les suivantes : la densité apparente, le temps de début de prise, le temps de fin de prise, la surface spécifique.

- Caractéristiques mécaniques

Cet essai concerne la compression simple réalisé sur le mortier normal.

Les essais mécaniques concernent les résistances en compression et à la traction par flexion à 2 jours, 7 jours et 28 jours.

2-2-2-2. Essais Proctor

L'essai de compactage réalisé sur chaque mélange du graveleux-ciment a pour objet de déterminer la teneur en eau optimum pour laquelle on peut obtenir une densité maximale. Le mode opératoire est le même que celui précité. Nous avons mélangé le ciment au graveleux à 2%, 3% et 4% sur chaque échantillon de 18kg de tamisât.

2-2-2-3. Essai CBR

La procédure de l'essai est la même que celle déjà citée au-dessus. A la différence, cette fois il y'a eu l'ajout de différents pourcentages de ciment à 2% ,3% et 4%. Le mélange graveleux-ciment est effectué dans un malaxeur. A chaque pourcentage de ciment, on a trois moules CBR compactés à des énergies différentes (14, 25, 56 coups) dont au totale nous avons 9 éprouvettes. Après avoir fini de compacter les éprouvettes, elles sont emballées dans un sachet et conservées 3 jours à l'air comme l'indique la figure 14 ci-dessous suivie de 4 jours d'immersion dans l'eau.



Figure14. Conservation des éprouvettes CBR du graveleux-ciment à l'air et dans l'eau.

L'essai de portance réalisé sur chaque mélange a pour objectif de comparer les modifications notées au niveau de l'indice CBR. C'est cet essai qui, réalisé sur chaque mélange, permettra de faire le choix du dosage en liant approprié selon l'emploi visé.

2-2-2-4. Essai de Compression simple et de Traction

Le but est de déterminer à jour les résistances à la compression simple et à la traction simple des éprouvettes réalisées sur les mélanges graveleux-ciment. Le principe de l'essai est de soumettre une éprouvette cylindrique à une force croissante puis constante jusqu'à la rupture. On mesure simultanément les contraintes et déformations au cours de l'essai.

Nous avons séché le matériau au soleil et nous l'avons tamisé avec la superposition de deux tamis de 20mm au-dessus et l'autre de 5mm en dessous. Ainsi on procède au mélange du ciment à 2%, 3% et 4% sur chaque graveleux de 18 kg pesé après le tamisage. Ensuite on procède au compactage du graveleux-ciment dans des moules fendus selon la procédure de l'essai proctor modifié. Mais cette fois si, le matériau est compacté à cinq (5) couches et le nombre de coup reçu par chaque couche est de 17 coups.

Après avoir fini de compacter le matériau, on dévisse la rehausse, en rasant le matériau au même niveau que le moule. On obtient ainsi les éprouvettes en démoulant les moules fendus. Au total, nous avons confectionné 27 éprouvettes dont 9 pour 2%, 9 pour 3% et 9 pour 4%.

La dernière étape consiste à la détermination de la résistance à la compression et à la traction. A la phase de conservation, 18 éprouvettes seront conservés de 7 jours à l'air emballées dans des sachets. Les 9 autres éprouvettes restant sont aussi emballées dans des sachets et seront conservées de 3jours à l'air et 4 jours dans l'eau.

A la phase d'écrasement, lorsque les éprouvettes sont retirés dans le bac à eau après les 4 jours, les 18 éprouvettes conservées 7jours à l'air, 9 seront écrasées à la traction et 9 à la compression et les 9 autres éprouvettes imbibées dans le bac à eau (3jours air + 4jours eau) sont écrasées à la compression. Lors de l'essai à la compression, nous avons écrasé les éprouvettes dans le sens longitudinal au moyen d'une pression agissant à vitesse constante (figure 15). Deux disques de mêmes diamètres que l'éprouvette, sont placés à deux extrémités. A l'aide d'un piston relié à un anneau dynamométrique, on exerce à vitesse constante une charge sur le disque supérieur et on note la valeur de la résistance après rupture de l'éprouvette.

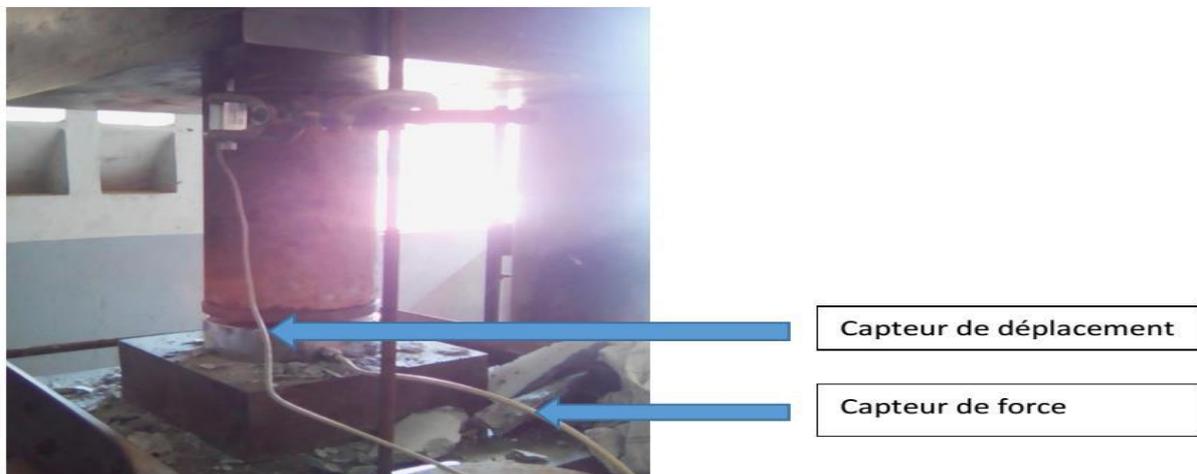


Figure 15. Presse de compression.

La résistance à la compression est déterminée par la formule suivante :

$$R_c = \frac{4F}{\pi D^2} \text{ Avec } S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (7)$$

R_c : résistance à la compression simple en bar;

F : Force de rupture en N et S : surface de l'éprouvette ;

D : diamètre de l'éprouvette qui fait 10 cm.

Essai par traction :

Lors de l'essai de traction par fendage ou traction indirecte, l'éprouvette cylindrique est placée de façon horizontale sur la partie mobile de la presse. L'éprouvette étant centrée au piston, on exerce à vitesse constante une charge sur l'axe de rotation de l'éprouvette. Le plan incliné d'un angle de 60° avec l'horizontale sont mesurées pour calculer le coefficient de Poisson qui servira ensuite à calculer le module d'élasticité de l'éprouvette (voir figure 16 ci-dessous). On note ensuite la valeur de la traction après rupture de l'éprouvette.

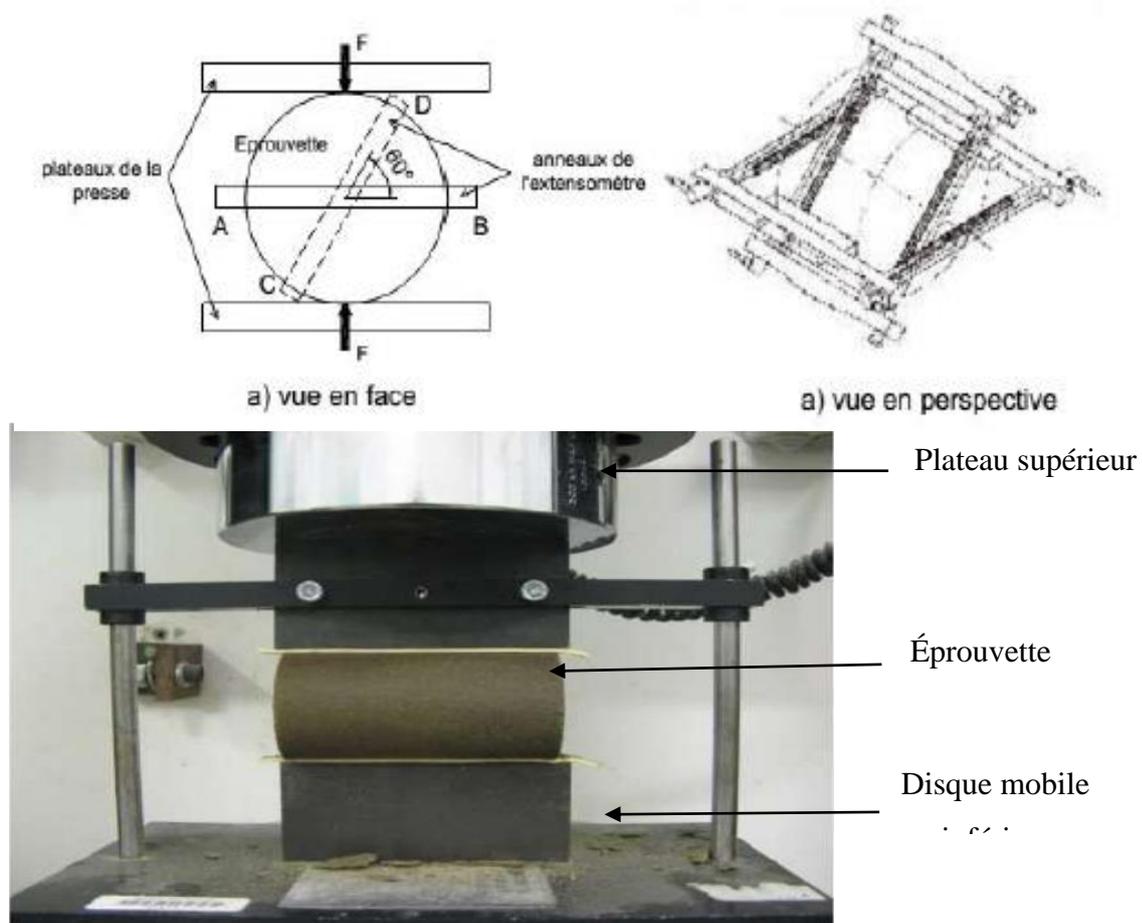


Figure16. Illustration de l'essai de traction.

Le module d'élasticité (déterminé selon la norme NF EN 13286-43) est donné par la formule suivante :

$$E_{it} = (273 + \nu + 0,726 * \nu^2) * 0,3 * \left(\frac{F_r}{H} * \frac{F_r}{\Delta\phi_0} \right) \quad \text{avec } \nu = \frac{1+(0,4*E)}{1,74-(1,07*E)} \quad (8)$$

E_{it} = module d'élasticité déterminé par l'essai de traction indirecte (bar) ;

ν = le coefficient de Poisson ;

$$E : \text{la valeur de } \frac{\Delta\phi_{60}}{\Delta\phi_0} \quad (9)$$

$\Delta\phi_{60}$: la variation de la longueur du diamètre horizontal AB, lorsque $F = 0,3F_r$

$\Delta\phi_{60}$: la variation de la longueur du diamètre CD incliné à 60° , lorsque $F = 0,3Fr$;

F : la force appliquée à l'éprouvette pendant l'essai (N) ;

Fr: la force maximale (à la rupture) (N);

H : la longueur de l'éprouvette (20 cm).

Cependant, lors de l'essai sur des petites éprouvettes sols traités aux liants hydrauliques, la mise en place des deux extensomètres en même temps n'est pas pratique, voire impossible.

Un seul extensomètre est placé dans le diamètre horizontal AB (voir figure 14 ci-dessus).

L'allongement $\Delta\phi_0$ du diamètre AB est lié à la force F par la relation :

$$\Delta\phi_{60} = k \frac{F}{E} \quad \text{d'où le module d'élasticité : } E = k \frac{F}{\Delta\phi_0}$$

Le coefficient k de 0,291 a été déterminé expérimentalement par des études statistiques sur des éprouvettes de sables et sols traités aux liants hydrauliques. Le module E est déterminé pour la valeur de la force $F = 0,3Fr$ et pour la déformation correspondante. Cet essai de compression diamétrale est réalisé suivant cette méthode. L'enregistrement simultanément la courbe force-déformation permet de calculer la résistance à la rupture et le module d'élasticité correspondant à 30% de la force de la rupture.

Le module en traction indirecte est donc égale à : $E = 0,0873 * \frac{Fr}{\Delta\phi_0}$

Résistance à la traction

$$R_t = \frac{F}{\pi RH} \quad \text{Ou} \quad R_t = \frac{2F}{\pi DH} \quad \text{avec} \quad S = \frac{\pi 2RH}{2} \quad (10)$$

R = rayon de la section de l'éprouvette ; H = hauteur de l'éprouvette ; F : la charge appliquée sur l'éprouvette ; S = Surface de l'éprouvette.

PARTIE 3. RESULTATS ET DISCUSSION

3-1. RESULTATS

3-1-1. Caractéristiques physiques et mécaniques de graveaux latéritiques à l'état naturel

3-1-1-1. Granulométrie du graveaux latéritique

L'analyse granulométrique a permis de classer les différentes particules constituant le matériau prélevé le long de l'axe. Le tableau XI ci-dessous présente les caractéristiques physiques des graveaux latéritiques déterminés par la méthode de tamisage à sec après lavage.

Tableau XI. Présentation de la granulométrie des graveaux latéritiques.

POIDS TOTAL SEC					1000g									
D(mm)	80	63	50	40	31.5	20	16	10	5	2	1	0.5	0.2	0.08
M(g)	0	0	0	0	54	96	152	309	703	813	823	838	879	899
% R	0	0	0	0	5	10	15	31	70	81	82	84	88	90

1000g représentent le poids du graveaux échantillonné lorsqu'il sort de l'étuve.

D : le diamètre des tamis utilisé pour tamiser le matériau, exprimé en millimètre (mm)

M(g) : la masse de particules retenues sur chaque tamis.

R : le pourcentage de particules retenues sur chaque tamis.

Le pourcentage de particules retenues, permet de calculer le pourcentage de particules fines contenues dans le matériau. Le pourcentage d'éléments fins (particules de diamètre inférieur à 0,08 mm) déterminé dans le matériau est de 10%. Dans la granularité, le paramètre fondamental qui conditionne le succès de malaxage du matériau est la teneur en éléments fins. Les résultats obtenus ont permis de tracer la courbe granulométrique des pourcentages passants cumulés en fonction de diamètre des tamis (figure 17).

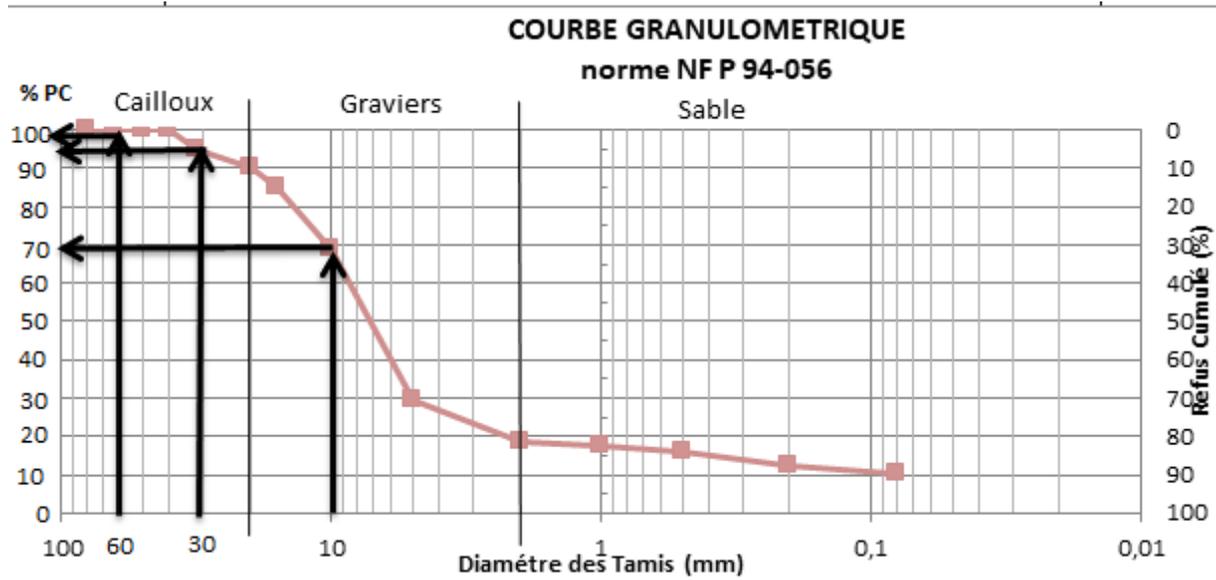


Figure 17. Courbe granulométrique du matériau cru.

Les graveleux prélevés le long de l'axe (Grand Lahou-Dabou) est un mélange de cailloux, de graviers et de sables. La présence d'une certaine quantité de sable dans le matériau est un élément important de la granularité. Il faut éviter le manque de sable entre les tamis 0,5 à 2mm qui se traduit sur la courbe granulométrique. Ainsi à travers la courbe, on détermine les caractéristiques du sol par deux coefficients.

Le coefficient d'uniformité ou de HAZEN : $C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 1.43$

Le coefficient de courbure : $C_C = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} = 1.29$

Avec $D_{10} = 70 \%$; $D_{30} = 95 \%$; $D_{60} = 100 \%$

D_{10} : représente le diamètre des grains (mm) correspondant 10% de passant ;

D_{30} : représente le diamètre des grains (mm) correspondant 30% de passant ;

D_{60} : représente le diamètre des grains (mm) correspondant 60% de passant.

3-1-1-2. Limite d'Atterberg

Les caractéristiques intrinsèques du graveleux cru déterminées par la méthode de la coupelle de casagrande (coupelle lisse) sont consignées dans le tableau XII.

Tableau XII. Les valeurs de la limite d'Atterberg sur les graveleux (Grand Lahou-Dabou).

Nombre de coups	Limite de liquidité					Limite de plasticité	
	16	19	23	27	30		
Numéro de la tare	654	1515	327A	1781	1234	1453	1706
Poids total humide	32.814	32.580	32.505	33.839	34.652	23.515	23.494
Poids total sec	29.428	29.044	29.024	30.550	30.951	23.105	23.142
Poids de la tare	21.752	21.017	21.066	22.980	22.420	21.369	21.647
Poids de l'eau	3.386	3.536	3.481	3.289	3.701	0.410	0.352
Poids net sec	7.676	8.027	7.958	7.570	8.531	1.736	1.495
Teneur en eau	44,111	44,051	43,742	43,447	43,382	23,617	23,545

Ces différentes données ont permis de tracer la courbe de la limite d'Atterberg en considérant la teneur en eau en fonction du nombre de coups. La figure 18 représente la courbe de la limite d'Atterberg.

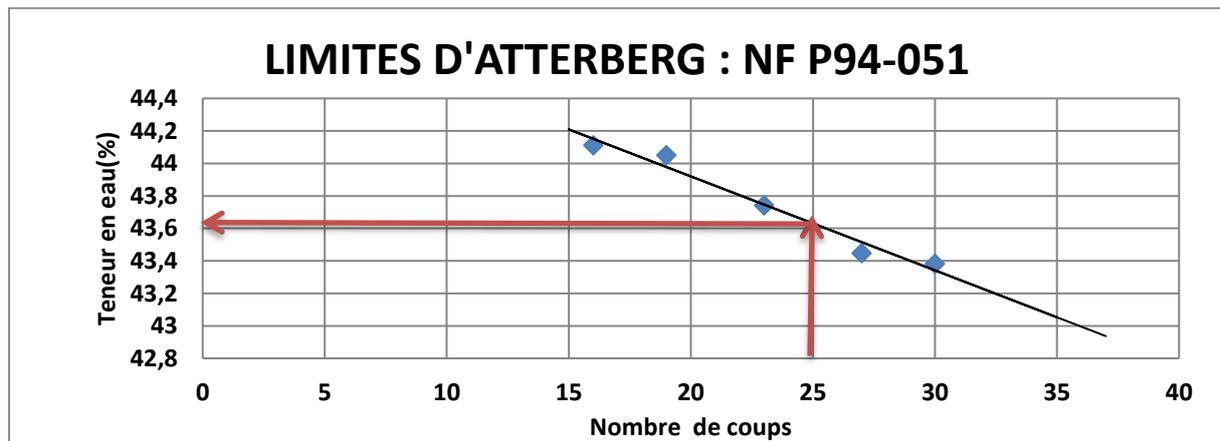


Figure 18. Courbe de la limite d'Atterberg sur les graveleux Grand Lahou-Dabou

A 25 coups, la limite de liquidité (WL) est égale à 43,6% et la limite de plasticité (Wp) est égale à 24%, ce qui donne en indice une plasticité (Ip) égal à 19,6%. Une plasticité excessive entraîne de sérieuses difficultés de malaxage et des risques accrus de retrait par temps chaud. Cet indice de plasticité montre que ce sol peut être utilisé au niveau des chaussées de type T1 et T2 (tableau XIII). Pour des trafics T1 et T2 l'indice de plasticité maximum destiné en couche de base est de 20 et en couche de fondation valeur non imposée.

Tableau XIII. Valeurs limite d'indice de plasticité.

Couche de chaussée Concernée	Classe de trafics CEBTP				
	T1	T2	T3	T4	T5
	Indice de plasticité maximum				
Fondation	-		25%		
Base	20%		15%		-

Pour un trafic élevé sur une chaussée, le module de plasticité est proposé comme critère fiable pour des graveleux au ciment.

3-1-1-3. Essais Proctor

Après le compactage du matériau, les résultats obtenus lors de l'essai Proctor sont consignés dans le tableau XIV. Ces données ont permis de tracer la courbe Proctor des graveleux latéritiques prélevés le long de l'axe Grand Lahou-Dabou.

Tableau XIV. Caractéristiques des graveleux de l'essai Proctor.

N° de tare	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Teneur En eau	4,09	4,89	6,73	5,36	8,57	8,51	10,29	10,96	12,42	11,60
	4,5		6,05		8,5		10,63		12,01	
Densité sèche	2,11		2,27		2,28		2,22		2,12	

Ces valeurs dans le tableau représentent les caractéristiques immédiates du graveleux latéritique lors de l'essai proctor.

La courbe Proctor de la densité sèche du matériau est obtenue en fonction de la teneur en eau.

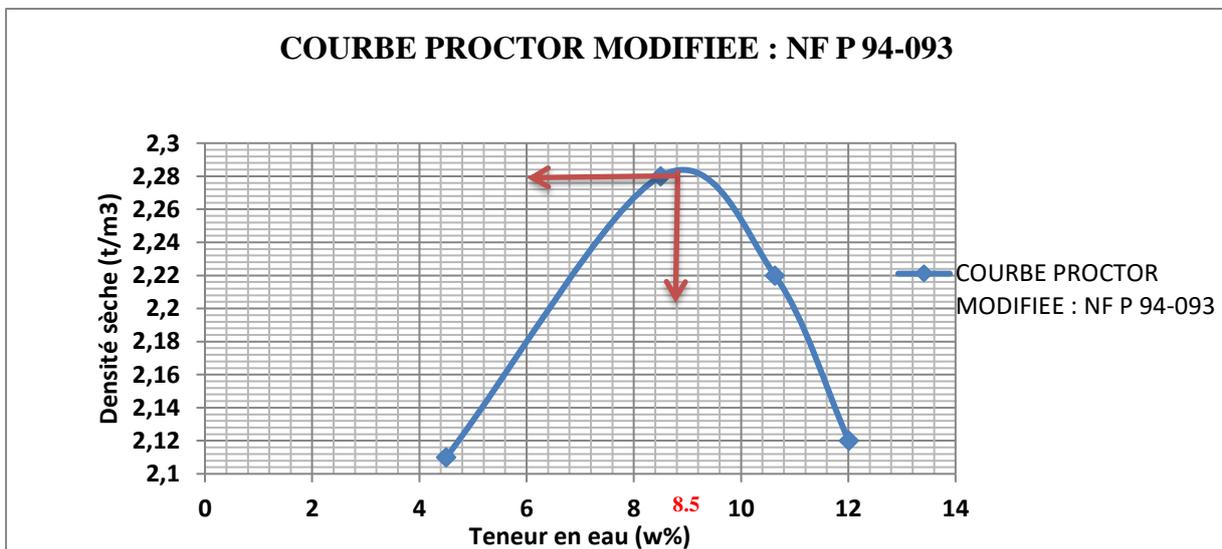


Figure 19. Courbe de l'essai Proctor Modifié.

Nous déterminons la densité sèche référentielle et la teneur en eau lorsque la courbe est maximale. Nous avons la densité sèche (Y_d) maximale qui égale à $2,28 t/m^3$ et la teneur en eau Optimum égale à 8,50 %.

La densité sèche maximale et la teneur en eau optimale de compactage sont des caractéristiques obtenues à partir de l'essai Proctor modifié. Ainsi, en faisant le rapport de la densité volumique du sol sec (γ_d) par rapport à la densité volumique des grains solides γ_s on obtient $\frac{\gamma_d}{\gamma_s} = \frac{2,28}{2,47} = 0,92$.

Cette valeur montre que les grains occupent 92% du volume du sol compacté. La densité sèche est élevée et laisse 8% de vide dans le volume total du sol. Lors de ce compactage, la teneur en eau naturelle du graveleux latéritique a été déterminée. Elle est de l'ordre de 3,45%. Afin d'obtenir la portance voulue au niveau des couches d'assise, il faudrait que ces caractéristiques soient conformes à celle des classifications du LBTP. Ces deux caractéristiques (densité sèche et la teneur en eau) vont permettre de présenter les valeurs de l'indice portant CBR sur le matériau cru.

3-1-1-4. Essai CBR

Les valeurs des indices CBR obtenus sur le graveleux latéritique cru sont reportées dans le tableau XV.

Tableau XV. Indice CBR du graveleux latéritique naturel.

Taux de compactage	CBR après 4 jours d'imbibition
100% OPM (56 coups)	74
95% OPM (25 coups)	38
90 % OPM (14 coups)	21

Ce tableau représente les valeurs de l'indice CBR après 4 jours d'imbibition dans l'eau lorsque le matériau a été compacté à différentes énergies.

La courbe de l'indice portant CBR à des densités sèches du graveleux (figure 20) est tracée en fonction des valeurs obtenues à travers les différentes énergies de compactage.

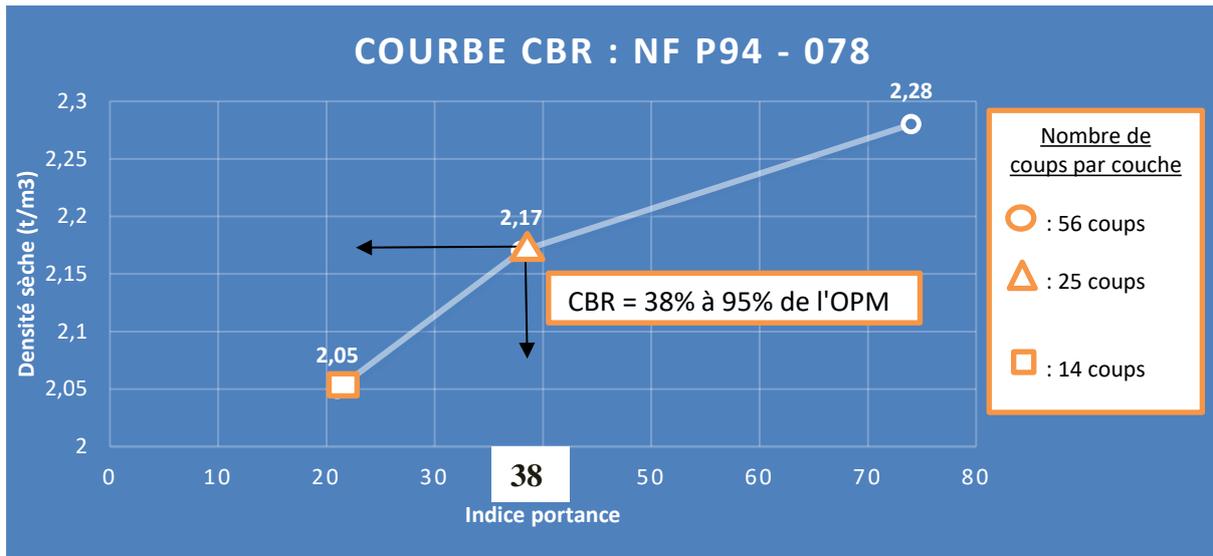


Figure 20. Courbe CBR du matériau cru Grand Lahou-Dabou.

Les 56 coups représentent la capacité d'énergie (100% d'énergie) fournie pour compacter le matériau, les 25 coups représentent la capacité d'énergie (95% d'énergie) fournie pour compacter le matériau et les 14 coups expriment la capacité d'énergie (90% d'énergie) fournie pour compacter le matériau.

Le matériau prélevé le long de l'axe Grand Lahou-Dabou compacté à différentes énergies (56, 25 et 14 coups) montre une augmentation de l'indice portant CBR. Lorsque le matériau est compacté à 100% d'optimum Proctor modifié, on atteint une densité sèche maximale de 2,28 t/m³. Contenue des erreurs de compactage, l'énergie utilisée pour évaluer le dimensionnement des assises de chaussée sur le chantier est de 95% d'Optimum Proctor Modifié (OPM). Nous constatons que la valeur mesurée après 4 jours d'immersion du matériau dans l'eau, à la densité sèche (2,17t/m³) correspondant à 95 % d'Optimum Proctor Modifié (OPM) est égale à 38 à une teneur en eau voisine de 8,50%.

Les tout-venants latéritiques destinés à être utilisés en couche de fondation et de base des chaussées bitumées devront présenter les valeurs minimales de l'indice CBR ci-dessous.

Tableau XVI. Indice CBR du matériau naturel recommandé.

Couches concernées	Valeur minimale de l'indice CBR				
	T1	T2	T3	T4	T5
Couche de fondation	25	30	30	30-35	30-35
Couche de base	60	80	80	-	-

Il faut noter que dans notre cas la valeur de l'indice CBR est 38 à 95% de l'OPM. Pour les trafics élevés (T3, T4 et T5), les graveleux latéritiques destinés aux couches de base revêtues

présentent une sensibilité trop grande pour pouvoir être utilisés à l'état naturel, même si leur CBR est supérieur à 80. Ce qui nécessite leur traitement. Afin, ces caractéristiques ont été comparées à celle de la classification du LBTP. Cette comparaison est représentée par le tableau XVII.

Tableau XVII. Synthèse des résultats des essais comparés à celle de la classification du LBTP.

Graveleux Latéritiques cru (Grand Lahou-Dabou)					
Indice de Plasticité Ip	Teneur en fine (< 0.08 mm)	Valeurs moyennes du graveleux latéritique			
		Indice CBR à 95% après 4jrs D'imbibition	Densité sèche (t/m^3)	Teneur en eau Optimum (w%)	
19,6	10	38	2,28	8 ,5	
Recommandations des graveleux latéritiques pour être utiliser en corps de chaussée					
G1	< 15	< 15	30 à 80	2,2 à 2,4	8 à 9
G2	15 - 25	15 - 25	20 à 50	2 à 2,2	9 à 10
G3	> 25	> 25	10 à 30	1,9 à 2,1	10 à 12

L'analyse du tableau montre que les graveleux latéritiques étudiés sont de type G1 car leurs caractéristiques sont similaires à cette classe de sol.

3-1-2. Caractéristiques de graveleux – ciment

Or la classe G1 est un sol qui avant d'être utilisé en construction routière doit subir un traitement d'où l'amélioration de ce graveleux latéritique par l'ajout de ciment.

3-1-2-1. Synthèse d'essai Proctor Amélioré à 2, 3, 4% du ciment

Les résultats d'essai Proctor effectué sur le matériau amélioré au ciment à des pourcentages différents présentent un certain nombre de caractéristiques. Nous avons tracé la courbe Proctor de chaque dosage du ciment sur le graveleux latéritique (figure 21).

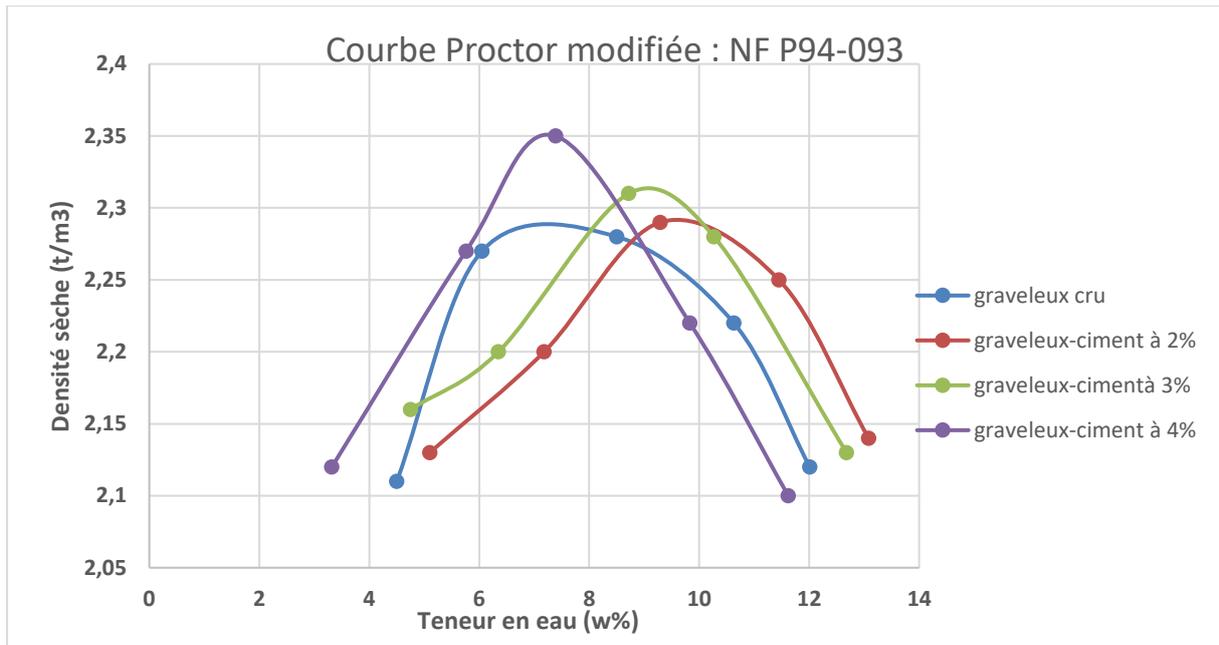


Figure 21. Courbes de variation des caractéristiques de compactage à l'OPM du matériau amélioré à des différents pourcentages de ciment CPA 42,5N.

Selon la courbe, le matériau stabilisé à 4% du poids du ciment a une densité sèche maximale plus élevée que le matériau stabilisé à 0%, 2% et 3%.

A partir de ces courbes, il a été déterminé la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale correspondantes à chaque dosage (tableau XVIII) qui permettent de procéder à l'essai CBR.

Tableau XVIII. Synthèse des caractéristiques de compactage des graveleux-ciment de l'essai Proctor.

Graveleux stabilisé au ciment à 2% ; 3% ; 4%		
Désignation	Proctor	
	Densité sèche maximale(t/m ³)	Teneur en eau optimale (w%)
Graveleux + 0% ciment	2.28	8.50
Graveleux + 2% ciment	2.30	9.70
Graveleux + 3% ciment	2.31	9.00
Graveleux + 4% ciment	2.35	7.40

La figure 22 ci-dessous montre la variation de la densité sèche maximale lorsqu'elle est améliorée au ciment.

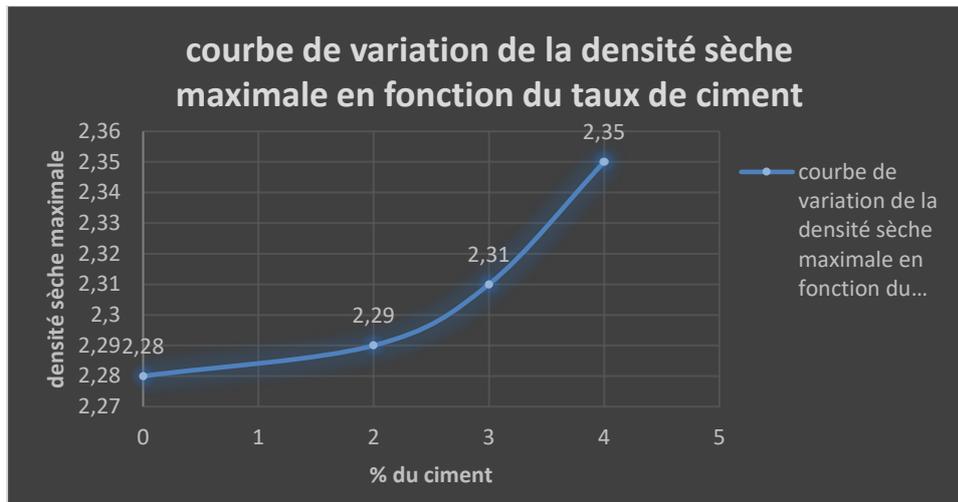


Figure 22. Variation de la densité sèche maximale en fonction du taux de ciment.

La courbe montre que le graveleux atteint la densité sèche maximale lorsqu'elle est améliorée à 4% de ciment. La densité sèche maximale du graveleux croît au fur et à mesure que le dosage du ciment augmente et en abaissant la teneur en eau. L'amélioration à 4% du ciment atteint une densité sèche maximale de 2,35 t/m³. Cette valeur est supérieure à la valeur de la densité sèche maximale du matériau naturel qui est de 2,28 t/m³. Une telle augmentation de la densité sèche est due à la densité du ciment.

3-1-2-2. Essais CBR

Les résultats immédiats des essais effectués sur les graveleux stabilisé au ciment à 2, 3 et 4% sont synthétisés dans le tableau XIX.

Tableau XIX. Récapitulatif des essais CBR du graveleux traité au ciment à 2, 3 et 4%.

INDICE PORTANCE CBR			
Compacité	90%	95%	100%
Graveleux + 0% ciment	21	38	74
Graveleux + 2% ciment	73	162	335
Graveleux + 3% ciment	97	171	343
Graveleux + 4% ciment	92	183	387

Le matériau a été compacté sous l'action de différentes énergies (90, 95, 100%) de l'optimum Proctor modifié. A partir de ce tableau récapitulatif, les courbes CBR sont tracées en fonction des densités sèches du graveleux latéritique (figure 23).

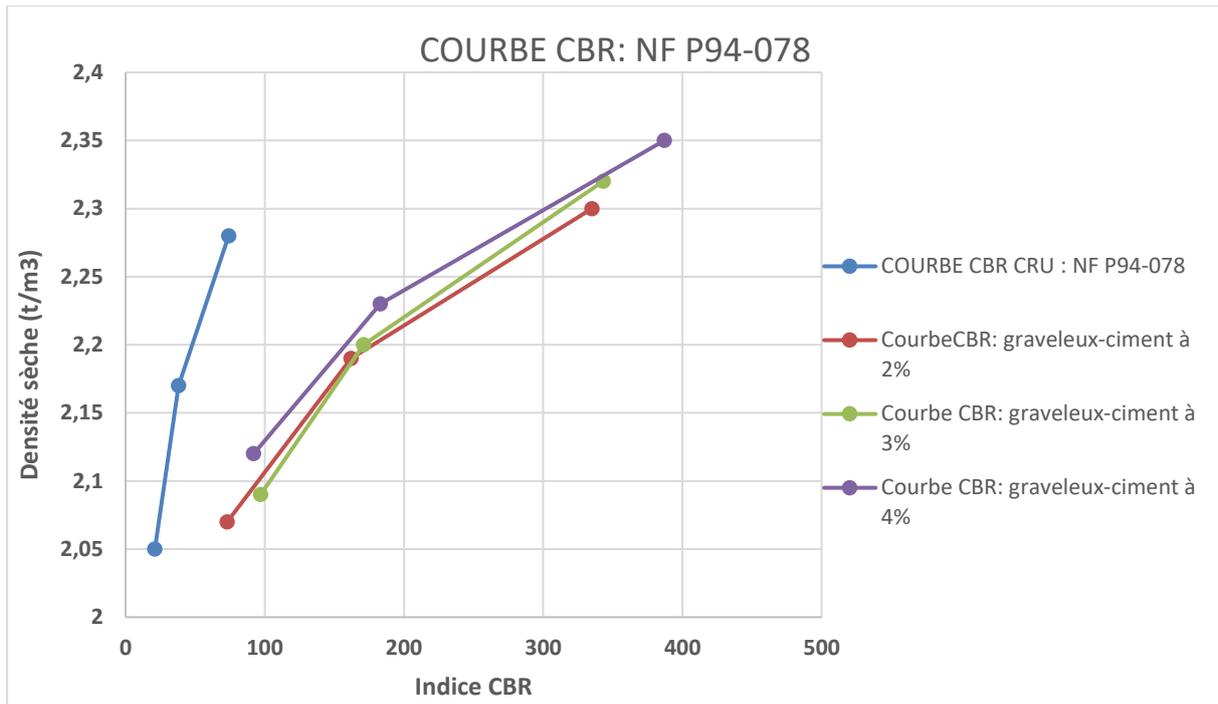


Figure 23. Courbes récapitulatif des essais CBR du graveleux-ciment CPA 42,5N (Grand Lahou-Dabou)

Pour du matériau non dosé, la valeur mesurée après 4 jours d’immersion dans l’eau, à la densité sèche correspondant à 95 % d’OPM est égale à 38 (matériau cru). Pour un dosage de 2% du ciment, la valeur mesurée après 4 jours d’immersion dans l’eau, à la densité sèche correspondant à 95 % d’OPM est égale à 162. Un dosage de 3% du ciment toujours dans les mêmes conditions a donné 171. Enfin, le dosage de 4% a donné 183.

La stabilisation au ciment améliore la capacité portante du graveleux latéritique. En effet à partir d’un apport de 2%, 3% à 4% de ciment à 95% de compacité, tous les CBR passent de 38 (CBR du graveleux naturel) à des valeurs supérieures ou égales à 160. De ce fait, nous concluons de la possibilité d’utilisation de ce graveleux en couche de base. Le graphique suivant (figure 24) montre l’évolution du CBR en fonction du dosage en ciment.

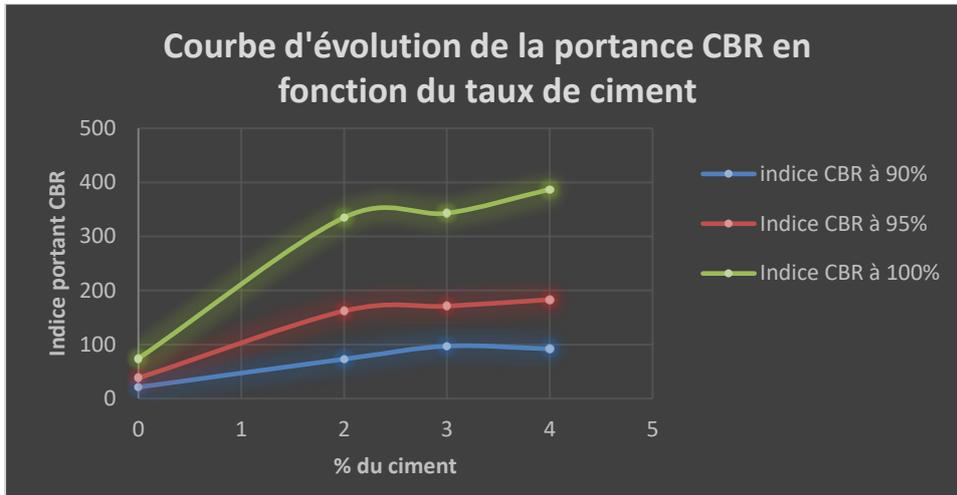


Figure 24. Evolution de l'indice portant CBR en fonction du pourcentage de ciment.

Lorsque le matériau est amélioré à différents pourcentage de ciment (2%, 3%, 4%) et compacté à différentes énergies (90%,95%,100%) d'OPM, on constate que la capacité portante du graveleux latéritique à l'état naturel augmente au fur et à mesure.

Ces trois courbes montrent une augmentation très importante de la portance du CBR en passant du graveleux naturel au graveleux traité au ciment. Le graveleux latéritique amélioré atteint la portance imposée par les recommandations pour les améliorations à 2, 3, 4% de ciment. Ce qui montre l'influence du ciment sur la portance du matériau. Ces valeurs sont de loin supérieures à celles du graveleux naturel qui est généralement inférieures à 60 - 95% de l'OPM. L'amélioration du graveleux latéritique aux différents taux du ciment avec une énergie de compactage à 95% de l'OPM sont suffisantes.

3-1-2-3. Essais de compression et de traction

Les résultats récapitulatifs de ces modules de résistance à la compression simple et de traction améliorée au ciment sont présentés dans le tableau XX ci-dessous.

Tableau XX. Récapitulatif des résultats de l'essai de compression et de traction des graveleux-ciment

Graveleux – ciment			
Désignation	Compacité 95 %		
	Résistance en compression (bar)		Résistance en Traction (bar)
	R'c	Rc	Rt
G + 2% ciment	3,76	11,36	1,12
G + 3% ciment	6,52	14,74	1,38
G + 4% ciment	11,79	21,31	2,07

(G : Gravelleux, R'c : la résistance à la compression maximale dont l'éprouvette a été conservée 7jours air à différent taux de ciment ; Rc : la résistance à la compression maximale dont

l'éprouvette a été conservée (3jours air +4 jours à eau) à différent taux de ciment ; Rt : la résistance à la traction maximale dont l'éprouvette a été conservée 7 jours air à différent taux de ciment).

A travers les différentes valeurs mentionnées dans ce tableau XX, on obtient l'évolution de la résistance du matériau en fonction du taux de ciment (figure 25).

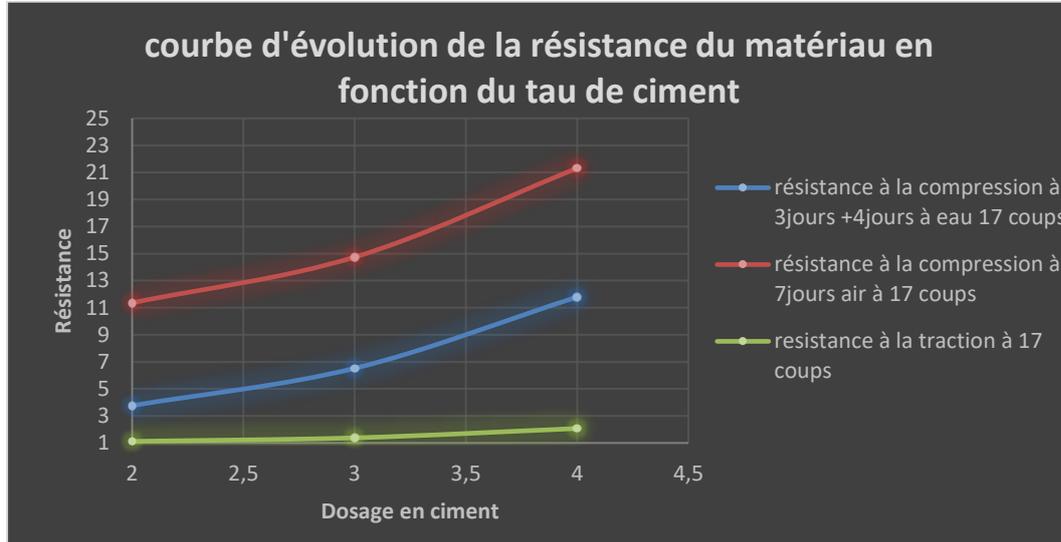


Figure 25. Evolution des résistances en fonction du taux de ciment dans le graveleux latéritique.

Lorsque le matériau est amélioré à 2, 3, 4% du ciment, la résistance à la compression simple à 7 jours d'âge évolue avec le pourcentage du ciment. A 4% du poids de ciment la résistance à la compression à 7 jours air atteint une valeur maximale de 21,31 bars. Une telle forte résistance du matériau en couche des chaussées pouvait supporter des sollicitations des trafics.

3-2. DISCUSSION

3-2-1. Caractéristiques du matériau cru

L'analyse granulométrique obtenue indique un coefficient d'uniformité égal à 1,43 et le coefficient de courbure est de 1,29. Ceci montre que le matériau est bien gradué, parce que le cahier de charge recommande un coefficient d'uniformité inférieur à 2 et un coefficient de courbure compris entre 1 et 3.

L'indice de plasticité déterminé du matériau est de 19,6%. Ce matériau ne peut donc être utilisé uniquement qu'en couche de base pour des trafics faibles, soit T1 et T2. Car selon la classification des trafics LBTP, l'indice de plasticité pour un trafic élevé (à partir de T3) doit être inférieur à 15%. En effet, pour un trafic élevé sur une chaussée, le module de plasticité

est proposé comme critère de fiabilité pour l'amélioration des graveleux au ciment. Les graveleux prélevés le long de l'axe Grand Lahou-Dabou sont convenables au traitement et peuvent être même utilisés directement en couche de fondation pour un trafic élevé. Par contre, en couche de base, ces graveleux à une densité sèche maximale de 2,28t /m³ à 95% de l'OPM et une teneur en eau de 8,50% présentent un indice CBR très faible (38 à 95% d'OPM). En effet, selon Bamba & Gérard (1977), les matériaux en couche de base doivent avoir un indice CBR supérieur à 60%. Pour un matériau naturel ayant un indice CBR inférieur à 60 %, son traitement est nécessaire en corps de chaussée. En comparant ces graveleux latéritiques prélevés dans la zone de Grand Lahou-Dabou à celles de la classification du Bamba & Gérard (1977), il s'agit des graveleux de classe G1. Selon les études de la détermination des modules de déformation des matériaux traités au ciment, les graveleux de classe G1 sont ceux qui proviennent d'une zone de savane et graveleux de classe G2 sont ceux de zone forestière (Sahuri, 2016). Ce qui n'est pas conforme à nos résultats qui indiquent que les prélèvements prélevés par nos soins sur l'itinéraire Grand Lahou-Dabou, au sud de la Côte d'Ivoire correspondent à des graveleux de classe G1, donc de type savane. Ce non concordance peut s'expliquer de deux manières possibles.

3-2-2. Caractéristiques des graveleux - ciment

Les caractéristiques des graveleux-ciment déterminées au laboratoire par essais proctor ont montré l'importance du ciment incorporé dans le matériau. Pour l'amélioration de 4% de ciment, les caractéristiques des graveleux latéritiques ont atteint une densité maximale de 2,35t/m³ à une teneur en eau de 7,40%. Cette valeur est supérieure à celle de la densité sèche maximale du matériau naturel qui est de 2,28t/m³ à une teneur en eau de 8,50%. Une telle augmentation de la densité est due à la densité du ciment. A cet effet, les critères permettant d'évaluer la performance du matériau, à savoir l'indice portant CBR et la résistance à la compression simple ont donnés une allure croissante des courbes d'évolution en fonction du taux du ciment. A partir d'un apport de 2%, 3% et 4% de ciment à 95% de compacité, tous les indices de CBR passent de 38 (CBR à l'état du matériau naturel) à des valeurs supérieures à 160. Selon les normes CEBTP Française (1972), pour le dimensionnement d'une chaussée, le graveleux-ciment doit avoir un indice CBR supérieur à 160 en couche de base et en couche de fondation un indice CBR de 100. Par contre lors de leur résistance, le dosage de 2% ne respecte pas les normes, mais les 3% et 4% donnent des résistances aux compressions simples proches. Cela voudrait dire que la valeur minimale de 5 bars destinée à confirmer le dosage optimal en ciment après 3jours air + 4jours d'imbibition est respectée pour les dosages 3 et

4%, de même que la valeur maximale de 30 bars après 7 jours air est respectée pour 4%. Pour la résistance à la traction, seul le dosage de 4% a pu atteindre la valeur de 2 bars recommandée. En plus, le rapport $\frac{R'_c}{R_t}$ du graveleux-ciment est supérieur à 0,5Mbas du coup, ce rapport est considéré comme un critère d'acceptabilité du matériau. Dans le travail de Gblékoué en 2015 explique que le graveleux-ciment travail en flexion, donc l'on doit avoir approximativement la relation $\frac{R_t}{R_f} = 0,5$, soit $R_f = 2R_t$ et aussi pour le trafic T1, $\frac{R_f}{\sigma_t} = 1,35$ avec $\sigma_t \leq 3$ bar, le trafic T2, $\frac{R_f}{\sigma_t} = 1,60$ avec $\sigma_t \leq 2,5$ bar ; et-le trafic T3, $\frac{R_f}{\sigma_t} = 2$ avec $\sigma_t \leq 2$ bar, avec σ_t la contrainte de traction. La résistance en flexion (R_f) devrait être au moins égale à 4 bars et la résistance à la traction (R_t) mesurée à l'essai brésilien après 7 jours de cure à l'air devrait être supérieure ou tout au moins égale à 2 bars. Ainsi, les graveleux latéritiques que nous avons traités à 4% du poids de ciment sont utilisables dans le dimensionnement des couches d'assise d'une chaussée pour des trafics T1, T2 et T3.

CONCLUSION

CONCLUSION GENERALE

Les essais réalisés sur les graveleux-ciment ont permis d'obtenir plusieurs caractéristiques physiques et mécaniques lors de leur identification. Les paramètres utilisés pour caractériser le matériau sont la granularité, la limite d'Atterberg, Proctor, la méthode CBR et des méthodes de résistance. L'étude réalisée au laboratoire montre que le matériau ne peut pas être utilisé à l'état naturel en couche d'assise d'une chaussée. En effet, son indice portant CBR est de 38 à 95% de l'Optimum Proctor Modifié. Ce matériau a été amélioré avec du ciment à différents pourcentage (2, 3 et 4%) pour faire ressortir l'influence du ciment dans la caractérisation des graveleux Latéritiques (l'évolution de l'indice portant CBR et de la résistance à la compression simple) et de les comparer aux normes prescrits pour leur utilisation. Au terme de cette étude, les caractéristiques physiques et mécaniques de graveleux-ciment ont permis de retenir un indice CBR de 183% à 95% de l'optimum Proctor modifié et une résistance à la compression simple de 2,131MPa vis-à-vis de la fissuration et 1,179MPa vis-à-vis du poinçonnement à 4% de poids du ciment. Nous constatons de façon générale que les mélanges à 4% de ciment donnent les résultats répondant aux normes des manuels pour la conception et le dimensionnement des couches de chaussée. Le choix des matériaux composant ces couches est très important en construction routière, ce qui nous a guidé à déterminer les caractéristiques physiques et mécaniques des graveleux latéritiques améliorés à différents dosages du ciment de 2%, 3% et 4%. Ceci dans le but d'obtenir le taux maximal du ciment nécessaire pour un graveleux latéritique du type G1 dans le dimensionnement des chaussées. Le graveleux latéritique de Côte d'Ivoire est un matériau très hétérogène du point de vue de la nature et de la répartition des grains. Traité à un pourcentage de ciment inférieur à 4%, il présente des résistances mécaniques très sensibles au compactage.

L'objectif du dimensionnement des chaussées est de s'assurer que la contrainte verticale est inférieure à la contrainte admissible du sol. Les assises de chaussées traitées aux liants hydrauliques travaillent en flexion et permet d'apprécier son comportement sous charge. L'idée d'un matériau pour la construction d'une chaussée est d'avoir un faible module d'élasticité et d'une grande résistance à la traction par flexion. Le rapport du matériau est caractérisé par R_t/E . Ce rapport doit être aussi plus grand que possible. Cependant la contrainte de rupture dans notre cas correspond à l'essai de compression et de traction. Nous pouvons donc dire que l'amélioration du graveleux latéritique avec du ciment est influencée

par des caractéristiques physiques et mécaniques. Le graveleux latéritique amélioré au ciment est plus résistante que le matériau à l'état naturel.

Cependant à la lumière de cette étude, les recommandations suivantes sont nécessaires pour une meilleure caractérisation physique et mécanique des graveleux latéritiques traités au ciment pour leur utilisation en corps de chaussée :

- ✓ A l'endroit du LBTP, lorsque les matériaux sont simplement améliorés par l'ajout d'une faible quantité de ciment et donc qu'ils ne sont pas rigidifiés c'est-à-dire quand on est dans le cas des chaussées souples, le CBR et la résistance à la compression, à la traction doivent rester le critère à retenir.
- ✓ Lors de la formulation, aller au-delà de 4% du ciment, pour voir réellement le comportement des caractéristiques mécaniques des matériaux traités vis-à-vis d'une charge appliquée en couches d'assise d'une chaussée.
- ✓ A l'endroit des bureaux de contrôle, l'on doit veiller à ce que les travaux soient réalisés conformément à la règle de l'art et tout en ayant en permanence un contrôleur à pied d'œuvre lors du déroulement des travaux sur le chantier.

REFERENCES

- Anonyme (1972). Recommandation du manuel de dimensionnement pour les chaussées en Afrique cas des graveleux latéritiques traités au ciment, Centre d'Expérience et d'étude de Batiment et de travaux Publiques (CEBTP), Paris (France), 39 p.
- Anonyme (2001). Ciment-partie 1: Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants. Edition AFNOR, NF EN 197-1 février 2001 <https://www.boutiqueafnor.org/norme/nf-en-197-1> consulté le 15 avril 2019.
- Autret P. (1983). Latérites et graveleux latéritiques. Note d'Information, Laboratoire central des ponts et chaussées, Institut des Sciences et des Techniques de l'Equipement et de l'Environnement, Paris(France), 42 p.
- Autret P. & Messou M. (1980). Contribution à l'étude des graveleux latéritiques traités au ciment, Thèse de doctorat, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris (France), 434 p.
- Autret P. & Messou M. (1983). Comparaison des graveleux latéritiques traités au ciment au grave-ciment, Thèse Doctorat, UFR de Génie civil, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (Paris, France), 77 p.
- Bamba B. & Gérard L. (1977). Manuel pour la conception et le dimensionnement des chaussées neuves, catalogue des structures types, LBTP, Côte d'Ivoire, 147 p.
- Bamba B. & Gérard L. (1977). Recommandation pour l'utilisation en corps de chaussée de graveleux latéritiques naturels améliorés au ciment, LBTP, Côte d'Ivoire, 37 p.
- Bohi Z.P.B. (2008). Caractérisation des sols latéritiques utilisés en construction routière : le cas de la région de l'Agnéby (côte d'ivoire), thèse de doctorat de 3ieme cycle, école Nationale des ponts et chaussées de Paris (France), 144 p.
- Faure M. (1997). Cours de route: Manuel d'entretien des routes en Afrique, Tome I, II, III, Coopération de groupe de travail en France, Royaume Uni et Republique Fédérale d'Allemagne, 356 p.
- Gblekoue Z.R. (2015). Les Couches d'Assise en Matériaux Granulaires Améliorés au Ciment : Problèmes de Formulation, de Mise en OEuvre et Difficultés Structurelles, Mémoire de fin de formation pour l'obtention du diplôme d'Ingénieur de conception, Département de Génie Civil, Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi, Université d'Abomey-Calavi, Bénin, 170 p.

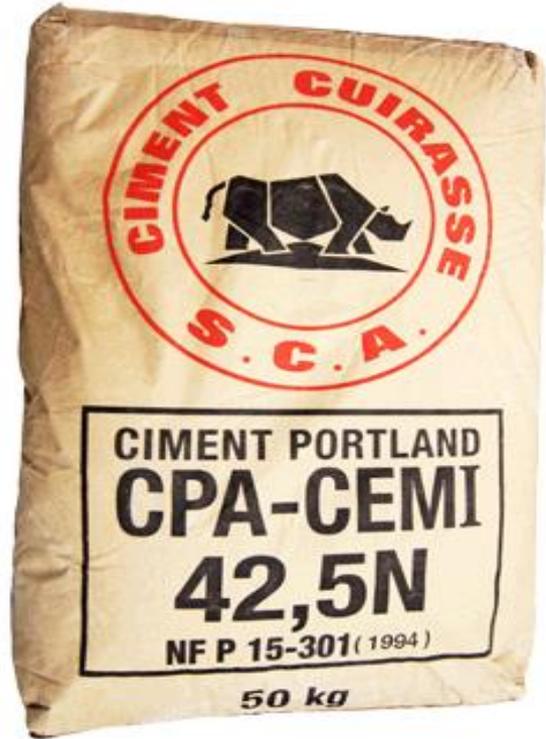
- Habib P. (1997). Genie géotechnique. Application de la mécanique des sols et des roches, Edition Amazon, Universités Francophones, Ellipses (France), 224 p.
- Idrissa T. (1993). Contribution à l'étude des graveleux latéritiques dans les pays du Sahel: cas des routes non revêtues, Thèse de M. Sc. A, Ecole de Génie Civil, Université de Moncton, Canada, 225 p.
- Krecoumou A. K. (2019). Contribution à l'étude du produit ANSS dans la stabilisation des routes en terre : cas de l'axe San-Pedro – Grand-Bereby, travail de fin d'étude 2019, Ecole supérieure des Travaux Publics, Institut National Polytechnique Félix Houphouët -Boigny (INPHB) de Yamoussoukro, Côte d'Ivoire, 74 p.
- Messou M. (2008). Guides pratiques de techniques routières. Route comme source de développement. Edition hoppi net 26 juillet 2008 [http:// www.koffi.net / koffi / actualité / 53608 htm](http://www.koffi.net/koffi/actualite/53608.htm).
- Messou M. & Paul A. (1980). Etude des graveleux - ciment, Thèse Doctorat, Département de Génie Civil, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC) de Paris, France, 288 p.
- Messou M. (1980). Comportement mécanique d'une couche de base en graveleux latéritiques traités au ciment : cas de routes en côte d'Ivoire, Thèse Doctorat, Département de Génie civil, Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (ENPC) de Paris, France, 197 p.
- Sahuri B.K.H. (2016). Contribution à l'étude de détermination des modules de déformation des matériaux traités au ciment, travail de fin d'étude de 2016, Ecole supérieure des Travaux Publics, Institut National Polytechnique Félix Houphouët Boigny, Yamoussoukro (Côte d'Ivoire), 103 p.

ANNEXES

ANNEXE1



Graveleux Latéritique



Ciment CPA

**ESSAI SUR LE MATERIAU CRU PRELEVE LE LONG DE L'AXE GRAND
LAHOU-DABOU**

Ref : PR2-SP1/ENG/012

Version : 02

Début d'essai : 18-06-09

Fin d'essai : 20-06-09

N° FEUILLE DE 526
RECEPTION

ANALYSE GRANULOMETRIQUE : SOL	NF P94-056
--------------------------------------	-------------------

CODE ECHANTILLON			
Poids Sec		1000 g	
Dimension en mm	Modules	P.C	% R
80	50		
63	49		
50	48		
40	47	0	0
31.5	46	54	5.4
20	44	96	9.6
16	43	152	15.2
10	41	309	30.9
5	38	703	70.3
2	34	813	81.3
1	31	823	82.3
0.5	28	838	83.8
0.2	24	879	87.9
0.08	20	899	89.9
% des fines	100 – 89.9 = 10.1		

ANNEXE 2

ESSAI DE LIMITES D'ATTERBERG SUR LE GRAVELEUX CRU (Grand Lahou-Dabou)

Nombre de coups	Limite de liquidité					Limite de plasticité		
	16	19	23	27	30			
Numéro de la tare	654	1515	327A	1781	1234		1453	1706
Poids total humide	32.814	32.580	32.505	33.839	34.652		23.515	23.494
Poids total sec	29.428	29.044	29.024	30.550	30.951		23.105	23.142
Poids de la tare	21.752	21.017	21.066	22.980	22.420		21.369	21.647
Poids de l'eau	3.386	3.536	3.481	3.289	3.701		0.410	0.352
Poids net sec	7.676	8.027	7.958	7.570	8.531		1.736	1.495
Teneur en eau	44.111	44.051	43.742	43.447	43.382		23.617	23.545

ANNEXE 3

ESSAI PROCTOR REALISE SUR LE GRAVLEUX LATERITIQUE CRU (Grand Lahou-Dabou)

N° de tare	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Poids total humide	330.1	384.1	337.3	339.9	279.1	291.3	262.53	273.7	305.25	294.3
Poids total sec	319.3	368.0	320.8	326.1	260.2	273.2	243.9	252.4	278.6	267.6
Poids de la tare	55.68	38.56	75.5	68.8	39.74	60.59	62.32	58.10	64.02	37.48
Poids net de l'eau	10.8	16.1	16.5	13.8	18.9	18.1	18.63	21.3	26.65	26.7
Poids du matériau	263.62	329.44	245.3	257.3	220.46	212.61	181.58	194.3	214.58	230.1
Teneur en eau	4.09	4.89	6.73	5.36	8.57	8.51	10.29	10.96	12.42	11.60
Moyenne	4.5		6.05		8.5		10.63		12.01	
N° du moule										
Poids total humide	8302		8720		8850		8820		8650	
Poids du moule	3690		3690		3690		3690		3690	
Poids net humide	4612		5030		5160		5130		4960	
Volume du moule	2086		2086		2086		2086		2086	
Densité humide	2.21		2.41		2.47		2.46		2.38	
Densité sèche	2.11		2.27		2.28		2.22		2.12	
Eau de moule	1%		3%		5%		7%		9%	

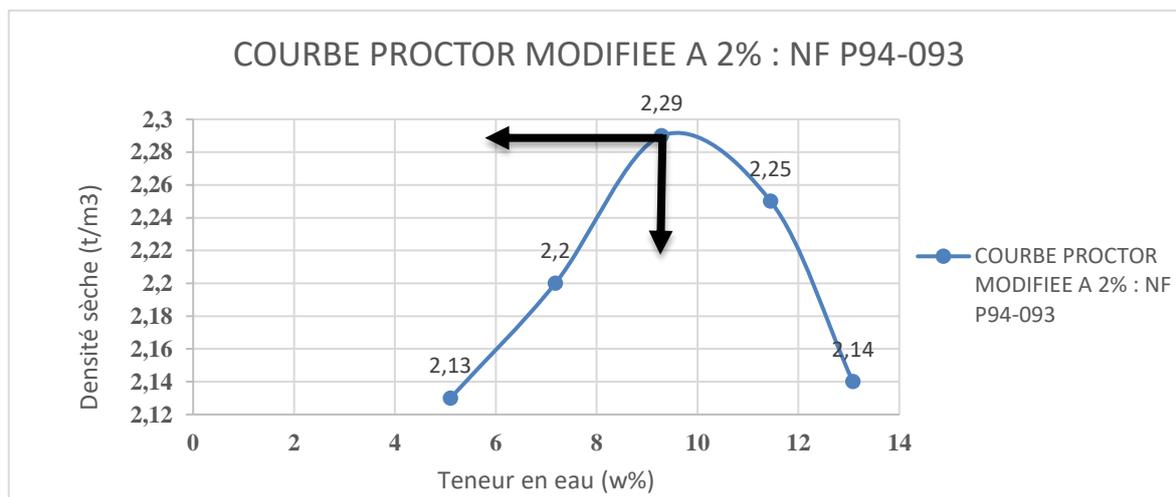
ESSAI PROCTOR SUR GRAVELEUX-CIMENT

➤ Essais Proctor (Amélioré à 2%)

Caractéristiques de compactage de l'essai Proctor

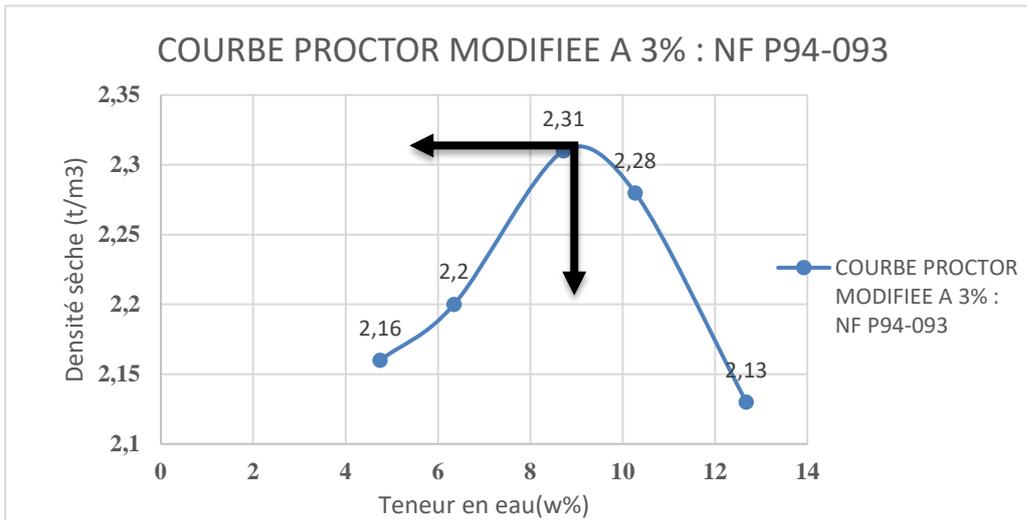
N° de la tare	B38	B41	B30	B44	B43	B77	B83	B85	018	B62
Poids total humid	394.92	378.5	345.00	349.97	335.0	329.6	298.7	323.6	409.1	350.2
Poids total sec	378.72	363.00	326.20	330.67	311.1	307.2	273.0	296.4	369.9	316.4
Poids de la tare	63.55	56.07	63.27	62.62	60.58	59.29	48.55	58.75	69.4	58.82
Poids net de l'eau	16.2	15.5	18.8	19.3	23.9	22.4	25.7	27.2	39.2	33.8
Poids du matériau	315.17	306.93	262.93	268.05	250.52	247.91	224.45	237.65	300.5	257.58
Teneur en eau	5.14	5.05	7.15	7.20	9.54	9.04	11.45	11.45	13.04	13.12
Moyenne	5.10		7.18		9.29		11.45		13.08	
N° du moule										
Poids total humide	8360		8610		8910		8900		8740	
Poids du moule	3690		3690		3690		3690		3690	
Poids net humide	4670		4920		5220		5220		5050	

Volume	2086	2086	2086	2086	2086
Densité humide	2.24	2.36	2.50	2.50	2.42
Densité sèche	2.13	2.20	2.29	2.25	2.14
Eau du moule	3%	5%	7%	9%	11%



- Densité sèche : 2.29 t/m³
- Teneur en eau : 9.70%
- Caractéristiques de compactage de l'essai Proctor modifié amélioré à 3%

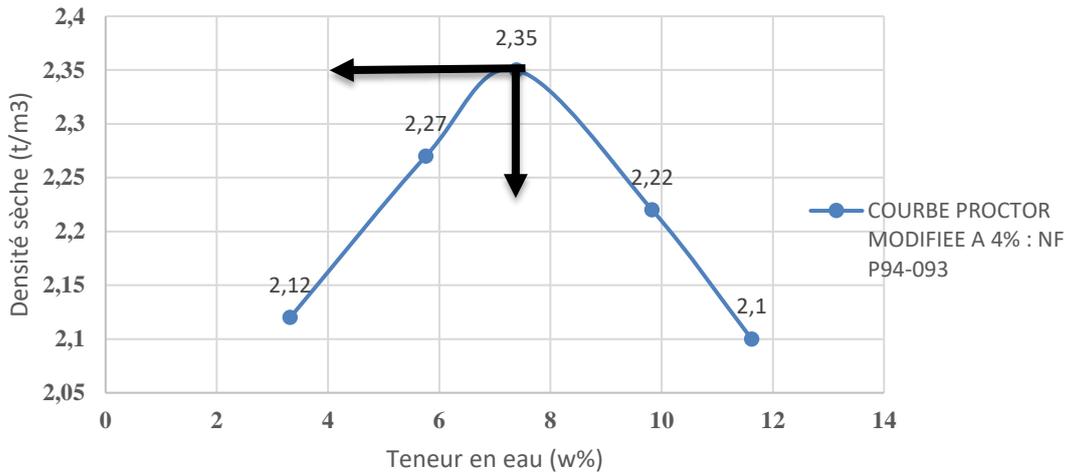
N° de la tare	B39	B78	B90	B44	B49	109	103	B111	B33	B94
Poids total humide	304.78	309.05	365.69	309.33	275.90	252.70	279.36	307.4	257.48	265.29
Poids total sec	294.83	296.89	348.01	293.73	258.7	236.1	256.91	285.52	236.23	241.37
Poids de la tare	62.35	65.27	50.87	62.62	65.03	41.96	40.00	70.80	61.33	60.30
Poids net de l'eau	9.95	12.16	17.68	15.60	17.20	16.60	22.45	21.88	21.27	23.92
Poids du matériau	232.48	231.62	297.14	231.11	193.67	194.14	216.91	214.72	174.90	181.07
Teneur en eau	4.28	5.25	5.95	6.75	8.88	8.55	10.35	10.19	12.15	13.21
Moyenne	4.75		6.35		8.72		10.27		12.68	
N° du moule										
Poids total humide	8280		8440		8790		8790		8570	
Poids du moule	36.90		36.90		36.90		36.90		36.90	
Poids net humide	4590		4750		5100		5100		4880	
Volume	2031		2031		2031		2031		2031	
Densité humide	2.26		2.34		2.51		2.51		2.40	
Densité sèche	2.16		2.20		2.31		2.28		2.13	
Eau du moule	3%		5%		7%		9%		11%	



- Densité sèche : 2.31
- Teneur en eau : 9.00%
- Caractéristiques de compactage de l'essai Proctor modifié amélioré à 4%

N° de la tare	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ
Poids total humide	388.2	467.2	388.3	436.9	343.2	293.3	285.1	318.5	380.0	407.4
Poids total sec	374.3	458.70	371.1	413.0	323.0	277.8	266.8	293.4	349.2	368.8
Poids de la tare	60.58	74.50	68.4	53.98	71.4	48.23	62.55	58.75	62.89	59.29
Poids net de l'eau	13.9	8.5	17.2	23.9	20.2	15.5	18.3	25.1	30.80	38.6
Poids du matériau	313.72	384.20	353.91	359.02	251.6	229.57	204.24	234.65	286.32	309.54
Teneur en eau	4.43	2.21	4.86	6.66	8.03	6.75	8.96	10.70	10.77	12.47
Moyenne	3.32		5.76		7.39		9.83		11.62	
N° du moule										
Poids total humide	8780		9260		9500		9330		9120	
Poids du moule	4140		4140		4140		4140		4140	
Poids net humide	4640		5120		5360		5190		4980	
Volume	2130		2130		2130		2130		2130	
Densité humide	2.19		2.40		2.52		2.44		2.34	
Densité sèche	2.12		2.27		2.35		2.22		2.10	
Eau du moule	3%		5%		7%		9%		11%	

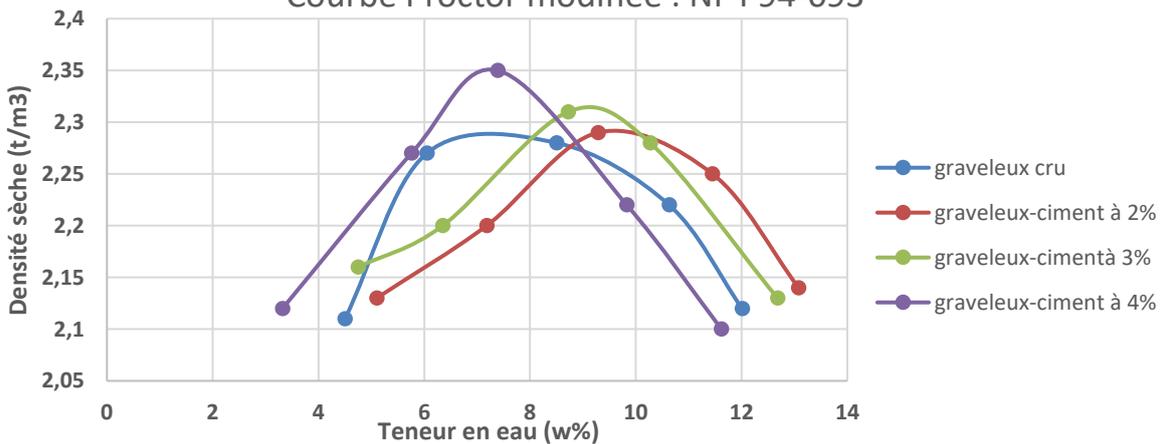
COURBE PROCTOR MODIFIEE A 4% : NF P94-093



SYNTHESE DES CARACTERISTIQUES DE COMPACTAGE D'ESSAI PROCTOR

Graveleux stabilisé au ciment à 2% ; 3% ; 4%		
Désignation	Proctor	
	Densité sèche maximale(t/m ³)	Teneur en eau optimale (w%)
Graveleux + 0% ciment	2.28	8.50
Graveleux + 2% ciment	2.30	9.70
Graveleux + 3% ciment	2.31	9.00
Graveleux + 4% ciment	2.35	7.40

Courbe Proctor modifiée : NF P94-093



ANNEXE 4

Résultats de l'essai CBR du graveleux latéritique cru (Grand Lahou-Dabou)

1-caractéristique du moulage

Densité de compactage	Moulage a (56coups)		Moulage a (25coups)		Moulage a (14coups)	
	02B		01B		CA	
N° de la tare		B29		B12		001
Poids total humide		385.6		428.1		324.7
Poids total sec		356.0		402.0		298.2
Poids de tare		50.40		46.9		39.1
Poids de l'eau		25.6		26.1		26.5
P. de matériaux sec		309.6		355.1		259.1
Teneur en eau		8.27		7.35		10.23
Moyenne : 8.62 %						

2-densité

Poids Total Humide	9220	8270	8280
Poids du moule	3820	3700	3680
Poids net humide	5400	4570	4600
Volume du moule	2180	1939	2067
Densité humide	2.48	2.36	2.23
Densité sèche	2.28	2.17	2.05

3-Après imbibition

Enfoncement En mm	DEF	Charge	DEF	Charge	DEF	Charge
	ANNEAU	Kg	ANNEAU	Kg	ANNEAU	Kg
0.25mm	004		002		001	
0.50mm	005		003		001	
0.75mm	008		004		002	
1.00mm	0.10		005		002	
1.50mm	0.11		006		003	
2.00mm	0.14		007		003	
2.50mm	0.16	984	008	512	004	276
3.00mm	0.18		009		004	
3.50mm	0.20		009		005	

4.00mm	0.22		0.10		005	
4.50mm	0.23		0.11		006	
5.00mm	0.24	1457	0.12	749	006	394
6.00mm	0.28		0.15		008	
Indice portance 2.50	$\frac{984}{13.35} = 74$		$\frac{512}{13.35} = 38$		$\frac{276}{13.35} = 21$	
Indice portance 5.00	$\frac{1457}{19.93} = 73$		$\frac{749}{19.93} = 38$		$\frac{394}{19.93} = 20$	
Indice portance Ip	74		38		21	

ESSAI CBR REALISE SUR LE GRAVELEUX LATERITIQUES A DIFFERENTS TAUX DU CIMENT

Essais CBR à 2%

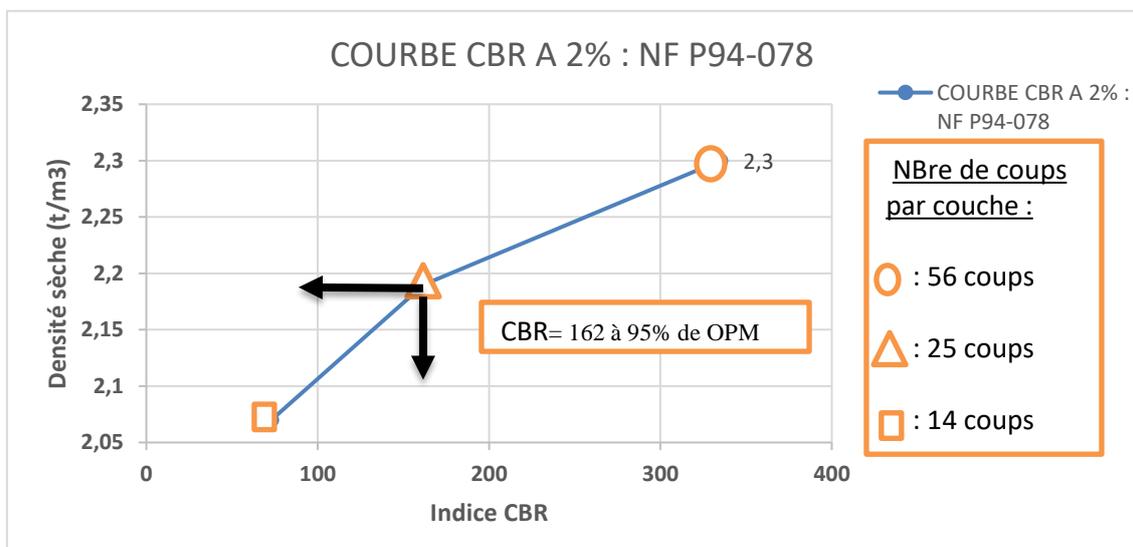
Densité de compactage	Moulage a (56coups) 32		Moulage a (25coups) 44		Moulage a (14coups) 53	
N° de la tare		B61		002		B90
Poids total humide		394.8		362.2		403.3
Poids total sec		366.7		340.1		374.5
Poids de tare		58.2		38.6		50.9
Poids de l'eau		28.1		22.1		28.8
P. de matériaux sec		308.5		301.5		323.6
Teneur en eau		9.11		7.33		8.90
Moyenne : 8.45%						

2-densité

Poids Total Humide	9390	10250	9250
Poids du moule	3980	4880	4580
Poids net humide	5410	5370	4670
Volume du moule	2168	2260	2080
Densité humide	2.49	2.38	2.24
Densité sèche	2.30	2.19	2.07

3-Après imbibition

Enfoncement En mm	DEF ANNEAU	Charge Kg	DEF ANNEAU	Charge Kg	DEF ANNEAU	Charge Kg
0.25mm	0.21		0.15		0.02	
0.50mm	0.35		0.18		0.04	
0.75mm	0.47		0.20		0.06	
1.00mm	0.51		0.25		0.08	
1.50mm	0.60		0.28		0.10	
2.00mm	0.60		0.30		0.12	
2.50mm	0.75	4470	0.36	2166	0.14	867
3.00mm	0.80		0.41		0.16	
3.50mm	0.85		0.48		0.18	
4.00mm	0.90		0.50		0.20	
4.50mm	0.96		0.50		0.22	
5.00mm	1.01	6006	0.52	3111	0.24	1457
6.00mm	1.20		0.60		0.26	
Indice portance 2.50	$\frac{4470}{13.35} = 335$		$\frac{2166}{13.35} = 162$		$\frac{867}{13.35} = 65$	
Indice portance 5.00	$\frac{6006}{19.93} = 301$		$\frac{3111}{19.93} = 156$		$\frac{1457}{19.93} = 73$	
Indice portance Ip	335		162		73	

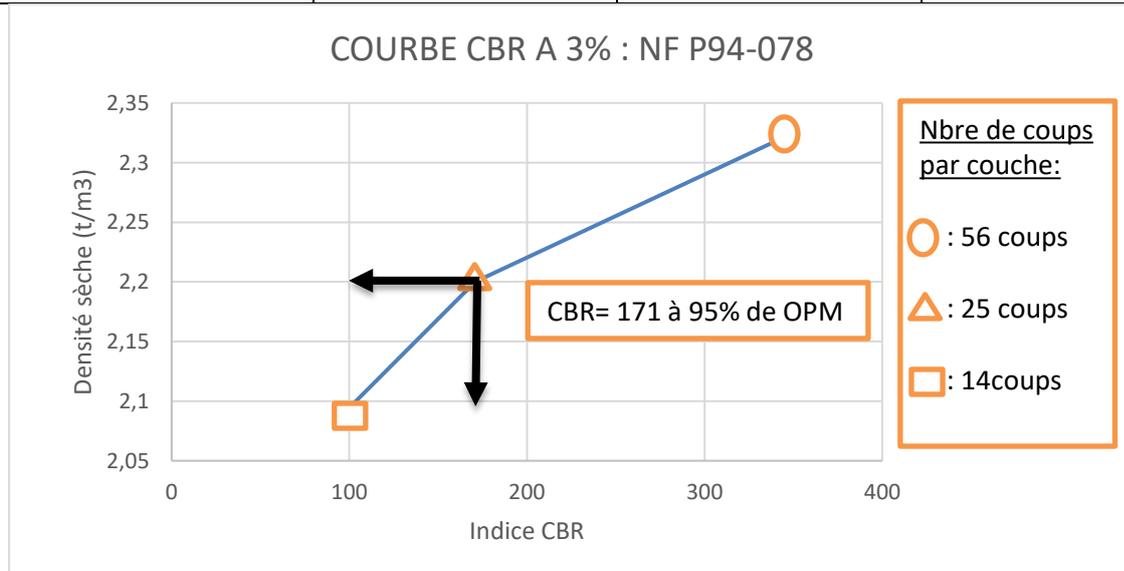


Densité de compactage	Moulage a (56coups) 01B		Moulage a (25coups) 08A		Moulage a (14coups) 05B	
N° de la tare		B44		B7		B3
Poids total humide		340.3		316.1		391.3
Poids total sec		316.4		298.1		366.5
Poids de tare		62.60		62.90		64.00
Poids de l'eau		23.9		18.0		24.8
P. de matériaux sec		253.8		235.2		302.5
Teneur en eau		9.42		7.65		8.20
Moyenne : 8.42%						

2-densité

Poids Total Humide	8580	9110	8680
Poids du moule	3700	4220	3730
Poids net humide	4880	4890	4950
Volume du moule	1939	2049	2186
Densité humide	2.52	2.39	2.26
Densité sèche	2.32	2.20	2.09

Enfoncement En mm	DEF ANNEAU	Charge Kg	DEF ANNEAU	Charge Kg	DEF ANNEAU	Charge Kg
0.25mm	0.15		0.05		0.01	
0.50mm	0.20		0.06		0.02	
0.75mm	0.28		0.10		0.04	
1.00mm	0.30		0.13		0.06	
1.50mm	0.40		0.20		0.09	
2.00mm	0.55		0.27		0.12	
2.50mm	0.68	4056	0.35	2107	0.16	984
3.00mm	0.80		0.40		0.20	
3.50mm	0.88		0.43		0.25	
4.00mm	0.95		0.46		0.27	
4.50mm	1.05		0.50		0.30	
5.00mm	1.15	6833	0.57	3407	0.32	1930
6.00mm	1.25		0.60		0.35	
Indice portance 2.50	$\frac{4056}{13.35} = 304$		$\frac{2107}{13.35} = 158$		$\frac{984}{13.35} = 74$	
Indice portance 5.00	$\frac{6833}{19.93} = 343$		$\frac{3407}{19.93} = 171$		$\frac{1930}{19.93} = 97$	
Indice portance Ip	343		171		97	



Essais CBR à 4%

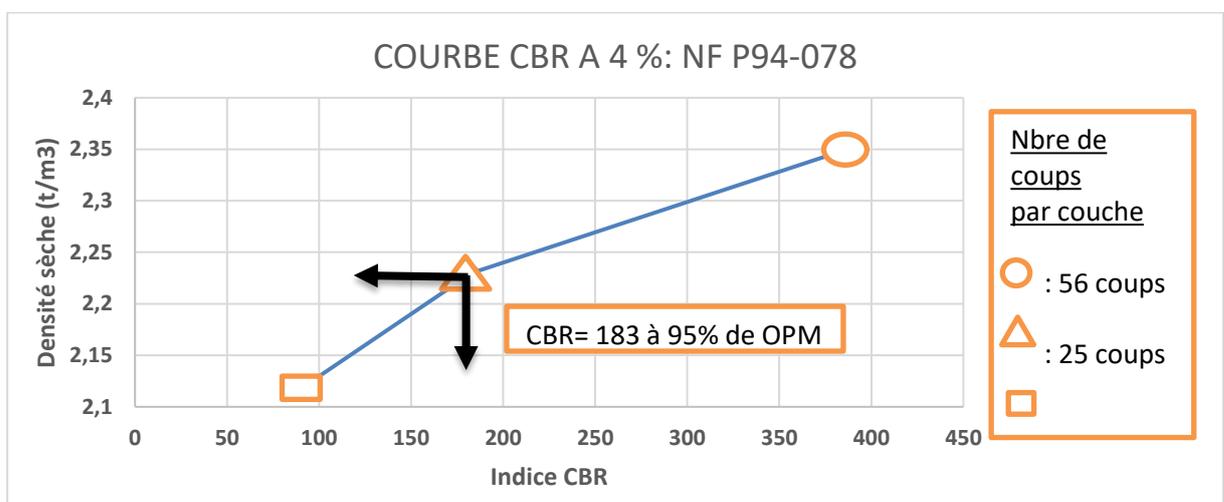
Densité de compactage	Moulage a (56coups)		Moulage a (25coups)		Moulage a (14coups)	
	M50		404		0	
N° de la tare		B63		B21		B116
Poids total humide		422.6		316.2		459.00
Poids total sec		394.2		297.1		427.3
Poids de tare		57.6		63.3		76.3
Poids de l'eau		28.4		19.1		31.7
P. de matériaux sec		336.6		233.8		351.0
Teneur en eau		8.44		8.17		9.03
Moyenne : 8.55%						

2-densité

Poids Total Humide	10540	10750	10550
Poids du moule	5120	5380	5880
Poids net humide	5420	5370	4670
Volume du moule	2124	2219	2031
Densité humide	2.55	2.42	2.30
Densité sèche	2.35	2.23	2.12

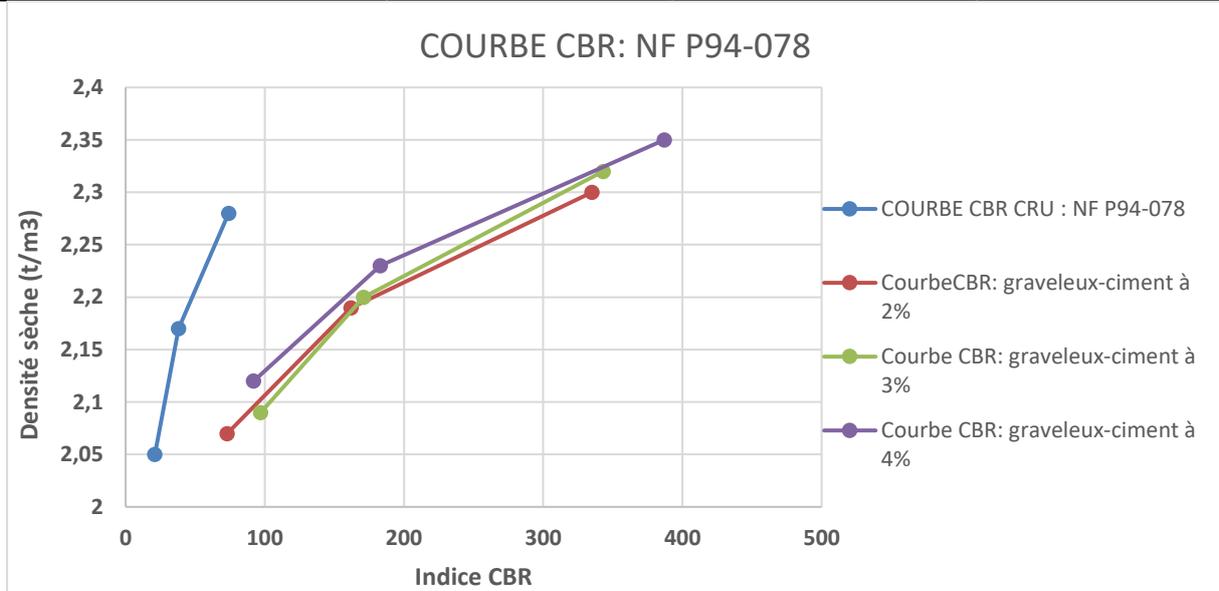
Enfoncement En mm	DEF	Charge	DEF	Charge	DEF	Charge
	ANNEAU	Kg	ANNEAU	Kg	ANNEAU	Kg
0.25mm	0.20		0.10		0.03	
0.50mm	0.30		0.15		0.05	
0.75mm	0.40		0.20		0.07	
1.00mm	0.55		0.20		0.10	
1.50mm	0.60		0.30		0.12	
2.00mm	0.70		0.35		0.15	
2.50mm	0.85	5061	0.40	2438	0.18	1103
3.00mm	0.90		0.45		0.20	
3.50mm	0.96		0.50		0.22	
4.00mm	1.05		0.55		0.26	
4.50mm	1.15		0.58		0.28	

5.00mm	1.30	7719	0.60	3584	0.30	1828
6.00mm	1.50		0.75		0.32	
Indice portance 2.50	$\frac{5061}{13.35} = 379$		$\frac{2438}{13.35} = 183$		$\frac{1103}{13.35} = 83$	
Indice portance 5.00	$\frac{7719}{19.93} = 387$		$\frac{3584}{19.93} = 180$		$\frac{1828}{19.93} = 92$	
Indice portance Ip	387		183		92	



SYNTHESE DES RESULTATS D'ESSAI CBR

INDICE PORTANCE CBR			
compacité	90%	95%	100%
Graveleux + 0% ciment	21	38	74
Graveleux + 2% ciment	73	162	335
Graveleux + 3% ciment	97	171	343
Graveleux + 4% ciment	92	183	387



ANNEXE 5

Caractéristiques mécaniques des essais de compression et de traction

	% en ciment	Compression 7jours à l'air			Traction 7jours à l'air		
N° du moule	2%	EP1	EP2	EP3	EP1	EP2	EP3
Poids net humide		3720	3790	3720	3740	3650	3750
Charge appliquée		0.15	0.14	0.14	0.06	0.05	0.05
Force correspondant en KN		9.26	8.67	8.67	3.94	3.35	3.35
N° du moule	3%	C1	C2	C3	T1	T2	T3
Poids net humide		3730	3790	3730	3730	3730	3710
Charge appliquée		0.18	0.19	0.2	0.07	0.06	0.07
Force correspondant en KN		11.03	11.62	12.08	4.53	3.94	4.53
N° du moule	4%	A	B	C	A1	B2	C3
Poids net humide		3610	3570	3650	3830	3670	3900
Charge appliquée		0.25	0.28	0.29	0.11	0.10	0.10
Force correspondant en KN		15.71	16.94	17.53	6.90	6.31	6.31

	% en ciment	Compression 7jours (3jrs à l'air + 4jrs à eau)		
N° du moule	2%	EP1	EP2	EP3
Poids net humide		3700	3670	3620
Charge appliquée		0.04	0.04	0.05
Force correspondant en KN		2.76	2.76	3.35
N° du moule	3%	C1	C2	C3
Poids net humide		3700	3730	3740
Charge appliquée		0.09	0.08	0.07
Force correspondant en KN		5.71	5.12	4.53
N° du moule	4%	A	B	C
Poids net humide		3770	3778	3760
Charge appliquée		0.15	0.16	0.14
Force correspondant en KN		9.26	9.84	8.67

Récapitulatif des essais de compression et de traction sur les différents mélanges.

Graveleux latéritique améliorée au ciment à 2%

Date de confection	Date d'écrasement	Dosage en Ciment	CBR à 95% OPM	Résistance à la compression (en bar)		Résistance à la traction (bar)	Rapport (R'c/Rc)*100
				RC à 7j air	R'C 3j air + 4j eau	Rt 7j air	
05/09/2019	12/09/2019	2%	162	12	3.51	1.25	33.09
			162	11.04	3.51	1.06	
			162	11.04	4.27	1.06	
MOYENNE				11.36	3.76	1.12	

Graveleux latéritique améliorée au ciment à 3%

Date de confection	Date d'écrasement 7j	Dosage en Ciment	CBR à 95% OPM	Résistance à la compression (en bar)		Résistance à la traction (bar)	Rapport (R' _c /R _c)*100
				RC à 7j air	R'C 3j air + 4j eau	Rt 7j air	
05/09/2019	12/09/2019	3%	171	14.05	7.27	1.44	44.23
			171	14.80	6.52	1.25	
			171	15.38	5.77	1.44	
MOYENNE				14.74	6.52	1.38	

Graveleux latéritique améliorée au ciment à 4%

Date de confection	Date d'écrasement 7j	Dosage en Ciment	CBR à 95% OPM	Résistance à la compression (en bar)		Résistance à la traction (bar)	Rapport (R' _c /R _c)*100
				RC à 7j air	R'C 3j air + 4j eau	Rt 7j air	
05/09/2019	12/09/2019	4%	183	20.01	11.79	2.20	55.33
			183	21.58	12.53	2.01	
			183	22.33	11.04	2.01	
MOYENNE				21.31	11.79	2.07	

Résumé

Les travaux menés dans le cadre de cette étude portent principalement sur la détermination des caractéristiques physiques et mécaniques des graveleux stabilisés au ciment. Les graveleux latéritiques représentatifs a notre étude ont été prélevé sur l'itinéraire de Grand Lahou – Dabou au sud de la Côte d'Ivoire. Les caractéristiques de ces matériaux se sont opérées en deux phases. Une première phase pour l'identification puis une seconde phase pour le traitement. Les résultats obtenus de ces différents essais ont montré que ces sols sont des graveleux de type G1. L'indice portance CBR du matériau cru étant inférieure à 60 ne peuvent pas être utilisés en corps de chaussée d'où leur traitement au ciment. L'amélioration a consisté au traitement du sol avec des proportions de 2%, 3% et 4% du ciment. Pour évaluer la performance mécanique d'un matériau les critères à retenir sont l'indice CBR et la Résistance à la compression simple. Les caractéristiques ainsi effectués au niveau de l'indice CBR et au niveau de la résistance ont atteint une densité maximale pour un dosage de 4% du ciment. De ce point de vue pour un graveleux de type G1 le pourcentage de ciment qu'il faut en couche de base est de 4% du fait qu'il respecte les normes.

MOTS CLES : Matériaux, Identification, chaussée, Résistance mécanique, indice CBR, Traitement.

Abstract

Works led in the setting of this survey are about the determination of the physical and mechanical features of the gritty consolidated to the cement mainly. The gritty representative latéritiques has our survey have been appropriated on the itinerary of Big Lahou - Dabou to the south of the Coast of Ivory. The features of these materials operated itself in two phases. A first phase for identification then a second phase for the treatment. The results gotten of these different tests showed that these soils are of the gritty of G1 type. The indication CBR lift of the raw material being lower to 60 cannot be used in body of pavement from where their treatment (improvement) to the hydraulic binder. The improvement consisted to the treatment of soil with proportions of 2%, 3% and 4% of the cement. To value the mechanical performance of a material the criterias to keep are the CBR indication and the Resistance to the simple compression. The features thus done to the level of the CBR indication and the level of the resistance have reach a maximal density for a dosage of 4% of the cement. From that point of view for a gritty of G1 type the percentage of cement that basis is necessary in layer is of 4% because it respects the norms.

KEY WORDS : Materials, Identification, pavement, mechanical Resistance, CBR indication, Treatment.