

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

**MINISTRE DES ENSEIGNEMENTS
SECONDAIRE ET SUPERIEUR (MESS)**

BURKINA FASO
Unité-Progrès-Justice



Fondation 2iE



Laboratoire National du Bâtiment
et de Travaux Publics

**ETUDE D'AMELIORATION DES MATERIAUX UTILISES EN
COUCHE DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO : ETAT DES LIEUX
ET PERSPECTIVES, CAS DE LA VOIE D'ACCES A L'AEROPORT
DE DON SIN**

MEMOIRE POUR L'OBTENTION DU
MASTER EN INGÉNIERIE DE L'EAU ET DE L'ENVIRONNEMENT
OPTION : GENIE CIVIL

Présenté et soutenu publiquement le 02/11/2016 par

Djélika SOURA

Travaux dirigés par :
Dr Adamah MESSAN
Enseignant-Chercheur à 2ie, Chef du Laboratoire Eco-Matériaux de Construction
Signota Lionel KAMBOU
Chef de Division Contrôles Géotechniques
Au Laboratoire National du Bâtiment et de Travaux Publics (LNBTP)

Jury d'évaluation du stage :

Président : Mr Amadou BOUREIMA

Membres et correcteurs : Dr Adamah MESSAN
Mr Issa MADOUGOU
Mr OVONO

Promotion [2015/2016]

CITATION

« La route du développement passe par le développement de la route », Prud'homme.

DEDICACES

- ❖ A mes parents qui m'ont soutenu et permis d'avoir ma formation.
- ❖ A la mémoire de mon père qui ne verra pas le résultat de ses sacrifices.
- ❖ A ma grande famille pour les encouragements à mon égard.
- ❖ À mes frères et sœurs pour le soutien moral, et la joie qu'ils m'apportent.

REMERCIEMENTS

Je remercie le seigneur pour les bienfaits qu'ils me procurent à tout moment dans ma vie

J'adresse mes sincères remerciements à tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la rédaction de ce mémoire particulièrement :

- Au Directeur Général du Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP) Alassane TRAORE pour m'avoir permis de réaliser les travaux d'étude au sein du laboratoire national en m'accordant un stage et pour la mise à notre disposition du matériel nécessaire.
- Dr Adamah MESSAN mon directeur de mémoire, Enseignant-Chercheur à l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2ie) pour sa disponibilité malgré son emploi du temps chargé, son encadrement et la mise à ma disposition de documents de base.
- M Signota Lionel KAMBOU mon maitre de mémoire Chef de Division de Contrôles Géotechniques au Laboratoire National du Bâtiment et de Travaux Publics (LNBTP) qui a initié et suivi ce sujet de recherche.
- M. Ali Sana Chef du Département Géotechnique Routière au LNBTP pour sa disponibilité et l'accompagnement accordé lors du déroulement des essais au laboratoire.
- Je ne saurais oublier l'ensemble du personnel du LNBTP qui m'a apporté son aide lors de l'exécution des essais au laboratoire.
- J'adresse de très profonds remerciements à l'ensemble du corps professoral de l'Institut International de l'Eau et de l'Environnement (2ie), pour tous les enseignements reçus durant ma formation.
- Enfin, je remercie tous les étudiants de ma promotion du 2iE et toutes mes connaissances pour leur soutien moral.

RESUME

Le projet présente les recherches menées au laboratoire sur la latérite utilisée dans la construction routière au Burkina Faso. Une étude géotechnique est effectuée avec l'ajout de la chaux vive et du concassé 0/31,5 à différent pourcentage afin d'évaluer leur influence sur le comportement géotechnique du matériau naturel.

Des essais de laboratoire ont préalablement été réalisés sur les graveleux latéritiques à l'état naturel. Il s'agit de l'analyse granulométrique, les limites d'Atterberg, l'essai équivalent de sable, l'essai Proctor modifié et l'essai CBR. Ces essais ont permis de conclure que le matériau à l'état naturel ne peut pas être utilisé en couche de base car son indice portant CBR ne respecte les spécifications techniques.

La latérite a été améliorée avec du granite concassé de classe 0/31,5 à 20% ,30% et 35% d'une part et de la chaux à 1%,2% et 3% d'autre part afin d'améliorer son indice portant CBR. Tandis que le traitement à la chaux vive à 1%,2%,3% augmente respectivement la portance du sol jusqu'à une valeur CBR de 136,142 et 128, l'ajout du concassé à 20%,30%,35% donne respectivement 104, 124,116.

L'application de cette technique pour ce projet a permis de montrer que l'utilisation de la latérite naturelle comme couche de base donne des résultats moins satisfaisants que celle de la latérite stabilisée au concassé qui est elle-même moins résistante que la latérite stabilisée à la chaux. Au niveau du compactage, on constate que la latérite naturelle a une densité sèche de 2,18 g/cm³ et une teneur en eau de 9,8%. La stabilisation à la chaux à 1%,2%,3% donne respectivement une densité sèche de 2,11 ; 2,11 ; 2,15 et une teneur en eau de 9,8 ; 9,2 et 11. Le concassé à 20%,30%,35% donne respectivement une densité sèche de 2,14 ; 2,14 ; 2,19 et une teneur en eau de 8,4 ; 8,4 et 9,2.

Mots Clés:

- 1 – Latérite
- 2 – Chaux vive
- 3 – Granite concassé
- 4 - CBR
- 5 – Densité sèche

ABSTRACT

The project presents the research of laboratory use on the laterite in road construction to BURKINA FASO. A geotechnical study is made with the addition of quick-lime and crushed 0/31, 5 to different percent in order to assess their influence on geotechnical behavior of natural material.

Laboratory tests have previously been realized on lateritic gravelly in natural condition. It concerns the sieve analysis, Atterberg limits, the sand equivalent test, the Proctor Amended test and CBR test. These tests have permitted of conclude that the material to natural condition can not be used in base layer because its indice for CBR do not respect the technical specifications. Laterite has been improved with crushed granite of 0/31, 5 to 20%, 30% and 35% on the one hand and of the quick-lime to 1%, 2%, and 3% on the other hand in order to improve its indicator CBR. While the treatment to quick-lime to 1%, 2%, 3% increases respectively the lift of soil to a value CBR of 136,142 and 128; the addition of crushed to 20%, 30%, 35% gives respectively 104, 124,116.

The application of this technic for this project has permitted to show that the use of the natural laterite as base layer gives results less satisfactory than that of the laterite stabilized to crush which is itself less resistant than laterite stabilized to the lime.

According to resistance we note that the natural laterite has a dry density of 2, 18 g/cm³ and a water gray of 9, 8%. The stabilization to lime to 1%,2%,3% gives respectively a dry density of 2,11 ; 2,11 ; 2,15 and a water gray of 9,8 ; 9,2 and 11. The crushed to 20%,30%,35% gives respectively a dry density of 2,14 ; 2,14 ; 2,19 and a water gray of 8,4 ; 8,4 et 9,2.

Key words:

- 1 – Laterite
- 2 - Quick-lime
- 3 – Crushed Granite
- 4 - CBR
- 5 – Dry density

LISTE DES ABBREVIATIONS

AASHTO	:	American Association State Highway and Transportation Official
CBR	:	California Bearing Ratiotest
Cc	:	Coefficient de courbure
CEBTP	:	Centre Expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Pubics
CPT	:	Cahier des Prescriptions Techniques
Cu	:	Coefficient d'uniformité
ES	:	Coefficient Equivalent de Sable
GAL	:	Grave Argileuse Latéritique
HRB	:	Highway Research Board
Ii	:	Indice de liquidité
Ip	:	Indice de plasticité
LA	:	Coefficient Los Angeles
LCPC	:	Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées
LNBTP	:	Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics
OPM	:	Optimum Proctor Modifié
PK	:	Point Kilométrique
RN3	:	Route Nationale N°3
SETRA	:	Service des Études Techniques des Routes et Autoroutes
ST	:	Spécification technique
WL	:	Limite de Liquidité
Wp	:	Limite de Plasticité
2iE	:	Institut International d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement.

SOMMAIRE

<i>DEDICACES</i>	<i>ii</i>
<i>REMERCIEMENTS</i>	<i>iii</i>
<i>RESUME</i>	<i>iv</i>
<i>ABSTRACT</i>	<i>v</i>
<i>LISTE DES ABBREVIATIONS</i>	<i>vi</i>
<i>SOMMAIRE</i>	<i>1</i>
<i>LISTE DES TABLEAUX</i>	<i>2</i>
<i>LISTE DES FIGURES</i>	<i>3</i>
<i>INTRODUCTION GENERALE</i>	<i>4</i>
<i>CHAPITRE I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET D'ETUDE</i>	<i>6</i>
<i>CHAPITRE II : GENERALITES ROUTIERES</i>	<i>10</i>
<i>CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE</i>	<i>15</i>
<i>CHAPITRE IV. ETUDE COMPARATIVE DES RESULTATS</i>	<i>33</i>
<i>CHAPITRE V. ETUDE ECONOMIQUE</i>	<i>43</i>
<i>CHAPITRE VI. IMPACT ENVIRONNEMENTAL</i>	<i>45</i>
<i>CONCLUSION ET PERSPECTIVES</i>	<i>46</i>
<i>CONCLUSION</i>	<i>46</i>
<i>PERSPECTIVES</i>	<i>47</i>
<i>BIBLIOGRAPHIE</i>	<i>48</i>
<i>ANNEXES</i>	<i>48</i>
<i>TABLE DES MATIERES</i>	<i>48</i>

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	: Qualité et préparation des matériaux.....	8
Tableau 2	: Catégorie de trafic.....	10
Tableau 3	: Fuseau granulométrique du GAL en couche de base.....	16
Tableau 4	: Valeurs des limites du GAL.....	19
Tableau 5	: Résultats d'équivalent de sable de GAL.....	20
Tableau 6	: Valeurs de l'Optimum Proctor Modifié de GAL.....	21
Tableau 7	: Résultats de l'essai CBR du GAL.....	22
Tableau 8	: Coefficient d'aplatissement du concassé.....	25
Tableau 9	: Propreté superficielle du concassé.....	26
Tableau 10	: Los Angeles du concassé.....	26
Tableau 11	: Valeurs de l'Optimum Proctor Modifié du GAL stabilisé aux concassés.....	29
Tableau 12	: Résultats de l'essai CBR du GAL stabilisé aux concassés.....	30
Tableau 13	: Valeurs de l'Optimum Proctor Modifié du GAL stabilisé à la chaux.....	31
Tableau 14	: Résultats de l'essai CBR du GAL stabilisé à la chaux.....	31
Tableau 15	: Récapitulatif des résultats de limite du GAL stabilisé à la chaux.....	32
Tableau 16	: Récapitulatif des résultats Proctor du GAL et du concassé.....	34
Tableau 17	: Récapitulatif des résultats des CBR du GAL et du concassé.....	35
Tableau 18	: Récapitulatif des résultats de limite du GAL et de la chaux.....	37
Tableau 19	: Récapitulatif des résultats Proctor du GAL et de la chaux.....	38
Tableau 20	: Récapitulatif des résultats CBR du GAL et de la chaux.....	40
Tableau 21	: Tableau récapitulatif des différents essais.....	42

LISTE DES FIGURES

Figure 1	: Localisation de la zone du projet (RN3).....	9
Figure 2	: Echantillon du GAL utilisé.....	16
Figure 3	: Méthode d'échantillonnage par quartage.....	17
Figure 4	: Courbe granulométrique de la GAL.....	18
Figure 5	: Etapes de limite d'Atterberg.....	19
Figure 6	: Courbe Proctor modifié du GAL.....	21
Figure 7	: Courbe CBR du GAL.....	22
Figure 8	: Echantillon du concassé.....	23
Figure 9	: Courbe granulométrique du concassé.....	24
Figure 10	: Courbe Proctor modifié GAL stabilisé aux concassés.....	27
Figure 11	: Courbe CBR du GAL stabilisé aux concassés.....	28
Figure 12	: Courbe Proctor modifié GAL stabilisé à la chaux.....	29
Figure 13	: Courbe CBR de GAL stabilisé à la chaux.....	30
Figure 14	: Courbe de limite d'Atterberg stabilisé à la chaux.....	31
Figure 15	: Récapitulatif des essais Proctor du GAL et du concassé.....	33
Figure 16	: Récapitulatif des essais CBR du GAL et du concassé.....	34
Figure 17	: Evolution densité sèche optimale en fonction du taux d'amélioration au concassé.....	36
Figure 18	: Evolution de la portance CBR en fonction du taux d'amélioration au concassé.....	36
Figure 19	: Evolution de l'indice de plasticité au traitement à la chaux.....	37
Figure 20	: Récapitulatif de Proctor GAL et de la chaux.....	38
Figure 21	: Récapitulatif du CBR GAL et de la chaux.....	39
Figure 22	: Evolution de la densité sèche optimale en fonction du taux d'amélioration à la chaux.....	41
Figure 23	: Evolution de la portance CBR au traitement à la chaux.....	41

INTRODUCTION GENERALE

Le Burkina Faso, pays enduré et en voie de développement compte des millions d'habitants à nos jours. Les routes bien aménagées sont indispensables pour une circulation fluide et d'échanges commerciaux à travers les pays voisins.

Dans le cadre de son programme de développement l'Etat Burkinabè a mis au point la construction des voies d'accès à l'aéroport de Donsin en vue de délocaliser l'aéroport international de Ouagadougou et augmenter ainsi la sécurité dans le centre-ville. Dans le souci de réaliser l'ouvrage dans les règles de l'art, des études géotechniques seront réalisées.

Les graveleux latéritiques sont utilisés dans le corps de chaussée des routes en terre et des routes revêtues. Pour ce qui est des routes revêtues, la structure des chaussées comporte une couche de fondation, une couche de base et le revêtement. Les graveleux latéritiques sont utilisés en couche de fondation et en couche de base. Selon les cas ils doivent répondre à des spécifications. Des graveleux satisfaisant aux critères d'une couche de base en particulier en ce qui concerne l'indice portant CBR, deviennent de plus en plus rares et sont difficiles à localiser. Cette observation issue de l'expérience tirée de contrôle géotechnique des chantiers conduit à la nécessité d'améliorer les graveleux latéritiques devant être utilisés en couche de base dans bon nombre de cas.

La solution la plus immédiate et la plus rationnelle à laquelle on aurait pensé aussitôt dans le contexte géologique et financier du Burkina Faso est l'amélioration des graveleux latéritiques au concassé de granite. L'amélioration des graveleux latéritiques au concassé de granite a pour la première fois fait l'objet d'étude au Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP) à l'occasion de l'étude géotechnique du projet d'aménagement de la route Ouagadougou/ Yako. La technique a été mise au point par M. LOMPO Pierre, Chef du service géotechnique routière au LNBTP, à l'époque de la Haute Volta (dans les années 1980). Les essais avaient été réalisés sur un graveleux latéritique dont les caractéristiques sont les suivantes : Pourcentage de fines ($<0.08\text{mm}$) :25, Indices de plasticité (IP) :20, CBR à 95% de la densité sèche et après 4 jours d'imbibition : 58. Ce matériau a été amélioré à 10, 15, 20, 25 et 30% de concassé 5/15, puis soumis pour chacun des cas à l'essai CBR. Ces résultats ont montré que l'indice portant CBR égal à 80 à 95% OPM n'est atteint que pour 30% de concassé. Par ailleurs, depuis la mise au point de la technique de litho stabilisation, peu de travaux de recherches ont été menés sur la question. Aussi, a-t-on voulu pousser la réflexion en nous basant sur des études réalisées au sein du LNBTP.

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

Nous nous baserons aussi sur l'amélioration avec la chaux pour déterminer le taux optimal permettant d'améliorer les propriétés géotechniques des sols support de la route.

Pour mener à bien cette étude, la procédure suivante a été adoptée :

- ✓ Une recherche documentaire des travaux antérieurs en rapport avec la technique de stabilisation de matériau par les concassés et la chaux.
- ✓ Une descente sur le terrain pour la prise de connaissance de manière concrète de la technique et pour le prélèvement des matériaux (graveleux latéritique et concassé de granite) qui seront soumis aux études de laboratoire.
- ✓ Une étude du graveleux latéritique naturel : Essais d'identification (analyse granulométrique, limite d'Atterberg) et de portance (Proctor, CBR).
- ✓ Une étude du granite concassé: essais d'identification (analyse granulométrique) et de résistance (Los Angeles).
- ✓ Une étude du graveleux latéritique amélioré au concassé à plusieurs pourcentages : Essais de portance (Proctor, CBR).
- ✓ Une étude du graveleux latéritique amélioré à la chaux à plusieurs pourcentages : essais de portance (Proctor, CBR) et des essais d'identification (limite d'Atterberg)
- ✓ Une analyse et discussion des résultats.
- ✓ Un prix de comparaison d'une stabilisation mécanique (concassé) par rapport à une stabilisation chimique (chaux).

Le présent mémoire est structuré en cinq chapitres. Le chapitre I présente la structure d'accueil et le projet qui a fait l'objet de notre étude. Dans le chapitre II, nous avons présenté les généralités sur la route à travers les caractéristiques requises pour les matériaux routiers et les différentes couches de la chaussée. Les études menées au laboratoire sont consignées dans le chapitre III. Nous y avons détaillé les principes essais effectués sur les matériaux. Le chapitre IV est consacré à l'étude comparative des deux méthodes de stabilisation utilisées. Le dernier chapitre (chapitre V) fait mention de l'impact environnement de notre étude.

CHAPITRE I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET D'ETUDE

1. INTRODUCTION

La construction de la route nécessite qu'un projet soit établi afin de connaître les caractéristiques du sol des matériaux, du matériel à utiliser. Pour obtenir de bons résultats à la fin du projet il est indispensable des essais géotechniques dans un laboratoire. Le chapitre est constitué de la présentation de la structure d'accueil et du projet d'étude.

2. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

Le Laboratoire National du Bâtiment et des Travaux Publics (LNBTP) a été créé par décret N°68-223/PRES/LP/TP du 13 septembre 1968 sous forme d'établissement public. Il a été transformé par décret n° 94-420/PRES/MICM/MTPHU du 23 Novembre 1994, en Société d'Etat (S.E.) avec un capital porté de 100 à 318 millions FCFA. Son siège social est à Ouagadougou. La société jouit d'une autonomie financière et est placée sous la tutelle :

- Technique du Ministère des Infrastructures et du Désenclavement ;
- Financière du Ministère de l'Economie et des Finances ;
- De gestion du Ministère du Commerce, de la Promotion de l'Entreprise et de l'Artisanat.

Le LNBTP a pour missions :

- La réalisation d'études, de contrôle des travaux routiers et des ouvrages de génie civil et d'expertises en appui au secteur de production du bâtiment et des travaux publics ;
- La recherche dans le domaine du génie civil.

A ce titre, il assure les prestations ci-après :

- Les études de sols et fondations ;
- Les études et contrôles géotechniques ;
- Les expertises en matière de géotechnique dans le domaine des routes, aérodromes, bâtiments, ouvrages d'art et barrages ;
- Les contrôles de la qualité des matériaux de construction ;
- Les contrôles techniques en vue de la garantie décennale ;
- Les contrôles des équipements.

3. PRESENTATION DU PROJET D'ETUDE

Le projet concerne l'exécution des Travaux de construction et de bitumage des voies d'accès à l'aéroport international de Ouagadougou-Donsin au Burkina Faso. Les spécifications techniques (ST) sont subdivisées en deux sections qui se complètent à savoir :

- ST- Routes;
- ST-Ouvrages d'art.

Les travaux concernent : La construction et le bitumage des voies d'accès à l'aéroport international de Ouagadougou-Donsin au Burkina Faso comme décrit ci - après :

- la Route Nationale RN3 (17,2 km) ;
- la Bretelle Est (12,5 km) ;
- la Bretelle Ouest (11,81 km);
- les voies connexes (0,83 km) ;

L'objet de mon étude porte sur la RN3.

3.1. CORPS DE CHAUSSEE

Le matériau pour couche de fondation et de base sera du graveleux latéritique naturel ou amélioré aux concassés provenant d'emprunts approuvés par le représentant du maître d'Œuvre et sélectionné en fonction de ses caractéristiques pour optimiser l'emploi des ressources et des distances de transport.

➤ **Terminologie:**

Granulat : Ensemble de grains minéraux de dimensions comprises entre 0 et 80mm.

Granulométrie : Détermination des dimensions des grains aux tamis à mailles carrées selon la norme EN 933-1 et EN 933-2.

Fines : Fraction granulaire passant au tamis de 0,063 mm.

Sables : Granulats O/D avec $D \leq 0,4$ mm.

Gravillons : Granulats d/D : $d : \geq 2$ mm $D : \leq 0,31,5$ mm.

Cailloux : Granulats d/D : $d : \geq 20$ mm $D : \leq 80$ mm.

Grave ou tout venant : granulats O/D avec $6,3$ mm $< D \leq 80$ mm.

Il est convenu que l'expression "essai d'identification" désigne les essais granulométriques et les limites d'Atterberg, et l'expression "essai de portance" désigne les essais Proctor Modifié et CBR a trois (3) énergies de compacité et quatre (4) jours d'imbibition.

Les exigences du projet sont mentionnées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Qualité et préparation des matériaux.

Qualité et préparation des matériaux				
Matériaux	Nature des essais		Résultats exigés	
	Nom	Processus		
Graveleux latéritiques pour couche de base	Limites d'Atterberg	NF P 94-051	Limite de liquidité < 40 Indice de plasticité ≤ 15	
	Analyse granulométrie par tamisage	NF EN933-1	Fuseau après compactage « in situ »	
			Mailles tamis (mm)	Tamisâts en %
			50	100
			40	95-100
			31,5	85-100
			20	60-100
			10	35-90
			5	20-75
			2	12-50
1	10-40			
0,5	7-35			
0,08	4-20			
	Proctor modifié	NF EN 13286-2	Densité sèche de l'OPM γ_d OPM ≥ 2,0 t/m ³	
	Portance CBR à 95% de l'OPM et à 4 jours d'immersion dans l'eau	NF EN 13286-47	CBR (95% OPM, 4 jours d'immersion dans l'eau) ≥ 80	

➤ **Couche de fondation et de base**

La mise en œuvre se fait en une seule couche selon les indications du représentant du maître d'œuvre. Les matériaux sont répandus en cordons. Si l'approvisionnement et le déversement provoquent la ségrégation, les matériaux seront homogénéisés par brassage à la niveleuse. Si les matériaux ont été détrempés par les pluies, ils doivent être aérés par scarification et brassage à la niveleuse. Le compactage est exécuté à l'aide d'un rouleau vibrant lourd pour les

premières passes à savoir un aller et retour sur la couche et à l'aide d'un rouleau à pneus lourd pour la finition.

➤ **Couche de fondation et de base améliorée aux concassés (Litho stabilisation)**

La mise en œuvre sera effectuée de la manière suivante : le dosage en concassé devrait être de l'ordre de 20 à 30% du volume total. La recherche du dosage pour chaque emprunt est obligatoire à travers une série d'essais en laboratoire et une planche d'essais. La planche d'essais devrait à terme, permettre de définir le dosage et le fuseau granulométrique adéquat du concassé et du graveleux latéritique pour chaque emprunt destiné à la couche de base en fonction de la portance CBR de **110** valeur minimale recherché à 98% de l'OPM. Le mélange et la mise en œuvre en cas d'amélioration aux concassés devront être exécutés in situ avec un pulvérisateur-mélangeur à rotor horizontal du type pulvimixer. Le compactage est effectué à 98 % de la densité sèche maximum de l'essai Proctor modifié sur la largeur de la couche de base de la chaussée et des accotements. Celui des trottoirs sera effectué à 95 % de la densité sèche maximum de l'essai Proctor modifié.

3.2. LOCALISATION DE LA ZONE DE PROJET

Le projet est situé dans la région du Centre particulièrement à LOUMBILA. La région du centre est constituée d'une seule province, le Kadiogo et a pour capitale Ouagadougou. Le tronçon concerné se situe entre Ouaga-Loumbila comme l'indique la figure1.



Figure 1 : Localisation de la zone de projet (RN3).

4. CONCLUSION

La présentation du projet a permis d'annoncer les exigences à respecter pour la mise en œuvre des couches. Par la suite nous présenterons les généralités routières.

CHAPITRE II : GENERALITES ROUTIERES

1. INTRODUCTION

La route permet de se rendre d'un lieu à un autre. Pour sa conception il nécessite de connaître les paramètres de conception routière, le fonctionnement de la chaussée et les techniques de traitement des matériaux.

2. LES PARAMETRES DE CONCEPTION ROUTIERE

La construction d'une route de qualité implique plusieurs paramètres à savoir le trafic, la portance du sol support, le climat, l'hydrologie, l'hydraulique, le dimensionnement de la chaussée.

Le trafic : Il définit le nombre de véhicules qui passe dans une unité de temps sur une route et intervient dans la détermination des caractéristiques des profils en travers et de la résistance de la chaussée. Selon le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, il existe cinq classes de trafic définies en fonction des données au trafic journalier cumulé de poids lourds décrits dans le tableau 2.

Tableau 2 : Catégorie de trafic [CEBTP, 1990].

Catégorie de trafic proposé	FORMULES D'EXPRESSION DU TRAFIC		
	1	2	3
	Nombre journalier de véhicules (véh./j)	Nombre cumulé de poids lourds (P.L)	Nombre cumulé d'essieux équivalents de 13 T (EE13T)
T1	$100 \leq T < 300$	$1 \times 10^5 \leq T < 5 \times 10^5$	$1 \times 10^5 \leq T < 5 \times 10^5$
T2	$300 \leq T < 1000$	$5 \times 10^5 \leq T < 1,5 \times 10^6$	$5 \times 10^5 \leq T < 1,5 \times 10^6$
T3	$1000 \leq T < 3000$	$1,5 \times 10^6 \leq T < 4 \times 10^6$	$1,5 \times 10^6 \leq T < 4 \times 10^6$
T4	$3000 \leq T < 6000$	$4 \times 10^6 \leq T < 1 \times 10^7$	$4 \times 10^6 \leq T < 1 \times 10^7$
T5	$6000 \leq T < 12000$	$1 \times 10^7 \leq T < 2 \times 10^7$	$1 \times 10^7 \leq T < 2 \times 10^7$

La portance du sol support : C'est un facteur très important dans la pérennité de la route. Le sol constitue un vecteur de ruine de la route s'il est d'une très mauvaise qualité quelle que soit la qualité des matériaux d'apport et permet le choix du type de fondations des ouvrages.

Le climat : Les cycles saisonniers (soleil, pluie,...) influencent le comportement des chaussées. Dans le domaine routier, le facteur climatologique joue un rôle important aux stades des études, de la construction et de la vie de l'ouvrage sous les aspects suivants la teneur en eau des sols et des matériaux.

L'Hydrologie : Les études permettent d'évaluer pour un cours d'eau donné pour diverses périodes de récurrences (10, 20 ans et plus), les caractéristiques des crues c'est-à-dire le débit des vitesses de courant. Ces crues permettent l'étude et des travaux des ouvrages d'arts (dalots, ponts, barrages, etc.).

L'Hydraulique : Maintenir la chaussée hors d'eau est une nécessité, un moyen d'imperméabiliser celle-ci en vue d'éviter les catastrophes. C'est pourquoi les études hydrauliques sont très importantes et permettent de fixer judicieusement les côtes projet des ouvrages ainsi que les dimensions des ouvertures des ouvrages d'art.

3. FONCTIONNEMENT DE LA CHAUSSEE

La route est constituée d'une chaussée qui a pour rôle de distribuer la charge et transmettre au sol support une contrainte qui n'entraînera pas de déformation excessive (LCPC-CEBTP). La principale agression de la chaussée est celle du trafic. Pour y remédier, une attention doit être portée au dimensionnement de la chaussée qui consiste à déterminer la nature et l'épaisseur des différentes couches de la chaussée afin de réduire les contraintes et déformations à des valeurs admissibles. Ces épaisseurs varient en fonction de la nature des matériaux d'apport, l'état du sol naturel, la profondeur de la nappe et les phénomènes climatiques.

3.1 STRUCTURES DE CHAUSSEES

La composition de la chaussée et ses diverses couches permettent de distinguer les différentes structures et le choix des méthodes de dimensionnement adapté pour limiter les diverses contraintes qui peuvent provoquer l'endommagement de la chaussée avant l'échéance estimée. Il existe trois familles de chaussées (LCPC-CEBTP) :

Chaussées souples ou flexibles : Elles se déforment réversiblement sous sollicitations. Elles sont constituées d'une couche bitumineuse mince en surface et d'une assise (couche de base et couche de fondation) en matériaux granulaires généralement en matériaux non traités.

Chaussées semi-rigides encore appelées chaussées mixte ou chaussées à assise traitée aux liants, sa structure comporte un revêtement bitumineux mince et un corps de chaussée en matériaux traités en liants hydrauliques ou hydrocarbonés. Elle est utilisée lorsque le trafic devient important et que les matériaux crus ne satisfont pas aux exigences mécaniques.

Chaussées rigides : Elles sont comme une dalle de béton, peu déformable et absorbent la charge enfin d'éviter une déformation sur la fondation ou l'infrastructure susceptible de causer la rupture. Pour les trafics élevés, ces types de chaussée ont des performances mécaniques très intéressantes comparées aux autres types de structures.

3.2. DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE

Il consiste à déterminer la nature et l'épaisseur des couches qui la constituent afin qu'elle puisse résister aux diverses agressions auxquelles elle sera soumise tout au long de sa vie.

Il existe plusieurs types de méthode de dimensionnement à savoir :

Méthode empirique ou classique: Elle est basée sur l'identification, la reproduction conforme et standard des structures de chaussées identiques à celles qui ont fait la preuve de leur performance. Les modèles empiriques les plus connus sont la méthode du CBR du CEBTP.

Méthode analytique-empirique (ou mécanistique-empirique) : La méthode fait partiellement appel à une approche analytique qui est complétée par des données empiriques. Elle s'appuie sur l'analyse des résultats des essais sur les matériaux réalisés au laboratoire.

Les couches de chaussée : Le dimensionnement se fait usuellement par la méthode empirique. Il permet de déterminer les différentes couches et leurs épaisseurs. La chaussée est constituée de :

- **Plate-forme (sol support) :** C'est la couche de 30 cm au-dessus des terrassements. Son rôle est de servir une bonne assise au corps de chaussée afin que celle-ci soit peu déformable. Le CBR supérieur à 5 est exigé.
- **Couche de forme** a pour rôle de permettre la circulation des engins sur chantier, d'empêcher les remontées d'argile dans la chaussée et d'assurer le drainage de la fondation. CBR > 5 ; pour les chantiers importants on pourra exiger un CBR \geq 10.
- **Couche de fondation :** Elle assure une diffusion des contraintes. Les matériaux pour couche de fondation doivent avoir un CBR au moins égal à 30 pour une densité sèche correspondant à 95% de l'OPM.
- **Couche de base :** La couche de base est amenée à encaisser la majeure partie des contraintes dues aux agressions comme les contraintes verticales de compression et les efforts de cisaillement qui sont d'autant plus importants à la base quand la couche de surface est mince.
- **Couche de surface :** La couche de surface est constituée de la couche de roulement et le cas échéant d'une couche de liaison. Elle doit subir les efforts normaux et les efforts tangentiels venant du trafic ainsi que les agressions des intempéries (la chaleur par exemple). Elle doit assurer aussi l'étanchéité de la structure par rapport à l'infiltration des eaux de ruissellement et posséder les qualités antidérapantes satisfaisantes. Le choix du type de la couche de revêtement dépend du trafic. Il peut se faire soit en enduits superficiels, soit en enrobés ou en béton bitumineux.

4. TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES MATERIAUX

La stabilité d'un matériau en technique routière est de conserver sa rigidité après l'application d'une charge. Stabiliser un sol en place ou un matériau d'apport consiste à améliorer ses caractéristiques géotechniques soit par ajout d'un autre matériau, soit par ajout d'un liant hydraulique ou hydrocarboné. Les objectifs recherchés par une stabilisation sont les suivants: l'amélioration de l'aptitude au compactage; la diminution de la sensibilité à l'eau et l'augmentation de la résistance mécanique et de la portance (augmentation du frottement interne et de la cohésion). Il existe des méthodes de traitement des matériaux regroupés en deux catégories telles que la stabilisation chimique et mécanique.

4.1. Stabilisation chimique

Elle consiste à l'ajout des produits chimiques tels que le chlorure de calcium CaCl_2 . Les deux types de stabilisation chimique les plus courants sont: celle à la chaux et au ciment.

➤ **Stabilisation à la chaux** : Il s'agit de l'adjonction de chaux vive aux matériaux d'infrastructure qui modifie de façon sensible le comportement des sols fins argileux ou limoneux. La chaux est obtenue par cuisson de carbonate de calcium pur (CaCO_3). Elle se présente sous deux formes :

- Sous forme de chaux vive (CaO) : $\text{Ca CO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ ($T > 900^\circ\text{C}$)
- Sous forme hydratée (Ca(OH)_2) : $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca (OH)}_2 + \text{Chaleur}$.

Le mélange sol-chaux permet de diminuer la teneur en eau, d'atteindre une densité optimum lors du compactage, d'augmenter ainsi la résistance mécanique du sol traité ; une diminution de l'indice de plasticité IP ; une augmentation de l'indice portant après 4 jours d'immersion ; un aplatissement de la courbe Proctor avec diminution de la densité de l'optimum Proctor (NF EN 459-1 et NF P 98-101).

➤ **Stabilisation au ciment** : Il s'agit de l'adjonction de ciment à un sol en place ou à un matériau d'apport afin d'obtenir une meilleure portance, diminution de la sensibilité à l'eau. Les avantages du traitement au ciment sont l'augmentation de la résistance du sol et de la durabilité; la formation d'une couche dure, cohérente et imperméable (NF EN 197-1).

➤ **Traitement aux pouzzolanes** : Les pouzzolanes naturelles sont des matériaux résultant des émissions explosives de laves lors des phénomènes volcaniques alors que les pouzzolanes artificielles ne sont que des résidus de combustion du charbon produits dans les industries et/ou centrales d'incinération.

➤ **Traitement aux liants hydrocarbonés** : Les liants hydrocarbonés

au contact de particules solides telles que les granulats développent des forces d'adhésion assurant de la sorte une certaine rigidité, des résistances aux déformations en traction, compression et cisaillement. Les principaux liants hydrocarbonés sont : le bitume (un produit de distillation des huiles minérales) et le goudron (distillation du charbon).

➤ **Traitement aux produits chimiques** : Certains produits chimiques à base d'hydroxyde de calcium, de polymères sont utilisés en construction routière pour améliorer la capacité portante des sols.

➤ **Traitement mixte** : Il consiste à améliorer la qualité d'un sol par combinaison de deux ou plusieurs stabilisants en vue d'atteindre les performances mécaniques souhaitées. Il existe plusieurs combinaisons mais la plus utilisée est celle de la chaux-ciment.

4.2. STABILISATION MECANIQUE

Elle porte sur l'amélioration de la composition granulométrique d'un sol en place ou d'un matériau d'apport par adjonction en petite quantité d'une fraction de matériaux pierreux, afin d'améliorer les possibilités de compactage. L'une des méthodes est la litho stabilisation

La litho Stabilisation : Elle vise l'amélioration de la granularité du graveleux latéritique naturel par adjonction d'un certain pourcentage de concassé de granite. Son objectif principal est d'obtenir du mélange un matériau présentant de meilleures performances géotechniques (essentiellement la portance).

5. CONCLUSION

La connaissance de ces paramètres permet de concevoir une chaussée rigide. Les matériaux utilisés font l'objet d'une étude au laboratoire afin de déterminer leurs caractéristiques. Dans le chapitre qui va suivre, nous allons aborder les études menées au laboratoire dans le cadre de la stabilisation du GAL.

CHAPITRE III : ETUDE AU LABORATOIRE

1. INTRODUCTION

Les essais au laboratoire permettent de connaître les caractéristiques géotechniques d'un sol. Ce chapitre présente les essais d'identification (Analyse granulométrique, Limites d'Atterberg, Equivalent de sable) et les essais de portance (Proctor modifié et CBR après 4 jours d'immersion) d'un matériau naturel. Nous effectuons les essais sur le concassé (Analyse granulométrique, le coefficient d'aplatissement, la propreté superficielle et l'essai Los Angeles) et les essais de stabilisation du matériau.

2. ESSAIS SUR LE GRAVE ARGILEUX LATERITIQUE (GAL)

La latérite est une roche rouge et brune qui se forme par altération des roches sous les climats tropicaux. Les sols latéritiques sont des sols maigres lessivés et appauvris en silice et en éléments nutritifs fertilisants (Ca). Les latérites sont utilisées dans le corps de chaussée des routes en terre et des routes revêtues. Dans le cas des routes en terre, elles sont utilisées en couche de roulement, et dans le cas des routes revêtues, elles interviennent en couche de fondation et en couche de base. Dans l'un ou l'autre des cas, les latérites doivent répondre à des spécifications selon la couche concernée. Pour le cas particulier de la couche de base des chaussées revêtues qui fait l'objet de notre mémoire, la latérite doit satisfaire aux spécifications suivantes :

- L'indice portant CBR à 95% de la densité sèche maximale Proctor Modifié et après 4 jours d'imbibition doit être au moins égal à 80.
- L'indice portant CBR à 98% de la densité sèche maximale Proctor Modifié stabilisé aux concassés et après 4 jours d'imbibition doit être au moins égal à 110.
- L'indice de plasticité doit être au plus égal à 15.
- L'équivalent de sable doit être supérieur à 40.

Le fuseau granulométrique admis est résumé dans le tableau 3.

Tableau 3 : Fuseau granulométrique du graveleux latéritique en couche de base.

Ouverture du tamis en mm	Pourcentage en poids de passant	
	Minimum	Maximum
40	95	100
31,5	85	100
20	60	100
10	35	90
5	20	75
2	12	50
1	10	40
0.5	10	40
0.08	4	20

2.1 IDENTIFICATION GEOTECHNIQUE DU GRAVELEUX LATERITIQUE

Identifier un matériau consiste à déterminer ses propriétés physiques et mécaniques. Ces essais d'identification se font sur un échantillon représentatif du matériau à identifier. Il faut procéder par une opération appelée l'échantillonnage. Le matériau présenté sur la figure 2 est issu d'un emprunt n°5 situé sur le site de Donsin.



Figure2 : Echantillon du GAL utilisé.

a. Echantillonnage

L'échantillonnage (EN 932-1) est l'opération qui consiste à prélever une quantité réduite de matériau telle que la partie prélevée soit représentative de l'ensemble de l'échantillon. Cette quantité permet de mesurer les paramètres caractéristiques de l'ensemble. Tous les essais à réaliser dépendent du soin apporté à la réalisation de l'échantillonnage. Le prélèvement s'effectue en deux temps :

- Prélèvement sur le chantier ou la carrière d'une grande quantité que celle qui sera utilisée.

- Au laboratoire, prélèvement de la quantité nécessaire à l'essai : celui-ci s'effectue par quartage ou au moyen d'échantillonneurs.

Quartage : l'échantillon est divisé en quatre parties égales dont on ne retient la moitié à savoir deux quarts opposés. Cette sélection est homogénéisée et on répète l'opération pour obtenir un échantillon représentatif.

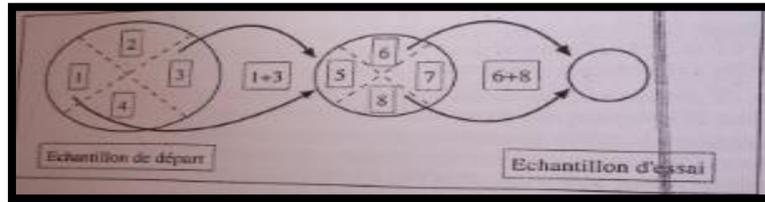


Figure3: Méthode d'échantillonnage par quartage.

b. Analyse granulométrique :

C'est un essai qui consiste à étudier la granulométrie du sol (EN 933-1 ET EN 933-2).

La forme de la courbe granulométrique permet de préciser le degré d'étalement de la granulométrie ou encore son uniformité.

Le coefficient d'uniformité ou de HAZEN : $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$

Si $c_u < 2$, la granulométrie est uniforme(ou serrée).

Si $c_u > 2$, la granulométrie est étalée(ou variée).

On définit le coefficient de courbure : $C_c = \frac{(d_{60})^2}{d_{10} \times d_{30}}$. Un sol est bien graduée si $1 < C_c < 3$.

Résultats : La masse des refus cumulés est rapportée à celle de l'échantillon sec et les pourcentages de refus sont calculés par la formule suivante : $\% \text{ Refus} = \frac{R_i}{M_s} * 100$.

Avec R_i , la masse de refus cumulé à chaque tamis et M_s la masse de l'échantillon sec. Les pourcentages de tamisât sont calculés par la formule suivante : $\% \text{ tamisât} = 100 - (\frac{R_i}{M_s} * 100)$

L'analyse granulométrique a été effectuée à partir d'un échantillon de 3086g et les résultats sont présentés sur la figure 4.

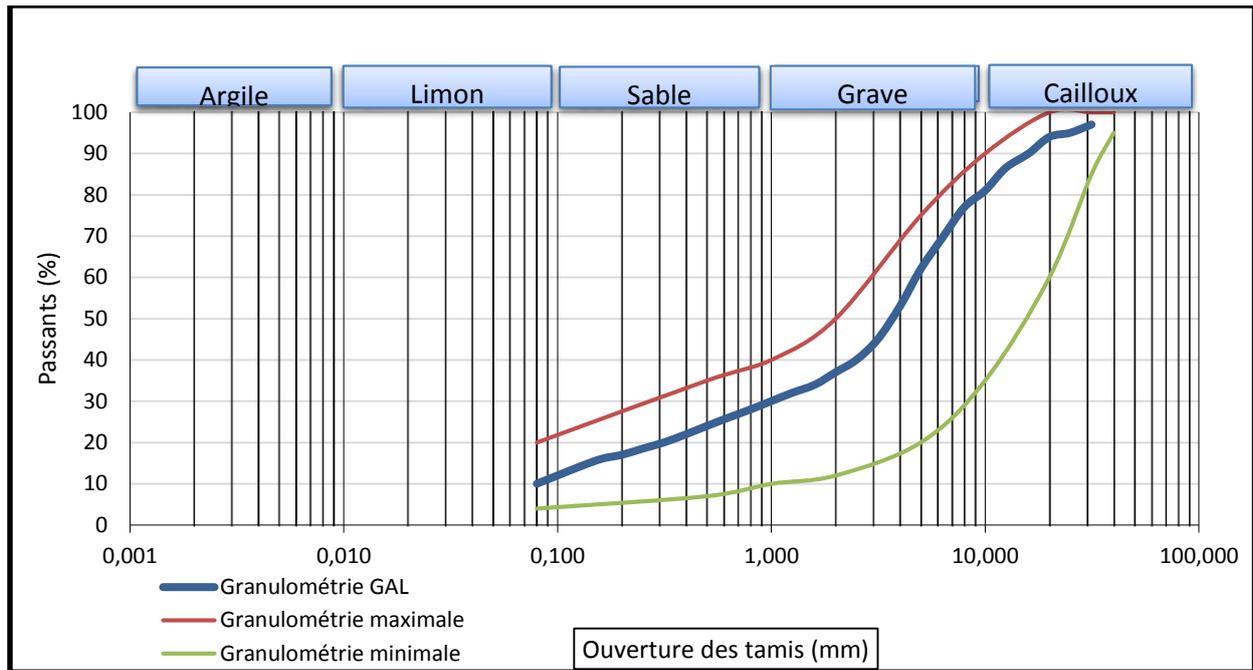


Figure 4 : Courbe granulométrique de la GAL.

Les détails sur le calcul sont illustrés sur la feuille de calcul de l'annexe I. L'exploitation des résultats ont permis de calculer le coefficient d'uniformité et celui de courbure du grève utilisé. Ainsi, nous notons :

- Le coefficient d'uniformité ou de HAZEN : $C_u = \frac{5}{0.08} = 62,5$.
- Le coefficient de courbure : $C_c = \frac{(5)^2}{0.08 \times 1} = 312,5$.

$C_u > 2$ et $C_c > 3$ alors la granulométrie est dite étalée et mal graduée. Cependant elle se situe dans les limites demandées pour les couches de base car la courbe est comprise entre la granulométrie minimale et maximale.

c. Limites d'Atterberg

Ce sont des teneurs en eau pondérales caractéristiques du sol. L'essai a pour objet de déterminer les états de consistance d'un sol. La consistance d'un sol varie de façon continue selon la teneur en eau ; lorsque celle-ci augmente, le sol passe successivement de l'état solide à l'état plastique puis à l'état liquide. Les limites entre ces états sont la limite de liquidité, la limite de plasticité. L'indice de plasticité $IP = WL - WP$ définit l'étendue du domaine plastique.

La limite de liquidité w_L : C'est la teneur en eau du matériau qui correspond à une fermeture de 1 cm des lèvres de la rainure après 25 chocs. C'est la transition entre un état liquide et plastique.

La limite de plasticité w_p : Elle est atteinte lorsque l'échantillon roulé, soulevé par le milieu de 1 à 2 cm se fissure. C'est la transition entre un état plastique et solide.

Indice de plasticité I_p : Il se déduit des limites par la différence $I_p = w_L - w_p$. Les étapes sont sur la figure 5.



Figure5 : Etapes de limite d'Atterberg.

Résultat : Les limites d'Atterberg ont été effectuées à partir d'un échantillon de 300g et les résultats sont représentés dans le tableau 4.

Tableau4 : Valeurs des limites de la GAL.

Limite de liquidité w_l	25%
Limite de plasticité w_p	14%
Indice de plasticité $IP = w_l - w_p$	11%

(Les détails peuvent être consultés à annexe 2).

Nous notons que le IP est inférieur à 15. Cette valeur satisfait la limite demandée dans le TDR pour la couche de base. Le sol est moyennement plastique et limoneux. D'après le diagramme de plasticité selon AASHTO, le sol est de type A-2-4.

d. EQUIVALENT DE SABLE

Il permet de mesurer la propreté d'un sable. Il rend compte globalement de la quantité des éléments fins contenus dans ce sable. Il consiste à faire flocculer les éléments fins d'un sable mis en suspension dans une solution lavant puis, après un temps de mise au repos donné, à mesurer la hauteur des éléments sédimentés. Il est effectué sur la fraction du sable passant au tamis à mailles carrées de 5 mm.

Résultats : L'équivalent de sable (ES) est calculé selon la formule :

$$ES = \frac{H(\text{sable})}{H(\text{sable} + \text{floculat})} * 100$$

L'essai est effectué sur un échantillon de 120g et les résultats sont présentés dans le tableau 5.

Tableau 5: Résultats d'équivalent de sable de GAL.

Nombre d'essais	Echantillon	
	1	2
Masse de la prise d'essai 120(1+w/100) +-1g	120 g	120 g
Hauteur du niveau supérieur du floculat par rapport au fond de l'éprouvette h1 (mm)	10,6	10,7
Hauteur du niveau supérieur de la partie sédimentée par rapport au fond de l'éprouvette h'2(mm)	9,0	9,1
Equivalent de sable visuel sur prise d'essai $E_{sv} = 100h'2/h1$	84,9	85,0
Equivalent de sable visuel E_{sv} sur échantillon (moyenne)	84,9	
Hauteur du sédiment au niveau de la face supérieure du manchon h2 (mm)	7,4	7,3
Equivalent de sable sur prise d'essai $E_s = 100 * h2/h1$	71,2	70,9
Equivalent de sable E_{sp} sur échantillon (moyenne)	71,0	

Nous notons que E_{sp} est supérieur à 40. Cette valeur satisfait la limite demandée dans le TDR pour la couche de base. Le sol est un sable propre à faible % de fines argileuses car $70 \leq ESP < 80$ et $75 \leq ESV < 85$.

2.2 ESSAI DE PORTANCE

L'essai de portance est constitué de l'essai Proctor modifié et de l'essai CBR.

a. Essai Proctor modifié

L'essai Proctor modifié a pour but de déterminer la teneur en eau optimale conduisant à une force portante maximale pour un sol donné selon les conditions de compactage précises. Il consiste à humidifier un matériau à au moins cinq teneurs en eau et à le compacter dans un moule selon un procédé et une énergie définis. Les valeurs des densités sèches obtenues et des teneurs en eau de mouillage du matériau permettent de tracer la courbe Proctor modifié du matériau. Il en ressort de cette courbe les valeurs de masse volumique apparente sèche ρ_{opt} et de la teneur en eau ω_{opt} .

Résultats : Pour chaque éprouvette compactée on calcule la teneur en eau w , la densité sèche γ_d , la masse du matériau sec, la masse volumique du matériau sec en tenant compte du volume réel du moule utilisé. On trace le graphe ($w ; \gamma_d$) en ajustant la courbe sur les points obtenus. On en déduit les valeurs de γ_d maximum et w optimum qui correspondent aux valeurs obtenues en projetant le sommet de la courbe respectivement sur l'axe des ordonnées et l'axe des abscisses. Le Proctor est illustré sur la figure 6.

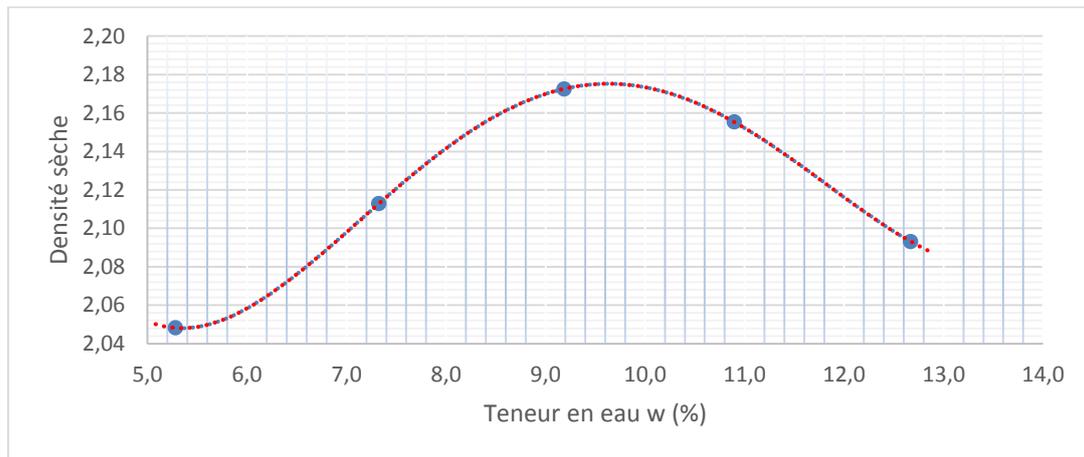


Figure 6 : Courbe Proctor modifié GAL.

(Les détails sur le calcul sont illustrés sur la feuille de calcul de l'annexe 3).

Les valeurs respectives de la teneur en eau et de la densité sèche à l'OPM sont consignées dans le tableau 6.

Tableau6: Valeurs d'Optimum Proctor Modifié de GAL.

	Proctor modifié
Teneur en eau max (%)	9,8
Densité sèche (g/cm ³)	2,18

D'après les exigences du projet la densité sèche $\gamma_d \geq 2,0$ (g/cm³), nous avons $\gamma_d=2,18$ (g/cm³) ce qui correspond à la valeur demandée pour la couche de base.

b. Essai CBR (Californian Bearing Ratio test):

L'essai CBR est un essai de portance, c'est-à-dire qu'il permet de mesurer l'aptitude des matériaux à supporter les charges. Pour éviter de transporter une très grande quantité de matériau qui servirait à la réalisation des essais permettant de déterminer ces différents indices, seul l'indice CBR après quatre (04) jours d'immersion dans de l'eau a été déterminé situant ainsi l'étude dans les cas les plus défavorables.

Résultats : Les valeurs obtenues lors du poinçonnement sont reportées sur un graphe effort-déformation. On obtient alors trois courbes concaves correspondant aux trois moules poinçonnés. Sur chacune des courbes lire les valeurs des efforts correspondant à 2,5mm et 5mm d'enfoncement et effectuer les calculs suivants :

$$\frac{\text{effort de pénétration à 2.5mm d'enfoncement(KN)*100}}{13.5} \text{ et } \frac{\text{effort de pénétration à 5mm d'enfoncement(KN)*100}}{20}$$

Les résultats du CBR sont consignés dans le tableau 7.

Tableau 7 : Résultats de l'essai CBR du GAL.

ESSAI DE PORTANCE CBR				
Nombre de coups	Densité sèche	IP CBR	Teneur en eau (%)	
			Moulage	Essai
10	1,98	29	9,1	9
25	2,1	73	9,1	9,2
56	2,18	176	9,1	9
Densité maximale : 2,17				
Indice CBR				
CBR98%	100			
CBR95%	56			
CBR90%	24			

La courbe CBR est tracée en fonction des densités sèches et de l'indice de portance pour obtenir les trois valeurs de l'indice CBR à 98%,95% et 90%. Elle est illustrée sur la figure 7.

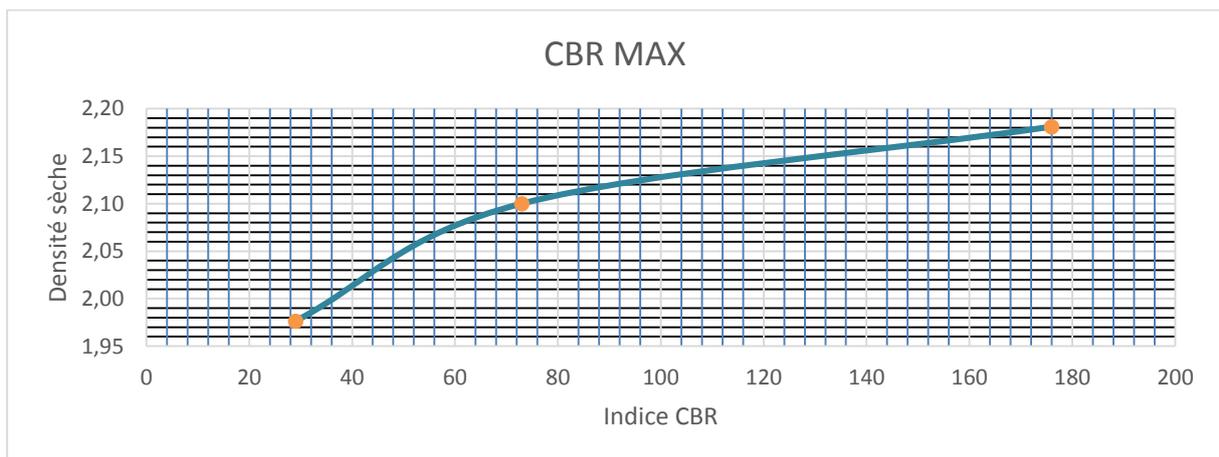


Figure 7 : Courbe CBR GAL.

(Les détails sur le calcul sont illustrés sur la feuille de calcul de l'annexe 4)

Les portances trouvées ne vérifient pas les conditions du CPT à savoir CBR à 95% OPM \geq 80.

Il faut renforcer les graves naturelles à travers la stabilisation.

3. Essais sur le concassé

Le concassé de granite qui est destiné à être utilisé pour l'amélioration a été soumis à plusieurs essais afin de connaître ses différentes caractéristiques. Nous avons réalisé l'analyse granulométrique par tamisage sur la partie dont le diamètre des grains est supérieur à 0,08 mm, l'essai de coefficient d'aplatissement, l'essai de propreté superficielle, l'essai Los Angeles. L'ensemble de ces essais a permis de mieux caractériser les concassés utilisés dans la stabilisation de la latérite. L'échantillon du concassé utilisé est issu de la carrière du projet. Il est présenté sur la figure 8.



Figure8 : Echantillon du concassé

a. Caractéristique des concassés

Le concassé qui est utilisé pour la stabilisation est de classe 0/31,5. Les exigences du TDR sont :

- Los Angeles $LA \leq 40$.
- Proctor modifié : Densité sèche de l'OPM $\geq 2,0 \text{ t/m}^3$.
- Portance CBR à 98% de l'OPM et à 4 jours d'immersion dans l'eau, mélange après litho-stabilisation ≥ 105 à 110.
- Propreté superficielle : Passant au tamis de 0,063mm $< 1\%$.
- Coefficient d'aplatissement $A \leq 20\%$.

La figure 9 montre les résultats de l'analyse granulométrique effectuée sur le concassé.

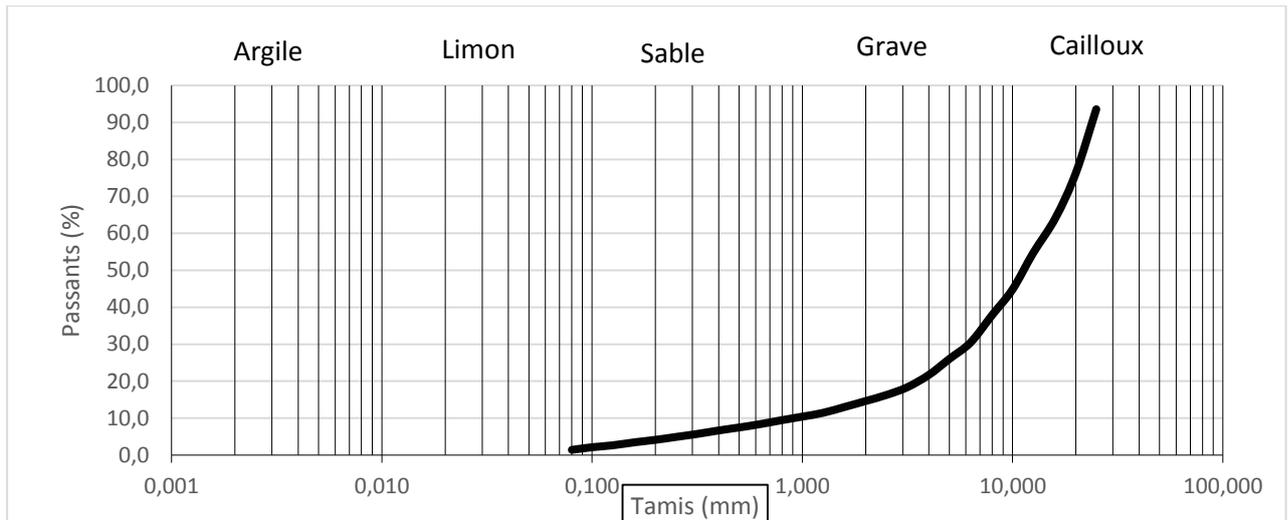


Figure 9 : Courbe granulométrique du concassé.

(Les détails sur le calcul sont illustrés sur la feuille de calcul de l'annexe 5). L'exploitation des résultats ont permis de calculer le coefficient d'uniformité et celui de courbure du concassé utilisé. Ainsi, nous notons :

- Le coefficient d'uniformité ou de HAZEN : $C_u = \frac{15}{1} = 15$.
- Le coefficient de courbure : $C_c = \frac{(15)^2}{1 \times 7} = 32,1$.

$C_u > 2$ et $C_c > 3$ on dira que la granulométrie est étalée et mal graduée. La figure 10 montre que le concassé de granité a une répartition granulométrique bonne pour l'aménagement de la route car elle est comprise dans la partie grave.

b. Mesure du coefficient d'aplatissement

Le coefficient d'aplatissement caractérise la forme du granulat à partir de sa plus grande dimension et de son épaisseur. L'essai consiste à effectuer un double tamisage.

Résultats : Le coefficient d'aplatissement est calculé pour chaque classe granulaire selon la formule $A = \frac{100 \cdot M_e}{M_g}$, avec M_e la masse de chaque classe granulaire et M_g la masse du refus au tamis à mailles carrées de 4 mm pour chaque classe granulaire. Le coefficient d'aplatissement global A est calculé à partir de la formule $A = \frac{100 \cdot \sum M_e}{\sum M_g}$ avec $\sum M_e$ la masse totale de toutes les classes granulaires et $\sum M_g$ la masse totale du refus au tamis à mailles carrées de 4 mm. Les résultats sont consignés dans le tableau 8.

Tableau8 : Coefficient d'aplatissement du concassé.

Masse échantillon soumis à essai (g)	4168,6			
Tamissage sur tamis à mailles carrées	Tamissage sur grilles à fentes			Coefficient d'aplatissement 100(Me/Mg)
Classes granulaires (mm)	Masse de la classe granulaire Mg(g)	Ecartement des grilles E (mm)	Masse du passant Me(g)	
25/31,5	266,3	16	110,2	41,4
20/25	718,1	12,5	128,9	18,0
16/20	507,8	10	115,3	22,7
12,5/16	400,1	8	80,7	20,2
10/12,5	405,9	6,3	70,1	17,3
8/10	289,1	5	50,4	12,4
6,3/8	312,6	4	49,5	15,8
5/6,3	184,2	3,15	28,6	15,5
4/5	179,2	2,5	20,9	11,7
M=∑Mg	3263,3	∑Me	654,6	
Coefficient d'aplatissement global A=100(∑Me/Mg)				20,1

D'après les exigences du projet le coefficient d'aplatissement $A \leq 20\%$ qui correspond à la valeur demandée pour la couche de base. Il y'a moins de 20% de granulats plats.

c. Essai de propreté superficielle

La propreté superficielle est le coefficient pondéral de particules inférieures à 0,5 mm contenues dans un échantillon de matériau. Il s'agit donc, pour ce qui est du principe de l'essai, de séparer par lavage sur tamis de 0,5mm les particules inférieures à cette dimension. La norme de référence est la norme française NF P18-591.

Résultats On calcule d'abord la masse sèche de l'échantillon soumis à l'essai Ms à partir de la formule suivante : $M_s(g) = \frac{M_h * M_{1s}}{M_{1h}}$. Ensuite, on calcule la masse sèche m des éléments inférieurs à 0,5mm par la formule $m(g) = M_s - m'$. La propreté superficielle P est donnée par la relation suivante : $P = 100 * m / M_s$.

Tableau9 : Propreté superficielle du concassé.

Masse sèche Ms soumis à l'essai de propreté (g)	3120,2
Masse sèche m'(g) du refus séché et tamisé	3116,6
Masse sèche m(g) des éléments <0,5mm(ou à 1,6mm pour les ballasts $m(g) = M_s - M'$)	3,6
Propreté superficielle $P = 100(m/M_s)$	0,12

d. Los Angeles

C'est la détermination de la résistance à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques. Il fait l'objet de la norme française NFP 94-050. Le coefficient Los Angeles est calculé à partir du passant au tamis de 1,63mm, mesuré en fin d'essai.

Résultats : Le coefficient de Los Angeles exprimé en pourcentage est obtenu par la formule suivante $LA = \frac{A-B}{A} * 100$. Les résultats sont consignés dans le tableau 10.

Tableau10 : Los Angeles du concassé.

Identification	Concasse
Provenance	Emprunt N°5
Installation et conditions ambiantes	Equipements
Lieu des essais	Appareil Los Angeles 5MCI 241 ALO/B001
Lavage au tamis de 1,6 mm	Boulets de 47+*1mm de diamètre et de masse 420 et 445g
Séchage (NFP 94-050)	Jeu de tamis 241 TGF/B001
	Etuve ÉTÉ BO25
	5MMA 241 BLE/A002
Classe granulaire:	0/31,5
Poids matériaux avant essai (g) (A):	5000
Poids du refus au tamis 33 (1,63 mm) (g) (B):	3320,9
Coefficient Los Angeles, $(A-B) * 100 / A$	33,6

LA<40, nous avons un essai Los Angeles qui satisfait aux exigences demandées dans le TDR. Le concassé résiste à l'usure par rapport aux frottements.

e. Conclusion

En conclusion le concassé utilisé respecte les exigences du TDR après les essais effectués au laboratoire pour déterminer ses caractéristiques. Cependant la latérite utilisée ne répond pas car le CBR à 95% <80. Il est nécessaire de le stabiliser afin d'obtenir de meilleures propriétés géotechniques.

4. ETUDE D'AMELIORATION DE LA PORTANCE DU SOL NATUREL

4.1. INTRODUCTION

Le matériau à l'état naturel n'étant pas conforme pour l'utilisation sur la couche de base de la chaussée, le principe général est d'incorporer au sol un certain pourcentage de stabilisant, et constater les résultats d'essai Proctor modifié suivi de l'essai CBR à 4 jours d'immersion. Il sera étudié l'évolution de la portance du sol stabilisé au concassé et à la chaux.

4.2. STABILISATION AUX CONCASSES

Le matériau est stabilisé à 20% ; 30% et 35% de concassé. Les essais effectués sont le Proctor modifié et le CBR.

a. Essai Proctor modifié

Les courbes représentant la stabilisation du GAL à 20%,30% et 35% sont illustrées sur la figure10.

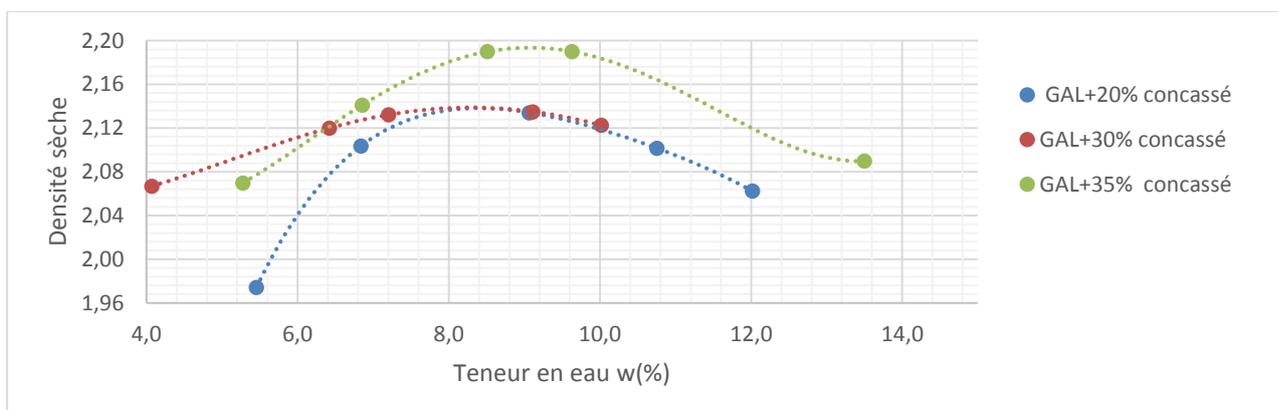


Figure10 : Courbe Proctor modifié GAL stabilisé aux concassés

(Les détails sur le calcul sont illustrés sur la feuille de calcul de l'annexe 6).

Tableau 11 : Valeurs de l'Optimum Proctor Modifié de GAL stabilisé aux concassés.

	20% de concassé	30% de concassé	35% de concassé
Teneur en eau max (%)	8,4	8,4	9,2
Densité sèche (g/cm ³)	2,14	2,14	2,19

Nous remarquons que la courbe Proctor croit lorsqu'on ajoute le concassé. On obtient une augmentation de la teneur en eau et de la densité sèche à partir de 35%. Ceci peut s'expliquer par la diminution des particules fines par l'apport du granite concassé et le renforcement du matériau naturel. L'amélioration à 20% et 30% donne une même densité et teneur en eau faible par rapport au matériau naturel ce qui explique qu'il y'a eu plus de fines. Par rapport au TDR le mélange répond à la densité demandée qui est de 2g/cm³ environ.

b. Essai CBR

Après quatre jours d'immersion et poinçonnement des moules, les courbes CBR ont été tracées pour les différents échantillons de latérite améliorée à 20%, 30% et 35%. Les indices CBR ont été déterminés à 90%, 95% et 98% de l'Optimum Proctor Modifié (OPM). Les trois courbes sont illustrées sur la figure 11.

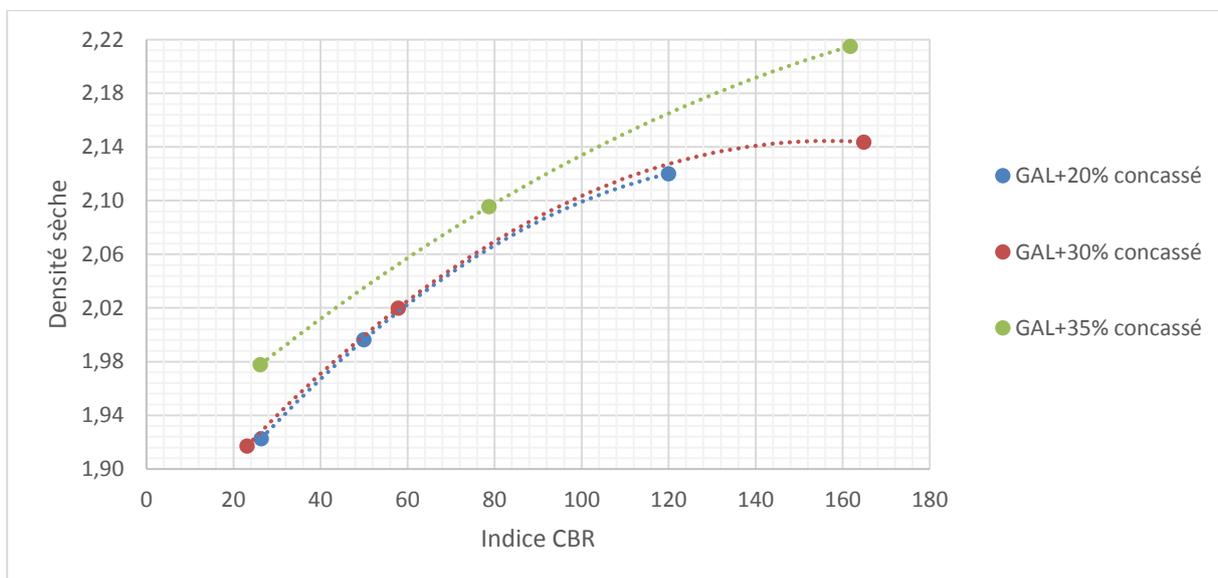


Figure 11 : Courbe CBR de GAL stabilisée aux concassés

(Les détails sur le calcul sont illustrés sur la feuille de calcul de l'annexe 7)

Les résultats de l'indice CBR des trois essais aux concassés sont mentionnés dans le tableau 12.

Tableau 12 : Résultats de l'essai CBR du GAL stabilisé aux concassés

	Indice CBR		
	20% de concassé	30% de concassé	35% de concassé
98% OPM	102	138	104
95% OPM	62	84	68
90% OPM	26	38	24

L'amélioration aux concassés à 30% donne un CBR de 138 à 98% OPM et 84 à 95% OPM. Seule cette amélioration répond au TDR à savoir obtenir 110 à 98% OPM et 80 à 95% OPM. On constate que les indices portants CBR à 95% et 98% sont plus élevés à 30% de mélange qu'à 20% et 35% (Voir tableau 12). Pourtant sa densité à 30% est plus faible que celle à 35%. On peut expliquer cela par le fait qu'il y ait eu des vides dans le matériau après compactage, ce qui a fait baisser la densité sèche. Mais le renforcement du matériau a permis l'amélioration des indices portant CBR. L'amélioration du concassé à une limite du fait qu'après 30% la résistance diminue.

4.3. STABILISATION A LA CHAUX

Le matériau est stabilisé à 1% ; 2% et 3% de chaux. Les essais effectués sont le Proctor modifié et le CBR.

a. Essai Proctor modifié

Les courbes représentant la stabilisation du GAL à 1%, 2% et 3% sont illustrées sur la figure 12.

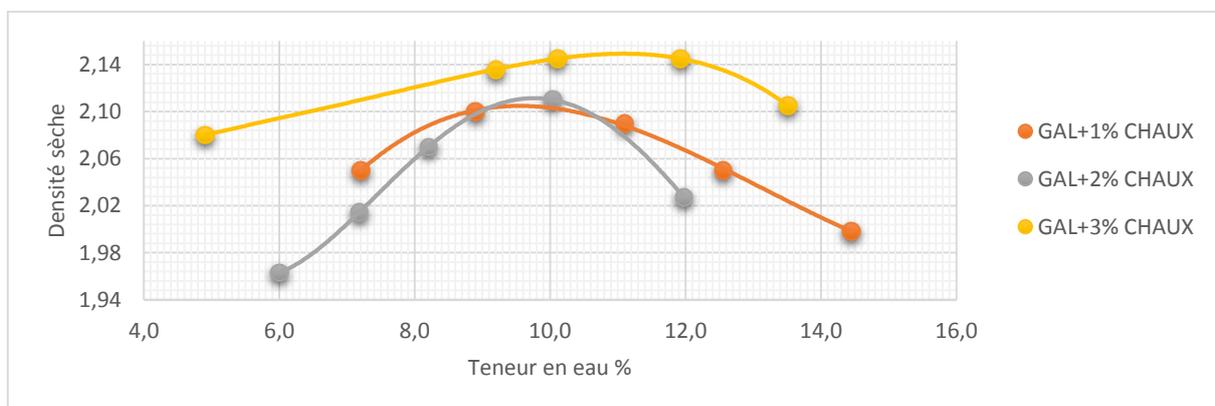


Figure 12 : Courbe Proctor modifié GAL stabilisé à la chaux.

(Les détails sur le calcul sont illustrés sur la feuille de calcul de l'annexe 8)

Tableau 13 : Valeurs de l'Optimum Proctor Modifié de GAL stabilisé à la chaux.

	1%	2%	3%
Teneur en eau max (%)	9,8	10	11
Densité sèche (g/cm ³)	2,11	2,11	2,15

Nous remarquons que la teneur en eau croit avec l'ajout de la chaux. La densité quant à elle reste constante pour 1% et 2% et augmente à partir de 3%. Par rapport au TDR le mélange répond à la densité demandée qui est de 2g/cm³ environ. L'augmentation de la teneur en eau s'explique par le fait que la chaux absorbe l'eau et permet de renforcer le matériau. L'ajout de fines entraîne la baisse de la densité sèche.

b. Essai CBR

Après quatre jours d'immersion et poinçonnement des moules, les courbes CBR ont été tracées pour les différents échantillons de latérite améliorée à 1%, 2% et 3% de chaux. Les indices CBR ont été déterminés à 90%, 95% et 98% de l'optimum Proctor modifié (OPM). Les trois courbes sont illustrées sur la figure 13.

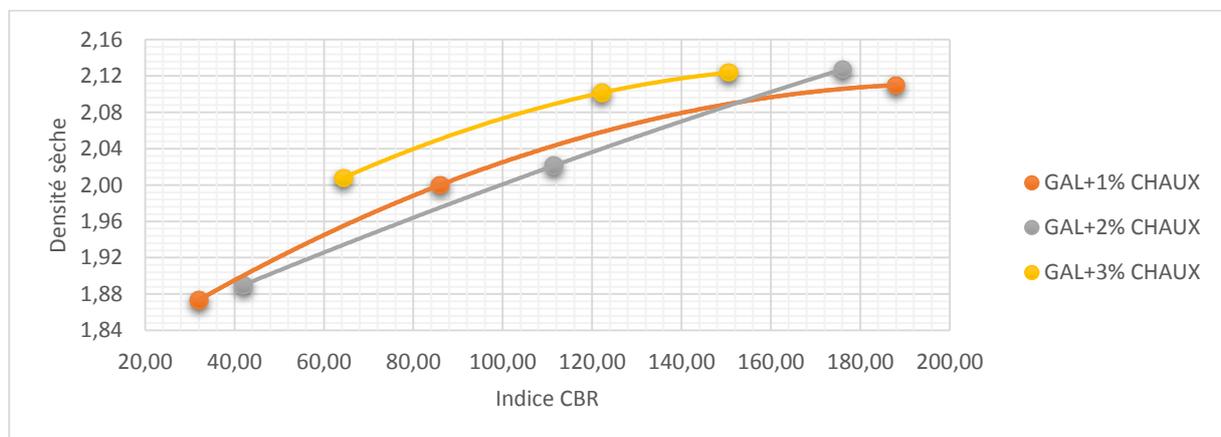


Figure 13 : Courbe CBR de GAL stabilisé à la chaux.

(Les détails sur le calcul sont illustrés sur la feuille de calcul de l'annexe 9)

Les résultats de l'indice CBR des trois essais à la chaux sont mentionnés dans le tableau 14.

Tableau 14 : Résultats de l'essai CBR du GAL stabilisé à la chaux.

	Indice CBR		
	1% Chaux	2% Chaux	3% Chaux
98%	136	142	128
95%	68	96	84
90%	26	38	24

L'amélioration à la chaux augmente jusqu'à un certain pourcentage, ce qui indique qu'il y a une limite à ne pas dépasser pour avoir une bonne propriété géotechnique.

On constate que les indices portants CBR à 95% et 98% sont plus élevés à 1% et 2% et faible à 3% (Voir tableau 14). Pourtant sa densité à 1% et 2% est plus faible que celle à 3% donc il n'existe plus de cohésion entre les deux matériaux. Mais le renforcement du matériau a permis l'amélioration des indices portant CBR.

c. Limites d'ATTERBERG

Les courbes de limite du GAL stabilisé à la chaux sont illustrées sur la figure 14.

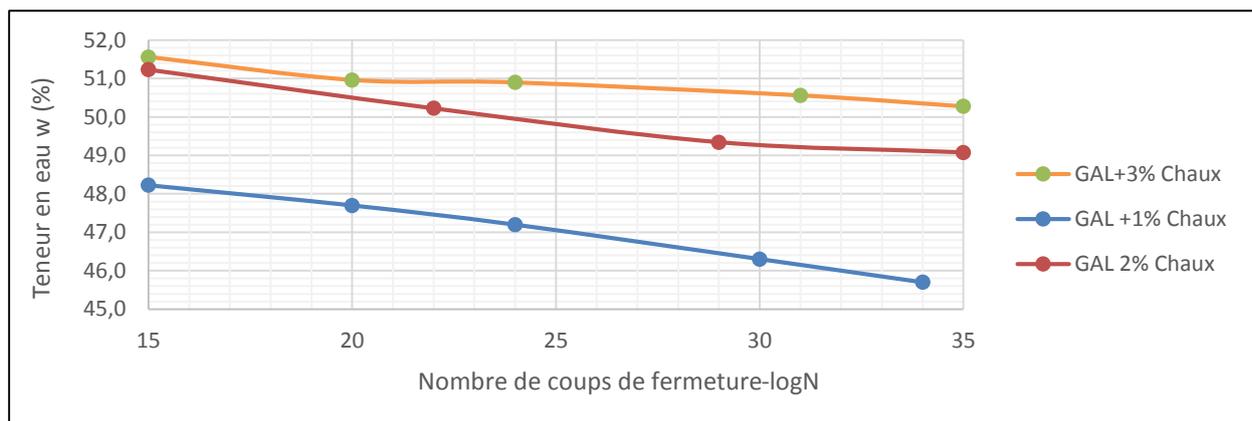


Figure 14 : Courbe de limites d'Atterberg du GAL stabilisé à la chaux.

(Les détails sur le calcul sont illustrés sur la feuille de calcul de l'annexe 10)

Les résultats sont mentionnés dans le tableau 15.

Tableau 15 : Récapitulatif des résultats de limite du GAL stabilisé à la chaux.

	1% chaux	2% chaux	3% chaux
Limite de liquidité wl	47%	50%	51%
Limite de plasticité wp	27%	29%	27%
Indice de plasticité $I_p=wl-wp$	20%	21%	24%

L'ajout de la chaux modifie les caractéristiques du matériau car on observe une grande augmentation de la limite de liquidité du GAL stabilisé à la chaux. D'après le classement de l'indice de plasticité le sol est plastique car $15 \leq IP \leq 40$.

4.4. CONCLUSION

La stabilisation avec le concassé et la chaux est nécessaire car elle permet d'avoir une bonne résistance du sol. Nous démontrerons par la comparaison avec le matériau naturel.

CHAPITRE IV. ETUDE COMPARATIVE DES RESULTATS

1. INTRODUCTION

Le chapitre « Analyse comparative des résultats » présente la comparaison des différents résultats obtenus lors l'amélioration du sol au concassé et à la chaux.

2. ANALYSE COMPARATIVE DES RESULTATS DU PROCTOR DU GAL ET DU CONCASSE

Résultats : Les courbes du GAL naturel et celles du GAL stabilisé au concassé sont illustrées sur la figure 15.

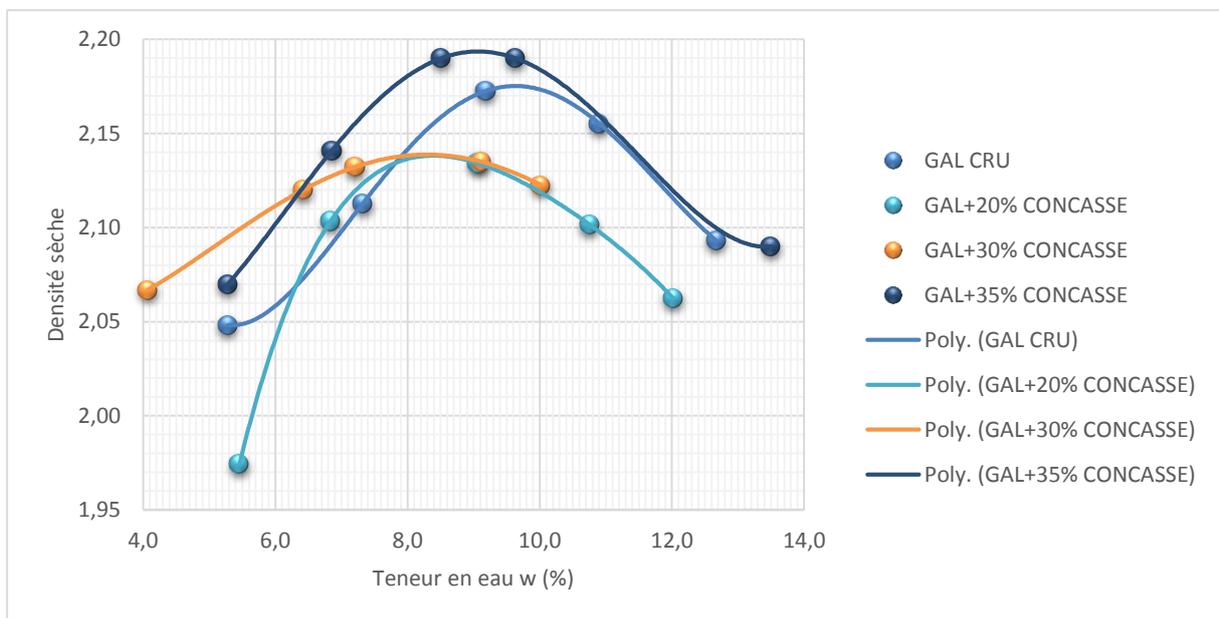


Figure 15 : Récapitulatif des essais Proctor du GAL et du concassé.

Les résultats des teneurs en eau et des densités sèches obtenues après essai du Proctor modifié sont inscrits dans le tableau 16.

Tableau 16 : Récapitulatif des résultats du Proctor GAL et du concassé.

	Teneur en eau max (%)	Densité sèche (g/cm ³)
GAL naturel	9,8	2,18
GAL+20% de concassé	8,4	2,14
GAL+30% de concassé	8,4	2,14
GAL +35% de concassé	9,2	2,19

Interprétation : Nous remarquons que le GAL à l'état naturel donne une teneur en eau de 9,8% et une densité sèche de 2,18 g/cm³. L'ajout du concassé à 20% et 30% baisse la teneur en eau à 8,4 les grains se déplacent difficilement et donc une faible densité à 2,14 et le pourcentage d'air élevé. A partir de 35% la teneur en eau augmente plus facile à compacter et donc la densité augmente cela peut s'expliquer par la diminution des particules fines par l'apport du granite concassé et le renforcement du matériau naturel. Grace au diagramme de plasticité selon AASHTO le GAL à l'état naturel est de type A-4 et de A-2-4. l'ajout de 1%,2% et de 3% donne un type de A-6 et de A-2-6.

3. ANALYSE COMPARATIVE DES RESULTATS DU CBR DU GAL ET DU CONCASSE

Résultats : Les quatre courbes sont illustrées sur la figure 16.

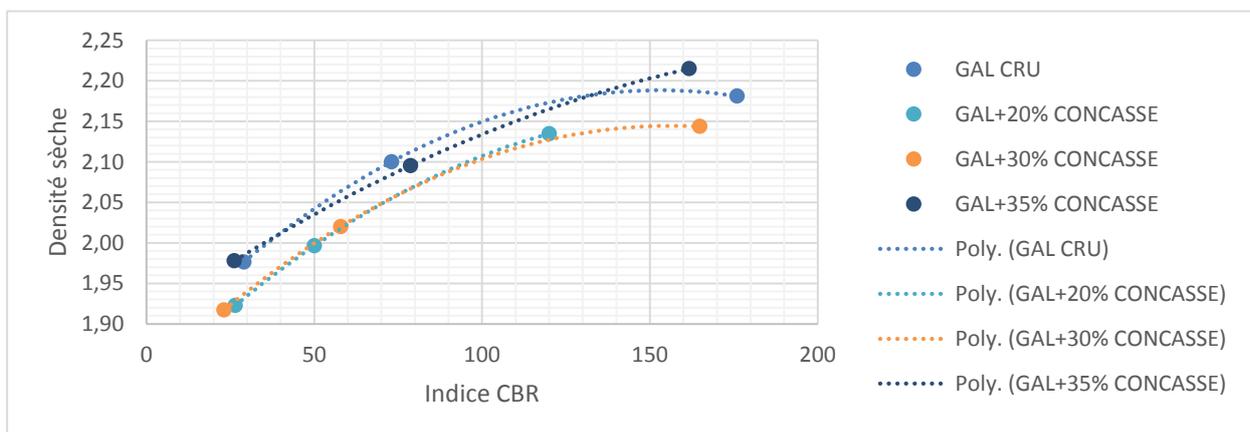


Figure 16 : Récapitulatif des essais CBR du GAL et du concassé.

Le tableau 17 rapporte les résultats obtenus après l'essai CBR du GAL et du concassé.

Tableau 17 : Récapitulatif des résultats des CBR du GAL et du concassé.

	98% OPM	95% OPM	90% OPM
GAL naturel	100	56	24
GAL+20% de concassé	102	62	26
GAL+30% de concassé	138	84	38
GAL +35% de concassé	104	68	24

Interprétation : Le matériau à l'état naturel donne un indice portant CBR de 100 à 98% et 56 à 95%. L'amélioration aux concassés à 20% et 30% augmente et donne respectivement un CBR de 102, 138 à 98% OPM et 62, 84 à 95% OPM. Tandis que l'ajout à 35% fait baisser son indice. On peut expliquer que l'ajout à 20% n'est pas suffisant par manque de grosses particules et à 35% le concassé de granite occupe assez de place. Le renforcement du matériau à 30% est celui recommandé. En définitive pour une couche de base nous pouvons utiliser ce GAL avec une amélioration à 30% de concassé pour obtenir une bonne résistance de la chaussée.

4. EVOLUTION DE LA DENSITE SECHE EN FONCTION DU TAUX D'AMELIORATION DU CONCASSE

L'essai Proctor modifié a été réalisé sur la GAL améliorée à plusieurs pourcentages de concassé de granite. Pour chaque mélange, la densité sèche à l'OPM a été déterminée. Le graphe de la figure 17 donne l'évolution de la densité sèche en fonction du taux d'amélioration.

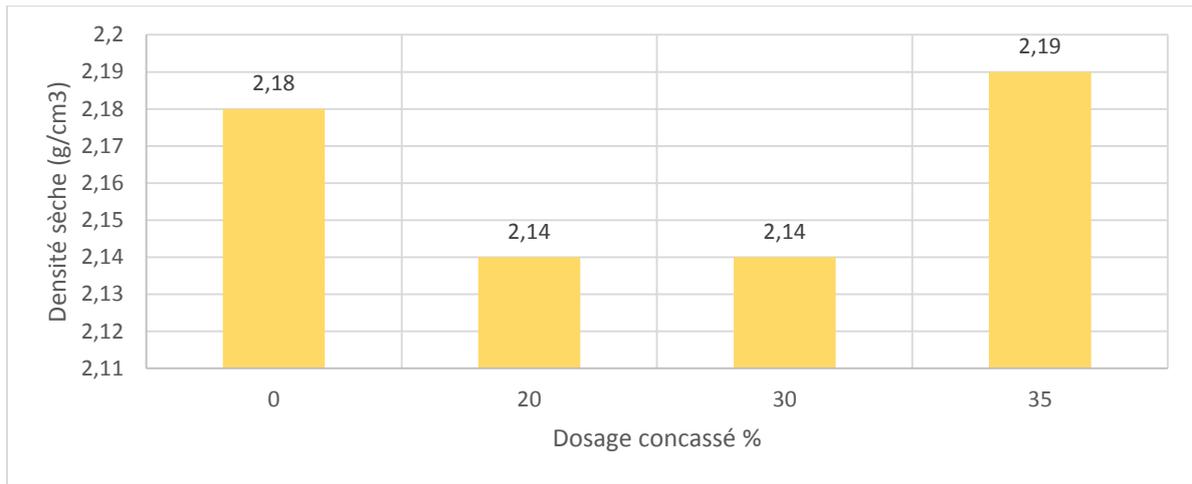


Figure 17 : Evolution de la densité sèche optimale en fonction du taux d'amélioration du concassé

Interprétation : L'observation montre une baisse de densité avec l'amélioration à 20 et 30%. La latérite objet de cette étude atteint une densité sèche maximale de $2,19t/m^3$ lorsqu'elle est améliorée avec 35% de concassé de granite. Ce résultat est supérieur à la densité sèche de la latérite naturelle qui est de $2,18 t/m^3$, et donc plus favorable.

5. EVOLUTION DE LA PORTANCE CBR EN FONCTION DU TAUX D'AMELIORATION DU CONCASSE

Le graphique de la figure 18 donne l'évolution de la porte CBR à 90% à 95% et à 98% de l'OPM de la latérite améliorée à plusieurs pourcentages en fonction du taux d'amélioration.

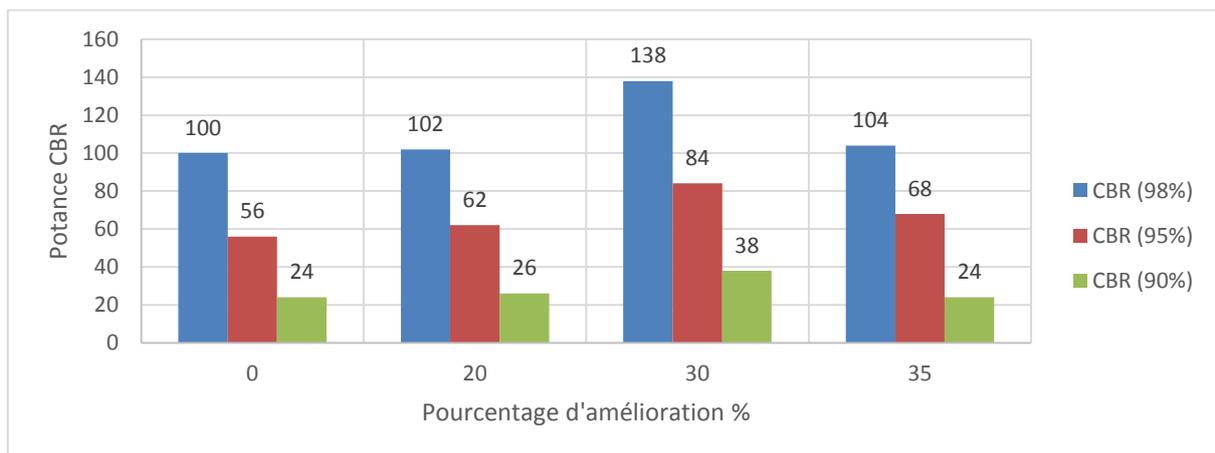


Figure 18 : Evolution de la portance CBR en fonction du taux d'amélioration au concassé.

Ces graphiques montrent que la latérite atteint une portance maximale pour l'amélioration à 30% de concassé de granite. C'est elle qui confère une meilleure portance CBR.

6. EVOLUTION DE L'INDICE DE PLASTICITE AU TRAITEMENT A LA CHAUX

Les résultats des limites sont inscrits dans le tableau 18.

Tableau 18 : Récapitulatif des résultats de limite du GAL et de la chaux.

	0%	1%	2%	3%
Limite de liquidité wl	25%	47%	50%	51%
Limite de plasticité wp	14%	27%	29%	27%
Indice de plasticité Ip=wl-wp	11%	20%	21%	24%

Le graphique de la figure 19 donne l'évolution de l'indice de plasticité en fonction du taux d'amélioration de la latérite à plusieurs pourcentages de chaux.

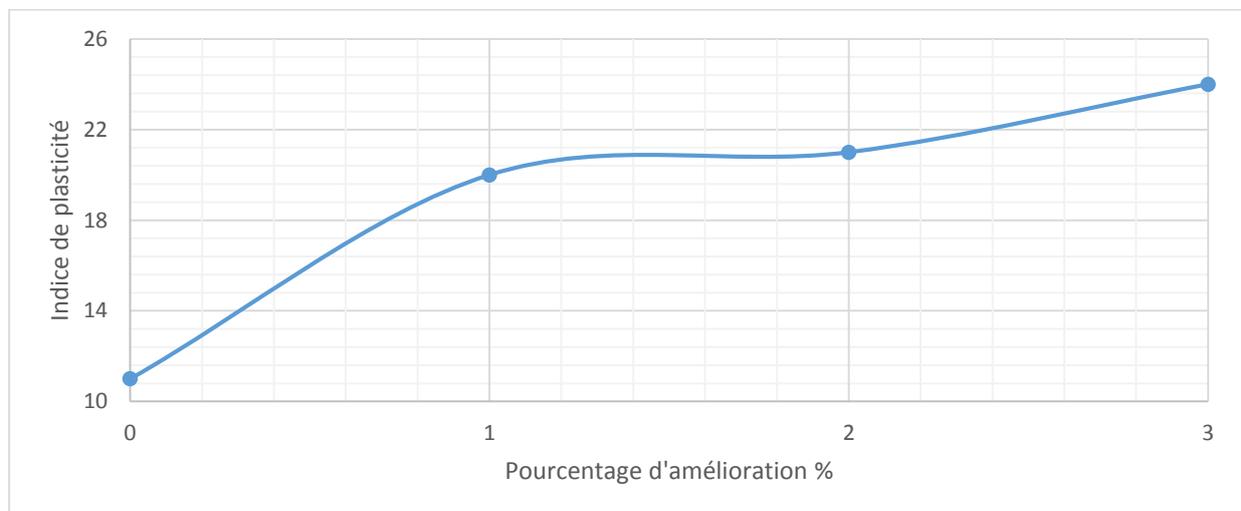


Figure 19 : Evolution de l'indice de plasticité au traitement à la chaux.

La courbe évolue avec l'ajout de la chaux. Plus on augmente la chaux, plus la latérite devient plastique.

7. ANALYSE COMPARATIVE DES RESULTATS DU PROCTOR DU GAL ET DE LA CHAUX

Résultats : Les courbes de Proctor du GAL naturel et du GAL stabilisé à la chaux sont illustrées sur la figure 20.

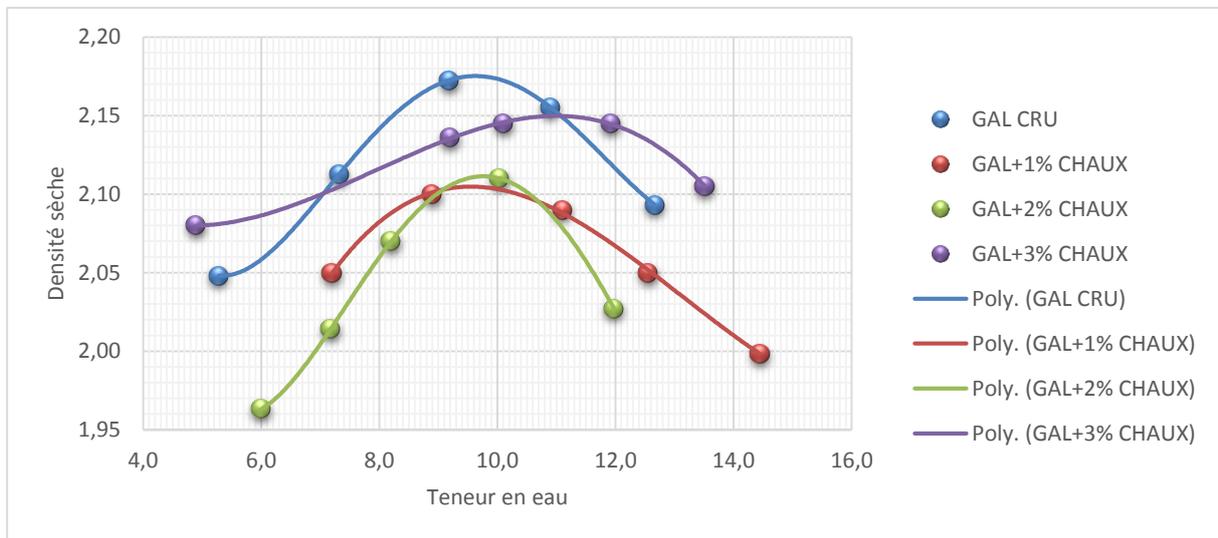


Figure 20 : Récapitulatif de Proctor GAL et de la chaux.

Le tableau 19 rapporte les résultats obtenus après l'essai Proctor du GAL naturel et du GAL stabilisé à la chaux.

Tableau 19 : Récapitulatif des résultats Proctor du GAL et de la chaux.

	Teneur en eau max (%)	Densité sèche (g/cm ³)
GAL CRU	9,8	2,18
GAL+1% Chaux	9,8	2,11
GAL+2% Chaux	10	2,11
GAL +3% Chaux	11	2,15

Interprétation : Nous remarquons que le GAL à l'état naturel donne une teneur en eau et une densité élevée. L'ajout de la chaux à 1% fait augmenter la teneur en eau et donc diminue les vides et la densité diminue de même que l'ajout à 2% chaux ce qui est positif. A partir de 3% la teneur augmente car la chaux absorbe beaucoup d'eau et permet un bon compactage. L'ajout de la chaux a une limite et dans ce cas nous ne devons l'améliorer à plus de 2%. L'augmentation de la teneur en eau optimale et l'aplatissement de la courbe Proctor indique que le matériau sera plus facile à traiter car il est rendu moins sensible à l'eau et accepte plus d'humidité.

8. ANALYSE COMPARATIVE DES RESULTATS DU CBR DU GAL ET DE LA CHAUX

Les courbes de CBR du GAL naturel et du GAL stabilisé à la chaux sont illustrées sur la figure 21.

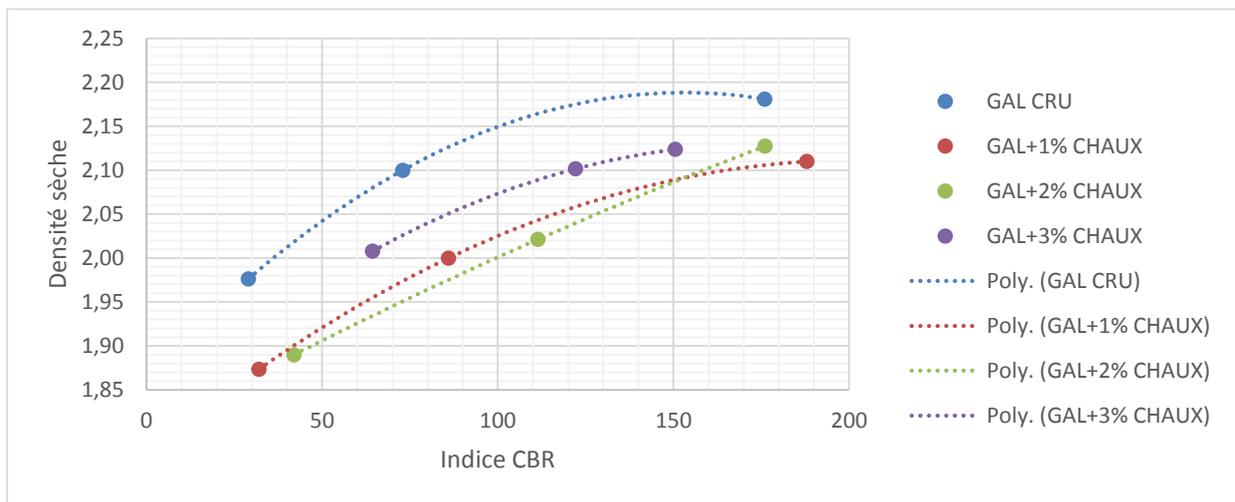


Figure 21 : Récapitulatif du CBR GAL et de la chaux

Le tableau 20 rapporte les résultats obtenus après l'essai CBR du GAL et de la chaux.

Tableau 20 : Récapitulatif des résultats des CBR GAL et de la chaux

	98% OPM	95% OPM	90% OPM
GAL CRU	100	56	24
GAL+1% chaux	130	86	42
GAL+2% chaux	142	96	48
GAL+3% chaux	128	80	36

Interprétation : Nous remarquons que le GAL à l'état naturel donne une portance CBR de 100 à 98% à l'OPM et cela ne répond pas aux spécifications demandées. Après ajout de la chaux de 1% et de 2%, nous obtenons une progression respective de 130 à 142 puis une baisse à l'ajout de 3%. Nous ne retiendrons que l'ajout à 2% avec ce GAL étudié pour une couche de base car nous avons une bonne portance.

9. EVOLUTION DE LA DENSITE SECHE AU TRAITEMENT A LA CHAUX

La figure 22 montre les résultats liés à l'influence du taux de stabilisation par la chaux sur la densité sèche. On observe que la latérite atteint une densité sèche faible lorsqu'elle est améliorée avec 2% et elle augmente à 3% de chaux. On aurait tendance à utiliser celle améliorée à 3%, mais compte tenu du fait que la résistance est meilleure à 2% et respecte la sensibilité à l'eau nous porterons le choix sur cette stabilisation.

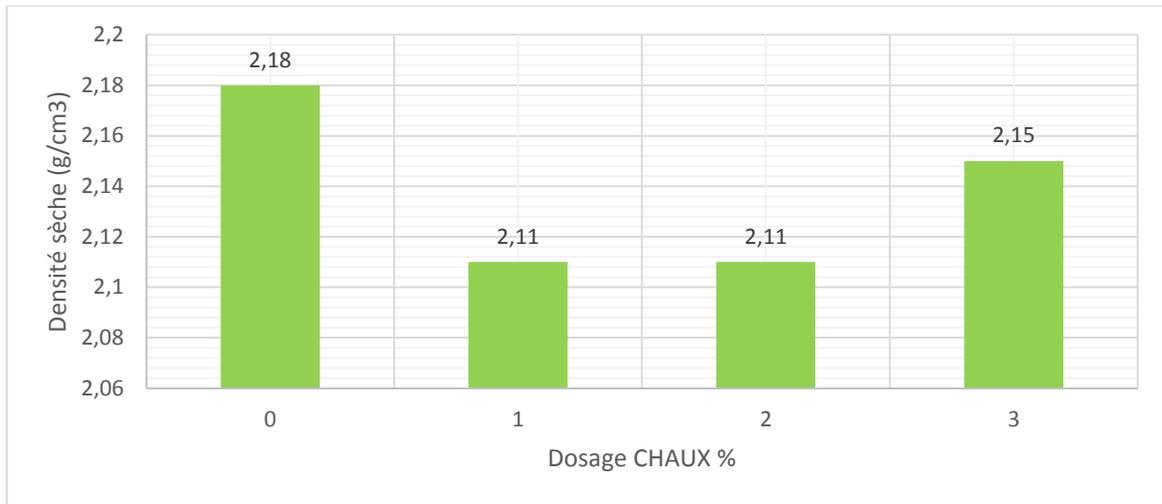


Figure 22: Evolution de la densité sèche optimale en fonction du taux d'amélioration à la chaux

10. EVOLUTION DE LA PORTANCE CBR AU TRAITEMENT A LA CHAUX

La figure 23 montre les résultats liés à l'évolution de la portance CBR du taux de stabilisation par la chaux. Ces courbes montrent que la latérite atteint une portance maximale pour l'amélioration à 2% de chaux. C'est elle qui confère une meilleure résistance.

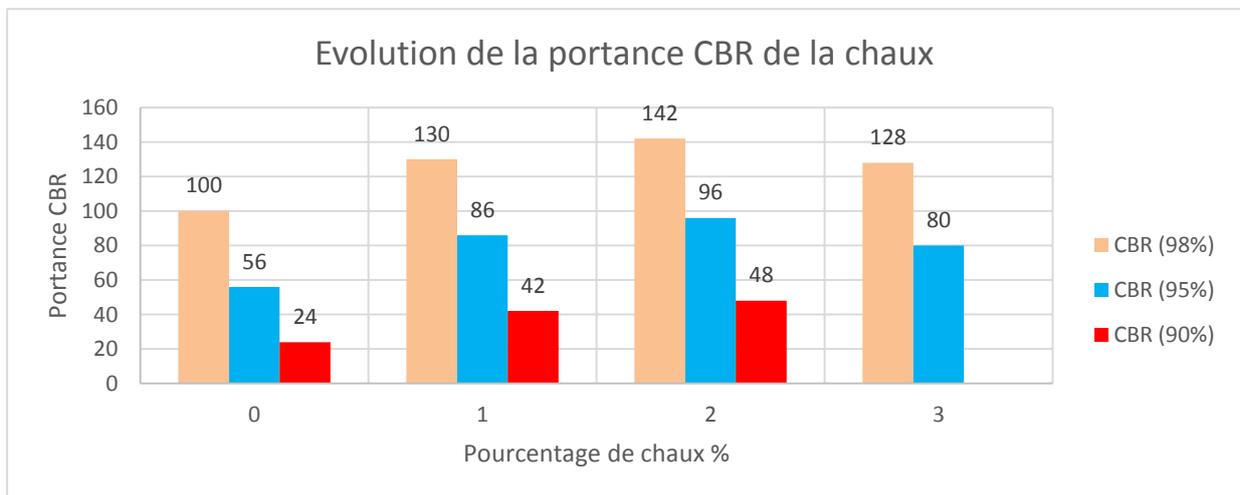


Figure 23 : Evolution de la portance CBR en fonction de taux d'amélioration de la chaux.

Le tableau 21 mentionne tous les résultats obtenus lors des différents essais effectués.

Tableau21 : Récapitulatif des valeurs des différents essais

Désignation	Wopt	yopt	CBR (nombre de coups)			wl	wp	IP
			56	25	10			
GAL cru	9,8	2,18	100	56	24	25	14	11
GAL+1% Chaux	9,8	2,11	136	68	26	47	27	20
GAL+2% Chaux	10	2,11	142	96	38	50	29	21
GAL+3% Chaux	11	2,15	128	84	24	51	27	24
GAL+20% Concassé	8,4	2,14	102	62	26	-	-	-
GAL+30% Concassé	8,4	2,14	138	84	68	-	-	-
GAL+35% Concassé	9,2	2,19	104	68	24	-	-	-

11. CONCLUSION

En définitive les différentes améliorations n'ont pas d'influence sur γ_d , une légère diminution de Wopt au niveau du concassé.

CHAPITRE V. ETUDE ECONOMIQUE

L'analyse économique revêt une importance capitale dans la prise de décision sur l'utilisation d'une technique de construction routière. Pour cela il est tout à fait nécessaire de faire des études économiques pour une bonne comparaison des différentes variantes proposées.

Nous posons un certain nombre d'hypothèses pour mener à bien cette évaluation financière que nous tentons de faire. Les hypothèses sont les suivantes :

- Le coût sera évalué pour un kilomètre de route pour chaque variante (latérite non traitée, latérite traitée au concassé, latérite traitée à la chaux).
- La couche de base de la route aura les caractéristiques suivantes: Largeur =3,50 m ; Epaisseur = 15 cm
- La latérite est située juste à quelques mètres de la chaussée 3km
- Les différents prix employés sont ceux utilisés de façon générale au niveau du marché par les entreprises et les transporteurs.

Latérite non traitée

Le volume de latérite utilisé pour faire un kilomètre est le suivant:

Volume compacté $V_c = 3.50 \times 0.15 \times 1000 = 525 \text{ m}^3$

Volume foisonné $V_f = V_c \times \text{coefficient de foisonnement (Cf)}$ avec un $C_f=1.2$

$$V_f = 525 \times 1.2 = 630 \text{ m}^3$$

Le prix sera $P = V_f \times 8500 = 630 \times 8500$

$$P = 5.355.000 \text{ FCFA}$$

On a donc pour 1 km de couche de base en latérite non traitée la somme de 5355000 FCFA à dépenser pour avoir la quantité nécessaire de latérite à mettre en œuvre.

Latérite traitée à la chaux

On va utiliser un pourcentage de 2% de chaux. Avec le volume foisonné de matériaux nécessaire pour avoir 1 km de couche de base avec une épaisseur de 15 cm est une largeur de 3.5 m déjà connu, on peut déterminer les volumes de latérite V_l et de la chaux V_c . La densité de la chaux qui est de 2100 kg/m^3 et celle de la latérite est de 2180 kg/m^3

$$V_{\text{chaux}} = \frac{0.02 \times M_m}{M_{\text{chaux}}}$$

Avec $M_m = V_f \times (0.980 \times \gamma_{\text{latérite}} + 0.02 \times \gamma_{\text{chaux}})$

$$= 630(0.980 \times 2180 + 0.02 \times 2100)$$

$$= 630 \times 2178.4 = 1372392 \text{ kg}$$

$$V_{\text{chaux}} = \frac{0.020 \times 1372392}{2100} = 13.07 \text{ m}^3$$

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

$$\text{Et } V_{\text{latérite}} = \frac{0.980 \cdot 1372392}{2130} = 631.43 \text{ m}^3$$

La masse de la chaux sera donc $M_c = V_c \cdot \gamma_{\text{chaux}} = 13.07 \cdot 2100 = 27447 \text{ kg}$

Avec 1000F le kilogramme le prix total de la chaux pour 1km de couche de base est de $P_c = 27447 \cdot 1000 = 27447000 \text{ FCFA}$

Le prix de la latérite est $P_{\text{lat}} = 631.43 \cdot 8500 = 5367155 \text{ FCFA}$

$P_{\text{total}} = P_{\text{latérite}} + P_{\text{chaux}} = 27447000 + 5367155$

$P_{\text{total}} = 32.814.155 \text{ FCFA}$

Latérite traitée au concassé

On va utiliser un pourcentage de 30% de concassé. Avec le volume foisonné de matériaux nécessaire pour avoir 1 km de couche de base avec une épaisseur de 15 cm est une largeur de 3.5 m déjà connu, on peut déterminer les volumes de latérite et de concassé. La densité du concassé qui est de 2140 kg/m^3 et celle de la latérite est de 2180 kg/m^3

$$V_{\text{chaux}} = \frac{0.30 \cdot M_m}{M_{\text{concassé}}}$$

Avec $M_m = V_f \cdot (0.70 \cdot \gamma_{\text{latérite}} + 0.30 \cdot \gamma_{\text{concassé}})$

$$= 630(0.70 \cdot 2180 + 0.3 \cdot 2140)$$

$$= 630 \cdot 2168 = 1365840 \text{ kg}$$

$$V_{\text{concassé}} = \frac{0.30 \cdot 1365840}{2140} = 191.5 \text{ m}^3$$

$$\text{Et } V_{\text{latérite}} = \frac{0.70 \cdot 1365840}{2130} = 448.87 \text{ m}^3$$

La masse du concassé sera donc $M_c = V_c \cdot \gamma_{\text{chaux}} = 191.5 \cdot 2140 = 409810$

Le prix total du concassé est de 6000FCFA.

Pour 1km de couche de base $P_c = 409810 \cdot 6000 = 2458860000 \text{ FCFA}$

Le prix de la latérite est $P_{\text{lat}} = 448.87 \cdot 8500 = 3815395 \text{ FCFA}$

$P_{\text{total}} = P_{\text{latérite}} + P_{\text{concassé}}$

$$= 2458860000 + 3815395$$

$P_{\text{total}} = 2.462.675.395 \text{ FCFA}$

Nous pouvons remarquer que le concassé coute plus chère que la chaux. Ainsi avec les avantages économiques que donne la chaux il serait bon de l'utiliser.

CHAPITRE VI. IMPACT ENVIRONNEMENTAL

Parmi les principaux impacts positifs attendus avec la chaux et le concassé figurent :

- ✓ L'amélioration de la couche de chaussée pour une bonne résistance;
- ✓ L'amélioration de l'accès aux infrastructures socio-économiques;
- ✓ La contribution à l'amélioration des échanges commerciaux et au développement des activités agropastorales.

Par contre, les principaux impacts négatifs du projet sont :

- ✓ Risque de perte du couvert végétal et de dégradation de sols suite à l'exploitation des carrières et à l'installation des chantiers.
- ✓ Risque de contamination des sols et des ressources hydriques liés aux accidents probables avec des produits dangereux utilisés à savoir la chaux.
- ✓ Le risque d'accélération de l'envasement du lit par l'érosion

Mesures d'adaptation et d'atténuation : Ces incidences négatives sont maitrisables grâce à l'application des mesures d'atténuation suivantes:

- ✓ Des aires doivent être réservées et aménagées pour l'entretien le ravitaillement et le nettoyage des engins utilisés pour limiter les risques de contamination et de dégradation de la qualité des eaux.
- ✓ Etanchéifier les accotements des réseaux d'assainissement et des bassins de stockages pour éviter toute infiltration de substance polluante dans la zone non saturée.
- ✓ Entretien régulier de l'ensemble des dispositifs de drainage et d'épuration.

CONCLUSION ET PERSPECTIVES

CONCLUSION

L'étude de la portante d'un matériau est une étape capitale pour son application sur le terrain. Nous nous sommes basés sur l'étude de stabilisation en géotechnique routière pour une utilisation sur la chaussée. Les essais au laboratoire nous ont permis de constater que le matériau utilisé à l'état naturel ne respecte pas les spécifications demandées dans le cahier de prescription technique d'où la nécessité d'une étude d'amélioration de ses performances mécaniques. L'ajout du concassé augmente la capacité portante du matériau à partir de 30% et à 35%, nous constatons que la densité est forte pour 35% mais sa capacité portante baisse donc il est nécessaire de conserver celle à 30%. L'ajout de la chaux vive jusqu'à 2% quant à elle diminue la teneur en eau mais augmente sa capacité portante à 98% de l'OPM. En définitif le dosage de ces deux liants a une limite sinon devient néfaste pour la chaussée. Dans la construction d'un ouvrage nous sommes intéressés non pas nécessairement à la densité mais plutôt aux propriétés comme la résistance la rigidité la perméabilité. L'effet de compactage dépend de la nature du sol, l'effet ou énergie de compactage la teneur en eau ou le degré de saturation. La chaux présente de nombreux avantages, notamment la préservation de l'environnement, car elle limite l'exploitation des gisements de granulats (technique économe en granulat d'apports) ; une économie sur le coût global des projets. La technique du traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques se développe considérablement dans les couches d'assises de chaussées (couche de fondation et couche de base), ce qui prouve l'excellence de la technique. Cependant la présence de nombreuses carrières de granite sur presque toute l'étendue du territoire du Burkina Faso est un facteur qui pourrait encourager l'utilisation de la technique de la litho stabilisation. Remarquons que la technique qui est la mieux appropriée entre les deux stabilisations est la chaux car à long terme elle résiste mieux aux trafics et intempéries par rapport aux concassés qui se dégradent vite à cause des granulats qui se déplacent et ne permettent pas une cohésion entre les matériaux. La vitesse de désagrégation du granite dépend du climat mais s'accélère une fois que le granite est devenu une roche grenue non consolidée de type sable très perméable en raison de sa porosité d'interstices. Le mélange du graveleux latéritique et du concassé est nécessaire de s'effectuer sur le terrain car il permet d'obtenir une bonne humidification et d'avoir un bon compactage. L'utilisation de la chaux est un moyen pour assécher les sols humides et pour améliorer à la fois la maniabilité et les capacités portantes tout en augmentant la stabilité et l'imperméabilité.

PERSPECTIVES

Afin d'élargir les différentes possibilités de choix concernant la géotechnique routière, les recommandations suivantes sont à entreprendre :

- Etendre la recherche sur plusieurs types de matériaux par ajout d'autres pourcentages de chaux et de concassé pour connaître le comportement.
- Il est nécessaire de vérifier sur long terme la portance des matériaux stabilisés car certains matériaux perdent leur résistance dans le temps.
- Reprendre les études à chaque projet afin de déterminer le taux d'amélioration et ne pas utiliser systématiquement le taux de 30% de concassé et de la chaux.
- Encourager les étudiants à faire des travaux de recherche au laboratoire afin d'arriver à améliorer nos projets routiers pour une durabilité.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages et articles

- A.Le ROUX (septembre-octobre 1969). « Traitement des sols argileux par la chaux, Réf 653 ».
- CEBTP (1984). « Guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux ». Centre Expérimentale De Recherches et d'Etudes du Bâtiment et des Travaux Publics.
- CEBTP (1990). « Utilisation des graveleux latéritiques en technique routière ». Institut des sciences et des techniques de l'équipement et de l'environnement pour le développement (ISTED), Paris, France».
- Conférence des Jeunes Géotechniciens Africains (Tunis mars 2007). « Utilisation de la technique de la litho Stabilisation en assise de chaussée».
- Ecole d'Avignon (2003), «Techniques et pratiques de la chaux, 2e édition 2003», groupe Eyrolles, ISBN 2-212-11265-3.
- Khelifa H., Mohamed G.Wiem K et Hanifi M., département de génie civil, « Effet de la combinaison de la chaux et de la pouzzolane naturelle sur la durabilité des sols argileux».
- LEMC/2iE (2003). « Fiches Aide-mémoire des essais au laboratoire », Kamboinsé, Burkina Faso.
- R.Peltier, (1959). «Manuel du laboratoire routier » Dunod, Paris
- Pierre LOMPO, (1980). « Les matériaux utilisés en construction routière en Haute Volta, un Matériau non traditionnel le lithostab ». IRF IVème Conférence Routière Africaine-Nairobi, Kenya.
- Reunion des laboratoires départementaux (2008), «les études de traitement des sols en couche de forme».
- Route n^o 89, le traitement des sols à la chaux et aux liants hydrauliques, documentation technique septembre 2004
- SETRA-LCPC (1994). « Conception et dimensionnement des structures de chaussée ». République française, ministère de l'équipement, des transports et du tourisme.

Sites internet

Les dates de consultation des pages web Avril- Aout.

- <https://fr.m.wikipedia.org-granite>
- www.2ie-edu.org-assets
- www.eupave.eu-cimbeton-publicaties
- www.enrdd.com/documents

ANNEXES

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

A/ CLASSIFICATION DES SOLS

Les différents paramètres pour cette classification sont la granulométrie et le pourcentage des fines (<0,080 mm), les limites d'Atterberg, la portance CBR, les caractéristiques de compactage(Proctor).On distingue deux types de classifications.

I/CLASSIFICATION HRB (HIGHWAY RESEARCH BOARD).

Les plus graveleux sont les classes A-2-4 à A-2-7 tandis que les plus argileux (passant à 0,080mm>35%) sont des A-7-5 à A-7-6

Tableau : Classification des sols et des mélanges d'agrégats par AASHTO.

Classification générale	Matériaux granulaires (35% au moins passant 0.075 mm)							Matériaux limo-argileux (plus de 35% passant 0.075 mm)			
Classification par groupes	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5 A-7-6
Analyse granulométrique, pourcentage de passant : 2.00 mm (#10) 0.425 mm (#40) 0.075 mm (#200)	50 max 30 max 15 max	- 50 max 25 max	- 51 min 10 max	- - 35 max	- - 35 max	- - 35 max	- - 35 max	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min	- - 36 min
Caractéristique de la fraction passant 0.0425 mm (#40).Limite de liquidité Indice de plasticité	-		-	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min	40 max 10 max	41 min 10 max	40 max 11 min	41 min 11 min
Indice de groupe	0		0	0		4 max		8 max	12 max	16 max	20 max
Types habituels de matériaux caractéristiques du groupe	Pierrailles, gravier et sable		Sable fin	Graviers et sables limoneux ou argileux				Sables limoneux		Sables argileux	
Evaluation du matériau comme sous couche de fondation	Excellent à bon							Passable à faible			

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

II/CLASSIFICATION SELON USCS (UNIFIED SOIL CLASSIFICATION SYSTEM)

Elle s'appuie sur l'analyse granulométrique et sur les caractéristiques de plasticité de la fraction fine.

a) Les sols grenus : Ils contiennent plus de 50% des éléments en poids $>80\mu\text{m}$. Les graveleux latéritiques entrent en général dans la catégorie des sols grenus.

b) Les sols fins : Ils contiennent plus de 50% des éléments en poids $<80\mu\text{m}$. Ils utilisent les critères de plasticité liés aux limites d'Atterberg précisées dans le diagramme de plasticité. Selon le diagramme on définit les limons très plastiques Lt, les limons peu plastiques Lp, les argiles très plastiques At et les argiles peu plastiques Ap.

c) Guide pratique de dimensionnement des routes pour les pays tropicaux

Graveleux latéritique	Couche de base	Couche de fondation
Densité sèche OPM	2,00 minimums	1,90 minimum
Limite de liquidité	35 maximums	50 maximums
Indice de plasticité	25 maximums	15 maximums
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
0,080mm	5-20	5-35
CBR après 4 jours d'imbibition		
Pour 100% OPM	80 minimums	
Pour 97% OPM		30 minimums

Tableau: Valeurs du CBR pour couche de fondation, de base en fonction de la classe du trafic.

Valeur du CBR à 95% OPM après 96h d'imbibition	Classe de trafic				
	T1	T2	T3	T4	T5
Fondation	25	30	30	30	35
Base	60	80	80	-	-

T1 :100 à 300 véhicules par jour, T2 :300 à 1000 véhicules par jour, T3 :1000 à 3000 véhicules par jour, T4 :3000 à 6000 véhicules par jour, T5 :6000 à 12000 véhicules par jour.

B/ ANALYSE GRANULOMETRIQUE

➤ BUT DE L'ESSAI

L'essai a pour but de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux des grains de différentes dimensions qui constituent un matériau grenu (un sable, gravier ou mélange).

➤ DEFINITION

L'analyse granulométrique est le procédé par lequel on détermine la proportion des différents constituants solides d'un matériau grenu en fonction de leur grosseur à l'aide de tamis. Ainsi en fonction de la dimension des grains on distingue :

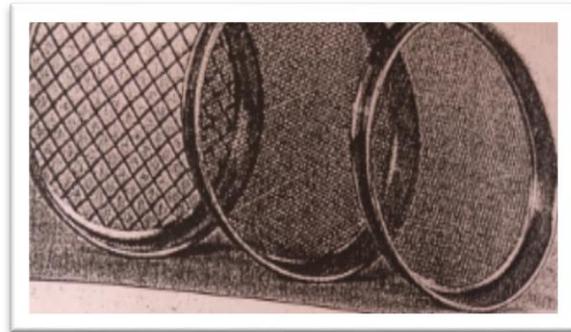
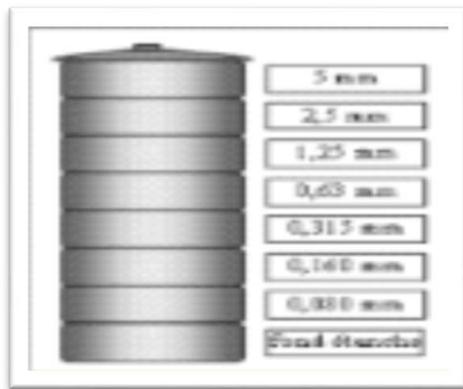
- les cailloux & pierres	25 mm < D
- les gravillons grossiers	20 mm < D < 25 mm
Moyens	1 2,5 mm < D < 1 6 mm
Fins	8 mm < D < 1 0 mm
- les sables grossiers	2,5 mm < D < 5 mm
Moyens	0,63 µm < D < 1 ,25 mm
Fins	80 µm < D < 31 5 µm
- Les Fillers	D < 80 µm

➤ PRINCIPE

L'essai consiste par brassage sous l'eau séparer les grains agglomérés au-dessus d'un tamis de 0,063 mm afin d'éliminer les fillers (< 80 µm) puis sécher. Classer les différents grains constituant l'échantillon au moyen d'une série de tamis normalisés à mailles carrées emboîtés les uns les autres.

➤ MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- Dispositif de lavage avec arroseur
- Tamis de la série suivante pour le module de finesse (NFP 1 8-560) : 0,315 - 0,63 - 1 ,25 - 2,5 - 5 - 1 0 - 20 - 40 - 80 mm ;
- Fond de cuve et couvercle ;
- 1 brosse métallique, 1 pinceau ;
- Balance portée 6 kg (mini.) précision 1 g, étuve.



➤ **MODE OPERATOIRE**

Effectuer une prise d'échantillon de masse humide (Mh). L'échantillon soumis à l'essai est préalablement séché à l'étuve pendant au moins quatre heures à $105 \pm 5^\circ\text{C}$. Il est ensuite lavé au tamis de $80\mu\text{m}$ qui représente le plus petit diamètre des tamis. Le lavage est repris plusieurs fois jusqu'à ce que l'eau de lavage devienne claire. Ensuite le matériau humide est remis à l'étuve pour séchage pendant au moins vingt-quatre heures à $105 \pm 5^\circ\text{C}$. Après cela, le matériau sec est pesé à l'aide d'une balance, afin d'obtenir la masse de l'échantillon sec notée M_s . Le matériau est versé dans une colonne de tamis constituée par l'emboîtement de tamis à mailles carrées classés de haut en bas dans l'ordre de maille décroissante. Cette colonne est agitée manuellement ou mécaniquement, puis les tamis sont repris un à un en commençant par celui qui a le plus grand diamètre. Le refus des tamis est pesé de façon cumulée en commençant par celui ayant le plus grand diamètre. Calculer pour chaque tamis les pourcentages de refus cumulés de matériau par rapport à la masse M_s : $R_{ci}\% = \frac{M_{rci}}{M_s} * 100$ puis tracer la courbe granulométrique.

➤ **RESULTAT**

Les résultats de l'analyse granulométrique par tamisage sont reportés sur un diagramme logarithmique appelé courbe semi granulométrique. Le coefficient d'uniformité indique si la granulométrie du matériau est uniforme ou étalée et le coefficient de courbure donne la courbure des particules du matériau. Si la valeur du coefficient de courbure est comprise entre 1 et 3, alors on dira qu'il s'agit d'un matériau « bien gradué ». Dans le cas contraire, le matériau est dit « mal gradué ». Ces coefficients se calculent à partir des diamètres correspondant à 10%, 30% et 60% de passants. Le coefficient d'uniformité ou de HAZEN : $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$ qui caractérise l'étalement de la granulométrie ; Le coefficient de courbure $C_c = \frac{(d_{60})^2}{d_{10} \times d_{30}}$.

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

C/ LIMITES D'ATTERBERG

➤ BUT DES ESSAIS

Déterminer la teneur en eau d'un sol à son passage de l'état liquide à l'état plastique par la méthode de la coupelle. Les résultats de ces essais permettent de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement sous l'action des variations des teneurs en eau.

➤ DEFINITION

Les limites d'Atterberg sont des teneurs en eau pondérales caractéristiques du sol. Ces limites sont déterminées sur la fraction de sol passant au travers du tamis 400µm. Les deux limites utilisées sont la limite de liquidité w_l (teneur en eau d'un sol remanié caractérisant la transition entre un état liquide et un état plastique), la limite de plasticité W_p (teneur en eau d'un sol remanié caractérisant la transition entre un état plastique et un état solide-le sol durcit et se fissure). A partir de ces deux résultats on détermine l'indice de plasticité I_p : il définit l'étendue du domaine plastique du sol entre les limites de liquidité et de plasticité $I_p = w_l - w_p$.

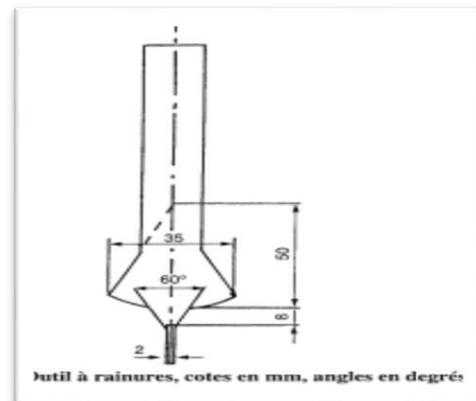
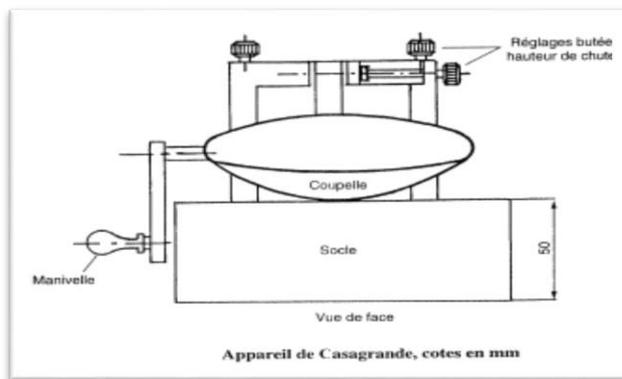
➤ PRINCIPE

L'essai s'effectue en deux phases à savoir la recherche de la teneur en eau pour laquelle une rainure de dimension normalisée pratiquée dans le sol disposé dans la coupelle de Casagrande se ferme sous l'action de 25 chocs (w_l) et la teneur en eau pour laquelle la formation manuelle de rouleaux de 3 mm de diamètre se fissure lorsqu'on le soulève (w_p).

➤ MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- Balance permettant les pesées,
- Des spatules et une truelle, étuve, bassine, pipette d'eau,
- Tamis à mailles carrées de 0,4 mm d'ouverture,
- Four à micro-onde,
- Appareil de Casagrande constitué de coupelle montée sur un support métallique avec manivelle le tout fixé sur un socle, une plaque lisse pour le malaxage et la confection de rouleau.

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin



➤ **MODE OPERATOIRE**

Prendre un échantillon représentatif du sol et le mettre à imbiber dans un récipient plein d'eau pendant 24 heures. Tamiser ce matériau imbibé par voie humide sur un tamis de 400 μ m, l'ensemble du tamisât et des eaux de lavage étant ensuite décantés pendant 12 heures. L'eau claire surnageant est siphonnée en prenant garde de ne pas entrainer de particules solides fines.

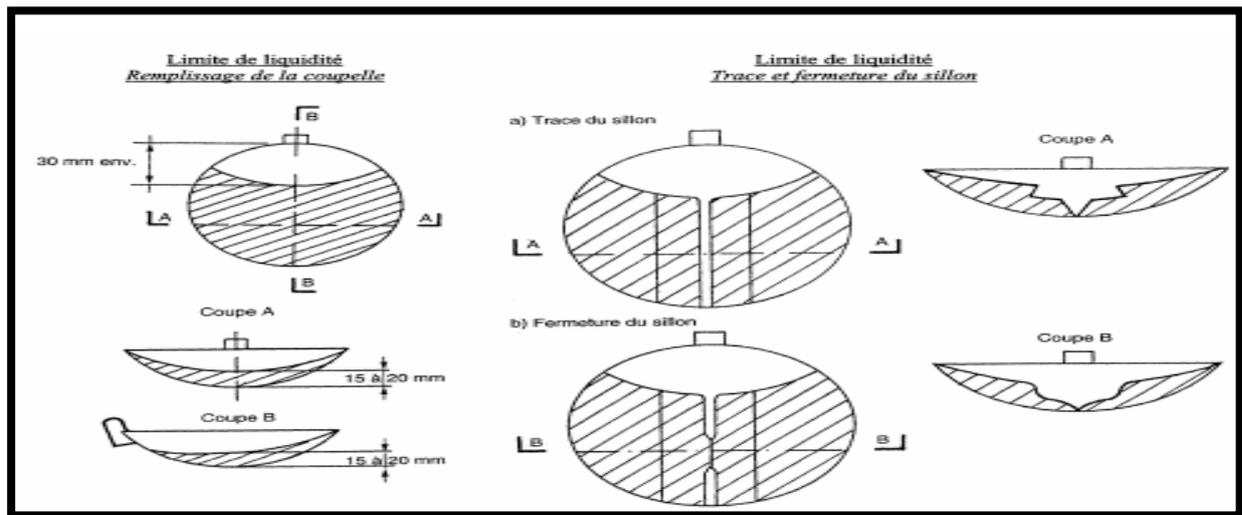
1/DETERMINATION DE LA LIMITE DE LIQUIDITE

➤ **BUT DE L'ESSAI**

Déterminer la teneur en eau d'un sol à son passage de l'état plastique à l'état liquide.

➤ **MODE OPERATOIRE**

Il est mis en place à la spatule de façon bien homogène. L'épaisseur au centre est de 15 à 20 mm. Faire une rainure dans l'axe de la coupelle, l'outil étant sensiblement perpendiculaire à celle-ci. Tourner la manivelle de manière régulière à raison de deux chocs par seconde. On observe le fond de la rainure et on compte le nombre de chocs nécessaire pour que celle-ci se ferme sur 1cm environ. Recommencer l'opération 4 à 5 fois avec des teneurs en eau décroissantes et tel que le nombre de chocs à chaque essai soit compris entre 15 et 35. Si le nombre de chocs n a été inférieur à 15, laissé sécher un peu. Si le nombre de chocs est supérieur à 35 humidifier légèrement et bien homogénéiser le sol avant de reprendre l'essai. Pour chaque essai tel que $15 < n > 35$, déterminer la teneur en eau w.



➤ DETERMINATION DE LA TENEUR EN EAU

Prélever un peu de mortier de part et d'autre de la rainure. Placer l'ensemble du prélèvement dans un petit récipient. Peser immédiatement. Mettre à l'étuve pendant 4h à 150⁰ C. Peser l'échantillon à la sortie de l'étuve et déduire la teneur en eau.

➤ RESULTATS

La limite de liquidité est déterminée à partir de la représentation graphique de la teneur en eau w mesurée à chaque essai en fonction du logarithme du nombre de coups correspondant. La limite de liquidité est la teneur en eau lue sur la graphique pour $N=25$ coups. Elle s'exprime en pourcentage arrondi au nombre entier le plus proche.

2/ DETERMINATION DE LA LIMITE DE PLASTICITE WP

➤ DEFINITION

C'est la teneur en eau du cylindre qui se brise lorsque son diamètre atteint 3 mm. Cette teneur en eau se détermine rapidement après le test.

➤ MODE OPERATOIRE

Rouler à la main l'échantillon pour obtenir une forme de boulette et en faire un cylindre en le roulant sur la plaque ($\varphi = 3 \text{ mm}$; $L = 10 \text{ à } 15 \text{ cm}$) avec la paume de la main sur une surface plane, propre, lisse et sèche. S'il se brise avant d'atteindre ce diamètre, la teneur en eau est trop faible, il faut ré humidifier la terre. S'il ne s'est pas brisé, le soulever en son milieu de 15 à 20mm.

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

➤ **DETERMINER LA TENEUR EN EAU**

Effectuer plusieurs essais identiques. Les teneurs en eau obtenues ne devront pas s'écarter de plus de 2 % de la valeur moyenne.

➤ **RESULTAT**

La valeur de la limite de plasticité est arrondie à l'unité près.

3/INDICE DE PLASTICITE

C'est la différence entre la limite de liquidité et de plasticité $w_l - w_p$.

$I_p < 5$ sol non plastique

$5 \leq I_p \leq 15$ sol moyennement plastique

$15 \leq I_p \leq 40$ sol plastique

$I_p \geq 40$ sol très plastique

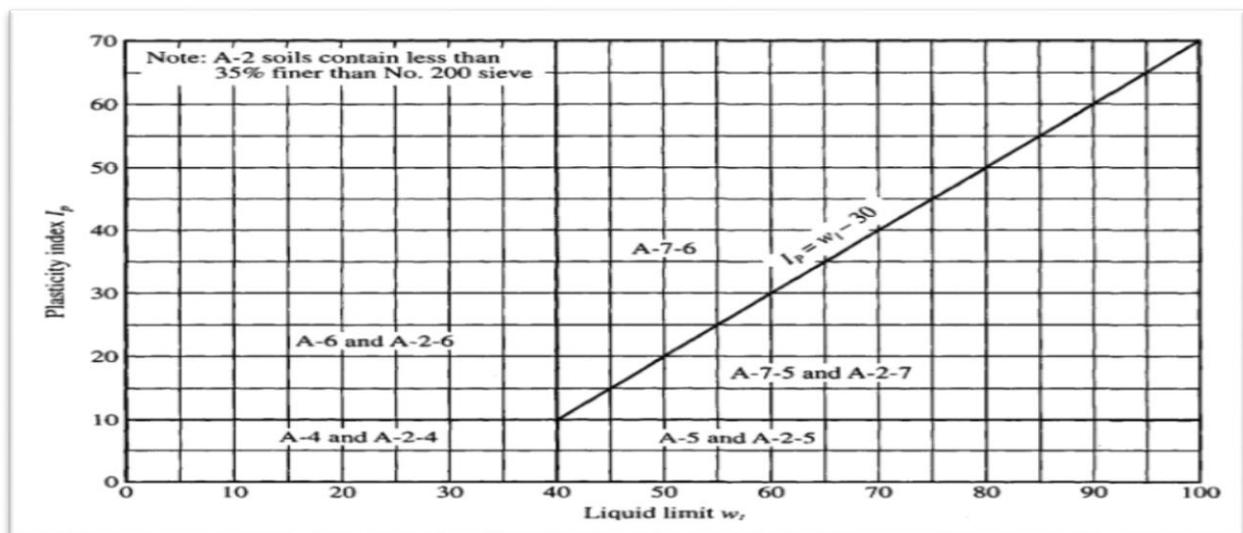


Diagramme de plasticité selon AASHTO

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

D/EQUIVALENT DE SABLE

➤ BUT DE L'ESSAI

Il a pour but permet de mesurer la propreté d'un sable dans un état standard de 10% de fines maximum.

➤ DEFINITION

L'équivalent de sable (ES) est le rapport multiplié par 1 00 de la hauteur de la partie sableuse sédimentée à la hauteur totale du floculat et de la partie sableuse sédimentée.

➤ PRINCIPE DE LA MÉTHODE

L'essai consiste à faire flocculer les éléments fins d'un sable mis en suspension dans une solution lavant puis, après un temps de mise au repos donné à mesurer la hauteur des éléments sédimentés. Il est effectué sur la fraction du sable passant au tamis à mailles carrées de 5 mm.

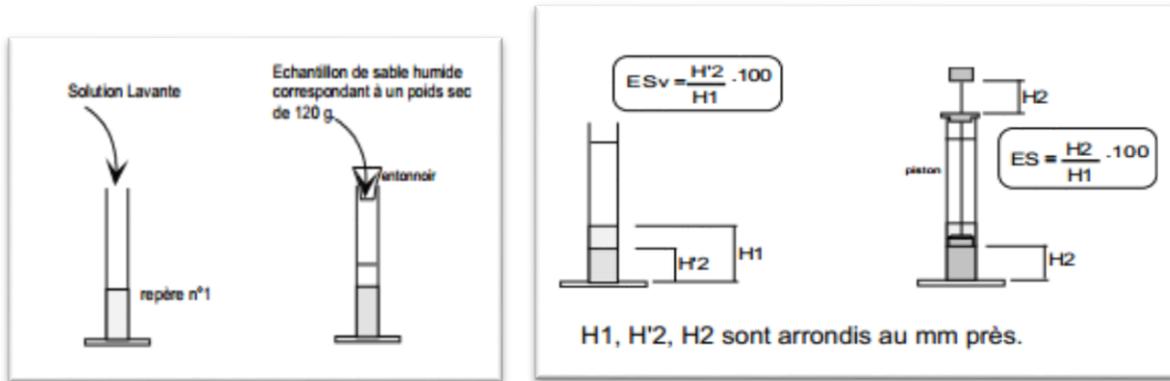
➤ MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- Tamis de 2 mm avec réceptacle.
- Balance, portée 6 kg (mini.) précision 1 g ; 1 machine d'agitation
- 2 éprouvettes cylindriques transparentes en matière plastique de diamètre intérieur 32 mm, hauteur 430 mm, munies de deux repères à 1 00 et 380 mm de la base.
- Bouchon de caoutchouc s'adaptant sur les éprouvettes.
- Entonnoir à large ouverture pour transvaser l'échantillon, piston taré de 1 kg ± 5 g
- Règle métallique graduée, Chronomètre
- Flacon de 5 litres muni d'un siphon (placé à 1 mètre au-dessus de la table de travail) ,1 tube plongeur-laveur relié au flacon.
- Solution lavant pour équivalent de sable.

➤ MODE OPERATOIRE

Tamiser le matériau au tamis de 2 mm et conserver le passant. Déterminer la teneur en eau initiale $w\%$. Prélever pour chaque prise une quantité (M_h) de matériau humide correspondant à $120\text{ g} \pm 1\text{ g}$ de matériau sec, c'est à dire : $M_h = M_s \cdot (1 + w)$. Remplir les 2 éprouvettes de solution lavant jusqu'au repère n°1, puis verser les prises de matériau. Agiter, éliminer les bulles d'air et laisser reposer 10 mn.

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin



➤ **RÉSULTAT**

Les valeurs ESV et ESP sont exprimées avec une décimale. La valeur moyenne est arrondie à l'entier le plus proche. L'équivalent de sable s'exprime sous la forme d'un entier que l'on relie à un classement. Les valeurs préconisées et classements qui en découlent sont pour l'E.S.

E.S à vue	E.S piston	Classement et qualité du sable
$E.S < 65$	$E.S < 60$	Sable argileux : risque de retrait ou gonflement pas bon pour béton de qualité
$65 \leq E.S < 75$	$60 \leq E.S < 70$	Sable légèrement argileux : propreté admissible pour béton de qualité courante (retrait possible)
$75 \leq E.S < 85$	$70 \leq E.S < 80$	Sable propre à faible % de fines argileuses, bon pour béton de haute qualité
$E.S \geq 85$	$E.S \geq 80$	Sable très propre : pas de fines argileuses, ce qui risque en fait d'amener un défaut de plasticité du béton \Rightarrow augmenter le dosage d'eau ; donne des bétons exceptionnels de très haute résistance

E/ESSAI PROCTOR

➤ BUT DE L'ESSAI

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale pour un matériau donné et la densité sèche maximale

➤ DEFINITION

C'est la teneur en eau ω pour laquelle le sol atteint pour une énergie de compactage donné, un γ_d maximal.

➤ PRINCIPE

L'essai consiste à humidifier un matériau à plusieurs teneurs en eau et à le compacter dans un moule normalisé à l'aide d'une dame normalisée selon un processus bien défini et une énergie conventionnelle l'échantillon de sol à étudier. Mesurer sa teneur en eau et son poids spécifique sec après compactage. On détermine la masse volumique sèche γ_d du matériau et on trace sa courbe des variations en fonction de la teneur en eau ω . On obtient la densité optimale et la teneur en eau optimale en projetant le sommet sur l'abscisse et l'ordonnée

Energie de compactage : $N \text{ (J/m}^3\text{)} = (\text{nombre de coups par couche}) \times (\text{Nombre de couches}) \times (\text{Masse de la dame}) \times (\text{g}) \times (\text{hauteurs de chute de la dame}) / (\text{Volume utile du moule})$.

Le tableau ci-dessous résume les conditions de chaque essai selon le moule retenu (norme NF P 94-093) :

Nature de l'essai	Caractéristiques de l'essai	Moule Proctor	Moule CBR
Essai Proctor normal	Masse de la dame	2490 g	2490 g
	Diamètre du mouton	51 mm	51 mm
	Hauteur de chute	305 mm	305 mm
	Nombre de couches	3	3
	Nombre de coups par couche	25	56
	Energie de compactage KJ/m ³	587	533
Essai Proctor modifié	Masse de la dame	4535 g	4535 g
	Diamètre du mouton	51 mm	51 mm
	Hauteur de chute	457 mm	457 mm
	Nombre de couches	5	5
	Nombre de coups par couche	25	56
	Energie de compactage KJ/m ³	2680	2435

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

➤ **MATÉRIEL NÉCESSAIRE**

- Moule Proctor, dame Proctor modifié,
- L'ensemble des accessoires (disque d'espacement, règle à araser, rehausse, plaque de base, truelle, spatule, pinceau, disque de surcharge papier filtre, burette à huile etc.)
- Le matériel d'usage courant (Bacs d'homogénéisation pour préparation du matériau, éprouvette graduée 100 ml environ, pulvérisateur à eau, balance portée 10 kg, balance de précision 200 g, étuve $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (pour teneur en eau),
- Petits récipients (mesures des teneurs en eau).

➤ **MODE OPERATOIRE**

Pour l'essai PROCTOR NORMAL, le remplissage est fait en 3 couches. Pour l'essai PROCTOR MODIFIE, le remplissage est fait en 5 couches. Le matériau est échantillonné dans cinq récipients pour l'exécution de l'essai. La masse de matériau dans chaque récipient doit être environ de 6 kg. Les matériaux sont alors mouillés à des teneurs en eau différentes. Les teneurs en eau doivent évoluer de 2 %. Assembler moule + embase + disque d'espacement + disque de papier au fond du moule (facilite le démoulage) et la rehausse. Placer le moule sur un socle en béton d'au moins 1 00 kg et introduire la 1 ère couche et la compacter en appliquant 56 coups par couche. Après compactage de la dernière couche, enlever la rehausse. Le sol compacté doit dépasser du moule de 1cm environ sinon, recommencer l'essai. Araser soigneusement à partir du centre, on veillera au cours de l'arasement à ne pas créer de trous sur la surface arasée. Peser l'ensemble juste arasé et ôter l'embase et disque d'espacement .Prélever 2 prises sur l'échantillon, en déterminer la teneur en eau ω ; on prendra la moyenne des deux valeurs obtenues. Augmenter de 2% la teneur en eau ω de votre échantillon de départ et recommencer 5fois l'essai après avoir à chaque fois bien nettoyer votre moule.

F/ESSAI CBR

➤ **BUT DE L'ESSAI**

Déterminer l'indice CBR permettant de calculer grâce à des abaques, l'épaisseur des couches de fondation d'une route nécessaire à la constitution d'une chaussée en fonction du sol sous-jacent, du trafic et des charges par essieux prévus, des conditions hydriques futures que subira cette route.

➤ **DEFINITIONS**

L'**indice CBR (I.CBR)** exprime en % le rapport entre les pressions produisant dans le même temps un enfoncement donné dans le sol étudié d'une part et dans un matériau type d'autre part. Par définition cet indice est pris égal à la plus grande des deux valeurs. On distingue 3 types d'essais CBR en fonction des buts fixés :

L'essai indice portant immédiat I.P.I : L'éprouvette est compactée à la teneur en eau pour laquelle on veut évaluer l'aptitude du matériau à supporter la circulation des engins de terrassement pendant la durée de chantier. Le poinçonnement se fait immédiatement après confection de l'éprouvette sans utilisation des charges annulaires.

L'essai C.B.R. immédiat: Mesure de la résistance au poinçonnement d'un sol compacté à sa teneur en eau naturelle. Il caractérise l'aptitude du sol à permettre la circulation en phase de chantier. Les conditions sont identiques à l'IPI mais le poinçonnement se fait en chargeant l'éprouvette par les deux surcharges annulaires représentant la surcharge de la chaussée.

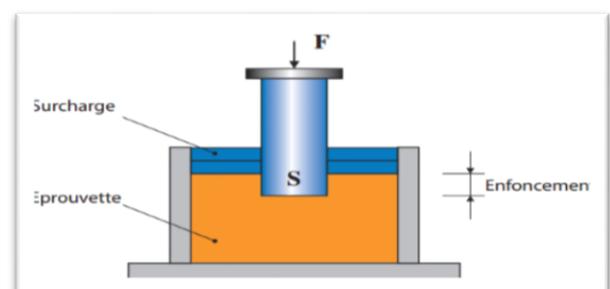
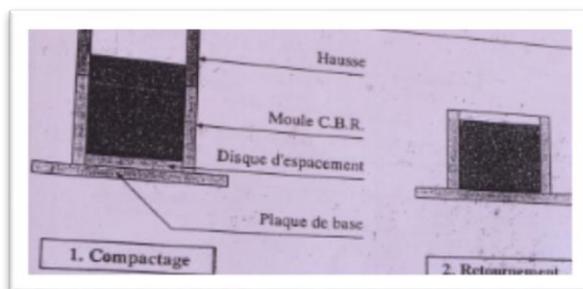
L'essai C.B.R. après imbibition: Mesure de la résistance au poinçonnement d'un sol compacté à différentes teneurs en eau puis immergé durant plusieurs jours (4 en générale). Il caractérise l'évolution de la portance d'un sol compacté à différentes teneur en eau et/ou soumis à des variations de régime hydrique.

➤ **PRINCIPE**

La charge apportée par le pneu sur la chaussée poinçonne le sol de fondation. Ce poinçonnement est d'autant plus petit que l'épaisseur de la chaussée est grande. Le principe de l'essai CBR est donc de reproduire ce phénomène en compactant le matériau dans les conditions de l'essai Proctor dans un moule CBR puis en mesurant les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante dans une éprouvette de ce matériau. La norme de référence est la norme française NF P 94-083.

➤ PREPARATION DE L'ECHANTILLON

Le matériau est mouillé à la teneur en eau optimum déterminée à partir de l'essai Proctor. Pour l'exécution de l'essai, il faut préparer trois moules CBR. Il faut d'abord solidariser moule, embrase et rehausse, lubrifier les parois intérieures du moule et placer le disque d'espacement au fond du moule. Le compactage du matériau se fait à l'aide de la dame Proctor Modifié. Les moules sont compactés chacun en cinq couches. Le premier moule est compacté à 10 coups, le deuxième à 25 coups et le troisième à 56 coups, et cela par couche. Après le compactage de chaque moule, il faut retirer la rehausse puis araser soigneusement l'éprouvette. Ensuite il faut peser au gramme près l'ensemble moule et matériau. Après la pesée, il faut retourner le moule puis le fixer à la plaque de base. Déposer les surcharges dans le moule et imbiber les trois moules pendant quatre jours. Après l'imbibition, on procède à l'essai de poinçonnement. Placer l'ensemble plaque de base, moule CBR, éprouvette sur la presse en position centrée par rapport au piston. Le poinçonnement se fait à vitesse constante et on note les efforts de poinçonnement correspondant à des valeurs d'enfoncements prédéfinies par la norme. Une fiche d'étalonnage permet de lire la force correspondant à la lecture faite sur la presse.



➤ MATÉRIEL NÉCESSAIRE

- Moule CBR, Dame Proctor modifié,
- L'ensemble des accessoires (Disque d'espacement, Règle à araser, rehausse, plaque de base, truelle, spatule, pinceau, Disque de surcharge papier filtre etc...)
- Le matériel d'usage courant (Bacs d'homogénéisation pour préparation du matériau, éprouvette graduée 150 ml environ, balance portée 10 kg, précision ± 1 balance de précision 200 g, précision $\pm 0,1$ étuve $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ (teneur en eau),
- Petits récipients (mesures des teneurs en eau),
- Poinçonneuse CBR (piston de section $1,93\text{ cm}^3$; vitesse d'enfoncement $1,27\text{ mm/min}$; force maxi 50 KN).

➤ RESULTATS

Tracer la courbe effort-poinçonnement avant la détermination de $F_{\text{CBR}25}$; $F_{\text{CBR}50}$. En effet, un décalage de zéro peut se produire et il faut alors le corriger.

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

G/COEFFICIENT D'APLATISSEMENT

➤ BUT DE L'ESSAI

La réalisation des corps de chaussées et des couches de roulement nécessitent de n'utiliser que des granulats ayant une forme assez ramassée à l'exclusion des granulats plats. Ceux-ci ne peuvent être utilisés car ils conduisent à des couches de chaussées trop glissantes. Cet essai permet de caractériser la forme des granulats.

➤ PRINCIPE DE LA METHODE

Il consiste en une double opération de tamisage :

- Sur une colonne de tamis normalisés à mailles carrées afin de séparer les granulats en une succession de classes granulaires d/D dont les dimensions sont telles que $D=1,25d$. De ce fait les classes de grosseur G ainsi définies sont telles qu'elles suivent la progression géométrique des ouvertures des amis utilisés au cours de l'analyse granulométrique.
- Les différentes classes granulaires d/D ainsi isolées sont tamisées une à une sur des grilles à fentes parallèles d'écartement $E=d/158$ ce qui correspond aussi à $E=D/2$.
- On peut donc associer à chaque classe granulaire d/D un tamis à fente correspondant de largeur E ce qui permet de définir des coefficients d'aplatissement A_i partiels. Il est ensuite possible de déterminer un coefficient d'aplatissement global A .

La correspondance entre classe granulaire donne :

Classes granulaires d/D (mm)	31,5/40	25/31,5	20/25	16/20	12,5/16	10/12,5	8/10	6,3/8	5/6,3	4/5
Ecartement des grilles à fentes (mm)	20	16	12,5	10	8	6,3	5	4	3,15	2,5

➤ MATERIEL NECESSAIRE

- Une série de tamis normalisés à mailles carrées
- Une série de tamis à fentes de largeurs normalisées dont les dimensions en mm sont 31,5 ; 25 ; 20 ; 16 ; 12,5 ; 10 ; 8 ; 6,3 ; 5 ; 4.

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

➤ **MODE OPERATOIRE**

On opère comme dans l'analyse granulométrique avec un échantillon représentatif de matériaux de masse M. L'échantillon est tamisé de telle manière que tous les grains inférieurs à 4 mm et supérieurs à 80mm soient mis de côté et pesés. La masse M restante est utilisée pour déterminer le coefficient d'aplatissement A. Le tamisage est effectué et chaque fraction d/D est pesé au gramme près puis tamisé sur le tamis à fentes d'écartement E correspondant. Le passant à travers chaque grille est pesé au gramme près.

➤ **RESULTATS**

Pour chaque classe granulaire d/D on définit le coefficient d'aplatissement partiel $A_i = \frac{M_{ei}}{M_{gi}} * 100$

Avec M_{gi} =masse de la classe granulaire d/D, M_{ei} =massant passant à travers le tamis à fentes d'écartement E correspondant. Le coefficient d'aplatissement global A s'exprime en intégrant les valeurs partielles déterminées sur chaque classe granulaire : $A = \frac{\sum M_{ei}}{\sum M_{gi}}$.

H/ESSAI DE PROPRETE SUPERFICIELLE

➤ BUT DE L'ESSAI

Il met en évidence la présence d'éléments fins dans le gravier et permet de les quantifier. Le but de l'essai est donc de déterminer la propreté d'un granulat au regard de son utilisation possible.

➤ DEFINITION

Il est défini comme étant le pourcentage pondéral de particules de dimensions inférieures à 0,5 mm d'ouverture adhérentes à la surface ou mélangées à un granulat de dimension supérieure à 2 mm.

➤ PRINCIPE DE LA METHODE

Selon la norme les éléments fins contenus dans le granulat à tester sont séparés par lavage sur un tamis d'ouverture 0,5 mm. Leur pourcentage est déterminé par pesée après séchage du refus.

➤ MATERIEL NECESSAIRE

- Tamis de 0,5 mm
- Balance 12 Kg ; Etuve

➤ MODE OPERATOIRE

Echantillonner de façon représentative une quantité E de matériau. A partir de l'échantillon préparer deux fractions de matériau M1 et M2 dont la masse en gramme est comprise entre 200 et 600D (D étant la dimension maximale des plus gros éléments en mm). Dessécher la fraction M jusqu'à masse constante déterminée par pesée au gramme près (la masse est considérée constante lorsque deux pesées successives de l'échantillon ne diffèrent pas de plus de 0,1%) soit M_{1s} la masse sèche. A partir de ce résultat calculer masse sèche M_{2s} contenue dans la deuxième fraction M_2 destinée à l'essai de propreté. Sa formule est : $M_{2s} = \frac{M_{1s}}{M_1} * M_2$.

➤ RESULTATS

La masse sèche (m) des éléments inférieurs à 0,5 mm est donc : $m = M_{2s} - m'$

La propreté superficielle P est donnée par $P = \frac{m}{M_{2s}} * 100$.

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

I/ESSAI LOS ANGELES

➤ BUT DE L'ESSAI

Cet essai a pour but de mesurer la résistance à la fragmentation par chocs des éléments d'un échantillon de granulats.

➤ DEFINITION

Par définition le coefficient Los Angeles est le rapport entre la masse du refus lavé au tamis de 1,6 mm de l'échantillon après passage en machine sur la masse initiale.

➤ PRINCIPE DE LA METHODE

Il consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produite par fragmentation en soumettant le matériau à des chocs de boulets à l'intérieur d'un cylindre en 500 rotations.

➤ MATERIEL NECESSAIRE

- Tamis 4-6 ; 10-14 ; 15-16 ; 25-31,5 ou encore série de 2 tamis correspondant au borne de la classe granulaire étudié, tamis de 1,6 mm.
- Etuve (105⁰ C +-5⁰), Machine Los Angeles, Bac destiné à recueillir les matériaux
- Balance de 6Kg (précision 1 g)
- 7 à 2 boulets selon la granulométrie

➤ MODE OPERATOIRE

Sélectionner la charge de boulet selon la classe granulaire :

Classe granulaire	4/6,3	6/10	10/14	10/25	16/31,5	25/50
Nombre de boulets	7	9	11	11	12	12
Masse totale de la charge de boulet (g)	3080	3960	4840	4840	5280	5280
Tolérance sur la charge de boulet	+20à -150 g					

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

Programmer 500 cycles de rotation sur la machine sauf pour la classe 25-50 mm où l'on effectue 1000 rotations. La vitesse de rotation est régulière comprise entre 30 tr/min et 33 tr/min :

Classe granulaire	4/6,3	6/10	10/14	10/25	16/31,5	25/50
Nombre de tours	500 tours					1000 tr
Durée de l'essai	15' 9 à 16' 30					30' 20 à 33'

➤ EXECUTION DE L'ESSAI

Dans la machine Los Angeles introduire avec précaution et dans l'ordre la charge de boulets de la classe granulaire choisie puis la prise d'essai $M = 5000$ après la rotation de la machine, recueillir le granulat dans le bac. Tamiser le matériau contenu dans le bac sur le tamis de 1,6 mm. Le matériau étant pris en plusieurs fois afin de faciliter l'opération. Laver le refus au tamis de 1,6 mm. Egoutter et sécher à l'étuve à 105°C jusqu'à masse constante. Peser ce refus une fois séché. Soit m le résultat de la pesée. Le passant au tamis de 1,6 mm sera alors $P = 5000 - m$.

➤ RESULTATS

P est exprimé en gramme

Le coefficient Los Angeles est le rapport : $L_A = \frac{P}{M} \cdot 100$

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

ANNEXE I : ANALYSE GRANULOMETRIQUE DU GAL NATUREL

Nom et Prénom	SOURA Djélika	Provenance	Tas Gerbé	
Date	Mai-2016	Masse échantillon Ms (g)	3086	
Nature	Latérite			
Tamis (mm)	Module AFNOR	Masse des refus cumulés (g)	Pourcentage	
			Refus	Passant
31,5	46	145	3	97
25	45	226	5	95
20	44	385	6	94
16	43	486	10	90
12,5	42	657	13,5	86,5
10	41	903	19	81
8	40	1119	23	77
6,3	39	1469	30,5	69,5
5	38	1843	38	62
4	37	2280	47	53
3,15	36	2675	55	45
2,5	35	2903	60	40
2	34	3053	63	37
1,6	33	3185	66	34
1,25	32	3304	68	32
1	31	3395	70	30
0,800	30	3483	72	28
0,630	29	3587	74	26
0,500	28	3677	76	24
0,400	27	3765	78	22
0,315	26	3861	80	20
0,250	25	3945	81,5	18,5
0,200	24	4011	83	17
0,160	23	4077	84	16
0,125	22	4148	85,5	14,5
0,100	21	4182	86	14
0,080	20	4222	87	13

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

ANNEXE II: LIMITES D'ATTERBERG DU GAL NATUREL

Nom et Prénom	SOURA Djélika		Provenance		Tas Gerbé n° 5					
Date	Juillet 2016		Nature		Latérite					
	Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande-WL								Limite de plasticité au rouleau WP	
Mesure n°	1		2		3		4		1	2
Nombre de coups-N	16		20		24		28			
Numéro de Tare	20	F16	25	M	11	F6	10	K	2	9
Masse totale humide (g)	6094	915	6481	1149	5663	1152	6470	1208	4354	4975
Masse totale sèche (g)	5890	745	6274	938	5435	944	6286	991	4316	4936
Masse de la Tare (g)	5164	104	5510	113	4569	109	5567	100	4044	4667
Masse d'eau (g)	204	170	207	211	228	208	184	217	38	39
Masse du sol sec (g)	726	641	764	825	866	835	719	891	272	269
Teneur en eau (%)	28,1	26,5	27,1	25,6	26,3	24,9	25,6	24,4	14,0	14,5
Teneur en eau moyenne (%)	27,3		26,3		25,6		25,0		14,2	

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

ANNEXE III : ESSAI PROCTOR MODIFIE DU GAL NATUREL

Nom et Prénom	SOURA Djélika				Nature	Latérite				
Provenance	Tas gerbé n° 5				Date	Juillet 2016				
Moule	Proctor modifié									
Dame	Proctor modifié									
Balances	KERN FTB 35 Kg									
Etuve	UTEST									
	Teneur en eau de moulage									
Numéro de Tare	141	154	59	60	A	B	55	63	56	68
Masse totale humide (g)	446,1	453,5	442,7	476,4	452,8	467,2	439	523,4	430,2	451,2
Masse totale sèche (g)	421,3	428,2	415,5	445,4	414,2	426,9	397,5	476	412,3	431,1
Masse de la Tare (g)	82,5	83	114,8	113	61,3	55,7	61,8	110,7	64,5	60
Masse d'eau (g)	24,8	25,3	27,2	31	38,6	40,3	41,5	47,4	17,9	20,1
Masse du sol sec (g)	338,8	345,2	300,7	332,4	352,9	371,2	335,7	365,3	347,8	371,1
Teneur en eau (%)	7,3	7,3	9,0	9,3	10,9	10,9	12,4	13,0	5,1	5,4
Teneur en eau moyenne (%)	7,3		9,2		10,9		12,7		5,3	
	Densité de moulage									
Masse totale humide (g)	9709		9929		9967		9900		9475	
Masse du moule (g)	4938		4938		4938		4938		4938	
Masse nette humide (g)	4771		4991		5029		4962		4537	
Volume du moule (cm³)	2104		2104		2104		2104		2104	
Densité humide	2,27		2,37		2,39		2,36		2,16	
Densité sèche	2,11		2,17		2,16		2,09		2,05	
Eau de mouillage (g)	4%	278	6%	385	8%	530	10%	664	2%	129
Masse sèche	6945		6417		6625		6636		6443	

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

ANNEXE IV : ESSAI CBR DU GAL NATUREL

Nom et Prénom	SOURA Djélika	Provenance	Tas Gerbé n° 5
Date	mai-20161	Nature	Latérite
Moule	CBR		
Dame	Proctor modifié		
Balances	KERN FTB 35 Kg		
Etuve	Firlabo		
REFERENCES DE COMPACTAGE		Teneur en eau	9,8
		Densité	2,175
INTENSITE DE COMPACTAGE	MOULAGE A (5*56 coups)	MOULAGE B (5*25 coups)	MOULAGE C (5*10 coups)
Teneur en eau de moulage			
Numéro de Tare	142	138	134
Masse totale humide (g)	420	437,4	420,8
Masse totale sèche (g)	392,1	407,4	392,7
Masse de la Tare (g)	83,4	81,9	81,3
Masse d'eau (g)	27,9	30	28,1
Masse du sol sec (g)	308,7	325,5	311,4
Teneur en eau (%)	9,0	9,2	9,0
Teneur en eau moyenne (%)	9,1		
Numéro de moule	AC	Densité	A
Densité de moulage			
Masse totale humide (g)	9111	8920	8686
Masse du moule (g)	4174	4191	4213
Masse nette humide (g)	4937	4729	4473
Volume du moule (cm ³)	2076	2076	2076
Densité humide	2,38	2,28	2,15
Densité sèche	2,18	2,1	1,98
IP (2,5 m)=F (2,5mm)/13,35	158	63	29
IP (5 mm)=F (5mm)/20	176	73	29

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

ANNEXE V : COURBE GRANULOMETRIQUE DU CONCASSE

Nom et Prénom	SOURA Djélika	Provenance	Tas Gerbé	
Date	mai-2016	Nature	Latérite	
Masse échantillon Ms (g) après lavage	4168,6			
Tamis (mm)	Module AFNOR	Masse des refus cumulés (g)	Pourcentage	
			Refus cumulés 100(Ri/Ms)	Tamisâts cumulés 100(1-Ri/Ms)
25	45	266,3	6,4	93,6
20	44	984,4	23,6	76,4
16	43	1492,2	35,8	64,2
12,5	42	1892,3	45,4	54,6
10	41	2298,2	55,1	44,9
8	40	2587,3	62,1	37,9
6,3	39	2899,9	69,6	30,4
5	38	3084,1	74,0	26,0
4	37	3263,3	78,3	21,7
3,15	36	3404	81,7	18,3
2,5	35	3492	83,8	16,2
2	34	3559,1	85,4	14,6
1,6	33	3624	86,9	13,1
1,25	32	3692,8	88,6	11,4
1	31	3734,8	89,6	10,4
0,800	30	3774,5	90,5	9,5
0,630	29	3819,7	91,6	8,4
0,500	28	3857,3	92,5	7,5
0,400	27	3891,1	93,3	6,7
0,315	26	3931	94,3	5,7
0,250	25	3964,6	95,1	4,9
0,200	24	3997,1	95,9	4,1
0,160	23	4024	96,5	3,5
0,125	22	4058,9	97,4	2,6
0,100	21	4080,3	97,9	2,1
0,080	20	4110,2	98,6	1,4

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

ANNEXE VI: ESSAI PROCTOR MODIFIE STABILISE AUX CONCASSES :
GAL STABILISE A 20% DE CONCASSE

Nom et Prénom	SOURA Djélika				Nature	Latérite				
Moule	Proctor modifié				Date	Juillet 2016				
Dame	Proctor modifié				Provenance	Tas gerbé n° 5				
Balances	KERN FTB 35 Kg				Etuve	UTEST				
	Teneur en eau de moulage									
Numéro de Tare	2	33	27	13	39	230	44	3	38	H19
Masse totale humide (g)	450,13	464,65	482,76	475,86	390,82	384,45	497,45	478,31	476,5	499,45
Masse totale sèche (g)	430,22	443,32	457,12	448,11	363,76	356,8	459,36	433,2	431,47	454,87
Masse de la Tare (g)	58,11	59,9	62,63	61,61	59,06	57,73	57,65	58,17	61,34	79,43
Masse d'eau (g)	19,91	21,33	25,64	27,75	27,06	27,65	38,09	45,11	45,03	44,58
Masse du sol sec (g)	372,11	383,42	394,49	386,5	304,7	299,07	401,71	375,03	370,13	375,44
Teneur en eau (%)	5,4	5,6	6,5	7,2	8,9	9,2	9,5	12,0	12,2	11,9
Teneur en eau moyenne (%)	5,5		6,8		9,1		10,8		12,0	
	Densité de moulage									
Masse totale humide (g)	8042			8387		8554		8554		8518
Masse du moule (g)	3701			3701		3701		3701		3701
Masse nette humide (g)	4341			4686		4853		4853		4817
Volume du moule (cm ³)	2085			2085		2085		2085		2085
Densité humide	2,08			2,25		2,33		2,33		2,31
Densité sèche	1,97			2,10		2,13		2,10		2,06
Eau de mouillage (g)	2%	146	4%	302	6%	485	8%	681	5%	368
Masse sèche Total: Mc+Mg	7292			7559		8083		8515		7369
Masse concassé Mc (g)	1215			1260		1347		1419		1228
Masse du GAL Mg (g)	6077			6299		6736		7096		6141

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

GAL STABILISE A 30% DE CONCASSE

Nom et Prénom	SOURA Djélika			Nature	mélange					
Moule	Proctor modifié			Date	Juillet 2016					
Dame	Proctor modifié			Provenance	Tas gerbé n° 5					
Balances	KERN FTB 35 Kg			Etuve	Firlabo					
	Teneur en eau de moulage									
Numéro de Tare	A22	P59	P19	TJ	70	TV	80	Z	L2	T57
Masse totale humide (g)	476,7	472,28	385,85	457,33	465,35	452	501,05	505,64	457,33	461,3
Masse totale sèche (g)	459,47	456,57	365,94	432,84	431,25	418,62	462,05	463,18	430,69	433,33
Masse de la Tare (g)	53,27	54	57,27	49,6	51,26	57,67	54,92	57,12	53,5	52,8
Masse d'eau (g)	17,23	15,71	19,91	24,49	34,1	33,38	39	42,46	26,64	27,97
Masse du sol sec (g)	406,2	402,57	308,67	383,24	379,99	360,95	407,13	406,06	377,19	380,53
Teneur en eau (%)	4,2	3,9	6,5	6,4	9,0	9,2	9,6	10,5	7,1	7,4
Teneur en eau moyenne (%)	4,1		6,4		9,1		10,0		7,2	
	Densité de moulage									
Masse totale humide (g)	8186			8390		8560		8570		8467
Masse du moule (g)	3701			3701		3701		3701		3701
Masse nette humide (g)	4485			4689		4859		4869		4766
Volume du moule (cm ³)	2085			2085		2085		2085		2085
Densité humide	2,15			2,25		2,33		2,34		2,29
Densité sèche	2,07			2,11		2,14		2,12		2,13
Eau de mouillage (g)	2%	156	4%	312	6%	468	8%	624	5%	390
Masse sèche Total: Mc+Mg	7800			7800		7800		7800		7800
Masse concassé Mc (g)	1800			1800		1800		1800		1800
Masse du GAL Mg (g)	6000			6000		6000		6000		6000

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

GAL STABILISE A 35% DE CONCASSE

Nom et Prénom	SOURA Djélika			Nature		mélange				
Moule	Proctor modifié			Date		Juillet 2016				
Dame	Proctor modifié			Provenance		Tas gerbé n° 5				
Balances	KERN FTB 35 Kg			Etuve		Firlabo				
Teneur en eau de moulage										
Numéro de Tare	H19	A60	4	8	9	230	3	15	38	22
Masse totale humide (g)	445,41	437,26	407,38	388,59	474,12	482,79	529,96	455,24	445,49	449,29
Masse totale sèche (g)	416,56	406,96	384,46	368,44	437,24	446,14	473,6	403,53	426,34	429,07
Masse de la Tare (g)	79,43	49,2	59,78	65,7	62,22	57,42	58,01	60,53	61,34	48,37
Masse d'eau (g)	28,85	30,3	22,92	20,15	36,88	36,65	56,36	51,71	19,15	20,22
Masse du sol sec (g)	337,13	357,76	324,68	302,74	375,02	388,72	415,59	343	365	380,7
Teneur en eau (%)	8,6	8,5	7,1	6,7	9,8	9,4	13,6	15,1	5,2	5,3
Teneur en eau moyenne (%)	8,5		6,9		9,6		13,5		5,3	
Densité de moulage										
Masse totale humide (g)	8981		8886		9132		9105		8642	
Masse du moule (g)	3752		3752		3752		3752		3752	
Masse nette humide (g)	5229		5134		5380		5353		4890	
Volume du moule (cm ³)	2244		2244		2244		2244		2244	
Densité humide	2,33		2,29		2,40		2,39		2,18	
Densité sèche	2,15		2,14		2,19		2,09		2,07	
Eau de mouillage (g)	5%	465	4%	382	6%	598	8%	636	2%	182
Masse sèche Total: Mc+Mg	9296		9548		9972		7946		9116	
Masse concassé Mc (g)	2410		2475		2585		2060		2363	
Masse du GAL Mg (g)	6886		7073		7387		5886		6753	

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

Annexe VII: ESSAI CBR STABILISE AUX CONCASSES :

GAL +20% CONCASSE

Nom et Prénom	SOURA Djélika	Provenance	Tas Gerbé n° 5
Date	mai-20161	Nature	Latérite
Moule	CBR		
Dame	Proctor modifié		
Balances	KERN FTB 35 Kg		
Etuve	Firlabo		
REFERENCES DE COMPACTAGE		Teneur en eau	8,4
		Densité	2,14
INTENSITE DE COMPACTAGE	MOULAGE A (5*56 coups)	MOULAGE A (5*25 coups)	MOULAGE A (5*10 coups)
Teneur en eau de moulage			
Numéro de Tare	34	21	TS
Masse totale humide (g)	437,14	519,21	494,18
Masse totale sèche (g)	411,82	483,89	463,74
Masse de la Tare (g)	93,65	65,51	70,96
Masse d'eau (g)	25,32	35,32	30,44
Masse du sol sec (g)	318,17	418,38	392,78
Teneur en eau (%)	8,0	8,4	7,7
Teneur en eau moyenne (%)	8,0		
Numéro de moule	3	17	90
Densité de moulage			
Masse totale humide (g)	8587	8184	7896
Masse du moule (g)	3789	3677	3616
Masse nette humide (g)	4798	4507	4280
Volume du moule (cm³)	2082	2082	2066
Densité humide	2,30	2,16	2,07
Densité sèche	2,13	2,00	1,92
IP (2,5 m)=F (2,5mm)/13,35	104	44	22
IP (5 mm)=F (5mm)/20	120	5026	

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

GAL +30% CONCASSE

Nom et Prénom	SOURA Djélika	Provenance	Tas Gerbé n° 5
Date	mai-2016	Nature	Latérite
Moule	CBR		
Dame	Proctor modifié		
Balances	KERN FTB 35 Kg		
Etuve	Firlabo		
REFERENCES DE COMPACTAGE		Teneur en eau	8,4
		Densité	2,14
INTENSITE DE COMPACTAGE	MOULAGE A (5*56 coups)	MOULAGE A (5*25 coups)	MOULAGE A (5*10 coups)
Teneur en eau de moulage			
Numéro de Tare	A12	AG	TS
Masse totale humide (g)	481,04	471	489,86
Masse totale sèche (g)	457,27	446,58	468,96
Masse de la Tare (g)	62,93	52,38	70,96
Masse d'eau (g)	23,77	24,42	20,9
Masse du sol sec (g)	394,34	394,2	398
Teneur en eau (%)	6,0	6,2	5,3
Teneur en eau moyenne (%)	6,1		
Numéro de moule	A12	17	3
Densité de moulage			
Masse totale humide (g)	8530	8110	7794
Masse du moule (g)	3798	3644	3593
Masse nette humide (g)	4732	4466	4201
Volume du moule (cm ³)	2082	2082	2082
Densité humide	2,27	2,15	2,02
Densité sèche	2,14	2,02	1,92
IP (2,5 m)=F (2,5mm)/13,35	154	62	22
IP (5 mm)=F (5mm)/20	165	58	23

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

GAL +35% CONCASSE

Nom et Prénom	SOURA Djélika	Provenance	Tas Gerbé n° 5
Date	mai-20161	Nature	Latérite
Moule	CBR		
Dame	Proctor modifié		
Balances	KERN FTB 35 Kg		
Etuve	Firlabo		
REFERENCES DE COMPACTAGE		Teneur en eau	9,2
		Densité	2,19
INTENSITE DE COMPACTAGE	MOULAGE A (5*56 coups)	MOULAGE A (5*25 coups)	MOULAGE A (5*10 coups)
Teneur en eau de moulage			
Numéro de Tare	A216	Y	41
Masse totale humide (g)	504,5	502,39	452,49
Masse totale sèche (g)	473,39	470,31	431,61
Masse de la Tare (g)	60,66	49,6	51,5
Masse d'eau (g)	31,11	32,08	20,88
Masse du sol sec (g)	412,73	420,71	380,11
Teneur en eau (%)	7,5	7,6	5,5
Teneur en eau moyenne (%)	6,9		
Numéro de moule	10A	15	16
Densité de moulage			
Masse totale humide (g)	8680	8381	8126
Masse du moule (g)	3751	3718	3725
Masse nette humide (g)	4929	4663	4401
Volume du moule (cm ³)	2082	2082	2082
Densité humide	2,37	2,24	2,11
Densité sèche	2,21	2,10	1,98
IP (2,5mm)=F (2,5mm)/13,35	123	66	23
IP (5 mm)=F (5mm)/20	162	79	26

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

Annexe VIII : ESSAI PROCTOR MODIFIE STABILISE A LA CHAUX

GAL STABILISE A 1% DE CHAUX

Nom et prénom		Moule	Proctor modifié							
Balances	KERN FTB 35 Kg	Dame	Proctor modifié							
Etuve	Firlabo	Date	Aout 2016							
	Teneur en eau de moulage									
Numéro de Tare	41	40	A216	68	H31	CBC	A48	0+	H23	ON14
Masse totale humide (g)	426,83	469,75	345,03	335,68	376,62	429,13	443,79	425,19	471,45	415,9
Masse totale sèche (g)	378,81	417,35	325,56	316,52	348,87	399,54	404,85	387,82	425,76	374,57
Masse de la Tare (g)	51,5	49,08	60,66	49,45	55,3	53,12	53,33	54,63	55,78	50,84
Masse d'eau (g)	48,02	52,4	19,47	19,16	27,75	29,59	38,94	37,37	45,69	41,33
Masse du sol sec (g)	327,31	368,27	264,9	267,07	293,57	346,42	351,52	333,19	369,98	323,73
Teneur en eau (%)	14,7	14,2	7,3	7,2	9,5	8,4	11,1	11,2	12,3	12,8
Teneur en eau moyenne (%)	14,4		7,2		8,9		11,1		12,6	
	Densité de moulage									
Masse totale humide (g)	8470		8284		8480		8540		8523	
Masse du moule (g)	3701		3701		3701		3701		3701	
Masse nette humide (g)	4769		4583		4779		4839		4822	
Volume du moule (cm³)	2085		2085		2085		2085		2085	
Densité humide	2,29		2,20		2,29		2,32		2,31	
Densité sèche	2,00		2,05		2,10		2,09		2,05	
Eau de mouillage (g)	12%	727	4%	242	6%	364	8%	485	10%	606
Masse sèche: Mg+Mc	6060		6060		6060		6060		6060	
Masse chaux Mc (g)	60		60		60		60		60	
Masse GAL Mg (g)	6000		6000		6000		6000		6000	

GAL STABILISE A 2% DE CHAUX

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

Nom et prénom	SOURA Djélika		Balances	KERN FTB 35 Kg						
Moule	Proctor modifié		Etuve	Firlabo						
Dame	Proctor modifié									
Teneur en eau de moulage										
Numéro de Tare	41E	22F	H2	H210	A7	31	21F	12	15	10
Masse totale humide (g)	462,17	417,47	528,45	569,89	439,74	475,99	370,86	379,96	458,3	468,54
Masse totale sèche (g)	442,75	400,42	491,5	534,92	404,17	437,4	339,52	343,66	431,36	441,66
Masse de la Tare (g)	62,22	63,22	74,37	71,59	49,79	52,94	61,36	57,44	60,53	62,52
Masse d'eau (g)	19,42	17,05	36,95	34,97	35,57	38,59	31,34	36,3	26,94	26,88
Masse du sol sec (g)	380,53	337,2	417,13	463,33	354,38	384,46	278,16	286,22	370,83	379,14
Teneur en eau (%)	5,1	5,1	8,9	7,5	10,0	10,0	11,3	12,7	7,3	7,1
Teneur en eau moyenne (%)	5,1		8,2		10,0		12		7,2	
Densité de moulage										
Masse totale humide (g)	8002		8401		8498		8434		8202	
Masse du moule (g)	3701		3701		3701		3701		3701	
Masse nette humide (g)	4301		4700		4797		4733		4501	
Volume du moule (cm ³)	2085		2085		2085		2085		2085	
Densité humide	2,06		2,25		2,30		2,27		2,16	
Densité sèche	1,96		2,07		2,11		2,03		2,01	
Eau de mouillage (g)	2%	130	6%	488	8%	486	10%	698	4%	265
Masse sèche: Mg+Mc	6483		8132		6071		6977		6623	
Masse chaux Mc (g)	127		159		119		137		130	
Masse GAL Mg (g)	6356		7973		5952		6840		6493	

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

GAL +3% CHAUX

Nom et prénom	SOURA Djélika		Balances	KERN FTB 35 Kg						
Moule	Proctor modifié		Etuve	UTEST						
Dame	Proctor modifié									
	Teneur en eau de moulage									
Numéro de Tare	42	7	22F	H2	46	40E	36	ZOE	47	2
Masse totale humide (g)	434,02	400,39	377,33	428,38	434,61	359,4	472,2	478,32	470,24	417,52
Masse totale sèche (g)	414,12	386,39	349,54	394,71	394,72	326,83	424,19	426,21	437,17	386,08
Masse de la Tare (g)	55,38	62,36	63,22	74,37	55,86	57,16	62,81	46,95	61,93	58,11
Masse d'eau (g)	19,9	14	27,79	33,67	39,89	32,57	48,01	52,11	33,07	31,44
Masse du sol sec (g)	358,74	324,03	286,32	320,34	338,86	269,67	361,38	379,26	375,24	327,97
Teneur en eau (%)	5,5	4,3	9,7	10,5	11,8	12,1	13,3	13,7	8,8	9,6
Teneur en eau moyenne (%)	4,9		10,1		11,9		13,5		9,2	
	Densité de moulage									
Masse totale humide (g)	8650		9052		9140		9114		8986	
Masse du moule (g)	3752		3752		3752		3752		3752	
Masse nette humide (g)	4898		5300		5388		5362		5234	
Volume du moule (cm ³)	2244		2244		2244		2244		2244	
Densité humide	2,18		2,36		2,40		2,39		2,33	
Densité sèche	2,08		2,15		2,15		2,11		2,14	
Eau de mouillage (g)	2%	160	6%	473	8%	632	10%	852	5%	467
Masse sèche: Mg+Mc	7986		7878		7904		8518		9338	
Masse chaux Mc (g)	233		229		230		248		272	
Masse GAL Mg (g)	7753		7649		7674		8270		9066	

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

Annexe IX : ESSAI CBR STABILISE A LA CHAUX
GAL STABILISE A 1% DE CHAUX

Nom et prénom	SOURA Djélika	Provenance	Tas Gerbé n° 5
Moule	CBR	Nature	Latérite
Dame	Proctor modifié		
Balances	KERN FTB 35 Kg		
Etuve	Firlabo		
REFERENCES DE COMPACTAGE		Teneur en eau	9,8
		Densité	2,11
INTENSITE DE COMPACTAGE	MOULAGE A (5*56 coups)	MOULAGE A (5*25 coups)	MOULAGE A (5*10 coups)
Teneur en eau de moulage			
Numéro de Tare	T6	LPZ	D
Masse totale humide (g)	455,45	473,74	450,04
Masse totale sèche (g)	422,92	441,96	425,12
Masse de la Tare (g)	59,17	68,87	63,36
Masse d'eau (g)	32,53	31,78	24,92
Masse du sol sec (g)	363,75	373,09	361,76
Teneur en eau (%)	8,9	8,5	6,9
Teneur en eau moyenne (%)	8,1		
Numéro de moule	13AO	13A	14
Densité de moulage			
Masse totale humide (g)	8647	8296	7934
Masse du moule (g)	3878	3813	3717
Masse nette humide (g)	4769	4483	4217
Volume du moule (cm³)	2082	2082	2082
Densité humide	2,29	2,15	2,03
Densité sèche	2,12	1,99	1,87
IP (2,5 m)=F (2,5mm)/13,35	169	58	32
IP (5 mm)=F (5mm)/20	188	62	32

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

GAL STABILISE A 2% DE CHAUX

Nom et prénom	SOURA Djélika	Provenance	Tas gerbé
Moule	CBR	Nature	Latérite
Dame	Proctor modifié		
Balances	KERN FTB 35 Kg		
Etuve	Firlabo		
REFERENCES DE COMPACTAGE		Teneur en eau	9,2
		Densité	2,11
INTENSITE DE COMPACTAGE	MOULAGE A (5*56 coups)	MOULAGE A (5*25 coups)	MOULAGE A (5*10 coups)
Teneur en eau de moulage			
Numéro de Tare	Y	A22	FM
Masse totale humide (g)	440,48	439,92	419,21
Masse totale sèche (g)	409,05	404,29	385,76
Masse de la Tare (g)	49,6	53,27	47,4
Masse d'eau (g)	31,43	35,63	33,45
Masse du sol sec (g)	359,45	351,02	338,36
Teneur en eau (%)	8,7	10,2	9,9
Teneur en eau moyenne (%)	9,6		
Numéro de moule	13AO	13A	14
Densité de moulage			
Masse totale humide (g)	8605	8390	7465
Masse du moule (g)	3751	3778	3066
Masse nette humide (g)	4854	4612	4399
Volume du moule (cm ³)	2082	2082	2082
Densité humide	2,33	2,22	2,11
Densité sèche	2,13	2,02	1,93
IP (2,5 m)=F (2,5mm)/13,35	166	111	37
IP (5 m)=F (5mm)/20	176	95	33

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

GAL STABILISE A 3% DE CHAUX

Nom et prénom	SOURA Djélika		
Provenance	Latérite		
Moule	CBR		
Dame	Proctor modifié		
Balances	KERN FTB 35 Kg		
Etuve	Firlabo		
REFERENCES DE COMPACTAGE	Teneur en eau		11
	Densité		2,15
INTENSITE DE COMPACTAGE	MOULAGE A (5*56 coups)	MOULAGE A (5*25 coups)	MOULAGE A (5*10 coups)
Teneur en eau de moulage			
Numéro de Tare	H31	71	A22
Masse totale humide (g)	466,8	434,45	447,59
Masse totale sèche (g)	428,89	397,33	412,57
Masse de la Tare (g)	55,3	53,46	53,27
Masse d'eau (g)	37,91	37,12	35,02
Masse du sol sec (g)	373,59	343,87	359,3
Teneur en eau (%)	10,1	10,8	9,7
Teneur en eau moyenne (%)	10,2		
Numéro de moule	14A	8A	E5
Densité de moulage			
Masse totale humide (g)	8734	7914	7718
Masse du moule (g)	3860	3091	3110
Masse nette humide (g)	4874	4823	4608
Volume du moule (cm³)	2082	2082	2082
Densité humide	2,34	2,32	2,21
Densité sèche	2,12	2,10	2,01
IP (2,5 m)=F (2,5mm)/13,35	150	95	55
IP (5 mm)=F (5mm)/20	150	122	64

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

Annexe X: LIMITES D'ATTERBERG STABILISES A LA CHAUX
GAL STABILISE A 1% DE CHAUX

Nom et prénom	SOURA Djélika	Provenance	Tas Gerbé n° 5									
Date	Juillet 2016	Nature	Latérite									
	Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande-WL										Limite de plasticité au rouleau WP	
Mesure n°	1		2		3		4		5		1	2
Nombre de coups-N	15		20		24		30		34			
Numéro de Tare	518	519	531	533	535	536	538	540	543	547	559	558
Masse totale humide (g)	29775	28880	29450	28280	29410	27150	29572	28450	29890	29600	28030	27350
Masse totale sèche (g)	27250	26750	27250	26295	27250	25396	27380	26523	27560	27200	26750	26178
Masse de la Tare (g)	22011	22336	22619	22144	22652	21702	22649	22359	22466	21944	22069	21808
Masse d'eau (g)	2525	2130	2200	1985	2160	1754	2192	1927	2330	2400	1280	1172
Masse du sol sec (g)	5239	4414	4631	4151	4598	3694	4731	4164	5094	5256	4681	4370
Teneur en eau (%)	48,2	48,3	47,5	47,8	47,0	47,5	46,3	46,3	45,7	45,7	27,3	26,8
Teneur en eau moyenne (%)	48,2		47,7		47,2		46,3		45,7		27,1	

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

GAL STABILISE A 2% DE CHAUX

Nom et prénom	SOURA Djélika		Nature	Latérite						
Date	Juillet 2016		Provenance	Tas gerbé n°5						
	Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande-WL								Limite de plasticité au rouleau WP	
Mesure n°	1		2		3		4		1	2
Nombre de coups-N	15		22		29		35			
Numéro de Tare	21A	21R	23R	24R	24B	26R	31	33	A	1
Masse totale humide (g)	25207	27039	28857	25370	27322	26452	27723	28494	24867	26673
Masse totale sèche (g)	23762	25480	27339	23756	25558	24789	25976	26668	24008	25836
Masse de la Tare (g)	20948	22430	24319	20540	21987	21415	22413	22951	21078	22993
Masse d'eau (g)	1445	1559	1518	1614	1764	1663	1747	1826	859	837
Masse du sol sec (g)	2814	3050	3020	3216	3571	3374	3563	3717	2930	2843
Teneur en eau (%)	51,4	51,1	50,2649007	50,1865672	49,4	49,3	49,0	49,1	29,3	29,4
Teneur en eau moyenne (%)	51,2		50,2		49,3		49,1		29,4	

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

GAL STABILISE A 3% DE CHAUX

Nom et prénom	SOURA Djélika											
Nature	latérite											
Provenance	Tas gerbé n° 5											
	Limite de liquidité à la coupelle de Casagrande-WL										Limite de plasticité au rouleau WP	
Mesure n°	1		2		3		4		5		1	2
Nombre de coups-N	15		20		24		31		35			
Numéro de Tare	15	20	90	110	149	123	182	183	184	185	153R	157
Masse totale humide (g)	27166	28370	27768	29051	28434	29837	28751	28378	26990	28837	27470	28009
Masse totale sèche (g)	25045	26150	25923	26995	26645	28054	26846	26113	25049	26867	26603	27347
Masse de la Tare (g)	20930	21846	22289	22976	23120	24561	23065	21649	21183	22954	23385	24905
Masse d'eau (g)	2121	2220	1845	2056	1789	1783	1905	2265	1941	1970	867	662
Masse du sol sec (g)	4115	4304	3634	4019	3525	3493	3781	4464	3866	3913	3218	2442
Teneur en eau (%)	51,5	51,6	50,8	51,2	50,8	51,0	50,4	50,7	50,2	50,3	26,9	27,1
Teneur en eau moyenne (%)	51,6		51,0		50,9		50,6		50,3		27,0	

TABLE DES MATIERES

DEDICACES	ii
REMERCIEMENTS	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT	v
LISTE DES ABBREVIATIONS	vi
SOMMAIRE	1
LISTE DES TABLEAUX.....	2
LISTE DES FIGURES.....	3
INTRODUCTION GENERALE.....	4
CHAPITRE I. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DU PROJET D'ETUDE.....	6
1. INTRODUCTION.....	6
2. PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL	6
3. PRESENTATION DU PROJET D'ETUDE	7
3.1. CORPS DE CHAUSSEE.....	7
3.2. LOCALISATION DE LA ZONE DE PROJET	9
4. CONCLUSION	9
CHAPITRE II . GENERALITES ROUTIERES.....	10
1. INTRODUCTION.....	10
2. LES PARAMETRES DE CONCEPTION ROUTIERE.....	10
3. FONCTIONNEMENT DE LA CHAUSSEE.....	11
3.1 STRUCTURES DE CHAUSSEES.....	11
3.2. DIMENSIONNEMENT DE LA CHAUSSEE	12

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

4. TECHNIQUES DE TRAITEMENT DES MATERIAUX	13
4.1. Stabilisation chimique	13
4.2. STABILISATION MECANIQUE	14
5. CONCLUSION	14
CHAPITRE III . ETUDE AU LABORATOIRE	15
1. INTRODUCTION.....	15
2. ESSAIS SUR LE GRAVE ARGILEUX LATERITIQUE (GAL)	15
2.1 IDENTIFICATION GEOTECHNIQUE DU GRAVELEUX LATERITIQUE	16
a. Echantillonnage	16
b. Analyse granulométrique :	17
c. Limites d'Atterberg	18
d. EQUIVALENT DE SABLE.....	19
2.2 ESSAI DE PORTANCE	20
a. Essai Proctor modifié	20
b. Essai CBR (Californian Bearing Ratio test) :	21
3. Stabilisation aux concassés	23
a. Caractéristique des concassés	23
b. Mesure du coefficient d'aplatissement.....	24
c. Essai de propreté superficielle	25
d. Los Angeles.....	26
e. Conclusion.....	27
4. ETUDE D'AMELIORATION DE LA PORTANCE DU SOL NATUREL	27
4.1. INTRODUCTION	27
4.2. STABILISATION AUX CONCASSES.....	27
a. Essai Proctor modifié	27

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

b. Essai CBR.....	28
4.3. STABILISATION A LA CHAUX	29
a. Essai Proctor modifié	29
b. Essai CBR.....	30
c. Limites d'ATTERBERG	31
4.4. CONCLUSION	32
CHAPITRE IV. ETUDE COMPARATIVE DES RESULTATS	33
1. INTRODUCTION.....	33
2. ANALYSE COMPARATIVE DES RESULTATS DU PROCTOR DU GAL ET DU CONCASSE	33
3. ANALYSE COMPARATIVE DES RESULTATS DU CBR DU GAL ET DU CONCASSE	34
4. EVOLUTION DE LA DENSITE SECHE EN FONCTION DU TAUX D'AMELIORATION DU CONCASSE.....	35
5. EVOLUTION DE LA PORTANCE CBR EN FONCTION DU TAUX D'AMELIORATION DU CONCASSE.....	36
6. EVOLUTION DE L'INDICE DE PLASTICITE AU TRAITEMENT A LA CHAUX	37
7. ANALYSE COMPARATIVE DES RESULTATS DU PROCTOR DU GAL ET DE LA CHAUX	38
8. ANALYSE COMPARATIVE DES RESULTATS DU CBR DU	39
GAL ET DE LA CHAUX	39
9. EVOLUTION DE LA DENSITE SECHE AU TRAITEMENT A LA CHAUX.....	40
10. EVOLUTION DE LA PORTANCE CBR AU TRAITEMENT A LA CHAUX.....	41
11. CONCLUSION	42
CHAPITRE V. ETUDE ECONOMIQUE.....	46
CHAPITRE VI. IMPACT ENVIRONNEMENTAL	45
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	46

Etude d'amélioration des matériaux utilisés en couche de chaussée au Burkina Faso : Etat des lieux et perspectives, cas de la voie d'accès à l'aéroport de Donsin

CONCLUSION	46
PERSPECTIVES.....	47
BIBLIOGRAPHIE	48
ANNEXES	48
TABLE DES MATIERES	48