



**THEME : AMELIORATION DES CARACTERISTIQUES
GEOTECHNIQUES DE LA GRAVE ARGILEUSE
LATERITIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR UNE
UTILISATION EN COUCHES D'ASSISE DES CHAUSSEES AU
BURKINA FASO.**

MÉMOIRE POUR L'OBTENSION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR 2iE AVEC GRADE DE **MASTER**
SPÉCIALITÉ : GÉNIE CIVIL BÂTIMENT ET TRAVAUX PUBLICS

Présenté publiquement le 25/01/2024 par

Balkissa OUEDRAOGO (20200061)

Directeur de mémoire : Dr Césaire HEMA

Maître de stage : Ousséni MONE (Ingénieur en Génie Civil)

Structure d'accueil : **ACIT- Géotechnique**

Jury d'évaluation du mémoire

Président : Prof. Dial NIANG

Membres : M. Mamadou Pousga Junior KABORE

M. Kader BANAOU DJIBO

Promotion [2022 2023]

DEDICACES

Ce travail est dédié à :

- Mes grand parents (**KABORE Yempoaka Alimata**, ma source d'inspiration et **KABORE Koudbi Hamidou**), pour toutes les prières, les bénédictions, toute l'attention et l'éducation. Que le seigneur vous accorde longue vie afin de profiter des fruits de ce dur labeur.
- Mes parents (**KABORE Ramata**, mon idole et **OUEDRAOGO Ablasse**, mon protecteur), vous qui m'avez toujours prodigué de bon conseil et qui avez investi dans mes études. Que le seigneur vous accorde longue vie afin de profiter des fruits de ce dur labeur.
- Mes frères (**Aboubacar et Ibrahim**) et mes sœurs (**Alimata, Bintou, Zeinab**), vous qui m'avez toujours apporté votre soutien au moment voulu et encouragé durant mes années d'étude.
- Mon confident **BAMOGO Allaye**, pour les encouragements, le soutien inestimable. Que le seigneur continue de te bénir.



CITATION

« Une construction devient une architecture quand elle témoigne d'une culture,
d'une aspiration et du pouvoir d'une génération. »

— *Jean-Paul Ndongo*

« En faisant scintiller notre lumière, nous offrons aux autres la possibilité d'en faire autant.
»

— *Nelson Mandela*

REMERCIEMENTS

Nous remercions Dieu le tout puissant de nous avoir accordé la santé et la force de rédiger ce mémoire.

Nos remerciements vont à l'égard de toutes ces personnes qui d'une manière ou d'une autre ont contribué grâce à leurs disponibilités et leurs soutiens constants à la réalisation de ce travail.

Nous traduisons ici notre reconnaissance particulièrement à :

- La Direction Générale de l'Institut Internationale d'Ingénierie de l'Eau et de l'Environnement (2iE) à travers son personnel, pour les connaissances acquises durant la formation ;
- Mon Directeur de mémoire, Enseignant-chercheur à 2iE, **Dr Césaire HEMA** à qui j'exprime mes sincères gratitude. Merci de m'avoir encadré tout au long de ce stage et pour tous vos conseils, tant professionnellement qu'humainement ;
- Mon maitre de stage, **M. Ousséni MONE**, Ingénieure Génie Civil qui n'a managé aucun effort pour mon encadrement tout au long de ce stage, merci pour les conseils, votre disponibilité et votre accueil chaleureux au sein de votre structure ainsi qu'au Directeur Général de ACIT géotechnique **M. Jean Marie TOE** ;
- Tout le personnel de ACIT Géotechnique qui a participé au bon déroulement de ce stage en vue d'obtenir des meilleurs résultats pour mon mémoire de fin d'étude ;
- A mes professeurs pour l'ensemble des connaissances que j'ai acquis au cours de ma formation du cycle d'ingénieur ;
- Au Professeur Adamah MESSAN, responsable du LEMHaD, qui n'a ménagé aucun effort pour m'accompagner. Merci infiniment pour les conseils et votre disponibilité
- Au Docteur **Marie Thérèse Madame GOMIS/ MBENGUE** qui n'a ménagé aucun effort pour m'accompagner. Merci infiniment pour les conseils et votre disponibilité
- A **M. Olo Oscar PALLE** pour ses encouragements et ses conseils ;
- La Banque Mondiale (**BM**) pour cette bourse à travers la subvention de mes études ;
- A mon ami **M. SAMANDOULGOU** Pegdwende Hyacinthe Browson, pour le soutien ;
- L'ensemble des collègues stagiaire de l'entreprise ACIT Géotechnique
- A tout ceux qui de près ou de loin, d'une manière ou d'une autre ont contribué à l'accomplissement de ce travail ;
- A toute ma famille maternelle, paternel, ma famille 2iE et à mes bros.

RESUME

La latérite a longtemps fait l'objet d'une utilisation dans la réalisation des corps de chaussée. Economiquement favorable en respectant les exigences techniques, elle fait face cependant, à l'abondance du trafic et de la rareté considérable de matériaux respectant les exigences techniques. Cela a mis à nu les limites de ces matériaux. Ainsi le recours à des techniques d'amélioration pour leur utilisation est devenu plus que jamais une nécessité. C'est dans ce sens que présente l'étude à travers l'ajout de sable afin d'accroître leurs performances géotechniques. Trois (03) matériaux latéritiques de caractéristiques géotechniques différentes devront être identifier et soumis à différent essais dont les résultats de l'indice CBR à 95% de l'OPM sont de 27 pour le GAL de Nakamtenga, 50 pour celui de Katabtenga et 61 pour celui de Donsin. Ces résultats ont ainsi montré la nécessité d'améliorer ces matériaux pour qu'ils soient utilisable en couche de base. Des essais ont été ensuite réalisés sur les ajouts de sable de 10% ;15% ;20% ; 25% ;30% ;35% et 40%.

Comme résultats des essais des différents GAL, il ressort que d'abord pour le GAL de Nakamtenga a atteint son maximum à 25% d'ajout de sable, avec un indice CBR à 95% de l'OPM égale à 72, ensuite le GAL de Katabtenga a atteint son maximum à 30% d'ajout de sable, avec un indice CBR à 95% de l'OPM égale à 94 et enfin le GAL de Donsin qui a atteint son maximum à 35% d'ajout de sable, avec un indice CBR à 95% de l'OPM égale à 118. Nous retenons que leurs indices CBR augmentent et leurs indices de plasticité baissent au fur et à mesure que l'on ajoute le sable ; tout en respectant les critères granulométriques. Par conséquent, les mélanges des GAL de Donsin et Katabtenga présentent de meilleures portances et peuvent être utilisés en couches d'assises de chaussées et le mélange du GAL de Nakamtenga ne peut être utilisée qu'en couches de fondation.

Mots clés :

Ajout de sable, Caractéristiques géotechniques, Densité sèches maximales, Graveleux Argileux Latéritique, Indice CBR

ABSTRACT

Laterite has long been used for pavement construction. Economically favourable in terms of technical requirements, it is nevertheless faced with abundant traffic and the considerable scarcity of materials meeting technical requirements. This has exposed the limitations of these materials. As a result, improved techniques for their use have become more necessary than ever. It is in this sense that the study presents the addition of sand to increase their geotechnical performance. Three (03) lateritic materials with different geotechnical characteristics were identified and subjected to different tests. The results of the CBR index at 95% OPM were 27 for the Nakamtenga GAL, 50 for the Katabtenga GAL and 61 for the Donsin GAL. These results demonstrated the need to improve these materials to make them suitable for use in base courses. Tests were then carried out on sand additions of 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% and 40%.

The results of these tests show that, firstly, the Nakamtenga GAL reached its maximum at 25% sand addition, with a CBR index at 95% of the OPM equal to 72; secondly, the Katabtenga GAL reached its maximum at 30% sand addition, with a CBR index at 95% of the OPM equal to 94; and finally, the Donsin GAL reached its maximum at 35% sand addition, with a CBR index at 95% of the OPM equal to 118. We note that their CBR indices increase and their plasticity indices decrease with the addition of sand, while still meeting the particle size criteria. As a result, the GAL mixes from Donsin and Katabtenga have better bearing capacities and can be used for road base courses, while the GAL from Nakamtenga mix can only be used for sub-base courses.

Key words :

Sand addition, Geotechnical characteristics, Maximum dry density, Gravelly Clayey Lateritic, CBR index



SIGLES ET ABREVIATIONS

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

ACIT : Afrique Commerce Industrie et Transport

AFNOR : Association Française de Normalisation

AG : Analyse Granulométrique

BTP : Bâtiment et Travaux Publics

CBR : California Bearing Ratio

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

Cm : Centimètre

ES : Coefficient Equivalent de sable

GAL : Grave Argileuse Latéritique

IPI : Indice Portant Immédiat

LA : Limite d'Atterberg

LCPC : Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

NF : Norme Française

OPM : Optimum Proctor Modifié

SETRA : Service de Etudes Techniques des Routes et Autoroutes

NOMENCLATURE

Symbole	Désignation	Unité (SI)
f	fine	%
h	hauteur	m
l	longueur	m
g	masse	gramme
ω_i	teneur en eau initiale	%
ω_{opt}	teneur en eau optimale	%
γd_{opt}	densité sèche optimale	g/cm^3
γd	densité sèche	g/cm^3
γh	densité humide	g/cm^3
W_l	Limite de Liquidité	%
W_p	Limite de plasticité	%
I_p	Indice de Plasticité	%

SOMMAIRE

DEDICACES	i
CITATION	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
RESUME.....	iv
ABSTRACT	v
SIGLES ET ABBREVIATIONS.....	vi
NOMENCLATURE	vii
SOMMAIRE.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES FIGURES.....	xi
INTRODUCTION GENERALE.....	1
CONTEXTE ET JUSTIFICATION DU THEME.....	2
OBJECTIF GENERALE.....	2
OBJECTIFS SPECIFIQUES	3
APPROCHE METHODOLOGIQUE DU TRAVAIL	3
PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL.....	6
DOMAINES DE COMPETENCE.....	6
ORGANIGRAMME	7
CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE	8
I. GENERALITE ET PROBLEMATIQUE DES ROUTES AU BURKINA FASO.....	8
II. GENERALITE SUR LES CHAUSSEES	8
II.1 Structure de chaussée.....	8
III. LES TECHNIQUES DE TRAITEMENT DE LA LATERITE EN GEOTECHNIQUE ROUTIERE	9
III.1 La technique de traitement chimique.....	9
III.2 La technique de traitement mécanique par apport de matériaux	11
IV. GENERALITE SUR LES MATERIAUX LATERITIQUES	13
IV.1 Définition	13
IV.2 Les graveleux latéritiques utilisés au Burkina Faso	14
V. GENERALITE SUR LE SABLE.....	14
CHAPITRE II : MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES	17
I. MATERIAUX	17

I.1 La latérite	17
I.2 Le sable	18
II. METHODES EXPERIMENTALES	19
II.1 Les différents types d'échantillonnage au laboratoire (NF P94 0494)	20
II.2 La granulométrie par tamisage (NF P 94 056)	22
II.3 Essai de la Limite d'Atterberg (NF P 94 051)	23
II.4 Essai d'équivalent de sable (NF P 18 597)	25
II.5 Essai Proctor modifié (NF P 94 093)	26
II.6 L'essai CBR (NF P 94-078)	28
CHAPITRE III : ANALYSES ET DISCUSSIONS DES RESULTATS	30
I. RESULTATS DES CARACTERISTIQUES DES LATERITES SANS AJOUT DE SABLE (le cru) 30	
I.1 L'analyse granulométrique des graveleux latéritiques crus	30
I.2 Limites d'Atterberg des graveleux latéritiques crus	31
I.3 Proctor Modifié des graveleux latéritique crus	33
I.4 Indice CBR des graveleux latéritiques crus	34
II. LES PROPRIETES DU SABLE UTILISE POUR L'AMELIORATION	35
II.1 Analyse granulométrique du sable	35
II.2 Equivalent du sable	35
III. INFLUENCE DE L'AJOUT DU SABLE SUR LES TROIS GAVELEUX LATERITIQUES (le mélange)	36
III.1 L'analyse granulométrique du mélange des graveleux latéritiques par ajout de sable 36	
III.2 Limites d'Atterberg du mélange des graveleux latéritiques par ajout de sable	38
III.3 Proctor Modifié des graveleux latéritiques	40
III.4 Indice CBR des graveleux latéritiques	43
IV. DISCUSSION DES RESULTATS	47
CONCLUSION GENERALE	48
BIBLIOGRAPHIE	49
ANNEXES	i



LISTE DES TABLEAUX

Tableau I: Composants essentiels présent dans la composition minéralogique des sols latéritiques (source: Maignien [19]).....	14
Tableau II : Synthèse des essais au laboratoire et Normes Française.....	19
Tableau III : Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable ESV et ESP.....	26
Tableau IV : Caractéristiques géotechnique des différents latérites testés sans amélioration.	30
Tableau V : Comparaison des valeurs de limites d'Atterberg avec les valeurs seuils des spécifications du CEBTP (1972).....	32
Tableau VI : Résultats des essais des Limites d'Atterberg des trois (03) GAL + sable de 0% à 40%. .	39
Tableau VII : Résultats de Proctor Modifié du mélange des trois (03) GAL + Sable de 0% à 40%.	41
Tableau VIII : Résultats CBR des mélanges des trois (03) GAL + sable de 0% à 40%.....	43

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Le protocole suivi pour les essais au laboratoire.	5
Figure 2 : L'organigramme de ACIT Géotechnique.....	7
Figure 3 : Structure de chaussée Diene et al [10].	9
Figure 4 : Site d'emprunt des trois (03) matériaux latéritiques	18
Figure 5 : Dépôt de sable utilisé pour l'amélioration.	18
Figure 6 : a) Sacs de prélèvement b) séchage et tamisage au tamis de module 44	20
Figure 7 : Principe de quartage manuel.....	21
Figure 8 : Un échantillonneur.....	21
Figure 9 : a) série de tamis b) balance et matériaux pour pese.....	22
Figure 10 : Les différentes limites du matériau en fonction de la teneur en eau.....	24
Figure 11 : a) Matériel pour la limite d'Atterberg ; b) Appareil de Casagrande avec un matériau.	24
Figure 12 : Appareil pour équivalent de sable et Matériel pour équivalent de sable.....	26
Figure 13 : a) Moule Proctor ; b) Matériau ; c) Pesée sur une balance normalisée après le compactage.	27
Figure 14 : Une presse CBR.....	29
Figure 15 : Courbes granulométriques des trois GAL crus encadrée par le fuseau des matériaux utilisable en couche de fondation proposée par le (CEBTP 1984).	31
Figure 16 : Evolution des limites d'Atterberg des trois GAL cru en fonction des indices de plasticité de la couche de base et de la couche de fondation du CEBTP.	32
Figure 17 : Courbe Proctor modifié des trois GAL du matériau cru en fonction de la teneur en eau. ...	33
Figure 18 : Courbes évolutive des densités sèche du matériau GAL 01, GAL 02 et GAL 03 en fonction de la portance CBR.....	34
Figure 19 : Courbe granulométrique du sable utilisé pour la litho stabilisation.....	35
Figure 20 : Courbes granulométriques du mélange du GAL de Nakamtenga par ajout de 0% à 40% de sable.....	36
Figure 21 : Courbes granulométriques du mélange du GAL de Katabtenga par ajout de 0% à 40% de sable.....	37
Figure 22 : Courbes granulométriques du mélange du GAL de Donsin par ajout de 0% à 40% de sable.	37
Figure 23 : Récapitulatif des limites d'Atterberg des trois (03) GAL par ajout de sable de 0% à 40%. 40	40
Figure 24 : Récapitulatif des densité sèche maximale des mélanges des trois (03) GAL + Sable de 0% à 40%.....	42
Figure 25 : Récapitulatif des teneurs en eau optimal des mélanges des trois (03) GAL + Sable de 0% à 40%.....	43
Figure 26 : Récapitulatif des essais CBR du GAL de Nakamtenga par ajout de sable de 0% à 40%. ...	45
Figure 27 : Récapitulatif des essais CBR du GAL de Katabtenga par ajout de sable de 0% à 40%.	45
Figure 28 : Récapitulatif des essais CBR du GAL de Donsin par ajout de sable de 0% à 40%.....	46

INTRODUCTION GENERALE

Depuis des décennies, l'étude des sols latéritiques devient le centre d'intérêt des recherches avec l'aménagement des infrastructures. Le développement des infrastructures routières favorise le désenclavement des régions, l'interconnexion entre les Etats, il fluidifie la circulation des personnes et des biens et donc stimule l'activité économique. En Afrique Sub-Saharienne, le sous-sol regorge de beaucoup de matériaux latéritiques qui sont utilisés dans la construction des routes [1]. Les graveleux latéritiques ont été utilisés dans la construction des routes dans bon nombre de programmes de développement d'infrastructures au niveau des pays tropicaux [1] dont le Burkina Faso. Dans les pays en voie de développement, la plupart des transports se faisant par voie terrestre, ces pays ont développé un réseau routier pour désenclaver les différentes régions. Du fait de la rareté des ressources, plus de 70% du réseau de ces pays est constitué de routes en terre construites, souvent, en graveleux latéritiques [2].

En effet, les couches d'assises de chaussée sont les plus sollicités alors que les projets routiers connaissent souvent un manque de matériaux de bonne qualité géotechnique. C'est dans cette optique que des recherches effectuées ces dernières années sur les graveleux latéritiques au Burkina Faso [3] ont permis de se pencher sur des raisons d'amélioration des caractéristiques géotechniques des graves argileuses latéritiques pour une utilisation en couche d'assise de chaussées [4].

L'amélioration des caractéristiques géotechniques de la grave argileuse latéritique pour obtenir de meilleure portance pour des utilisations en couche d'assise de chaussée en exemple la litho stabilisation tire son inspiration de Pierre LOMPO (Burkina Faso). Notre étude sera une amélioration de la grave argileuse latéritique par ajout de sable naturel de classe 0/5 de Dakola. Dès lors, la problématique suivante se dégage : l'ajout du sable à la grave argileuse latéritique agit-il sur les caractéristiques géotechniques ?

Il consistera dans la réponse à cette question à :

- Effectuer une synthèse du mélange de la grave argileuse latéritique (GAL) par ajout de sable sur les caractéristiques géotechniques
- Connaitre l'influence de l'ajout de sable à la grave argileuse latéritique sur les caractéristiques géotechniques.

CONTEXTE ET JUSTIFICATION DU THEME

Pays enclavé, le Burkina Faso est Situé au cœur de l'Afrique occidentale dans la boucle du Niger. L'absence de la mer ne doit cependant pas freiner les activités économiques du pays. Pour la réalisation de ces activités économiques en bonne aisance, le Burkina Faso effectue ses échanges économiques par les voies terrestre ferroviaire et routière. Dans ce contexte afin de mener correctement ces échanges économiques (import, export), le Burkina Faso livrer à des réalisations d'infrastructures routières. Selon l'annuaire statistique/DGESS du ministère des infrastructures, le Burkina Faso en 2019 comptait 15272 km de réseau routier classé dont 3756 km bitumé qui correspond à 24,5% du réseau routier [5]. Selon la Direction Générale de la Normalisation et des Etudes Techniques, le Burkina Faso est classé 219^{ème} au rang mondial en termes de réseau routier bitumé [6].

Les matériaux les plus utilisés dans la construction des routes en Afrique et plus précisément au sud du Sahara sont des matériaux latéritiques. Certaines classes de ces matériaux sont utilisées en corps de chaussée, en appliquant des règles qui ont été définies par pays à partir des règles générales d'aptitude des matériaux au compactage. Les emprunts de matériaux latéritiques sont le plus souvent situés à proximité des tracés routiers. Les couches d'assises de chaussée de plus en plus sollicités exigent donc des matériaux de meilleure qualité. Une telle qualité de ces matériaux se faisant rares, nous passons donc à l'amélioration de leurs caractéristiques géotechniques. Des études d'amélioration ont été faites. Nous pouvons cités entre autres **l'amélioration par le ciment** de l'ingénieur écossais **John Loudon Mc Adam** et la **litho stabilisation du burkinabè Pierre LOMPO**. La litho stabilisation (GAL par ajout de concassé) et l'amélioration par le ciment étant non économiques et contribuent à la pollution de l'environnement [7],[8], nous pouvons donc nous pencher sur la technique d'amélioration de la latérite par ajout de sable pour valoriser nos matériaux locaux. Ainsi, cela nous conduit à notre thème de recherche qui est <<**AMELIORATION DES CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES DE LA GRAVE ARGILEUSE LATERITIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR UNE UTILISATION EN COUCHES D'ASSISE DES CHAUSSEES AU BURKINA FASO**>> la latérite étant notre matériau témoin nous l'améliorerons par ajout du sable à différent proposition. Ainsi, afin de constater l'effet de l'influence de ces substitutions sur les caractéristiques géotechniques des matériaux latéritiques.

OBJECTIF GENERALE

L'objectif général de cette étude est d'analyser l'influence de l'ajout du sable sur les propriétés géotechniques des graveleux latéritiques pour une utilisation des couches d'assises de chaussée.

OBJECTIFS SPECIFIQUES

Comme objectifs spécifiques il s'agira de :

- Evaluer l'influence de l'ajout du sable sur les paramètres géotechniques des différents graveleux latéritiques ;
- Faire une étude comparative de l'influence du sable sur les caractéristiques géotechniques des différents types de graveleux latéritique utilisés.

APPROCHE METHODOLOGIQUE DU TRAVAIL

Afin d'atteindre nos objectifs nous adopterons la marche suivante dans cette étude :

- Des recherches documentaires des travaux antérieurs de la litho stabilisation (la grave argileuse latéritique plus du concassé) et l'amélioration des graves argileuse latéritique par ajout de sable ;
- Faire les prélèvements des trois différents matériaux latéritiques ;
- Faire des études expérimentales sur notre matériaux par les essais de laboratoire sur les matériaux ;
- Améliorer les trois types de latérite avec différents pourcentages d'ajout de sable. Ces différents pourcentages d'ajout seront les suivant :
 - 90% GAL + 10% de sable
 - 85% GAL + 15% de sable
 - 80% GAL + 20% de sable
 - 75% GAL + 25% de sable
 - 70% GAL + 30% de sable
 - 65% GAL + 35% de sable
 - 60% GAL + 40% de sable,

A chaque pourcentage d'ajout de sable sera tracé les courbes Proctor modifié correspondant de manière à avoir sur le même graphe « une surface Proctor » qui nous présentera l'évolution de la densité sèche maximum du matériau stabilisé en fonction du pourcentage de sable ajouté. Nous notons que pour chaque essais Proctor modifié suivra l'essai CBR ainsi que les essais d'analyse granulométrique et des limites d'Atterberg.

Une étude comparative de notre méthode d'amélioration avec les méthodes d'améliorations déjà existant si jamais ils ne répondent pas aux mêmes propriétés géotechniques afin de voir les avantages et limites de notre mode d'améliorations.

Les moyens utilisés pour l'application de cette méthodologie sont les moyens humains, moyens financiers, les documents, l'internet, un appareil photo, des matériels de prélèvement d'échantillon, des appareils d'essai au laboratoire et un ordinateur.

La figure 1 ci-dessous nous présente le protocole suivi pour les essais au laboratoire.

Dans la suite de notre document, notre étude se résumera en trois (03) chapitres qui sont :

1. Chapitre I qui traitera des recherches documentaires ;
2. Chapitre II qui exposera les différentes méthodes expérimentales au laboratoire ;
3. Chapitre III qui fera ressortir l'analyse et la discussion des résultats.

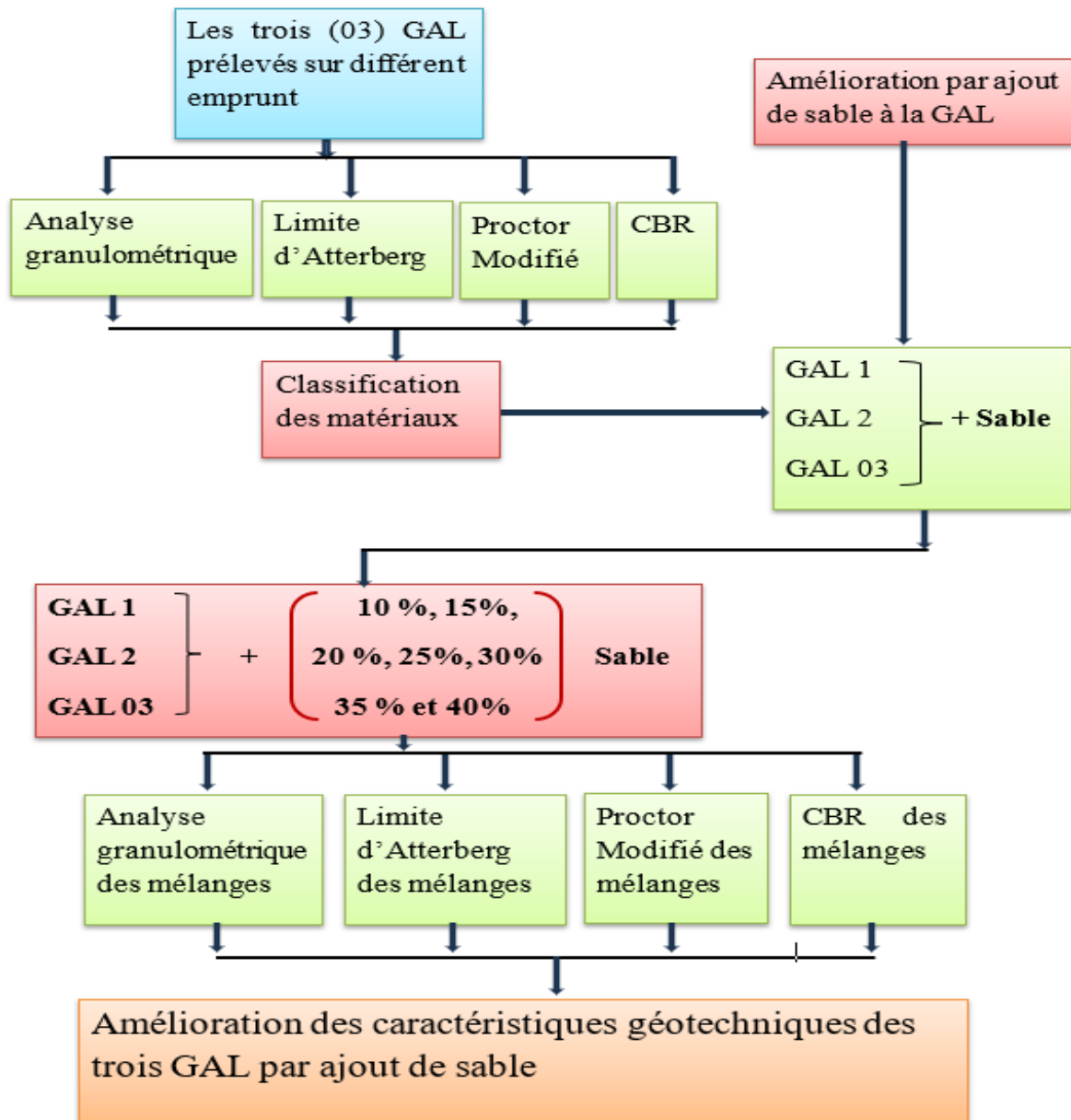


Figure 1: Le protocole suivi pour les essais au laboratoire.



PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL

ACIT (Afrique Commerce Industrie et Transport) de référence dans le domaine des missions géotechniques en particulier au Burkina Faso. Son siège social se trouve dans la province du Kadiogo, dans la commune rurale de Saaba à l'adresse suivante : 12 BP 217 Ouagadougou 12 BURKINA FASO Tel (226) 25 41 73 85 / 70 74 81 44 emails : acitgeotech@gmail.com. Tous les moyens techniques et intellectuels sont mobilisés pour mener à bien toutes les prestations confiées à ACIT géotechnique alliant qualité et coût, pour établir un rapport d'étude géotechnique clair, précis et complet.

DOMAINES DE COMPETENCE

ACIT géotechnique est compétent pour les prestations suivantes :

- Conception et maîtrise d'œuvre des projets géotechniques ;
- Missions de suivi et contrôle géotechnique d'exécution des chantiers ;
- Expertise des ouvrages sur des aspects spécifiques ;
- Appui conseil aux entreprises, aux bureaux d'études et aux maîtres d'ouvrage ;
- La formation.

ORGANIGRAMME

Dans la perspective d'une bonne organisation interne et pour subvenir aux besoins de sa clientèle, ACIT géotechnique a adopté en son sein le schéma d'organisation ci-dessous (voir la figure 2).

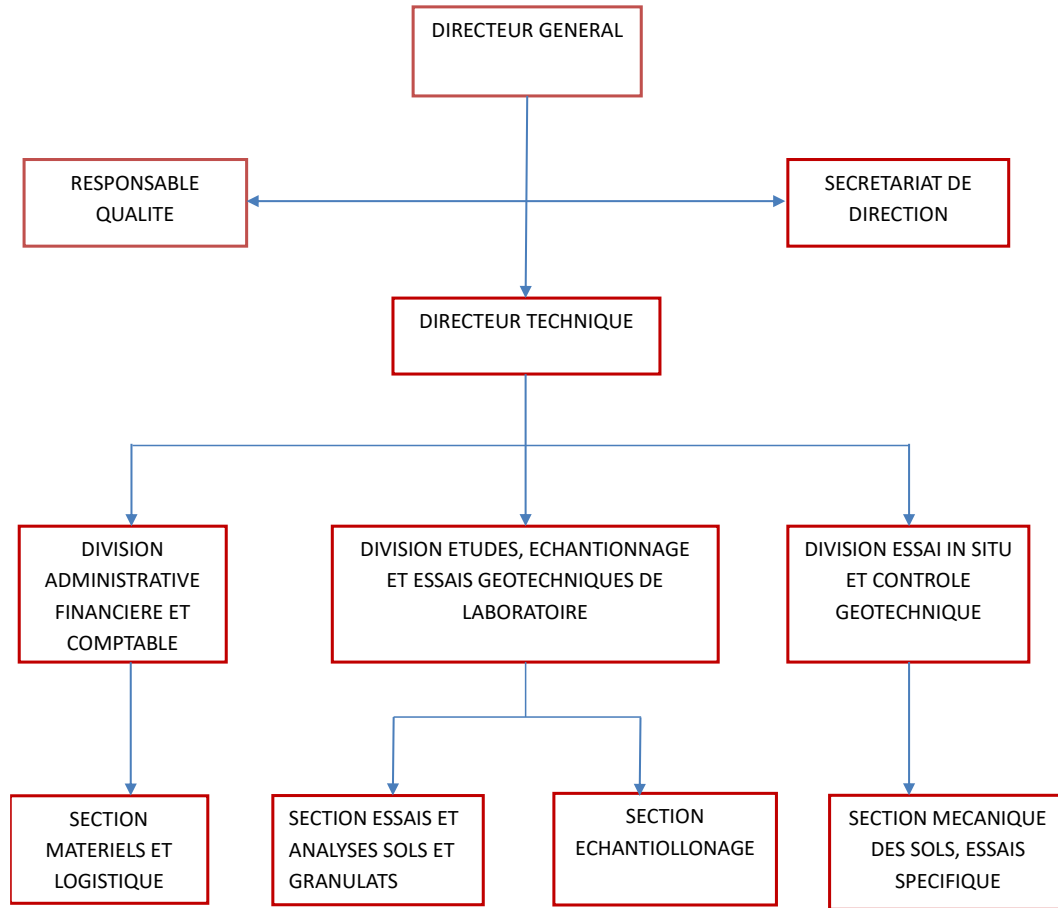


Figure 2 : L'organigramme de ACIT Géotechnique

CHAPITRE I : REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

Dans le présent chapitre, il est question de présenter la synthèse bibliographique des recherches antérieures sur l'historique des graveleux latéritique utilisé dans le monde et en Afrique sub-Saharienne et aussi sur les différents types de sable. Nous présenterons également les études sur la litho stabilisation (Graveleux latéritique plus du concassé), les techniques d'amélioration des graveleux latéritique par ajout de sable et les techniques de stabilisations (chimique et mécanique) des graveleux latéritique utilisés en construction routière.

I. GENERALITE ET PROBLEMATIQUE DES ROUTES AU BURKINA FASO

La mobilité au Burkina Faso est essentiellement assurée par les infrastructures routières. De ce fait, la politique de l'Etat burkinabé opte à renforcer le réseau routier pour permettre de désenclaver le pays. Cependant, on observe une dégradation précoce du réseau routier. Cette dégradation est parfois liée aux facteurs environnementaux et aux surcharges de nos gros porteurs.

II. GENERALITE SUR LES CHAUSSEES

La structure de chaussée permet d'interposer une interface mécanique entre le véhicule et le sol naturel pour répartir les charges des véhicules. Les couches qui constituent une chaussée sont composées de matériaux de nature différente et de qualité généralement croissante de la couche de forme à la couche de surface [9].

II.1 Structure de chaussée

Une chaussées est constituées de plusieurs couches selon [10]. La figure 3 ci-dessous nous présente les différentes couches de chaussée qui sont :

- La couche de surface qui est composée de la couche de roulement et d'une couche de liaison. Elle reçoit les efforts normaux et les efforts tangentiels venant du trafic ainsi que les attaques des intempéries ;
- Une couche de base qui obéit à des contraintes verticales, des contraintes de cisaillement et à l'effort de poinçonnement dû à la pression des pneumatiques ;
- Une couche de fondation consacrée à supporter les différentes couches qui constituent la chaussée et à absorber les contraintes de la circulation transmises en profondeur en distribuant les charges sur la couche de forme ;
- Une couche de forme réservée à recevoir les contraintes et les déformations importantes causées par le trafic.

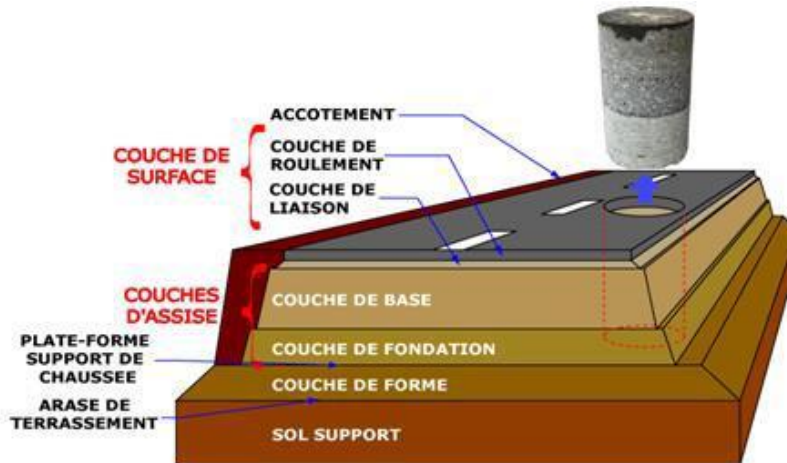


Figure 3 : Structure de chaussée Diene et al [10].

III. LES TECHNIQUES DE TRAITEMENT DE LA LATERITE EN GEOTECHNIQUE ROUTIERE

Le but du traitement est d'améliorer les caractéristiques géotechniques d'un mauvais sol pour avoir un meilleur sol utilisable en couche de chaussée.

Les buts recherchés par une stabilisation sont :

- Améliorer la capacité de compactage ;
- Réduction de la sensibilité à l'eau ;
- Accroissement de la résistance mécanique et de la portance.

Il existe de nombreux techniques de stabilisation des sols en géotechnique routière qui sont concentrer en deux grandes classes : la stabilisation chimique (traitement au ciment, traitement aux pouzzolanes, traitement aux cendres volantes, traitement aux laitiers, traitement aux liants hydrocarbonés, traitement aux produits chimiques) et la stabilisation mécanique (la litho stabilisation par ajout d'un sol fin à un sol grenu, ajout d'un sol grenu à un sol fin et élimination des fines ou éléments grossiers d'un sol) [11] et la stabilisation physique [12].

III.1 La technique de traitement chimique

Traitement aux liants hydrauliques

Les liants hydrauliques sont des poudres fines constituées de sels minéraux anhydre réactifs à l'existence de l'eau. Ils s'hydratent en présence d'eau pour former un matériau solide, véritable roche artificielle.

Traitement au ciment

Le ciment est utilisé à l'objet d'obtenir un accroissement rapide et durable des résistances mécaniques et des stabilités à l'eau et au gel.

Traitement à la chaux

Le traitement à la chaux est connu pour contrôler la dispersion des particules du sol grâce à l'échange cationique et aux effets de floculation et d'agglomération. Il change de façon sensible le comportement des sols fins argileux ou limoneux en abaissant la teneur en eau et en changeant immédiatement les propriétés géotechniques du sol [13].

Traitement aux pouzzolanes

Les pouzzolanes peuvent être à l'état naturel ou artificiel. Les pouzzolanes naturelles sont des matériaux découlant des émissions explosives de laves lors des manifestations volcaniques alors que les pouzzolanes artificielles ne sont que des résidus de combustion de charbon produits dans les industries et/ou centrales d'incinération. Elles sont utilisées en technique routière pour améliorer l'état hydrique d'un sol et pour réaliser les assises en graves-pouzzolanes.

Traitement aux cendres volantes

Les cendres thermiques procurent des quantités importantes de résidus de combustion dont les cendres volantes récupérés par dépoussiérage des fumées avant évacuation dans les cheminées.

Traitement aux laitiers (métallurgie)

Dans un haut fourneau, la production de la fonte s'accompagne de celle d'un liquide surnageant où se rejoint la gangue du minerai combinée aux fondants ajoutés. Ce liquide, sous-produit de l'industrie sidérurgique, est le laitier. En technique routière, le laitier est principalement utilisé pour la réalisation d'assises en grave-laitiers.

Traitement aux produits hydrocarbonés

Les liants hydrocarbonés sont des matériaux constitués exclusivement de collection d'atomes de carbone et d'hydrogène qui, au contact des particules solides telles que les granulats, enrichissent des forces d'adhésion assurant de la sorte une inéluctable rigidité et des résistances aux contraintes de traction, compression et cisaillement. Le principal liant hydrocarboné est le bitume.

Traitement aux produits chimiques

Ces traitements visent à l'aide d'une réaction chimique à base de chlorure de calcium, d'hydroxyde de calcium, de silicates, d'enzymes et de polymères à transformer certains produits polluants en d'autres moins polluants ou d'élimination plus aisée. Ces produits sont utilisés en construction routière pour améliorer la capacité portante des sols.

Traitement mixte

Le traitement mixte se résume à améliorer le volume d'un sol par agencement de deux ou plusieurs stabilisants dans le but d'atteindre les performances mécaniques désirées. Il existe plusieurs alliages mais la plus utilisée est celle de la chaux-ciment.

III.2 La technique de traitement mécanique par apport de matériaux

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

Stabilisation aux géotextiles

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

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

Ils définissent les caractéristiques techniques suivantes :

- La résistance à la traction ;
- L'allongement à la rupture ;
- La perméabilité ;
- La porosité

Technique de la litho-stabilisation

Principe

Elle est une forme de stabilisation mécanique d'une latérite de qualité médiocre par adjonction de concassés (pourcentage souvent supérieure à 10%). Son objectif principal est d'obtenir du mélange, un matériau présentant de meilleures performances géotechniques (essentiellement la portance). Les concassés souvent utilisés sont les concassés de basalte, granite, de grès et de silexite.

Historique

La litho-stabilisation est née des études géotechniques réalisées au LNBTP/Burkina concernant le projet d'aménagement de la route Ouagadougou-Yako. Ces études ont été menées par Pierre

LOMPO, le chef de service géotechnique routière dudit laboratoire et ont été présentées à la IVème conférence Routière Africaine qui s'est tenue entre le 20 et le 25 Janvier 1980 à Nairobi au Kenya. Les essais avaient été réalisés sur un GAL présentant les caractéristiques suivantes :

% de fines (<0.08mm) : 25

Indice de plasticité (IP) : 20

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

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

Avantages de la litho-stabilisation

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

- Sur le plan environnemental :
 - La réduction de la déformation des composantes du sol ;
 - L'exploitation limitée des gisements ;
- Sur le plan technique :
 - La facilité de la mise en œuvre ;
 - La répartition uniforme des charges sur le sol support ;
 - L'amélioration de la portance et des capacités mécaniques ;
 - La réduction de la dégradation des chaussées.
- Sur le plan économique :
 - Le gain concernant la durée de la mise en œuvre ;
 - Le faible coût des transports ;
 - La bonne résistance de la chaussée au moindre coût.

Ajout d'un sol grenu (ou une fraction granulaire) à un sol fin

L'ajout de sable et/ou cailloux à un sol fin permet de donner à ce dernier un bon squelette granulaire, ce qui augmente les performances mécaniques [14]. La technique est utilisée surtout pour les plateformes argileuses [15].

Ajout d'un sol fin à un sol grenu

C'est une stratégie utilisée en technique routière pour stabiliser les granulats concassés non plastiques. Les propriétés cohésives des sols fins servent à unifier l'alliage, ce qui augmente la plasticité et la résistance du sol. Cette manière d'ajouter un sol fin à un sol grenu permet de corriger la granulométrie lorsqu'elle n'est pas logée dans le fuseau du CEBTP [16]. Le principe en est que les éléments fins en faible proportion vont remplir les vides entre les éléments grossiers, et en présence d'eau, ils vont jouer le rôle de liant [4],[17].

Utilisations des géosynthétiques

Les géosynthétiques perfectionnent de manière significative le comportement mécanique des sols meubles et mous. Ils accroissent la capacité portante du sol mou en séparant les charges dues au trafic sur une surface plus large. Les géosynthétiques utilisées dans les couches de chaussée sont essentiellement des géotextiles, géogrilles et géocomposite en polymère.

IV. GENERALITE SUR LES MATERIAUX LATERITIQUES

IV.1 Définition

Il y a environ deux cent ans que le terme « **latérite** » a fait son apparition dans la littérature scientifique. Malgré des vicissitudes diverses, ce terme est toujours largement employé. On pourrait donc penser qu'il couvre des faits parfaitement reconnus et définis. Ce terme vient du latin « **later** » qui signifie brique (AUTRET, 1983). Le mot « latérite » a été suggéré par Buchanan (1807) [18] pour désigner un matériau servant à la construction et exploité dans les régions montagneuses de **Malabar (Inde)**.

Du point de vue de l'ingénieur routier, on parlera de graveleux latéritique. Il s'agit d'un sol meuble de granulométrie 0/20 à 0/40 mm comportant 10 à 35% de fines (passants au tamis de 80µm) et un squelette de 20 à 60% (refus au tamis de 2mm). On considère ainsi qu'un sol latéritique contenant plus de 35% de passant à 80µm n'est pas un graveleux latéritique ; il entre alors dans les catégories des sols fins. Par ailleurs, le matériau principal dans l'exécution de cette recherche est la latérite qui contient en quantité appréciable des oxydes de fer et d'aluminium, de la kaolinite et de la silice [19]. Le tableau 1 ci-dessous nous présente les composants essentiels présent dans la composition minéralogique des sols latéritiques.

Tableau I: Composants essentiels présent dans la composition minéralogique des sols latéritiques (source: Maignien [19]).

Eléments	Oxydes et hydroxydes de fer	Oxydes et hydroxydes d'aluminium	Minéraux argileux	Minéraux siliceux
Communs	. Goethite $FeO(OH)$. Limonite $FeO(OH), nH_2O$ (n =1 à 3) . Hématite Fe_2O_3	. Gibbsite $Al(OH)_3$. Boehmite $AlO(OH)$ (plus rare)	. Kaolinite . Halloysite (plus rare)	Quartz (SiO_2)
Rares	. Magnétite Fe_3O_4 . Ilménite $FeTiO_3$. Corindon Al_2O_3 . Diaspore	. Illite . Montmorillonite	

IV.2 Les graveleux latéritiques utilisés au Burkina Faso

Au BURKINA FASO les graveleux argileux latéritiques présentent en générale les spécifications techniques suivantes :

- Granulométrie : 0/40
- Pourcentage de fines passant au tamis de 80 μm : 30% ;
- Refus au tamis de 2mm : 50 à 80%
- Indice de portance CBR : 18 à 85.

Ces indications sont sorties de la classification internationale HRB, A24(0) à A26(0)

Les graves argileuse latéritiques sont utilisées dans le corps des chaussées des routes. Elles doivent correspondre à des spécifications selon la couche concernée.

V. GENERALITE SUR LE SABLE

Le sable est une matière solide granulaire constitué de petites particules meubles provenant de la désagrégation des roches sous l'action des intempéries, du climat et de l'environnement. Le terme sable est généralement utilisé pour désigner un mélange de grain n'ayant aucune cohésion et dont la dimension des grains est généralement comprise entre 0,063 et 5. Le sable est composé de micas et de quartz [20]. On l'utilise principalement dans la construction de nos bâtiment, béton, remblai, mortier, sablage, le drainage de terrain de sport, les abrèssif, la construction de nos routes et la confection des briques [21].

V.1 Les différents constituants du sable

Le sable comporte différentes variétés de minéraux qui sont dérivés d'élément de base, le silicium (Si). Ces principaux minéraux sont les suivants : le silicium, la silice, les silicates (famille la plus abondante dans la nature, plus de 90 % du poids de la lithosphère), argiles et carbonates. Ces dernières se trouvent généralement sous forme de trace dans le sable[22].

Le silicium

Le silicium est un corps pur de symbole chimique Si, de numéro atomique 14, de poids atomique 28,08 g/mol. Il ne se trouve jamais à l'état natif mais constitué sous forme de silice et de silicate. C'est l'élément le plus abondant de l'écorce terrestre (environ 27,2 %) après l'oxygène (environ 60%).

La silice

Le dioxyde de silicium ou silice (ou quartz SiO_2) occupe parmi les oxydes une place exceptionnelle dans de nombreuses applications industrielles (optique, électronique, production de matériaux réfractaires, etc.).

Les silicates

Les silicates désignent une importante famille de minéraux dérivants de la silice (SiO_2) car ils constituent environ 97% de la croûte terrestre. Ces minéraux dont le squelette est essentiellement formé par des tétraèdres de silicium [SiO_4] sont additionnés à d'autres éléments tels que l'aluminium, le magnésium, le fer, le calcium, le potassium, le sodium etc.

V.2 Classification des sables

On peut classer les sables selon AZZOUZ HOCINE [23] de plusieurs manières :

- La granularité qui permet de séparer les sables en trois catégories qui sont : Les sables fins, les sables moyens et les sables grossiers ;
- La propreté et la teneur en fines qui sont appréciées par la valeur de l'équivalent de sable.
- La nature minéralogique qui permet de classer les sables comme suit : les sables siliceux, les sables silico-calcaires et les sables calcaires ;

Les sables peuvent également être classés selon leur provenance [20] Ce sont :

- Le sable de rivière qui est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre qu'on puisse l'utiliser dans les bétons ;
- Le sable de mer : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et doit être lavé de son sel ;
- Le sable de carrière qui contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire ;

- Le sable artificiel : il est obtenu par concassage des roches (calcaires, durs, gré...). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines ;
- Le sable de dune qui est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays.
- Le sable recyclé : il est obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction tels que des bétons de démolition de bâtiments.

Conclusion

A travers cette revue bibliographique, il a été observé que plusieurs études ont confirmé les effets bénéfiques des techniques de stabilisations chimiques et mécaniques par apport de matériaux. L'étude des classifications des sables ainsi que les matériaux latéritiques utilisés dans la construction routière en Afrique et au Burkina Faso ont été également d'un grand intérêt. Dans le prochain chapitre, nous présenterons les principaux matériaux et méthodes expérimentales utilisés.

CHAPITRE II : MATERIAUX ET METHODES EXPERIMENTALES

La géotechnique consiste en l'étude de la manière dont les structures humaines s'adaptent aux sols et aux roches naturelles. Elle se concentre sur l'interaction entre le sol et les structures, en utilisant des connaissances en géologie, mécanique des sols et des structures. L'objectif principal de l'étude géotechnique est de comprendre les sols pour les travaux de construction dans le Bâtiment et les Travaux Publics, ce qui nécessite des essais au laboratoire géotechnique ou in situ. Pour répondre à notre problématique, nous réaliserons divers essais expérimentaux au laboratoire afin de comprendre le fonctionnement mécanique des matériaux utilisés. Nous effectuerons des essais sur la grave latéritique naturelle d'une part, et sur le sable utilisé d'autre part et sur le mélange GAL plus sable. En nous appuyant sur les connaissances acquises grâce aux recherches antérieures, nous pourrions déterminer la proportion idéale de sable pour atteindre l'optimum.

I. MATERIAUX

I.1 La latérite

Le matériau latéritique est le centre de notre travail dans la réalisation de nos différents essais. Ainsi pour s'acquérir de ce matériau latéritique nous sommes allés sur trois (03) sites d'emprunt. Ces choix des sites d'emprunt ont été faits sur la base d'un indice CBR faible issu du site de Nakamtenga nommé (GAL n°1), d'un indice CBR moyen issu du site de Katabtenga nommé (GAL n°2), d'un indice CBR pouvant être utilisé en couche de base pour les trafics faible (T1) provenant du site de Donsin nommé (GAL n°3) et sur la base des granulométries pour améliorer le squelette granulaire. La ponction du matériau latéritique a donné lieu à 20 sacs de 50kg par site d'emprunt. Nous avons utilisé la méthode du prélèvement sur le tas (la figure 4 ci-dessous nous présente les sites d'emprunt). Une fois la ponction terminée, les échantillons ont été emmagasinés au laboratoire sous un abri au refuge de la pluie. Ensuite, les sacs ont été ouverts et mélangés en utilisant la méthode d'échantillonnage par quartage afin d'avoir un matériau homogène. Enfin, ils ont été soumis aux essais géotechniques. Les coordonnées géographiques des trois (03) sites d'emprunt de graveleux latéritique utilisées sont :

- Pour le site d'emprunt de Nakamtenga, nous avons en latitude et en longitude respectivement à 12°24'55" Nord et 1°35'53" Ouest ;

- En ce qui concerne le site d'emprunt de Katabtenga, nous avons en latitude et en longitude respectivement à $12^{\circ}80'6''$ Nord et $1^{\circ}33'49''$ Ouest ;
- Quant au site d'emprunt de Donsin, nous avons en latitude et en longitude respectivement à $12^{\circ}35'49''$ Nord et $1^{\circ}29'08''$ Ouest



Figure 4 : Site d'emprunt des trois (03) matériaux latéritiques

I.2 Le sable

Le sable naturel de Dakola est le matériau qui est utilisé pour améliorer les matériaux latéritiques de Nakamtenga, Katabtenga et Donsin. Ainsi pour l'acquisition de ce matériau, nous nous sommes rendus sur un chantier à Saaba (Aspect final) pour le prélèvement. Les coordonnées géographiques de ce chantier sont en altitude $12^{\circ}22'8''$ Nord et en longitude $1^{\circ}25'24''$ Ouest. La ponction du matériau a fait l'objet de 5 sacs de 50kg. La méthode de prélèvement sur le tas a été utilisée. La figure 5 nous présente le chantier du prélèvement. Les échantillons ont été emmagasinés au laboratoire sous un abri au refuge de la pluie pour être par la suite mélange afin d'obtenir un matériau homogène avant de réaliser les essais géotechniques.



Figure 5 : Dépôt de sable utilisé pour l'amélioration.

II. METHODES EXPERIMENTALES

Les essais d'identification et de caractérisation (Analyse granulométrique, l'Equivalent de sable et la Limites d'Atterberg) ont permis de déterminer la nature des matériaux latéritiques. Le tableau 2 ci-dessous nous présente la synthèse des essais au laboratoire.

S'agissant des essais Proctor, ils ont permis de trouver la teneur en eau optimal et la densité sèche maximale pour les matériaux latéritiques. Ces deux paramètres permettent de définir les caractéristiques de compactage des éprouvettes d'essais.

En outre, les essais de portance « California Bearing Ratio (CBR) » ont donné un premier aperçu sur la portance du matériau.

Nous précisons que la présente étude est plutôt centrée sur les possibilités d'exploitation des matériaux latériques d'après leur performance mécanique réelles qui peuvent cependant faire l'objet de rapprochement avec les prouesses estimées dans les spécifications routières.

Tableau II : Synthèse des essais au laboratoire et Normes Française

Paramètres des matériaux	Intitulé de l'essai	Matériaux cibles	Références normatives
Caractérisations Physiques	Analyse granulométrique	Graveleux latéritiques et sable	NF P 94 056
	Equivalent de sable	Sable	NF P 18 597
	Limites d'Atterberg	Graveleux latéritiques	NF P 94 051
Graveleux latéritiques + Sable			
Caractérisations mécaniques	Proctor modifié	Graveleux latéritiques	NF P 94 093
		Graveleux latéritiques + Sable	
	CBR	Graveleux latéritiques	NF P 94 078
		Graveleux latéritiques + Sable	

II.1 Les différents types d'échantillonnage au laboratoire (NF P94 0494)

➤ Prélèvement sur le tas

Quand on met un matériau granulaire en stock, les gros éléments ont tendance à rouler vers le bas du monticule tandis que les particules de faibles diamètres se trouvent au sommet du dit tas. Cette situation recommande que les prélèvements soient faits en haut, en bas, au milieu et à l'intérieur du tas afin de les mélanger pour constituer ainsi un échantillon représentatif de l'ensemble.

➤ Echantillonnage en laboratoire

La préparation de l'échantillon d'essai en laboratoire obéit aux étapes suivantes :

- Séchage de l'échantillon de départ à l'étuve ;
- Brisure mécanique des agrégats avec un maillet en caoutchouc.

Il en résulte que le matériau est étalé et séché pour réduire sa teneur en eau. Après une journée d'étalage au soleil, il est tamisé à l'aide du tamis 20mm (module 44). Une fois les matériaux séchés, ils sont remis dans les sacs avec chacun une note indiquant sa provenance pour éviter les mélanges des échantillons. La figure 6 nous présente les sacs de prélèvement en (a) et en (b) le matériau tamiser au tamis de module 44 et séchage.

Il est nécessaire pour le début des essais en laboratoire de connaître :

- La teneur en eau initiale de l'échantillon ;
- La répartition du matériau afin d'avoir un échantillon représentatif de l'ensemble par le mode d'échantillonnage par quartage.



Figure 6 : a) Sacs de prélèvement b) séchage et tamisage au tamis de module 44

➤ Echantillonnage par quartage

Il s'agit de séparer le matériau en quatre (04) parties. En effet l'échantillon, préalablement étalé est subdivisé en quatre (04) parties sensiblement égales. On passe au rejet de deux (02) fractions opposées et on assemble les deux (02) autres fractions pour former un sous-échantillon. Le processus est répété autant de fois que nécessaire pour obtenir la quantité désirée pour une utilisation finale. La figure 7 ci-dessous nous montre le principe du quartage manuel.

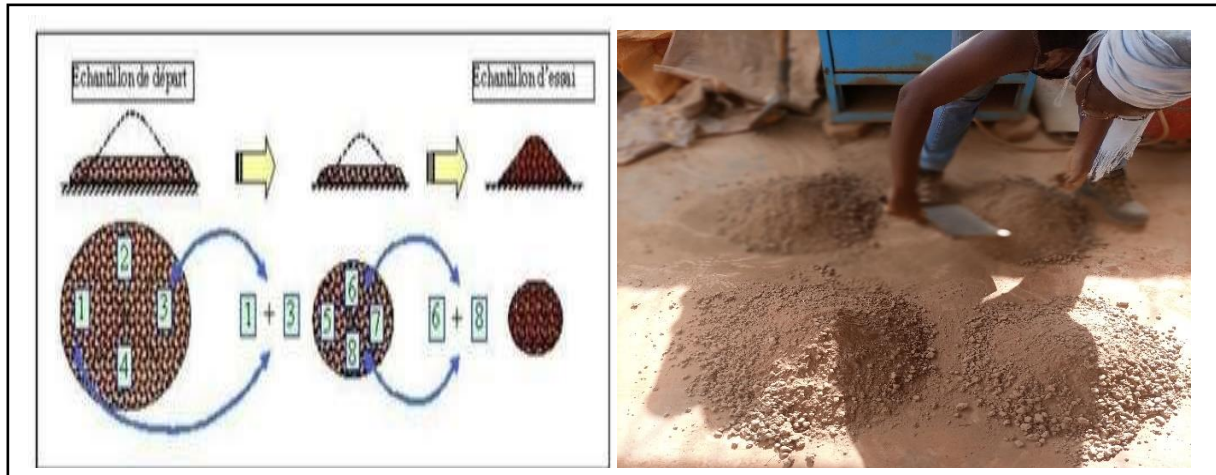


Figure 7 : Principe de quartage manuel

➤ Méthode par l'échantillonneur

Cet appareil de laboratoire permet de diviser facilement en deux parties représentatives la totalité d'un échantillon initial en versant le matériau à l'aide de la pelle dans l'échantillonneur tout en veillant à ce que le matériau soit uniformément reparti sur la largeur de la pelle. Chaque moitié est recueillie dans un bac de manière séparée. La figure 8 suivante présente l'échantillonneur utilisé.



Figure 8 : Un échantillonneur

II.2 La granulométrie par tamisage (NF P 94 056)

L'analyse granulométrique est un essai qui permet de déterminer et d'observer les différents diamètres de grains qui constituent un granulat. Elle se fait par tamisage à sec pour les sols dont le diamètre des grains est supérieur à 0,08mm et par sédimentométrie pour les sols dont le diamètre des grains est inférieur à 0,100mm. L'analyse granulométrique par tamisage à sec après lavage a été appliquée aux fractions de sol latéritique supérieure ou égale à 80 μ m et aussi au sable.

- Analyse granulométrique par tamisage à sec

Principes

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

Mode opératoire

L'échantillon choisis après quartage est séché à l'étuve durant 4h de temps à 105°C. Il est pesé, mouillé pendant au moins 24 heures pour séparer les fines particules des gros. Il est lavé à plusieurs reprises au tamis de 80 μ m et est remis à l'étuve à nouveau (24h à 105°C). Après l'étuvage, il est à nouveau pesé avant d'être versé dans la colonne de tamis qui est classée par ordre décroissant des mailles (cette colonne est agitée manuellement ou mécaniquement). Les refus des tamis sont pris (en commençant par celui qui a la plus grande ouverture) et pesés de façon cumulée. La figure 9 nous présente les séries de tamis en (a) et en (b) une balance et un matériau pour peser.

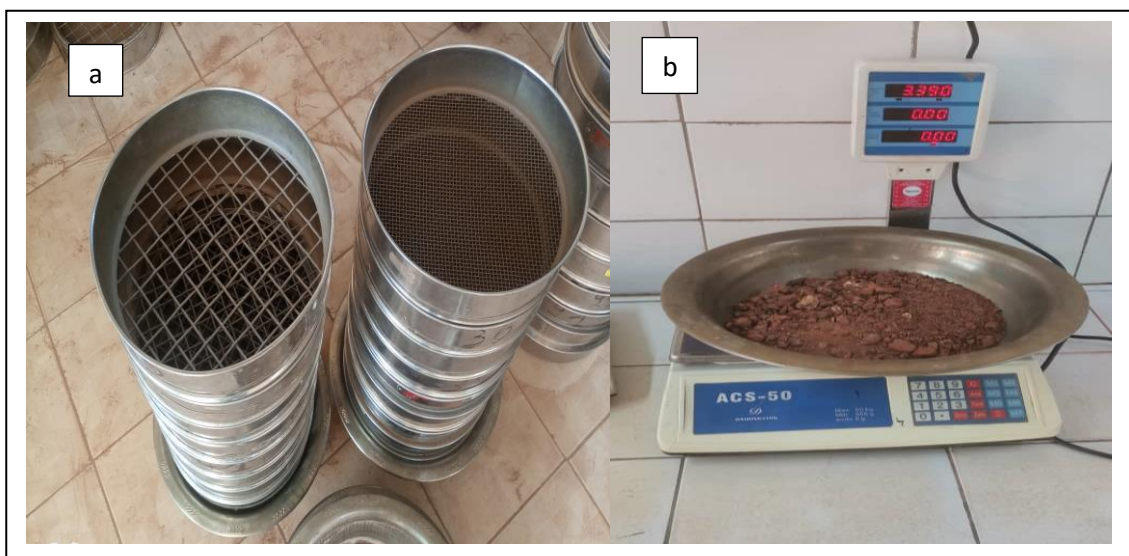


Figure 9 : a) série de tamis b) balance et matériaux pour peser

Expression des résultats

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

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

- La masse de tamisât cumulée (%) en ordonnée sur une échelle arithmétique
- Le diamètre des particules en abscisse sur une échelle logarithmique
- Le coefficient d'uniformité de Hazen : $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$
- Le coefficient de courbure : $C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} * d_{60}}$

$C_u < 2$, la granulométrie uniforme ou serrée

$C_u > 2$, la granulométrie étalée ou variée

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

II.3 Essai de la Limite d'Atterberg (NF P 94 051)

Il est important de connaître la quantité d'eau relative présente dans un dépôt naturel de sol. Nous avons également besoin de relier cette teneur en eau à des comportements standards. Les limites d'Atterberg sont des teneurs en eau correspondant à une certaine limite ou état critique de notre sol. Elles sont utilisées dans la classification des sols, et sont très utiles parce qu'elles corrélient les propriétés et les comportements géotechniques.

Principe

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. L'essai définit conventionnellement les limites entre ces états. La figure 10 nous présente les différentes limites de matériau en fonction de la teneur en eau.

Mode opératoire

Casagrande a défini la limite de liquidité comme la teneur en pourcentage (%) qui correspondant à une fermeture de la rainure (sur 10mm) en 25 chocs dans la coupelle de

l'appareil dit de Casagrande. Si nous portons sur un graphique semi-logarithmique, la teneur en eau tend vers le nombre de chocs de 25 donnant la limite de liquidité. L'intersection de cette courbe donne le nombre de chocs de 25 donnant la limite de liquidité. L'essai se réalise sur la fraction 0/0,4 mm d'un échantillon représentatif de sol complètement remanié. La limite de plasticité est définie comme la teneur en eau d'un matériau enroulé en petit boudin qui se brise en petits morceaux de 15 à 20 cm de long au moment où son diamètre atteint 3mm. La figure 11 nous montre en (a) les matériels pour la limite d'Atterberg et en (b) l'appareil de Casagrande avec un matériau.

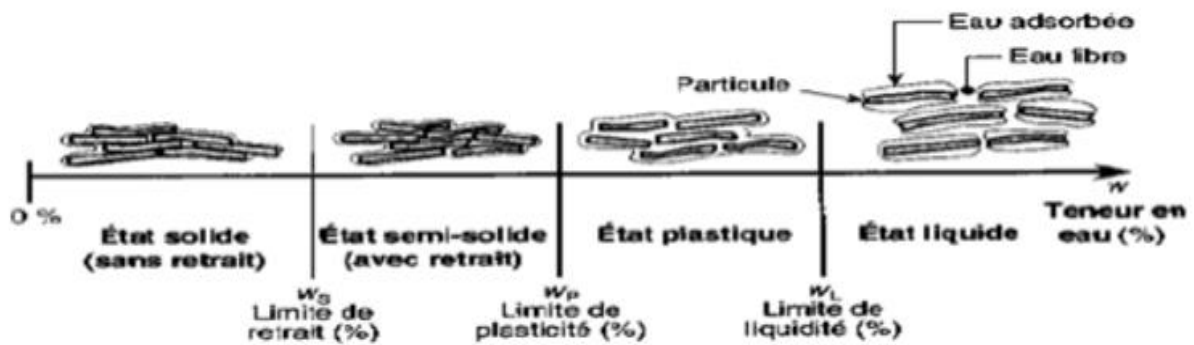


Figure 10 : Les différentes limites du matériau en fonction de la teneur en eau.

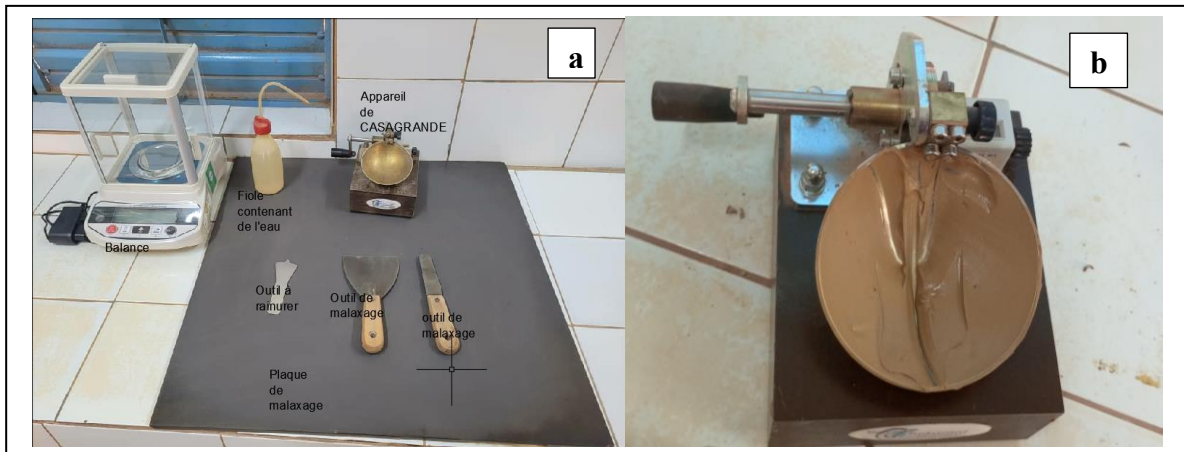


Figure 11 : a) Matériel pour la limite d'Atterberg ; b) Appareil de Casagrande avec un matériau.

Expressions des résultats

L'essai des limites d'Atterberg s'effectuent à partir d'un échantillon qui pèse de 300g. Atterberg a défini ce qu'on appelle l'Indice de plasticité I_p , qui décrit la gamme de teneur en eau dans laquelle le sol est plastique : $I_p = W_l - W_p$. Il a aussi défini l'indice de croissance

$$(IC) = (W_l - W_p) / I_p.$$

II.4 Essai d'équivalent de sable (NF P 18 597)

L'essai d'équivalent de sable permet de mesurer la propreté de la quantité d'éléments fins contenu dans le matériau sans aucune distinction de nature. L'équivalent de sable est le rapport conventionnel volumétrique entre les grains fins et les autres. Il permet donc de caractériser l'importance des fines par une valeur numérique. Plus l'équivalent de sable est élevé, moins le matériau contient des éléments fins nuisible, le tableau 3 nous en donne plus de détail.

Principe

L'essai consiste à verser un échantillon de sable et une petite quantité de solution floculante dans une éprouvette graduée et d'agiter de façon à détacher les revêtements argileux des particules de sable de l'échantillon.

Mode opératoire

L'opérateur rend pleine chacun des deux éprouvettes gradués d'une solution lavante jusqu'au trait repère inférieur figurant sur l'éprouvette. Il verse une quantité de matériau (sable) dans chaque éprouvette à l'aide d'un entonnoir et s'effectue sur les fractions inférieures à 5 mm. Il faut laisser reposer pendant 10 mn pour humidifier l'éprouvette. Après avoir fermé cette dernière, il le dispose ensuite sur une machine d'agitation. L'on procède à l'agitation de chaque éprouvette pendant 30 secondes avant de laisser reposer 10 mn et mesurer la hauteur h_1 et h_2 à l'aide d'une règle graduée. Pour calculer l'équivalent de sable il existe deux types d'essais : visuel et au piston, la figure 12 nous montre l'appareil pour équivalent de sable et le matériel pour équivalent de sable.

Expression des résultats

Ce sont les valeurs ci-dessous déterminées dans le cadre de cet essai qui permettent d'évaluer le degré de propreté du sable.

L'équivalent de sable à vue est donné par la formule : $E_{sv} = 100 \times (h_2/h_1)$

L'équivalent de sable grâce au piston est, donné par la formule : $E_s = 100 \times (h_3/h_1)$

Avec :

h_1 : la hauteur du niveau supérieur du floculat par rapport au fond de l'éprouvette.

h_2 : la hauteur du niveau supérieur de la partie sédimentée par rapport au fond de l'éprouvette.

h_3 : la hauteur du sédiment au niveau de la face supérieure du manchon.

Tableau III : Qualité du sable en fonction des valeurs d'équivalent de sable *ESV* et *ESP*.

E.S à vue	E.S piston	Nature et qualité de sable
$E.S < 65$	$E.S < 65$	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
$65 < E.S < 75$	$65 < E.S < 80$	Sable légèrement argileux de propriétés admissible convient parfaitement pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
$75 \leq E.S < 85$	$70 \leq E.S < 80$	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.
$E.S \geq 85$	$E.S \geq 80$	Sable très propre ; l'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

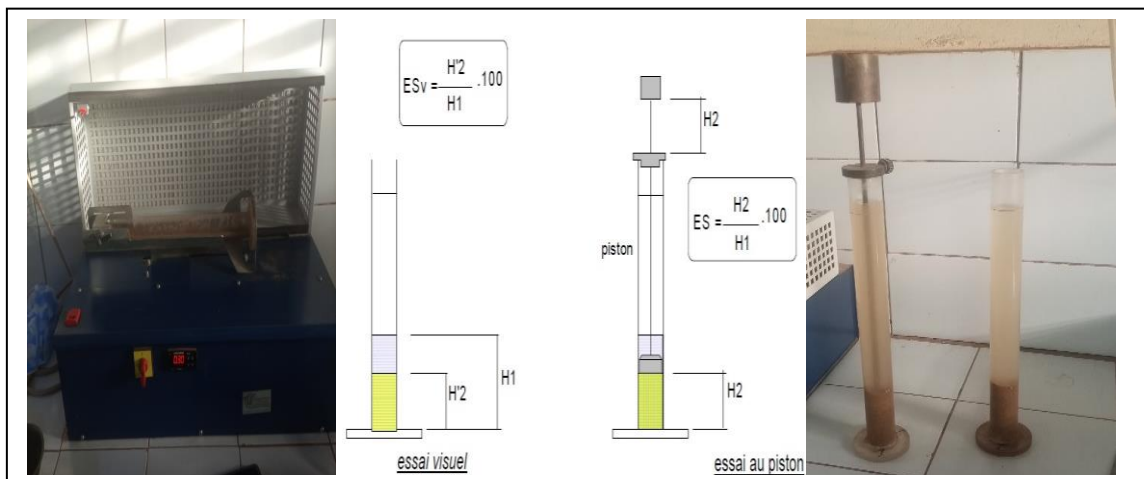


Figure 12 : Appareil pour équivalent de sable et Matériel pour équivalent de sable.

II.5 Essai Proctor modifié (NF P 94 093)

L'essai Proctor est une méthode géotechnique qui permet d'évaluer la quantité d'eau requise pour obtenir la densité sèche maximale d'un échantillon de sol en le compactant à une énergie spécifique et définie en fonction du type d'essai. Deux catégories d'essais Proctor existent :

- Pour les couches de forme et les remblais on utilise généralement l'essai Proctor Normal ;
- Le Proctor modifié qui est utilisé pour tout ce qui concerne les couches d'assise des chaussées.

Les consignes de la norme "NF P94-093" 2014 ont été respecté et dans notre cas d'étude il s'agit d'un Proctor modifié. Cet essai s'applique à la latérite crue et aux différents

mélanges aux différents pourcentages d'ajout de sable.

Principe

Le principe de l'essai repose sur l'humidification d'un matériau avec différentes teneurs en eau et à le compacter selon un procédé et une énergie conventionnelle. La masse volumique sèche du sol est calculée pour chaque valeur de teneur en eau et la courbe des variations de cette masse volumique est établie en fonction de la teneur en eau.

Mode opératoire

Il s'agit de solidariser le moule, l'embase et la rehausse ensuite, il convient de lubrifier les parois intérieures du moule. Par la suite, on insère le matériau dans le moule de manière à ce que la première couche après compactage soit légèrement plus élevée que le tiers de la hauteur du moule pour l'essai Proctor normal et pour l'essai Proctor modifié. On applique 56 coups à la dame Proctor pour compacter cette couche, puis on répète l'opération jusqu'à la cinquième couche. Une fois que la cinquième couche a été compactée, on retire la rehausse et on procède à une rasée minutieuse au niveau du moule en effectuant une rotation radiale du centre vers la périphérie du moule. Enfin, On mesure tout le moule avec le matériau, puis on démoule le matériau et on extrait des échantillons représentatifs afin de déterminer les teneurs en eau. La figure 13 nous donne en (a) le matériel pour le Proctor modifié, en (b) le matériau à mouler et en (c) le matériau compacté sur une balance.

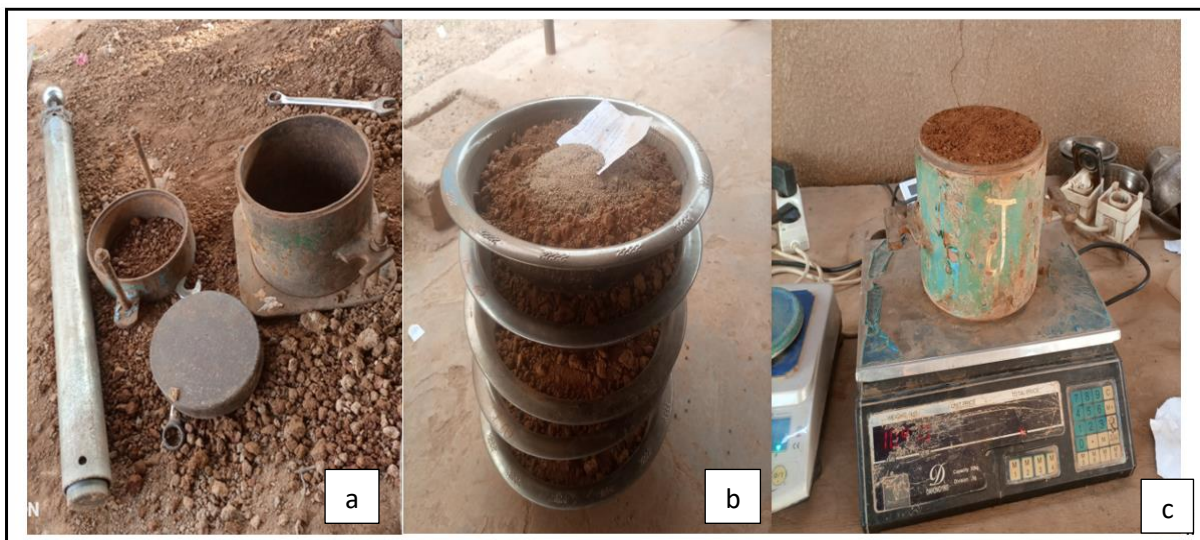


Figure 13 : a) Moule Proctor ; b) Matériau ; c) Pesée sur une balance normalisée après le compactage.

Expression des résultats

Pour chaque éprouvette compactée, il convient de calculer :

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

La courbe ajustée est ensuite tracée sur les points expérimentaux. À l'exception des matériaux extrêmement perméables, cette courbe présente un maximum dont les coordonnées sont appelées masse volumique sèche et teneur en eau Optimum Proctor Modifié.

II.6 L'essai CBR (NF P 94-078)

Les tests CBR sont utilisés pour évaluer la capacité de portance d'un sol compacté en évaluant sa résistance au poinçonnement en se basant sur son état, sa densité et son humidité, ainsi que les charges appliquées. Il évalue la capacité d'un sol à supporter l'effort tranchant dans des conditions d'humidité et de densité régulées, ainsi que le niveau de compactage variable, en fournissant un pourcentage du rapport de portance. Dans notre situation, l'analyse CBR a porté sur les latérites crues et les divers mélanges.

Principe

L'essai se résume à évaluer les forces nécessaires pour faire pénétrer un poinçon cylindrique à une vitesse constante dans une éprouvette de matériau préalablement immergée pendant une période de 96 heures (4 jours).

Mode opératoire

Trois moules CBR sont préparés pour être utilisés lors de l'essai. Le matériau est compacté à l'aide de la dame Proctor Modifié, avec cinq couches par moules. On procède au compactage à différentes fréquences pour chaque moule : 10 fréquences, 25 fréquences et 56 fréquences, et cela par couche. Une fois que la cinquième couche a été compactée, on retire la rehausse et on procède à une rasée minutieuse au niveau du moule en effectuant une rotation radiale du centre vers la périphérie du moule. Par la suite, on pèse l'ensemble du moule en utilisant le matériau, puis on le retourne pour le fixer à la plaque de base. Les charges supplémentaires sont placées dans le moule et les trois moules sont imbibées pendant quatre jours avant de les poinçonner. Finalement, lors du poinçonnement, l'ensemble est positionné au niveau de la presse de manière centrée sur le piston. Le poinçonnement est effectué à une vitesse constante et les efforts de poinçonnement sont enregistrés en fonction des valeurs d'enfoncement préétablies par la norme. La figure 14 nous présente la presse CBR.

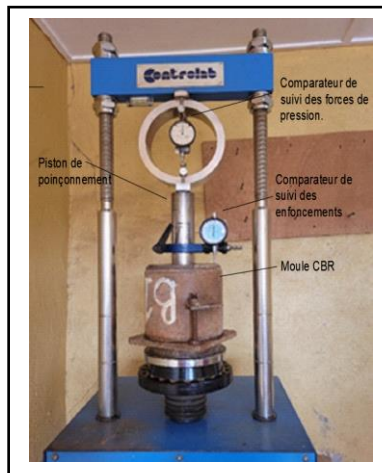


Figure 14 : Une presse CBR

Expression des résultats

Les résultats du poinçonnement sont représentés sur un graphique représentant l'effort et la déformation. Les valeurs des efforts correspondant à 2,5mm et 5mm d'enfoncement sont affichées sur chaque courbe et sont utilisées dans les formules suivantes :

$$\frac{\text{effort de pénétration à 2,5 mm d'enfoncement(kN)}}{13.35} * 100$$

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

Les indices CBR sont lues sur la courbe de saturation en utilisant les grandes valeurs obtenues des trois courbes après avoir été immergés à 98%, 95% et 90% de la densité sèche maximale de référence.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons examiné les matériaux utilisés pour la litho stabilisations des trois graveleux latéritiques utilisés par ajout de sable ainsi que les méthodes de stabilisation et de caractérisation géotechnique. Les propriétés étudiées comprenaient la granulométrie, la plasticité, la portance du matériaux graveleux latéritique et la propriété du sable pour le sable utilisé. Dans le prochain chapitre, nous présenterons les principaux résultats obtenus à partir de ces études ainsi que leurs interprétations.

CHAPITRE III : ANALYSES ET DISCUSSIONS DES RESULTATS

Il est question dans ce chapitre de l'exposition des divers résultats obtenus concernant les trois (03) différentes latérites sans ajout de sable et l'amélioration par ajout de sable (mélange) ainsi que de l'analyse des résultats pour exprimer des observations. Après analyse des précédentes études sur l'amélioration par ajout de sable, le choix s'est porté sur sept (07) mélanges de 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% et 40% de sable. Pour un pourcentage en dessous de 10% de sable il n'y a pas de changement parce que les résultats reçus sont très proches de la latérite à l'état naturel. A partir de 30% de sable on observe une baisse de la portance ce qui pourrait laisser penser que le matériau a atteint ses limites.

I. RESULTATS DES CARACTERISTIQUES DES LATERITES SANS AJOUT DE SABLE (le cru)

Il s'agit des résultats obtenus des essais d'identifications et des essais de portance que sont l'analyse granulométrique, les limites d'Atterberg, les essais Proctor et CBR de la latérite. On présente une synthèse des résultats afin de donner une opinion sur les résultats du matériau étudié avec les détails en annexes. Les caractéristiques géotechniques de ces matériaux sont consignées dans le tableau 4 ci-dessous (voir plus de détail en annexe 2).

Tableau IV : Caractéristiques géotechnique des différents latérites testés sans amélioration.

Emprunts	Analyse granulométrique (passant %)					Limites d'Atterberg			Proctor modifié		CBR	
	10mm	5mm	1,6mm	0,4mm	0,08mm	Wl	Wp	Ip	W _{opm}	Y _{opm}	95%	98%
GAL 01 CRUE	71	46	27	24	19	41,80	22,98	18,82	8,5	2,24	27	33
GAL 02 CRUE	68	51	32	18	11	29,70	19,92	9,78	12,4	2,12	50	64
GAL 03 CRUE	72	49	32	23	17	35,70	22,45	13,25	9,2	2,19	61	78

I.1 L'analyse granulométrique des graveleux latéritiques crus

Ces trois (03) latérites sont identifiées d'après la catégorie des sols fins (Abaque de Casagrande) [24] comme des argiles peu plastiques. La caractérisation de la granulométrie de ces sols est : D_{max}=10mm ; D_{min}=0,08mm.

La figure 15 nous présentent les résultats de l'analyse granulométrique des trois (03) matériaux latéritiques encadrées par le fuseau des matériaux utilisable en couches de fondation et en couche de base proposées par le CEBTP (1984).

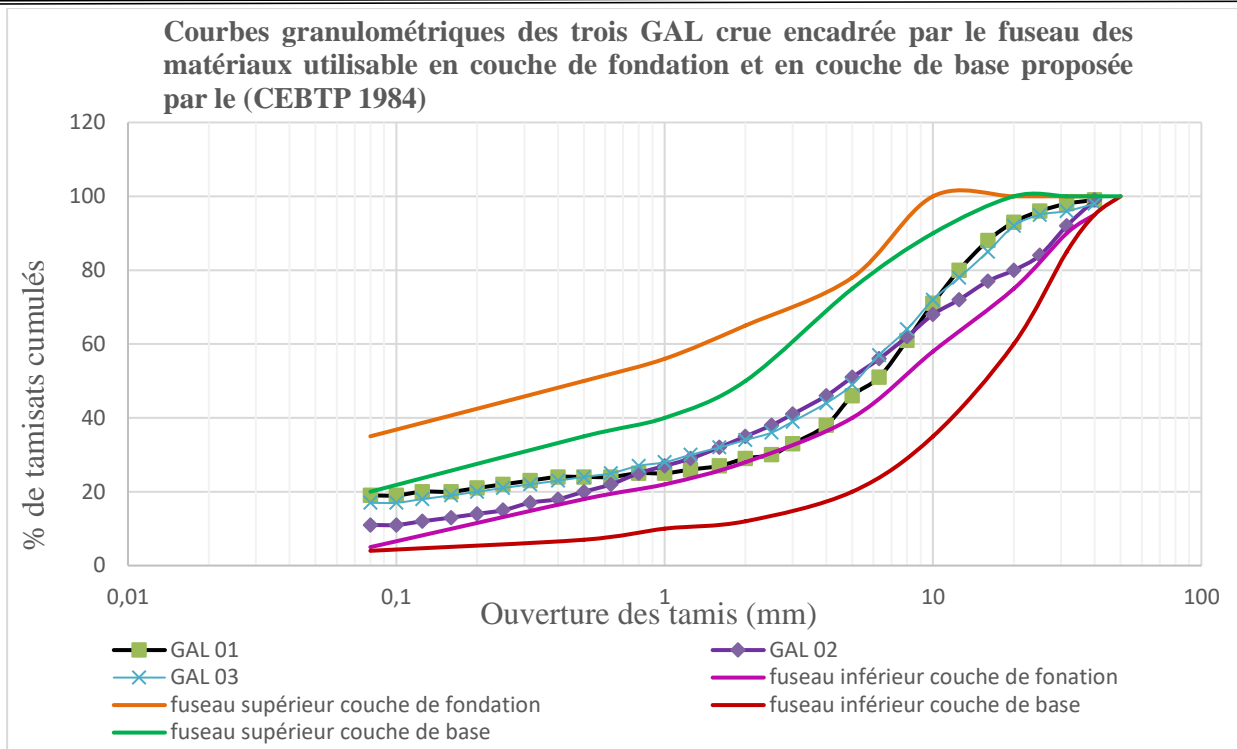


Figure 15 : Courbes granulométriques des trois GAL crues encadrée par le fuseau des matériaux utilisable en couche de fondation proposée par le (CEBTP 1984).

D'un point de vue granulométrique, Il est évident que les trois matériaux latéritiques crus présentent chacun une courbe de granulométrie bien insérée dans le fuseau des matériaux utilisables en couche de fondation et en couche de base. Ce qui peut sous-entendre qu'ils peuvent être utilisés en couche de base et en couche de fondation si les caractéristiques mécaniques sont acceptables.

I.2 Limites d'Atterberg des graveleux latéritiques crus

Le tableau 5 ci-dessous nous montre que la GAL n°1 et la GAL n°2 peuvent être utilisées en couche de fondation mais pas en couche de base à cause de leur indice de plasticité élevée. Par contre la GAL n°3 peut être utilisée en couche de base pour les trafics faibles parce que la plasticité est inférieure à 15. La figures 16 nous présentent les courbes des limites d'Atterberg des trois (03) latérites et leur évolution en fonction des indices de plasticité de la couche de base et de la couche de fondation du CEBTP. Voir l'annexe 1 pour plus de détail.

Tableau V : Comparaison des valeurs de limites d'Atterberg avec les valeurs seuils des spécifications du CEBTP (1984).

GAL cru et spécification du CEBTP (1984)	Indice de plasticité (I_p)
GAL n°1	18,82
GAL n°2	9,78
GAL n°3	13,25
Couche de fondation : spécification	<20
Couche de base : spécification	<15

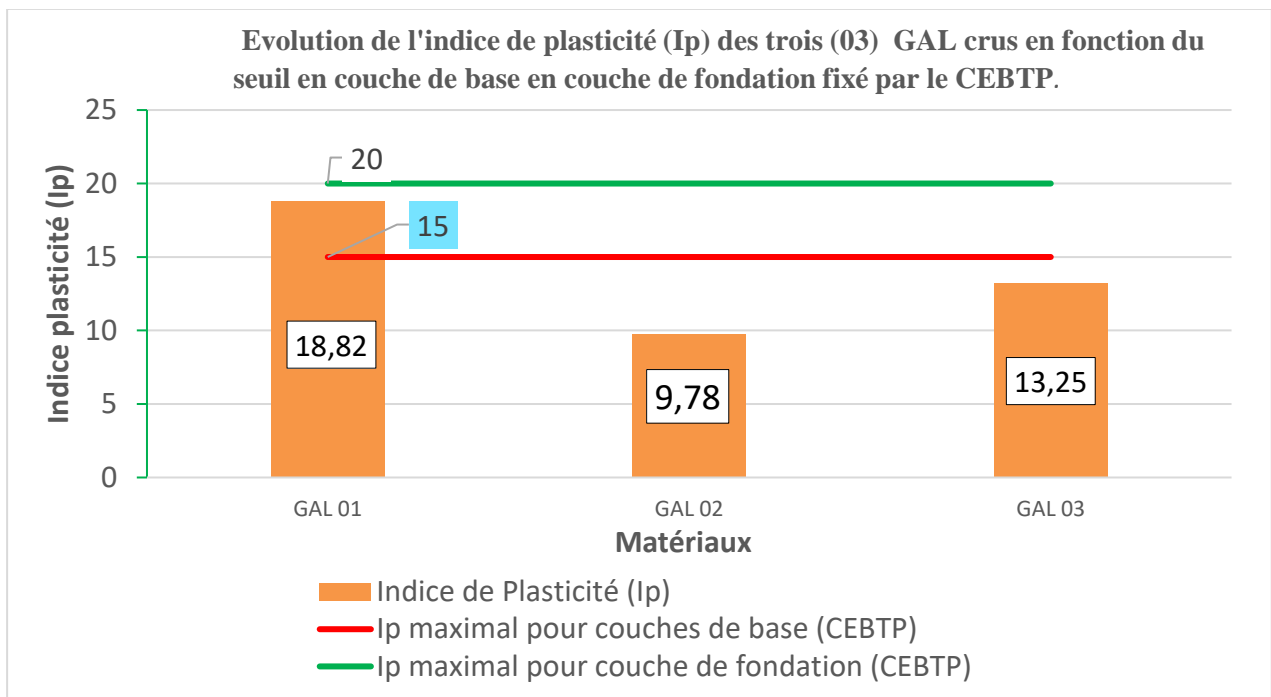


Figure 16 : Evolution des limites d'Atterberg des trois GAL cru en fonction des indices de plasticité de la couche de base et de la couche de fondation du CEBTP.

Grâce aux limites d'Atterberg des sols latéritiques, il est possible d'évaluer les limites de liquidité (w_l), les limites de plasticité (w_p) et l'indice de plasticité (I_p). Ces valeurs correspondent à des sols latéritiques définis par le CEBTP

De plus, il est observé que le graveleux latéritique cru de Nakamtenga a un indice de plasticité $I_p=18,82\%$ qui est au-dessus de celle établie par le CEBTP. Nous remarquons une hausse de 25,4% au niveau de couche de base et une baisse de 5,9% au niveau de la couche de fondation. Celui de Katabtenga a un indice de plasticité $I_p=9,78\%$ qui est en dessous de celle établie par

le CEBTP. Nous remarquons également une baisse de 34,4% au niveau de la couche de base et 51,1% au niveau de la couche de fondation. Aussi, l'indice de plasticité du graveleux latéritique cru de Donsin est $I_p=13,25\%$. Donc en dessous de celle établie par le CEBTP. On assiste alors à une diminution de 11,6% au niveau de la couche de base et 33,75% au niveau de la couche de fondation. Les valeurs de l'indice de plasticité fixées par le CEBTP sont $I_p=20\%$ en la couche de fondation et $I_p=15\%$ en la couche de base.

I.3 Proctor Modifié des graveleux latéritique crus

Les résultats de l'essai Proctor Modifié des différentes latérites sont consignés dans le tableau 05 ci-dessus. La figure 17 ci-dessous nous présente les résultats des courbes Proctor modifié des trois (03) GAL.

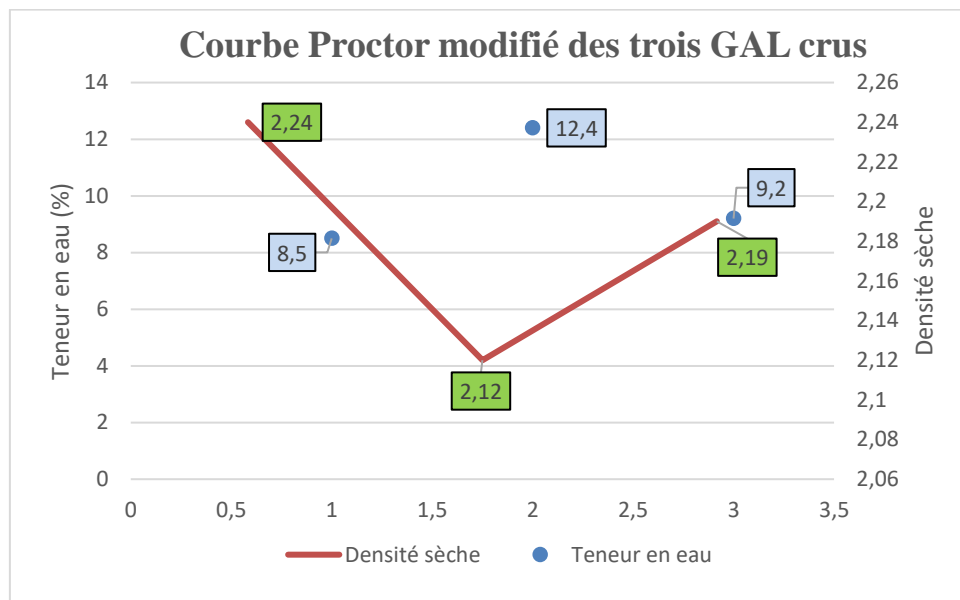


Figure 17 : Courbe Proctor modifié des trois GAL du matériau cru en fonction de la teneur en eau.

On a effectué l'essai Proctor Modifié afin de déterminer la teneur maximale en eau dans la latérite une fois qu'elle a été compactée. Grâce à ces tests, il est possible d'atteindre la densité sèche optimale (γ_{opm}) et la teneur en eau optimale (w_{opm}).

Le constat est que la valeur de la teneur en eau optimale et la densité sèche optimale varient selon les trois graveleux latéritiques (voir figure 17). D'abord, La valeur de la teneur en eau optimale du graveleux latéritique de **Nakamtenga** varie jusqu'à 8,5%. La densité sèche optimale est de $2,25 \text{ g/cm}^3$. Ensuite, La valeur de la teneur en eau optimale du graveleux latéritique de **Katabtenga** varie jusqu'à 12,0%. La densité sèche optimale est de $2,11 \text{ g/cm}^3$.

Enfin, La valeur de la teneur en eau optimale du graveleux latéritique de **Donsin** varie jusqu'à 9,2%. La densité sèche optimale est de $2,19 \text{ g/cm}^3$. Toutefois, nous remarquons que les trois GAL non traitée ont une densité sèche acceptable [25].

I.4 Indice CBR des graveleux latéritiques crus

Les résultats de l'essai CBR des différentes latérites sont consignés dans la figure 18. Ils ont été réalisés sur la latérite compactée à l'optimum Proctor Modifié et à 96 heures dont 4jours d'immersion dans l'eau.

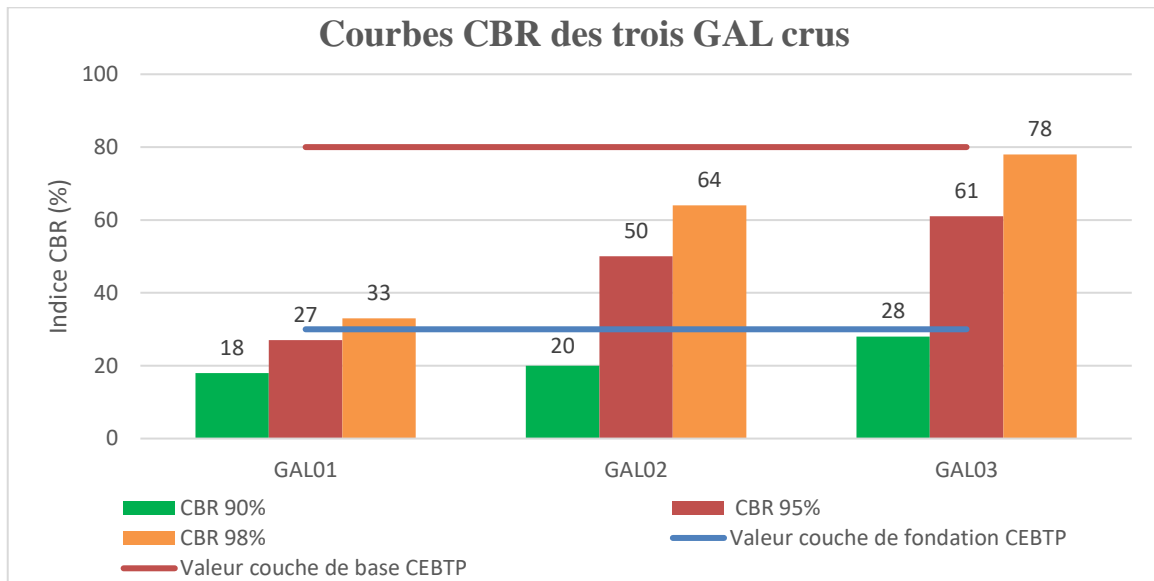


Figure 18 : Courbes évolutive des densités sèche du matériau GAL 01, GAL 02 et GAL 03 en fonction de la portance CBR.

L'essai CBR du graveleux latéritique cru a permis de déterminer la capacité portante et à tracer la courbe de l'indice CBR en fonction de la densité sèche. Les valeurs de l'indice CBR en fonction de la densité sèche des différents graveleux latéritiques sont : D'abord, la valeur de l'indice portante CBR du GAL de **Nakamtenga** est de 27 et 33 respectivement à 95% et 98% de l'OPM. Ces valeurs ne peuvent pas être utilisées en couche de base ni en couche de fondation par les valeurs fixées par le CEBTP. Ensuite, la valeur de l'indice portant CBR du GAL de **Katabtenga** est de 50 et 64 respectivement à 95% et 98% de l'OPM. Ces valeurs peuvent être utilisées en couche de fondation mais pas en couche de base. Enfin, la valeur de l'indice portant CBR du graveleux latéritique de **Donsin** est de 61 et 78 respectivement à 95% et 98% de l'OPM. Ces valeurs peuvent être utilisées en couche de fondation et en couches de base pour les trafics faibles (T1). Elles ne peuvent cependant pas être utilisées en couche de base pour les trafics fort (T1 à T5). Les valeurs fixées par le CEBTP sont de 30 pour la couche de fondation et de 80 pour la couche de base [26].

II. LES PROPRIETES DU SABLE UTILISE POUR L'AMELIORATION

Pour rendre les trois (03) GAL conformes aux spécifications pour les couches d'assise de chaussée, le mélange des latérites avec différents pourcentages d'ajout de sable sera nécessaire. Nous avons fait l'analyse granulométrique et l'essai d'équivalent de sable pour déterminer les propriétés du sable.

II.1 Analyse granulométrique du sable

La figure 19 ci-dessous présente les résultats de l'analyse granulométrique du sable utilisé pour la litho stabilisation des trois GAL.

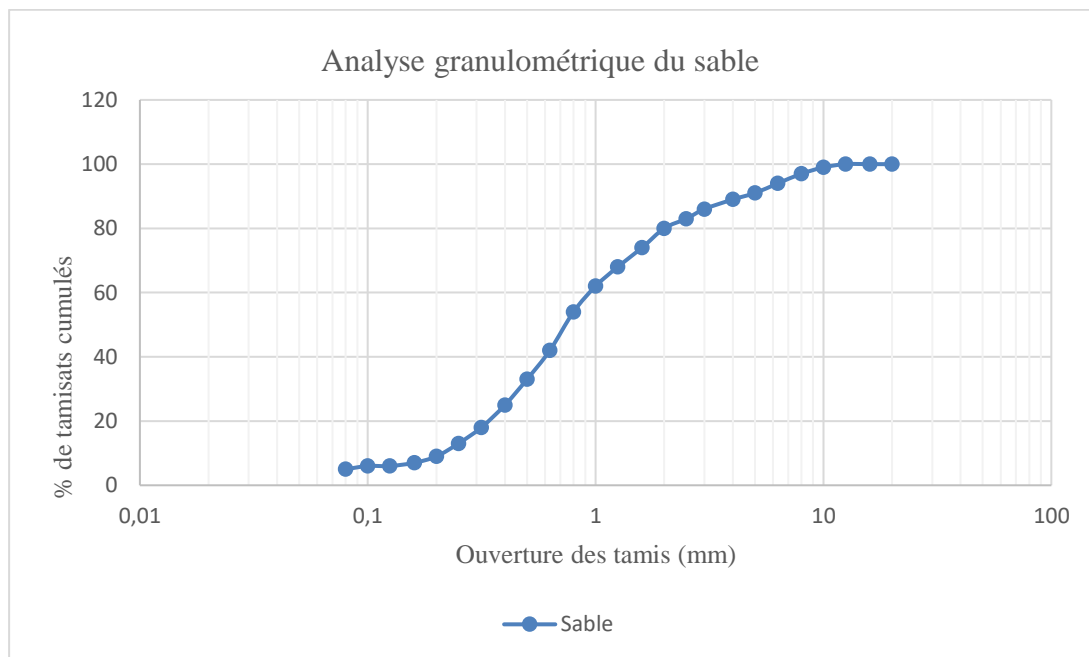


Figure 19 : Courbe granulométrique du sable utilisé pour la litho stabilisation.

La courbe granulométrique nous présente le pourcentage des passants en fonction des ouvertures des mailles. Les plus petits et les plus gros grains sont compris entre 0 et 5.

II.2 Equivalent du sable

L'équivalent de sable nous permettra de connaître le degré de propreté du sable qu'on utilise pour l'amélioration des trois graveleux latéritique. Les particules ont des dimensions majoritairement comprises entre 0 et 5, la valeur de l'équivalent de sable est : ES=83,33 et ESV=93,14. Nous remarquons que l'équivalent de sable à vue (ESV) est supérieur à 85 et l'équivalent de sable au piston (ES) est supérieur à 80. Ce qui veut dire que le sable est très propre avec une absence de fine argileuse. Voir l'annexe 7 pour plus de détail.

III. INFLUENCE DE L'AJOUT DU SABLE SUR LES TROIS GAVELEUX LATERITIQUES (le mélange)

III.1 L'analyse granulométrique du mélange des graveaux latéritiques par ajout de sable

Dans l'annexe 3 sont consignés les résultats d'analyse granulométrique des mélanges des trois (03) graveaux latéritiques. Les valeurs des refus cumulés varient en fonction du pourcentage d'ajout de sable et en fonction des différents graveaux latéritiques.

D'abord, pour les mélanges du GAL de **Nakamtenga** (0% à 40% de sable), nous constatons que le pourcentage de fines (passants aux tamis 0,08mm) varie de 16 à 19 sauf à 20% et 30% de sable où on constate une légère augmentation respectivement de 21 et 20 (voir tableau 7). Cela peut être dû au pourcentage de fine un peu élevé déjà présent au niveau du cru. Après analyse, nous voyons que les courbes granulométriques des mélanges de 0% à 25% de sable restent dans le fuseau granulaire du CEBTP 1984 tandis que celles de 30% à 40% sont légèrement supérieures au fuseau granulaire mais restent acceptables (voir la figure 20). Voir annexe 8,9 et 10 pour plus de détail.

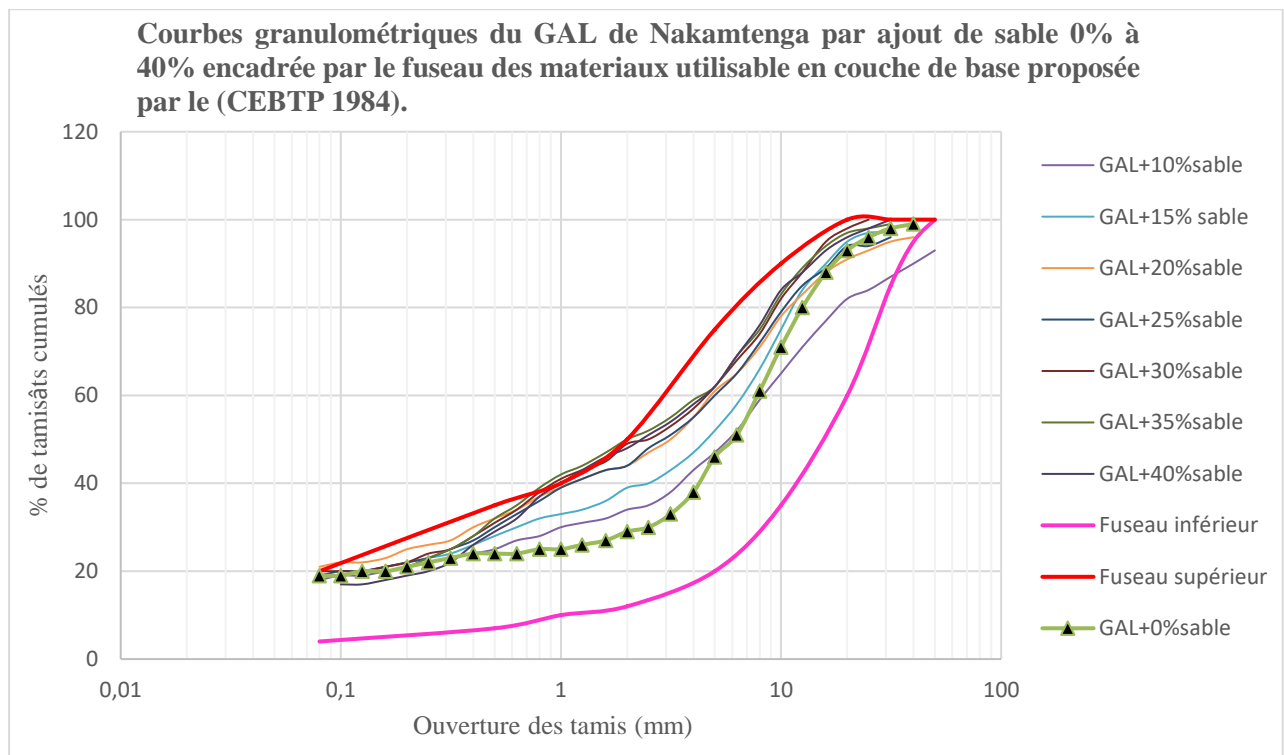


Figure 20 : Courbes granulométriques du mélange du GAL de Nakamtenga par ajout de 0% à 40% de sable.

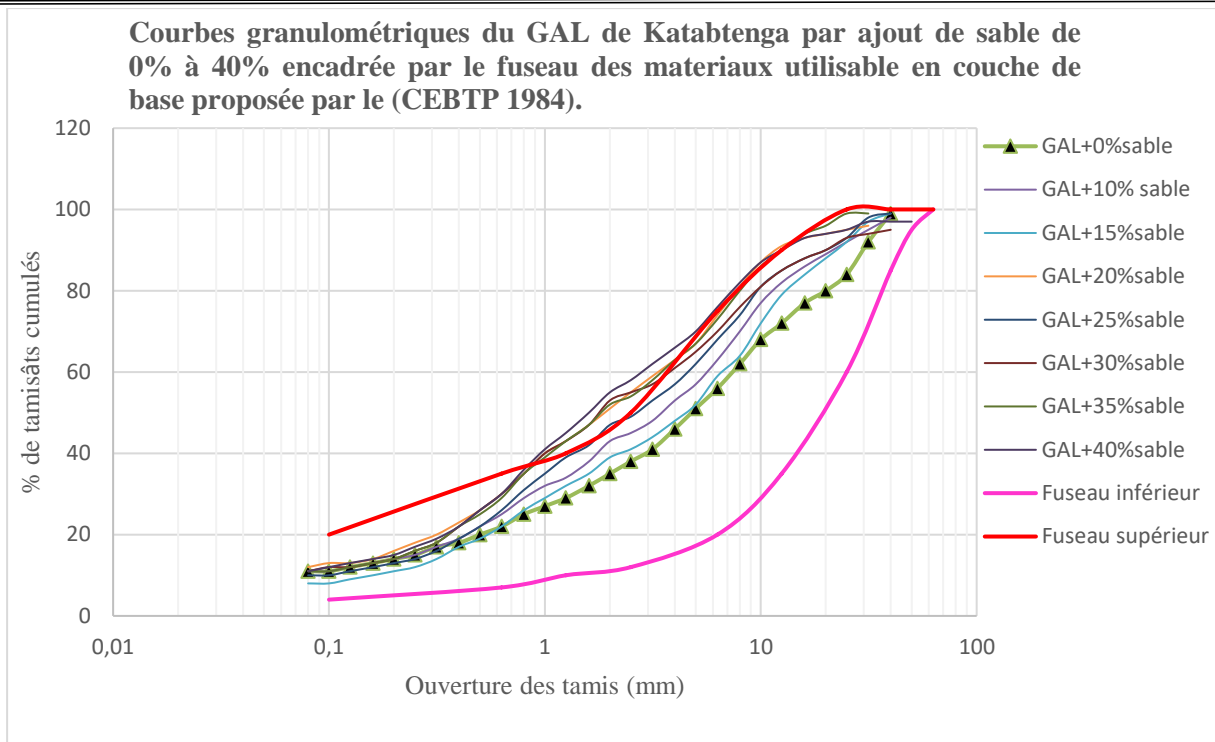


Figure 21 : Courbes granulométriques du mélange du GAL de Katabtenga par ajout de 0% à 40% de sable.

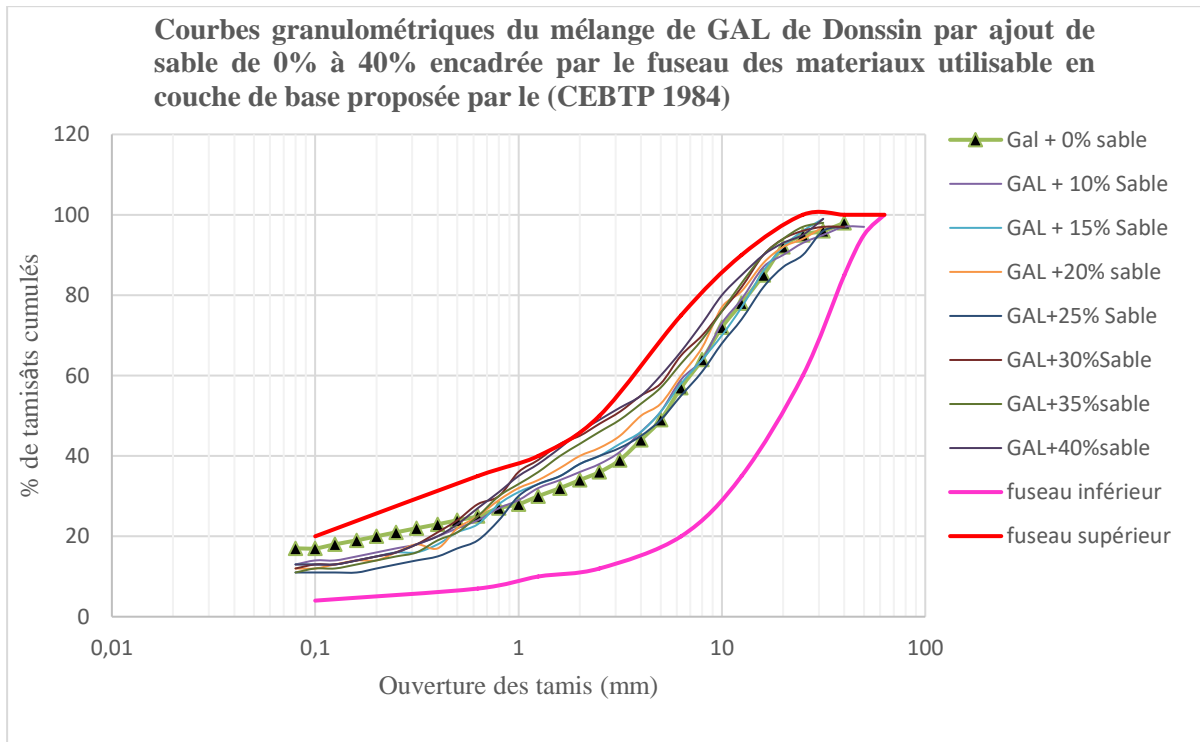


Figure 22 : Courbes granulométriques du mélange du GAL de Donssin par ajout de 0% à 40% de sable.

Ensuite, en ce qui concerne le mélange du GAL de **Katabtenga** de (0% à 40%), nous remarquons que le pourcentage de fines (passants aux tamis 0,08mm) varie de 8 à 12. Ces

valeurs sont strictement inférieures à 20 comme recommande le guide pratique de dimensionnement des chaussées (CEBTP 1984) pour les couches de base. Après analyse, nous remarquons que les courbes granulométriques des mélanges de 0% à 20% de sable restent dans le fuseau granulaire du CEBTP tandis que celles de 25% à 40% sont légèrement supérieures au fuseau granulaire mais restent acceptables (voir la figure 21).

Enfin, s'agissant du mélange du GAL de **Donsin** de (0% à 40%,) le constat est que le pourcentage de fines (passants aux tamis 0,08mm) varie de 11 à 17. Ces valeurs sont strictement inférieures à 20 comme recommande le guide pratique de dimensionnement des chaussées (CEBTP 1984) pour les couches de bases. Après analyse, nous voyons que les courbes granulométriques des mélanges restent dans le fuseau granulaire du CEBTP 1984 (voir figure 22).

Nous constatons que le pourcentage de tamisât augmente au fur et à mesure que l'on ajoute le pourcentage du sable sur l'ensemble des mélanges des trois graveleux latéritique. Nous remarquons aussi que le mélange des trois (03) GAL présente des courbes de forme étalée correspondant à des matériaux de bonnes performances.

Selon le guide pratique de dimensionnement des chaussées pour les pays tropicaux, pour qu'un matériau puisse être utilisé en couche de base, il doit respecter un fuseau granulaire préétablie et un pourcentage de fine < 20 . Ce dernier est inférieur à 20 pour les mélanges du GAL 2 et 3, pour le GAL 1 il y a des mélanges supérieurs à 20. Les courbes granulométriques des mélanges GAL de Donsin restent dans le fuseau granulaire et celui de Nakamtenga et Katabtenga ont des mélanges légèrement supérieurs au fuseau granulaire.

III.2 Limites d'Atterberg du mélange des graveleux latéritiques par ajout de sable

Dans le tableau 6 ci-dessous sont consignés également les résultats des limites d'Atterberg du mélange des graveleux latéritique de Nakamtenga, de Katabtenga et de Donsin. Il est à noter que les valeurs des indices de plasticité varient en fonction de l'ajout de pourcentage de sable et en fonction des différents graveleux latéritiques. La figure 23 ci-dessous nous présente le graphe avec les spécifications du CEBTP. Voir l'annexe 4,5 et 6 pour plus de détail.

Tableau VI : Résultats des essais des Limites d'Atterberg des trois (03) GAL + sable de 0% à 40%.

N°	Pourcentage d'ajout de sable	Limites d'Atterberg Nakamtenga			Limites d'Atterberg Katabtenga			Limites d'Atterberg Donsin		
		WI	Wp	IP	WI	Wp	IP	WI	Wp	IP
1	GAL crue	41,80	22,98	18,82	29,70	19,92	9,78	35,70	22,45	13,25
2	GAL+10% de sable	26,00	16,73	9,27	34,10	24,35	9,75	36,30	24,11	12,19
3	GAL+15% de sable	26,50	18,81	7,69	31,70	22,19	9,51	31,50	20,46	11,04
4	GAL+20% de sable	25,40	17,83	7,57	31,10	22,89	8,21	31,20	20,36	10,84
5	GAL+25% de sable	20,00	14,82	5,18	29,60	21,46	8,14	31,70	21,38	10,32
6	GAL+30% de sable	17,40	13,50	3,90	29,00	21,06	7,94	30,30	20,31	9,99
7	GAL+35% de sable	17,40	14,08	3,32	29,60	21,88	7,72	28,60	18,67	9,93
8	GAL+40% de sable	17,00	14,11	2,89	30,30	23,30	7,00	31,80	22,39	9,41

Au vu de ce tableau, les résultats sont les suivants :

D'abord, pour ce qui est du mélange du graveleux latéritique de **Nakamtenga** par ajout de sable nous remarquons que les limite de liquidité et de plasticité baisse respectivement de manière décroissante de 41,80% et 22,98% pour le matériau cru jusqu'à 17,00% et 14,11% à un ajout de sable de 40%. Nous constatons aussi que l'indice de plasticité connaît une diminution de 18,82% pour le matériau cru jusqu'à 2,89% pour un ajout de sable 40%.

Ensuite, concernant le mélange du graveleux latéritique de **Katabtenga** par ajout de sable, nous remarquons que les limite de liquidité et de plasticité baisse mais ne suivent pas de manière décroissante comme celui du GAL 01. Nous constatons aussi que l'indices de plasticité connaît une diminution de manière décroissante de 9,78% pour le matériau cru jusqu'à 7,00% pour un ajout de sable 40%.

Enfin, pour ce qui est du mélange du graveleux latéritique de **Donsin** par ajout de sable, nous remarquons que les limite de liquidité et de plasticité baisse mais ne suivent pas de manière décroissante comme celui du GAL 01. Nous constatons aussi que l'indices de plasticité connaît une diminution de manière décroissante de 13,25% pour le matériau cru jusqu'à 9,41% pour un ajout de sable 40%.

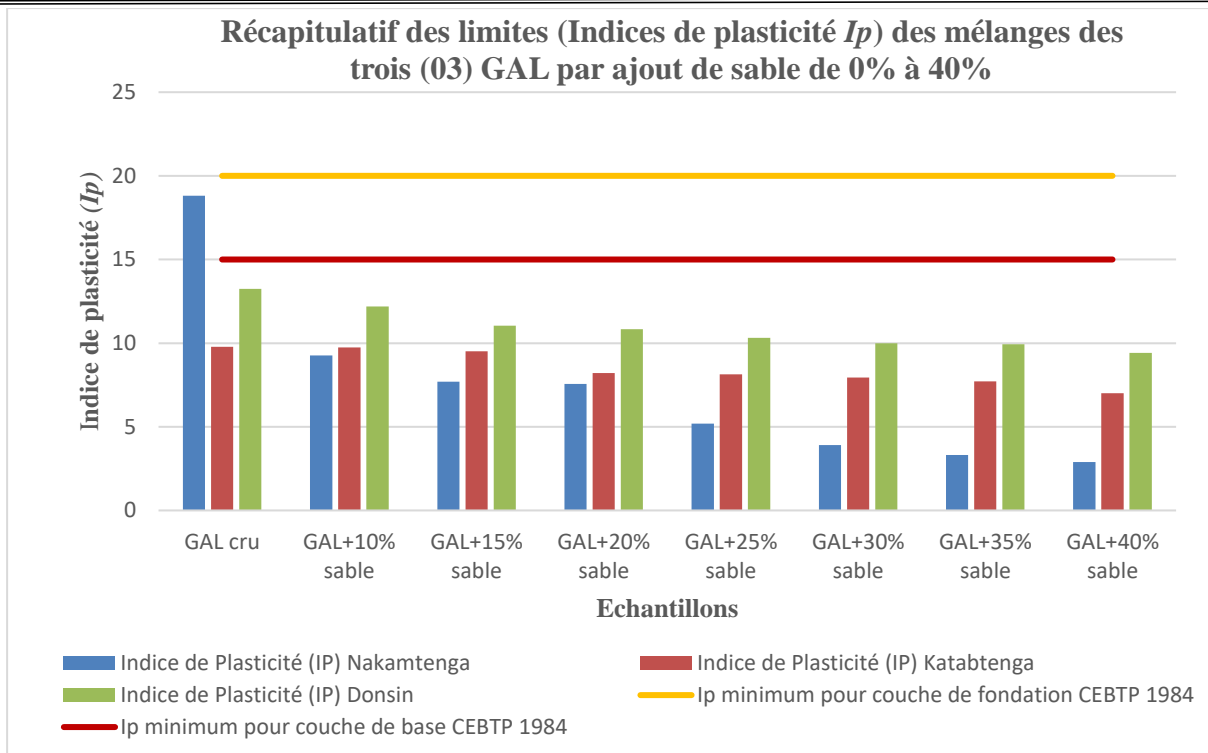


Figure 23 : Récapitulatif des limites d'Atterberg des trois (03) GAL par ajout de sable de 0% à 40%.

Au regard des résultats, nous pouvons donc dire que l'ajout du sable à la GAL a permis d'amaigrir le matériau latéritique car les limites de liquidité et de plasticité ainsi que l'indice de plasticité (I_p) diminuent quand le pourcentage de sable augmente. Les matériaux répondent maintenant aux spécifications du CEBTP 1984 qui sont de $I_p=15$ pour la couche de base et $I_p=20$ la couche de fondation.

III.3 Proctor Modifié des graveleux latéritiques

Les résultats des essais Proctor modifié en ce qui concerne la teneur en eau et la densité sèche maximale des mélanges des trois (03) GAL sont consignés dans le tableau 7 ci-dessous. Les valeurs des teneurs en eau et des densités sèches varient en fonction de l'ajout de pourcentage de sable des trois (03) graveleux latéritiques.

Tableau VII : Résultats de Proctor Modifié du mélange des trois (03) GAL + Sable de 0% à 40%.

N°	Pourcentage d'ajout de sable	Proctor Modifié Nakamtenga		Proctor Modifié Katabtenga		Proctor Modifié Donsin	
		W _{opm} (%)	Y _{opm} g/cm ³	W _{opm} (%)	Y _{opm} g/cm ³	W _{opm} (%)	Y _{opm} g/cm ³
1	GAL crue	8,5	2,24	12,4	2,12	9,2	2,19
2	GAL + 10% de sable	7,5	2,22	10,0	2,08	10,4	2,18
3	GAL + 15% de sable	6,7	2,30	11,2	2,10	9,6	2,25
4	GAL + 20% de sable	6,8	2,29	11,8	2,07	8,8	2,19
5	GAL + 25% de sable	6,4	2,26	11,8	2,13	9,0	2,19
6	GAL + 30% de sable	7,4	2,16	9,4	2,19	10,0	2,17
7	GAL + 35% de sable	8,1	2,21	9,6	2,16	8,4	2,23
8	GAL + 40% de sable	6,9	2,21	11,0	2,11	8,4	2,19

D'abord, nous remarquons que pour le mélange du GAL de **Nakamtenga**, la densité sèche qui était de 2,24 g/cm³ à l'état crue a baissé au mélange à 10% de sable (2,22 g/cm³), à 30% de sable (2,16 g/cm³), à 35% et 40% de sable (2,21 g/cm³). Cela peut être expliqué par un sous dosage d'un des composants (voir figure 24). Une augmentation de la densité sèche est ensuite observée à partir du mélange de 15% de sable (2,30 g/cm³), 20% de sable (2,29 g/cm³) et de celui de 25% de sable (2,26 g/cm³). Par contre, la teneur en eau optimale (w_{opm}) ne suit pas cet ordre de variation. Elle évolue de manière décroissante du mélange à 10% de sable (7,5%) puis diminue progressivement jusqu'au mélanges 25% de sable (6,4%) voir la figure 25.

Ensuite, nous constatons que pour le mélange du GAL de **Katabtenga**, la densité sèche qui était de 2,12 g/cm³ à l'état crue a baissé au mélange à 10% de sable (2,08 g/cm³), à 15% de sable (2,10 g/cm³), à 20% de sable (2,07 g/cm³) et 40% de sable (2,11 g/cm³). Cela peut être expliqué par un sous dosage d'un des composants (figure 24). Une augmentation de la densité sèche est ensuite observée à partir du mélange de 25% de sable (2,13 g/cm³), 30% de sable (2,19g/cm³) et de celui de 35% de sable (2,16 g/cm³). Par contre, la teneur en eau optimale (w_{opm}) ne suit pas cet ordre de variation. Elle évolue de manière croissante à 10% du mélange (10,0%) puis diminue progressivement jusqu'au mélanges à 25% de sable (11,8 %) voir la figure 25.

Enfin, nous remarquons que pour le mélange du GAL de **Donsin**, la densité sèche qui était de $2,19 \text{ g/cm}^3$ à l'état crue a baissé au mélange à 10% de sable ($2,18 \text{ g/cm}^3$), et à 30% de sable ($2,17 \text{ g/cm}^3$). Cela peut être expliqué par un sous dosage d'un des composants (voir la figure 24). Cette densité reste constante au niveau de 20%, 25% et 40% de sable ($2,19 \text{ g/cm}^3$). Une augmentation de la densité sèche est ensuite observée à partir de 15% de sable ($2,25 \text{ g/cm}^3$) et 35% de sable ($2,23 \text{ g/cm}^3$). Par contre, la teneur en eau optimale (w_{opt}) ne suit pas cet ordre de variation. Elles varient 8,4% à 10,4% voir la figure 25.

Nous remarquons au niveau des trois (03) GAL une augmentation et une diminution de manière générale des densités sèches et des teneurs en eau qui sont dues au renforcement de squelette granulaire du matériau et à la constante de la proportion de fines. Toutefois, nous constatons que les trois (03) latérites améliorées par ajout de sable à différent pourcentage ont des densités sèches acceptables pour une utilisation en couche de fondation et en couche de base. Les recommandations fixées par le CEBTP 1984 sont de $1,8 \text{ t/m}^3$ pour la couche de fondation et minimum de 2 t/m^3 pour la couche de base [27].

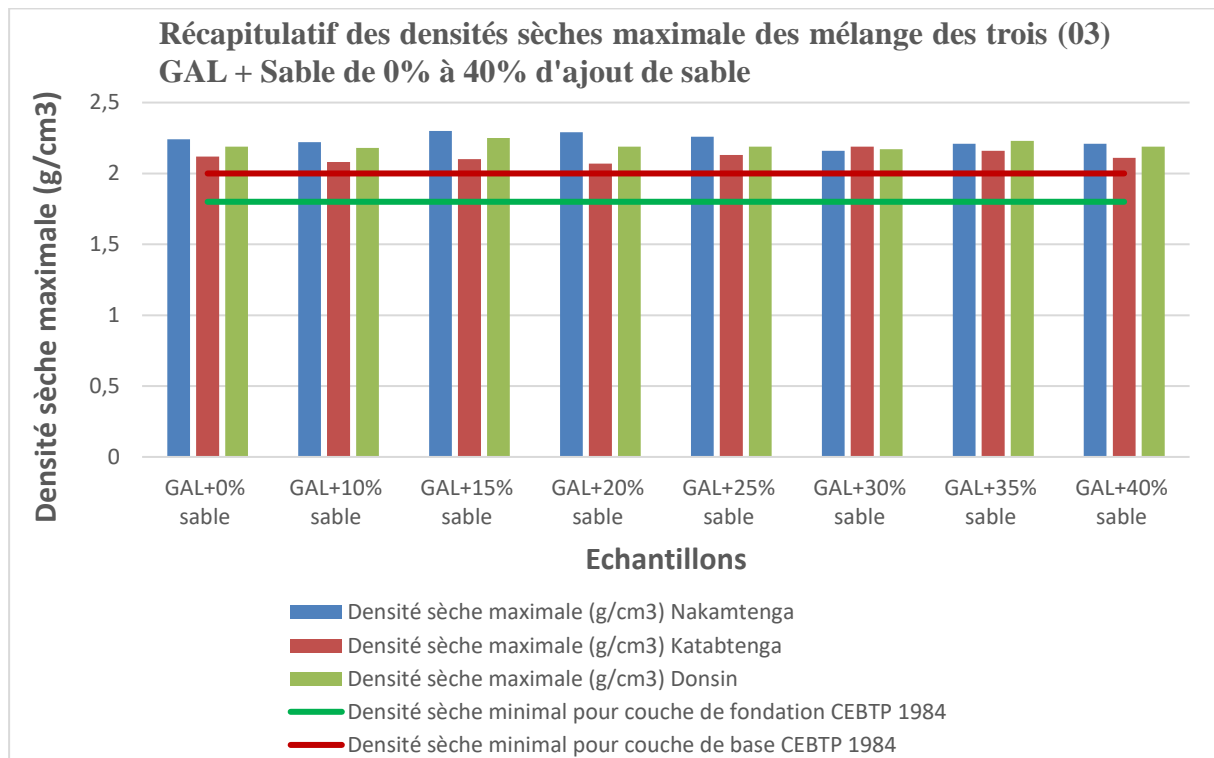


Figure 24 : Récapitulatif des densité sèches maximale des mélanges des trois (03) GAL + Sable de 0% à 40%.

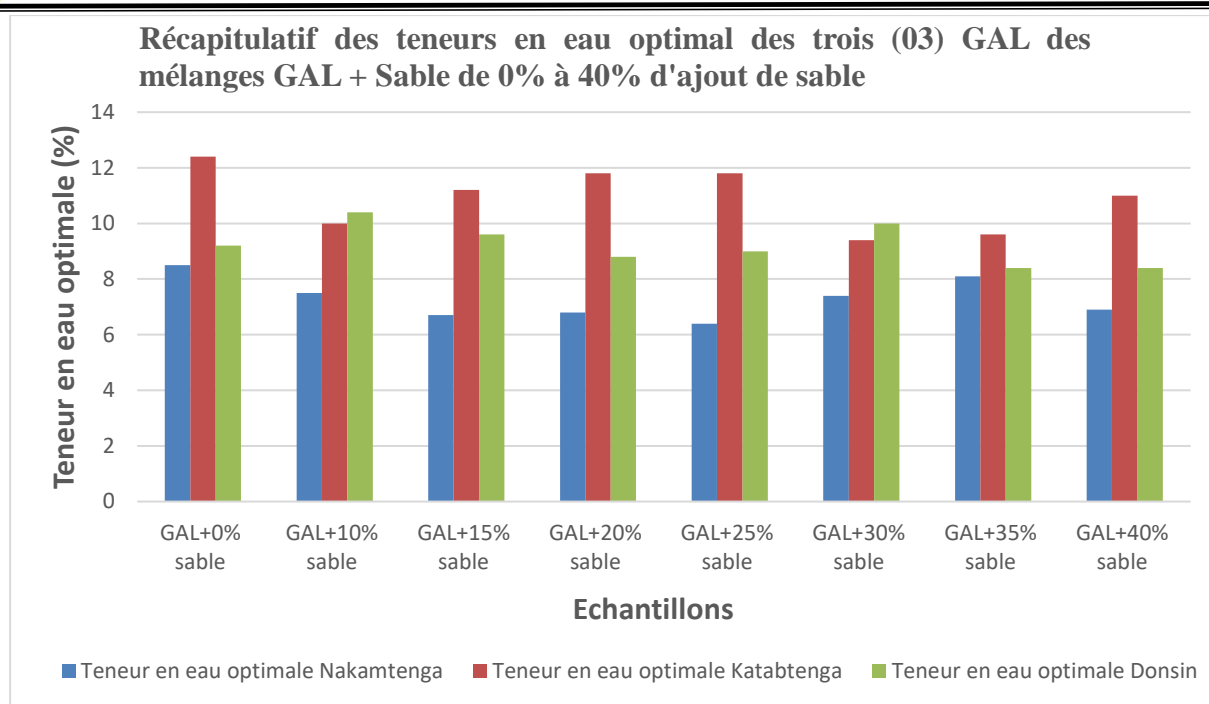


Figure 25 : Récapitulatif des teneurs en eau optimal des mélanges des trois (03) GAL + Sable de 0% à 40%.

III.4 Indice CBR des graveleux latéritiques

L'essai CBR du graveleux latéritique par ajout de sable a permis de déterminer la capacité portante et de tracer la courbe de l'indice CBR en fonction de la densité sèche. Dans le tableau 8 ci-dessous (voir plus de détail en annexe 8,9 et 10) sont consignés les résultats des essais CBR des mélanges des trois (03) GAL.

Tableau VIII : Résultats CBR des mélanges des trois (03) GAL + sable de 0% à 40%.

N°	Pourcentage d'ajout de sable	CBR Nakamtenga		CBR Katabtenga		CBR Donsin	
		95%	98%	95%	98%	95%	98%
1	GAL crue	27	33	50	64	61	78
2	GAL + 10% de sable	43	52	53	67	67	87
3	GAL + 15% de sable	59	67	57	78	69	86
4	GAL + 20% de sable	62	71	49	71	78	92
5	GAL + 25% de sable	72	92	78	81	102	124
6	GAL + 30% de sable	57	69	94	111	114	134
7	GAL + 35% de sable	42	58	88	107	118	122
8	GAL + 40% de sable	38	58	73	87	76	88

D'abord, le mélange du graveleux latéritique de **Nakamtenga** par ajout de sable de 0% à 40% donne des valeurs du CBR qui varient de 27 (cru) à 72 (mélange à 25% de sable) et de 33 (cru) à 92 (mélange à 25% de sable) respectivement à 95% et 98% de l'OPM. Nous constatons aussi qu'à partir de 70% de GAL + 30% de sable, la valeur des indices CBR commencent à décroître jusqu'à 60% de GAL + 40% de sable. La valeur optimale du mélange est alors **75% de GAL+25% de sable** avec une valeur de **72** et **92** respectivement à **95%** et **98%** de l'OPM (voir la figure 26). Ce mélange peut être utilisé en couche de fondation, mais pas en couche de base comme le définit les spécifications du CEBTP 1984.

Ensuite, le mélange du graveleux latéritique de **Katabtenga** par ajout de sable de 0% à 40% donne des valeurs du CBR qui varient de 50 (cru) à 94 (mélange) et de 64 (cru) à 111 (mélange) respectivement à 95% et 98% de l'OPM. Nous voyons donc que les valeurs des indices CBR s'accroissent au fur et à mesure qu'on ajoute du sable à la GAL. Nous remarquons également qu'à partir de 65% de GAL + 35% de sable, cette valeur commence à décroître jusqu'à 60% GAL + 40% sable. La valeur optimale du mélange est alors **70% GAL +30% sable** avec une valeur de **94** et **111** respectivement à **95%** et **98%** de l'OPM (voir la figure 27). Ce mélange peut être utilisé en couche de fondation et en couche de base selon les spécifications définies par le CEBTP 1984.

Enfin, le mélange du graveleux latéritique de **Donsin** par ajout de sable de 0% à 40% donne des valeurs des indices CBR qui varient de 61 (cru) à 118 (mélange) et de 78 (cru) à 122 (mélange) respectivement à 95% et 98% de l'OPM. Nous remarquons aussi que les indices CBR s'accroissent au fur et à mesure que l'on ajoute du sable. Les valeurs des indices CBR décroissent à partir de 60% de GAL + 40% de sable. La valeur optimale du mélange est alors **65% GAL +35% sable** avec une valeur de **118** et **122** respectivement à **95%** et **98%** de l'OPM (voir la figure 28). Ce mélange peut être utilisé en couche de fondation et en couche de base selon les spécifications définies par le CEBTP 1984.

Nous remarquons de manière générale sur les mélanges des trois (03) GAL que les valeurs des indices CBR s'accroissent au fur et à mesure que nous ajoutons du sable. Les spécifications définies par le CEBTP 1984 sont de 30 pour la couche de fondation et 80 pour la couche de base.

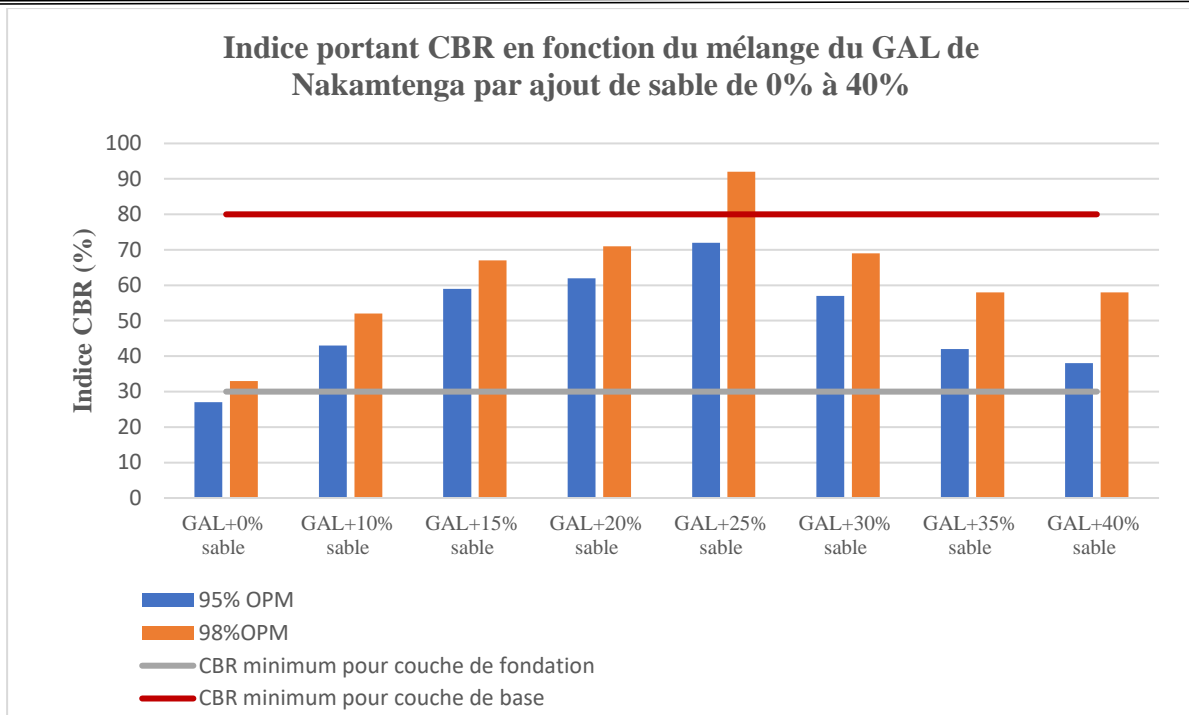


Figure 26 : Récapitulatif des essais CBR du GAL de Nakamtenga par ajout de sable de 0% à 40%.

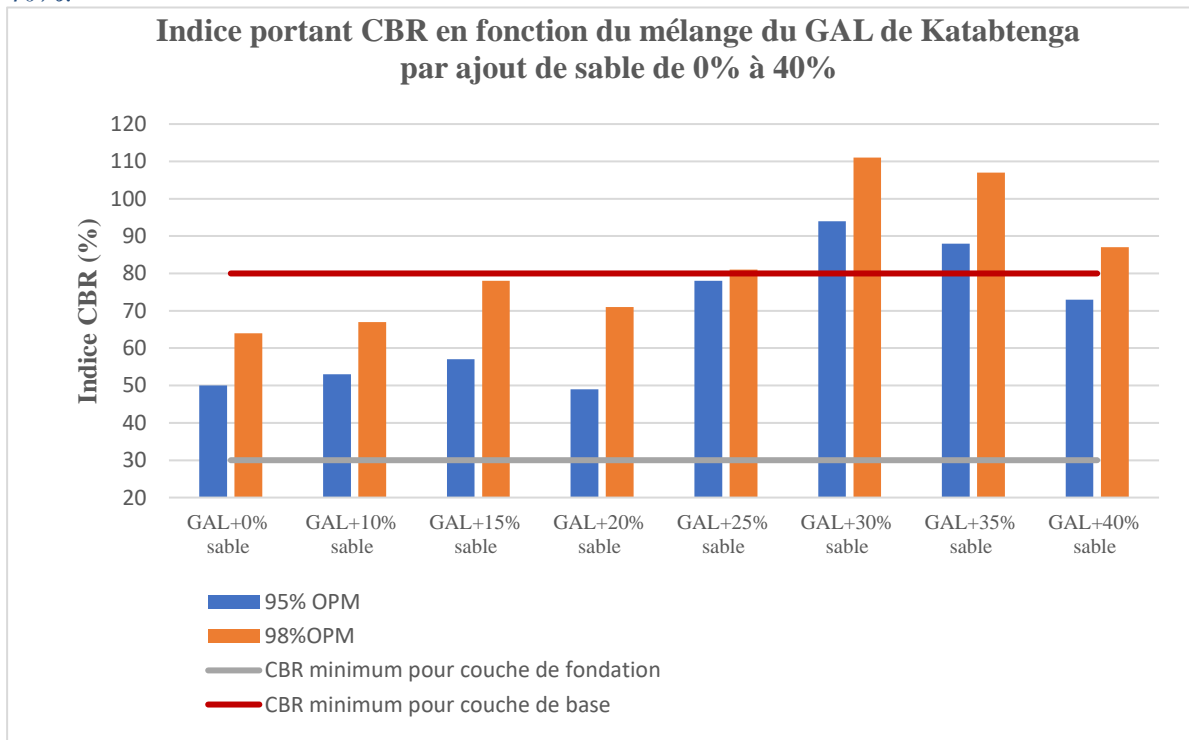


Figure 27 : Récapitulatif des essais CBR du GAL de Katabtenga par ajout de sable de 0% à 40%.

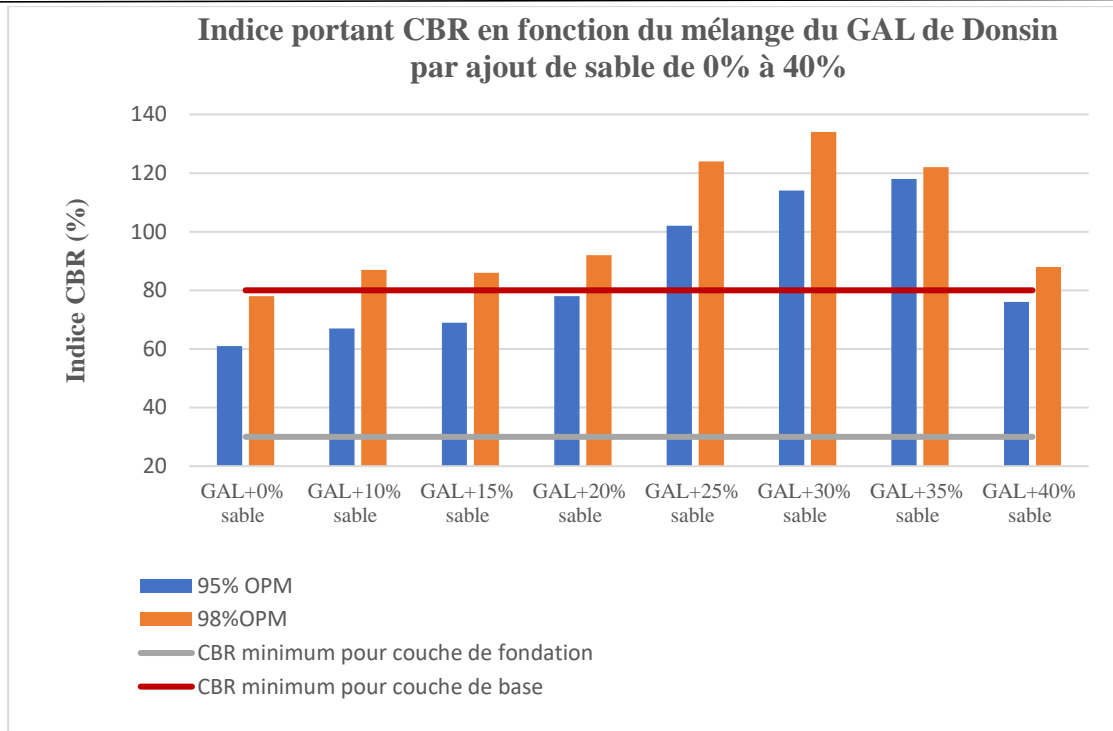


Figure 28 : Récapitulatif des essais CBR du GAL de Donsin par ajout de sable de 0% à 40%.

IV. DISCUSSION DES RESULTATS

Les mélanges des graves argileuses latéritiques de Nakamtenga, de Katabtenga et de Donsin par ajout de sable ont fournies des résultats acceptables par rapport à ceux des latérites sans ajout de sable (le cru). Tout de même, le sable fait amaigrir le matériau latéritique d'où la diminution de sa plasticité au fur et à mesure qu'on ajoute du sable. Ces actions améliorent le squelette granulaire [16] et augmentent la portance des graveleux latéritiques. Par conséquent, les sols traités par ajout de sable ont donné des densité sèches maximales différentes. L'amélioration au sable de 25% du GAL de Nakamtenga donne une densité sèche maximale de $\gamma_{dmax}=2.26g/cm^3$, $\gamma_{dmax}=2,19g/cm^3$ pour celui de Katabtenga à une amélioration au sable de 30% et $\gamma_{dmax}=2,23g/cm^3$ à une amélioration au sable de 35% pour celui de Donsin. Cela nous donne les caractéristiques d'un sol résistant comme le démontre dans une étude sur l'amélioration de la latérite du Sénégal par ajout de sable de Ndiaye et al [17]. Cette amélioration a eu ses meilleures caractéristiques à un ajout de sable de 30% donnant une densité sèche maximale $\gamma_{dmax}=2,12 g/cm^3$ pour la latérite de Sindia. Aussi, dans une étude de Rodrigue [7] sur l'amélioration du GAL de Bingo par ajout de sable de carrière de Gampela au Burkina Faso qui a eu ses meilleures caractéristiques à un ajout de sable de 25%, la densité sèche maximale a été de $\gamma_{dmax}=2,09 g/cm^3$. De ce fait, nos trois (03) graveleux latéritiques traités par ajout de sable offrent des meilleures performances par rapport aux matériaux crus. En premier lieu, pour l'amélioration du GAL de Nakamtenga, nous avons obtenu des indices CBR de 72 et 92 respectivement à 95% et 98% de l'OPM pour un ajout de sable de 25%. En deuxième lieu, un ajout de sable de 30% a donné des indices CBR de 94 et 111 respectivement à 95% et 98% de l'OPM pour la GAL de Katabtenga. En troisième lieu, un ajout de sable de 35% a donné des indices CBR de 118 et 122 respectivement à 95% et 98% de l'OPM pour la GAL de Donsin. L'étude sur l'amélioration de la latérite du Sénégal par ajout de sable Ndiaye et al a démontré des meilleures caractéristiques géotechniques à 30% d'ajout de sable donnant ainsi un indice CBR de 65 à 95% de l'OPM. Également dans l'étude de Rodrigue [7] qui a démontré des meilleures caractéristiques géotechniques à 25% d'ajout de sable, les indices CBR ont été de 81 et 85 respectivement à 95% et 98% de l'OPM.

Ces deux études ont été menées sur divers matériaux prélevé de différent pays. Toutes nos trois matériaux latéritiques ont été prélevés au Burkina Faso et donnent aussi des meilleures caractéristiques par ajout de sable.

CONCLUSION GENERALE

Le sujet de cette étude se voudrait de comprendre l'influence de l'ajout du sable sur trois différents graveleux latéritique afin de contribuer à l'amélioration des caractéristiques géotechniques pour une utilisation en couches d'assise de chaussées.

De plus, l'amélioration des sols latéritiques a été étudié par de nombreux chercheurs. Ainsi, différents moyens ont été mis en place pour trouver des moyens de remédier aux problèmes liés aux couches de chaussée. Les méthodes d'amélioration les plus couramment employées varient en fonction de divers facteurs tels que les aspects économiques, la nature du sol à traiter, la durée de l'opération, la disponibilité des matériaux à utiliser, ainsi que les conditions environnementales et climatiques.

La réalisation de cette étude repose sur l'influence. de l'ajout du sable à la grave argileuse latéritique pour des dosages de 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35% et 40% de sable fournissent des résultats satisfaisantes concernant les caractéristiques géotechniques des graves argileuses latéritiques. Des trois graveleux latériqué, celui de Donsin présente des meilleurs résultats à un ajout de sable de 35% au niveau de la portance du sol où nous sommes parvenus à un CBR de 118 et 122 respectivement à 95% et 98%. Ensuite celui de Katabtenga nous donne de bons résultats à un ajout de sable de 30% au niveau de la portance du sol où nous sommes parvenus à un CBR de 94 et 111 respectivement à 95% et 98% et enfin celui de Nakamtenga qui nous montre des résultats moyens à un ajout de sable de 25% au niveau de la portance du sol donne un CBR de 72 et 92 respectivement à 95% et 98%. Nous retenons qu'avec l'amélioration par ajout de sable le GAL de Donsin et Katabtenga peuvent être utilisées en couches d'assises des chaussées tandis que l'amélioration par ajout de sable du GAL de Nakamtenga ne peut être utilisé qu'en couche de fondation pour les chaussées.

A l'issu de cette étude, ressort des perspectives qui sont en premier lieu de mener des études poussées afin d'avoir une maîtrise de l'évolution de la portance des graves argileuses latéritiques par ajout de sable, en second lieu d'appliquer l'étude d'amélioration de la grave argileuse latéritique sur un projet réel de route en ayant des données d'étude sur le comportement à long terme d'un sol amélioré par ajout de sable et en troisième lieu mener des études poussées sur l'amélioration avec différent types de sable provenant des différentes localités du Burkina Faso et faire une étude comparative sur les coûts de notre méthode d'amélioration par rapport au sol ciment et la litho stabilisation.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] D. Levacher, P. Delmas, A. Guei, J.-P. Magnan, et P. Mestat, (2008). CARACTÉRISATION DES SOLS LATÉRITIQUES UTILISÉS EN CONSTRUCTION ROUTIÈRE : LE CAS DE LA RÉGION DE L'AGNÉBY (CÔTE D'IVOIRE).
- [2] Idrissa Tockol , (1993). THESE DE M.Sc.A. Génie civil Contribution à l'étude des graveleux latéritiques dans les pays du Sahel: cas des routes non revêtu Etudes.
- [3] S. Mahamat, (2019). CARACTERISATION GEO MECANIQUE DE LA LATERITE DE SAABA.
- [4] Mbengue et al, (2022). Geotechnical and Mechanical Characterization of Lateritic Soil Improved with Crushed Granite , vol. 8, n° 05, p. 26, mai 2022, doi: <http://dx.doi.org/10.28991/CEJ-2022-08-05-01>.
- [5] MINISTERE DES INFRASTRUCTURES ET DU DESENCLAVEMENT, (2019). ANNUAIRE STATISTIQUE 2019 DU MINISTERE DES INFRASTRUCTURES ET DU DESENCLAVEMENT.
- [6] MINISTERE DES INFRASTRUCTURES ET DU DESENCLAVEMENT, (2020). TABLEAU DE BORD STATISTIQUE DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT.
- [7] K. Rodrigue, (2023). AMELIORATION DE LA GRAVE ARGILEUSE LATERITIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR SON UTILISATION EN COUCHE DE BASE DE CHAUSSEE : CAS DE LA GRAVE ARGILEUSE LATERITIQUE DE BINGO ET DE SABLE DE CARRIERE DE GAMPELA.
- [8] M. OUEDRAOGO,(2023). ETUDE COMPARATIVE DES GRAVELEUX LATERITIQUES AMELIORES AUX GRANITES CONCASSES (LE LITHOSTAB) ET AMELIORES AU CIMENT (le sol ciment).
- [9] A. C. E. Virgile, V. K. Doko, E. Olodo, et M. Gibigaye, (2022). ETUDE DU COMPORTEMENT MECANIQUE DES BETONS LATERITIQUES.
- [10] A. Diene *et al.*, (2022). Etude du comportement thermique et électrique en modulation de fréquence d'une structure de chaussée à base de déchets de sacs en plastique broyés et de résidu de canne à sucre dans du mélange bitumineux pour une meilleure performance routière, vol. 36, n° 1.
- [11] R. M. Madu, (1975). SAND-LATERITE MIXTURES FOR ROAD CONSTRUCTION », *Niger. J. Technol.*, vol. 1, n° 1.
- [12] Y. Atlan, (1978). CATALOGUE DES ESSAIS GÉOTECHNIQUES EXÉCUTÉS AU LABORATOIRE GÉOTECHNIQUE D'ORLÉANS.
- [13] D. Puiatti et al, (2016). LE TRAITEMENT DES SOLS À LA CHAUX : UNE TECHNIQUE INNOVANTE POUR LA CONSTRUCTION DES OUVRAGES HYDRAULIQUES EN TERRE », *21/04/2016*, p. 24, doi: <https://hal.science/hal-01305743>.
- [14] L. Ahouet, R. G. Elenga, S. Bouyila, et M. Ngoulou, (2018). Amélioration des propriétés géotechniques du graveleux latéritique par ajout de la grave alluvionnaire concassée 0/31,5.
- [15] B. Abouar, P. M. Mpélé, et P. D. Raidandi, (2016). EFFECTS OF SAND ON DENSITIES OF SWELLING CLAY FROM THE FAR NORTH REGION OF CAMEROON », vol. 03.
- [16] R. Zolimboahangy, H. M. Ratsimbazafy, R. Armand, F. Miharisoa, et R. R. Nomenjanahary, (2021). Corrections Granulométriques Des Latérites Par Des Graveleux Latéritiques Et Du Sable Grossier En Vue D'optimiser La Durabilité Des Routes En Terre Dans Les Agglomérations Des Environs Proches De La Ville D'Antananarivo Madagascar », vol. 24, n° 2.

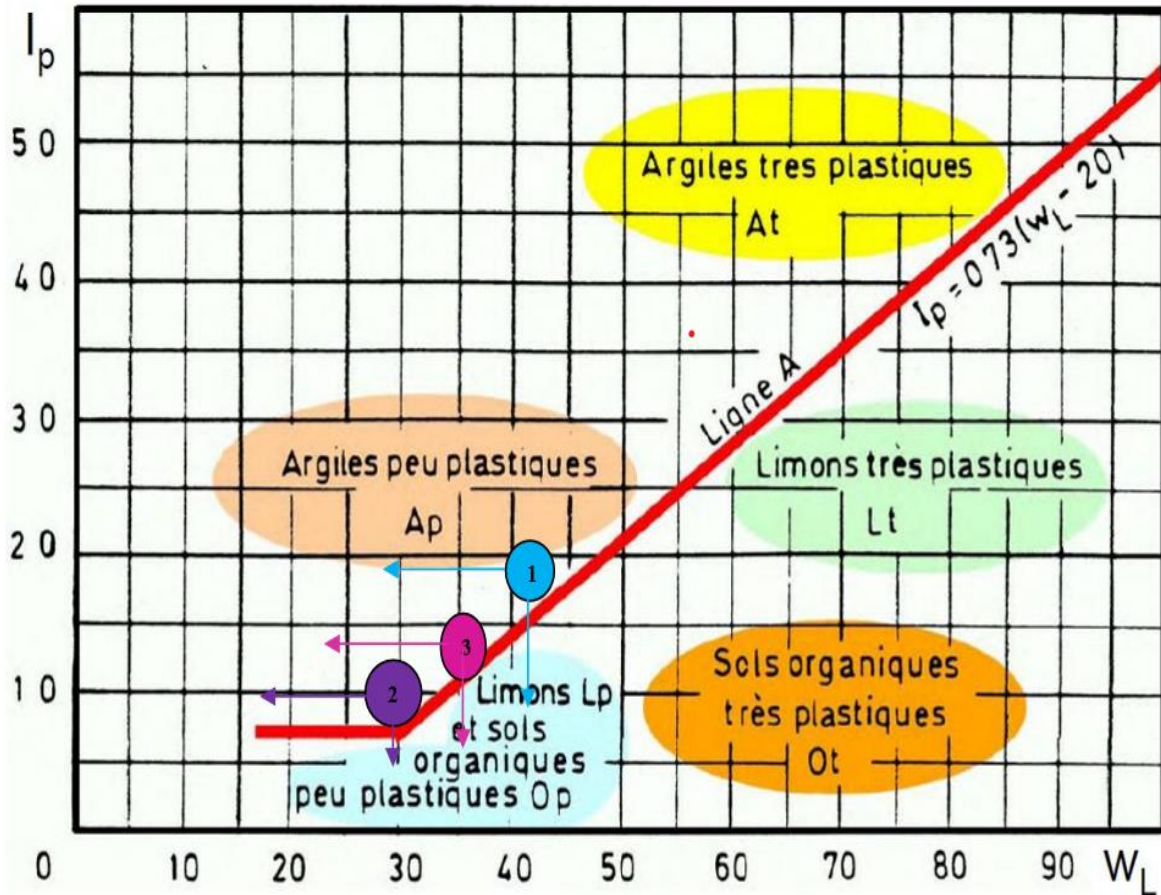
- [17] M. Ndiaye, J. P. Magnan, I. K. Cisse, et L. Cisse, (2014). Etude de l'amélioration de latérites du Sénégal par ajout de sable , doi: <https://hal.science/hal-00996684>.
- [18] G. Bourgeon(1) et Y. Gunnell, (2005). La latérite de Buchanan. J.-C.
- [19] R. Maignien, (1966). Compte-rendu de recherches sur les latérites.
- [20] S. REZIG, (2012). Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux.
- [21] Hyoumbi et al, (2018). Investigations of the Crushed Basanite Aggregates Effects on Lateritic Fine Soils of Bafang Area (West-Cameroon), doi: [https://doi.org/10.1007/s10706-018-0751-0\(0123456789\(\),-volV\) \(0123456789\(\),-volV\)](https://doi.org/10.1007/s10706-018-0751-0(0123456789(),-volV) (0123456789(),-volV)).
- [22] K. LAZAR, (2012). CARACTERISATION ET VALORISATION DU SABLE DU GRAND ERG ORIENTAL ALGERIEN ». mémoire master.
- [23] H. AZZOUZ, (2009). Etude des bétons à base des sables de dune.
- [24] Dr. Hadji R., (2019). Introduction à la Mécanique des sols.
- [25] Guide pratique de Dimensionnement des Chaussées pour les Pays Tropicaux.pdf.
- [26] LCPCet SETRA, (1998). CATALOGUE DES STRUCTURES TYPES DE CHAUSSEES NEUVES.
- [27] CEBTP, (1984). GUIDE PRATIQUE DE DIMENSIONNEMENT DES CHAUSSEES POUR LES PAYS TROPICAUX.



ANNEXES

Annexe 1 :Abaque de plasticité de Casagrande (simplifiée).....	ii
Annexe 2:Récapitulatif des résultats des essais des trois (03) GAL (cru et mélange)	iii
Annexe 3:Récapitulatif des essais d'analyse granulométrique.....	iv
Annexe 4:Les courbes des Limites d'Atterberg des mélanges du GAL01 par ajout de sable de 0% à 40%.....	v
Annexe 5:Les courbes des Limites d'Atterberg des mélanges du GAL02 par ajout de sable de 0% à 40%.....	vi
Annexe 6:Les courbes des Limites d'Atterberg des mélanges du GAL03 par ajout de sable de 0% à 40%.....	vii
Annexe 7:Tableau équivalent de sable	viii
Annexe 8 : Les fiches techniques des essais des mélanges du GAL 01 par ajout de sable de 0% à 40%.	ix
Annexe 9:: Les fiches techniques des essais des mélanges du GAL 02 par ajout de sable de 0% à 40%.	xvii
Annexe 10: Les fiches techniques des essais des mélanges du GAL 03 par ajout de sable de 0% à 40%.	xxv

Annexe 1 :Abaque de plasticité de Casagrande (simplifiée).



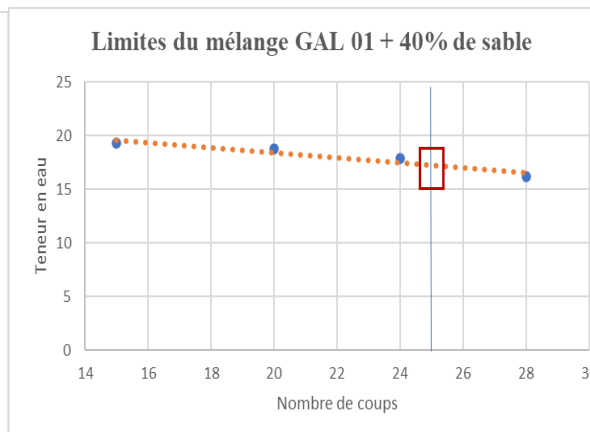
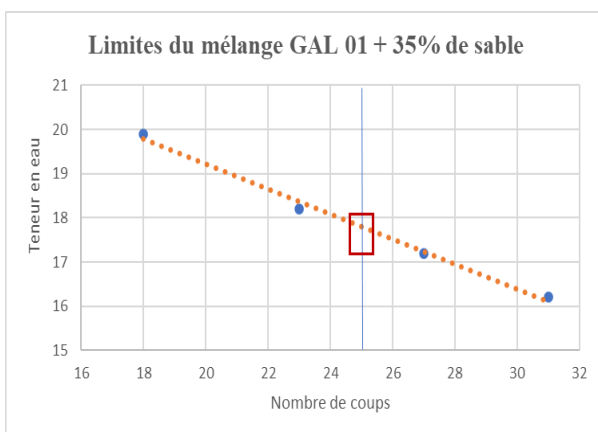
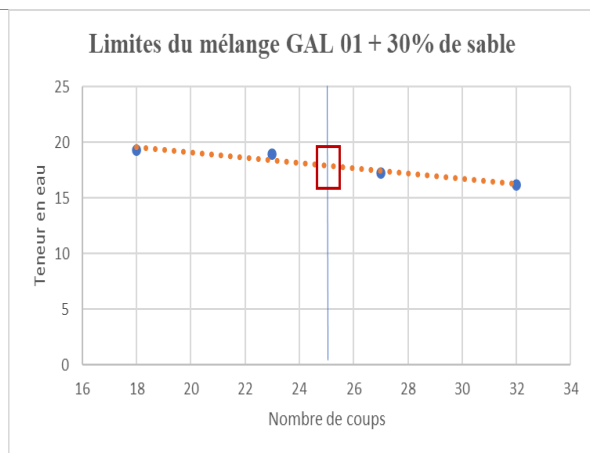
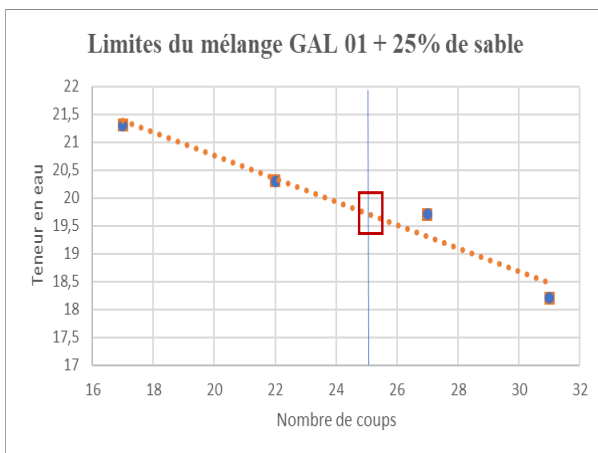
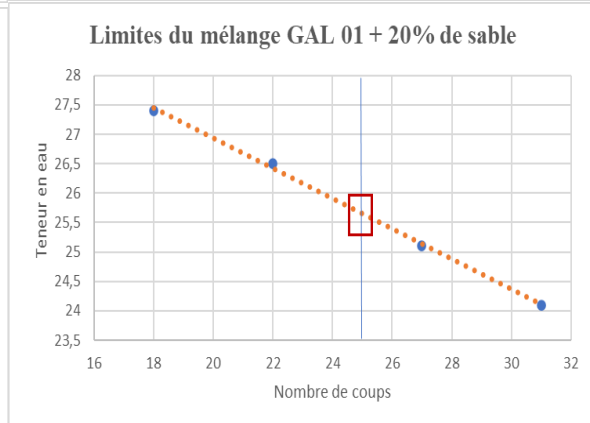
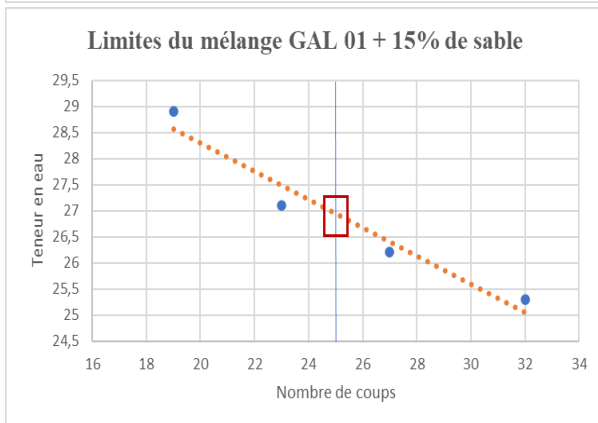
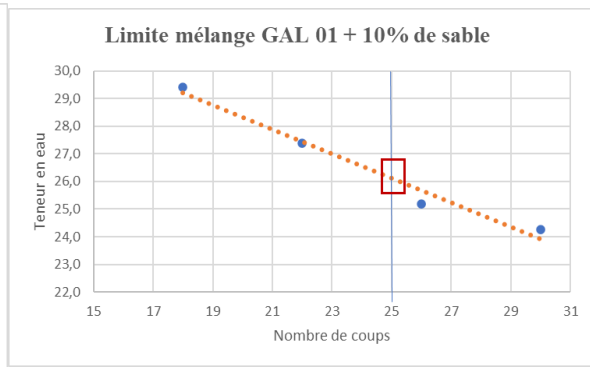
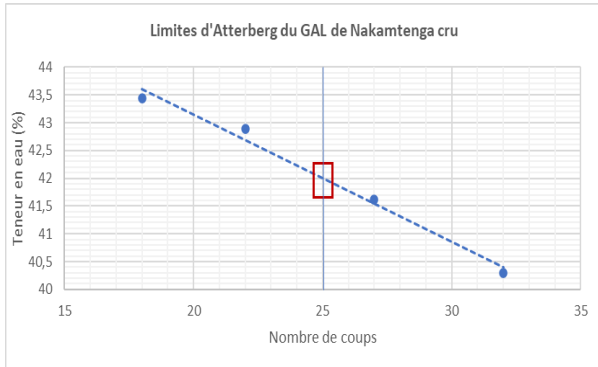
Annexe 2:Récapitulatif des résultats des essais des trois (03) GAL (cru et mélange)

Désignation	LIMITES D'ATTERBERG			PROCTOR		CBR	
	WL	WP	IP	W _{opm} (%)	γ _{opm} g/cm ³	95%	98%
GAL CRUE							
GAL 01	41,80	22,98	18,82	8,5	2,24	27	33
GAL 02	29,70	19,92	9,78	12,4	2,12	50	64
GAL 03	35,70	22,45	13,25	9,2	2,19	61	78
GAL 01 + AJOUT DE SABLE							
GAL+10% Sable	26,00	16,73	9,27	7,5	2,22	43	52
GAL+15% Sable	26,50	18,81	7,69	6,7	2,30	59	67
GAL+20% Sable	25,40	17,83	7,57	6,8	2,29	62	71
GAL+25% Sable	20,00	14,82	5,18	6,4	2,26	72	92
GAL+30% Sable	17,40	13,50	3,90	7,4	2,16	57	69
GAL+35% Sable	17,40	14,08	3,32	8,1	2,21	42	58
GAL+40% Sable	17,00	14,11	2,89	6,9	2,21	38	58
GAL 02 + AJOUT DE SABLE							
GAL+10% Sable	34,10	24,35	9,75	10,0	2,08	53	67
GAL+15% Sable	31,70	22,19	9,51	11,2	2,10	57	78
GAL+20% Sable	31,10	22,89	8,21	11,8	2,07	49	71
GAL+25% Sable	29,60	21,46	8,14	11,8	2,13	78	81
GAL+30% Sable	29,00	21,06	7,94	9,4	2,19	94	111
GAL+35% Sable	29,60	21,88	7,72	9,6	2,16	88	107
GAL+40% Sable	30,30	23,30	7,00	11,0	2,11	73	87
GAL 03 + AJOUT DE SABLE							
GAL+10% Sable	36,30	24,11	12,19	10,4	2,18	67	87
GAL+15% Sable	31,50	20,46	11,04	9,6	2,25	69	86
GAL+20% Sable	31,20	20,36	10,84	8,8	2,19	78	92
GAL+25% Sable	31,70	21,38	10,32	9,0	2,19	102	124
GAL+30% Sable	30,30	20,31	9,99	10,0	2,17	114	134
GAL+35% Sable	28,60	18,67	9,93	8,4	2,23	118	122
GAL+40% Sable	31,80	22,39	9,41	8,4	2,19	76	88

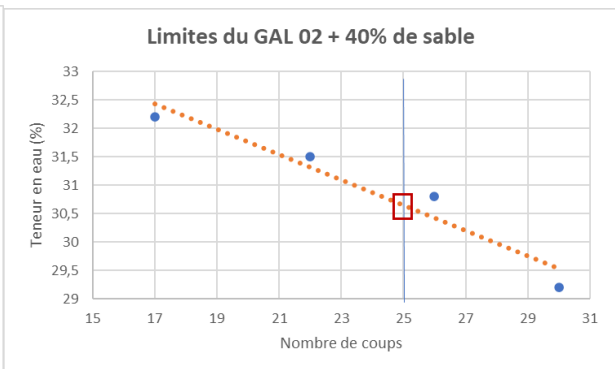
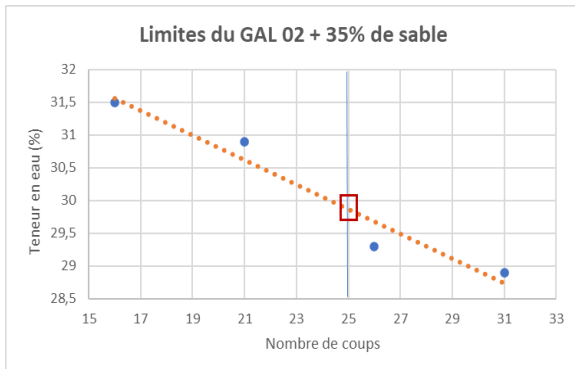
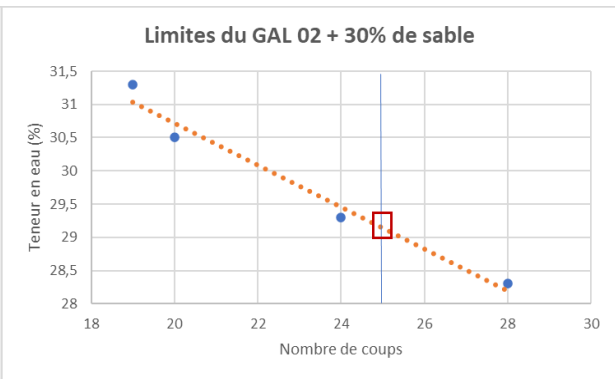
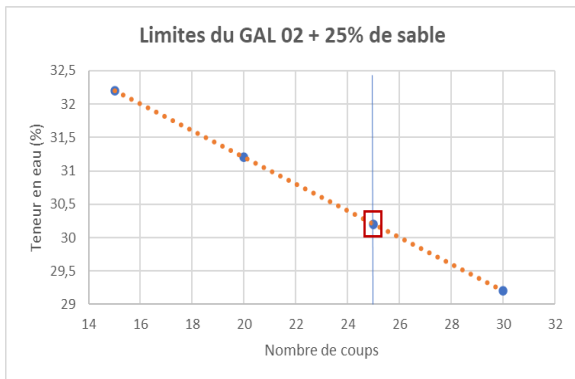
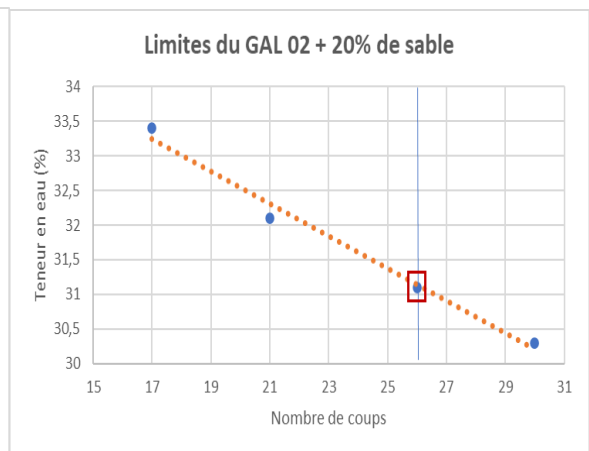
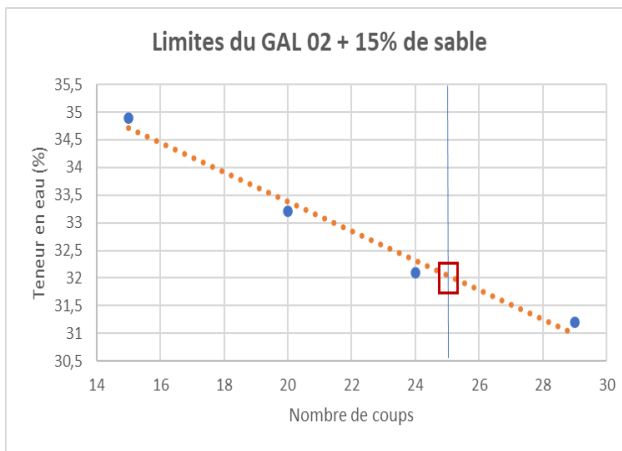
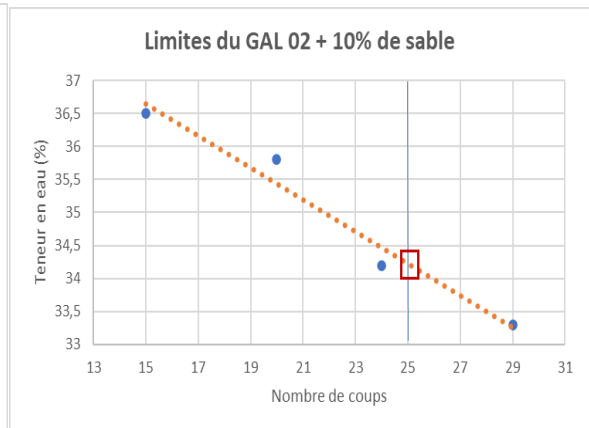
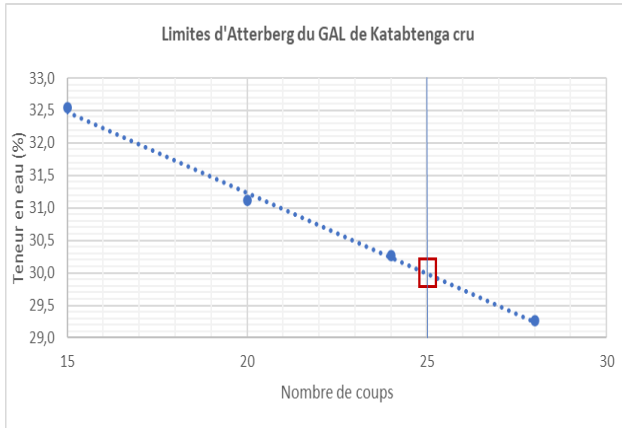
Annexe 3:Récapitulatif des essais d'analyse granulométrique

Récapitulatif des essais d'analyse granulométrique							
N°	Matériau prélevé sur emprunt	Pourcentage d'ajout de sable	Analyse granulométrique				
			10mm	5mm	1,6mm	0,4mm	0,08mm
1	Grave Argileuse latéritique de Nakamtenga	100% GAL + 0% de sable	71	46	27	24	19
2		90% GAL + 10% de sable	65	47	32	24	18
3		85% GAL + 15% de sable	75	52	36	26	19
4		80% GAL + 20% de sable	78	61	43	30	21
5		75% GAL + 25% de sable	79	60	43	27	19
6		70% GAL + 30% de sable	82	62	45	28	20
7		65% GAL + 35% de sable	83	62	47	28	19
8		60% GAL + 40% de sable	84	62	46	26	16
1	Grave Argileuse latéritique de Katabtenga	100% GAL + 0% de sable	68	51	32	18	11
2		90% GAL + 10% de sable	77	57	38	19	11
3		85% GAL + 15% de sable	72	52	35	17	8
4		80% GAL + 20% de sable	87	67	47	23	12
5		75% GAL + 25% de sable	81	62	42	19	10
6		70% GAL + 30% de sable	81	65	47	22	11
7		65% GAL + 35% de sable	86	67	47	22	11
8		60% GAL + 40% de sable	87	70	50	22	11
1	Grave Argileuse latéritique de Donsin	100% GAL + 0% de sable	72	49	32	23	17
2		90% GAL + 10% de sable	73	51	34	20	13
3		85% GAL + 15% de sable	70	51	35	18	13
4		80% GAL + 20% de sable	77	53	37	19	12
5		75% GAL + 25% de sable	68	49	35	15	11
6		70% GAL + 30% de sable	76	58	43	21	12
7		65% GAL + 35% de sable	76	57	40	19	11
8		60% GAL + 40% de sable	80	60	42	20	13

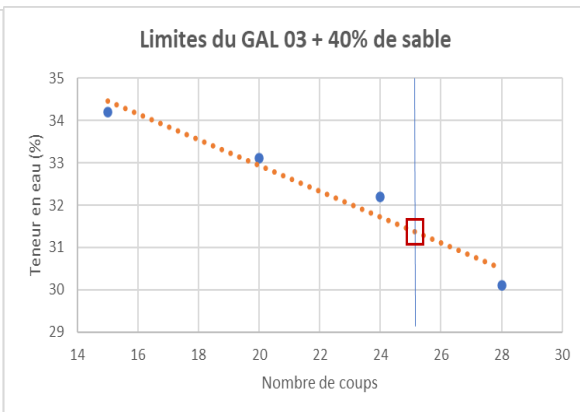
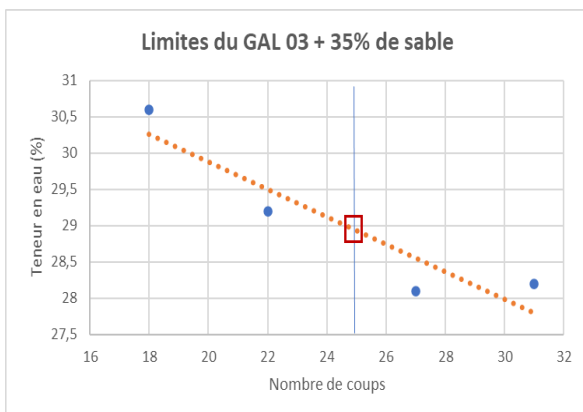
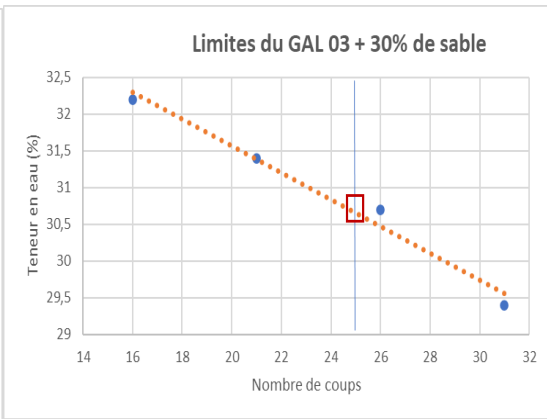
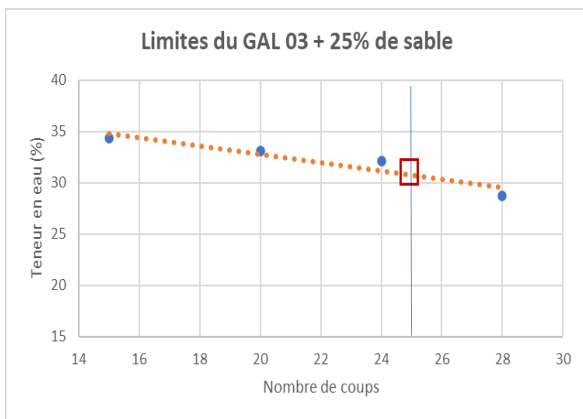
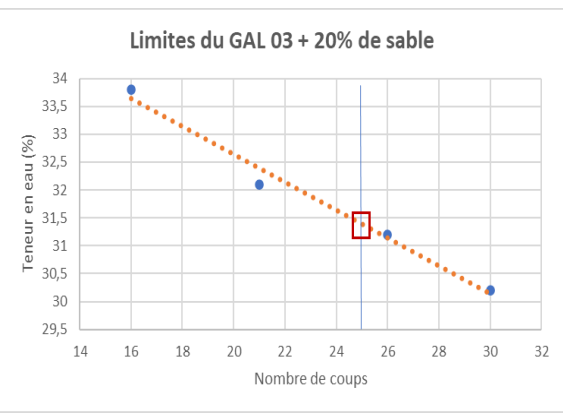
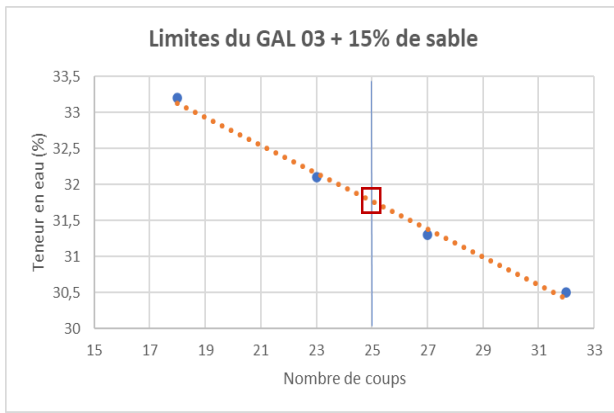
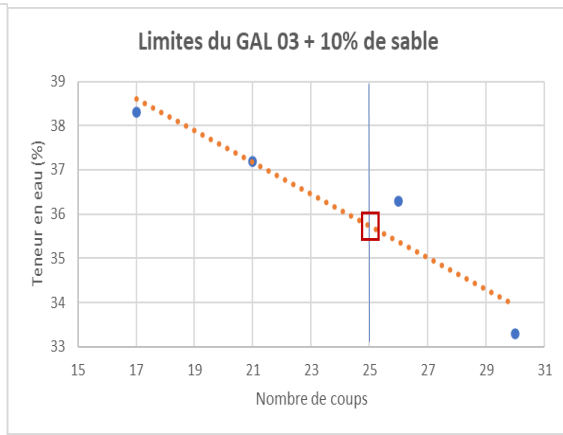
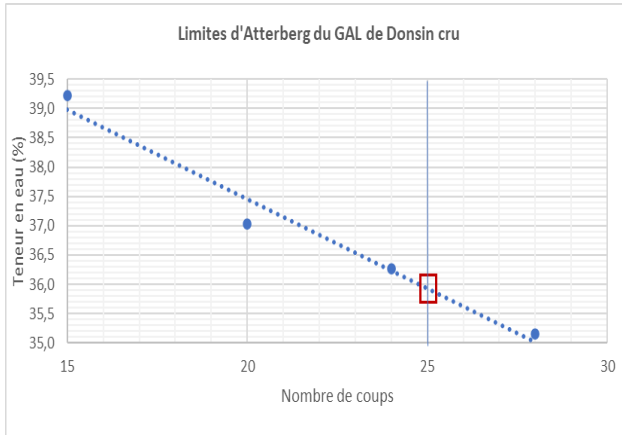
Annexe 4: Les courbes des Limites d'Atterberg des mélanges du GAL01 par ajout de sable de 0% à 40%



Annexe 5: Les courbes des Limites d'Atterberg des mélanges du GAL02 par ajout de sable de 0% à 40%



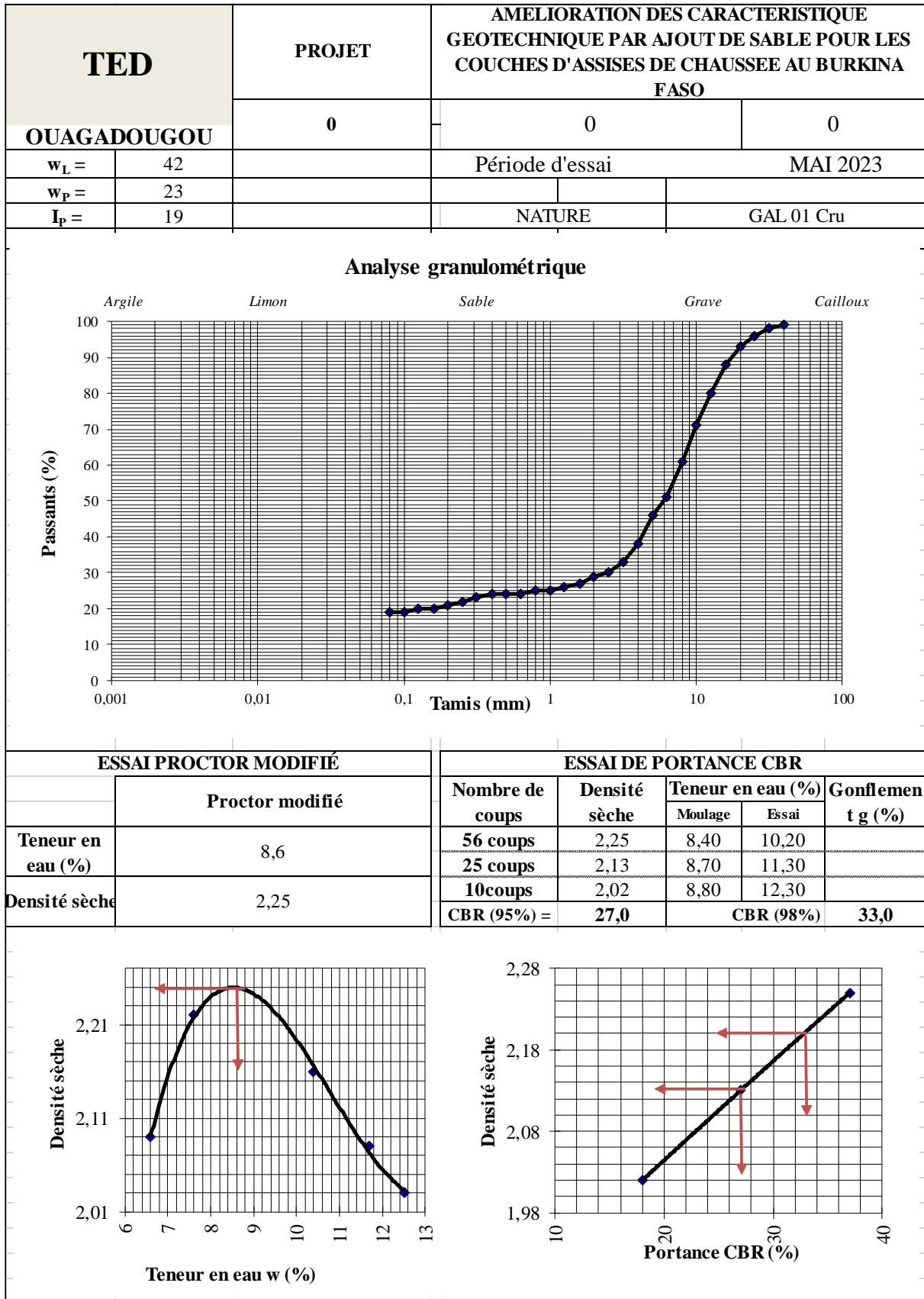
Annexe 6: Les courbes des Limites d'Atterberg des mélanges du GAL03 par ajout de sable de 0% à 40%



Annexe 7: Tableau équivalent de sable

ACIT Géotechnique		ENREGISTREMENT		Ref: LAB-ENG04-V01	
		EQUIVALENT DE SABLE NF P 18-598		Date d'application: 01/01/2022	
Date: 10/05/2023					
CLIENT: Stagiaire OUEDRAOGO Balkissa					
CHANTIER: Aspect final					
NATURE DU MATERIAU: Sable naturel					
				Echantillon 1	Echantillon 1
Tare N°				DN	E13
Masse totale humide g				445	454
Masse totale sèche g				436	445
Masse tare g				51	38
Masse d'eau g				9	9
Masse sèche nette g				385	407
Teneur en eau %				2,33	2,21
Masse de la prise d'essai (g): $120 \cdot (1 + W_n/100)$					
Addition de la prise d'essai à la solution lavante				à T0	
Mise au repos				pendant 10 min	
Agitation (90 cycles +/- 1 cycle en 30 s +/- 1 s)				à T0 + 10 min	
Lavage après agitation				jusqu'à T1	
Mise au repos				pendant 20 min +/- 10s	
Mesures				à T1 + 20 min	
Hauteur du floculat h1 mm				10,2	10,2
Hauteur du sédiment à vue h2 mm				9,6	9,4
Hauteur du sédiment au piston h3 mm				8,9	8,1
Equivalent de sable visuel $E_{sv} = 100 \cdot h_2/h_1$ %				94,12	92,16
Equivalent de sable $E_s = 100 \cdot h_3/h_1$ %				87,25	79,41
Es visuel moyen				=	93,14
Es moyen				=	83,33

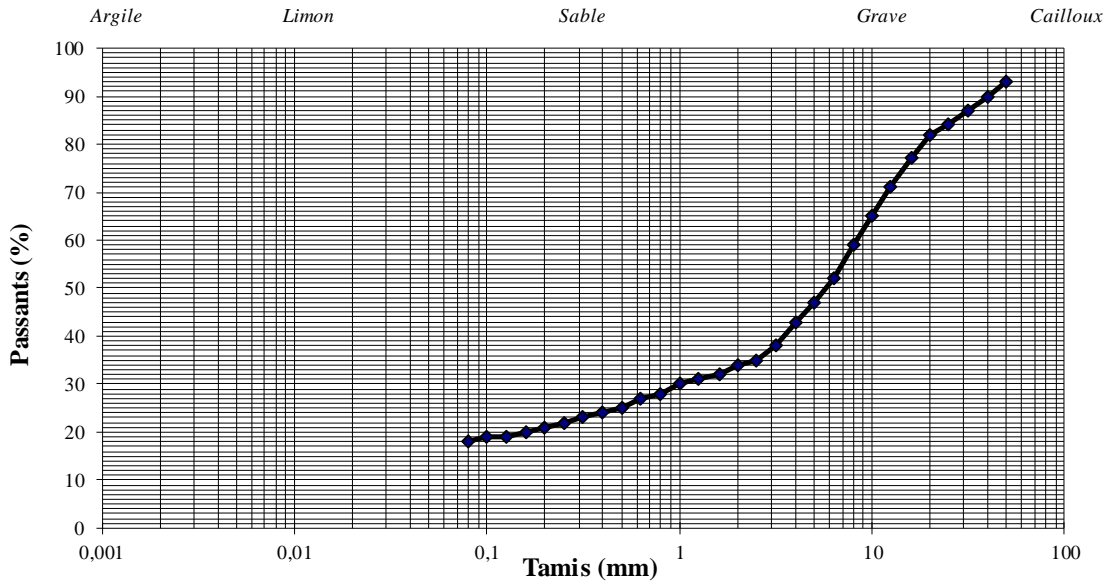
Annexe 8 : Les fiches techniques des essais des mélanges du GAL 01 par ajout de sable de 0% à 40%.



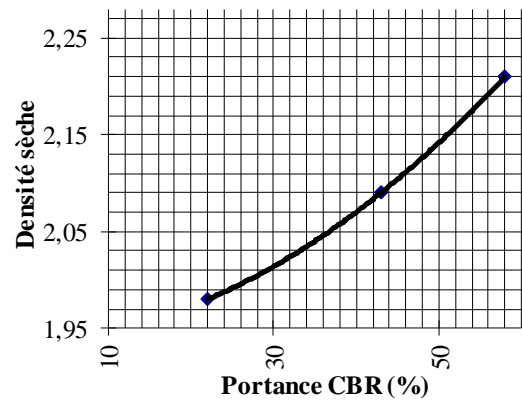
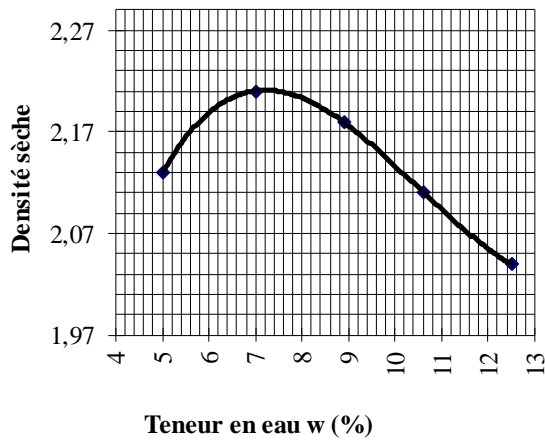


TED		PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
		0		0	
OUAGADOUGOU	0		0		0
$w_L =$	26	Période d'essai		MAI 2023	
$w_P =$	17				
$I_p =$	9	NATURE		GAL 01 + 10 % Sable	

Analyse granulométrique

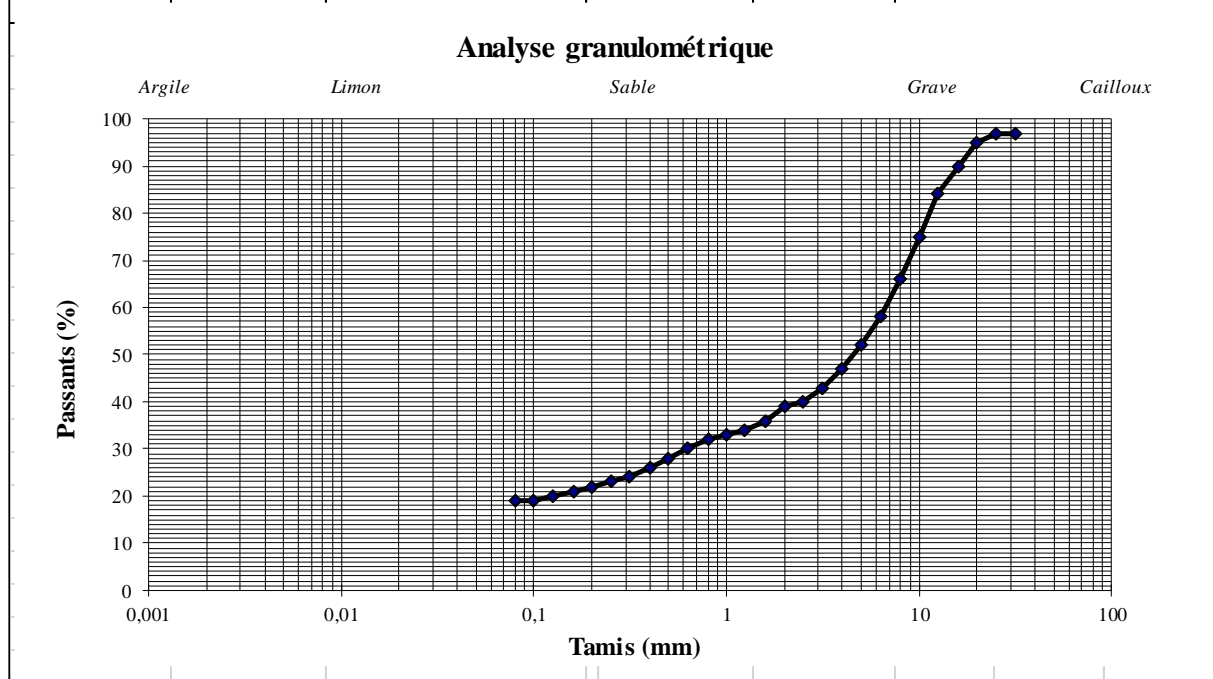


ESSAI PROCTOR MODIFIÉ		ESSAI DE PORTANCE CBR				
Proctor modifié		Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g
				Moulage	Essai	
Teneur en eau (%)	7,2	56 coups	2,21	7,50	9,20	
Densité sèche	2,21	25 coups	2,09	7,50	10,10	
		10coups	1,98	7,50	11,40	
		CBR (95%) =	43,0	CBR (98%)		52,0

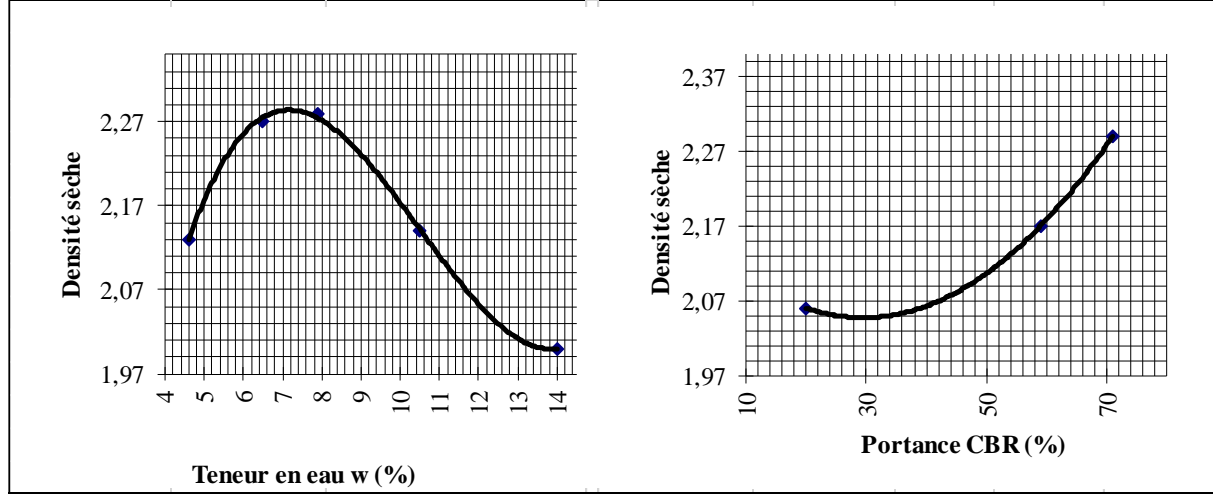




TED	PROJET	AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
	0	0	0
OUAGADOUGOU	0	0	0
$w_L =$	27	Période d'essai MAI 2023	
$w_P =$	19		
$I_P =$	8	NATURE	GAL 01 + 15 % Sable

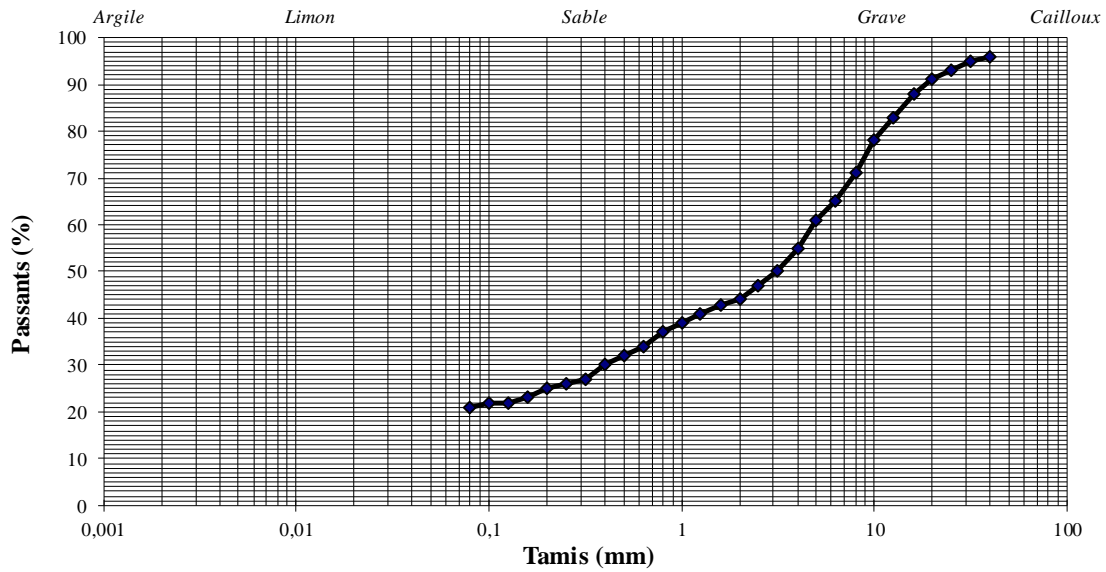


ESSAI PROCTOR MODIFIÉ		ESSAI DE PORTANCE CBR				
	Proctor modifié	Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g (%)
				Moulage	Essai	
Teneur en eau (%)	6,6	56 coups	2,29	7,50	8,70	
		25 coups	2,17	7,10	9,50	
		10 coups	2,06	7,30	11,30	
Densité sèche	2,29	CBR (95%) =	59,0	CBR (98%)		67,0

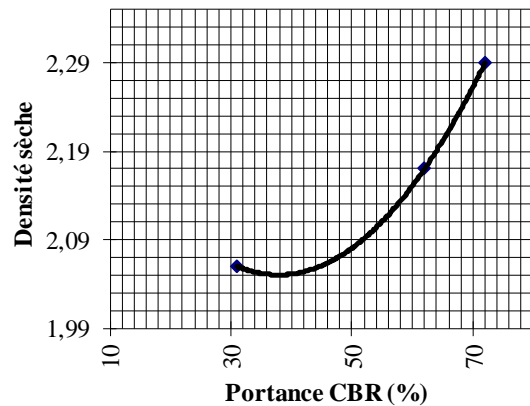
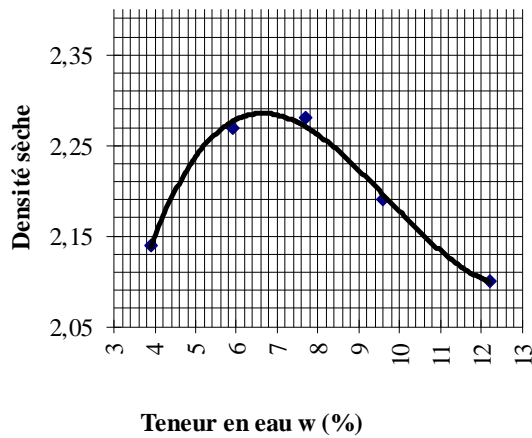


TED	PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
	OUAGADOUGOU	0	0	0
$w_L =$	25	Période d'essai		MAI 2023
$w_P =$	18			
$I_P =$	8	NATURE		GAL 01 + 20 % Sable

Analyse granulométrique

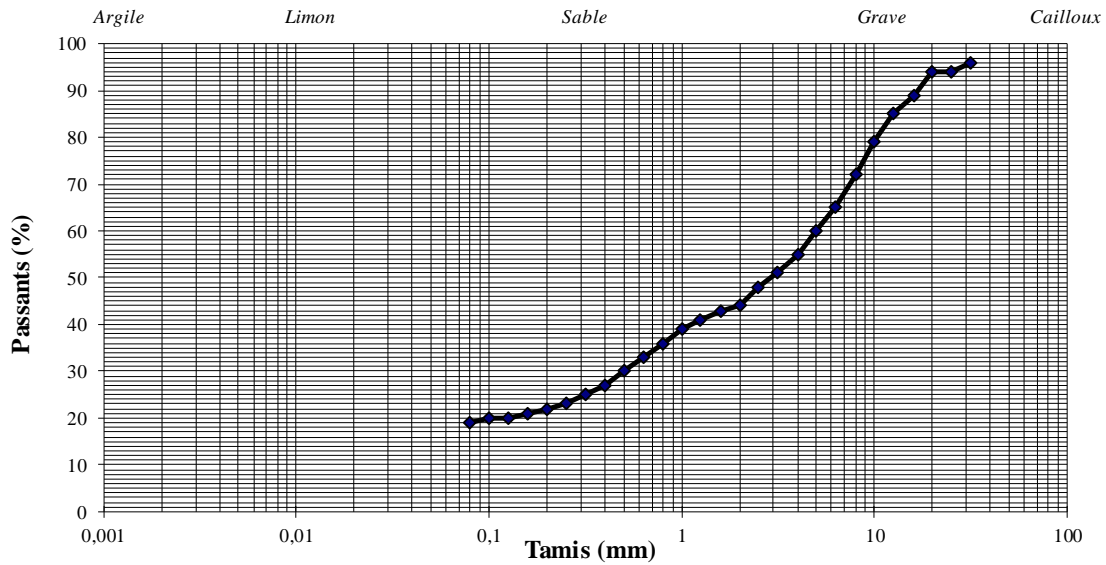


ESSAI PROCTOR MODIFIÉ		ESSAI DE PORTANCE CBR				
	Proctor modifié	Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g (%)
				Moulage	Essai	
Teneur en eau (%)	6,6	56 coups	2,29	6,20	8,00	
		25 coups	2,17	6,80	8,80	
Densité sèche	2,29	10coups	2,06	6,00	9,80	
		CBR (95%) =	62,0	CBR (98%)		71,0

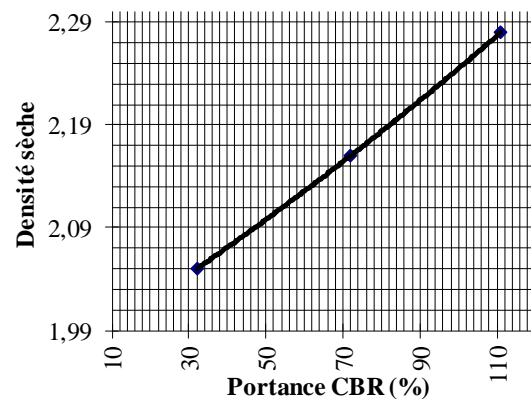
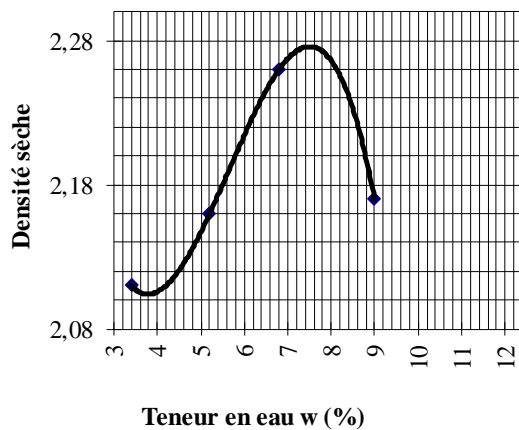


TED	PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
	OUAGADOUGOU	0	0	0
$w_L =$	20	Période d'essai		MAI 2023
$w_P =$	15			
$I_P =$	5	NATURE		GAL 01 + 25 % Sable

Analyse granulométrique



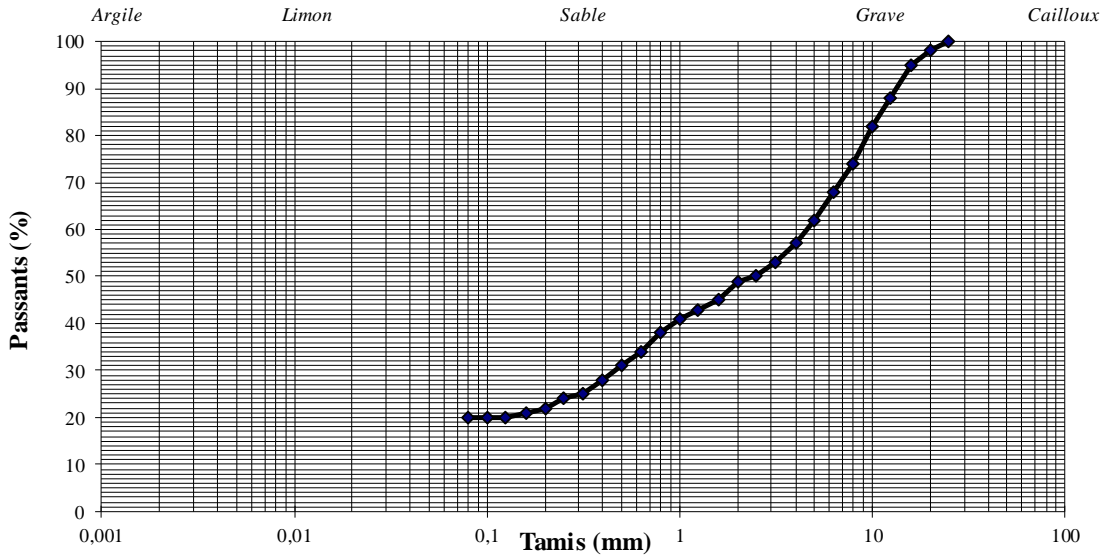
ESSAI PROCTOR MODIFIÉ		ESSAI DE PORTANCE CBR				
Proctor modifié		Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g (%)
Teneur en eau (%)	Densité sèche			Moulage	Essai	
	7,4	56 coups	2,28	6,60	7,90	
	2,28	25 coups	2,16	6,60	9,30	
		10 coups	2,05	6,80	9,80	
		CBR (95%) =	72,0	CBR (98%)		92,0



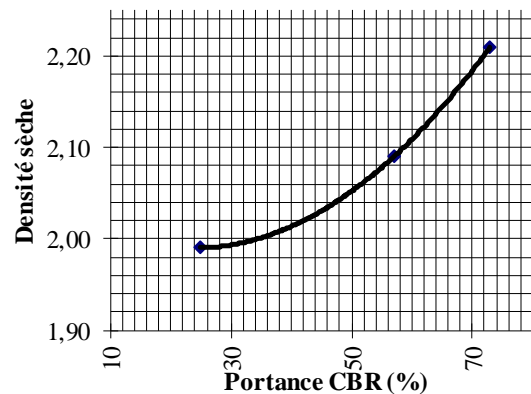
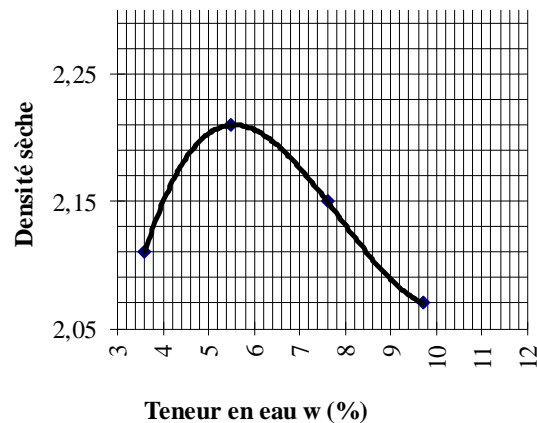


TED	PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
	0	0	0	0
OUAGADOUGOU				
w_L =	17	Période d'essai		MAI 2023
w_P =	14			
I_P =	4	NATURE		GAL 01 + 30 % Sable

Analyse granulométrique



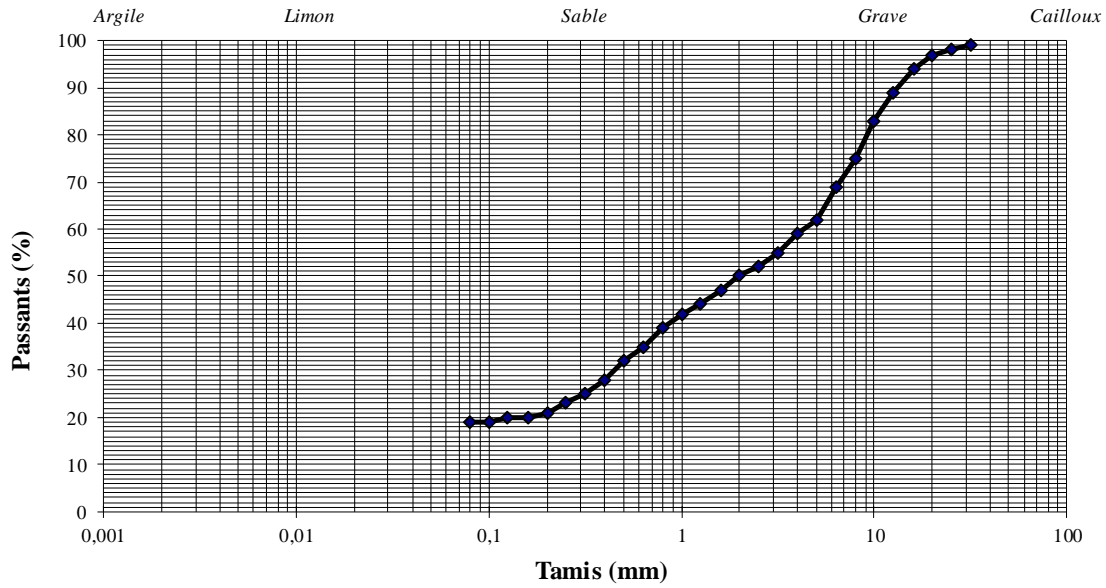
ESSAI PROCTOR MODIFIÉ		ESSAI DE PORTANCE CBR				
Proctor modifié		Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g (%)
Teneur en eau (%)				Moulage	Essai	
	6,0	56 coups	2,21	6,80	8,40	
		25 coups	2,09	6,60	9,00	
		10coups	1,99	7,40	11,00	
Densité sèche	2,21	CBR (95%) =	57,0	CBR (98%)		69,0



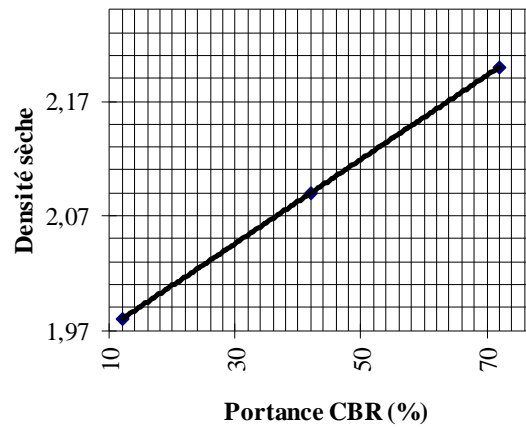
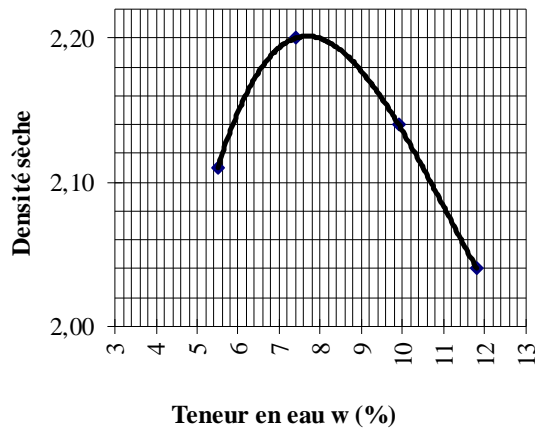


TED	PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
	0		0	0
OUAGADOUGOU			Période d'essai JUIN 2023	
w_L =	17			
w_P =	14			
I_p =	3	NATURE		GAL 01 + 35 % Sable

Analyse granulométrique

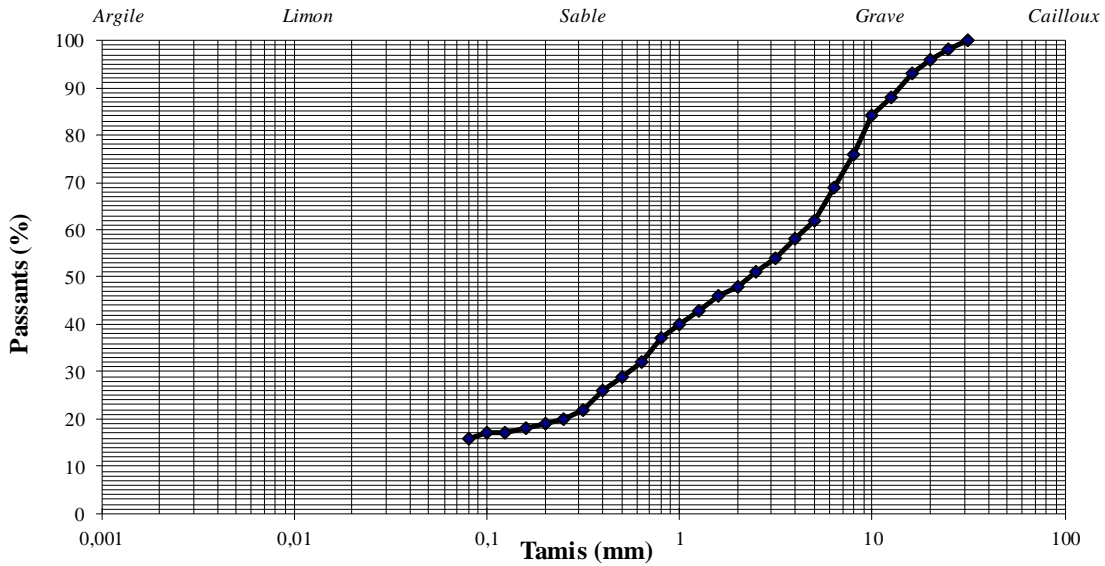


ESSAI PROCTOR MODIFIÉ		ESSAI DE PORTANCE CBR				
	Proctor modifié	Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g (%)
				Moulage	Essai	
Teneur en eau (%)	7,8	56 coups	2,20	9,20	10,30	
		25 coups	2,09	8,10	11,90	
		10coups	1,98	7,50	14,40	
Densité sèche	2,20	CBR (95%) =	42,0	CBR (98%)		58,0



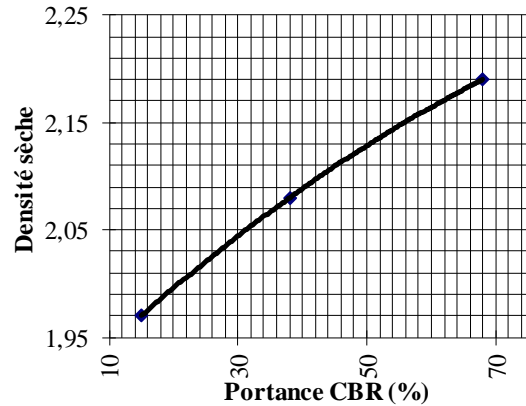
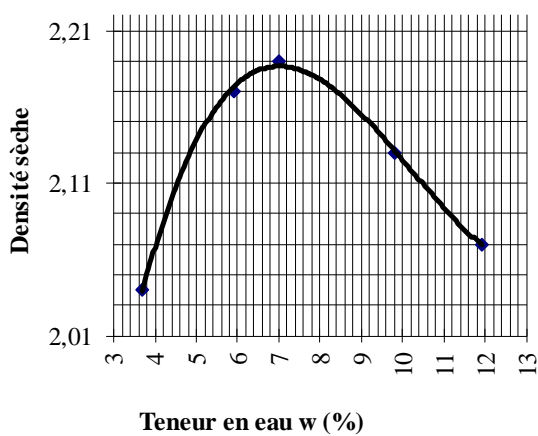
TED		PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
		0		0	
OUAGADOUGOU		0		0	
$w_L =$	17			Période d'essai JUNI 2023	
$w_P =$	14				
$I_p =$	3			NATURE	GAL 01 + 40 % Sable

Analyse granulométrique

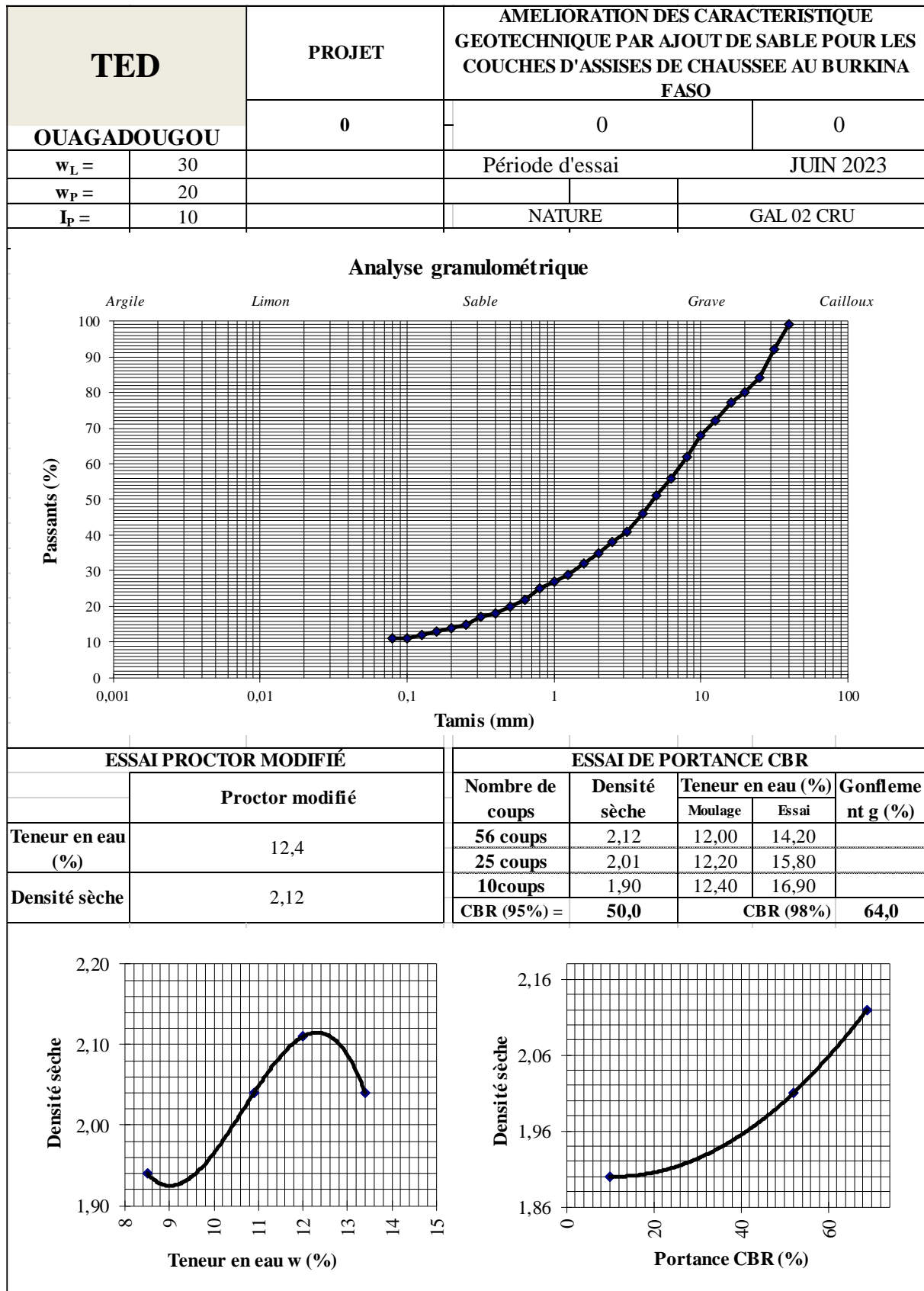


ESSAI PROCTOR MODIFIÉ	
	Proctor modifié
Teneur en eau (%)	7,0
Densité sèche	2,19

ESSAI DE PORTANCE CBR				
Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g
		Moulage	Essai	
56 coups	2,19	7,00	9,30	
25 coups	2,08	7,90	10,60	
10coups	1,97	7,37	12,10	
CBR (95%) =	38,0	CBR (98%)		58,0

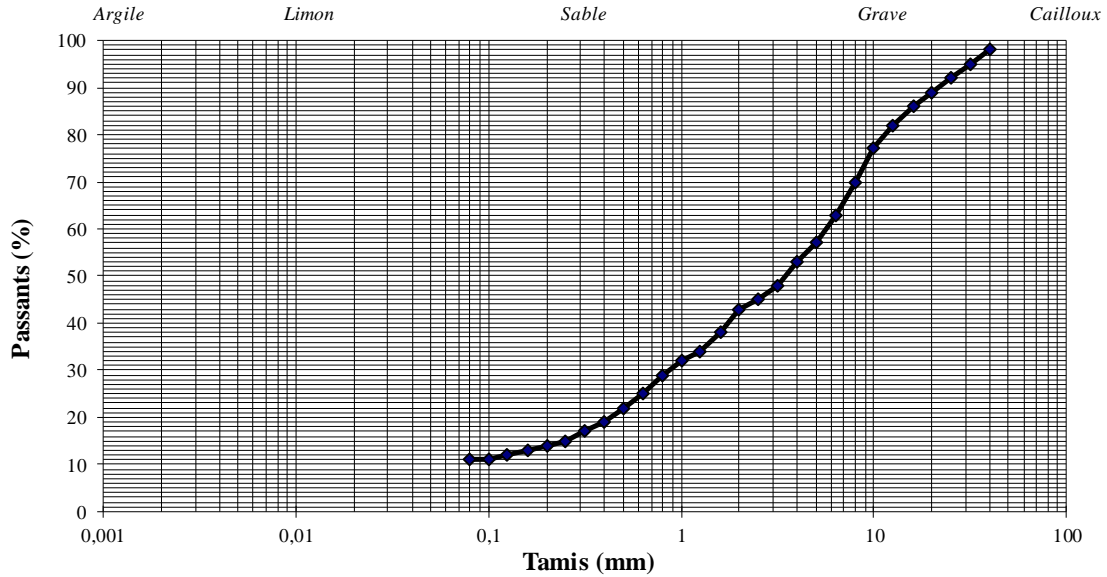


Annexe 9:: Les fiches techniques des essais des mélanges du GAL 02 par ajout de sable de 0% à 40%.

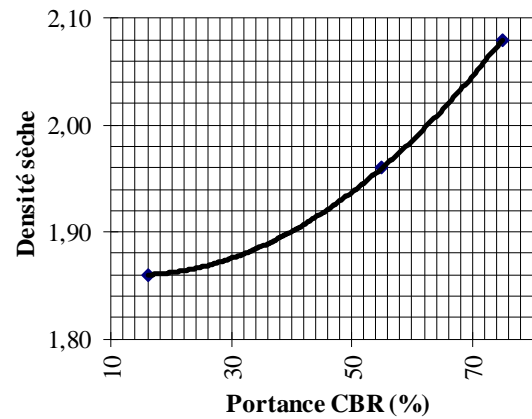
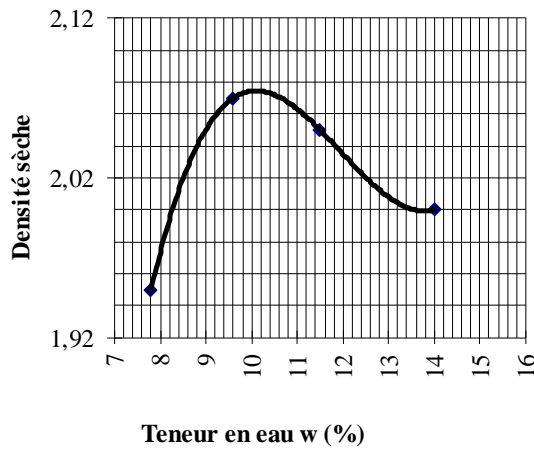


TED	PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
	OUAGADOUGOU	0	0	0
w_L =	34	Période d'essai		JUIN 2023
w_P =	24			
I_P =	10	NATURE		GAL 02 + 10 % Sable

Analyse granulométrique

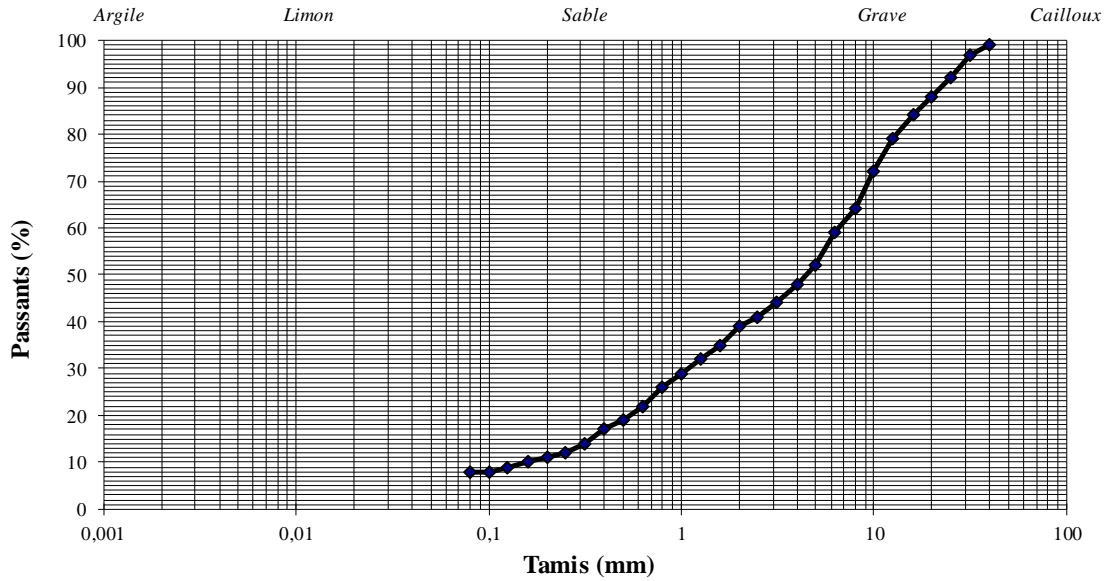


ESSAI PROCTOR MODIFIÉ		ESSAI DE PORTANCE CBR				
	Proctor modifié	Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g (%)
				Moulage	Essai	
Teneur en eau (%)	10,0	56 coups	2,08	10,60	12,20	
		25 coups	1,96	10,30	13,60	
		10coups	1,86	10,40	15,00	
Densité sèche	2,08	CBR (95%) =	53,0	CBR (98%)		67,0

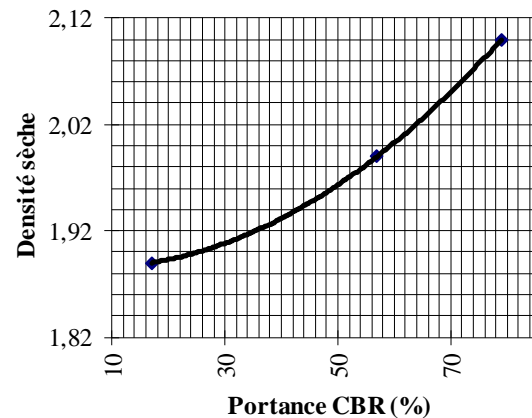
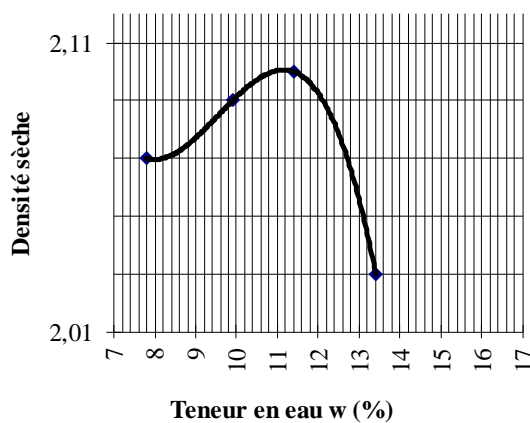


TED	PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
	0		0	0
OUAGADOUGOU			Période d'essai JUNI 2023	
w_L =	32			
w_P =	22			
I_P =	10	NATURE		GAL 02 + 15 % Sable

Analyse granulométrique



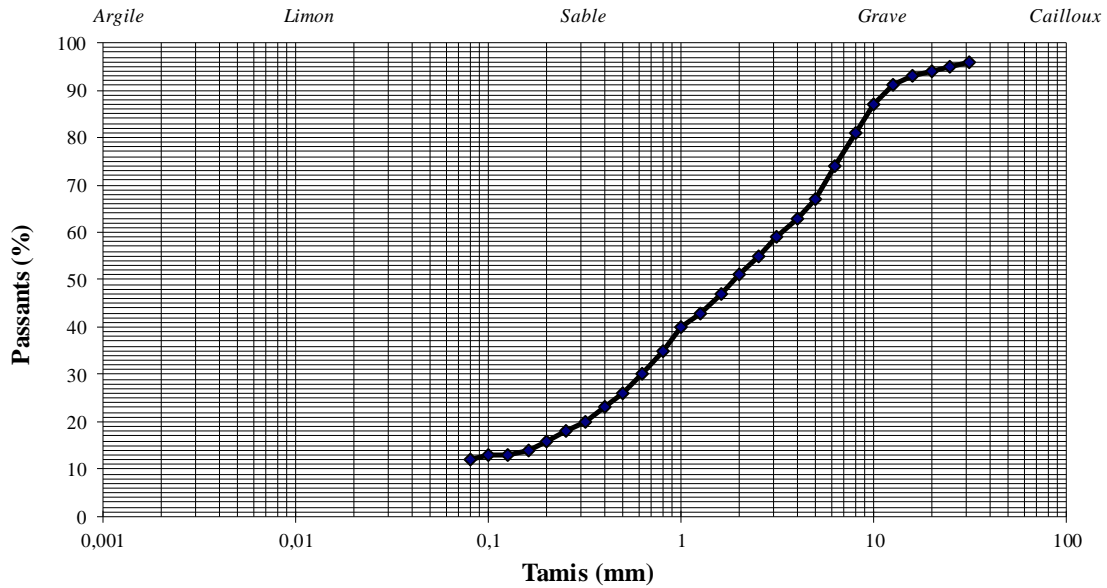
ESSAI PROCTOR MODIFIÉ		ESSAI DE PORTANCE CBR				
Proctor modifié		Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g (%)
				Moulage	Essai	
Teneur en eau (%)	11,2	56 coups	2,10	13,50	14,90	
Densité sèche	2,10	25 coups	1,99	13,50	16,20	
		10 coups	1,89	13,30	18,00	
		CBR (95%) =	57,0	CBR (98%)		78,0



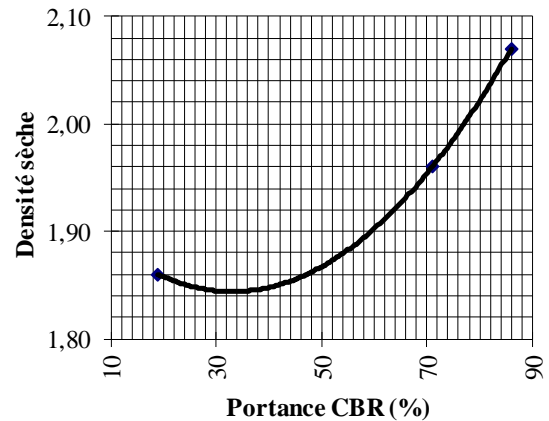
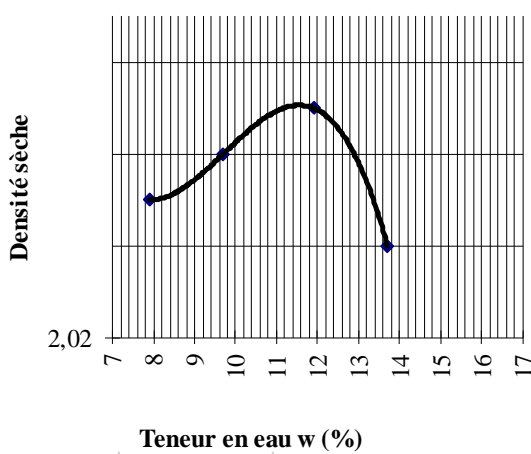


TED	PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
	OUAGADOUGOU	0	0	0
w_L =	31	Période d'essai		JUILLET 2023
w_P =	23			
I_p =	8	NATURE		GAL 02 + 20 % Sable

Analyse granulométrique



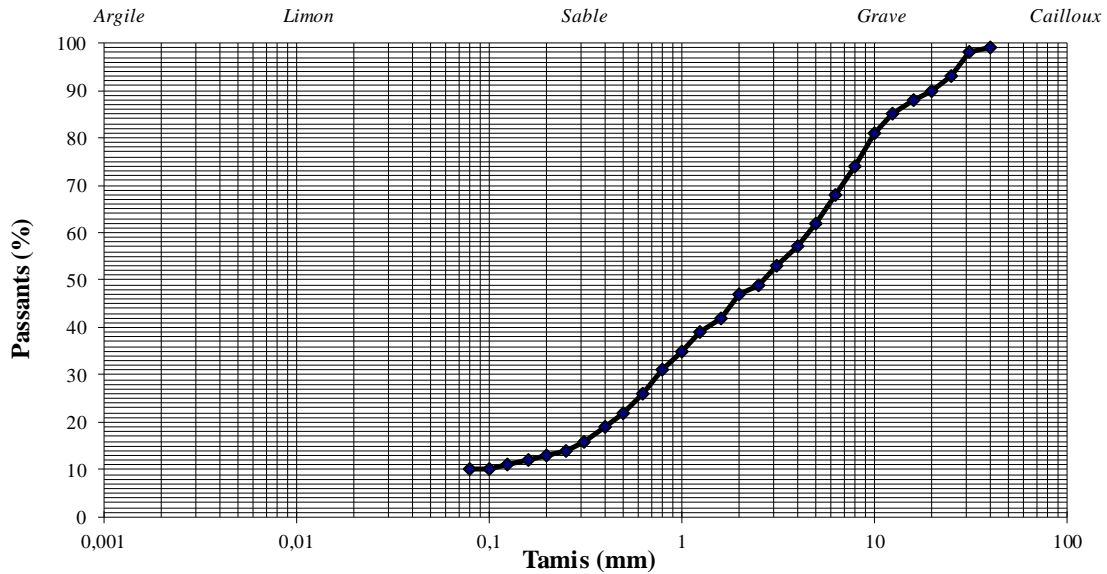
ESSAI PROCTOR MODIFIÉ		ESSAI DE PORTANCE CBR				
	Proctor modifié	Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g (%)
				Moulage	Essai	
Teneur en eau (%)	11,8	56 coups	2,07	11,10	12,70	
Densité sèche	2,07	25 coups	1,96	10,70	13,60	
		10coups	1,86	10,30	16,00	
		CBR (95%) =	49,0	CBR (98%)		71,0





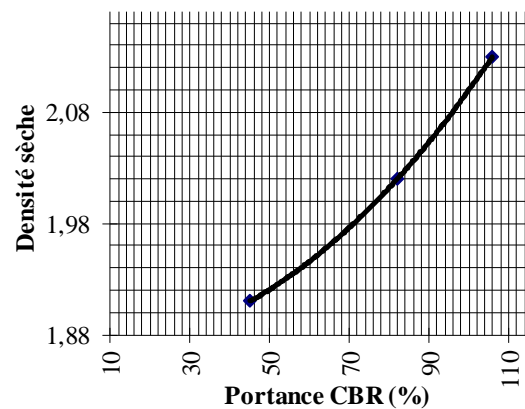
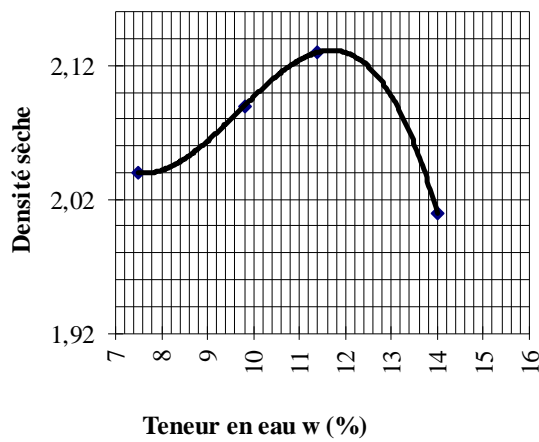
TED	PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
	OUAGADOUGOU	0	0	0
$w_L =$	30	Période d'essai		JUILLET 2023
$w_P =$	21			
$I_P =$	8	NATURE		GAL 02+ 25 % Sable

Analyse granulométrique



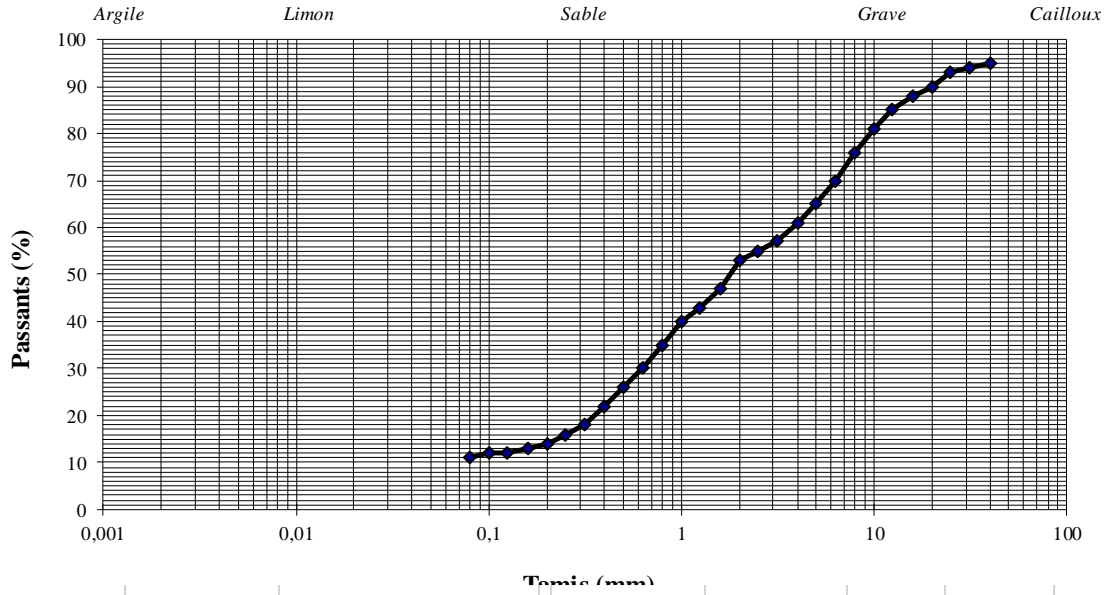
ESSAI PROCTOR MODIFIÉ	
	Proctor modifié
Teneur en eau (%)	11,8
Densité sèche	2,13

ESSAI DE PORTANCE CBR				
Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g
		Moulage	Essai	
56 coups	2,13	10,00	13,40	
25 coups	2,02	10,20	14,40	
10 coups	1,91	11,20	16,00	
CBR (95%) =	78,0	CBR (98%)		81,0

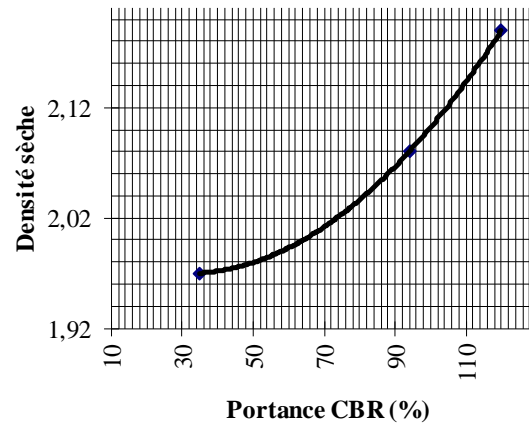
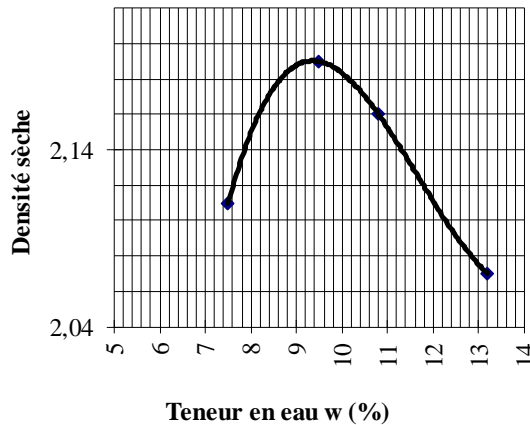


TED	PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
	0		0	0
OUAGADOUGOU				
w_L =	29	Période d'essai		JUILLET 2023
w_P =	21			
I_P =	8	NATURE		GAL 02 + 30 % Sable

Analyse granulométrique



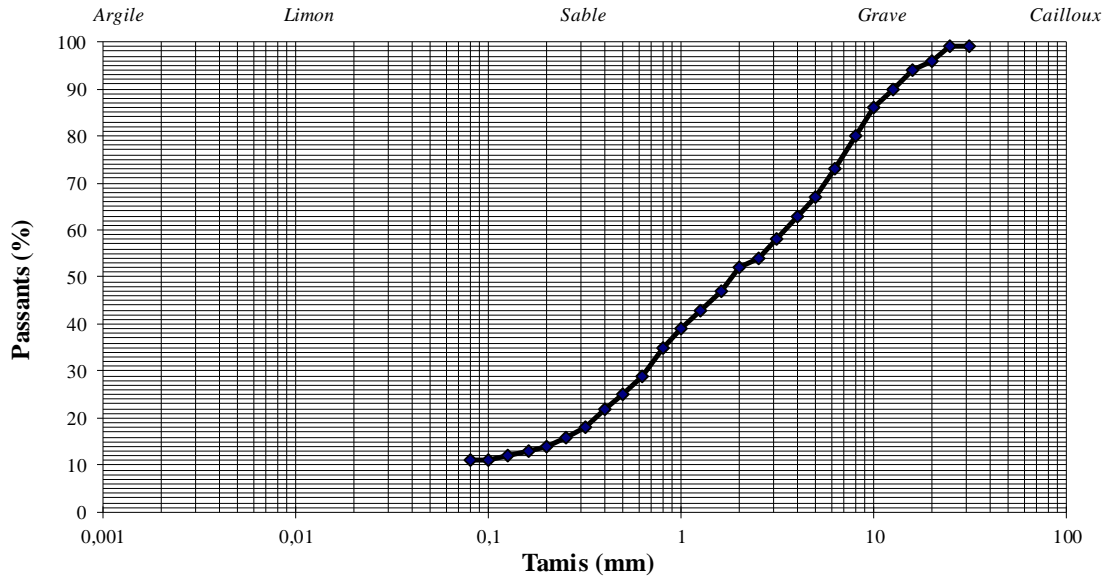
ESSAI PROCTOR MODIFIÉ		ESSAI DE PORTANCE CBR				
	Proctor modifié	Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g (%)
				Moulage	Essai	
Teneur en eau (%)	9,4	56 coups	2,19	9,70	11,40	
		25 coups	2,08	9,50	12,80	
		10coups	1,97	9,20	14,90	
Densité sèche	2,19	CBR (95%) =	94,0	CBR (98%)		111,0



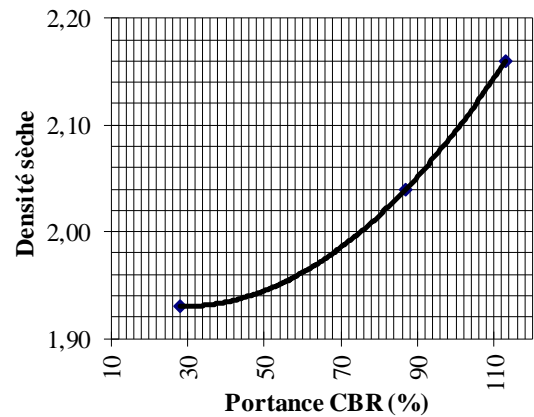
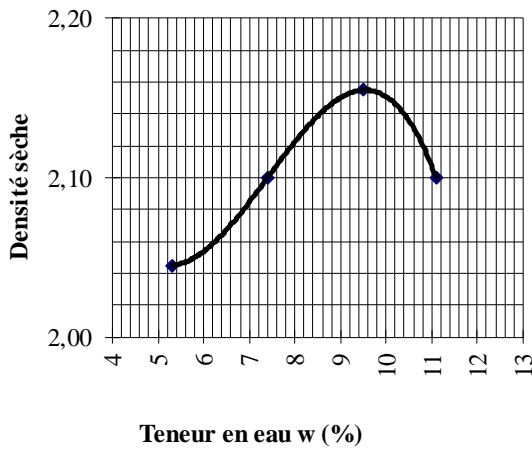


TED	PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
	0		0	0
OUAGADOUGOU			JUILLET 2023	
w_L =	30	Période d'essai		JUILLET 2023
w_P =	22			
I_P =	8	NATURE		GAL 02 + 35 % Sable

Analyse granulométrique

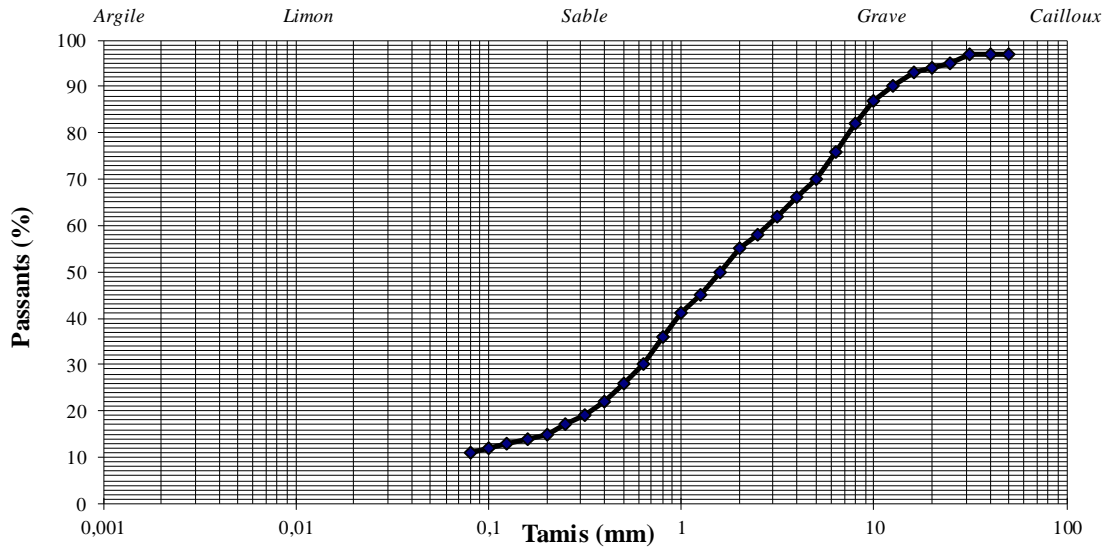


ESSAI PROCTOR MODIFIÉ		ESSAI DE PORTANCE CBR				
	Proctor modifié	Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g (%)
				Moulage	Essai	
Teneur en eau (%)	9,6	56 coups	2,16	9,90	12,00	
Densité sèche	2,16	25 coups	2,04	10,00	13,20	
		10coups	1,93	9,00	14,80	
		CBR (95%) =	88,0	CBR (98%)		107,0



TED	PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
	0		0	0
OUAGADOUGOU			JUILLET 2023	
$w_L =$	30	Période d'essai		
$w_P =$	23			
$I_P =$	7	NATURE		GAL 02 + 40 % Sable

Analyse granulométrique

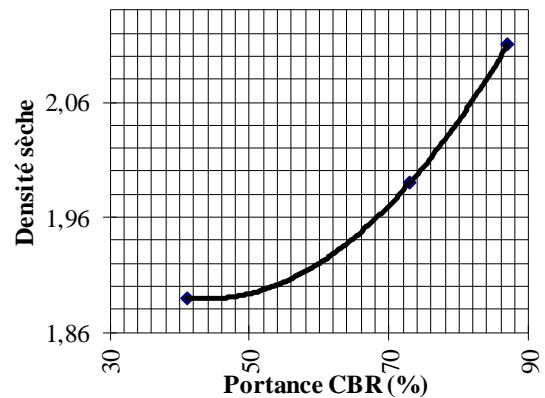
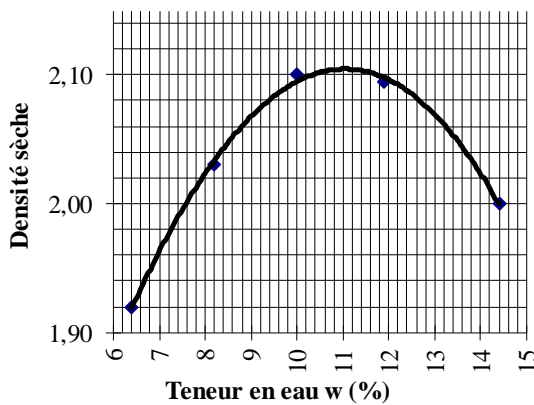


ESSAI PROCTOR MODIFIÉ

	Proctor modifié
Teneur en eau (%)	11,0
Densité sèche	2,11

ESSAI DE PORTANCE CBR

Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g
		Moulage	Essai	
56 coups	2,11	9,90	12,30	
25 coups	1,99	9,80	13,60	
10 coups	1,89	9,60	15,10	
CBR (95%) =	73,0	CBR (98%)		87,0

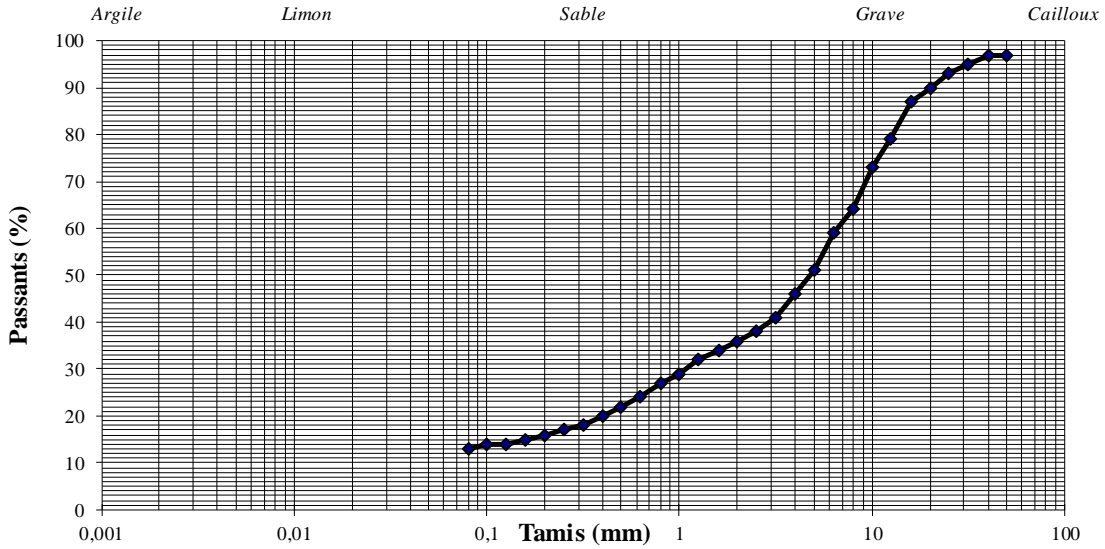


Annexe 10: Les fiches techniques des essais des mélanges du GAL 03 par ajout de sable de 0% à 40%.

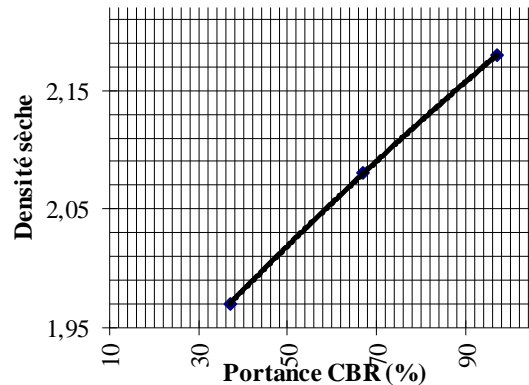
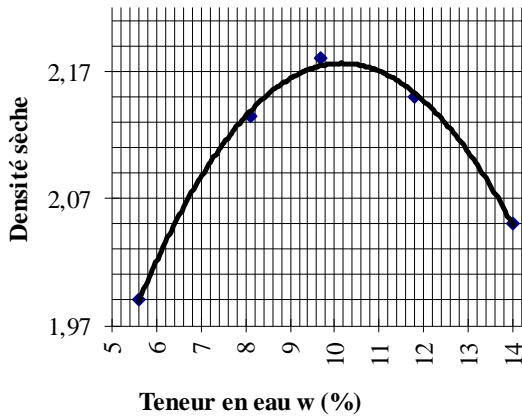
TED		PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO		
		0		0	0	
OUAGADOUGOU				Période d'essai JUILLET 2023		
$w_L =$	36			NATURE GAL 03 CRU		
$w_P =$	22					
$I_p =$	13					
Analyse granulométrique						
ESSAI PROCTOR MODIFIÉ			ESSAI DE PORTANCE CBR			
	Proctor modifié	Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%) Moulage Essai		Gonflement g (%)
Teneur en eau (%)	9,2	56 coups	2,19	10,00	11,30	
Densité sèche	2,19	25 coups	2,08	9,40	12,60	
		10 coups	1,97	10,30	13,80	
		CBR (95%) =	61,0	CBR (98%)		78,0

TED		PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
		0		0	0
OUAGADOUGOU				Période d'essai JUILLET 2023	
$w_L =$	36				
$w_P =$	24				
$I_P =$	12			NATURE	GAL 03 + 10 % Sable

Analyse granulométrique



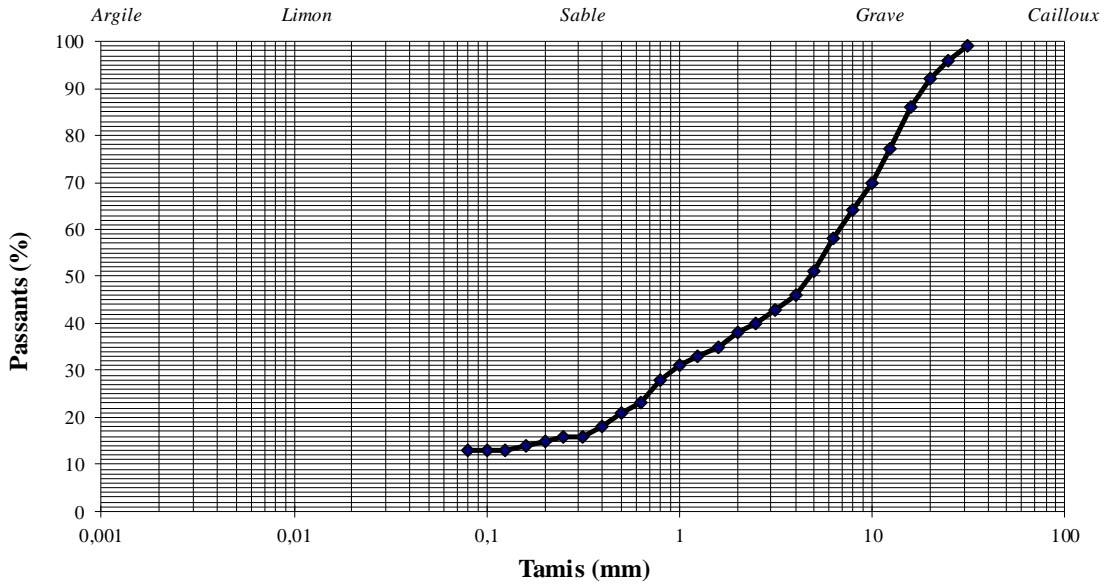
ESSAI PROCTOR MODIFIÉ		ESSAI DE PORTANCE CBR				
Proctor modifié		Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g (%)
				Moulage	Essai	
Teneur en eau (%)	10,4	56 coups	2,18	9,50	11,50	
Densité sèche	2,18	25 coups	2,08	10,40	12,50	
		10 coups	1,97	9,60	13,60	
		CBR (95%) = 67,0		CBR (98%)		87,0



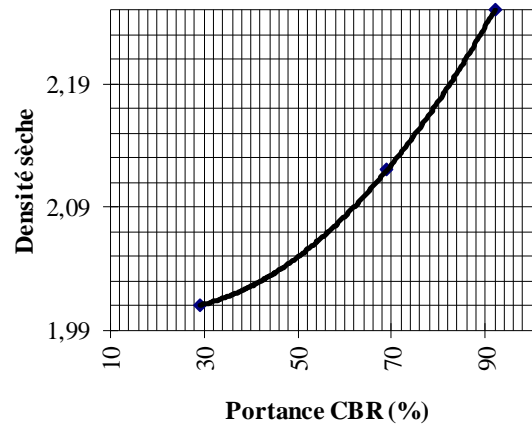
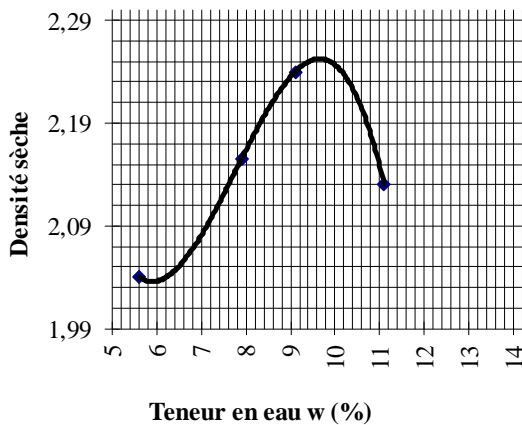


TED	PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
	0		0	0
OUAGADOUGOU			AOUT 2023	
w_L =	32	Période d'essai		AOUT 2023
w_P =	20			
I_P =	11	NATURE		GAL 03 + 15 % Sable

Analyse granulométrique

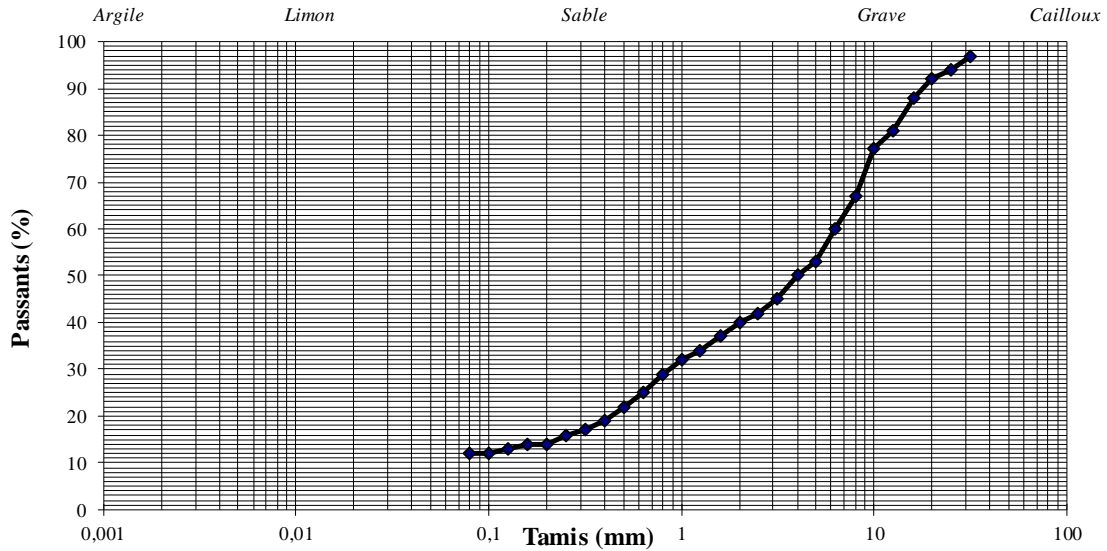


ESSAI PROCTOR MODIFIÉ		ESSAI DE PORTANCE CBR				
	Proctor modifié	Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g (%)
				Moulage	Essai	
Teneur en eau (%)	9,6	56 coups	2,25	8,70	10,60	
		25 coups	2,12	8,60	11,60	
Densité sèche	2,25	10coups	2,01	8,40	13,20	
		CBR (95%) =	69,0	CBR (98%)		86,0



TED	PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
	OUAGADOUGOU	0	0	0
$w_L =$	31	Période d'essai		AOUT 2023
$w_P =$	20			
$I_P =$	11	NATURE		GAL 03 + 20 % Sable

Analyse granulométrique

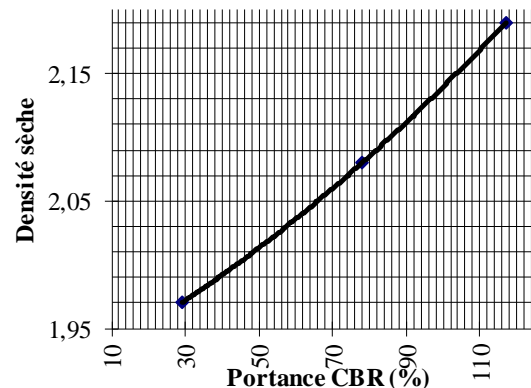
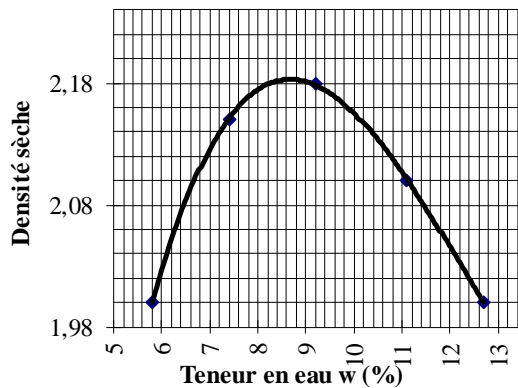


ESSAI PROCTOR MODIFIÉ

Proctor modifié	
Teneur en eau (%)	8,8
Densité sèche	2,19

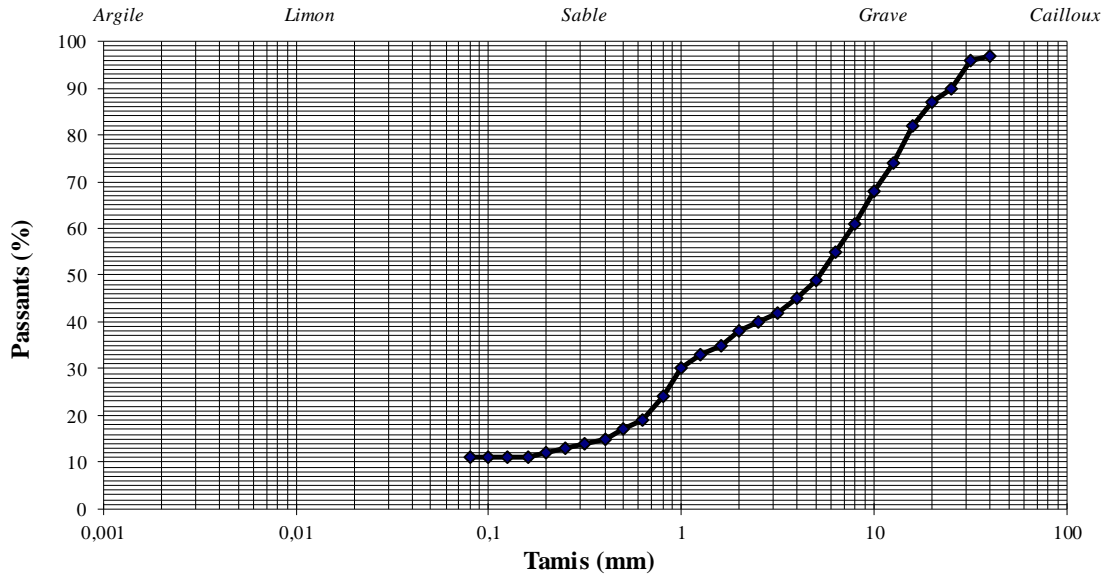
ESSAI DE PORTANCE CBR

Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g (%)
		Moulage	Essai	
56 coups	2,19	9,10	11,00	
25 coups	2,08	8,70	12,50	
10 coups	1,97	9,30	13,80	
CBR (95%) =	78,0	CBR (98%)		92,0

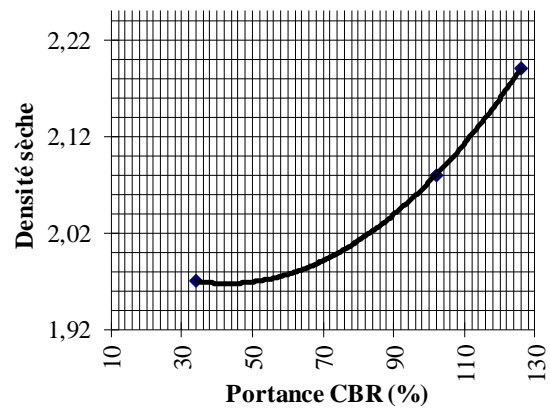
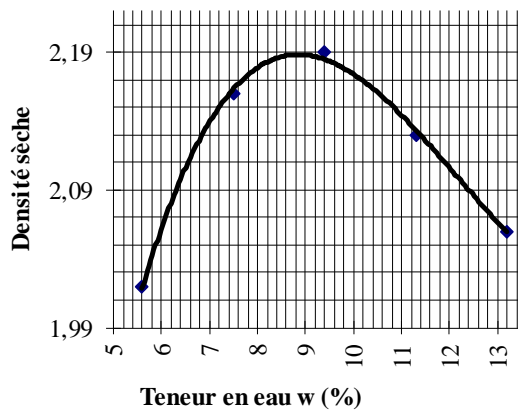


TED	PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
	0		0	0
OUAGADOUGOU				
$w_L =$	32	Période d'essai		AOUT 2023
$w_P =$	21			
$I_P =$	10	NATURE		GAL 03 + 25 % Sable

Analyse granulométrique

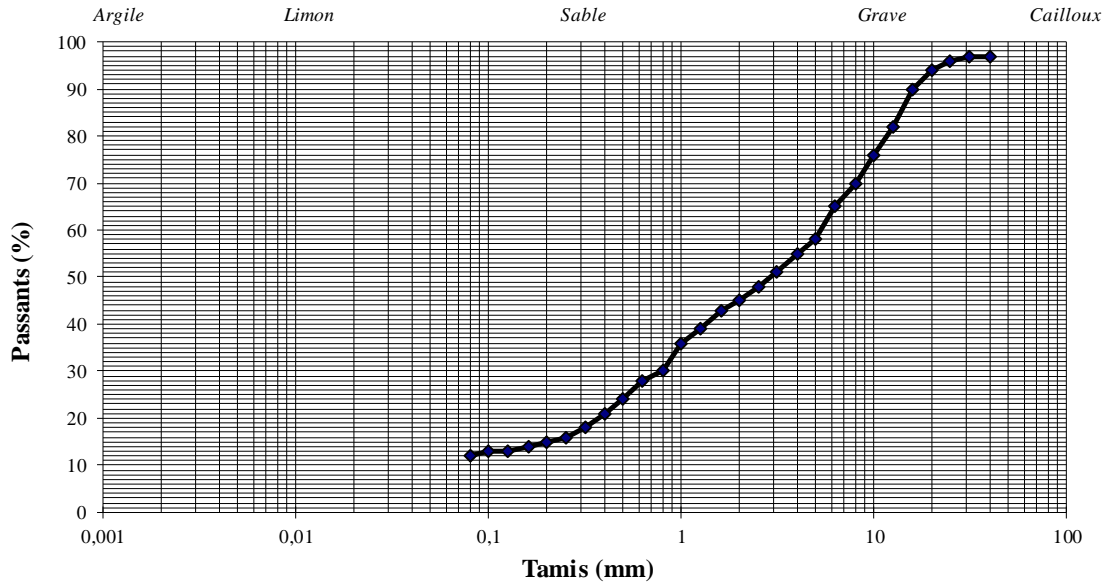


ESSAI PROCTOR MODIFIÉ		ESSAI DE PORTANCE CBR				
Proctor modifié		Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g (%)
				Moulage	Essai	
Teneur en eau (%)	9,0	56 coups	2,19	8,60	10,30	
Densité sèche	2,19	25 coups	2,08	10,40	11,70	
		10 coups	1,97	9,20	14,30	
		CBR (95%) = 102,0		CBR (98%)		124,0

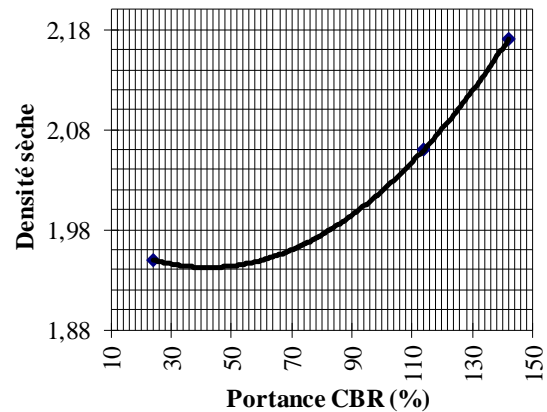
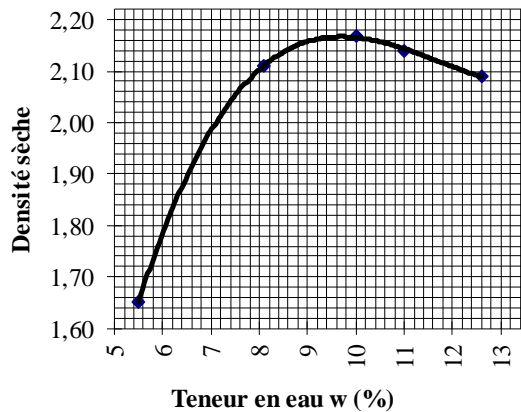


TED	PROJET	AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
	0	0	0
OUAGADOUGOU	0	0	0
w_L =	30	Période d'essai AOUT 2023	
w_P =	20		
I_P =	10	NATURE	GAL 03 + 30 % Sable

Analyse granulométrique



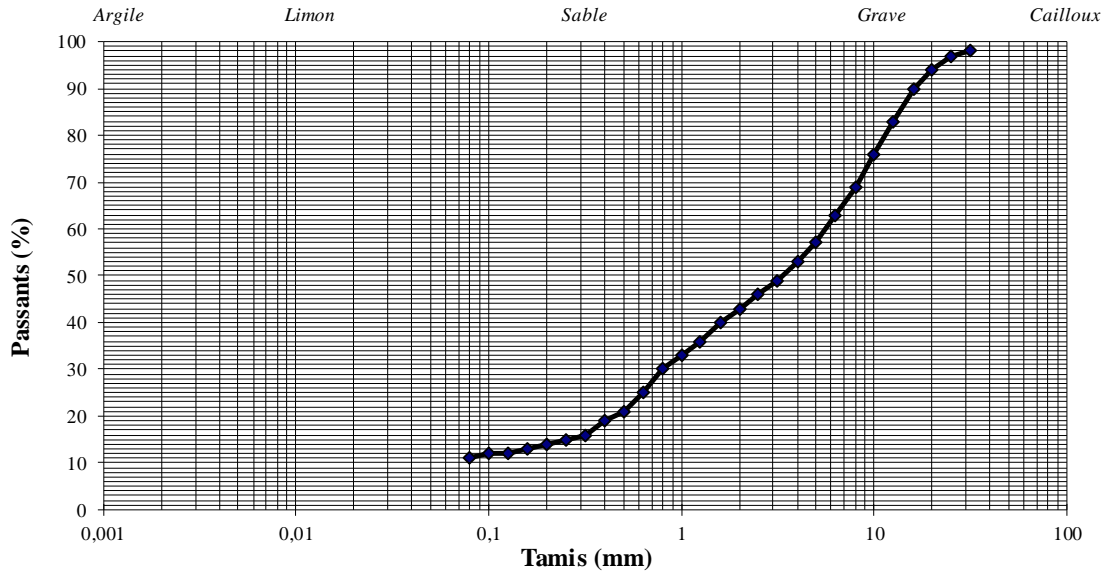
ESSAI PROCTOR MODIFIÉ		ESSAI DE PORTANCE CBR				
	Proctor modifié	Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g (%)
				Moulage	Essai	
Teneur en eau (%)	10,0	56 coups	2,17	9,90	12,00	
		25 coups	2,06	10,20	13,60	
		10coups	1,95	10,10	15,00	
Densité sèche	2,17	CBR (95%) =	114,0	CBR (98%)	134,0	



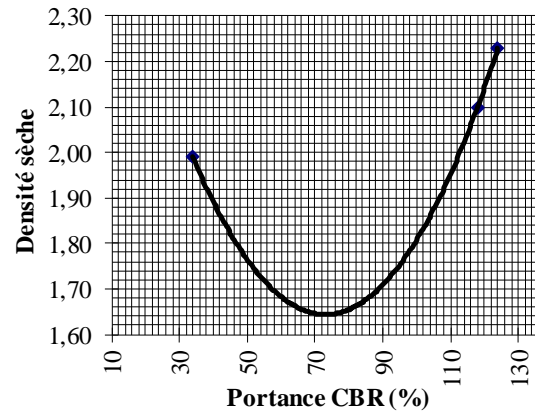
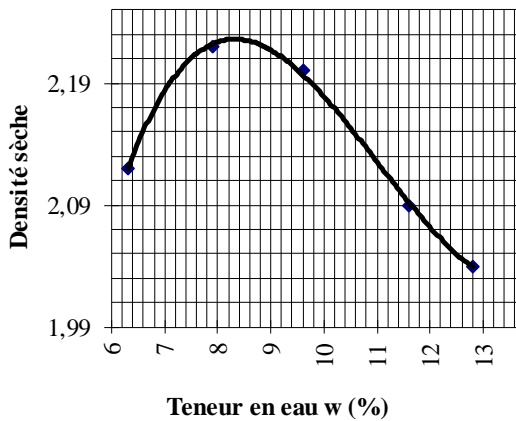


TED	PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
	OUAGADOUGOU	0	0	0
$w_L =$	29	Période d'essai		AOUT 2023
$w_P =$	19			
$I_P =$	10	NATURE		GAL + 35 % Sable

Analyse granulométrique



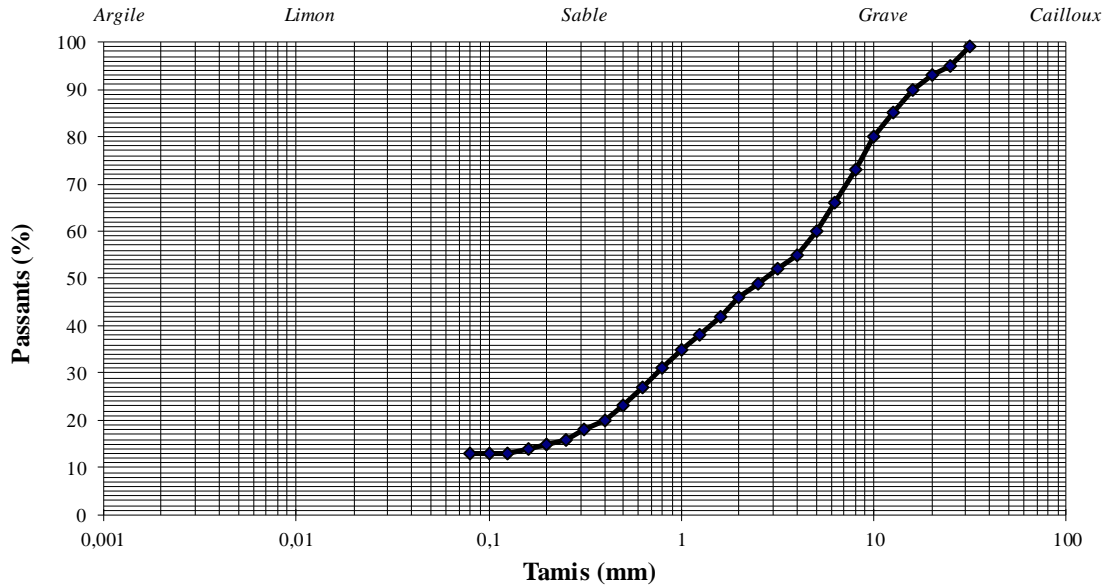
ESSAI PROCTOR MODIFIÉ		ESSAI DE PORTANCE CBR				
Proctor modifié		Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g (%)
Teneur en eau (%)				Moulage	Essai	
Teneur en eau (%)	8,4	56 coups	2,23	7,90	9,80	
Densité sèche	2,23	25 coups	2,10	8,80	11,60	
		10coups	1,99	8,20	13,00	
		CBR (95%) =	118,0	CBR (98%)		122,0





TED	PROJET		AMELIORATION DES CARACTERISTIQUE GEOTECHNIQUE PAR AJOUT DE SABLE POUR LES COUCHES D'ASSISES DE CHAUSSEE AU BURKINA FASO	
	0		0	0
OUAGADOUGOU			Période d'essai AOUT 2023	
w_L =	32			
w_P =	22			
I_p =	9	NATURE		GAL 03 + 40 % Sable

Analyse granulométrique



ESSAI PROCTOR MODIFIÉ	
	Proctor modifié
Teneur en eau (%)	8,4
Densité sèche	2,19

ESSAI DE PORTANCE CBR				
Nombre de coups	Densité sèche	Teneur en eau (%)		Gonflement g
		Moulage	Essai	
56 coups	2,19	8,60	10,00	
25 coups	2,08	10,10	11,50	
10coups	1,97	9,00	13,80	
CBR (95%) =	76,0	CBR (98%)		88,0

