



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et Technologies

قسم الري و الهندسة المدنية

Département Génie civil

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine: ST

Filière: Gini Civile

Spécialité: Structure

Thème

*Amélioration de Comportement mécanique du Sable de dune par
l'ajout d'un correcteur granulométrique « fines calcaire »*

Déposé le : 10/06/2023

Par :

MOCHTEN Amal
BEN GHEDIER Abir Ennada

Au jury composé de :

SAITI Issam

Maître assistant « A »

Président

DEMDOUM Abdellah

Docteur

Examineur

DAHEUR Elhadj Guesmia

Maître de conférences « A »

Encadreur

Année universitaire : 2022/2023

Remerciements

Nous tenons à remercier en premier lieu **ALLAH**, tout puissant, de nous avoir donné le courage et la volonté pour bien mener ce modeste travail.

Tout d'abord, nous tenons à remercier à notre encadreur Monsieur **Daheur Elhadj Guesmia** pour sa patience et, surtout, pour sa confiance, leurs observations et ses conseils.

Nous tenons à remercier toute l'équipe de **LTPS**, à l'aide sur le plan expérimental notamment nos essais réalisés en laboratoire, pour sa disponibilité, son esprit de partage, sa grande conscience professionnelle et la sympathie qui le caractérise.

Nous tenons à remercier vivement **Monsieur le Président et les membres du jury** d'avoir accepté de juger ce travail.

Pour finir nous remercions également **Parents** ceux qui nous donnent le pouvoir de continuer, et à tous ceux qui de près ou de loin nous ont apporté aide et encouragement.

Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude ainsi que toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.

Merci à vous tous

DEDICACES

Avant tout, nos sincères remerciements reviennent à Allah le tout puissant pour tous ses dons.

À l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de la joie et de bonheur celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à toi mon Papa.

À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; Maman que j'adore.

À mes adorables frères Mohammed, vous m'avez toujours soutenu durant toutes mes études, je vous souhaite une vie pleine de joie de bonheur et de réussite.

À ma sœur IMANE adorée à qui je souhaite toute la réussite.

À mon adorable binôme AMAL avec qui ont passé de très bons moments en réalisant ce travail et à toute sa famille.

À toute ma chère famille BENGHEDIER ET BAHAZ,

Abir Ennada

BEN GHEDIER

DEDICACES

*A tous réjouit ou profite Mon
travail est celui-ci.*

*Amal
Mochten.*

ملخص :

ويشكل هذا العمل جزءا من استغلال المواد المحلية من منطقة ولاية غرداية لاستخدامها في تشييد الطرق في هذه المنطقة.

تم إجراء سلسلة من اختبارات بروكتور المعدلة وقوة الانضغاط وقوة القص المباشرة على خلطات الرمال من الكثبان -الجيرية الدقيقة.

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها تركيبة مثالية تتكون من 60٪ من رمال الكثبان الرملية و 40٪ من الحجر الجيري الناعم يكتسب أفضل أداء، بهذه الصيغة لدينا: وكثافة جافة قصوى قدرها 2.15 غرام/سم³، ومحتوى مائي مثالي قدره 8 في المائة، ومقاومة ضغط قدرها 250 كيلو باسكال، ووحدة قسمة E50 قدرها 3000 كيلو باسكال، وتماسك قدره 180 كيلو باسكال، وزاوية احتكاك قدرها 32 درجة.

وأخيرا، تبين النتائج التي تم الحصول عليها إمكانية رفع مستوى المواد المحلية القائمة على رمال الكثبان الرملية من أجل تطوير مادة بناء لطبقات الرصيف في منطقة الدراسة، تتسم بالكفاءة الميكانيكية والاقتصاد وتلبي متطلبات سياسة التنمية المستدامة.

كلمات مفتاحية : استغلال-الرمال من الكثبان -الجيرية الدقيقة - المواد المحلية - تشييد الطرق اختبارات بروكتور المعدلة_ ووحدة قسمة_ تماسك

Abstract:

This work is part of the exploitation of local materials from the Ghardaïa wilaya region for use in road construction in this region.

A series of modified Proctor tests, compressive strength and direct shear strength, were carried out on sand mixtures of fine limestone dune.

The results obtained show an optimal formula composed of 60% dune sand and 40% of fine limestone acquires the best performance, with this formula we have: a maximum dry density of 2.15 g/cm³, an optimal water content of 8%, a compression resistance of 250 kPa, an E50 secant module of 3000 kPa, a cohesion of 180 kPa and a friction angle of 32°.

Finally, the results obtained show the possibility of upgrading local materials based on dune sand for the development of a construction material for pavement layers in the study area, mechanically efficient, economic and meeting the requirements of sustainable development policy.

Key words: Exploitation of_ local materials_ dune sand_ fine limestone_ modified Proctor tests _ secant module _ cohesion

Résumé :

Ce travail s'inscrit dans le cadre de l'exploitation des matériaux locaux de la région de la wilaya de Ghardaïa en vue de leur utilisation en construction routière dans cette région.

Une série d'essais de Proctor modifié, résistance à la compression, résistance au cisaillement direct, ont été réalisés sur des mélanges sable de dune-fines calcaire.

Les résultats obtenus montrent une formule optimale composé de 60% sable de dune et 40% des fine calcaire acquière les meilleures performances, avec cette formule on a : une densité sèche maximale de 2.15 g/cm³, un teneur en eau optimale de 8%, une résistance à la compression de 250 kPa, un module sécant E50 de 3000 kPa, une cohésion de 180 kPa et un angle de frottement de 32°.

Enfin, les résultats obtenus mettent en évidence la possibilité de valorisation des matériaux locaux à base de sable de dune pour la mise au point d'un matériau de construction des couches d'assis de chaussées dans la zone d'étude, mécaniquement performant, économique et répondant aux exigences de la politique du développement durable.

Mots clés: L'exploitation_ matériaux locaux_ construction routière_ sable de dune_ fines calcaire_ d'essais de Proctor modifié_ module sécant_ cohésion

TABLE DES MATIERES

Remerciements	
Dédicaces	
ملخص	
Abstract	
Résumé	
Index des Figures	
Index des Tableaux	
Liste des Symboles	
Sommaire	
Introduction générale.....	Erreur ! Signet non défini.

Chapitre I Généralités

I.1 Introduction.....	4
I.2 Les matériaux de basse :	4
I.2.1 Sable de Dune (SD):.....	4
I.2.1.1 Définition de sable de dune:.....	4
I.2.1.2 Identification de sable de dune :.....	4
I.2.1.3 Carte de Présence du sable des dunes en Algérie:.....	7
I.2.1.4 Utilisation le sable de dune:	8
I.2.1.5 Les Améliorations sable de dune Pour la construction de routes:.....	19
I.2.2 Fines calcaires (FC) :	19
I.2.2.1 Concassage mécanique du calcaire :	19
I.2.2.2 Utilisation du calcaire dans la construction:	19
I.2.2.3 Diverses utilisations du calcaire :.....	20
I.3 Conclusion :	20

Chapitre II Etude d'identification géotechnique

II.1 introduction.....	22
II.2 La Présentation	22
II.2.1 Présentation de la Wilaya de Ghardaïa :	22
II.2.1.1 Contexte climatique de la Wilaya de Ghardaïa :	22
II.2.1.2 Etat du Réseau Routier de la Wilaya de Ghardaïa :.....	23
II.2.2 Présentation et Localisation du site prélèvement des échantillons :.....	24
II.3 L'étude d'identification géotechnique des matériaux de base :	25
II.3.1 Les caractérisations des matériaux de base :.....	26

II.3.1 Analyse granulométrique :.....	26
II.3.1.1 Analyse granulométrique par tamisage :.....	27
II.3.1.2 Analyse granulométrique par sédimentométrie :.....	27
II.3.2 Qualité des fines :.....	29
II.3.2.1 Les limites d'Atterberg (NFP 94-051):.....	30
II.3.2.2 Essai d'équivalent de sable (ES) :.....	33
II.3.2.3 Essai au bleu de méthylène (VB) (NF P 94-068) :.....	34
II.3.3 Essai de compactage et de portance :.....	36
II.3.3.1 Essai Proctor Modifié (NF P 94 – 093) :.....	36
II.3.3.2 Essai CBR (L'indice portant californien CBR) (NF P 94-078) :.....	39
II.3.3.3 Essai de compression simple :.....	39
II.3.3.4 Essai de traction :.....	41
II.3.3.5 Analyse chimique :.....	42
II.4 Récapitulatif des essais d'identification :.....	42
II.5 Classification :.....	44
II.5.1 Classification GTR :.....	44
II.6 conclusion :.....	45

Chapitre III Comportement mécanique des mélanges SD-FC

III.1 Introduction.....	48
III.2 Etude de l'influence de l'ajout des fines calcaire au laboratoire :.....	48
III.2.1 Influence du fines calcaire sur les caractéristiques de compactage (Essai Proctor modifié):.....	49
III.2.2 Influence du fines calcaire sur le comportement mécanique :.....	50
III.2.2.1 Essai de compression simple :.....	50
III.2.2.2 Essai de cisaillement (NF P 94-071-1):.....	53
III.3 Conclusion :.....	59
Conclusion général.....	Erreur ! Signet non défini.
References bibliographiques.....	64
ANNEXE.....	Erreur ! Signet non défini.

INDEX DES FIGURES

Figure I.1 : Vue générale (à grande échelle, MEB.) du sable de dune.	5
Figure I.2: Répartition des sables de dune en Algérie.	7
Figure I.3 : Profil type d'une chaussée et terminologie des différentes couches.	11
Figure I.4: Routière Saharienne.	16
Figure I.5 : Fuseau de spécification de la technique routière saharienne	24
Figure II.1 : Réseau Routier de la Wilaya de Ghardaïa.	25
Figure II.2 : Localisation des matériaux de bases.	28
Figure II.3 : Courbes granulométriques de sable de dune et des fines calcaire.	30
Figure II.4: Etats de consistance d'un sol.	32
Figure II.5 : Localisation de sable de dune et fines calcaire sur le diagramme de Casagrande.).	34
Figure II.6 :Appareillage pour l'essai d'équivalent de sable	
Figure II.7: Schéma du dosage de l'essai du bleu méthylène	45
Figure II.8: Courbe Des caractéristiques optimales	38
Figure II.9 : Schéma des moules	40
Figure II.10: Courbe à la résistance en compression simple en fonction de la compacité des fines calcaire	41
Figure II.11 : Classification de nos matériaux selon GTR.	45
Figure III.1: Courbes Proctor modifié des mélanges Sable de dune-Fines calcaire.	49
Figure III.2 : Influence de la teneur en fines calcaire sur les caractéristiques de compactage :	50
Figure III.3: Courbes contrainte-déformation des différents mélange : a) à 7 jours de concertation et b) à 28jours de concertation.	52
Figure III.4 : Variation de la contrainte maximale et le module sécant E50 en fonction de la teneur en fines calcaire à 28 jours de conservation.	52
Figure III.5 : Principe de détermination des modules sécant E50.	53
Figure III.6 : la Boîte de Casagrande	55
Figure III.7 : Influence de traitement aux liants sur la résistance au cisaillement (après séchage)	57_58
Figure III .8: Variation de (a) la cohésion et (b) l'angle de frottement en fonction des pourcentages des liants (après séchage à l'étuve)	59

INDEX DES TABLEAUX

Tableau I.1 : Les pourcentages des éléments majeurs et mineurs	6
Tableau I.2 : Caractéristiques du sable de dune	6
Tableau II.1 : Climatologie de Ghardaïa	23
Tableau II.2 : Résultats Récapitulatif de l'analyse granulométrique	29
Tableau II.3 : Valeur de limites d'Atterberg de sable de dune et de fines calcaire	32
Tableau II.5: Valeurs de l'équivalent de sable ES	33
Tableau II.4 : Classification des sols en fonction de l'indice de plasticité	34
Tableau II.6 : Valeur de bleu de méthylène VB.	36
Tableau II.7: Classification des sols selon la valeur de bleu de méthylène	36
Tableau II.8: Caractéristiques de compactage du sable de dune et des fines calcaire	38
Tableau II.9: Caractéristiques de compactage pour quelques matériaux routiers	38
Tableau II.10 : Valeurs des indices CBR	39
Tableau II.11 : Résultats de l'analyse chimique sommaire.	42
Tableau II.12 : Caractéristiques géotechniques et mécaniques de sable de dune et fines calcaire d'oued Metlili.	43_44

LISTE DES SYMBOLES

ES : Equivalent de sable.

CBR: Californian Bearing *Ratio*

IP: Indice Portant Californien.

ICBRimb: Indice CBR imbibé

ICBRimed: Indice CBR immédiat

IP: Indice de plasticité.

LA : Coefficient Los Angeles.

OPM : Optimum Proctor modifié.

P : Contrainte moyenne $(\sigma_1 + 2\sigma_3) / 3$.

qmax : Charge maximale $(\sigma_{1\max} - \sigma_3)$.

Rc : Résistance à la compression simple.

VB : Valeur au bleu de méthylène.

ω : Teneur en eau exprimée en %.

ω_P : Limite de plasticité.

$\gamma_{d\max}$: Densité sèche optimale de l'essai Proctor modifié.

ε : Déformation axiale (%).

σ : Contrainte normale.

φ : Angle de frottement.

C : Terme de cohésion.

E : Module de Young.

ES : Equivalent de sable.

Es : Module sécant.

Introduction générale

Introduction générale

Introduction generale

La construction et les travaux publics sont le centre de gravité de l'économie nationale en termes de développement. Le réseau routier de l'Algérie dans le grand sud Algérien, joue un rôle socio-économique important pour le développement de la région. Il est constitué de plusieurs milliers de kilomètres de routes revêtues et non revêtues (des pistes), qui relient les principales agglomérations et centres de vie de cet immense désert à la fois hostile, féérique et riche.

Ces régions ont connu au cours des dernières années, une grande extension des infrastructures routières. Avec le développement socioéconomique, l'intensification de l'activité industrielle et le tourisme saharien, la politique actuelle du secteur des travaux publics, s'attèle, chaque année à réaliser des actions qui permettent la sauvegarde et la préservation du patrimoine routier existant, d'une part, et d'autre part à développer des projets structurants, qui visent à mettre en valeur de manière cohérente le territoire. Ceci a créé un grand besoin en matériaux de chaussées.

Les seuls matériaux qui étaient acceptés, au début, devaient répondre rigoureusement à certains critères géotechniques (granulométrie, dureté, propreté, qualité des fines,... etc.). Ces matériaux (dits nobles) sont rares, voire même inexistantes dans les régions sahariennes (Morsli, et al. 2000, 2002, daheur 2019), d'où le besoin de déplacement sur de longues distances, ce qui influe défavorablement sur le cout du projet. Innover en mettant à profit les particularités qu'offrent les zones Sahariennes (climat, matériaux locaux, faiblesse du trafic et portance du sol support qui est différent de celui des régions humides) ; et à chercher d'ouvrir très largement l'éventail des matériaux utilisés en corps de chaussées devient indispensable et peut compenser cette carence.

Les sables de dunes et les roches calcaires sont des matériaux très abondants dans le Sahara. Les sables de dunes couvrent environ 60 % du Sahara de l'Algérie (Fooks, Higginbothman, 1968). La région de Ghardaïa (600 km au sud d'Alger), est dotée d'un gisement important de sable de dune et des fines calcaire, et dans l'optique d'une valorisation de ces matériaux locaux s'oriente cette thèse.

L'objectif principale est d'améliorer le comportement mécanique de sable de dune par l'ajout d'un correcteur granulométrique "fines calcaire". Cette idée peut s'avérer intéressante, non seulement d'un point de vue économique mais également environnemental. Elle a pour but d'élargir la gamme des matériaux locaux qui se trouve en abondance et couvrent une superficie très importante du Sahara de l'Algérie afin aboutir au meilleur choix technicoéconomique d'un projet routier.

L'atteinte de ces objectifs a pour but de fabriquer un matériau (sable de dune + fines calcaire) pouvant être utilisé en couches d'assise des chaussées saharienne à moyen et/ou fort trafic.

Ce mémoire sera organisé comme la suite :

- ✓ La première partie est consacrée à l'étude bibliographique ou on présente des généralités sur les sables de dune et les fines calcaire, ainsi que leurs utilisations en technique routière.

Introduction générale

- ✓ La deuxième partie présente l'étude expérimentale qui s'est déroulée dans Laboratoire des Travaux Publics de Sud (LTPS). Elle comporte deux chapitres, l'étude d'identification géotechnique des matériaux de base. Et l'étude d'optimisation où nous présentons les effets de l'ajout des fines calcaire sur les caractéristiques géotechnique et performances mécanique de sable de dune.

Finalement, ce travail est clôturé par une conclusion générale qui regroupe les principaux résultats trouvés avec une proposition de recommandations qui nous semble utiles pour d'éventuelles recherches futures portant sur ce domaine.

Chapitre I
Généralités

I.1 Introduction

Dans le cadre de l'emploi des matériaux locaux dans le domaine routier, et pour assurer la bonne utilisation de ces matériaux, Nous présentons dans ce chapitre des généralités sur le sable de dune, leurs caractéristiques et leurs utilisations dans la technique de la route saharienne. Nous passerons également en revue l'origine des fines calcaires et ses utilisations dans la construction.

I.2 Les matériaux de basse :

Les matériaux approuvés dans cette étude :

1. Le sable de dune
2. Les fines calcaires

I.2.1 Sable de Dune (SD):

En général, sable est souvent utilisé pour désigner un mélange de particules libres. Pas de cohésion, sa granulométrie est généralement comprise entre. 0,062 et 5 mm. Le sable peut avoir des origines. Naturel ou artificiel ; d'origine naturelle, qui résulte de la décomposition naturelle des roches. Lors de leur érosion, artificielle, elle est obtenue en écrasant de gros rochers. La composition du sable varie d'un endroit à l'autre. Dépend de la nature de la roche. (Ben ouakhir, 2015)

I.2.1.1 Définition de sable de dune:

C'est un sable qu'est accumulés sous forme de dunes mouvantes de hauteurs variables, sont composés de particules siliceuses pratiquement de même taille avec petites dimensions, et différents minéraux, tels que la silice, les silicates, Les carbonates et les argiles (les silicates sont la famille la plus abondante dans la nature, représentant 90% en masse de l'écorce terrestre).

Disponible dans plusieurs régions du sud de l'Algérie et occupant 30% de la couverture du Sahara.

Les sables de dune ont pour origine la désagrégation des roches sous l'effet conjugué des chocs thermiques et de l'altération des sols constituant les lits d'oueds ou d'anciens fleuves. (Daheur, 2019)

I.2.1.2 Identification de sable de dune :

a) Granulométrie :

Le diamètre du plus grand élément des sables dunes du Sahara est d'environ $D_{max} = 0,5$ mm. C'est le plus grand sur le côté droit le plus proche de la roche-mère, et diminue progressivement Plus quand on en est loin. Les particules deviennent également de plus en plus rondes. L'élément le plus fin mesure environ 0,04 mm de diamètre.

Coefficient d'uniformité ($C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 1,8$), et le coefficient de courbure ($C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} = 10$). C'est donc un sable très fin mal calibré. (Mokhtari, 2019)

b) Forme des grains :

Gueddouda (Gueddouda, 2010) réalise l'essai de microscope électronique à balayage (MEB) sur un sable de dune de la région de Laghouat. Les auteurs montrent que le sable de dune présente des formes des grains arrondies avec une faible angularité (Figure I.1).

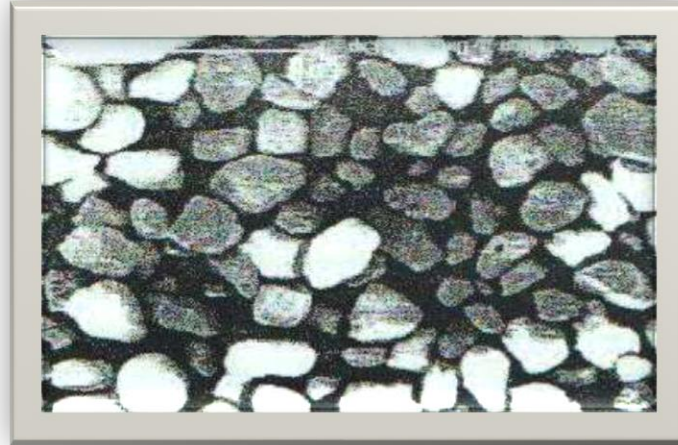


Figure I.1 : Vue générale (à grande échelle, MEB.) du sable de dune.

c) Propreté :

Les sables de dunes sont essentiellement du sable Silicium très propre.

Le sable des dunes ne contient pratiquement aucune trace d'argile. Il a une limite de teneur w_1 est de l'ordre de 25 et la limite de plasticité n'est pas mesurable. Vaut l'équivalent de le sable est supérieur à 60 %. Le bleu a une valeur d'environ 0,1.

d) éléments minéraux :

L'analyse par DRX du sable dunaire révèle la présence d'atomes Si et O₂ ce qui correspond à la présence de l'espèce SiO₂ (silice). De plus le pourcentage atomique important de Si nous indique que SiO₂ est l'espèce prépondérante. Les autres valeurs de pourcentages atomiques nous permettent d'établir que le sable dunaire contient aussi quelques traces, en comparaison avec SiO₂, d'espèces calciques et magnésiques les résultats sont présente dans le spectre. (Gueddouda, M.K; Abou-Bekr N; Taibi S; Lamara M. (2011)

La silice (quartz) : est un composé chimique (dioxyde de silicium) et un minéral de formule SiO₂.

La silice pure se présente sous la forme d'un minéral dur et existe sous des formes variées dans la nature:

- ✓ principal constituant des roches sédimentaires détritiques (sables, grès), elle représente 27% de la croûte terrestre.
- ✓ fréquente dans les roches métamorphiques.

- ✓ fréquente dans les roches magmatiques : quartz dans les roches magmatiques acides, cristallisé ou amorphe dans les roches volcaniques. Le silice se présente soit sous forme de cristaux non-moléculaires formés de motifs tétraédriques SiO_4 liés entre eux par les atomes d'oxygène de façon régulière, comme dans le quartz, soit sous forme amorphe, comme dans le verre. (Azzouz, 2009).

e) Caractéristiques physico-chimique :

Les tableaux I.1 et I.2 présentent les caractéristiques physico-chimiques de sable de dune réalisés par différents auteurs.

Tableau I.1 : Les pourcentages des éléments majeurs et mineurs (Zeghichi, Lahmadi et Benghazi, 2012)

Éléments	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	PAF
%	90.46	1.38	1.92	1.63	0.39	0.2	0.00	0.22	2.56

Plus de 90% de Silice (Quartz), de 1 à 2% de Calcaire et des traces de différents oxydes.

Tableau I.2 : Caractéristiques du sable de dune (Zeghichi, Lahmadi et Benghazi, 2012)

Propriétés	Valeur	Observation
Couleur	Les grains sont teintés de rouge	Une mince pellicule Ferriargileuse entoure les grains
Classe	0/5	Le sable est tamisé in situ
Module de finesse	0.84	Sable fin
Masse volumique apparente (kg/m^3)	1630	--
Masse volumique absolue (kg/m^3)	2600	--
Equivalent de sable ES (%)	80.37	Sable propre
Degré d'absorption (%)	1.78	--
Porosité (%)	42	--

f) intérêts de sable de dune:

Les avantages de l'utilisation de tels granulats sont présents à deux niveaux :

1. économique
2. technique

❖ Les aspects économiques:

- ✓ L'utilisation de sable dunaire permet dans une certaine mesure d'économiser sur le transport des matériaux (puisque'il est partout inépuisable.
- ✓ il est extrait à peu de frais supplémentaires.
- ✓ peut être facilement mélangé avec d'autres matériaux sur place. (Ben ouakhir, 2015)

❖ Les aspects techniques:

- ✓ Il peut être utilisé pour diminuer la plasticité des matériaux de base.
- ✓ Il peut contribuer à la densification des matériaux.
- ✓ amélioration de caractéristiques géotechniques des matériaux de base en augmentant le frottement interne et en améliorant la portance. (Ben ouakhir, 2015).

1.2.1.3 Carte de Présence du sable des dunes en Algérie:



Figure I.2: Répartition des sables de dune en Algérie.

Les sables de dune se trouvent comme matériau local dans la partie saharienne qui couvre plus de 80 % de la superficie de l'Algérie soit environ 2 millions de km² (40 % de montagnes désertiques, 15 % de plaines désertiques et 30 % de dunes de sable, le reste étant constitué de sebkhas, de chotts, etc). est constitué principalement de regs, d'ergs, d'oasis et de massif montagneux.

Cirque dunaire de Moul n'Aga, dans la Tadrart Rouge (Parc culturel du Tassili) au nord du Sahara algérien, les deux grands ergs, occidental et oriental, séparés par des plateaux rocheux telle que la région du Mزاب et bordés au sud par le plateau de Tademaït, constituent d'immenses mers de sable ponctuées d'oasis donnant parfois vie à d'importantes palmerais. Au sud-ouest, s'étendent les ergs Iguidi et Chech, immensité de dunes sableuses linéaires largement espacées les unes des autres.

I.2.1.4 Utilisation le sable de dune:

Le sable de dunes était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblayage des fouilles de fondations, granulats pour bétons et les travaux routiers ;

➤ Critères d'acceptabilité des sables pour leur emploi en construction :

Le choix des matériaux de construction de base, tels que les sables qui rentrent dans la confection des mélanges composés, doit être dicté par un certain nombre de considérations afin d'atteindre les objectifs recherchés (résistance, durabilité,...). Selon le rôle du sable, ces considérations sont plus ou moins sévères.

a) La granulométrie :

C'est la caractéristique la plus importante. Sa détermination est primordiale dans toute étude et quel que soit le domaine de la construction; c'est la caractéristique physique essentielle, puisque la notion de sable est basée sur le critère de taille des éléments. Toute étude de formulation cherche en premier lieu à augmenter la compacité.

NB : Les spécifications routières s'intéressent principalement à déterminer le fuseau granulométrique pour chaque emploi.

b) Le module de finesse :

Le module de finesse est déduit de l'étude granulométrique du sable; il représente le centième de la somme des refus sur les différents tamis de la série exprimé en pourcentage pondéral.

C'est un nombre, sensiblement égal à l'aire de la courbe de granulométrie en coordonnées semi-logarithmiques (les dimensions des tamis sont en progression géométrique).

c) La propreté :

La propreté est définie comme étant l'absence d'éléments fins ayant un diamètre inférieur à 80 μ m (limons et argiles). Ces éléments se trouvent dans les sables naturels, soit de la présence originelle des matériaux argileux, soit suite à une contamination par les matériaux organiques d'origine végétale ou biologique.

Dans le cas d'un sable artificiel, les fines sont le résultat du concassage; le mode de concassage détermine le pourcentage de ces fines, alors que la nature des roches constitutives détermine leur caractère plus ou moins nocif. Cependant, la présence des éléments fins peut jouer un rôle positif ; les éléments fins remplissent les vides entre les granulats et augmentent de ce fait la compacité et par conséquent conduisent à un meilleur comportement du matériau; leur excès provoque une réduction de la perméabilité et une augmentation de la capillarité, c'est pourquoi les sables pollués présentent une sensibilité à l'eau, une difficulté de mise en place, une stabilité médiocre et une résistance mécanique faible.

Afin de donner une indication sur la présence des fines et leur pourcentage on se réfère à l'essai normalisé équivalent de sable.

d) La dureté :

La résistance des matériaux de construction aux différents efforts destructifs est directement liée à la dureté.

La dureté du matériau lui procure une bonne résistance à la fragmentation, à l'attrition, à l'usure et au polissage sous des efforts statiques ou dynamiques.

Il est constaté que cette dureté est liée à la nature minéralogique du matériau; un sable d'origine calcaire est plus friable qu'un sable siliceux, les sables calcaires évoluent pendant le compactage ce qui entraîne la création d'éléments fins.

Notons aussi que les sables durs sont peu sensibles à l'eau, moins sensibles au gel ce qui est favorable à la résistance et à la durabilité du matériau. Afin d'apprécier cette dureté, on utilise l'essai de friabilité des sables.

e) L'angularité :

Caractéristique importante pour la stabilité du matériau, elle confère au sable un angle de frottement interne plus élevé, capable de résister aux différents déplacements. Les sables artificiels de concassage présentent des formes plus anguleuses, et par suite leur stabilité est améliorée, mais leur inconvénient majeur est que leur compactage est difficile, la raison pour laquelle ces sables présentent des densités nettement plus faibles que celles des sables roulés d'une même granulométrie ; Ils sont par conséquent plus maniabiles.

Le pourcentage d'éléments concassés est un critère d'importance pour les couches de roulement où le problème de glissance se pose.

f) La forme :

La longueur, la largeur et l'épaisseur du grain définissent sa bonne ou sa mauvaise forme. La forme des grains de sable est essentielle pour des propriétés telles que la compacité du mélange, l'angle de frottement interne, la maniabilité des mortiers, la résistance au broyage, à l'attrition ou à la fragmentation par écrasement. Cette forme bien que moins visible à l'oeil nu, a autant d'importance pour les sables de béton soit hydraulique soit hydrocarboné. Ce sont les grains de sable naturel ayant subi une attrition leur donnant une forme arrondie, qui présentent la meilleure forme au point de vue de la régularité du volume occupé par un poids donné, de résistance à la fragmentation, de la meilleure maniabilité dans les mortiers de ciment et la moindre tendance de ces derniers à la fissuration.

La nature de la roche d'origine influe beaucoup sur la forme des grains pour un mode de concassage donné dans le cas des sables artificiels.

g) L'aspect de surface :

Les grains à surface plus émoussée avec des arêtes vives sont plus favorables pour la stabilité du matériau, leur angle de frottement interne est élevé et l'adhésion du liant à de telles surfaces est meilleure.

Le mode de transport et la nature minéralogique des sables ont une influence sur l'aspect de surface des grains.

h) L'analyse chimique :

Elle concerne la détermination des proportions de matières organiques (sulfates, sulfures, chlorures et d'autres éléments chimiques) contenues dans les sables étudiés. Ces éléments présentent au-delà d'un certain seuil un caractère nuisible pour les propriétés des bétons ainsi réalisés.

A. utilisation de sable de dune en géotechnique routière:

L'utilisation des sables en techniques routières n'est pas nouvelle. A l'état brut, les sables de dunes n'ont pas des caractéristiques mécaniques satisfaisantes aussi bien pour les structures que pour la réalisation des différentes couches de chaussées, permettant ainsi de reprendre les sollicitations dues à la circulation. Ils sont pratiquement non compactables et leurs portances sont très faibles. L'utilisation du sable de dune seul ne peut être envisagée malgré la facilité qu'il présente au reprofilage, car sa stabilité de surface est souvent incertaine, ce qui augmente la résistance au roulement et provoque parfois des enlacements (Ben Dhia 1998, Ould Sid et al 1995) cité par Ben Dhia, 1998 a réalisé des essais de compactage puis de cisaillement direct sur le sable de dune. Les principaux résultats trouvés sont :

- ✓ L'effet de la teneur en eau sur le compactage est peu significatif quand la teneur en eau est faible (0 à 6 %) ;
- ✓ La cohésion à une valeur très faible ou presque négligeable, de l'ordre de 5 kPa ;
- ✓ L'angle de frottement interne varie de 30 à 35°.

L'indice portant CBR de ces sables est de l'ordre de 10 %. Ce qui a permis aux ingénieurs et les techniciens du domaine routier d'écarter toute possibilité d'utiliser ces sables seuls en corps de chaussée.

Le traitement des sables de dune devient indispensable dans la plupart des structures ; il a pour but d'améliorer leurs performances mécaniques en leur conférant des caractéristiques mécaniques et de stabilité suffisantes leur permettant de résister aux sollicitations imposées.

Plusieurs études de traitement des sables de dune aux liants hydrocarbonés ou hydrauliques ou mélangé avec d'autres granulats (Ben Dhia, 1998 ; Kettab, et al.2002 ; Nedjari, 2003 ; Kettab, 2007 ; Morsli, 2007 ; Ghrieb, et al. 2014 ; Cherrak, et al. 2015 ; Akacem, 2017) ont été réalisées.

Ben Dhia, (1998) dans une tentative de valorisation du sable de dune, a mélangé ce dernier, à différents taux, avec divers matériaux : grave naturelle, tuf calcaire, tuf gypseux et sol argileux et a conclu que l'incorporation du sable de dune améliore la portance des matériaux, le poids volumique

est aussi amélioré lorsque la teneur en sable augmente jusqu'à 30% et la plasticité diminue au profit d'une meilleure propreté.

➤ Routes chaussées générale :

Les chaussées « voie construite en chaux » se présentent comme des structures multicouches (figure I.3).son rôle est de répartir les charges mécaniques sur le sol support, quelles que soient les conditions environnantes. Surmonté généralement d'une couche de forme

Les différentes parties de chaussées étant à l'image d'Europe de bas en haut (Ben ouakhir,2015) :

- Une couche de fondation dont l'épaisseur était fonction du sol sous-jacent.
- Une couche de base d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur .
- Une couche de roulement aussi épaisse que les crédits le permettaient.

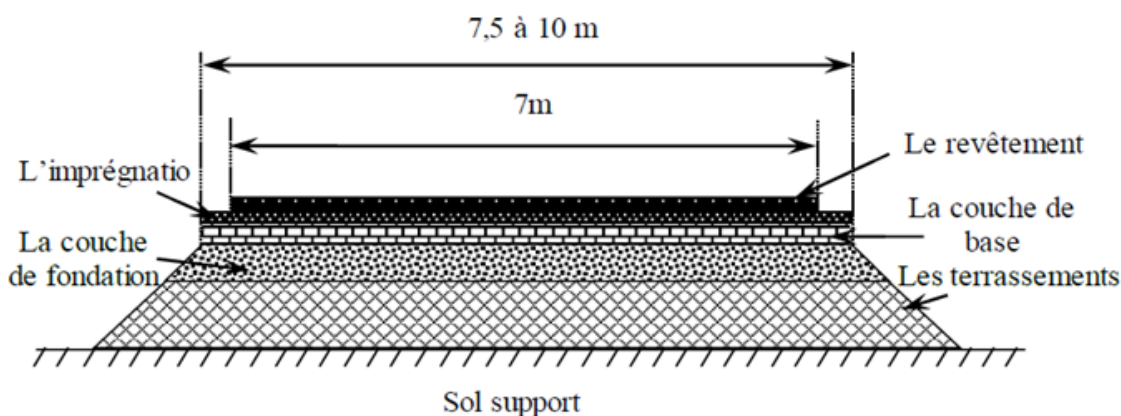


Figure I.3 : Profil type d'une chaussée et terminologie des différentes couches.

a) Le sol support :

Le mort-terrain du Sahara est presque entièrement composé de Quaternaire. Nous rencontrons principalement des roches, du gravier, du sable, du limon et l'argile (Ben Dhia, 1998).

Les sols du désert du Sahara ne rentrent pas facilement dans les classifications internationales, et il est difficile de fonder son

Classement descriptif précis. Sauf pour les dunes avec des indices

Relativement faibles (entre 7 et 15), les sols sahariens se caractérisent par Amélioration satisfaisante, l'indice CBR le plus courant se situe autour de 40 ; ce Parmi eux, si l'on applique la méthode de dimensionnement des chaussées par

Le tableau CBR donnera une structure forfaitaire minimale. En dehors de la zone en plongée, la teneur en eau souterraine est d'environ 5%, ce qui n'est pas propice à Aucune déformation plastique.

b) Critères de choix de matériaux pour couches de base et de fondation :

✓ couche de base, on distingue principalement deux types de matériaux :

matériaux qui doivent leur tenue à l'enclassement des différents éléments les uns dans les autres et à l'angle de frottement important au contact grain-grain , et matériaux qui doivent leur tenue à la cohésion relativement élevée apportée par leurs éléments fins (Ben Dhia, 1983).

❖ **Matériaux à angle de frottement élevé :**

Ils sont appelés également : « matériaux à ossatures ». Ce sont des matériaux analogues aux matériaux dits : « classiques », utilisés dans les régions humides, ceux dont les courbes granulométriques doivent s'inscrire à l'intérieur des fuseaux-types de matériaux d'assises routiers.

En zone humide, outre la granularité, ces matériaux doivent remplir toutes les conditions pour obtenir un angle de frottement élevé après compactage, notamment :

- ✓ Une résistance suffisante aux chocs et à l'attrition ;
- ✓ Des éléments de bonne forme : arrêtés vives, faces rugueuses ;
- ✓ Un pourcentage de fines juste suffisant pour un bon compactage, etc.

Un tel matériau est aussi bon au Sahara ; mais lorsqu'il s'agit de tout-venant naturel, qui remplit souvent les conditions de granularité et de résistance au choc, on se trouve presque toujours en présence de matériaux à grains plus ou moins arrondis et lisses.

C'est pour cette raison qu'au Sahara, on exige que les matériaux de ce type aient une certaine « cohésion ». C'est ainsi que par rapport à ceux utilisés dans les zones humides, le pourcentage de fines est plus élevé et la plasticité est plus forte.

En résumé, les conditions demandées aux matériaux à ossature au Sahara, sont les suivantes (Domec, 1980) :

- ✓ La courbe granulométrique doit s'inscrire dans le fuseau choisi ;
- ✓ Le coefficient Los Angeles doit être inférieur à 40 (ou à la rigueur être inférieur à 45) cette valeur du Los Angeles est liée aux conditions climatiques et à la classe du trafic ;
- ✓ L'indice de plasticité doit être supérieur à 6 (on admet jusqu'à 10 ou 12 dans le nord du Sahara) ;
- ✓ Une résistance à la compression simple de 10 à 15 bars serait souhaitable.

❖ **Matériaux à « cohésion » élevée :**

Ces matériaux peuvent être divisés en deux grands groupes :

- ✓ D'une part ceux qui tirent leur cohésion de l'affinité réciproque des éléments pulvérulents de calcaire ou de gypse ;
- ✓ D'autre part, ceux dont la cohésion est obtenue intégralement par l'agglomération des éléments argileux.

Cette cohésion peut être appréciée en laboratoire par l'essai de compression simple (Fenzy, 1966), effectué sur des éprouvettes compactées à la teneur en eau de l'OPM et séchées à l'étuve jusqu'à une teneur en eau voisine de zéro.

La résistance minimale exigée doit être obtenue pour une compacité de 97 à 98% de l'OPM (compacité demandée généralement sur chantier) en ce qui concerne la couche de base. Cependant, si le matériau est difficile à compacter, on peut se référer à une compacité de 95% de l'OPM. Cette résistance minimale avait d'abord été fixée empiriquement à 15, puis à 20 bars ; mais Fenzy recommande une résistance de 25 bars pour plus de sécurité (Fenzy, 1966).

Dans le cas de l'emploi des matériaux à fines argileuses dans le corps de chaussée, certains nombres de précautions doivent être pris, notamment en ce qui concerne la granularité.

Parmi ceux répondant au critère de la résistance à la compression simple, il est recommandé d'utiliser les matériaux graveleux ou grenus, ayant une bonne courbe granulométrique (étalée et concave) (Domec, 1980).

D'autre part, le pourcentage des fines (<0,08 mm) est limité à 30% pour les matériaux fins, afin de faciliter leur humidification (homogénéisation de la teneur en eau de compactage) et compactage.

Résumons les conditions exigées pour l'emploi en couche de base des matériaux cohérents (Domec, 1980) :

- ✓ Résistance à la compression simple supérieure à 25 bars (pour une compacité de 97 ou de 98% de l'OPM) ;
- ✓ Teneur en fines < 30% ;
- ✓ Bonne granularité (cette condition à moins d'importance pour les matériaux d'encroûtements).

❖ **Matériaux intermédiaires :**

Dans la nature, il y a clairement des matériaux intermédiaires qui ont une cohésion moyenne et un angle de friction moyen.

L'expérience a montré qu'il fallait se méfier de ces matériaux qui n'entrent pas nettement dans l'une des catégories indiquées ci-dessus, et bien étudier leur cas avant de les accepter dans la couche de base. Au niveau de la couche de fondation, la cohésion et la résistance aux chocs ont un peu moins d'importance. Les matériaux recherchés sont peu plastiques et susceptibles de bien se comporter (critères de granularité et pourcentage des fines) (Domec, 1980).

Les matériaux utilisés pour la couche de fondation sont :

- ✓ Soit les mêmes matériaux choisis en couche de base, lorsque les gisements correspondants sont d'importance suffisante ;
- ✓ Soit des matériaux qui tout en ne convenant pas à la couche de base, présentent des qualités suffisantes pour la couche de fondation.

➤ **Routes au Sahara :**

❖ **Technique Routière Saharienne:**

En Algérie, la Technique Routière Saharienne (TRS), a fait l'objet d'un certain nombre d'articles de synthèse et de proposition de spécifications (Inal, 1980 ; Struillou, et Alloul, 1984 ; Boulairek, 1989 ; Larabi 1998 ; Morsli et al. 2001). Les ingénieurs ont cherché à tenir compte les particularités qu'offre le Sahara par L'immensité des territoires, dont la superficie totale avoisine 1 500 000 km², et Les très longues distances de parcours qui relient les agglomérations et centres de vie (énormes investissements que nécessite la construction des milliers de km), et aride prédominant, les périodes humides étant courtes, l'imbibition de la chaussée n'est pas à craindre car trop improbable. Les très faibles trafics automobiles recensés sur le réseau qui est composé essentiellement de camions gros-porteur.

Les premières routes sahariennes commencées vers 1955 (routes Ghardaïa – EL Goléa et Ghardaïa-Ouargla), ont été étudiées en adoptant les bases de la technique routière européenne. Et établir une propre spécification nommé la Technique Routière Saharienne (TRS)

(Établie en 1965, lors du 1er congrès de la route déroulé à Beni-Abbés).

Les matériaux utilisés avaient la granulométrie la plus étalée possible et contenaient peu ou pas d'argile. Le matériau de base utilisé était le caillou dur, ramassé dans le reg. (Daheur, 2019)

- Cette technique n'est donc applicable que :
 - ✓ Sous un climat très sec : La sécheresse ouvre beaucoup l'éventail des matériaux utilisables surtout en couche de base car en l'absence d'eau, la résistance des matériaux est obtenue soit par frottement entre grains, soit par cohésion. Parmi ces matériaux les tufs d'encrouement (ces matériaux présentent une cohésion notable après compactage et séchage).
 - ✓ Pour un trafic prévisible relativement faible.

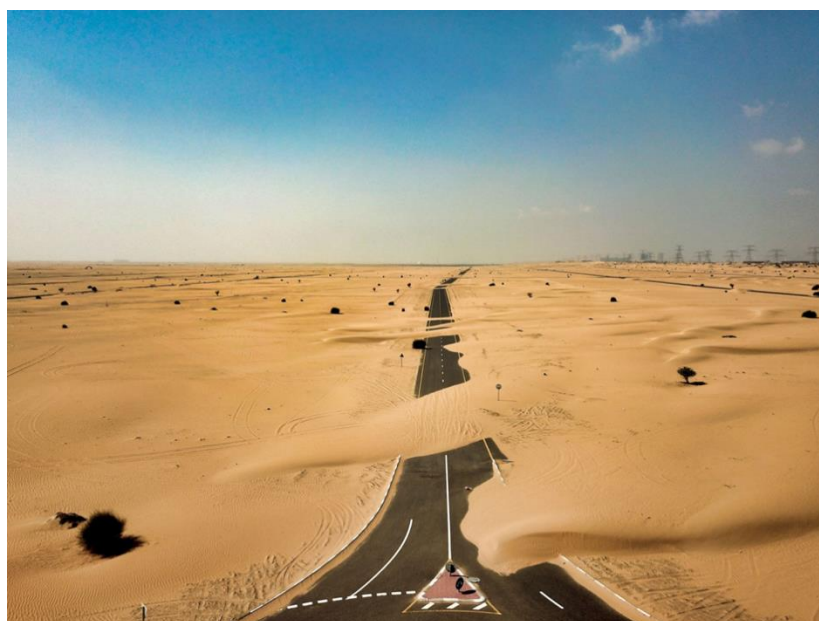


Figure I.4: Routière Saharienne.

❖ Principes de la technique routière Saharienne :

En 1984, sur la base des principes de la TRS, Struillou et Alloul (Struillou, et Alloul, 1984) ont proposé des spécifications définissant avec plus de précision les domaines d'application de chaque catégorie de tuf, les seuils à fixer en fonction du niveau d'utilisation du matériau et de la zone d'implantation de la route et du trafic. Les exigences portent sur la granulométrie, la dureté (coefficient Los Angeles), l'indice de plasticité, la portance (indice CBR) et le pourcentage des sulfates et des carbonates.

Doit être Les idées de base de cette technique, d'après Fenzy, comme suivantes :

- ✓ les déflexions sous les pneus doivent être entièrement réversibles et ne pas laisser de trace de déformation permanente (A cause de faible trafic qui est composé essentiellement de camions gros-porteur, les déflexions sous les pneus peuvent être grandes).
- ✓ La forme et l'état de la surface doivent faciliter l'écoulement des eaux pluviales afin de réduire les risques d'imbibition.
- ✓ Le problème des chotts et cuvettes doit être dissocié de la technique saharienne et considéré comme une exception.

Les conséquences pratiques des idées générales sont :

- ✓ La couche de roulement doit être suffisamment souple pour se plier sans se rompre.
- ✓ Le matériau de la couche de base doit pouvoir supporter des déformations élastiques sans dommage, qui peuvent être relativement importantes à la seule condition qu'elles soient entièrement réversibles. Cette condition, la seule imposée est beaucoup moins rigoureuse que la précédente et permet d'utiliser de nombreux types de matériaux.
- ✓ Le climat sec et la faible intensité du trafic favorisent l'utilisation des matériaux locaux même s'ils sont sensibles à l'eau, utilisation proscrite dans les régions humides notamment en couche de base.
- ✓ L'épaisseur de la couche de base peut être faible, car le sol support étant sec et possède un indice CBR immédiat généralement supérieur à 20.
- ✓ L'utilisation des matériaux fins sensibles à l'eau en couche de base exige un bon écoulement des eaux de pluies. (Daheur, 2019)

❖ Domaine d'application :

Cette technique, a permis d'établir un fuseau discriminant propre à ces matériaux : le fuseau dit « Saharien » ou « fuseau de Beni Abbés » (Figure I.5), qui est une adaptation locale du fuseau de référence AASHO. Le fuseau permet de partager l'espace granulométrique en trois zones, définissant ainsi trois familles de matériaux :

Famille I : matériaux dont la courbe granulométrique se trouve entièrement ou partiellement au-dessous du fuseau (zone I du graphique). Ce sont des matériaux à ossature à forte teneur en vide

(ballast). L'emploi des matériaux de cette famille, en assise de chaussée, est envisageable, mais chaque cas doit être étudié en fonction des risques de ségrégation et de compactage, parfois la réalisation de planches d'essai est nécessaire avant de se prononcer.

Famille II : Les matériaux de cette famille présentent une courbe granulométrique qui s'inscrit entièrement dans le fuseau (zone II du graphique) ; ce sont les matériaux à ossature. On leur appliquera les critères relatifs aux matériaux à angle de frottement élevé.

Famille III : matériaux dont la courbe granulométrique se trouve au-dessus du fuseau, entièrement ou partiellement (zone III du graphique). Matériaux fins, le squelette est inexistant ou noyé dans les éléments fins. On appliquera les critères relatifs aux « matériaux à cohésion élevée ».

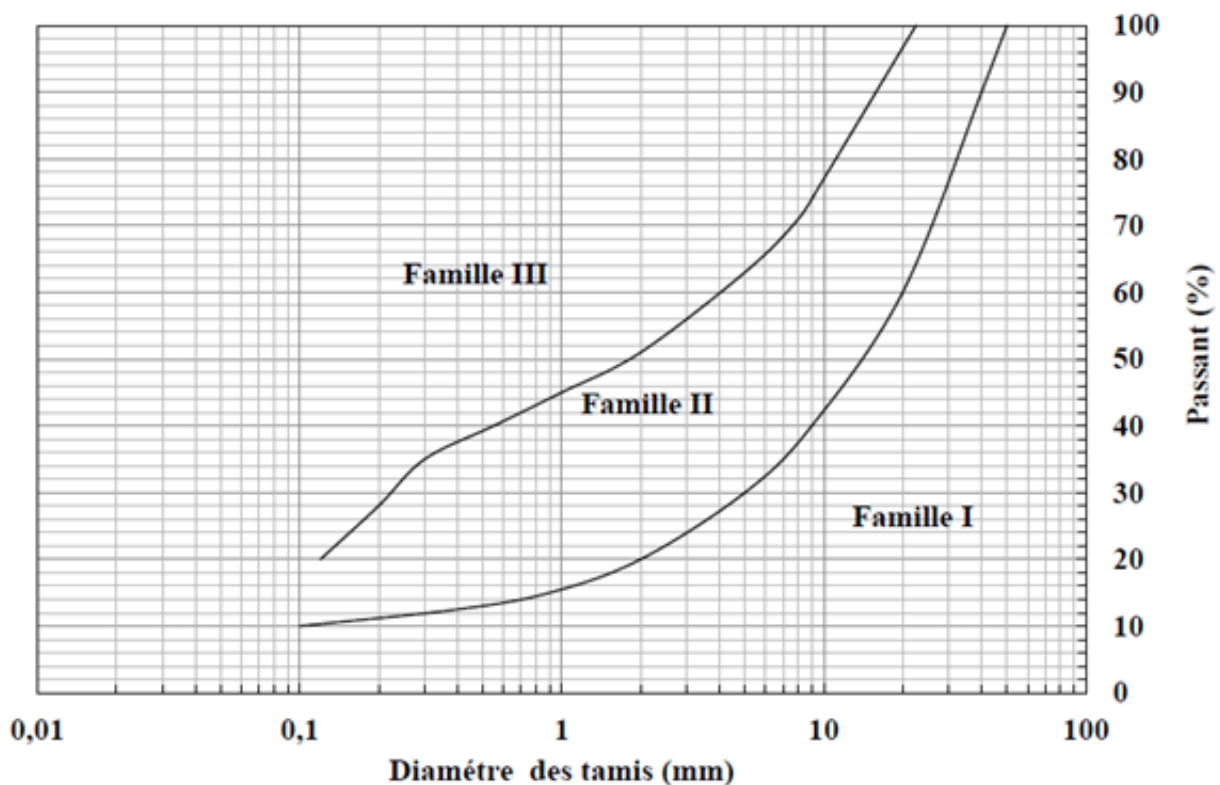


Figure I.5 : Fuseau de spécification de la technique routière saharienne (Fenzy, 1966).

Cette technique n'est donc applicable que :

- ✓ Sous un climat très sec (moyenne annuelle des pluies < 100 mm) et dans les conditions telles que les risques d'imbibition des sols sous chaussées soient très réduits ;
- ✓ Pour un trafic prévisible relativement faible.
- ❖ **Mode de construction des routes au Sahara :**

Le principe d'une assise unique est souvent retenu ; son épaisseur varie entre 15 cm et 30 cm. Elle est réalisée, à chaque fois que c'est possible avec un matériau identique soumis à des normes strictes découlant de la TRS. Lorsque les matériaux performants ne sont pas disponibles en quantité

suffisante, les 10 cm inférieurs jouant le rôle de couche de fondation, sont alors réalisés avec un matériau ayant des caractéristiques moins bonnes.

a) Terrassements :

Les routes en zones désertiques sont souvent réalisées en remblai à faible hauteur, cette disposition facilite le drainage et modifie favorablement la teneur en eau d'équilibre sous chaussée, les déblais sont à éviter car ils favorisent l'ensablement des chaussées. Pour les remblais, on se contente le plus souvent des matériaux se trouvant à proximité du tracé, en évitant les matériaux pulvérulents et le sable de dune. Toutefois, lorsque le sable de dune est pratiquement le seul matériau disponible, le sable peut constituer le corps du remblai, mais sa mise en œuvre pose des problèmes particuliers : faible portance du sable, sa fluidité et difficulté d'épandage des matériaux d'assise de chaussée (Morsli, et al 2001 ; Abdelghani, 1980).

Les couches supérieures des terrassements sont compactées à sec de manière à atteindre des densités de l'ordre de 90% de l'OPM (Ameraoui, 2002).

Un choix judicieux des matériaux du remblai permet de réduire le corps de chaussée d'une simple couche de base d'environ 15cm (Boularak, 1989).

b) Couche de fondation :

Cette couche est mise en place sur les terrassements terminés. Elle est exécutée sur toute la largeur de la plate-forme et à compacter avec humidification.

c) Couche de base :

La couche de base est également exécutée sur toute la plate-forme et compactée avec humidification. Lorsqu'elle est terminée, elle a une largeur de 7,50 à 10,50 m suivant les projets, avec des élargissements sur certaines sections (passages submersibles, remblais de grandes hauteurs, etc.) (Domec, 1980). Les matériaux utilisés en couche de base appartiennent soit à la famille I (matériaux à ossature), soit à la famille III (matériaux fins) (Morsli, 2002).

Pour les matériaux fins il est demandé que leur résistance à la compression simple doive être au moins de 25 bars sur des éprouvettes confectionnées sous les conditions suivantes :

- ✓ Compactage à la teneur en eau optimum Proctor Modifié ;
- ✓ Une compacité de 97% à 98% de l'OPM ;
- ✓ Séchage à une température de 60° maximum jusqu'à ce que la teneur en eau soit voisine de zéro (48h d'étuvage en générale).

d) Couche de roulement :

- ✓ Imprégnation

Préalablement à la réalisation d'une couche de roulement, les matériaux d'encroûtements notamment, doivent recevoir une couche d'imprégnation bitumineuse dont l'utilité est triple :

- Assurer l'accrochage de la couche de roulement sur un matériau souvent très fermé en surface ;
- Servir éventuellement de couche de roulement provisoire ;
- Protéger la couche de base des précipitations.

✓ Revêtement

Actuellement le revêtement est réalisé sur une largeur de 7 m avec des élargissements sur certaines sections, car les anciennes routes revêtues sur une largeur moindre ont connu des dégradations prématurées, par les accotements, malgré le faible trafic.

La couche de roulement sera constituée, Selon l'intensité du trafic, soit par un enduit superficiel, soit un enrobé à froid, soit un enrobé à chaud. Toutefois, l'enrobé à froid est le plus souvent utilisé.

❖ **Le trafic du Routière Saharienne :**

Le trafic saharien circulant annuellement est faible, Qu'elle est essentiellement composé de camions gros porteurs sont pour très lourds. Souvent en surcharge. En effet, ils imposent une chaussée qui accepte, sans désordre, des déformations élastiques très élevées. Les déflexions sous les pneus peuvent être grandes mais doivent être entièrement réversibles et ne doivent pas laisser de trace de déformation permanente. Les phénomènes de fatigue doivent apparaître lentement. La solution qui consiste à adopter des chaussées peu déformables est très onéreuse, étant donné l'importance des charges, et ne sera justifiée économiquement.

❖ **Contexte climatique Saharienne:**

Le climat, de type saharien, se caractérise par des étés aux chaleurs torrides et des hivers doux surtout pendant la journée. Il est marqué par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, à l'été et l'hiver. La période chaude commence au mois de mai et dure jusqu'au mois de septembre

B. Diverses utilisations du sable de dune :

Parce que les sables des dunes à de multiples utilisations, c'est une ressource très importante du point de vue économique: remblais, granulats pour bétons, matériaux de construction, sables siliceux pour l'industrie. Ces derniers (appelés autrefois sables industriels) constituent l'essentiel de la matière première de l'industrie du verre, des moules, des noyaux de fonderie; ils entrent aussi dans la fabrication des céramiques et des mortiers spéciaux.

Les placers d'ilménite existant dans les sable des dunes ou sables noire (placers où s'accumulent les minéraux lourds alluvionnaires), sont importants économiquement pour la fabrication des pigments de la peinture blanche (gisements côtiers en Australie) et comme source du titane métal.

Il importe que l'exploitation du sable, souvent anarchique, soit réglementée

Les sables jouent également un grand rôle comme réservoirs potentiels pour les nappes d'eau (aquifères) ou les hydrocarbures pour éviter de perturber de fragiles équilibres naturels: érosion des

plages dont l'alimentation naturelle en sable a été coupée; destruction à terre de la nappe phréatique, etc. (Ben ouakhir, 2015)

I.2.1.5 Les Améliorations sable de dune Pour la construction de routes:

L'utilisation des sables en techniques routières n'est pas nouvelle. Beaucoup d'études et des réalisations ont été faites par les ingénieurs avaient recours à :

- ✓ utilisation du sable mélangé à un liant hydrocarboné en particulier pour les couches de roulement. (Ben Dhia, 1998).
- ✓ utilisation d'un mélange Tuf-Sable de dune en technique routière. (Daheur, 2019)
- ✓ utilisation sable de dune + marne
- ✓ utilisation sable de dune + chaux
- ✓ utilisation sable de dune + bitume

I.2.2 Fines calcaires (FC) :

L'origine des fines calcaires remonte aux de roches sédimentaires, non homogène, Poreuses et facilement solubles dans l'eau.

Ils sont formés principalement de carbonate de calcium (CaCO_3), a été trouvé dans des séquences sédimentaires vieilles de 2,7 milliards d'années (Blat, Middleton et Murray 1980), et sont dus à des formations géologiques diverses telles que les récifs coralliens, les grottes et les falaises.

La couleur des roches sédimentaires est généralement blanche grâce aux cristaux de calcite, ce qui témoigne de leur pureté, et lorsqu'il y a des impuretés pourcentage allant de 10 à 50 telles que le limon, le sable et les impuretés minérales telles que l'aragonite et l'oxyde de fer, elles peuvent être rouges ou jaunes ou marron ou même noir (Jean-Noël,2006).

I.2.2.1 Concassage mécanique du calcaire :

Sont des matériaux durs qui ne peuvent être fragmentés qu'aux prix de gros efforts mécaniques. La résistance à l'écrasement est conditionnée par la densité du matériau, elle consiste à mesurer la charge de compression nécessaire à provoquer la déformation, la fracturation, l'éclatement ou l'écroulement d'un échantillon (rupture par compression 50-60 MPa).

I.2.2.2 Utilisation du calcaire dans la construction:

- ✓ Les entrepreneurs préfèrent utiliser le calcaire dans la construction pour fournir un revêtement de sol et de mur durable en granit et en marbre.(matériau en sculpture)
- ✓ Utilisé comme revêtement résistant aux intempéries et aux températures élevées, également utilisé comme couche de couverture. (Granules de toiture)
- ✓ Comme matériau d'empierrement de la voirie: macadam, graves calcaires, ballast, d'un usage très fréquent.
- ✓ En tant que première composante du ciment portland et de la chaux.
- ✓ Comme sable et granulat dans la fabrication des bétons, plus rarement dans les enrobés bitumineux, pour les calcaires les plus durs.

I.2.2.3 Diverses utilisations du calcaire :

- ✓ La poudre de calcaire est utilisée dans les peintures, les détergents, le papier et les tapis.
- ✓ Le calcaire est ajouté à l'eau pour en éliminer les impuretés et les contaminants, et parce qu'il se compose principalement de carbonate de calcium de base, il est utilisé pour neutraliser l'acidité dans les déchets industriels, les eaux de surface.
- ✓ Le calcaire est utilisé dans la production de plastique et de caoutchouc, comme un matériau non réactif, il est le meilleur dans l'industrie
- ✓ Le calcaire est aussi utilisé dans la fabrication du verre et abrasifs ou amendements pour le sol.

I.3 Conclusion :

Le sable de dune, qui représente une réserve inépuisable dans le Sud Algérien, un sable dont 50% des grains, ont un diamètre compris entre 0.125 et 0.315 mm, un module de finesse ne dépassant pas 1,6.

Les fines calcaire, est couramment utilisé dans les travaux de construction en Algérie,

Le contexte du Sahara Algérien (climatique notamment) ouvre largement la gamme des matériaux utilisable en technique routière saharienne (calcaires, gypseux et mixtes).

Nous sommes encouragés à chercher et à leurs identifier géotechnique dans le chapitre suivant.

Chapitre II
Etude d'identification
géotechnique

II.1 introduction

Pour réaliser tout projet dans le domaine de la construction, Le sol désiré devrait être analysé, étudié et classé en laboratoires par des expériences géotechniques appliquées à des échantillons de ce sol, ainsi que des essais au site.

Ce chapitre est consacré à l'étude d'identification géotechnique des matériaux de base (sable de dune et le fines calcaire) à l'aide des essais géotechniques conventionnels réalisés au Laboratoire des Travaux Publics de Sud (LTPS).

L'objectif est :

- ✓ Comparaison les résultats des essais avec les seuils préconisés par des spécifications et des normes retenues pour leurs emplois en corps de chaussée.
- ✓ L'identification géotechnique telle qu'elle est pratiquée actuellement dans les laboratoires.
- ✓ Classer ces matériaux selon certaines propriétés et caractéristiques.

II.2 La Présentation

II.2.1 Présentation de la Wilaya de Ghardaïa :

Elle est considérée comme l'une des wilayas les plus importantes du pays, tant par sa situation géographique Géographie et stratégie, sa superficie totale est estimée à 21224,03 km².

Le territoire de Ghardaïa est situé au centre de l'Algérie dans le Nord du Sahara algérien, à 600 km au sud d'Alger, à 190 km au sud de Laghouat, à 270 km d'El Menia et à 190 km à l'ouest de Ouargla à 45 km la région de Metlili. Et est traversée par la route nationale N° 1 reliant la capitale algérienne à la Grande Sud.

II.2.1.1 Contexte climatique de la Wilaya de Ghardaïa :

Le climat de la wilaya de Ghardaïa de type saharien, se caractérise par des étés aux chaleurs torrides et des hivers doux surtout pendant la journée. Il est marqué par une grande amplitude entre les températures de jour et de nuit, à l'été et l'hiver. La période chaude commence au mois de mai et dure jusqu'au mois de septembre. La fréquence des vents est élevée tout au long de l'année, en particulier les vents extrêmement rapides Plus de 5 m/s provoqueront des tempêtes de sable.

Pour avoir une idée sur la climatologie de Ghardaïa, on va présenter quelques éléments climatologiques de l'année 2021 sur le tableau II.1.

Tableau II.1 : Climatologie de Ghardaïa(2021).

Mois	°Tmin (°c)	°Tmax (°c)	MM°t (°c)	Qt.rr (mm)	Evap (mm)	Inso (heures)	MMU (%)
Jan	28	219	123	1.8	80	250	49
Fév	44	264	144	12.4	112	245	38
Mars	70	274	158	0.2	172	266	33
Avril	96	384	227	0	232	329	22
Mai	148	415	268	14.6	308	339	24
Juin	158	440	301	7.3	323	340	22
Juill	244	460	355	1	417	306	13
Aout	253	466	356	0.3	361	321	17
Sept	197	428	314	2.9	296	247	26
Oct	140	380	244	0.1	232	292	28
Nov	85	286	175	4.3	131	223	43
Déc	33	201	114	1.9	87	246	51

°Tmin : température minimale ; °Tmax : température maximale ; MM°t : moyenne mensuelle des températures ; MMU : moyenne mensuelle de l'humidité ; Moy vent : moyen mensuelle de la vitesse du vent ; Qt. Rr : hauteur de pluie ;

II.2.1.2 Etat du Réseau Routier de la Wilaya de Ghardaïa :

La wilaya est située sur la route nationale n°1 (RN 1) est constitué un relai sur le grand axe méridien Alger/Laghouat/Ghardaïa/Tamanrasset, et le centre de gravité du territoire nord saharien, au point de rencontre des deux grandes « boucles » sahariennes.

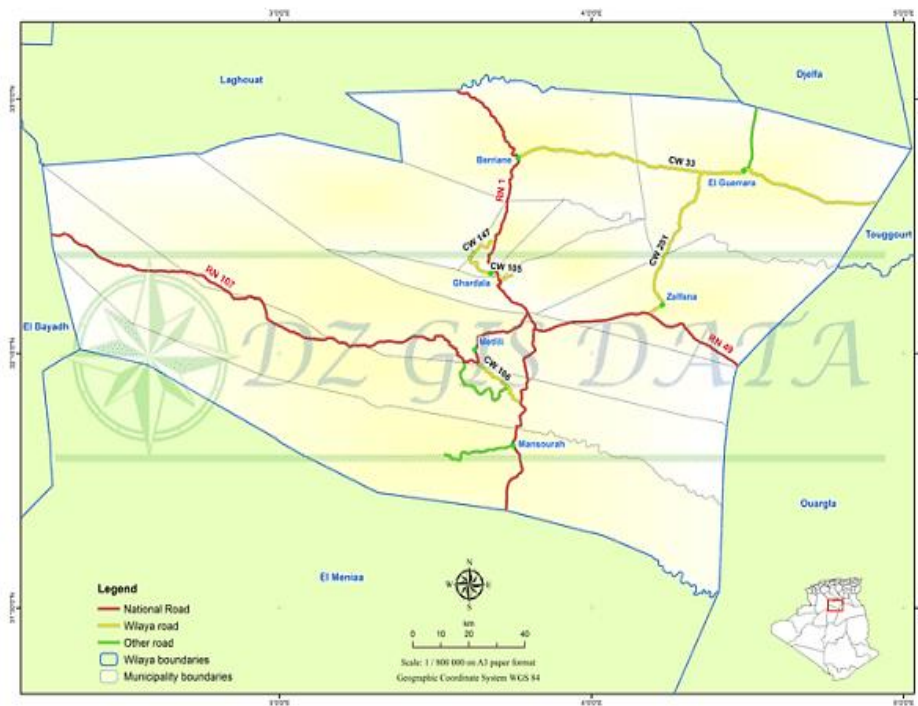


Figure II.1 : Réseau Routier de la Wilaya de Ghardaïa.

II.2.2 Présentation et Localisation du site prélèvement des échantillons :

Deux matériaux à caractéristiques différentes ont été choisis. Le premier est le sable de dune et le second c'est le sable de calcaire (figure II.2).

Les deux sables proviennent d'oued Metlili (35 km au Sud -est de la wilaya de Ghardaïa).

Sable de dune (SD) : C'est un matériau local poreux, composé des grains discret de diamètre uniforme et de forme arrondis. (Photo II.1)

Fines calcaires (FC) : De couleur blanche, pur, composés des particules fines sont dus à des formations géologiques diverses. (Photo II.1)



Photo II.1: sable de dune et fines calcaire.

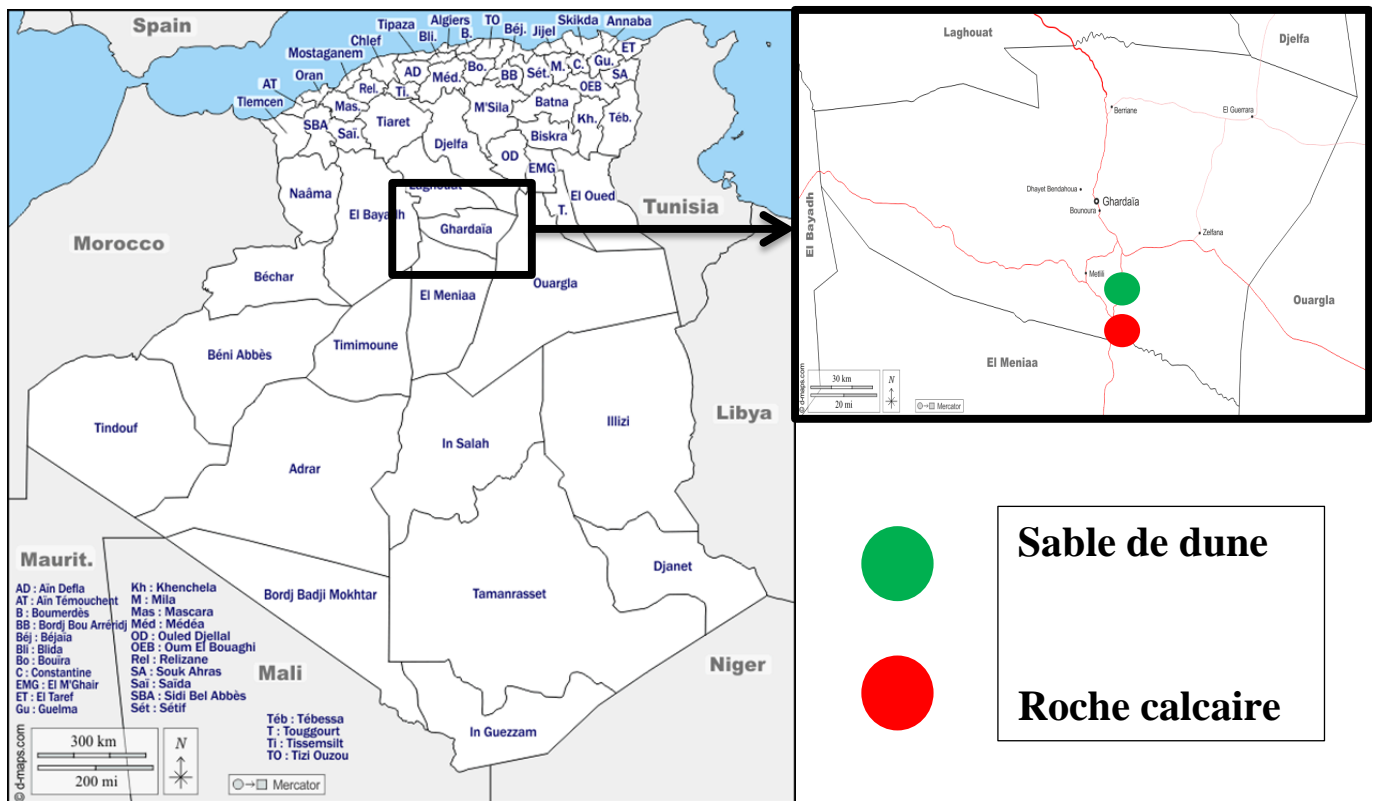


Figure II.2 : Localisation des matériaux de bases.

II.3 L'étude d'identification géotechnique des matériaux de base :

Avant d'étudier les matériaux de base, on a touché des étapes pour obtenir de les fines calcaire :

Après avoir extrait un ensemble de grosses pierres de calcaire de la source (la roche-mère), nous sommes passés par les étapes mentionnées comme venant :

1. Les pierres ont été fissurées manuellement par un marteau.
2. Réduire le volume des pierres par l'utilisation du Broyeur.
3. Criblage ce que nous avons obtenu par le tamis 0,5 mm.

La figure II.2 montre les différentes étapes :

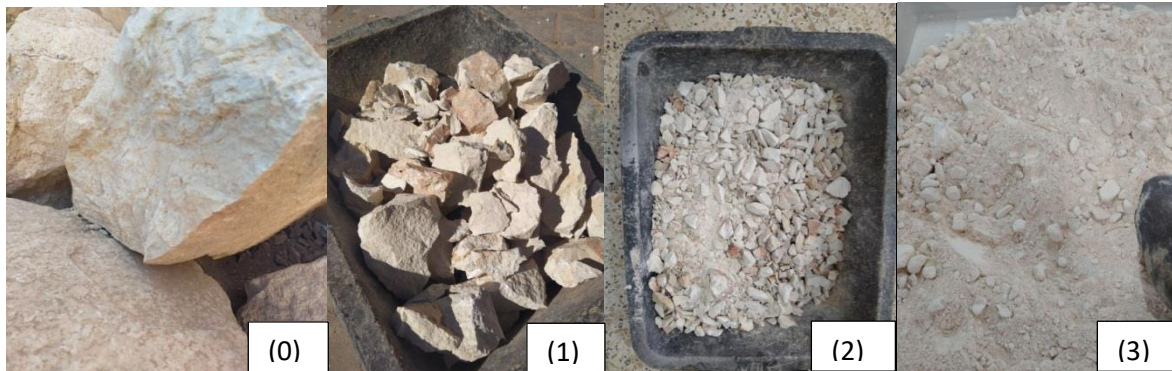


Photo II.2 : Étapes pour obtenir de la poudre calcaire

II.3.1 Les caractérisations des matériaux de base :

Le programme expérimental consiste à effectuer une série d'essais réalisés selon des modes opératoires établis par la norme française avec néanmoins certaines modifications.

Il comprend les analyses et les essais suivants :

- ✓ Analyses granulométriques (sable de dune et fines calcaires).
- ✓ Les limites d'Atterberg (sable de dune et fines calcaires).
- ✓ L'équivalent de sable (sable de dune).
- ✓ Essais au bleu de méthylène (sable de dune et fines calcaires).
- ✓ Essais de Proctor (sable de dune et fines calcaires).
- ✓ Résistance à la compression simple (fines calcaires).
- ✓ Résistance à la traction (fines calcaires).
- ✓ Analyses chimiques (sable de dune et fines calcaires).

II.3.1 Analyse granulométrique :

La granulométrie est la caractéristique la plus importante (caractéristique physique), pour l'identification des matériaux puisqu'elle permet de déterminer la répartition des grains suivant leur grosseur (Graviers, Sables, Limons, Argiles). Sa détermination est primordiale dans toute étude et quel que soit le domaine de la construction.

Elle comprend deux opérations :

1. Granulométrie par tamisage pour les grains de diamètre supérieur à 80μ .
2. Granulométrie par sédimentométrie pour les grains plus fins.

II.3.1.1 Analyse granulométrique par tamisage :

L'essai consiste à déterminer la distribution dimensionnelle en poids des particules de dimension supérieur ou égale à 80μ . Il consiste à fractionner, au moyen d'une série de tamis, un matériau en plusieurs classes granulaires de tailles décroissantes. Les dimensions de mailles et le nombre de tamis sont choisis en fonction de la nature de l'échantillon et de la précision projetée.

Les masses des différents refus (ou, par soustraction, celles des différents tamisats) sont rapportées à la masse initiale de matériau. Les pourcentages, ainsi obtenus, sont exploités soit sous leur forme numérique, soit sous une forme graphique.

Nous avons effectué cette analyse selon la norme (NFP 94-056). Cet essai est réalisé par voie sec pour le sable de dune et par voie humide pour les fines calcaires. Les étapes de l'essai sont les suivant :

1. Commencer par dresser la colonne des tamis. (Les ouvertures des tamis doivent être croissantes de bas en haut) (Photo II-3).
2. Versement du sol dans la série des tamis.
3. Vibration manuelle des tamis (chaque tamis refuse le sol dont le diamètre est supérieur des ouvertures).
4. Peser la quantité du sol refusée pour chaque tamis.
5. Restriction des résultats et tracé de la courbe.

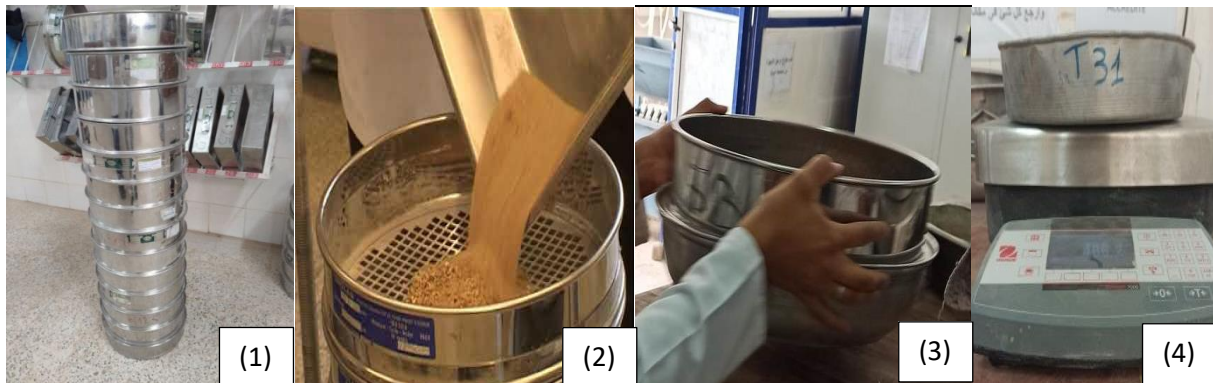


Photo II.3 : Tamis à maille circulaire.

II.3.1.2 Analyse granulométrique par sédimentométrie :

La sédimentométrie (éléments inférieurs à 80μ) est basé sur la loi de Stokes qui donne la vitesse limite d'une particule tombant sous l'action de la pesanteur dans un liquide visqueux. L'essai est réalisé selon la norme NFP 94-057, où il n'est pas possible d'utiliser des tamis.

Nous n'avons pas réalisé cette analyse pour le sable de dune étant donné que le pourcentage des éléments inférieurs à 80μ est très faible.



Photo II.4 : Analyse granulométrique par sédimentométrie (fines calcaire).

La figure II.3 présente les courbes granulométriques de nos échantillons. Les paramètres les plus significatifs tirés de cette analyse, ainsi les seuils préconisés par les spécifications de la technique routière saharienne TRS (Fenzy, 1966), catalogue de dimensionnement des chaussées neuves (CTTP, 2001) et le guide technique routière GTR (GTR, 1992), sont regroupés dans Le tableau II.2.

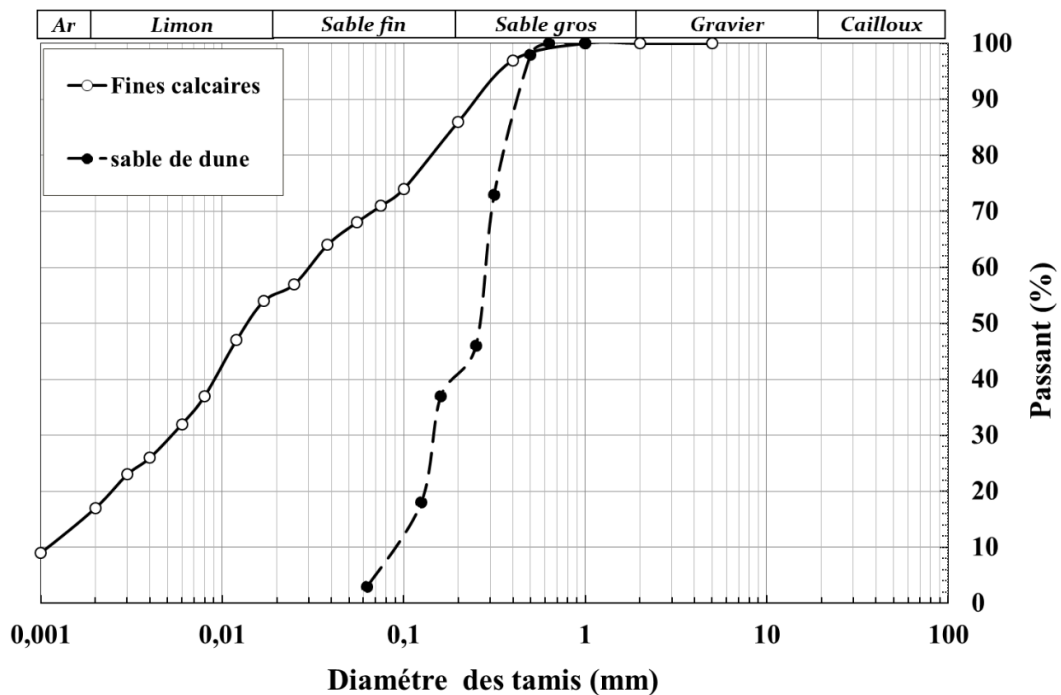


Figure II.3 : Courbes granulométriques de sable de dune et des fines calcaire.

Tableau II.2 : Résultats Récapitulatif de l'analyse granulométrique

	Matériaux		Spécifications		
	Fines calcaire	Sable de dune	TRS*	CTTP*	GTR*
D_{max} (mm)	1	1	-	20-40	<50
Argile (%)	17	-			
Limon (%)	37	-			
Sable fin (%)	31	42			
Sable gros (%)	14	58			
Gravier (%)	-	-			
Cailloux (%)	-	-			
% < 0.425mm	98	90		36-52	
% < 80µm	72	8	< 30	22-32	≤ 35
D₁₀	0.0016	0.09			
D₃₀	0.005	0.15			
D₆₀	0.03	0.28			
C_u	18.75	3.22			
C_c	0.52	0.89			

Cu : coefficient d'uniformité dit de Hazzen. $Cu = D_{60}/D_{10}$

Cc : coefficient de courbure. $Cc = (D_{30})^2/D_{60}.D_{10}$

D'après ces résultats, on constate que :

Le sable de dune : possède une courbe granulométrique uniforme sériée ($Cu = 3.22$), avec un taux des fines (< 80µm) inférieurs à 10%.

Les fines calcaires : a une courbe granulométrique étalée ($Cu = 19$), avec un taux de sable (< 2 mm) de l'ordre de 45% et une fraction élevée de fines (< 80µm) de l'ordre de 72%.

II.3.2 Qualité des fines :

Ce sont surtout les fines argileuses qui posent des problèmes pour les matériaux routiers. Leur influence est généralement caractérisée par les essais au laboratoire tels que :

- ✓ Les limites d'Atterberg ;
- ✓ L'équivalent de sable ;
- ✓ L'essai du bleu de méthylène (essai de la tâche).

II.3.2.1 Les limites d'Atterberg (NFP 94-051):

Les limites d'Atterberg sont des essais se fait uniquement sur les éléments fins du sol (inférieure à 0,4 mm), et il consiste à faire varier la teneur en eau de l'élément en observant sa consistance, ce qui permet de faire une classification du sol.

L'essai a pour objectif de définir des indicateurs qualifiant la plasticité d'un sol, et plus précisément de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement. Ces valeurs de teneurs en eau permettent de caractériser également les différents états des sols (l'état liquide, l'état plastique et l'état solide)

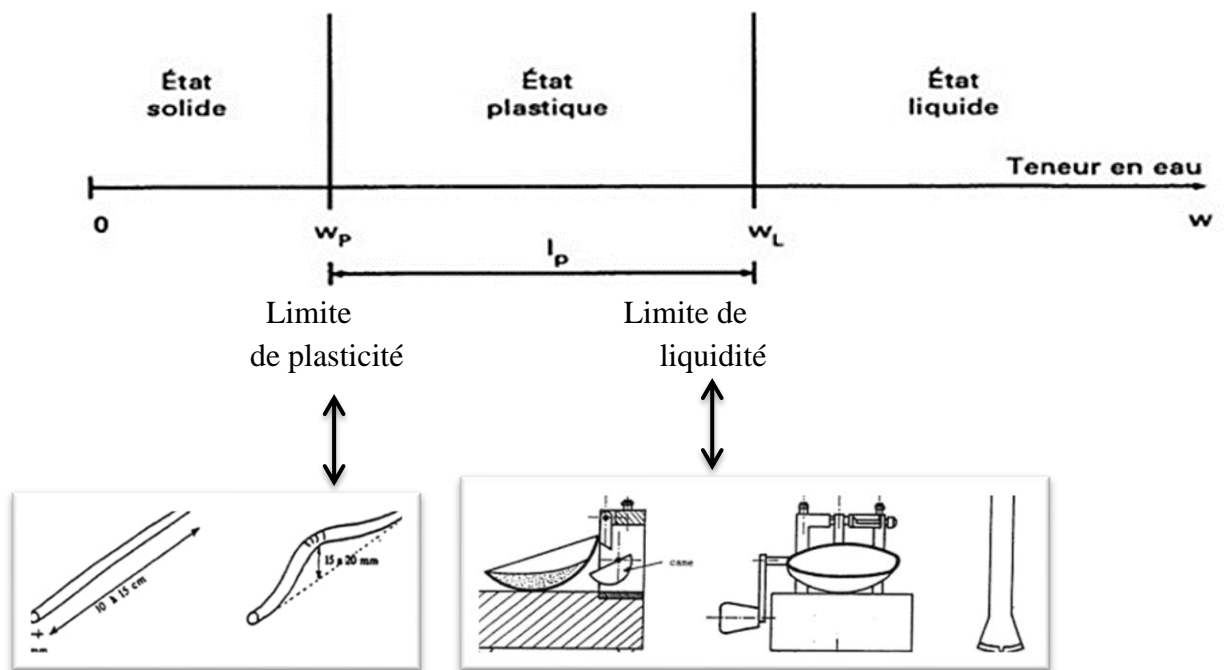


Figure II.4: Etats de consistance d'un sol.

- ❖ **Limite de liquidité w_L** : est la teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique $w_L = w (N/25)^{0,121}$ [N c'est nombre de chocs et W : la teneur en eau].
- ❖ **Limite de plasticité w_p** : est la teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et solide. Elle est la teneur en eau du cylindre qui se brise en petits tronçons de 1 à 2 cm de long au moment où son diamètre atteint 3 mm. Il faut donc réaliser des rouleaux de 3 mm de diamètre sans pouvoir faire de rouleaux plus fins (souvent avec les doigts). On exécute en général deux essais pour déterminer cette limite.

L'essai s'effectue en deux phases :

- ✓ Recherche de la teneur en eau pour laquelle une rainure pratiquée dans un sol placé dans une coupelle de caractéristiques imposées se

ferme lorsque cette dernière et son contenu sont soumis à des chocs répétés.

- ✓ Recherche de la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol, de dimension fixée confectionné manuellement, se fissure.



Photo II.5 : Appareil de Casagrande.

L'essai est réalisé selon les étapes suivantes :

- ✓ Imbiber dans un récipient d'eau à la température ambiante, pendant au moins 24 heures, une masse de matériau.
- ✓ Tamiser par voie humide au tamis de 400 μm .
- ✓ Recueillir l'eau de lavage et le tamisât dans un bac.
- ✓ Siphonner le mélange sol-eau après une décantation au moins 12 heures.
- ✓ Evaporer l'eau excédentaire à une température ne dépassant pas 50°C.
- ✓ Homogénéiser par malaxage à la truelle du mortier.



Photo II.7 : Les tapes de l'essai limite de liquidité.

Le tableau II.3 présente les résultats de l'essai de limites d'Atterberg.

Tableau II.3 : Valeur de limites d'Atterberg de sable de dune et de fines calcaire

	Matériaux		Spécifications		
	Fines calcaire	Sable de dune	TRS	CTTP	GTR
Limite de liquidité: w_l (%)	19.70	17.71	-	< 40	-
Limite de plasticité: w_p (%)	NM*	NM*	-	-	-
Indice de plasticité: I_p (%)	NM*	NM*	< 13	< 15	≤ 12

N.M* : non mesurable.

La position de ces valeurs par rapport au diagramme de Casagrande (figure II.5) A partir de ces résultats et selon la classification des sols en fonction de l'indice de plasticité (SETRA-LCPC 1992) (tableau II.4), montre que nos matériaux sont classés comme non plastiques faiblement argileux..

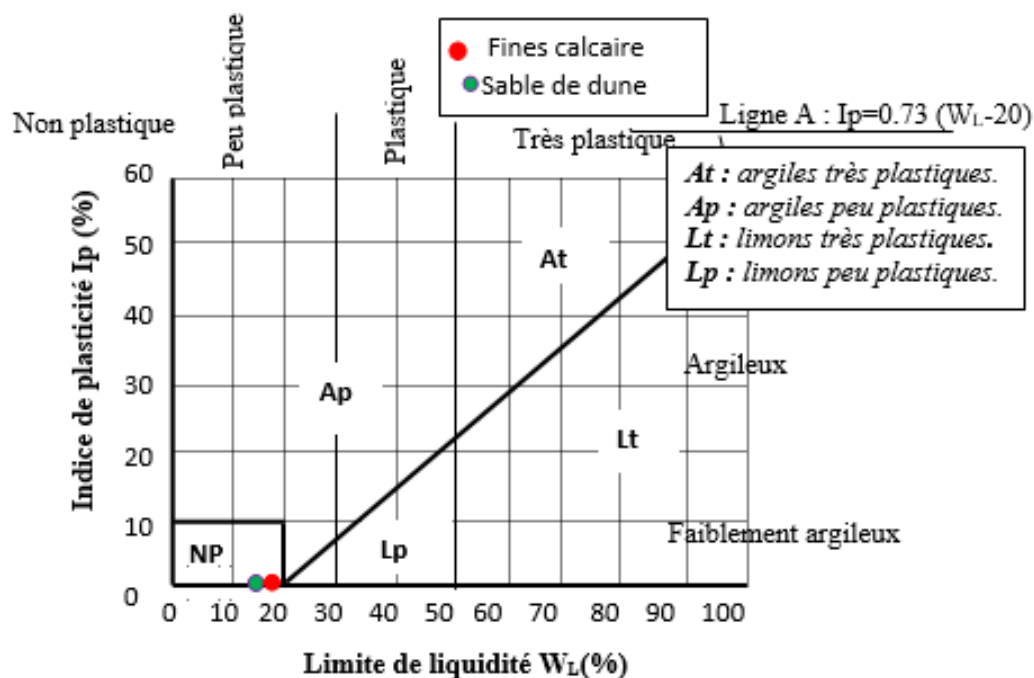


Figure II.5 : Localisation de sable de dune et fines calcaire sur le diagramme de Casagrande.

Tableau II.4 : Classification des sols en fonction de l'indice de plasticité (SETRA-LCPC 1992).

<i>Indice de plasticité</i>	<i>Caractéristique</i>
IP ≤ 12	Faiblement argileux
12 < IP ≤ 25	Moyennement argileux
25 < IP ≤ 40	Argileux
IP > 40	Très argileux

II.3.2.2 Essai d'équivalent de sable (ES) :

L'essai est réalisé selon la norme NFP 18-598, permettant de mesurer la propreté d'un sable pour 120g de sol passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il consiste à séparer les éléments grossiers qui sédimentent et les éléments fins qui restent en suspension, dans deux éprouvettes, au moyen d'une « solution lavant ».

Les étapes de l'essai sont comme suit :

- Imbibition du matériau pendant 20 minutes dans la solution lavante,
- Placer le tube dans la machine vibrante (90 vibres en 30 secondes).
- Lavage du matériau avec la solution lavant jusqu'au trait supérieur.

La valeur de l'équivalent de sable (ES) est le rapport, multiplié par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée h_2 , à la hauteur totale h_1 du flocculat et de la partie sableuse sédimentée. Par définition, elle est :
$$\mathbf{ES = 100 \frac{h_2}{h_1}}$$

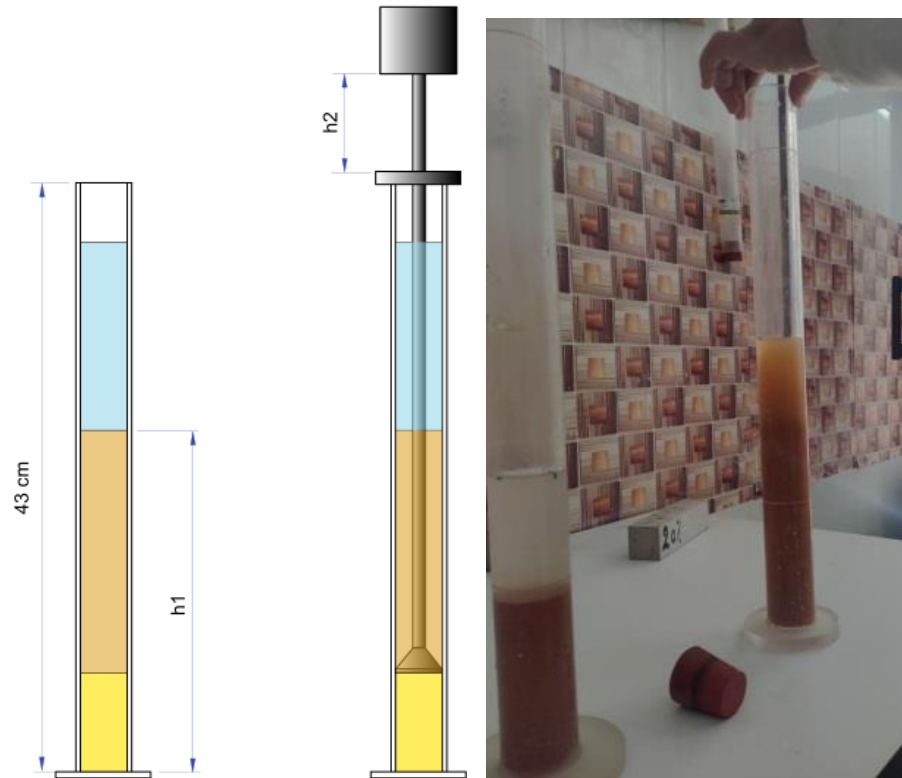


Figure II.6 :Appareillage pour l'essai d'équivalent de sable
d'équivalent de sable

Photo II.8 : essai

Le tableau II.5 Présente les valeurs de d'équivalent de sable (ES) de sable de dune. Pour les fines calcaires cette valeur est très faible, et pour le sable de dune : la valeur de ES montre que notre échantillon est un matériau propre.

Tableau II.5: Valeurs de l'équivalent de sable ES.

Matériaux	Es (%)
Sable de dune	65.04

II.3.2.3 Essai au bleu de méthylène (VB) (NF P 94-068) :

On considère que cet essai exprime globalement la quantité et la qualité de l'argile contenue dans un sol (essai de la tâche); il est effectué sur la fraction 0/2 mm du sol et on distingue les valeurs suivantes :

$$V_B = \frac{\text{Quantité du bleu absorbé (cm}^3\text{)}}{\text{poids sec de la prise (g)}}$$

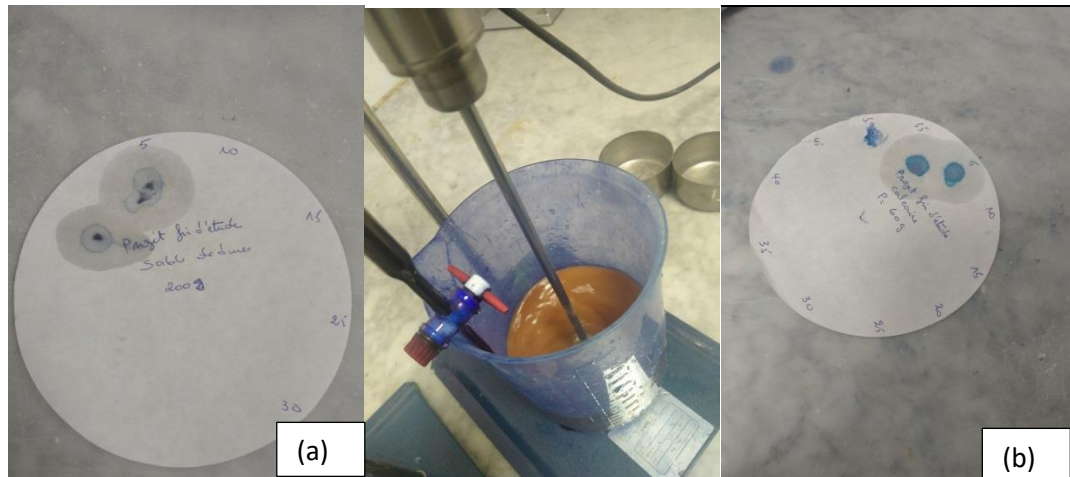


Photo II.9 : Essai au bleu de méthylène (VB) :

(a) pour sable de dune et (b) pour fines calcaire .

La tache formée se compose d'un dépôt central du matériau, coloré d'un bleu soutenu, entouré d'une zone humide incolore. La saturation des fines en bleu de méthylène se traduit par la formation d'une auréole bleu clair persistante autour de dépôt central (Le test est alors positif).

On appelle valeur de bleu de méthylène VB, la quantité exprimée en gramme de bleu de méthylène absorbée par 60 g de fines.

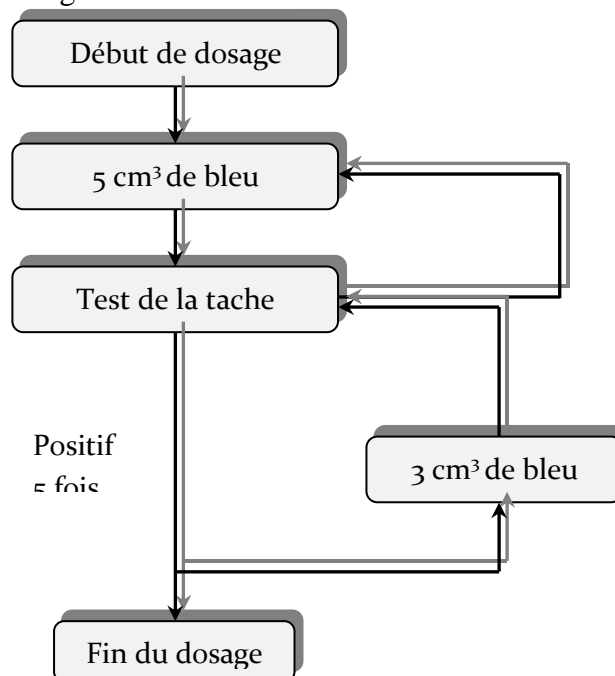


Figure II.7: Schéma du dosage de l'essai du bleu méthylène

Le tableau II.6 Représente la valeur au bleu de nos échantillons. Nous remarquons que les valeurs au bleu de nos échantillons sont inférieures au seuil préconisé par le GTR. Si nous adoptons la classification du tableau II.7, nous trouvons que nos matériaux sont insensibles à

l'eau. La faible valeur de VB pour les fines calcaires prouve que les particules fines existantes ne sont pas de natures argileuses

Tableau II.6 : Valeur de bleu de méthylène VB.

	Fines calcaire	Sable de dune	GTR
Valeur de bleu de méthylène VB	0.08	0.03	< 1.5

Tableau II.7: Classification des sols selon la valeur de bleu de méthylène

(Didier .D, 1999)

VB	Sensibilité à l'eau
VB < 0,2	sols sableux (Sol insensible à l'eau)
0,2 > VB < 2,5	Sol sablo-limoneux (sol peu plastique et sensible à l'eau)
2,5 > VB < 6	sols limono-argileux (Sol limoneux plasticité moyenne)
6 > VB < 8	Sol argileux
VB > 8	Sol très argileux

II.3.3 Essai de compactage et de portance :

II.3.3.1 Essai Proctor Modifié (NF P 94 – 093) :

L'essai a été réalisé selon les prescriptions de la norme NF P 94-093. Il a pour but de déterminer les conditions optimum de compactage des sols, pour obtenir la meilleure compacité, la meilleure cohésion et la meilleure stabilité avec une énergie d'intensité normalisée. Il consiste à compacter dans un volume donné (moule CBR) un certain nombre d'échantillons (la fraction de 0/20 mm) à différentes teneurs en eau et à un même niveau d'énergie de compactage de (4540kj/m³). Cette énergie est appliquée au sol en 5 couches de 25 coups de la dame Proctor modifié (sols dans les plus gros éléments ont un diamètre inférieur à 5 mm). A chaque teneur en eau on utilise un nouvel échantillon de matériau pour déterminer la densité sèche maximale.

Dans la pratique la densité maximale γ_{dmax} obtenue correspond à celle que permettent d'obtenir les compacteurs modernes pour le compactage des matériaux à leur humidité optimale, utilisés en assises de chaussées.



Photo II.11 : Procédure d'essai Proctor Modifié

Les résultats de cet essai sont représentés dans la figure II.8 Et les caractéristiques optimales déduites de cette courbe sont présentés dans le tableau II.9.

D'après ces résultats on remarque que la courbe Proctor de sable de dune est aplatie par rapport aux fines calcaires. Cela signifie que la densité sèche est peu sensible à la teneur en eau jusqu'à l'optimum Proctor. Ce qui veut dire que les fines existantes est peu sensible à l'eau.

D'après le tableau II.10, les valeurs de la densité sèche maximale de nos matériaux sont inférieures à la limite minimale exigée par la TRS.

Par rapport à celle des matériaux routiers habituels cités dans le tableau II.10, les teneurs en eau optimale sont assez élevées et le sable de dune est léger.

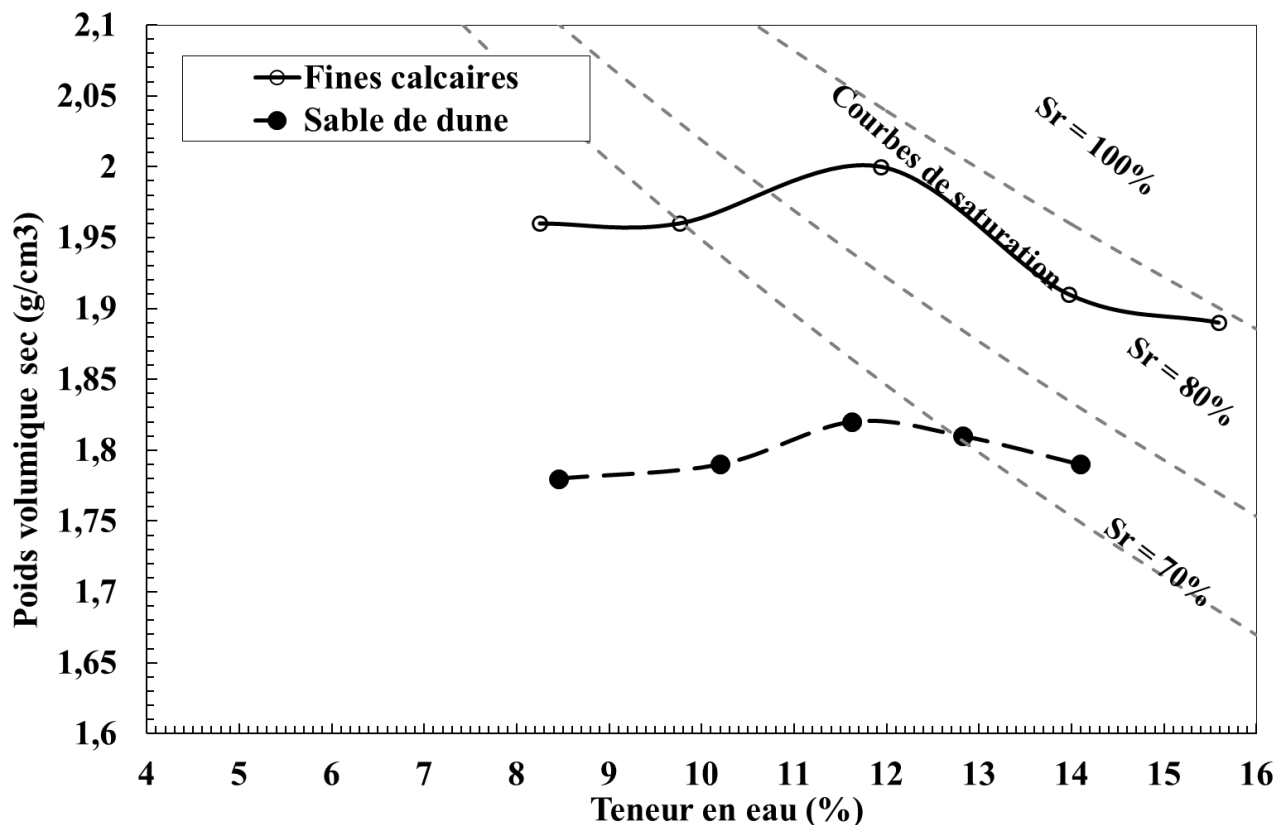


Figure II.8: Courbe Des caractéristiques optimales

Tableau II.8: Caractéristiques de compactage du sable de dune et des fines calcaire

	Sable de dune	fines calcaire	TRS
Poids volumique sec maximal γ_{dmax} (g/cm ³)	1.82	2	> 1,7
Teneur en eau optimale w_{opt} (%)	12.4	12	-

Tableau II.9: Caractéristiques de compactage pour quelquesmatériaux routiers (Gandil P. 1988).

Nature de matériaux	γ_{dmax} (t/m ³)	W_{opm} (%)
Grave non traité	2,2	6
Grave ciment	2,25	6
Grave laitier	2,15	5
Sable ciment	1,9	6
Sable laitier	1,9	6

II.3.3.2 Essai CBR (L'indice portant californien CBR) (NF P 94-078) :

On distingue 2 types d'essais CBR en fonction des bus fixés :

- **L'essai C.B.R. immédiat** : Mesure de la résistance au poinçonnement d'un sol compacté à sa teneur en eau naturelle. Il caractérise l'aptitude du sol à permettre la circulation en phase de chantier. Dans la région peu humide, le C.B.R. immédiat sert directement de référence (pas de variation hydrique).
- **L'essai C.B.R. après immersion** : Mesure de la résistance au poinçonnement d'un sol compacté à différentes teneurs en eau puis immergé durant plusieurs heures (4 heures en générale). Il caractérise l'évolution de la portance d'un sol compacté à différentes teneur en eau et/ou soumis à des variations de régime hydrique.

L'essai consiste à placé dans un moule dans un état donné de densité et de teneur en eau. Il est ensuite poinçonné par un piston de 19,3 cm² de section, enfoncé à la vitesse constante de 1,27mm/min.

L'indice de portance ou CBR exprime en % le rapport entre les pressions produisant dans le même temps un enfoncement donné dans le sol étudié d'une part et dans un matériau type d'autre part.

Le tableau II.11 représente les valeurs de la portance de nos échantillons. D'après ces résultats on remarque que les indices CBR immédiat et imbibé des fines calcaires sont supérieurs au seuil préconisé par la TRS. Les indices portants après 4 heures d'immersion, sont plus faibles que les indices immédiats. En effet, On constate, une réduction de 52% pour les fines calcaires et de 69% pour ceux du sable de dune

Tableau II.10 : Valeurs des indices CBR.

	Sable de dune	Fines calcaire	TRS
CBR Immédiat	46.19	94.50	> 40
CBR Imbibé (Après 4 heures d'immersion)	13.89	44.63	-

II.3.3.3 Essai de compression simple :

L'essai de compression est réalisé sur des échantillons de forme cylindrique de 50 mm de diamètre et 100 mm de hauteur, confectionnées à la teneur en eau optimale du Proctor modifié et à différentes compacités théorique (100%, 97% et 95%) afin d'étudier la relation entre la résistance et la compacité. Le compactage est effectué à la presse et les éprouvettes démoulées sont séchées à l'étuve à 55°C pendant 3 jours.



Photo II.12 : d'éprouvettes cylindriques.

Une fois le temps de conservation est atteint, les éprouvettes sont soumises à un effort de compression appliqué parallèlement à l'axe du cylindre à l'aide d'une presse CBR à une vitesse constante de 1,27 mm/mn jusqu'à la rupture, et on prend les lectures. La valeur de la résistance à la compression simple représentée, est la lecture moyenne de trois éprouvettes.

Pour le sable de dune, il nous a été impossible de réaliser cet essai car les échantillons s'effritent juste après le démoulage, donc on considère que la résistance à la compression de sable de dune est nulle.

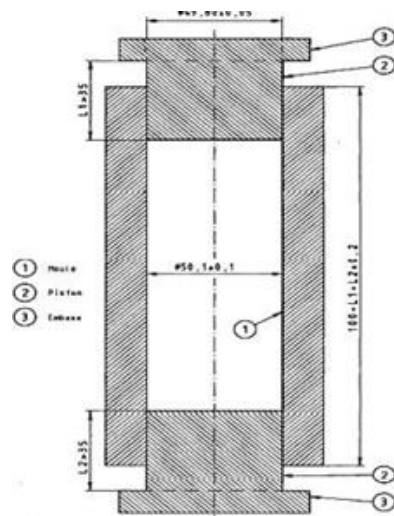


Figure II.9 : Schéma des moules hydraulique



Photo II.13 : Presse hydraulique

La figure II.10, montre que la résistance augmente d'une manière plus au moins linéaire avec l'augmentation de la compacité.

La résistance à la compression correspondante à 98% de compacité, est de l'ordre de 3.1 bars. Tandis que la résistance à la compression correspondante à 95% de compacité, est de l'ordre de 1.8 bars.

Donc, lorsque la compacité passe de 98% à 95%, la chute est de 40%.

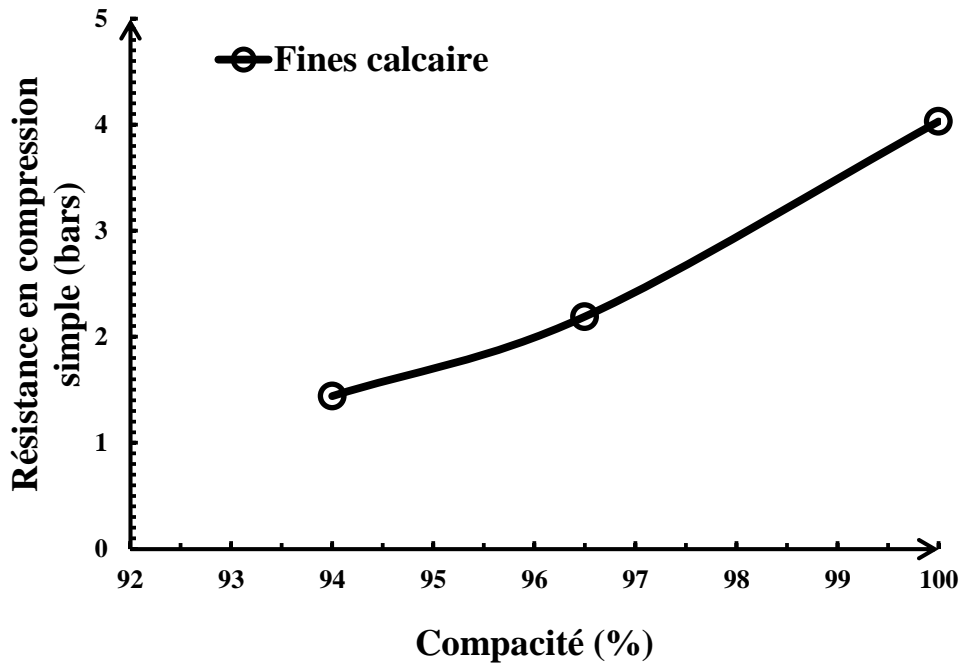


Figure II.10: Courbe à la résistance en compression simple en fonction de la compacité des fines calcaire

II.3.3.4 Essai de traction :

Cet essai est réalisé sur des éprouvettes cylindriques normalisées (NF P 98-230-2, 1993b). Grâce à deux plateaux, on applique un effort le long des deux génératrices diamétralement opposées. de dimensions, diamètre = 50 mm et longueur = 50 mm (Photo II.14)

On applique un effort progressivement jusqu'à la rupture de l'échantillon. Ceci permet d'obtenir la résistance à la traction R_t . La relation de la résistance à la traction par fendage donnée comme suite:

$$R_t = 2F / \pi D l$$

Avac : R_t : Résistance à la traction ; l : Longueur de l'éprouvette ; F : Pression axiale (presse hydraulique) ; D : Diamètre de l'éprouvette.

La valeur de la résistance à la traction à 98% γ_d de notre échantillon est de l'ordre de 0.61 bars.



Photo II.14: Procédure d'essai traction.

II.3.3.5 Analyse chimique :

L'essai a été réalisé au LTPS de Ghardaïa, les résultats sont récapitulés sur le tableau II.10.

Tableau II.11 : Résultats de l'analyse chimique sommaire.

	Fines calcaire	Sable de dune	CTTP
CaCO ₃ (%)	96	00	≥ 45
CaSO ₄ ; 2H ₂ O (%)	2	1	
Insolubles (%)	-	96	

D'après ces résultats on remarque que pour le sable de dune, la constatation importante à signaler est la présence d'un fort pourcentage des résidus insolubles (SiO₂ + Silice) qui est supérieur à 95 %, et par conséquent, le sable de dune est un sable siliceux. Concernant les fines calcaires dont leurs origine une roche mère calcaire sont de prédominance calcaire avec un taux dépasse 95%.

II.4 Récapitulatif des essais d'identification :

Tableau II.12 : Caractéristiques géotechniques et mécaniques de sable de dune et fines calcaire d'oued Metlili.

	Matériaux		Spécifications			Remarques*		
	Fines calcaire	Sable de dune	TR S	CTTP	GTR			
Analyse granulométrique								
$D_{max} (mm)$	1	1	-	20-40	< 50	-	No	No
$\% < 0.425 mm$	98	90	-	36-52	-	-	No	-
$\% < 80 \mu m$	72	8	< 30	22-32	≤ 35	No(FC) OK(SD)	No	NO(FC) OK(SD)
C_U	18.75	3.22	-	-	-	-	-	-
C_C	0.52	0.89	-	-	-	-	-	-
Les limites d'Atterberg								
$w_L (\%)$	19.70	17.71	-	< 40	-	-	NO(FC) OK(SD)	-
$w_p (\%)$	-	-	-	-	-	-	-	-
$I_P (\%)$	-	-	< 13	< 15	≤ 12	-	-	-
Equivalent de sable Es (%)	-	65.04	-	-	-	-	-	-
Valeur de bleu VB	0.08	0.03	-	-	< 1.5	-	-	Ok
Compactage								
$\gamma_{dmax} (t/m^3)$	2	1.82	> 1.7	-	-	Ok	-	-
$\omega_{opm} (\%)$	12	12.40	-	-	-	-	-	-
Portance								
$I CBR Immédiat (\%)$	94.50	46.19	> 40	-	-	Ok	-	-
$I CBR Imbibé (4h) (\%)$	44.63	13.89	-	-	-	-	-	-
Essai Los Angeles LA (%)	-	-	-	-	< 45	-	-	-

Essai de compression simple à 95% γ_{dmax} (MPa)	0.17	00	> 0.1 5	-	-	Ok	-	-
Analyse chimique								
<i>Insolubles (%)</i>	-	96	-	-	-	-	-	-
<i>CaCO₃ (%)</i>	96	00	-	≥ 45	-	-	No	-
<i>CaSO₄ ; 2H₂O (%)</i>	2	1	-	-	-	-	-	-

Nous remarquons que certaines caractéristiques géotechniques de sable de dune sont médiocres par rapport au matériaux routière, le chapitre suivant sert à les améliorer par l'intégration des fines calcaire.

II.5 Classification :

Il est important de caractériser un sol mais aussi de les classer, c'est à dire de les mettre dans un groupe ayant des comportements similaires.

Il va de soi qu'une telle classification ne peut être basée que sur des corrélations empiriques, elles-mêmes basées sur une grande expérience.

Il existe de par le monde de nombreuse classification :

- classification GTR
- classification CTPP
- classificationUSCS

II.5.1 CLASSIFICATION GTR :

Cette classification est la seule présentant un réel intérêt pratique et utilisée dans les travaux de terrassement. Son utilisation est détaillée dans le Guide technique pour la réalisation des remblais et couches de forme ; C'est pour cette raison qu'elle est désignée par classification GTR.

Selon la Classification GTR (NF P 11-300) (cas des sols fins), nos matériaux sont classés comme suit :

Le Sable de dune :

$D_{max} < 50\text{mm}$;

Passant à $80\mu\text{m} < 12\%$;

$I_p < 12\%$;

$VBS < 0.1\%$.

Donc, le sable de dune se classe comme « **D₁** » (**Sable de dune**)

Fins calcaires :

$D_{max} < 50\text{mm}$;

$35\% < \text{Passant à } 80\mu\text{m}$;

$I_p < 12\%$;

$VBS < 2,5\%$.

Donc, les fines calcaires se classe comme « A₁ » (**Limon peu plastique**).

- Fines calcaire
- Sable de dune

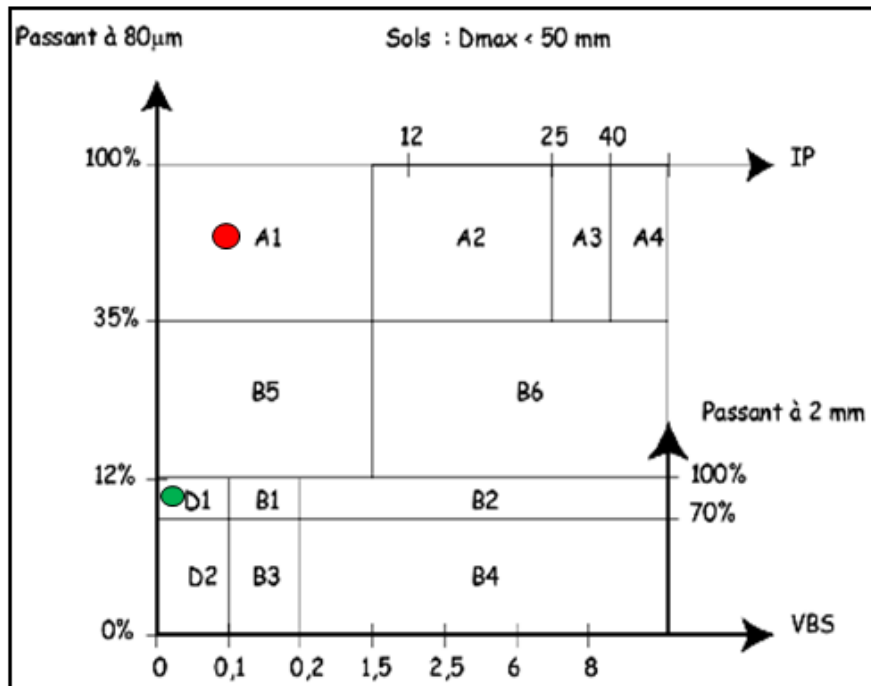


Figure II.11 : Classification de nos matériaux selon GTR.

II.6 conclusion :

Les essais géotechniques réalisés nous ont permis de constater que :

Le sable de dune est un matériau propre et ne présente aucune plasticité, il a une courbe granulométrique uniforme sériée ($C_u = 3.22$), La fraction $0/80\mu\text{m}$ est de l'ordre de 10%. Sa densité sèche est peu sensible à la teneur en eau.

Les fines calcaires : a une courbe granulométrique étalée ($C_u = 19$), avec un taux de sable ($< 2 \text{ mm}$) de l'ordre de 45% et une fraction élevée de fines ($< 80\mu\text{m}$) de l'ordre de 72%.

Nous avons constaté que certaines caractéristiques géotechniques de sable de dune étudié sont médiocres par rapport aux matériaux routiers habituels et ne répondent pas aux exigences de la technique routière saharienne TRS. Alors leur utilisation seule ne suffit pas dans la construction des routes.

Dans ce qui suit on va essayer de faire la correction de ces caractéristiques par l'incorporation des fines calcaire comme correcteur granulométrique.

Chapitre III

Comportement mécanique des mélanges SD-FC

III.1 Introduction

Les comportements mécaniques caractérisent l'aptitude du matériau à résister aux sollicitations du trafic après le durcissement. Elles conditionnent le fonctionnement mécanique de la chaussée à long terme.

Dans ce chapitre, et afin de profiter au mieux de sable de dune, nous allons essayer de voir l'influence de l'ajout des fines calcaire sur les caractéristiques mécanique de sable de dune.

Le but c'est de choisir une formule optimale (% Sable de dune + % fines calcaire) qui offre les meilleures caractéristiques mécaniques. Puis, identifier l'utilisation potentielle de cette formule dans la construction des chaussées saharienne.

Les pourcentages des fines calcaire ajouter sont choisis dans un domaine économique réaliste, dorénavant les nominations de différentes formules des mélanges sable de dune-fines calcaire est comme suit :

- Matériau brute sable de dune nommée 100% SD
- 90% sable de dune + 10% fines calcaire nommée 90%SD-10%FC
- 80% sable de dune +20% fines calcaire nommée 80%SD-20%FC
- 70% sable de dune +30% fines calcaire nommée 70%SD-30%FC
- 60% sable de dune +40% fines calcaire nommée 60%SD-40%FC
- 50% sable de dune +50% fines calcaire nommée 50%SD-50%FC
- Matériau brute fines calcaire nommée 100% FC

L'objectif principale est d'améliorer les performances mécaniques de sable de dune, et cela avec une technique de traitement économique. L'atteinte de ces objectifs a pour but de fabriquer un matériau (sable de dune + fines calcaire) pouvant être utilisé en couches de base et /ou de fondation en assise des chaussées saharienne à moyen et/ou fort trafic.

III.2 Etude de l'influence de l'ajout des fines calcaire au laboratoire :

Notre étude au laboratoire est composée des investigations suivantes :

1. Influence du fines calcaire sur les caractéristiques de compactage (densité sèche, teneur en eau optimale).
2. Comportement mécanique des mélanges (SD-FC) :
 - Essais de compression simple immédiatement après compactage et après conservation à l'air libre à une température de 30°+5 pendant 7 et 28 jours.
 - Essais de cisaillement direct après conservation à l'étuve a une température de 55° pendant 48h.

III.2.1 Influence du fines calcaire sur les caractéristiques de compactage (Essai Proctor modifié):

Les étapes des essais de compactage sont faites de la même manière que dans le chapitre précédant. La préparation des mélange sable de dune-fines calcaire est la phase la plus délicate dans cet essai. Cela se fait comme suit :

1. Les deux matériaux (sable de dune et fines calcaire) sont séchés à l'air, puis les différentes fractions de sable de dune et des fines calcaire ont été mélangées (jusqu'à l'obtention d'une couleur uniforme).
2. Une certaine quantité d'eau est malaxé soigneusement et manuellement avec le mélange SD-FC

Les résultats de l'essai Proctor modifié sont représentés dans la figure III.1 L'influence de l'ajout des fines calcaire sur les caractéristiques optimales déduites des courbes Proctor est présentée dans la figure III.2

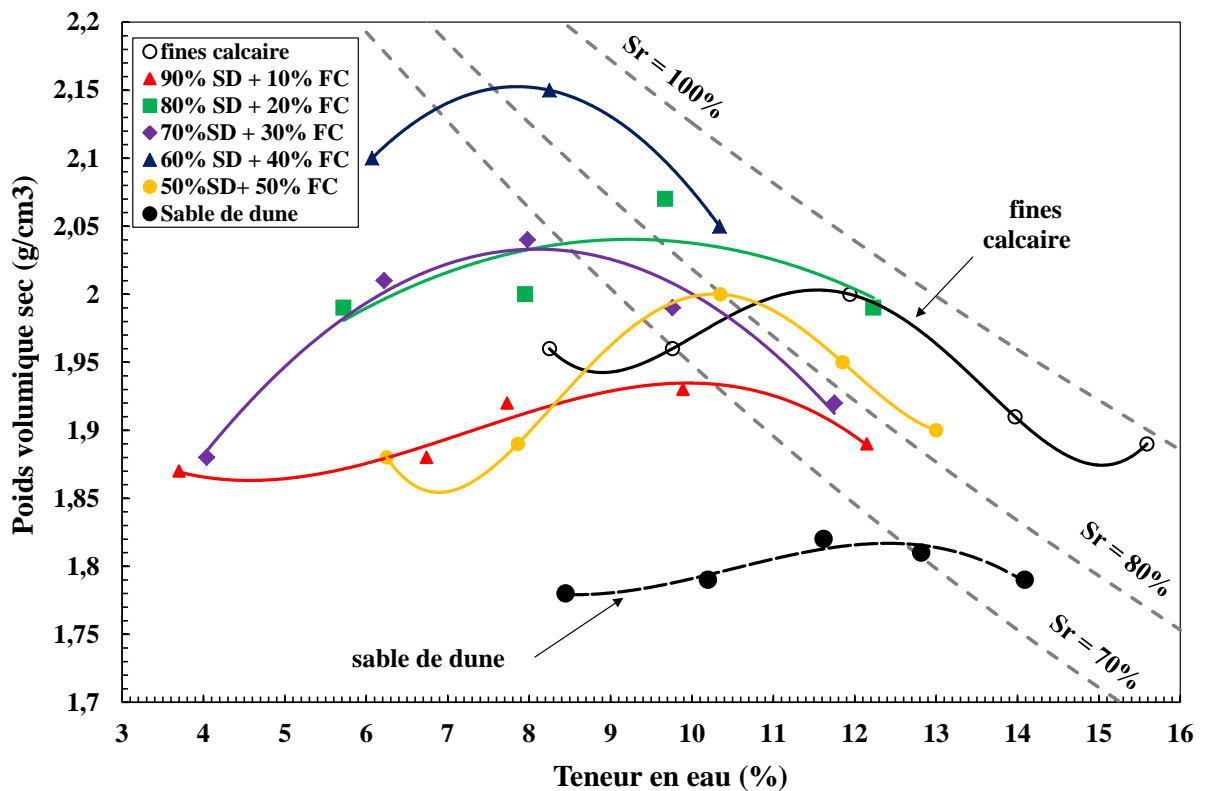


Figure III.1: Courbes Proctor modifié des mélanges Sable de dune-Fines calcaire.

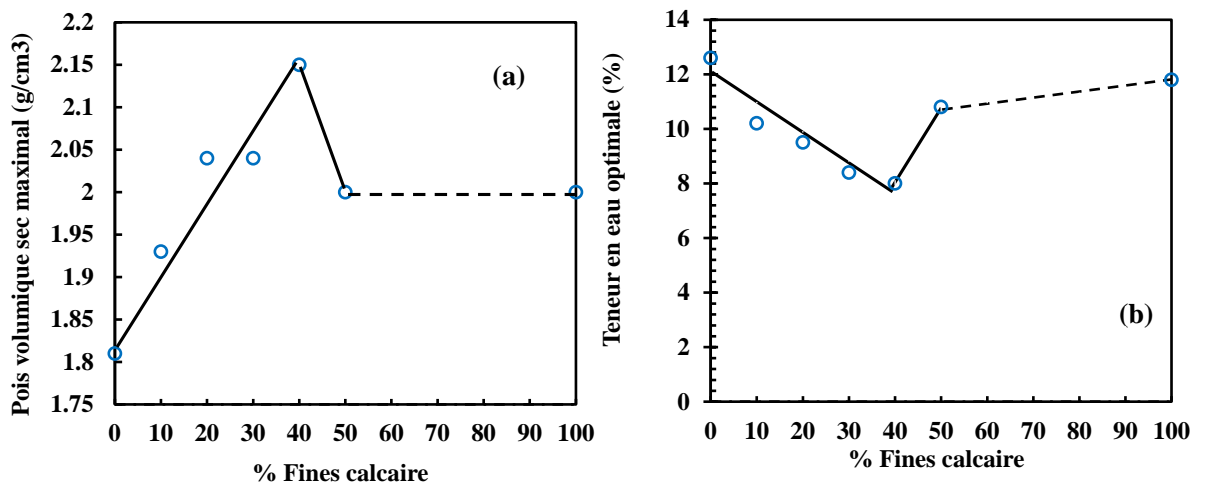


Figure III.2 : Influence de la teneur en fines calcaire sur les caractéristiques de compactage :
a) le poids volumique sec maximal et b) la teneur en eau optimal.

D'après ces résultats, l'ajout des fines calcaire conduit à :

Une augmentation de la densité sèche maximale. Cette augmentation est proportionnelle avec le pourcentage de fines calcaire, elle atteint son maximum dans le cas de l'ajout de 40% FC, puis elle diminue tout en gardant une valeur supérieure à celle du sable de dune brute.

Une diminution de la teneur en eau optimale, elle atteint 8% dans le cas de l'ajout de 40% des fines calcaire. Cela est un avantage concernant le manque d'eau dans les régions sahariennes.

Ces constatations coïncident bien avec les résultats de la bibliographie (Morsli, 2007 ; Goual, et al 2012 ; Cherrak, et al 2015 ; Daheur et al. 2012, 2015, 2019).

III.2.2 Influence du fines calcaire sur le comportement mécanique :

Cette partie rentre dans le cadre de la recherche d'une formulation optimale (%SD-%FC). En effet, on va caractériser le comportement mécanique des mélanges sable de dune-fines calcaire (SD-FC). Les essais effectués sont les essais de résistance à la compression simple et au cisaillement, sur des échantillons compactés.

III.2.2.1 Essai de compression simple :

Notre étude au laboratoire a été entreprise par le suivi de l'évolution de la compression simple à 0, 7 et 28 jours sur une série d'éprouvettes cylindriques de dimensions ($\varnothing = 5\text{cm}, H = 10\text{cm}$) confectionnées à la teneur en eau et de la densité sèche du Proctor modifiée, conservées à l'air libre ($T=25 \pm 5^\circ\text{C}$) voir la Photo III.1 ;



Photo III.1 : Éprouvettes de compression.

➤ **Préparation des échantillons :**

Les principales étapes de préparation des échantillons sont :

- ✓ Les différents pourcentages des sables de dune et des fines calcaire, sont mélangés manuellement dans le but d'avoir un Mélange homogène, avant d'ajouter la quantité d'eau de gâchage correspond l'OPM.
- ✓ Stockage du mélangé dans un sac en plastique scellé pendant 24h pour obtenir des conditions d'humidité uniformes ;
- ✓ Confectionner des éprouvettes dans des moules de dimensions ($H=10\text{cm}$, $\phi=5\text{cm}$)
- ✓ Séchage des éprouvettes démoulées dans l'étuve à 55°C pendant 7 et 28 jours.

Le compactage est réalisé selon la norme NF P 98- 230-2, à l'aide d'une presse hydraulique et des moules à double piston. Le matériau est compacté en une seule fois dans le moule.

Une fois le temps de conservation est atteint, les éprouvettes sont soumises à un effort de compression appliqué parallèlement à l'axe du cylindre à l'aide d'une presse CBR à une vitesse constante de $1,27\text{ mm/mn}$ jusqu'à la rupture, et on prend les lectures.

Les résultats exprimés pour chaque point sont les moyennes de deux valeurs.

La Figure III.3 représente pour tous les mélanges les courbes de variation de la contrainte déviatorique en fonction des déformations axiales pour les durées de conservation de 7 et 28 jours. On note que la résistance à la compression immédiatement après compactage pour tous les échantillons est très faible. Également la résistance à la compression de la formule « 90%DS+10%FC) à 7jour et 28jours de conservation est concéderez nulle.

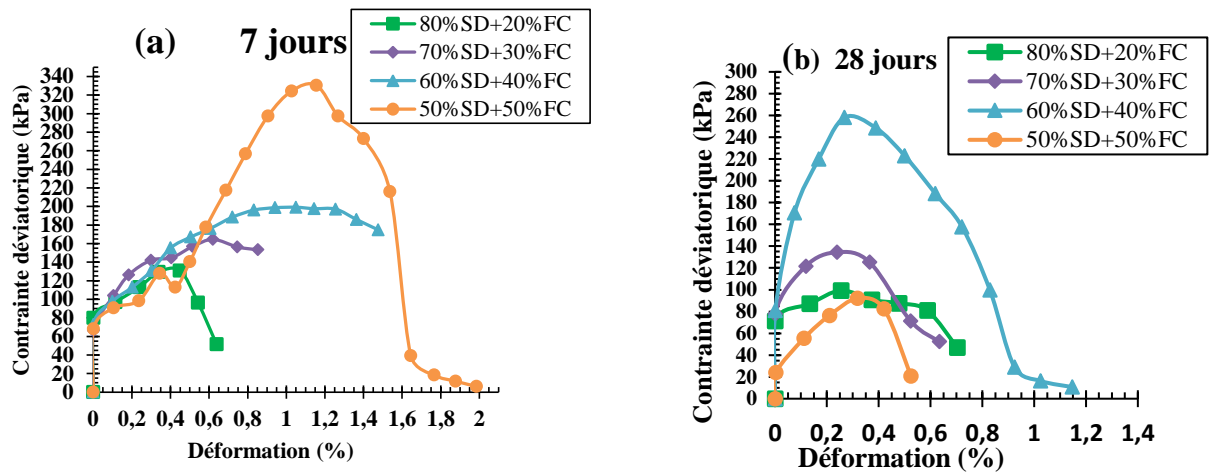


Figure III.3: Courbes contrainte-déformation des différents mélanges : a) à 7 jours de conservation et b) à 28 jours de conservation.

La variation des résistances à la compression qui correspondent au pic des courbes précédentes, et le module sécant E_{50} en fonction de la teneur en fines calcaire, sont présentés dans la figure III.3.

E_{50} est défini comme le module sécant pour un niveau de déformation $\varepsilon_{(50)}$ correspondant à 50% de la force maximale (figure III.4)

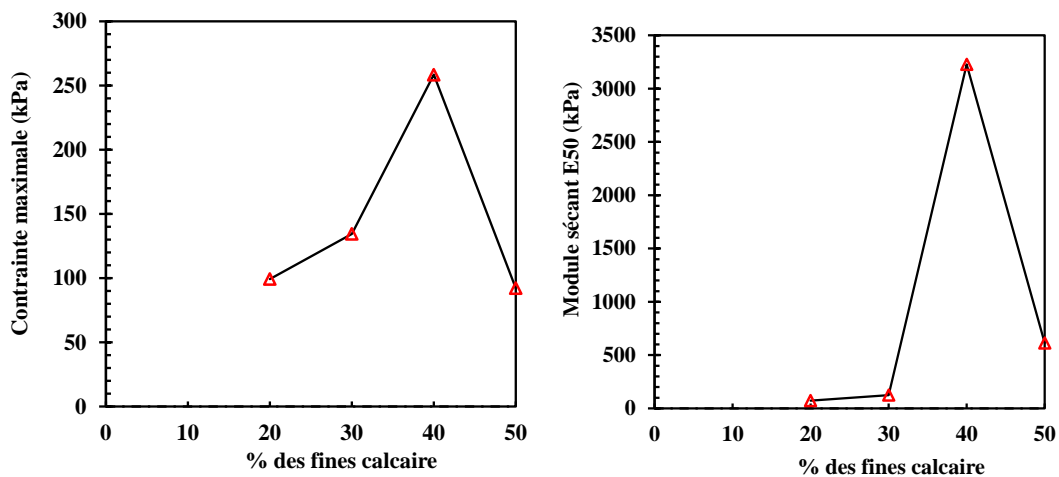


Figure III.4 : Variation de la contrainte maximale et le module sécant E_{50} en fonction de la teneur en fines calcaire à 28 jours de conservation.

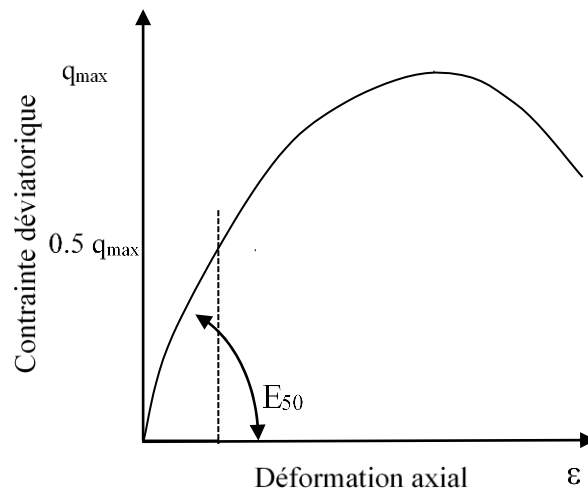


Figure III.5 : Principe de détermination des modules sécant E_{50} .

D'après ces résultats, on remarque que :

- ✓ La contrainte axiale augmente avec la déformation axiale jusqu'à atteindre un pic, ensuite elle diminue progressivement ;
- ✓ La contrainte axiale maximale σ_{\max} et le module E_{50} augmentent avec le pourcentage des fines calcaire jusqu'à 40%, puis ils diminuent à 50% de FC ;
- ✓ L'ajout de 40% de FC acquière la bonne résistance à la compression et le bon module sécant avec des valeurs dépasse 250 kPa et 3000 kPa, respectivement.

III.2.2.2 Essai de cisaillement (NF P 94-071-1):

L'essai de cisaillement direct à la boîte de Casagrande a pour objectif de déterminer la résistance au cisaillement du sol. En supposant les contraintes uniformément réparties sur la surface de rupture, on détermine la contrainte de cisaillement à la rupture τ (ou résistance au cisaillement) pour une contrainte normale donnée σ .

Dans notre cas, nous avons réalisé cet essai sur une série des échantillons (SD-FC) préparés initialement à l'OPM.

➤ Principe de l'essai

Les caractéristiques de résistance au cisaillement d'un sol peuvent être déterminée à partir d'un essai de cisaillement à la "Boîte de Casagrande".

Un échantillon de sol, contenu dans une boîte, elle-même composée de deux demi-boîtes (pour fixer le plan de cisaillement), est soumis à une contrainte verticale s avant d'être cisailé à vitesse constante. Par conséquent la contrainte de cisaillement τ s'accroît jusqu'à une valeur maximum que l'on mesure. On en déduit l'état de contrainte τ_r, σ_r de l'échantillon de sol à la rupture.

En réalisant plusieurs essais, sur un même matériau, avec différentes valeurs de contraintes verticales, on peut déterminer le critère de rupture de Mohr-Coulomb et définir ses valeurs de cohésion c et d'angle de frottement ϕ .

➤ **Description de la Boîte de Casagrande**

L'échantillon de sol est placé à l'intérieur de demi-boîtes qui peuvent se déplacer horizontalement l'une par rapport à l'autre. Un piston permet d'exercer sur le sol un effort normal N constant pendant toute la durée de l'essai.

Une demi-boîte est entraînée horizontalement à vitesse constante. A tout instant, on mesure la force de cisaillement T . Un second comparateur vertical permet de mesurer la variation de hauteur Δh de l'échantillon.

On exerce sur le plan de séparation AB des deux demi-boîtes une contrainte dont les composantes normale et tangentielle ont pour valeur moyenne :

$$\sigma = \frac{N}{A_c} \quad \tau = \frac{T}{A_c}$$

Où A_c est la section corrigée de l'éprouvette (cette section variant en fonction du déplacement relatif ΔL).

Un schéma global du bâti de chargement sur lequel est fixée la boîte de Casagrande est présentée à la figure III.6 suivante.

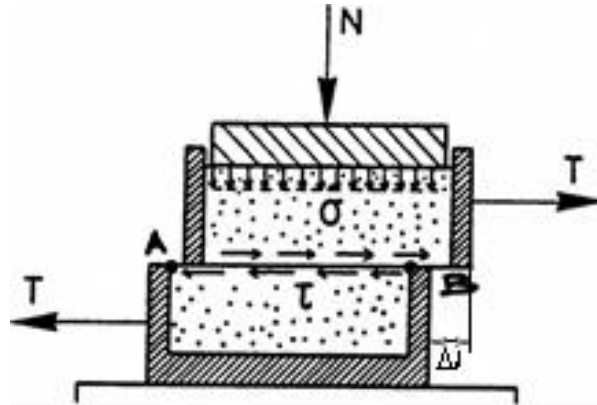
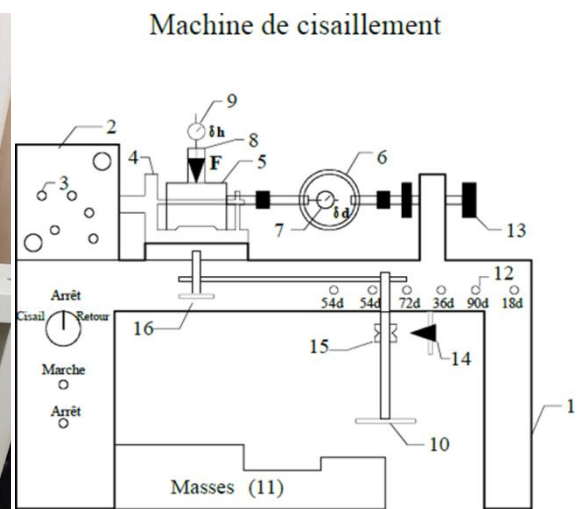


Figure III.6 : la Boîte de Casagrande



Photo III.2 : Machine de cisaillement



- 1 : Bâti de la machine
- 2 : Bloc moteur
- 3 : Axes supports de pignons
- 4 : Partie mobile du bâti, support de la boîte
- 5 : Boîte de cisaillement
- 6 : Anneau dynamométrique
- 7 : Comparateur de déf. de l'anneau
- 8 : Etrier de chargement
- 9 : Mesure de δh
- 10 : Plateau supportant les masses
- 12 : Pignons en attente
- 13 : Volant d'approche de l'anneau
- 14 : Pointeau
- 15 : Bague de contrôle
- 16 : Volant de réglage

➤ Préparation des échantillons

Après passage des deux constituants (sable de dune et fines calcaire) à l'étuve à 55°C pendant 48 heures, les différents pourcentages des fines calcaire sont mélangés manuellement avec le sable de dune avant d'ajouter la quantité d'eau de gâchage correspond l'OPM.

Le mélange humide est soumis par la suite à un compactage statique dans le moule de dimension (forme cylindrique, de diamètre 6 cm et de hauteur 2 cm).

Pour s'assurer que la surface de contact est plane, on procède au rasage et au lissage de l'échantillon dans les deux côtés, supérieur et inférieur, avec remplissage des vides.

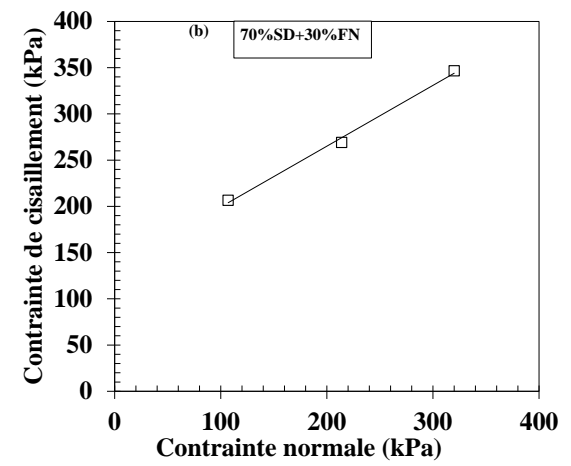
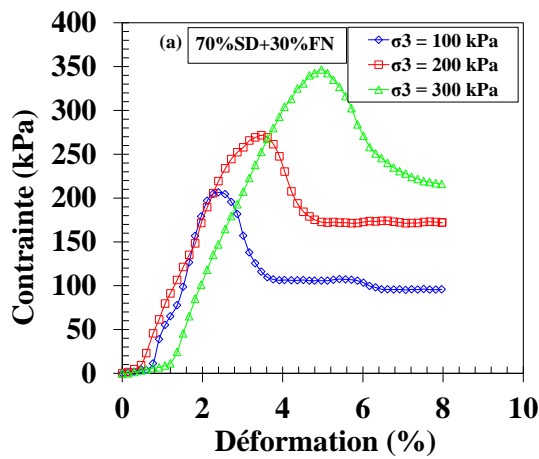
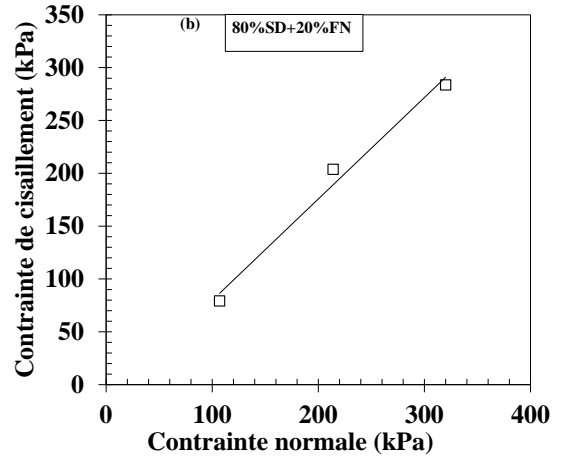
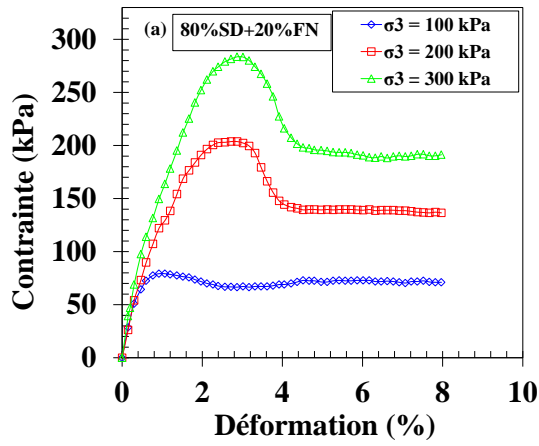
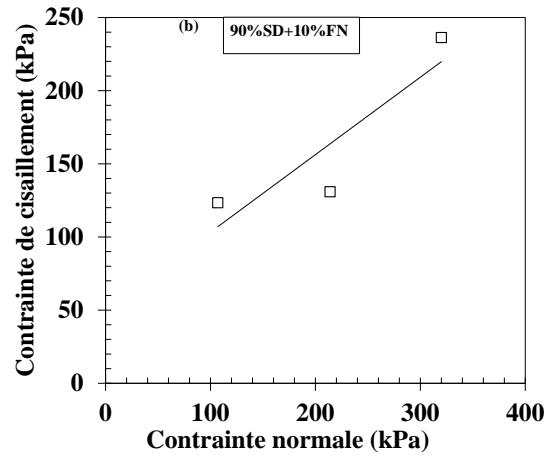
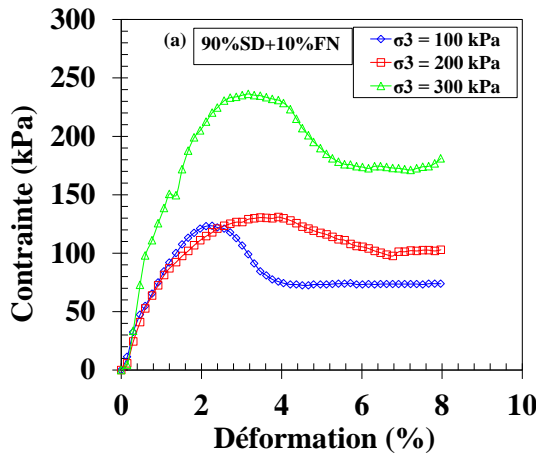
Les échantillons sont cisailés après concertation à l'étuve a une température de 55°C pendant 24 heures. Les contraintes normales appliquées sont (100, 200 et 300kPa) avec un taux de déformation de 0,5 mm/min appliqué pour tous les échantillons.



Photo III.3 : échantillons de cisaillement.

En général, le critère de rupture le plus souvent appliqué aux sols est le critère de Mohr-Coulomb. Ce critère délimite deux domaines bien distincts, un domaine interne où le matériau reste stable et résistant, et un domaine externe où le matériau se met en rupture. Cette courbe est appelée « courbe intrinsèque ».

La figure III.7 présentent la variation de la contrainte en fonction de la déformation (courbes contraintes-déplacement) et les chemins de contrainte dans le plan $[\tau, \sigma]$ pour les mélanges (SD-FC).



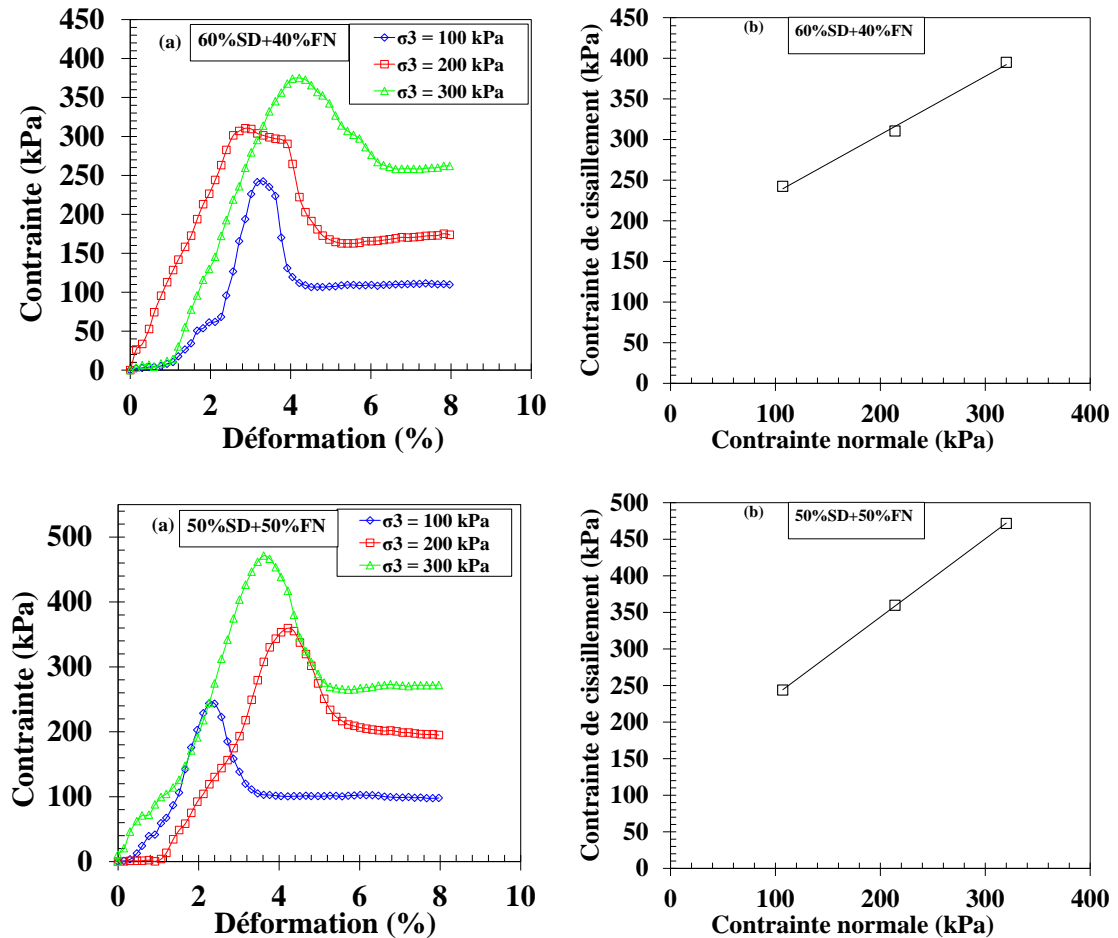


Figure III.7 : Influence de traitement aux liants sur la résistance au cisaillement (après séchage) **(a)** courbe contraintes – déplacement **(b)** chemins de contrainte dans le plan $[\tau, \sigma]$.

D'après la figure III.8, on remarque que pour tous les échantillons :

- Les courbes contraintes-déplacement n'ont pas linéaire, on a une déformation élastique non linéaire et une déformation plastique, ce qui nous permet d'attribuer un comportement élasto-plastique aux mélanges (SD-FC) ;
- La contrainte augmente avec le déplacement jusqu'à atteindre un pic ; ensuite la rupture se propage et la contrainte diminue progressivement et tend vers un palier ;
- La contrainte maximale augmente avec la contrainte normale;
- La contrainte tangentielle augmente d'une manière linéaire avec la contrainte normale ;

La variation de la cohésion et l'angle de frottement en fonction de pourcentage des fines, sont représentés sur la figure III.8

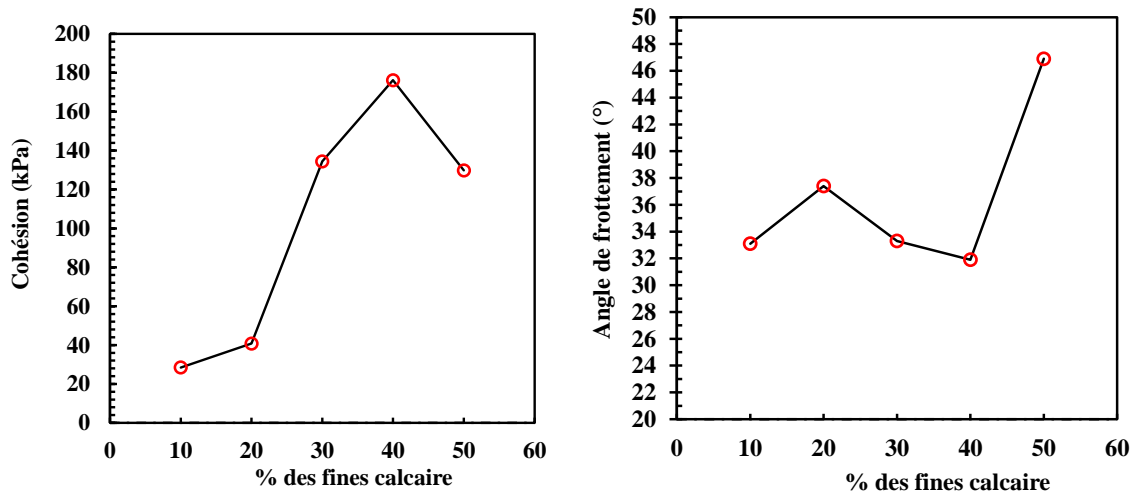


Figure III .8: Variation de (a) la cohésion et (b) l'angle de frottement en fonction des pourcentages des liants (après séchage à l'étuve)

Les résultats obtenus montrent que la cohésion (humide) est améliorée considérablement suite au traitement. Concernant l'angles de frottement elle n'a pas changé beaucoup et varie entre 31° et 36°. Par exemple, dans le cas du traitement par 5% de ciment noire avec la chaux, la cohésion augmente de 15 kPa à 38.42 kPa et l'angle de frottement passe de 36.5° à 34.3°.

III.3 CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons vu l'influence de l'ajout des fines calcaire sur les caractéristiques géotechnique et les performances mécaniques du sable de dune, dont le but d'améliorer les performances mécaniques de sable de dune.

Au cours de cette étude, nous avons vu que l'ajout des fines calcaire conduit à une diminution de la teneur en eau optimale et augmentation de la densité sèche maximale.

L'étude de l'effet des fines calcaire sur les performances mécaniques montrent que la fine calcaire augmente considérablement la résistance à la compression, le module sécant, et la cohésion.

Les résultats obtenus montrent que la formule « 60% sable de dune + 40% fines calcaire » est la formule optimale choisie qui confère les meilleures propriétés géotechniques et performances mécanique.

CONCLUSION

GENERAL

Conclusion générale

Notre travail rentre dans le contexte de la valorisation des sables de dune de la région de Ghardaïa dans le domaine de la géotechnique routière Saharienne. En effet, on a étudié la possibilité d'amélioration des propriétés géotechnique et performances mécanique du sable de dune par l'ajout des fines calcaire. L'objectif principal est de tirer une formule optimale « sable de dune – fines calcaire » acquière des performances meilleures que le matériau brut, et qui répond aux exigences de la réglementation en vigueur.

En premier lieu, on a vu que certaines caractéristiques physico-mécaniques de sable de dune sont médiocres par rapport aux matériaux routiers habituels et ne répondent pas aux exigences des réglementations en vigueur.

En seconde lieu, l'étude d'optimisation à permet de conclure que l'ajout des fines calcaire à permet de pallier ces problèmes, par l'augmentation de la densité sèche maximale, diminution de la teneur en eau optimale, amélioration de la résistance à la compression ainsi que les caractéristiques de cisaillement.

Les essais réalisés ont montré qu'une formulation composée de 60% de sable de dune et 30% des fines calcaire, présente les meilleures des caractéristiques mécaniques. Le mélange « 60% SD + 40%FC » est retenu comme mélange optimal.

On se rend compte à l'issue de ce travail que les paramètres à maîtriser sont nombreux. Comme perspective, il serait intéressant de poursuivre des plans d'expériences visant de comprendre le comportement mécanique de ce mélange optimal sous sollicitations cycliques et hydrique. Par conséquent, il est plus que nécessaire que des études complémentaires sur la formule adoptée doivent être réalisées à long terme et en fatigue, soit traitée avec différents types de liants, soit renforcée. Le but c'est de comparer les performances obtenues avec celles des matériaux classique.

Les recommandations

On se rend compte à l'issue de ce travail que les paramètres à maîtriser sont nombreux.

Comme perspective, il serait intéressant de poursuivre des plans d'expériences visant l'amélioration des performances mécaniques de sable de dune.

Conclusion générale

Par conséquent, il est plus que nécessaire que des études complémentaires Pour de plus grandes proportions des fines calcaires.

*Références
bibliographiques*

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdelghani Inal (1980).** Route en milieu désertique. IV conférence routière africaine.
- Améraoui, Z., (2002).** Les tufs d'encroûtements, utilisation dans la géotechnique routière. Thèse de magistère, Ecole Nationale Polytechnique, Alger.
- Ben Dhia, M. H. (1998).** Quelques particularités de l'utilisation du sable de dune en construction routière en milieu saharien. Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées - 213 - janvier-février 1998 - réf. 4159 - pp33-42.
- Ben ouakhir Abdel Hakim (2015),** Utilisation du sable de dunes en technique routière Etude bibliographique, Mémoire de Master 2ième année, Université Mohamed Khider-Biskra, Page3 à35.
- Blatt, Middleton et Murray (1972).** Origin of sedimentary rocks, ISBN 10: 0136427022 ISBN 13: 9780136427025,445.
- Boularek, M., (1989).** Mode de construction et contrôle des routes sahariennes. Rencontre Maghrébine sur les techniques routières, Tunis, 20-23 nov.
- Cherrak, M., Morsli, M., Boutemeur, R., and Bali, A. (2015).** Valorization of the use of calcareous tuff and dune sand in Saharan road design. Journal of Civil Engineering and Architecture 9 (2015) 665-676, 4, 5.
- Cllaud .M (2004) :** propriété des sols, Cours de mécanique de sol, tome1, Institut national d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement.
- CTTP (2001).** Catalogue de Dimensionnement des Chaussées neuves. Organisme National de Contrôle Technique des Travaux Publics, Algérie.
- Daheur E.G., Bouhicha, M., and Zaidi, A. (2012).** L'influence du traitement des tufs d'encroûtements par les liants organique et hydraulique, sur la résistance à la compression et au cisaillement. 1st International Conference on Civil Engineering, 8-9 May 2012, Laghouat University, Algeria.
- Daheur E.G., Goual, I., and Taibi, S. (2015a).** Effet de l'immersion sur le comportement mécanique d'un tuf gypso-calcaire traité aux liants organique ou hydraulique. 3th international conference on unsaturated soils. Batna, Algeria.
- Daheur E.G., Goual, I., et Mitiche-Kettab R. (2015b).** Amélioration du comportement mécanique de tuf saharien par un traitement aux liants hydrauliques ou organique. 13th Arab Structural Engineering Conference, University of Blida 1, December 13-15, 2015. ALGERIA

Références bibliographiques

- Daheur Elhadj Guesmia (2019)**, Comportement d'un mélange Tuf-Sable de dune sous sollicitations monotones et cycliques, Thèse de doctorat en science, Ecole Nationale Polytechnique, p22 à 30.
- Didier .D (1999)** : précise de chantier matériel et matériau, mise en œuvre, normalisation, AFNOR, 258 P.
- Domec, M., Alloul, B., (1980)**. Construction des chaussées au Sahara. Rapport technique du Laboratoire central des travaux publics, Alger.
- Fenzy, E., (1966)**. Particularité de la technique routière au Sahara. Revue générale des routes et aérodromes, N° 411, p. 57-71.
- Florian .W. (2010)** : rapport d'identification des sols, école polytechnique fédération Lausanne.
- Fooks, P. G., & Higginbotham, I. E. (1968)**. Problem of construction aggregates in desert areas with particular reference to the Arabian peninsula. Proceedings of institution of civil engineers, 39-67.
- Gandil P. (1988)**. Cours de routes, ENPC, 1988.
- Goual, I., Goual, M.S., Taibi, S. and Abou-Bekr, N. (2012)**. Amélioration des propriétés d'un tuf naturel utilisé en technique routière saharienne par ajout d'un sable calcaire. European Journal of Environmental and Civil Engineering, Vol. 16, No. 6, pp. 744–763
- GTR (1992)**. Réalisation des remblais et des couches de forme. Guide technique, LCPCSETRA, 204 p .
- Gueddouda, M.K (2010)**. Comportement hydro-mécanique des sols compactés : Application à la conception d'une barrière ouvragée « sable de dune –bentonite. Thèse de doctorat, université de Tlemcen-Algérie.
- Gueddouda, M.K; Abou-Bekr N; Taibi S; Lamara M. (2011)**. Comportement hydrique et mécanique d'un mélange sable de dune-bentonite. European Journal of Environmental and Civil Engineering. Volume 15 – No. 1/2011, pages 25 à 47.
- Inal A. (1980)**. Route en milieu désertique. IVème Conférence routière Africaine, Nairobi, 20-25jan.
- Jean-Noël,(2006)**, Précis de karstologie,288 pages ,21_22.
- Larabi (1998)**. Comportement des assises en matériaux granulaires en zones désertiques. Séminaire International « La route transaharienne », Tamanrasset.
- LCPC, (1973)** : Essais de laboratoire et en place de mécanique des sols, note d'information technique.

Références bibliographiques

Mokhtari Nor-Elhouda (2019), Caractéristiques physiques des mortiers à base des sables de dunes de différents sites d'Adrar, MEMOIRE DE FIN D'ETUDES en vue de l'obtention du diplôme de MASTER en Génie Civil, UNIVERSITE d'ADRAR, Page 8.

Morsli, M., Bali, A., Fleureau, J. M., (2001). Particularité de la technique routière Saharienne. III ème Congrès Algérien de la Route, Alger.

Morsli, M. (2007). Contribution à la valorisation des tufs d'encroûtement en technique routière saharienne. Thèse de doctorat, école Nationale Polytechnique, Alger.

NFP 18-598 : équivalent de sable, granulat, Norme Française, , octobre 1991.

NF P 94-050; Norme française; détermination de la teneur en eau.

NFP 94-051 : Sols : Reconnaissance et essais -Détermination des limites d'Atterberg - Limite de liquidité à la coupelle - Limite de plasticité au rouleau.

NFP 94-056 : Sols : Reconnaissance et essais - Analyse granulométrique - Méthode par tamisage à sec après lavage.

NFP 94 – 057 : Analyse granulométrique des sols - Méthode par sédimentation.

NFP 94-078 : Sols : Reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion-Indice CBR immédiat - indice portant immédiat mesure sur échantillon compacte dans le moule CBR.

NFP 94-093 : Sols : Reconnaissance et essais - Détermination des références de compactage d'un matériau essai Proctor normal - Essai Proctor modifié.

NF P 98- 230-2 : Essais relatifs aux chaussées- préparation des matériaux traités aux liants hydrauliques ou non traités – fabrication des éprouvettes de sables ou de sols fins par compression statique.

Struillou L, Alloul B., (1984). Valorisation routière des tufs d'encroûtements en Algérie. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, Symposium International sur les Granulats.

SETRA – LCPC : « *Manuel de conception des chaussées neuves à faible trafic, SETRA – LCPC, juillet 1980* ».

Zeghichi leila, Lahmadi azzeddine, Benghazi Zied (2012), Contribution à l'étude des caractéristiques du sable de dune et de son effet sur le comportement des bétons autoplaçants, Université de M'sila, B.P. 166, Ichbilila, M'sila 28000, Algérie, 09-12 Mai, 2012.

Les Annexes

Annexe A

ANNEX01 : Analyse granulométrique par tamisage

Echantillon N01 : sable de dune d'oued Metlili

MASSE sec de l'échantillon à analyser (après étuvage) : M=600g

Poids de l'échantillon (g)	Diameter (mm)	Rufus particle (g)	Rufus cumuli (g)	Rufus (%)	Compliment à 100	Tami sat (%)
600	1	0	0	0	100	100
	0.63	2.2	2.2	0.37	99.3	100
	0.500	9.7	11.9	1.98	98.02	98
	0.315	151.5	163.4	27.23	72.77	73
	0.250	161.8	325.2	54.20	45.80	46
	0,160	52.4	377.6	62.93	37.07	37
	0.125	115.4	493	82.17	17.83	18
	0.063	89.1	582.1	97.02	2.98	3

ANNEXE 02 : Analyse sédimentométrie

Durée de chute	Temps	Lecture de Densimètre R'	t (°C)	Correction (c)	Lecture corrigée R1 =R'+C	% des elements (D) sur ensemble de l'échantillon	D (mm)
17.6°C	8H15	30 "	21	-0.410	20.590	0.075	71
17.6°C	8H16	01'	20	-0.410	19.590	0.055	68
17.6°C	8H17	02'	19	-0.410	18.590	0.038	64
17.6°C	8H20	05'	17	-0.410	16.590	0.025	57
17.6°C	8H25	10'	16	-0.410	15.590	0.017	54
17.6°C	8H35	20'	14	-0.410	13.590	0.012	47
17.6°C	8H55	40'	11	-0.410	10.590	0.008	37
17.4°C	09H35	80'	10	-0.584	9.416	0.006	32
17.4°C	10H55	160'	8.5	-0.584	7.416	0.004	26
17.2°C	13H35	320'	07	-0.470	6.530	0.003	23

18.8°C	24H	144 0'	05	-0.214	4.786	0.00 2	17
17.8°C	48H	-	03	-0.380	2.620	0.00 1	09
17.8°C	72H	-	01	-0.380	0.620	0.00 5	02

ANNEXE 03 : Analyse granulométrique par tamisage

Echantillon N°2 : F i n e s Calcaire

Masse sec de l'échantillon à analyser (après étuvage) : M= 500 g,

Poids de l'échantillon	Diamètre (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)	Refus (%)	Complément à 100	Tamisé (%)
500g	5	0,00	0,00	0,00	100,00	100
	2	0.00	0.00	0.00	100.00	100
	1	0.00	0.00	0.00	100,00	100
	0,4	15.98	15.98	3.20	96,80	97
	0,2	51.95	67.93	13.59	86,41	86
	0,1	60.34	128.27	25.65	74,35	74
	0.063	15.25	143.52	28.70	71,30	71

ANNEXE04 : Limites d'Atterberg

Liquidité- Plasticité Echantillon N°1 : Sable de dune d'Oued Metlili

Limite de liquidité						
	1 Essai		2 Essai		3 Essai éventuellement	
Nombre de coups	19					
N° de la tare	T6	R4				
Poids total humide	37.34	40.65				
Poids total sec	36.48	39.37				
Poids de la tare	31.79	32.37				

Les Annexes

Poids de l'eau	0.86	1.28				
Poids du sol sec	4.69	7				
Teneur en eau (%)	18.3	18.3				
Moyenne	18.31					
Limite de liquidité	17.71					

ANNEXE05 : Limites d'Atterberg

Liquidité- Plasticité Echantillon N°2 : FINES Calcaire

Limite de liquidité

	1 Essai		2 Essai		3Essai éventuellement	
Nombre de coups	19					
N° de la tare	106	146				
Poids total humide	22.75	24.75				
Poids total sec	21.26	22.86				
Poids de la tare	13.86	13.6				
Poids de l'eau	1.51	1.89				
Poids du sol sec	7.43	9.26				
Teneur en eau (%)	20.3	20.4				
Moyenne	20.37					
Limite de liquidité	19.70					

ANNEXE 06 : Essai Equivalent DE SABLE DE DUNE d'Oued Metlili

		Essai n° 1	Essai n° 2	Moyenne %
Sable de dune d'Oued Metlili	h1 (cm)	103	103	65.04%
	h2 (cm)	60	74	
	ES = $\frac{h^2}{h1}$	58.25	71.84	

ANNEXE 07 : Essai volume au bleu de méthylène SABLE DE DUNE d'Oued Metlili

Prise D'essai Mh =200g			<p>Volume de bleu injecte dans la prise d'essai $V = 05\text{cm}^3$</p> <p>Valeur au bleu de la prise d'essai passant a :</p> <p>$Vb = V/Ms = 05 / 199.74 = 0.03$</p> <p>$VB t = Vb \times \% t / 100$</p>
Calcul de la Teneur en Eau			
Tare N°	G02	Z47	
PT	410.07	422.29	
Ph+T	409.7	421.9	
PS+T	119.33	119.74	
Ps	0.37	0.39	
W (%)	0.13	0.13	
W _{moy} (%)	0.13		
<p>$W\% = ph - ps \cdot 100 = 0.13$</p> <p>$Ps = ph \times 100 / (100 + w (\%)) = 199.74$</p>			

ANNEXE08 : Essai volume au bleu de méthylène - FINES Calcaire

Prise d'essai Mh =200 g			<p>Volume de bleu injecte dans la prise d'essai $V = 05\text{cm}^3$</p> <p>Valeur au bleu de la prise d'essai passant a :</p> <p>$V_b = V/M_s = 5 / 59.91 = 0.08$</p>
Calcul de la Teneur en Eau			
Tare N°	X1	D20	
PT	172.63	157.33	
Ph+T	172.43	157.17	
PS+T	36.65	53.39	
Ps	0.2	0.16	
W (%)	0.15	0.15	
W moy	0.15		
$W\% = (Ph-Ps).100 = 0.15$ $P_s = Ph \times 100 / 100 + w (\%) = 59.91$			

ANNEXE09 : Essai Proctor modifié Echantillon N°02 –Fines Calcaire

poids de l'eau ajoutée	8%		10%		12%		14%		16%	
Poids total humide	3756		3787		3867		3808		3816	
poids du moule	1792		1792		1792		1792		1792	
poids du sol humide	1964		1995		2075		2016		2024	
poids du sol sec	1815		1818		1853		1769		1751	
volume du moule	926		926		926		926		926	
densité sèche	1,96		1,96		2		1,91		1.89	
N° de la tare	15	10	13	6	55	Z30	F1	MT	MZ	I29
poids total humide	486,8	519,1	422,8	400,8	534,4	571,1	529,2	586,4	705,1	512,5
Poids total sec	461,2	490,1	398,2	378,3	493	526,2	483,2	542,6	639,8	469,7
Poids de la tare	144	146	148	146	148	148	154	229	218	197
Poids de l'eau	25,6	29	24,6	22,5	41,4	44,9	46	43,8	65,3	42,8
Poids du sol sec	317,2	344,1	250,2	232,3	345	378,2	329,2	313,6	421,8	272,7
Teneur en eau	8,07	8,43	9,83	9,69	12	11,87	13,97	13,97	15,48	15,69
Moyenne	8,25		9,76		11,94		13,97		15,59	

ANNEXE10 : essai Proctor modifie Echantillon N°01 -sable de dune

pois de l'eau ajoutée	8%		10%		12%		14%		16%	
Poids total humide	3586,3		3626,1		3681,8		3685,1		3685,1	
pois du moule	1792		1792		1792		1792		1792	
pois du sol humide	1794,3		1834,1		1889,8		1893,1		1893,1	
pois du sol sec	1661,3		1667,3		1687,3		1660,6		1631,9	
volume du moule	926,3		926,3		926,3		926,3		926,3	
densité sèche	1,78		1,79		1,82		1,81		1,79	
N° de la tarre	15	10	13	6	55	Z30	F1	MT	MZ	I29
pois total humide	516	526	544	560	509	409	465	496	571	557
Poids total sec	486,5	496,9	507,5	521,5	471	382,1	429	466,2	529,36	510,
Poids de la tarre	144	146	148	146	148	148	154	229	218	197
Poids de l'eau	29,5	29,1	36,5	38,5	38	26,9	36	29,8	41,7	46,4
Poids du sol sec	342,5	350,9	359,5	375,5	323	234,1	275	237,2	311,3 313,6	
Teneur en eau	8,61	8,29	10,15	10,25	11,76	11,49	13,09	12,56	13,39 14,79	
Moyenne	8,45		10,2		11,62		12,82		14,09	

**ANNEXE11 : Compression simple Echantillon N°02 -Fines Calcaire*Sable de
dune**

$\rho_{\max}(\text{t/m}^3)$	2
W_{opm}	12%

Compacité	Densité	Poids du sol sec(g/cm^3)	Poids de l'eau(g/cm^3)	Poids du sol humide(g/cm^3)
100%	2	392.50	47.10	439.60
97%	1.94	380.73	45.69	426.41
95%	1.90	372.88	44.75	417.62

N d'éprouvette	Poids réel après le compactage	P réel l'écrasement	Teneur en eau	D(ϕ) éprouvette	Hauteur éprouvette	Volume éprouvette	Densité l'écrasement	Compacité à l'écrasement	Lecteur	R (kg/cm^3)	Rc moy
100%	438.16	391.27	11.98	5	10	196.25	1.99	99.96	0.704	3.66	4.03
100%	438.18	391.41	11.95	5	10	196.25	1.99	99.30	0.845	4.39	
97%	424.77	378.69	12.17	5	10	196.25	1.93	96.63	0.351	1.82	2.19
97%	424.85	379.17	12.05	5	10	196.25	1.93	97.48	0.492	2.56	
95%	415.26	370.00	12.23	5	10	196.25	1.89	94.36	0.282	1.47	1.44
95%	415.48	370.73	12.07	5	10	196.25	1.89	93.99	0.274	1.42	

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ESSAI PROCTOR	NORMAL <input type="checkbox"/>
	MODIFIE <input checked="" type="checkbox"/>

NF P 94-093 Septembre 1997

Structure : U.GHARDAIA	Lieu de travail : SERVICE	Date :
N° Dossier interne :	Température de séchage : 55C°	Opérateur :
Echantillon : 90SD+10 FC	Teneur en eau Opm	Équipements utilisés : balance – étuve –
Prise d'essai : 2500g	Densité sèche Max :	N° D'inventaire : L022/15/S026 L49/07/86

Poids d'eau ajoutée :	4%		6%		8%		10%		12%	
Poids total humide :	3590		3654		3708		3751		3760	
Poids du moule .:	1792		1792		1792		1792		1792	
Poids du sol humide :	1798		1862		1916		1959		1968	
Poids du sol sec :	1734		1744		1778		1783		1755	
Volume du moule :	926		926		926		926		926	
Densité sèche :	1,87		1,88		1,92		1,93		1,89	
N° de la tare :	S1	N2	1	2	3	4	5	6	11	12
Poids total humid :	82	68	66	47	407	457	357	515	72	77
Poids total sec :	80	66	63	45	388	441	338	486	66	71
Poids de la tare :	18	18	19	15	148	229	145	194	19	19
Poids de l'eau :	2	2	3	2	19	16	19	29	6	6
Poids du sol sec :	62	48	44	30	240	212	193	292	47	52
Teneur en eau :	3,23	4,17	6,82	6,67	7,92	7,55	9,84	9,93	12,77	11,54
Moyenne :	3,70		6,74		7,73		9,89		12,15	

L'opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ESSAI PROCTOR	NORMAL <input type="checkbox"/>
	MODIFIE <input checked="" type="checkbox"/>

Structure : U.GHARDAIA	Lieu de travail : 028	Date : 09 Septembre 1997
N° Dossier interne :	Température de séchage : 55C°	Opérateur :
Echantillon : 80% SD+20% FC	Teneur en eau Opm :	Équipements utilisés : balance – étuve –
Prise d’essai : 2500 g	Densité sèche Max	N° D’inventaire : L022/15/S026 L49/07/86

Poids d’eau ajoutée :	4%	6%	8%	10%	12%					
Poids total humide :	3602	3769	3828	3811	3784					
Poids du moule :	1792	1792	1792	1792	1792					
Poids du sol humide :	1810	1977	2036	2019	1992					
Poids du sol sec :	1740	1861	1886	1839	1782					
Volume du moule :	926	926	926	926	926					
Densité sèche :	1,88	2,01	2,04	1,99	1,92					
N° de la tare :	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
Poids total humid :	486	432	68	90	434	409	428	405	485	521
Poids total sec :	476	421	65	86	418	395	410	382	457	490
Poids de la tare :	229	148	18	20	218	219	225	147	225	219
Poids de l’eau :	10	11	3	4	16	14	18	23	28	31
Poids du sol sec :	247	273	47	66	200	176	185	235	232	271
Teneur en eau :	4,05	4,03	6,38	6,06	8,00	7,95	9,73	9,79	12,07	11,44
Moyenne	4,04	6,22	7,98	9,76	11,75					

L’opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ESSAI PROCTOR	NORMAL <input type="checkbox"/> MODIFIE <input checked="" type="checkbox"/>
----------------------	--

NF P 94-093 Septembre 1997

Structure : U.GHARDAIA N° Dossier interne : Echantillon : 70%SD+30% FC Prise d'essai : 2500 g	Lieu de travail : SERVICE CONTROLE Température de séchage : 55C° Teneur en eau Opm : Densité sèche Max :	Date : Opérateur : Équipements utilisés : balance – étuve – N° D'inventaire : L022/15/S026 L49/07/86
---	---	---

Poids d'eau ajoutée :	6%		8%		10%		12%	
Poids total humide :	3638		3680		3836		3812	
Poids du moule :	1792		1792		1792		1792	
Poids du sol humide :	1846		1890		2042		2015	
Poids du sol sec :	1737		1752		1850		1801	
Volume du moule :	926		926		926		926	
Densité sèche :	1,88		1,89		2,00		1,95	
N° de la tare :	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Poids total humid :	503	414	431	487	101	120	110	116
Poids total sec :	485	398	415	467	93	111	100	106
Poids de la tare :	194	145	218	204	19	20	19	18
Poids de l'eau :	18	16	16	20	8	9	10	10
Poids du sol sec :	291	253	197	263	74	91	81	88
Teneur en eau :	6,19	6,32	8,12	7,60	10,81	9,89	12,35	11,36
Moyenne :	6,25		7,86		10,35		11,85	

L'opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ESSAI PROCTOR	NORMAL <input type="checkbox"/>
	MODIFIE <input checked="" type="checkbox"/>

NF P 94-093 Septembre 1997

Structure : U.GHARDAIA	Lieu de travail : SERVICE CONTROLE	Date :
N° Dossier interne :	Température de séchage : 55C°	Opérateur :
Echantillon : 60%SD+40% FC	Teneur en eau Opm :	Équipements utilisés : balance – étuve –
Prise d'essai : 2500 g	Densité sèche Max :	N° D'inventaire : L022/15/S026 L49/07/86

Poids d'eau ajoutée :	6%		8%		10%	
Poids total humide :	3859		3951		3883	
Poids du moule :	1792		1792		1792	
Poids du sol humide :	2067		2159		2091	
Poids du sol sec :	1949		1994		1895	
Volume du moule :	926		926		926	
Densité sèche :	2,10		2,15		2,05	
N° de la tare :	R1	R2	R3	R4	R5	R6
Poids total humid :	103	382	124	110	102	288
Poids total sec :	98	369	116	107	94	275
Poids de la tare :	19	145	18	19	18	147
Poids de l'eau :	5	13	8	7	8	13
Poids du sol sec :	79	224	98	84	76	128
Teneur en eau :	6,33	5,80	8,16	8,33	10,53	10,16
Moyenne :	6,07		8,25		10,34	

L'opérateur

Visa du responsable

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ESSAI PROCTOR	NORMAL <input type="checkbox"/>
	MODIFIE <input checked="" type="checkbox"/>

NF P 94-093 Septembre 1997

Structure : U.GHARDAIA

Lieu de travail : SERVICE
CONTROLE

Date :

N° Dossier interne :

Température de séchage :
55C°

Opérateur :

Echantillon : 50%SD+50
%FC

Teneur en eau Opm :

Équipements utilisés :
balance – étuve –

Prise d'essai : 2500 g

Densité sèche Max :

N° D'inventaire :
L022/15/S026 L49/07/86

Poids d'eau ajoutée : .	6%	8%	10%	12%				
Poids total humide :	3743	3793	3893	3865				
Poids du moule :	1792	1792	1792	1792				
Poids du sol humide :	1951	2001	2101	2073				
Poids du sol sec :	1846	1854	1916	1847				
Volume du moule :	926	926	926	926				
Densité sèche :	1,99	2,00	2,07	1,99				
N° de la tare :	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Poids total humid :	326	390	356	400	449	372	369	325
Poids total sec :	319	381	346	387	429	352	344	305
Poids de la tare :	192	229	219	225	218	149	132	147
Poids de l'eau :	7	9	10	13	20	20	25	20
Poids du sol sec :	127	152	127	162	211	203	212	158
Teneur en eau :	5,51	5,92	7,87	8,02	9,48	9,85	11,79	12,66
Moyenne :	5,72	7,95	9,65	12,23				

L'opérateur

Visa du responsable

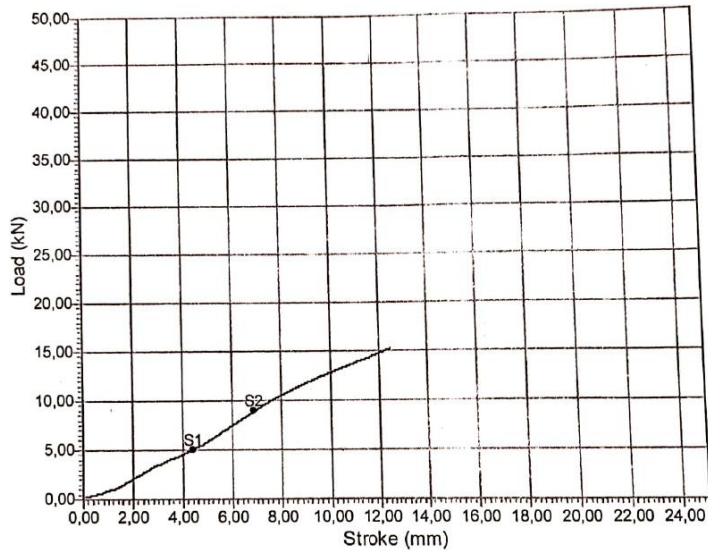


ESSAI CBR

NF P 94-078

14-03-2023

Donnes		Eprouvette	
Date :	07-02-2023	Type :	Cylindre
Structure	Unité Ghardaia	Diamètre :	152 mm
Lieu de travail	Service Matériaux	Hauteur :	116 mm
N° Dossier Interne	ETUDE	Wopm	%
Echantillon	POUDRE	MV Séche	t/m3
Traitement	CBR 4H	W après immersion	%
Balance / Euve	L21.51.15/L49.10.15	Section :	18145,839 mm ²
Presse CBR/Damme P	L74.07.15/L54.03.15		
Valeur de déformation	%		



Résultats

Valeur de pénétration n°1 :	S1	4,42791	mm
Valeur de pénétration n°2 :	S2	6,92791	mm
Charge de pénétration n°1 :	F1	37,966943	%
Charge de pénétration n°2 :	F2	44,637208	%
Index CBR :	F	44,637208	%

Opérateur: B.L

Responsable : Djekaoua M.

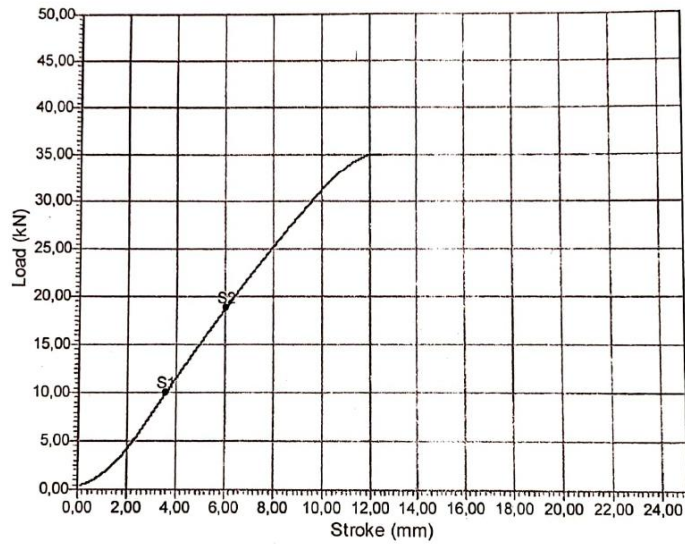


ESSAI CBR

14-03-2023

NF P 94-078

Donnes		Eprouvette	
Date :	06-02-2023	Type :	Cylindre
Structure	Unité Ghardaia	Diamètre :	152 mm
Lieu de travail	Service Matériaux	Hauteur :	116 mm
N° Dossier Interne	ETUDE	Wopm	%
Echantillon	POUDRE	MV Séche	t/m3
Traitement	CBR Immédiat	W après immersion	%
Balance / Euve	L21.51.15/L49.10.15	Section :	18145,839 mm ²
Presse CBR/Damme P	L74.07.15/L54.03.15		
Valeur de déformation	%		



Résultats

Valeur de pénétration n°1 :	S1	3,58991	
Valeur de pénétration n°2 :	S2	6,08991	
Charge de pénétration n°1 :	F1	75,106849	%
Charge de pénétration n°2 :	F2	94,50992	%
Index CBR :	F	94,50992	%

Opérateur: Beddiaf.Ch

Responsable : Djekaoua M.

RAPPORT D'ESSAI ESSAI PROCTOR

NF P94-093

Client :
Projet : poudre
Endroit :

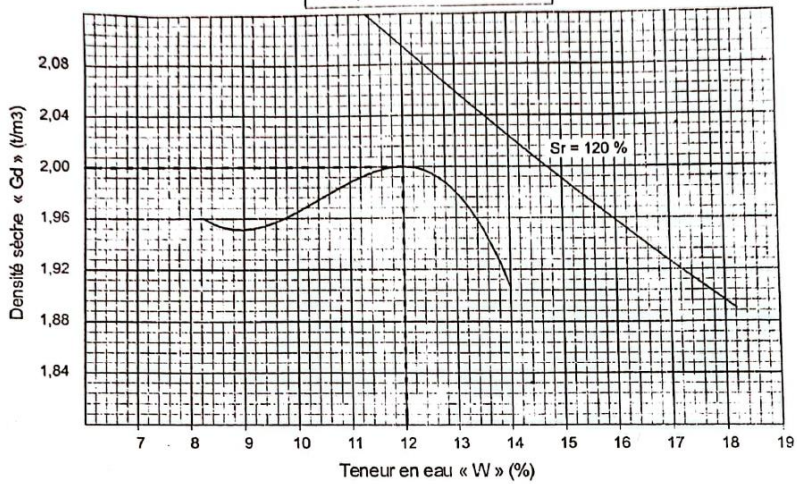
N° Projet : sans titre
Réf. Client :
N° rapport : Rév :

Echantillon n° :
Sondage n° :
Profondeur :
Matériaux :
Provenance :

Endroit de prélèvement :
Prélevé par :
Date prélèvement :
Reçu le :
Date essais :

Densité des grains : 2,65
Refus à 20mm (%) :

$\gamma_d \text{ max} = 2,00 \text{ (t/m}^3\text{)}$
 $W_{opm} = 12, \text{ (}\% \text{)}$



MOULE

Proctor
CBR

ENERGIE

Normal
Modifié

Densité des grains

Estimée
Mesurée

TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	8,3	9,8	11,9	14,0				
Densité (T/m3)	1,96	1,96	2,00	1,91				

© Sollesis 2007

Remarque :

Préparé par :

Date :

Approuvé par :

Date :

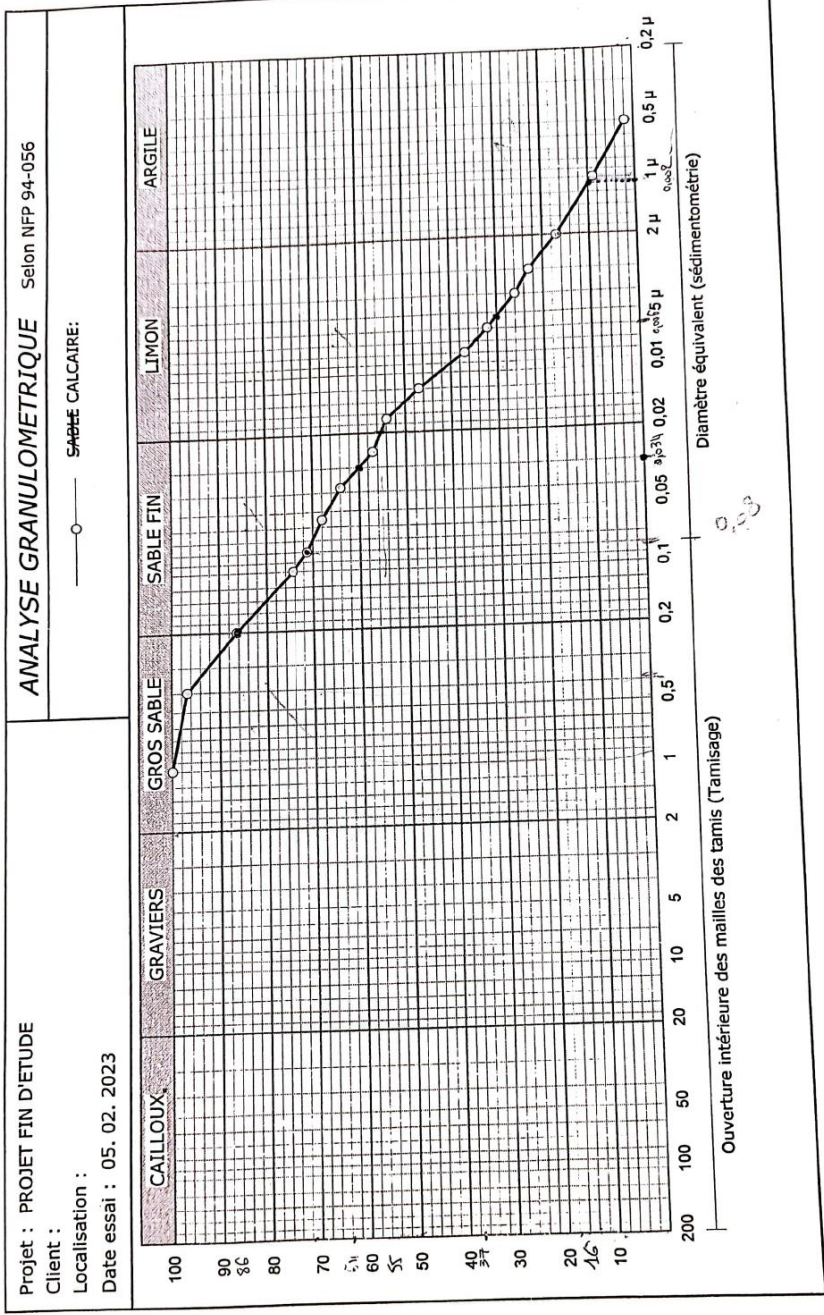
55 5 10
 50
 DU SUD
 15
 20
 L49.01.91
 45
 40
 30
 35
 LA PRISE
 LA PRISE D'ESSAI

Projet fin d'étude
 poudre calcaire
 P = 60 g

PRISE D'ESS.		CALCUL DE LA .	
TARE N°	X ₁		
PT	172,63		
Ph + T	172,43		
Ps + T	36,65	53,07	
Ps	0,2	0,16	
W (%)	0,15	0,15	
W _{mov} (%)	0,15		
CALCUL DE LA MASSE SECHE DE LA			
PRISE D'ESSAI M _s :			
$W \% = \frac{Ph - Ps}{Ps} \cdot 100 = 0,15$			
$Ps = \frac{Ph \times 100}{100 + W \%} = 59,91$			
		$VB = \frac{V}{Ms} = \frac{0,05}{59,91} = 0,08$	
		$VB_t = \frac{VB \times \% t}{100} = /$	

L'Opérateur

Visa du responsable



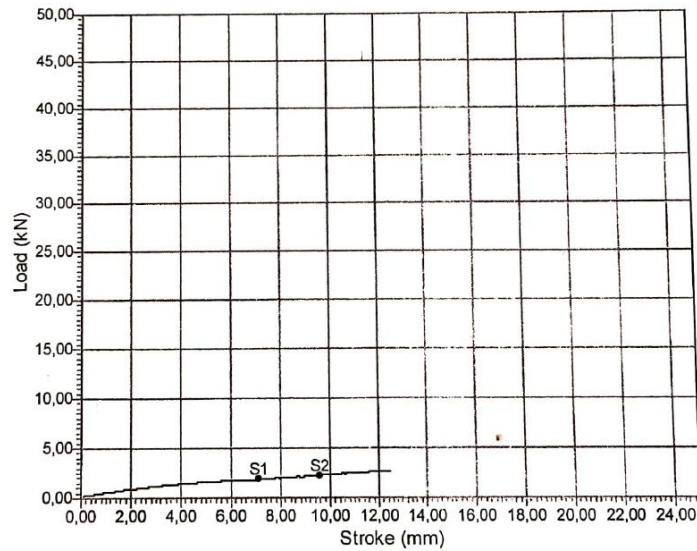


ESSAI CBR

14-03-2023

NF P 94-078

Donnes		Eprouvette	
Date :	07-02-2023	Type :	Cylindre
Structure	Unité Ghardaia	Diamètre :	152 mm
Lieu de travail	Service Matériaux	Hauteur :	116 mm
N° Dossier Interne	ETUDE	Wopm	%
Echantillon	SABLE DU DUNE	MV Séche	t/m ³
Traitement	CBR 4H	W après immersion	%
Balance / Euve	L21.51.15/L49.10.15	Section :	18145,839 mm ²
Presse CBR/Damme P	L74.07.15/L54.03.15		
Valeur de déformation	%		



Résultats

Valeur de pénétration n°1 :	S1	7,135928	mm
Valeur de pénétration n°2 :	S2	9,635928	mm
Charge de pénétration n°1 :	F1	13,89109	%
Charge de pénétration n°2 :	F2	11,285094	%
Index CBR :	F	13,89109	%

Opérateur: B.L

Responsable : Djekaoua M



ESSAI CBR

14-03-2023

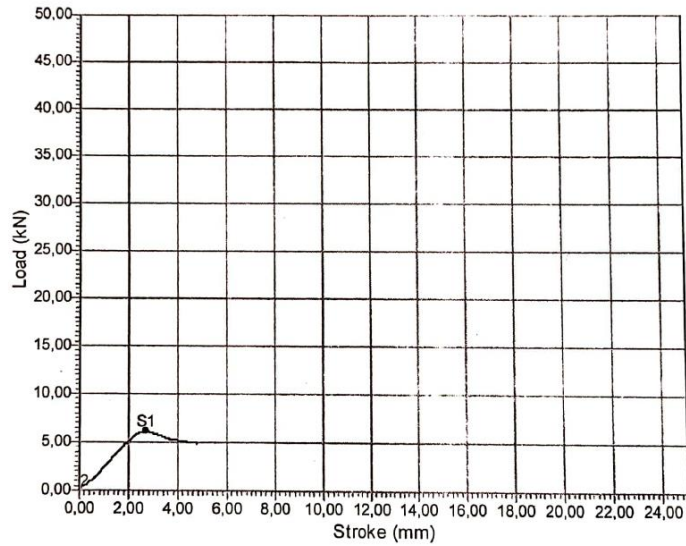
NF P 94-078

Donnes

Date : 06-02-2023
Structure : Unité Ghardaia
Lieu de travail : Service Matériaux
N° Dossier Interne : ETUDE
Echantillon : S.DU DUNE**
Traitement : CBR Immédiat
Balance / Euve : L21.51.15/L49.10.15
Presse CBR/Damme P : L74.07.15/L54.03.15
Valeur de déformation : %

Eprouvette

Type : Cylindre
Diamètre : 152 mm
Hauteur : 116 mm
Wopm : %
MV Séche : t/m3
W après immersion : %
Section : 18145,839 mm²



Résultats

Valeur de pénétration n°1 :	S1	2,713521	
Valeur de pénétration n°2 :	S2	0	
Charge de pénétration n°1 :	F1	46,194104	%
Charge de pénétration n°2 :	F2	0	%
Index CBR :	F	46,194104	%

Opérateur: B.LARBI

Responsable : Djekaoua M.C

551

10 U SUD

50

Projet de l'étude
Sable de l'usine
2009

15

5

49.01.91

0.				/B	(VB) 9
PRISE D'ESSAI				LA PRISE	
CALCUL DE LA TENE					
TARE N°	G02	351		30	
PT	410,07			DE LA PRISE D'ESSAI	
Ph + T	409,7	421,7		PROBANT A :	
Ps + T	119,33	119,74		VB = $\frac{V}{Ms} = \frac{0,05}{199,74} = 0,03$	
Ps	0,37	0,39			
W (%)	0,13	0,13			
W _{moj} (%)	0,13				
CALCUL DE LA MASSE SECHE DE LA PRISE D'ESSAI Ms :				VB _t = $\frac{VB \times \% t}{100} = /$	
W% = $\frac{Ph - Ps}{Ms} \cdot 100 = 0,13$					
Ps = $\frac{Ph \times 100}{100 + W\%} = 199,74$					

L'Opérateur

Visa du responsable

F-5-Sah.03