



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث
العلمي



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الري والهندسة المدنية

Département Hydraulique et Génie Civile

Mémoire Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine:ST

Filière: Génie Civile

Spécialité: Structures

N°d'enregistrement

/...../...../...../...../.....

Thème :

**Etude de l'influence de sable carrière sur les caractéristiques
mécaniques et physiques de sable de dune**

Déposé le : 22/06/2023

Par :

BOUMRIGA ILYES & ALOUANI SMAIL

Évalué Par le jury composé de :

Daheur.EG

M.C.A

Univ Ghardaia

Président

Azzouz.FZ

M.A.A

Univ Ghardaia

Examineur

Nessil.H

M.A.A

Univ Ghardaia

Encadreur

Année universitaire : 2022/2023

DEDICASSE:

Je dédie humblement ce travail à toutes les personnes qui ont joué un rôle important dans ma vie et m'ont soutenu jusqu'à présent. Tout d'abord, à mon cher père, qui est l'être le plus généreux que je connaisse, ainsi qu'à ma tendre mère, la femme la plus patiente que je n'ai jamais rencontrée. Je tiens également à remercier mes frères et ma sœur pour leur soutien et leur amour inconditionnel. Je ne pourrais jamais oublier ceux qui m'ont aidé à commencer mes études supérieures et à poursuivre ma carrière universitaire. Merci à tous ceux qui ont été à mes côtés et qui m'ont donné une main secourable tout au long de mon parcours. Je voudrais également dédier ce travail à mes chères amies qui ont toujours été là pour moi, et à tous mes professeurs qui ont joué un rôle essentiel dans ma formation académique. Enfin, je tiens à dédier ce travail à tous les étudiants du département de génie civil avec qui j'ai partagé de précieux moments d'apprentissage.

ILYESS, SMAIL

REMERCIEMENT

Nous aimerions exprimer nos sincères remerciements à Dieu pour nous avoir aidés et donné la force de terminer humblement ce travail en espérant qu'il soit satisfaisant. Et nous remercions nos familles et nos parents en particulière. Nous tenons à remercier chaleureusement notre encadrant, M. NESSILE., pour son soutien, ses encouragements, sa disponibilité et ses conseils précieux. Nous sommes également reconnaissants envers tout le personnel pédagogique et administratif du département de génie civil de l'Université Ghardaïa. Nous tenons à remercier le jury honorable pour l'examen de notre travail. Nous exprimons également notre gratitude envers tous nos amis, en particulier ceux de notre promotion, ainsi que tous les étudiants en génie civil de l'Université de Ghardaïa. Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Merci à vous tous. ILYES et SMAIL

LISTE DES SYMBOLES

P_{app} : masse volumique apparente

ρ_{abs} : masse volumique absolue

D_m : diametre maximale de tamis

D_c : diametre minimale de tamis

R_i : refus cumule dans le tamis « i »

T_i : tamisat cumule dans le tamis « i »

C_u : coefficient d'uniformite ou coefficient de hazen

C_c : coefficient de courbure

W_p : limite de plasticite

W_l : limite de liquidite

I_p : indice de plasticite

V_{bs} : valeur au bleu de methylene

E_{sv} : valeur de l'equivalent de sable visuel

E_{sp} : equivalent de sable au piston

W_{opt} : la teneur en eau optimale

$\Gamma_{d\ max}$: la densite seche maximale

I_{pi} : l'indice portant immediat de cbr

R_c : resistance a la compression

GTR : guide technique routier

LTPS : laboratoire des travaux publics du sud

W : pourcentage la teneur en eau

E_s : equivalent de sable (%)

Sommaire

LISTE DES SYMBOLES	4
SOMMAIRE.....	5
LISTE DES FIGURES	7
LISTE DES TABLEAUX.....	8
LISTE DES PHOTOS	9
ملخص.....	11
ABSTRACT	12
RESUME.....	13
INTRODUCTION GENERALE	14

CHAPITRE I : CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES DE SABLE DE DUNE.16

I.1 Introduction:.....	17
I.2 Définition de sable de dune :.....	17
I.2.1 Sable :.....	17
I.2.2 Sable de dune :.....	17
I.3 Caractéristiques de sable de dune:	18
I.4 Différentes formes des dunes [2] :.....	18
I.4.1 Dune de barkhane:.....	18
I.4.2 La dune parabolique:.....	19
I.4.3 Les dunes en étoile:	19
I.4.4 Les dunes transversales:	19
I.4.5 Les dunes longitudinales:	20
I.5 Utilisation du sable de dunes dans le domaine routier :.....	20
I.6 Classification des sables :	21
I.7 Conclusion :	22

CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES GEOTECHNIQUES DE SABLE CARRIERE.....23

II.1 Introduction :	24
---------------------------	----

II.2 Définition de sable de carrière :	24
II.3 La technique routière saharienne (TRS)	24
II.3.1 Principes de la technique routière Saharienne :	25
II.3.2 Domaine d'application :	26
II.3.3 Mode de construction des routes au Sahara	31
II.4 Le guide technique routière (GTR) :	34
II.5 Conclusion :	36
CHAPITRE III : IDENTIFICATION DES MATERIAUX UTILISES	37
III.1 Introduction :	38
III.2 Localisation des échantillons :	39
III.2.1 Sable de Carrière (BEN HAMMOUDA) :	39
III.2.2 Sable de dunes de METLILI :	40
III.3 Etude d'identification géotechnique :	40
III.3.1 Masse volumique :	40
III.3.2 Analyse granulométrique :	43
I.1.1. Mesure de la pollution argileuse :	50
III.3.3 Essai de compactage et portance	60
III.3.4 Analyse chimique :	68
III.4 Conclusion :	69
CHAPITRE IV : ETUDE DES MELANGES : SABLE DE DUNES + SABLE CARRIERE	70
IV.1 Introduction :	71
IV.2 Essai Proctor modifié :	72
IV.2.1 Tracé des courbes Proctor modifiés:	72
IV.3 Comparaison des résultats:	75
IV.4 Tracé des courbes CBR:	76
IV.5 Influence sur l'indice CBR:	78
IV.6 Conclusion.....	82
CONCLUSION GENERALE	83
REFERENCES BIBLIOGRAPHIES	84

Liste des figures

Figure I.1 : <i>Dune de barkhane</i>	18
Figure I.2 : Dune Parabolique.....	19
Figure I.3 : <i>Dunes en étoile</i>	19
Figure I.4 : Dune Transversale	20
Figure I.5 : <i>dune longitudinal</i>	20
Figure I.6 : Classification Des Sables Par Tamis.....	21
Figure II.1 : Fuseau de spécification de la technique routière saharienne (Fenzy, 1966).	28
Figure II.2 : Coupe transversale type d'une chaussée saharienne.	31
Figure II.3 : <i>Classification des sols fins selon GTR</i>	35
Figure III.1 : Localisation de sable de carrière	39
Figure III.2 : localisation de sable de dune metlili	40
Figure III.3 : étapes de l'essai la masse volumique apparente.....	41
Figure III.4 : étapes de l'essai la masse volumique absolue.....	42
Figure III.5 : colonne de tamis.....	44
Figure III.6 : Courbe granulométrique du sable de dunes et sable de carrière	49
Figure III.7 : Etapes de l'essai de limite de liquidité.....	52
Figure III.8 : Courbe de limite de liquidité sable de carrière	54
Figure III.9 : <i>Mesure de l'essai équivalent sable</i>	56
Figure III.10 : Papier filtre de l'essai au bleu de méthylène sable de carrière.....	59
Figure III.11 : Papier filtre de l'essai au bleu de méthylène du sable de dunes	59

Figure III.12 : <i>Courbe de Proctor Modifié de sable de dune</i>	62
Figure III.13 : <i>Courbe de Proctor Modifié de sable de carrière</i>	63
Figure III.14 : Variation de la force du piston en fonction de son enfoncement des sables.	66
Figure IV.1 : Organigramme De Recherche D'une Formulation Optimale	71
Figure IV.2 : Courbe Proctor MODIFIÉ (SD90% + SC10%).....	73
Figure IV.3 : Courbe Proctor MODIFIÉ (SD60% + SC20%).....	73
Figure IV.4 : Courbe Proctor MODIFIÉ (SD70% + SD30%).....	74
Figure IV.5 : Variation De γ_{dmax} En Fonction Du Pourcentage De SC	76
Figure IV.6 : Variation De La Force Du Piston En Fonction De Son Enfoncement (Mélanges Immédiatement)	77
Figure IV.7: variation de la force du piston en fonction de son enfoncement (mélanges cbr 4h)	78
Figure IV.8 : Variation de I CBR en fonction des différents pourcentages de SC.....	81

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Classification GTR (SETRA-LCPC 1980).....	35
Tableau III.1 : Essais D'identification.....	38
Tableau III.2 : résultats de la masse volumique apparente et absolue	42
Tableau III.3 : résultats granulométrie de sable de dune	45
Tableau III.4: résultats granulométrie de sable de carrière.....	46
Tableau III.5 : <i>Résultats de l'analyse granulométrique de sable de carrière et sable de dunes</i>	46
Tableau III.6 : Valeurs de Limites d'Atterrer du Sable de carrière et sable de dunes.....	53

Tableau III.7 : résultats de limite de liquidité de sable de dune	53
Tableau III.9 : résultats de limite de liquidité de sable de carrière	54
Tableau III.10 : resultat d'equivalent de sable	56
Tableau III.11 : Spécification d'ES pour la construction des chaussées	57
Tableau III.12 : Valeurs des coefficients VB de sable de carrière.....	60
Tableau III.13: Valeurs des coefficients VB du sable de dunes	60
Tableau III.14 : Caractéristiques de compactage pour quelques matériaux routiers	63
Tableau III.15 : Caractéristiques de compactage et de portance	65
Tableau III.16 : Résultats de l'analyse chimique de sable de dune et de sable calcaire	68
Tableau IV.1 : Influence De L'ajout De SD Sur γ_{dmax} Et W_{opt}	75
Tableau IV.2: Résumé Des Résultats De Proctor Modifiée	75
Tableau IV.3 : Résultats De L'indice Cbr Immédiatement	79
Tableau IV.4 : Résultats de l'indice CBR 4H.....	80

Liste des photos

Photo III.1 : tamiseuses électrique	44
Photo III.2 : materiel de l'essai sedimentmetric	48
Photo III.3 : appareil de casagrande.....	51
Photo III.5 : Presse CBR.....	64
Photo III.6 : Echantillon Et Moule De L'essai Compression Simple [2]	67
Photo III.7 : Appareille de compression simple	67



ملخص

يتم انجاز الطرق وفق معايير و مقاييس وطنية ، و يعتمد أساسا على المواد الأولية (التيف ، الزفت) ، و حيث أن بعض المناطق في العالم تفتقر لهذه المواد الأولية ذات الجودة العالية وخاصة المناطق الصحراوية في الجزائر و التي يستدعي إنجاز الطرق فيها تكلفة إضافية كلما اتجهنا نحو الجنوب و هي تكلفة نقل هذه المواد ، و لهذا قررنا أن نجري بحثا حول مواد متوفرة بالصحراء الجزائرية و بخصائص مكافئة لمادة التيف في مجال إنشاء الطرق .

و بهذا البحث سنقوم بدراسة خصائص رملين هما رمل الكثبان و رمل المحجر من اجل استخدامهما في مجال انشاء الطرق للحصول على احسن تجربة من حيث الكفاءة و التكلفة . و تقوم هذه الدراسة التجريبية المخبرية على أساس الخلط بين الرملين و دراسة الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية له ، و تتيح هذه الدراسة استغلال بقايا و مخلفات المحاجر التي بالجنوب

الكلمات المفتاحية : رمل الكثبان ، رمل المحاجر ، تثمين ، التيف ، خليط رمل الكثبان و رمل المحاجر

Abstract

The roads are carried out in accordance with national norms and standards, and depend mainly on raw materials (typhus, asphalt), and since some regions of the world lack these high quality raw materials, especially the desert areas of Algeria, and where the completion of the roads requires an additional cost every time we go south and the cost of transporting these materials, And for this, we decided to make repairs on the means. Equivalent properties of typhoid in the field of road construction. With this research, we will study the properties of two sands, which are sand dunes and quarry sand, in order to use them in the field of road construction to obtain the best experience in terms of efficiency and cost. And this experimental laboratory study is based on the mixture of the two sands and the study of the physical and mechanical properties of it, and this study allows the exploitation of the remains and remains of the quarries of the South.

Keywords: sand dunes, quarry sand, valorization, tuf, SD and SC mix

Résumé

Les routes sont accomplies conformément aux normes et normes nationales, et dépendent principalement des matières premières (Tuf, asphalte), et puisque certaines régions du monde manquent de ces matières premières de haute qualité, en particulier les zones désertiques d'Algérie, et où l'achèvement des routes nécessite un coût supplémentaire chaque fois que nous allons au sud et le coût de transport de ces matériaux, et pour cela, nous avons décidé de faire des réparations sur le moyen. Propriétés équivalentes de tuf dans le domaine de la construction de routes. Avec cette recherche, nous étudierons les propriétés de deux sables, qui sont les dunes de sable et le sable de carrière, afin de les utiliser dans le domaine de la construction de routes pour obtenir la meilleure expérience en termes d'efficacité et de coût. Et cette étude expérimentale en laboratoire est basée sur le mélange des deux sables et l'étude des propriétés physiques et mécaniques de celui-ci, et cette étude permet l'exploitation des restes et des restes des carrières du Sud.

Mots clés: dunes de sable, sable de carrière, valorisation, tuf, mélange SD et SC



INTRODUCTION GENERALE

Le mélange de sable de dune et de sable de carrière s'agit de combiner deux types de sable différents afin d'obtenir un matériau de construction plus performant et adapté aux besoins spécifiques d'un projet. Le sable de dune est un sable naturel provenant de l'érosion des roches et des minéraux. Il est caractérisé par une granulométrie fine et uniforme, ainsi qu'une grande porosité qui permet une bonne perméabilité.

Le sable de carrière, quant à lui, est généralement produit par extraction de carrières et a une granulométrie plus grossière et une densité plus élevée que le sable de dune. En mélangeant ces deux types de sable, on peut obtenir un matériau de construction plus solide et plus stable, avec une granulométrie adaptée aux besoins du projet. Le mélange de sable de dune et de sable de carrière est notamment utilisé pour la réalisation de béton, d'enduits, de mortiers, de dallages, de pavés et d'autres éléments de construction. Cependant, il convient de noter que la qualité du mélange dépendra de la qualité des sables utilisés et de leur proportion dans le mélange. Une mauvaise sélection ou proportion de ces deux types de sable peut entraîner des défauts dans la construction, comme une faible résistance, une mauvaise adhérence, ou encore une mauvaise tenue dans le temps. C'est pourquoi il est important de bien étudier les propriétés des sables et de les sélectionner avec soin avant de les mélanger.

A travers cette étude, nous voulons tester l'efficacité de ce mélange sable de dune et sable de carrière dans le domaine des routes, améliorer son efficacité.

CHAPITRE I : Caractéristiques géotechniques de sable de dune.

I.1 Introduction:

Le sable des dunes est l'un des matériaux les plus répandus dans notre pays et se trouve dans différentes régions du désert avec des caractéristiques différentes. Cependant, son utilisation comme matériau de construction est limitée. De nombreux chercheurs ont donc cherché à étudier ce matériau et à l'inclure dans les systèmes de construction. Dans ce chapitre, nous discuterons de cet article, de ses caractéristiques et de son utilisation.

I.2 Définition de sable de dune :

I.2.1 Sable :

Le sable est un matériau granulaire naturel constitué de particules de roche fragmentées définies en taille comme le matériau avec des grains plus petits que le gravier et plus gros que le vert (limon). Le sable se trouve dans la nature dans plusieurs régions, telles que les plages, les baies, les grottes de sable et le désert. La composition du sable varie en fonction des sources et des conditions des constituants rocheux locaux, mais le composant le plus courant dans les régions côtières continentales intérieures et non tropicales est la silice (dioxyde de silicium, ou SiO_2) qui se présente généralement sous la forme de quartz, et le carbonate de calcium est le deuxième type de composant sableux le plus courant tel que le métal argon et qui s'est formé au cours du dernier demi-milliard d'années. Le sable est une ressource naturelle non renouvelable et est fréquemment utilisé dans la fabrication du béton [1].

I.2.2 Sable de dune :

Le sable des dunes est le résultat d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivie d'un transport fluvial et parfois éolien. La plus grande partie des formations sableuses est généralement constituée de quartz. Il est caractérisé par une granulométrie fine.

Dans une autre signification le sable de dune qui s'impose du fait de son abondance dans la nature (Sahara), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propreté apparente, constitue la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir. [2]

I.3 Caractéristiques de sable de dune:

Les dunes de sable sont constituées à 59% de grains de sable et les quelques ratios restants représentent des granules de celtites et certains résidus d'autres granulés de sable organiques. Les grains de sable varient en taille de 0,02 à 2,0 mm et sont chimiquement composés des mêmes composants. Les dunes peuvent être homogènes ou hétérogènes et leur couleur est soit jaune clair en raison de la présence de minéral quartz et l'absence de matière organique ou de structures rougeâtres pour la présence d'oxydes de fer. [1]

I.4 Différentes formes des dunes [2] :

I.4.1 Dune de barkhane:

Ces dunes sont des dunes d'accumulation, édifiées en terrain plat, mobiles, en forme de croissant dont la convexité est tournée au vent. Elles peuvent atteindre une taille de 300 m et s'assembler pour former des formes complexes.

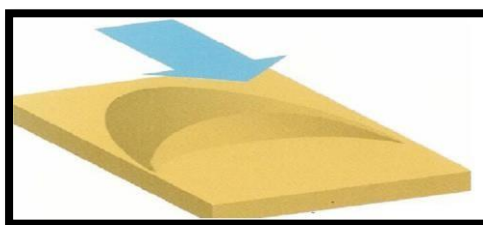


Figure I.1 : *Dune de barkhane*

I.4.2 La dune parabolique:

Une dune dissymétrique en forme de fer à cheval à concavité au vent souvent plus ou moins fixée par la végétation. Sa disposition par rapport à la direction du vent est donc inverse de celle de la barkhane. La dune parabolique est peu mobile et généralement ne migre guère une fois qu'elle est formée

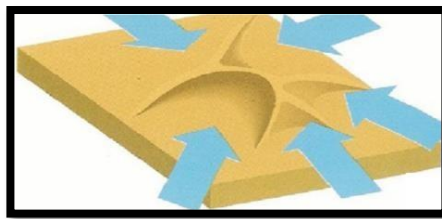


Figure I.2 : Dune Parabolique

I.4.3 Les dunes en étoile:

Immobiles se rencontrent dans les clairières des forêts de pins et seraient dues à un des équilibre dans le système des vents.



Figure I.3 : *Dunes en étoile*

I.4.4 Les dunes transversales:

Mobiles rectilignes, perpendiculaires la direction du vent: la dune du Pilat.

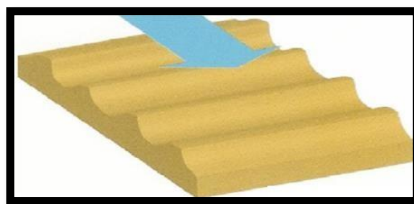
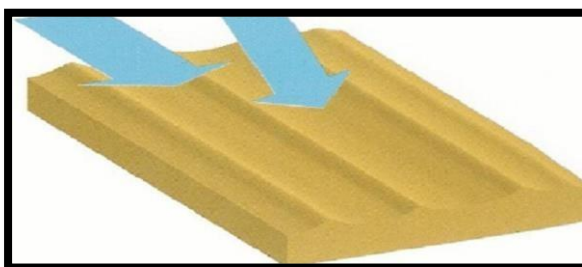


Figure I.4 : Dune Transversale

I.4.5 Les dunes longitudinales:

Allongées dans le sens du vent. Elles peuvent apparaître si le vent change de direction au cours de l'année. Plus précisément elles peuvent apparaître si le vent possède deux directions privilégiées. La dune est alors étirée dans le sens du vent moyen. On parle aussi du « Seif » dunes. Leur dynamique est bien plus complexe que pour les barkhanes

Figure I.5 : *dune longitudinal*

I.5 Utilisation du sable de dunes dans le domaine routier :

L'utilisation du sable en technique routière remonte à une époque ancienne où les ingénieurs avaient recours à ce matériau pour construire des routes. En particulier, le sable était souvent mélangé à un liant hydrocarboné pour former des couches de roulement durables et résistantes à l'usure. Cette technique de mélange sable-liant hydrocarboné était couramment utilisée pour la construction de routes dans de nombreuses régions du monde. Aujourd'hui encore, cette méthode reste une pratique courante dans le domaine routier, bien que les matériaux et les techniques aient évolué pour répondre aux exigences actuelles en matière de construction de routes sûres et durables. [2]

I.6 Classification des sables :

La classification GTR (Guide de Terrassement Routier) est une classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières. Les matériaux sont classés selon leur nature, leur état et leur comportement . La classification GTR est basée sur la norme NF P 11-300 .

Les granulats sont classifiés par rapport les diamètres des graines par trois classes selon le tableau suivant [3]:

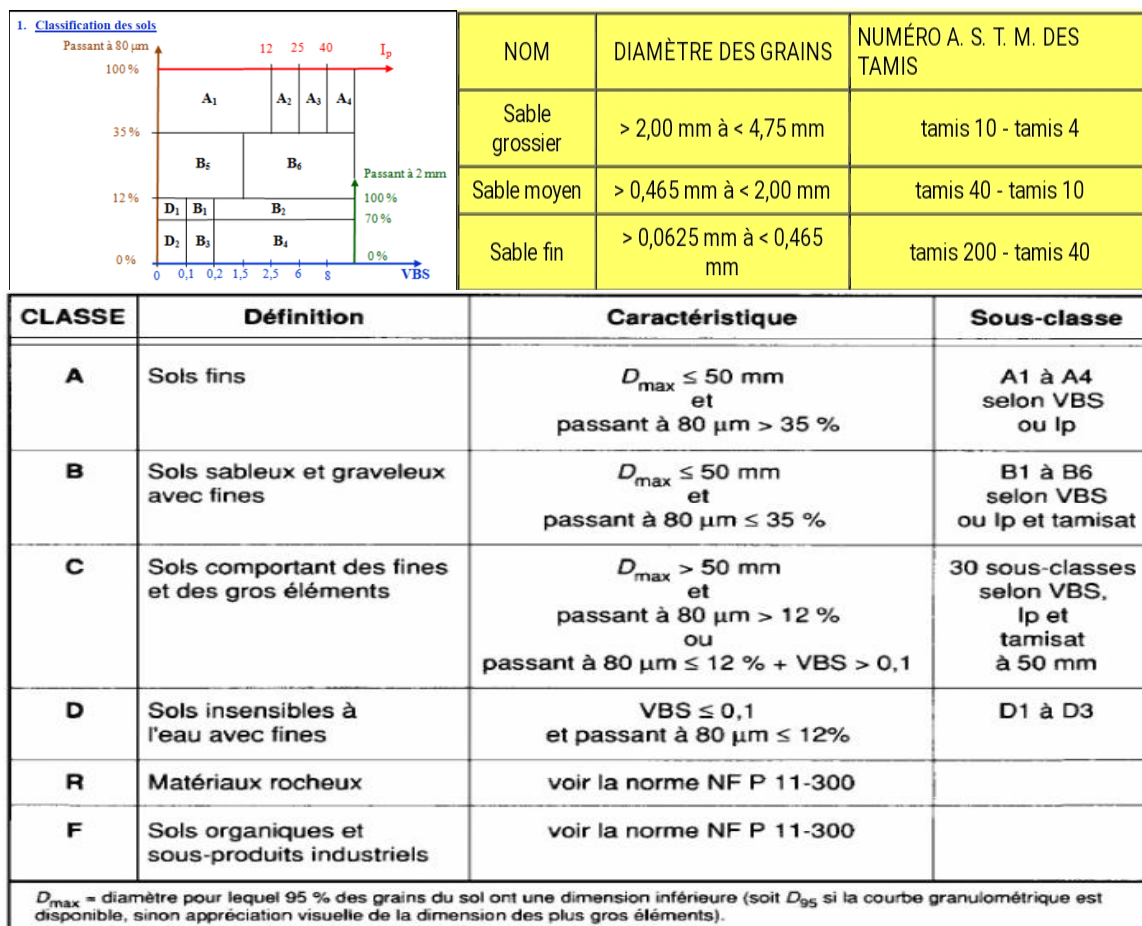


Figure I.6 : Classification Des Sables Par Tamis

I.7 Conclusion :

En conclusion, le sable des dunes est un matériau largement répandu dans les régions désertiques, et sa caractérisation est essentielle pour son utilisation dans les systèmes de construction. Il est composé principalement de grains de sable de différentes tailles, principalement de quartz, et peut présenter différentes formes de dunes telles que les dunes de barkhane, les dunes paraboliques, les dunes en étoile, les dunes transversales et les dunes longitudinales. Dans le domaine routier, le sable des dunes a été utilisé depuis longtemps pour la construction de routes en tant que couche de roulement mélangée à un liant hydrocarboné. Sa classification dans la classe D2 selon la norme GTR permet de mieux comprendre ses caractéristiques géotechniques et d'adapter son utilisation dans les projets de construction routière.

CHAPITRE II : caractéristiques géotechniques de sable carrière.

II.1 Introduction :

Le sable de carrière est soit retiré du sol en masse, soit fabriqué à partir de roches extraites en carrière. Il est utilisé pour des fins industrielles et représente la troisième ressource la plus utilisée dans le monde avec plus de 15 milliards de tonnes extraites par 1 an. Le sable fait partie des granulats.

II.2 Définition de sable de carrière :

Le sable de concassage résulte du découpage et broyage de grande pierre de carrière. Leurs formes sont souvent plus anguleuses avec des surfaces plus rugueuses que les granulats naturels, qui sont plus ronds avec des surfaces plus lisses. Les propriétés globales du sable de concassage : la morphologie, la dureté, la densité, la stabilité physique et chimique, ainsi que la couleur, dépendent de la source d'extraction [5].

II.3 La technique routière saharienne (TRS)

Les premières routes construites dans le Sahara vers 1955 (les routes Ghardaïa - EL Goléa et Ghardaïa-Ouargla) ont été conçues en utilisant les principes de la technique routière européenne. Les matériaux employés présentaient une granulométrie étendue et contenaient une faible quantité, voire pas du tout, d'argile. Le matériau de base utilisé était du caillou dur provenant du reg. Rapidement, les ingénieurs ont cherché à prendre en considération les caractéristiques particulières offertes par le Sahara :

1. L'immensité des territoires, dont la superficie totale avoisine 1 500 000 km² ;
2. Les très longues distances de parcours qui relient les agglomérations et centres de vie (énormes investissements que nécessite la construction des milliers de km) ;

3. Le caractère désertique et aride prédominant, les périodes humides étant courtes, l'imbibition de la chaussée n'est pas à craindre car trop improbable.
4. Les très faibles trafics automobiles recensés sur le réseau qui est composé essentiellement de camions gros-porteur ;

Les premières routes sahariennes, notamment les routes Ghardaïa - EL Goléa et Ghardaïa-Ouargla, qui ont été entreprises vers 1955, ont été conçues en suivant les principes de la technique routière européenne. Les ingénieurs ont adopté une approche qui prenait en compte les particularités spécifiques du Sahara. En 1965, lors du premier congrès de la route qui s'est tenu à Beni-Abbès, la Technique Routière Saharienne (TRS) a été établie, définissant ainsi une spécification propre pour la construction de routes dans cette région .

L'une des caractéristiques clés du Sahara est la sécheresse, ce qui offre un large éventail de matériaux utilisables, en particulier pour la couche de base. En l'absence d'eau, la résistance des matériaux est obtenue soit par frottement entre les grains, soit par cohésion. Parmi les matériaux utilisés, on trouve les tufs d'encroutement, qui présentent une cohésion significative après compactage et séchage.

II.3.1 Principes de la technique routière Saharienne :

Les idées de base de cette technique, d'après Fenzy, sont les suivantes :

- A cause de faible trafic qui est composé essentiellement de camions gros-porteur ; les déflexions sous les pneus peuvent être grandes ; mais doivent être entièrement réversibles et ne pas laisser de trace de déformation permanente ;
- 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.

II.3.2 Domaine d'application :

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.

Cette technique, a permis d'établir un fuseau discriminant propre à ces matériaux : le fuseau dit « Saharien » ou « fuseau de Beni Abbés » (Figure I-2), 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 ».

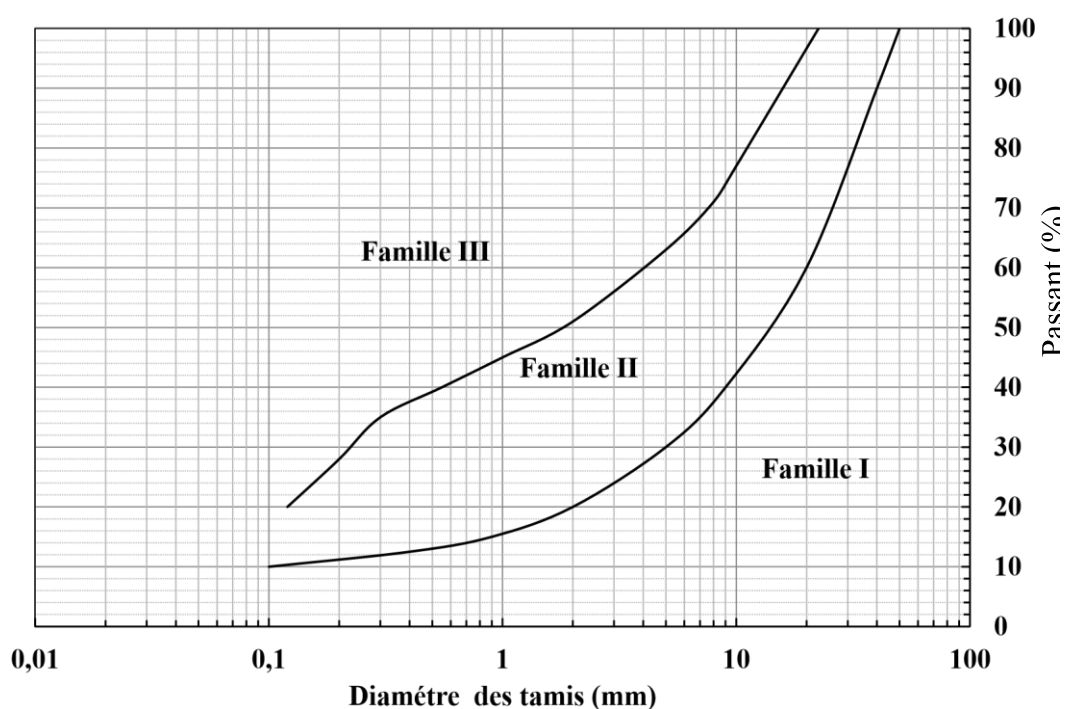


Figure II.1 : Fuseau de spécification de la technique routière saharienne (Fenzy, 1966).

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

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

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

II.3.2.1 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 : arrêtes 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.

II.3.2.2 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 nombre 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).

II.3.2.3 Matériaux intermédiaires

Il existe évidemment dans la nature tous les matériaux intermédiaires dont la cohésion et l'angle de frottement sont moyens.

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.

II.3.3 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 ; la structure de chaussée se présente alors selon le schéma de la typique représenté par la figure II.2.

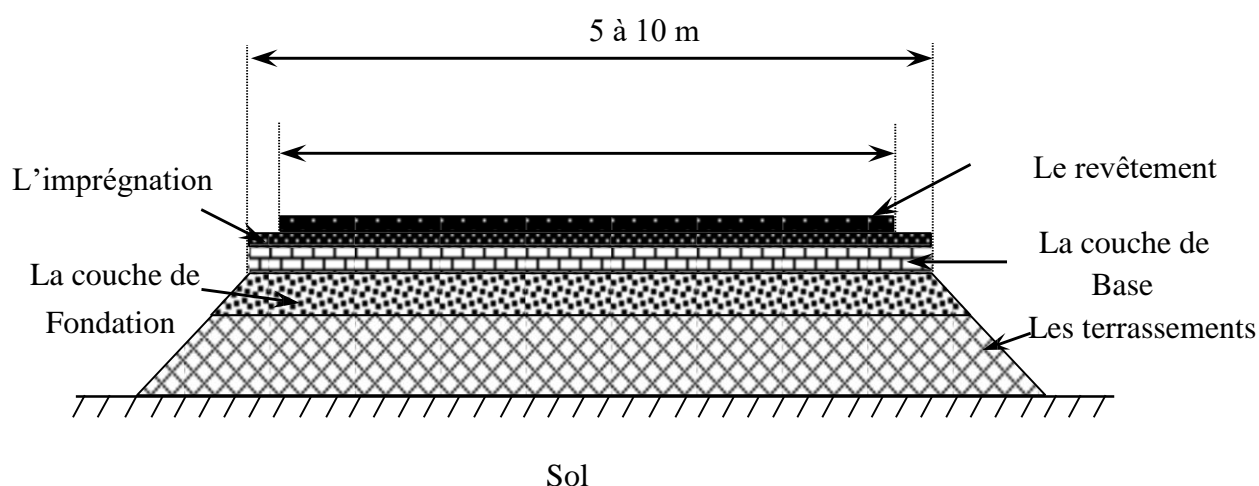


Figure II.2 : Coupe transversale type d'une chaussée saharienne.

❖ 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 2002 ; 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).

❖ 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.

❖ 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).

❖ 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.

II.4 Le guide technique routière (GTR) :

Le GTR fournit une liste exhaustive des matériaux susceptibles d'être utilisés pour la réalisation d'une couche de forme. Ce sont :

- ✦ Les matériaux rocheux (classe R)
- ✦ Les sols (classe A, B, C, D)
- ✦ Certains sous-produits industriels (classe F).

Le choix des matériaux est avant tout basé sur un compromis technico-économique qui inclut notamment des critères de disponibilité, de coûts de traitement et de transport des matériaux.

- Cas particulier des sols fins :

La norme NF P 94-011 (LCPC) permet de regrouper une partie de ces classifications (voir Annexe D). Ainsi un sol peut être identifié selon :

- Sa granulométrie ;
- Sa teneur en matières organiques ;
- Sa granularité ;
- Sa plasticité ;
- Son argilosité ;

Dans le cadre de la réutilisation des sols pour la réalisation des remblais et des couches de forme, une autre classification est utilisée (NF P 11-300 et le GTR).

Le premier critère d'identification des sols est la granulométrie. En effet, pour des raisons techniques telles que le malaxage, un seuil à 50 mm a été établi. Il permet de distinguer :

- Les sols constitués de particules de diamètre inférieur ou égal à 50 mm ; il s'agit des sols de type A, B, D. Ces sols correspondent aux sols fins ;
- Les sols constitués de particules de diamètre supérieur à 50 mm qui correspondent aux sols C, D.

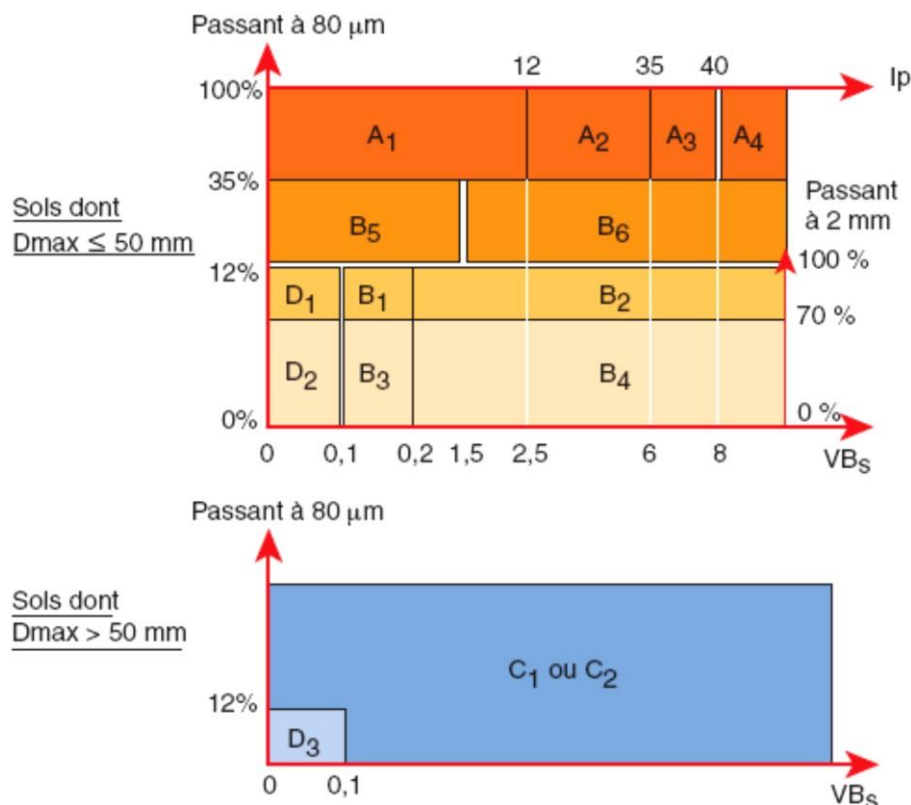


Figure II.3 : Classification des sols fins selon GTR

Tableau II.1 : Classification GTR (SETRA-LCPC 1980).

Classe	Définition
A	Sols fins (limons, argile, ...)
B	Sols sableux ou graveleux avec fines (sables et graves argileuses...)
C	Sols comportant des fines et des gros éléments (alluvions, grossières,
D	Sols insensibles à l'eau avec fines (sables et graves propres...)

La classification des sols fins est basée sur la teneur en argile et la granulométrie du sol :

- VBS : Capacité d'adsorption par le bleu de méthylène ;

- IP : Indice de plasticité par la méthode des limites d'Atterberg ;
- Passant à 80 μm et à 2 mm : pourcentage de particules fines passant aux tamis de 80 μm et 2mm. [2]

II.5 Conclusion :

En conclusion, dans ce chapitre a présenté le sable de carrière et la technique routière saharienne (TRS). Le sable de carrière, l'une des ressources les plus utilisées dans le monde, est utilisé à des fins industrielles et fait partie des granulats. Le sable de concassage, obtenu par le découpage et le broyage de grandes pierres de carrière, présente des propriétés spécifiques en fonction de sa source d'extraction. La TRS, développée pour les routes sahariennes, a été adaptée aux particularités du Sahara, telles que l'immensité des territoires, les longues distances entre les agglomérations, le caractère désertique et aride, ainsi que le faible trafic automobile. Les principes de la TRS comprennent la réversibilité des déflexions sous les pneus, la facilitation de l'écoulement des eaux pluviales et la dissociation du problème des chotts et cuvettes. La TRS a établi un fuseau spécifique pour les matériaux sahariens, divisant les matériaux en trois familles en fonction de leur courbe granulométrique. Le choix des matériaux pour les couches de base et de fondation dépend de leur angle de frottement élevé ou de leur cohésion élevée. Les matériaux à angle de frottement élevé sont similaires aux matériaux utilisés dans les régions humides, tandis que les matériaux à cohésion élevée tirent leur cohésion des éléments pulvérulents de calcaire, de gypse ou des éléments argileux. Les matériaux intermédiaires nécessitent une étude approfondie avant leur utilisation. Les routes sahariennes sont généralement construites avec une seule couche d'assise, dont l'épaisseur varie en fonction des matériaux disponibles et des normes de la TRS.

CHAPITRE III : Identification des matériaux utilisés

III.1 Introduction :

Après l'étude théorique des matériaux dans le chapitre précédent, on va entamer l'étude d'identification de la carrière de BEN HAMMOUDA (METLILI – GHARDAIA). Nous nous intéressons dans ce deuxième chapitre à l'étude d'identification géotechnique des matériaux: carrière et sable de dunes à l'aide des essais de laboratoire classique. Le tableau II. Résume les essais qu'on a fait :

Tableau III.1 : Essais D'identification.

L'ESSAI	NORME
Analyse granulométrique	NF P 94-056
Equivalence de sable	NF P 18-598
Proctor Modifié	NF P 94-093
Portance CBR	NF P 94-078
Limite d' Atterrer	NF P 94-058
Los Anglos	NF P 18-573

III.2 Localisation des échantillons :

III.2.1 Sable de Carrière (BEN HAMMOUDA) :

Elle est située approximativement à l'Est de la ville de GHARDAIA, le matériau appelé carrier est de couleur blanc.



Figure III.1 : Localisation de sable de carrière

III.2.2 Sable de dunes de METLILI :

Elle se trouve à sud-ouest de la ville de Ghardaïa et à 45 kilomètres.

III.3 Etude d'identification géotechnique :

L'identification géotechnique telle qu'elle est pratiquée actuellement dans les laboratoires routiers algériens s'effectue selon des modes opératoires établies par la norme française. [2]



Figure III.2 : localisation de sable de dune metlili

III.3.1 Masse volumique :

III.3.1.1 Masse volumique apparente ρ_{app} :

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

- La masse volumique apparente d'un matériau pourra avoir une valeur différente suivant qu'elle sera déterminée à partir d'un matériau compacté ou non compacté.
- La masse volumique apparente est donnée par :

$$\rho_{app} = M/V$$

- L'essai est répété fois pour un volume de litre et la moyenne de ces essais donne la valeur de la masse volumique apparente.

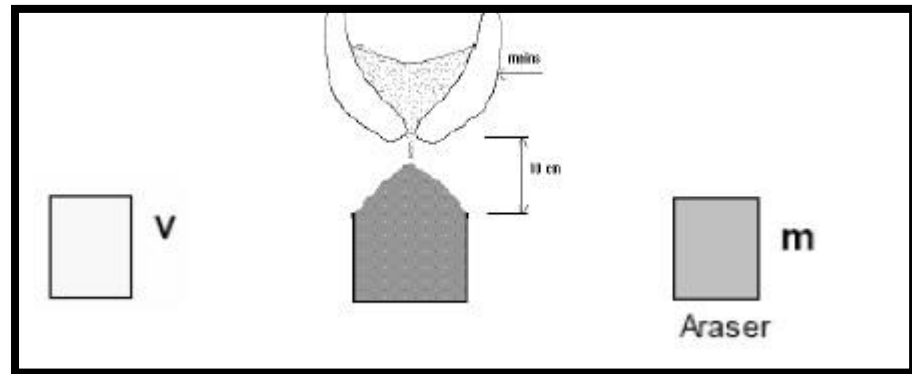


Figure III.3 : étapes de l'essai la masse volumique apparente

III.3.1.2 Masses Volumiques absolues ρ_{ab} :

La masse volumique absolue ρ_s est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains.

❖ Méthode opératoire:

- Cette méthode de détermination des masses volumiques est plus précise à condition de prendre un certain nombre de précautions
- Déterminer avec précision la masse M_1 du ballon rempli d'eau.
- Déterminer avec précision la masse M_2 d'un échantillon de matériau sec.
- Introduire la totalité du matériau dans le ballon, remplir d'eau. Vérifier qu'il n'y a aucune bulle d'air. Peser alors avec précision le ballon, le calcule comme suit :

$$\rho_{ab} = \frac{M_2}{(M_1 + M_2) - M_3}$$

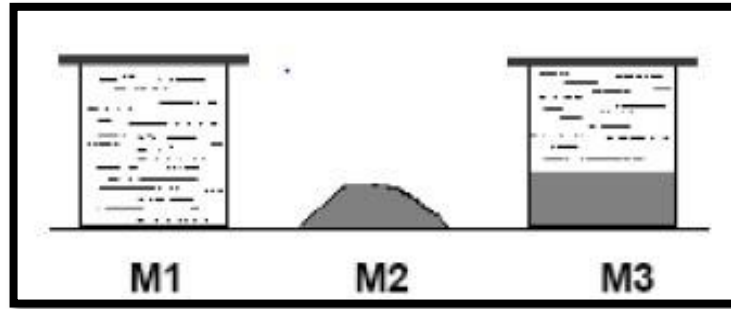


Figure III.4 : étapes de l'essai la masse volumique absolue.

Le TABLEAU III.2 résume les résultats de l'essai:

Tableau III.2 : résultats de la masse volumique apparente et absolue

Sable de dunes		sable crriere	
La masse volumique	La masse volumique	La masse volumique	La masse volumique
apparente	absolue	apparente	absolue
$(\rho_{app})[KN/m]$	$(\rho_{ab}) [KN/m]$	$(\rho_{app}) [KN/m]$	$(\rho_{ab}) [KN/m]$
1,59	2,74	1,57	2,79

On remarque que la masse volumique absolue est plus importante que la masse volumique apparente ; Grâce à la masse volumique apparente, nous savons maintenant le poids et le volume des granulats, plus l'eau qu'ils contiennent et les vides. Avec la masse volumique absolue, nous avons déterminé le poids et le volume du squelette solide et de l'eau.

III.3.2 Analyse granulométrique :

En général, pour les matériaux routiers, la granulométrie est représentée par une courbe granulométrique sur laquelle doit être inscrit un fuseau dit *fuseau de spécification*.

II... Analyse granulométrique par tamisage :

III.3.2.1 But de l'essai

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension inférieure ou égale à 63 μ m pour les particules inférieure à 80 μ m, l'analyse granulométrique se fait par sédimentométrie (norme NFP 94-056).

A. Analyse granulométrique par tamisage (NF P 94-056) :

III.3.2.2 Principe de l'essai:

L'essai consiste à séparer les grains agglomérés d'une masse connue de matériau par brassage sous l'eau, à fractionner ce sol, une fois sèche, au moyen d'une série de tamis et peser successivement le refus cumulé sur chaque tamis. La masse de refus cumulée sur chaque tamis est rapportée à la masse totale sèche de l'échantillon soumis à l'analyse.

❖ Dimensions des tamis utilisés :

Pour les sables utilisés, on a utilisé les séries des tamis de diamètre : 4 ,2 ,1.25 ,1 ,0.63 ,0.5 ,0.315 ,0.25 ,0.125 ,0.063 mm

III.3.2.3 Préparation de l'échantillon :

La quantité à utiliser doit répondre à différents impératifs qui sont contradictoires:

- Il faut une quantité assez grande pour que l'échantillon soit représentatif,

- Il faut une quantité assez faible pour que la durée de l'essai soit acceptable et que les tamis ne soient pas saturés et donc inopérants.

III.3.2.4 Matériel nécessaire :

Des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisés soit à partir d'un maillage métallique. Pour un travail d'essai aux résultats reproductibles, il est conseillé

D'utiliser une machine à tamiser électrique qui comprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis. (Figure (II.4)). La dimension nominale des tamis se suit dans une progression géométrique.



Photo III.1 : tamiseuses électrique

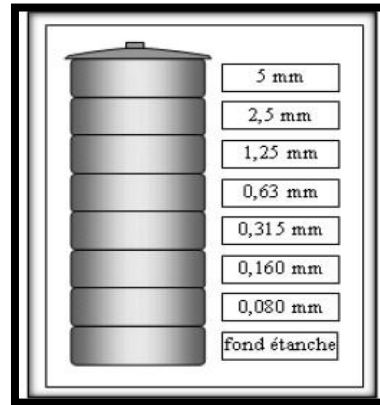


Figure III.5 : colonne de tamis.

❖ Mode Opérateur :

Nous avons effectué cette analyse sur les deux matériaux par voie sèche.

❖ Partie I :

- Peser une masse M du matériau.
- Procéder au tamisage à sec du granulat en utilisant successivement les tamis d_m jusqu'à d_c dans l'ordre décroissant des dimensions.

- Placer le granulat en partie supérieur et tamiser à la main.
- Peser les différents refus et déduire les tamisas.

Soit R_i la masse de refus cumulé dans le tamis « i ». Le calcul des pourcentages des tamisât se fait comme suit :

$$T_i = (M - R_i) \times 100/M \dots\dots(III. 3)$$

III.3.2.5 Expression des résultats:

C_u est le coefficient d'uniformité ou le coefficient de Hazen :

$$C_u = D_{60}/D_{10} \dots\dots\dots(III.5)$$

C_c est le coefficient de courbure

$$C_c = D^2_{30}/D_{10} * D_{60} \dots\dots\dots(III.6)$$

Les résultats des essais granulométriques des échantillons :

Tableau III.3 : résultats granulométrie de sable de dune

sable de dune	prise d'essai :	408				
	ouverture	refuse partiel	Refuse cumuler	pourcentage refus	pourcentage passant	observation
	tamis (mm)					
	2	0	0	0%	100.00%	100%
	1.25	0	0	0%	100.00%	100%
	0.63	1	1	0%	99.75%	100%
	0.315	96	97	24%	76.23%	76%
	0.25	66	163	40%	60.05%	60%
	0.125	142	305	75%	25.25%	25%
0.063	96	401	98%	1.72%	2%	
le reste	7					

Tableau III.4: résultats granulométrie de sable de carrière

sable de carrière	prise d'essai :	619				
	ouverture	refuse partiel	Refuse cumuler	pourcentage refus	pourcentage passant	observation
	tamis (mm)					
	4	0.4	0.4	0%	99.94%	100%
	2	91	91.4	15%	85.23%	85%
	1	168	259.4	42%	58.09%	58%
	0.5	117	376.4	61%	39.19%	39%
	0.25	90	466.4	75%	24.65%	25%
	0.125	88	554.4	90%	10.44%	10%
	0.063	58	612.4	99%	1.07%	1%
le reste	6.6					

- Le tableau III.5 résume les résultats de cette analyse granulométrique.

Tableau III.5 : Résultats de l'analyse granulométrique de sable de carrière et sable de dunes

Échantillon	Sable de dunes	Sable de carrier
0 / D	0/2	0/4
% <63µm	1.72%	1.07
% < 0.5mm	90	39.19
D60 (mm)	0.125	1.12
D30 (mm)	0.085	0.33
D10 (mm)	0.07	0.132
Cu	> 2 (granulométrie serie)	> 2 (granulométrie étalée)
Cc	0.83	0.74

Le tamisât du 0,063 mm représente 1.72% de l'échantillon (donc inférieur à 5% de l'échantillon) implique que l'analyse par sédimentométrie pas obligé.

III.3.2.6 Analyse sédimentométrique :

❖ Principe: [7]

L'essai de l'analyse sédimentométrique utilise le fait que dans un milieu liquide au repos, la vitesse de décantation des grains fins à très fins est fonction de leur dimension. La loi de Stokes donne, dans le cas de grains sphériques de même masse volumique, la relation entre le diamètre des grains et leur vitesse de sédimentation. Par convention, cette loi est appliquée aux éléments D'un sol pour déterminer les diamètres équivalents des particules.

III.3.2.7 Mode opératoire :

- ✚ Faire passer l'échantillon au tamis de 80 μm ;
- ✚ Étuvé le tamisât pendant 4 heure à la température 105°C;
- ✚ Désagréger puis homogénéiser le tamisât;
- ✚ Imbibé une prise d'essai de 20 g;
- ✚ Introduire la prise d'essai dans le récipient utilisé avec l'agitateur mécanique;
- ✚ Ajouter 500 cm^3 du mélange (440 cm^3 d'eau distillée + 60 cm^3 à 5%

D'exmétaphosphate de sodium ;

- ✚ Laisser imbiber l'échantillon pendant 15 h au moins;
- ✚ Passer à l'agitateur mécanique ;
- ✚ Verser la suspension dans une éprouvette;
- ✚ Compléter par l'eau distillée à la température ambiante jusqu'à 1000 cm^3 ;
- ✚ Plonger le thermomètre et le densimètre dans l'éprouvette témoin;

- ✚ Faire les lectures aux temps suivant sans retirer le densimètre, Plonger le densimètre dans la solution au moins 30 secondes avant la mesure.



Photo III.2 : materiel de l'essai sedimentmetrique

- L'Analyse granulométrique par tamisage exige l'expérience si et seulement si le pourcentage du passant (de tamis 0.063 mm) de l'échantillon dépasse 10%. de la quantité globale

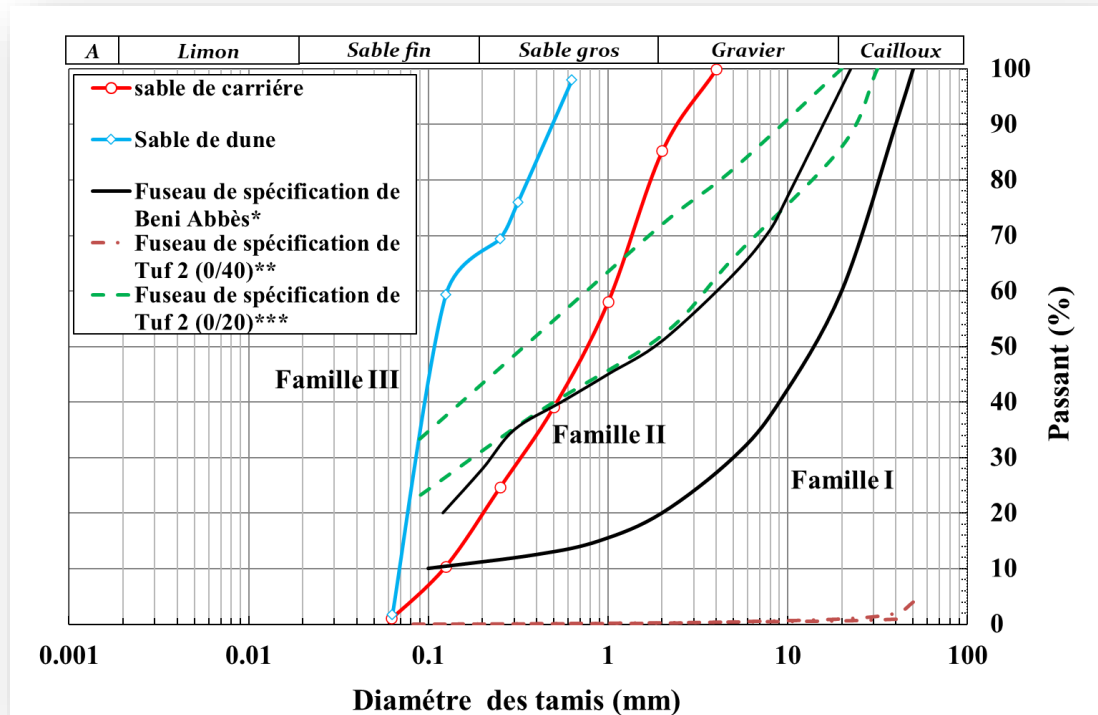


Figure III.6 : Courbe granulométrique du sable de dunes et sable de carrière

I.1.1. Mesure de la pollution argileuse :

Lorsque des matériaux sont susceptibles d'être utilisés pour la réalisation de couches de chaussées, il est indispensable de connaître dans quelle mesure ils sont pollués par des fractions argileuses. Nous connaissons qu'un excès d'argile rendra le matériau sensible à l'eau et aux déformations permanentes sous la circulation. Pour cela, la mesure de la pollution elle est appréciée par trois essais géotechniques :

III.3.2.8 La limite d'Atterberg : (NF P 94-058):**❖ Principe : [8]**

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 la coupelle et son contenu sont soumis à des chocs répétés; recherche de la teneur en eau pour laquelle un rouleau de sol, de dimension fixée et confectionné manuellement, se fissure de longueur (≈ 15 cm). Avec des diamètres compris entre 3 et 2 mm

❖ **Appareillage :**

Appareil de CASAGRANDE, outil à rainure, Balance, tares, étuve; coupelle



Photo III.3 : appareil de casagrande

❖ **Préparation de l'échantillon:**

L'échantillon pour l'essai est une portion du tamisât du tamis 0.4 mm . On ajoute une quantité d'eau suffisamment pour assurer qu'on est dans l'état liquide, couvrir le tout et laisser au moins 24 heures.

❖ **Etapes de l'essai :**

▪ **Limite de liquidité:**

- ✓ Mettre une quantité de l'échantillon dans la coupelle environ 3/4 de son volume, et l'étaler ;
- ✓ Effectuée une rainure de 2 mm sur le long de la coupelle qui fait séparer l'échantillon en deux côtés.
- ✓ Faire subir la coupelle une succession de chocs jusqu'à ce que les deux lèvres de rainure de referme sur une longueur de 1 cm (noter le nombre de coups N) ;
- ✓ Prendre deux échantillons de part et d'autre de l'échantillon pour mesurer la teneur en eau correspondante ;

- ✓ Reprendre les mêmes étapes, après avoir séché l'échantillon.
- ✓ Avec les résultats obtenus, on trace le graphe $\omega(N)$, avec N compris entre 15 et 35 coups, la limite de liquidité ω_L correspond à une teneur en eau tel que $N = 25$.

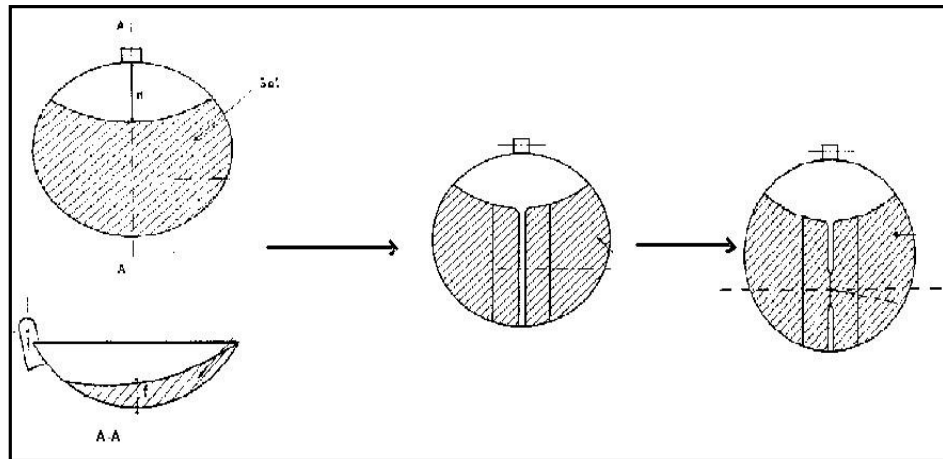


Figure III.7 : Etapes de l'essai de limite de liquidité

▪ **Limite de plasticité:**

Après avoir terminé l'essai de la limite de liquidité, le sol est proche de sa limite de plasticité ; avec l'échantillon qui reste, on forme des boudins de longueur variant entre 10 et 15 cm, avec des diamètres comprises entre 3 et 2 mm, si les baguettes se cassent en petites morceaux après avoir été levé par leur milieu, alors on dit que la limite de plasticité est atteinte; il suffit donc de déterminer la teneur en eau des morceaux recueillis ; la valeur de la teneur en eau ($\omega\%$) sera donc celle correspondante à limite de plasticité ($\omega_p\%$ de l'échantillon étudié .

Remarque : l'indice de plasticité I_p est donné par :

$$I_p = \omega_L - \omega_p \dots \dots \dots (III.6)$$

❖ **Expression des résultats:**

Le tableau II.4 résume les résultats de l'essai des limites d'Atterberg de Sable de carrière et sable de dunes:

Tableau III.6 : Valeurs de Limites d'Atterberg du Sable de carrière et sable de dunes

Echantillon	W _L (%)	W _P (%)	I _P (%)
Sable de carrière	16.80	NM	NM
Sable de dune	18.39	NM	NM

On remarque que la limite de plasticité dans chaque sable non mesurable donc les deux sables sont propres.

Les courbes résument les résultats de l'essai des limites d'Atterberg de sable de carrière et sable de dune

Tableau III.7 : résultats de limite de liquidité de sable de dune

sable de dune						
	1^{er} essai		2^{eme} essai		3^{eme} essai	
nombre de coups	18					
	W9	A5				
poids total humide	43	40.35				
poids total sec	41.18	39				
poids de la tare	31.41	32.13				
poids de l'eau	1.82	1.35				
poids du sol sec	9.77	6.87				
teneur en eau (%)	18.6%	19.7%				
moyenne	19.1%					

Tableau III.8 : résultats de limite de liquidité de sable de carrière

sable carrière					
	1 ^{er} essai		2 ^{eme} essai		3 ^{eme} essai
nombre de coups	17		25		
	m2	r7	t1	a6	
poids total humide	41.81	44.72	41.12	44.38	
poids total sec	40.19	42.97	39.65	42.56	
poids de la tare	30.89	32.85	30.91	31.72	
poids de l'eau	1.62	1.75	1.47	1.82	
poids du sol sec	9.3	10.12	8.74	10.84	
teneur en eau (%)	17.4%	17.3%	16.8%	16.8%	
moyenne	17.4%		16.8%		

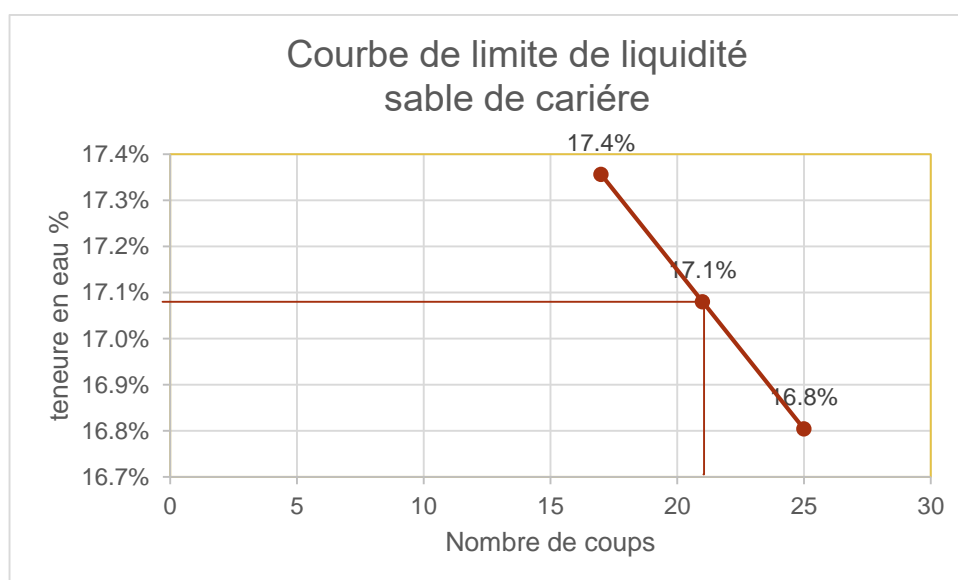


Figure III.8 : Courbe de limite de liquidité sable de carrière

Les résultats des limites de consistance montrent que le sable de carrière ne présente pas une plasticité,

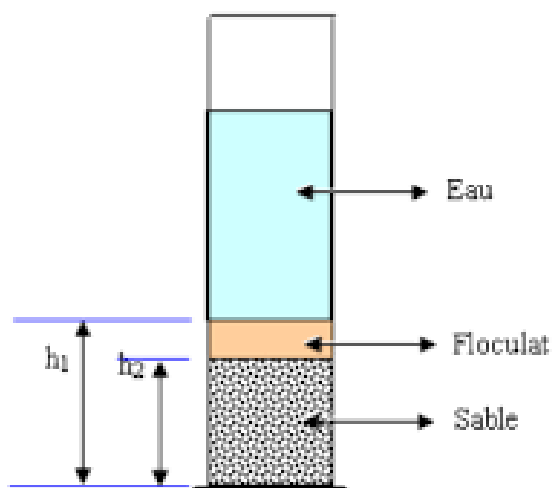


Figure III.9 : Mesure de l'essai équivalent sable

Après l'essai de l'équivalent de sable dans laboratoire on détecte les résultats suivants :

Tableau III.9 : resultat d'equivalent de sable

	sable de carrière		Sable de dunes	
	1 ^{er} éprouvette	2 ^{eme} éprouvette	1 ^{er} éprouvette	2 ^{eme} éprouvette
Échantillon	120.23	120.23	120.23	120.23
h1	14.4	14.5	9.6	9.2
h2	8.6	8.4	7.9	7.2
ES (%)	59.72%	57.93%	82.29%	78.26%

Les résultats de l'équivalent de sable pour le sable de dune montrent que notre sable de dunes est très propre et il y'a absence totale des résultats de l'équivalent de sable pour le sable de dune montrent que notre sable de dunes est très propre et il y'a absence totale d'éléments fins, par

contre pour sable de carrière la valeur d'ES nous confirme que ce matériau est légèrement argileux.

Le tableau II. Donne des valeurs d'ES minimum pour la construction routière éléments fins,

Par contre pour sable de carrière la valeur de ES nous confirme que ce matériau est légèrement argileux.

Le tableau II. donne des valeurs de ES minimum pour la construction routière . [9]

Tableau III.10 : Spécification d'ES pour la construction des chaussées

Matériaux	ES Minimum
Graves pour couche de base	30
Agrégats pour route mixte	35
Agrégats pour enrobées denses	45
Agrégats pour béton bitumineux	55
Sable pour béton	80

III.3.2.10 Essai au bleu de méthylène [8]:

Cet essai, utilisé de manière courante pour caractériser l'activité des argiles contenues dans les sols, est également utilisé pour évaluer l'influence des fines d'origines argileuses contenues dans les sables et graves d'origines naturelle ou artificielle.

On injecte successivement des doses élémentaires d'une solution de bleu de méthylène dans le bain aqueux contenant la prise d'essai. On contrôle l'adsorption du bleu après chaque ajout, en effectuant une tache sur un papier filtre). Pour un simple contrôle de conformité, la quantité de bleu spécifiée est injectée en une seule fois.

L'essai au bleu de Méthylène permet une évaluation globale de la quantité et de l'activité de la fraction argileuse. La valeur du bleu V_B est la quantité du bleu de méthylène adsorbée par le poids sec de la prise.

$$V_b(0/d) = \frac{\text{Quantité du bleu absorbé}(cm^3)}{\text{Poids sec de la prise}(g)}$$

Connaissant la valeur du bleu de la fraction fine 0/d, on peut calculer celle de la fraction globale 0/D à partir de la courbe granulométrique du sol.

$$V_B(0/D) = \frac{V_B(0/d) \cdot C_d}{100}$$

Où : C_d est la proportion de la classe granulaire 0/d dans la fraction total 0/D.

L'essai se fait sur la fraction 0/0.4, la valeur du bleu V_B et la granulométrie des fines permettent de déterminer le coefficient d'activité C_A .

$$C_A = \frac{V_B(0/D)}{\% 2 \mu m}$$

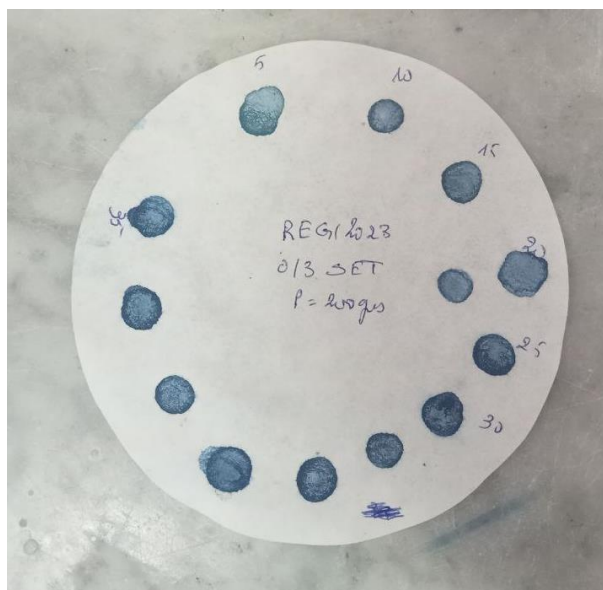


Figure III.10 : Papier filtre de l'essai au bleu de méthylène sable de carrière

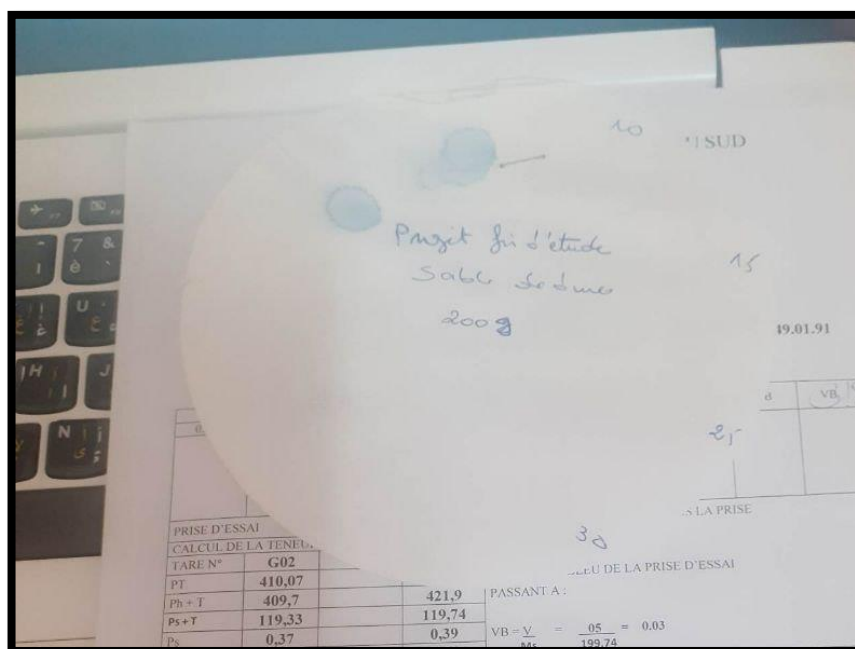


Figure III.11 : Papier filtre de l'essai au bleu de méthylène du sable de dunes

Les tableaux III.12 , III.13 représente les valeurs de bleu et les coefficients d'activité des échantillons Etudiés.

Tableau III.11 : Valeurs des coefficients VB de sable de carrière

Échantillon	VB(0/5)	VB(0/D)
Sable de carrière	0.9	0.04

Tableau III.12: Valeurs des coefficients VB du sable de dunes

Échantillon	VB(0/D)
Sable de dunes	0.03

D'après ces résultats, sable de carrière est classé comme un matériau faiblement argileux ($I_p < 12\%$) et légèrement pollué ($0,2 < VBS < 1$). Le sable de dune est un matériau propre insensible à l'eau ($VBS = 0,2$) (Colombier, 1988) il est effectué sur la fraction 0/2 mm du sol et on distingue les valeurs suivantes (D. Didier, 1999):

- ❖ $VBS < 0,2$: sols sableux (sol insensible à l'eau
- ❖ $0,2 < VBS < 0,2$: sols limoneux (sol peu plastique et sensible à l'eau)
- ❖ $2,5 < VBS < 6$: sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne)
- ❖ $6 < VBS < 8$: sols argileux
- ❖ $8 < VBS$: sols très argileux.

III.3.3 Essai de compactage et portance

III.3.3.1 Essai Proctor Modifié :

❖ But de l'essai [9]:

L'essai Proctor a pour but de déterminer la teneur en eau optimale pour un sol de remblai donné et des conditions de compactage fixées, qui conduit au meilleur compactage possible ou encore capacité portante maximale.

❖ Principe de l'essai :

Le principe de cet essai consiste à humidifier un matériau à plusieurs teneurs en eau et à le compacter, pour chacune des teneurs en eau, selon un procédé et une énergie conventionnels. Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérées, on détermine la masse volumique sèche du matériau et on trace la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau. D'une manière générale cette courbe, appelée courbe Proctor, présente une valeur maximale de la masse volumique du matériau sec qui est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau. Ce sont ces deux valeurs qui sont appelées caractéristiques optimales de compactage Proctor normal ou modifié suivant l'essai réalisé.

❖ Matériel nécessaire :

Moule CBR ; Dame Proctor Modifié; Règle à araser; Disque d'espacement Bacs d'homogénéisation pour préparation du matériau; spatule; Eprouvette graduée 150 ml environ; Petits récipients; Balance portée 20 kg, précision ± 5 g; Balance de portée 200 g, précision $\pm 0,1$ g; Etuve $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$; Burette à huile.

❖ Mode opératoire

- Sécher le matériau à l'air ou à l'étuve (3 à 5 heure à $^{\circ}\text{C}$;
- Faire passer au tamis de diamètre 20mm ;
- Prendre 5.5 kg de tamisat;
- Ajouter une quantité d'eau mesurée au sol et homogénéiser le mélange;

- Assembler moule + embase + disque d'espacement + disque de papier au fond du moule (facilite le démoulage ; puis, peser l'ensemble : soit P_1 et ajouter la hausse ;
 - Remplir le moule en 5 couche en damant chacune au moyen de 55 coup;
 - Enlever la hausse et araser la dernière couche ;
 - Faire la pesée (sol + moule) ;
 - Prélever à la fin de l'expérience un échantillon de la couche supérieure et un autre de celle du milieu afin de déterminer la teneur en eau ;
 - Reprendre l'expérience avec l'échantillon ayant précédemment servi et auquel il faudra ajouter 1% d'eau par poids de l'échantillon (5.5 kg);

Expression des résultats :

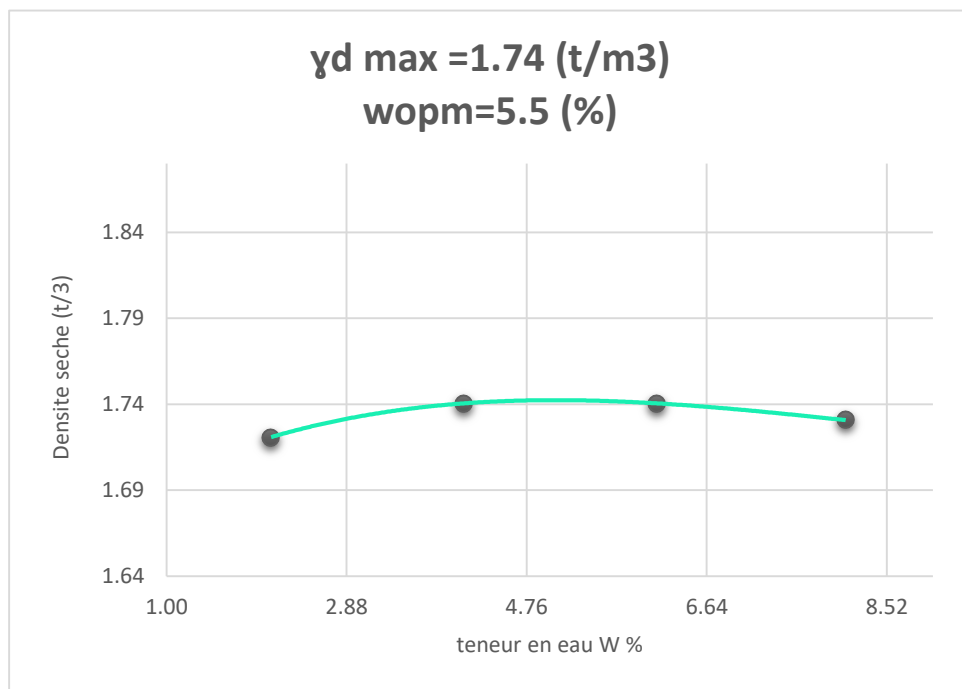


Figure III.12 : Courbe de Proctor Modifié de sable de dune

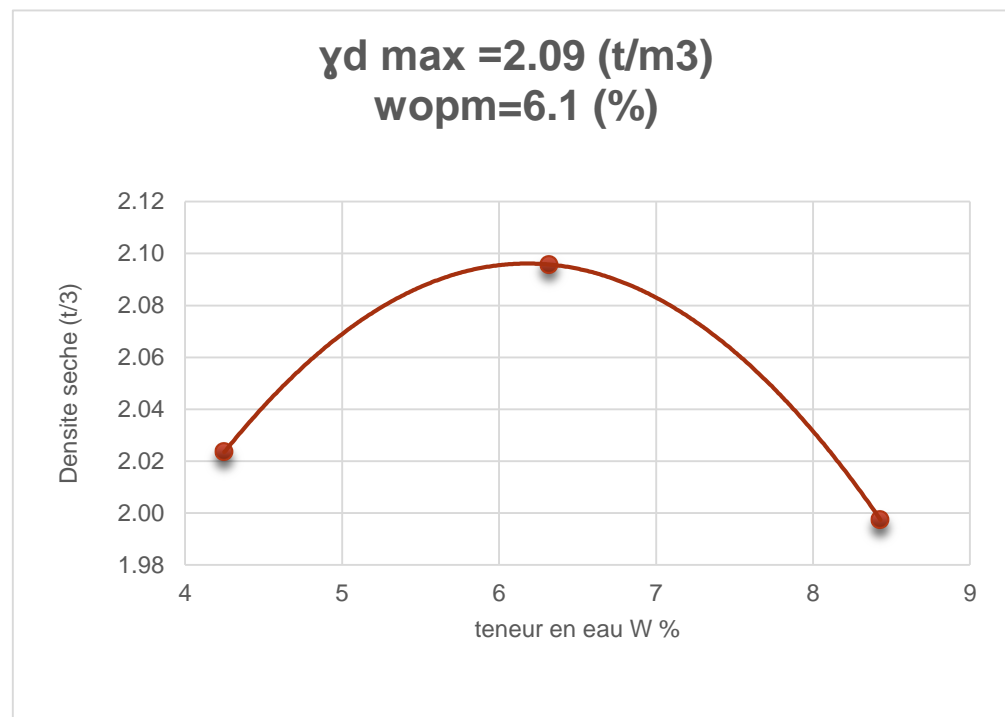


Figure III.13 : Courbe de Proctor Modifié de sable de carrière

Le tableau II. donne les valeurs de la densité sèche maximale γ_{dmax} et la teneur en eau optimale obtenues à l'essai Proctor Modifié pour quelques matériaux de chaussées caractéristiques . [2]

Tableau III.13 : Caractéristiques de compactage pour quelques matériaux routiers

Nature de matériaux	$\gamma_d \text{ max}$	W_{opt}
	(t / m ³)	(%)
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

III.3.3.2 Essai CBR [2]:

C'est un essai de poinçonnement d'une éprouvette de sol compacté suivant des conditions de densité et de teneur en eau fixées au préalable. Il s'exprime par un chiffre CBR proportionnel à la force appliquée sur un piston s'enfonçant de 2.5 ou 5 mm dans le sol.

La valeur CBR chute très vite lorsque la compacité du sol diminue, c'est un bon critère de portance d'un sol. L'indice Portant Immédiat (IPI) exprime la valeur de l'indice CBR immédiat (sans surcharge ni immersion), sur un éprouvette compacté à l'énergie Proctor Normal et a sa teneur en eau naturelle. (D. Didier, 1999).



Photo III.4 : Presse CBR

❖ Expression des résultats :

Le tableau III.17 nous renseigne sur les valeurs des caractéristiques à l'optimum Proctor modifié et la portance du sol.

Tableau III.14 : Caractéristiques de compactage et de portance

Essai	Proctor		Portance (kg/cm ²)	
	Modifié		I CBR Immédiat	I CBR Imbibé
Echantillon	γ_{dmax} (t/m ³)	W_{opt} (%)		
Sable de dune	1.74	5.5	8.53	2.28
Sable de carrière	2.09	6.1	116.23	27.71

Nous déterminons d'après les courbes qui représentent la force du piston en fonction de son enfoncement (figure III.13) L'indice CBR correspondant à 55 coups par couches.

Il est égal à : $MAX \{P(2.5) \times 100/19.3 ; P(5) \times 100/ 19.3\}$ où P(i) est la pression en KN correspondante à un enfoncement (i) en mm et les valeurs de 9.01 KN et 22.43 KN sont respectivement les forces provoquant l'enfoncement du piston de 2.5 mm et 5 mm sur le matériau conventionnel de référence.

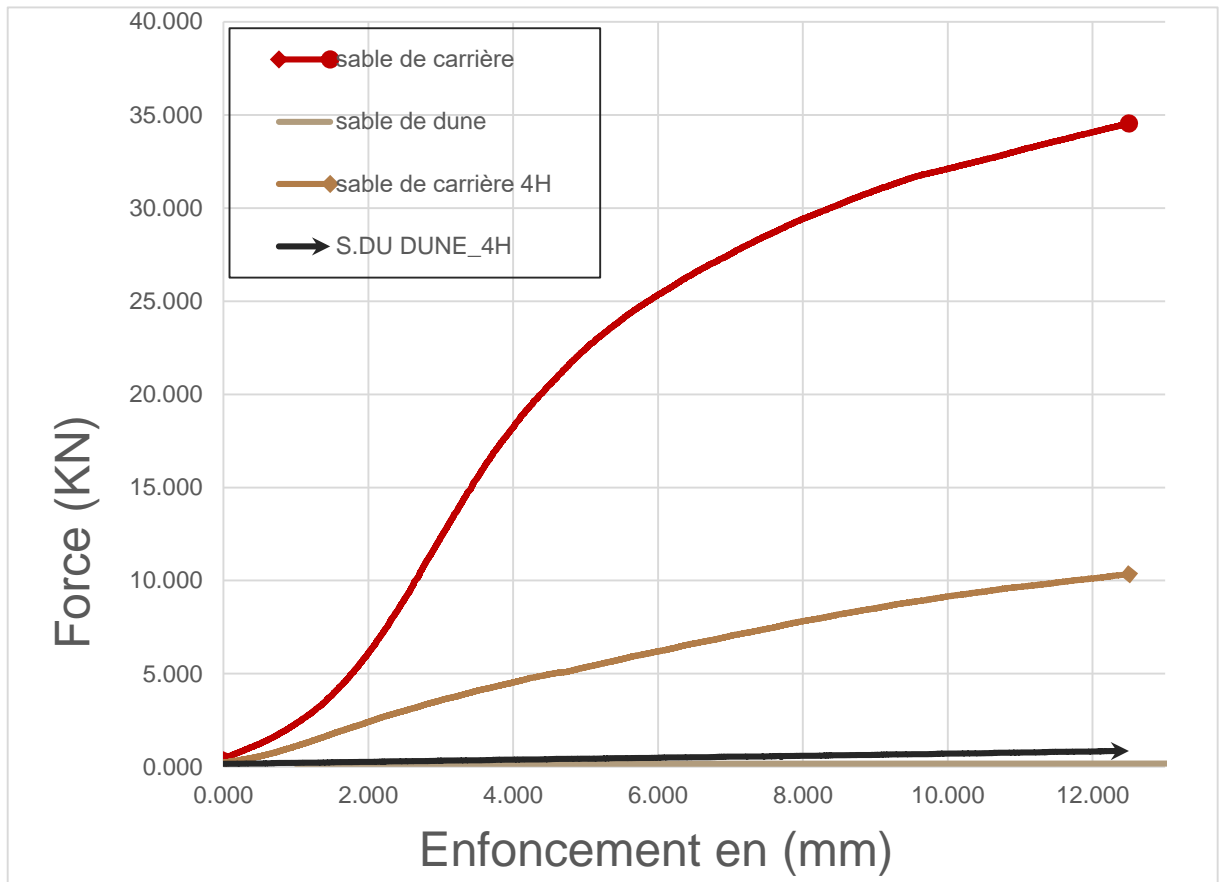


Figure III.14 : Variation de la force du piston en fonction de son enfoncement des sables.

III.3.3.3 Essai compression simple:

❖ **Objet :**

La résistance à la compression permet d'apprécier approximativement la valeur de la cohésion du matériau ou des éléments fins, lorsqu'il est caillouteux ou graveleux.

❖ **Mode opératoire :**

- (06) éprouvettes doivent être confectionnées Les résultats du Proctor Modifié
- Doivent être connus et mentionner sur la feuille d'essai ; Les éprouvettes compactés dans le moule de Proctor normal a l'énergie de Proctor Modifie ; Les éprouvettes utilisés $\varnothing 5$ cm et H10cm ; avec des matériaux < 5 mm.

- Un échantillon représentatif doit être tamisé, passant à 05 mm est recueillir puis séché à l'étuve ;
- Après malaxage de l'échantillon on procéder au remplissage des moules ; remplissage des moules (voir mode opératoire) -si on ne dispose que d'un seul moule et que par suite de la chaleur par exemple, l'on peut craindre une perte de teneur en eau du matériau pendant le moulage et la confection des éprouvettes, il est toujours possible d'effectuer le malaxage de celles-ci une par une;



Photo III.5 : Echantillon Et Moule De L'essai Compression Simple [2]

- Moulages des éprouvettes (voir mode opératoire) ;

Démoulages des éprouvettes (voir le mode opératoire) ;



Photo III.6 : Appareille de compression simple

- Etuvages des éprouvettes : 55°C pour 72 H pour les matériaux non gypseux;

D'après l'essai on remarque que les deux sables ne sont pas conservés leurs formes avant le compactage à cause de sont caractéristiques.

III.3.4 Analyse chimique :

D'après l'analyse chimique réalisée au laboratoire de GHARDAIA BOUHRAOUA (LTPS).

Le tableau ci-après présente les pourcentages des éléments rentant dans les compositions chimiques de chacun de ces sables.

Tableau III.15 : Résultats de l'analyse chimique de sable de dune et de sable calcaire

Analyse chimique	Matériaux		Spécifications		
	Sable de dune	Sable carrière	TRS	CTTP	GTR
Insolubles (%)	24.3	1.3	-	-	-
CaCO ₃ (%)	1	63	-	≥ 45	-
CaSO ₄ ,2H ₂ O (%)	1.71	-	-	-	-

III.4 Conclusion :

Les essais que nous avons effectués ont permis de conclure que le sable de dune a une courbe granulométrique uniforme très sériée et ne contient pas de fines ($< 80\mu\text{m}$) Ce matériau est propre et ne présente aucune plasticité. Le sable de dune est un matériau léger avec une densité sèche égale à $1,74 \text{ t/m}^3$. Il est insensible à la teneur en eau ainsi qu'à sa portance CBR. Le sable calcaire a une classe granulaire de 0/3 avec une fraction fine ($< 63\mu\text{m}$) de l'ordre de 15%. C'est un matériau propre ($I_p 0$) insensible à l'eau ($VBS < 0,2$). Sa courbe granulométrique est au-dessus du fuseau granulaire saharien (TRS), il appartient à la famille des matériaux fins (famille III). Il est classé comme un sable limoneux (SL/SM) selon le LPC/USCS et dans la classe D2 selon le GTR. Nous avons vu dans ce chapitre que certaines caractéristiques de nos matériaux sont médiocres par rapport aux matériaux routiers habituels et ne répondent pas aux exigences de la technique routière saharienne TRS, catalogue de dimensionnement des chaussées neuves et le guide technique routière GTR.

CHAPITRE IV : Etude des mélanges : Sable de dunes + sable carrière

IV.1 Introduction :

Afin d'étudier les propriétés géotechniques du sable des dunes par rapport à la réglementation en vigueur, le sable de carrière possède une propriété particulière de durcissement avec l'âge. Afin d'améliorer sa compacité, nous avons choisi de corriger son échelle de grain en remplaçant par du sable de carrière.

Afin de trouver la composition optimale du mélange, des tests de compression et de contrainte ont été effectués sur les différents mélanges. Des tests de compression simples ont été effectués à différents âges sur des échantillons de différents mélanges comprimés à l'aide d'un Proctor Optimum (OPM) modifié. L'étude se déroule selon l'organigramme suivant :

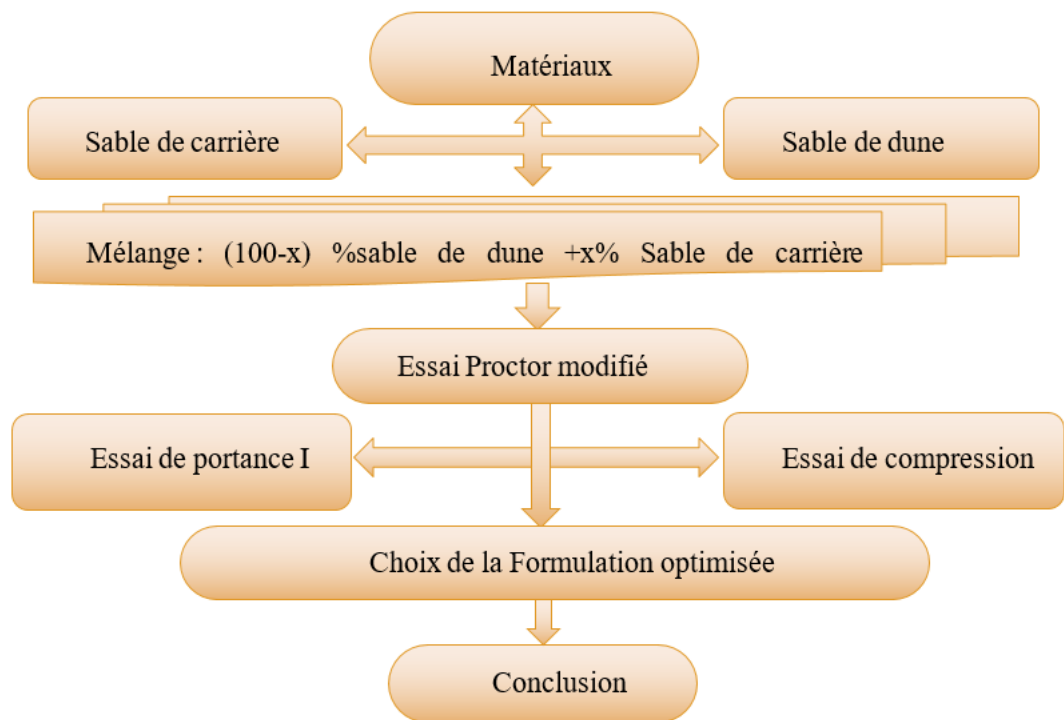


Figure IV.1 : Organigramme De Recherche D'une Formulation Optimale

Ce chapitre traite l'influence de l'ajout de différents pourcentages de sable de dune au sable carrière. L'objectif principal est de déterminer la variation des caractéristiques physiques (γ_{dmax} , ω_{opt} , w_L , w_p , I_p et V_B ,) en fonction du pourcentage de sable de dunes .

IV.2 Essai Proctor modifié :

IV.2.1 Tracé des courbes Proctor modifiés:

Les essais Proctor Modifié ont été faits selon la norme NFP94-093 pour les différents mélanges sable de carrière /Sable de dunes. Les figures suivantes III.8, III.9, III.10 et III.11 montrent la variation de la teneur en eau W en fonction du poids volumique sec γ_d .

Pour les différents mélanges, les résultats montrent que l'ajout de sable de dunes tend à améliorer les caractéristiques optimales de compactage des mélanges en comparaison à celles du sable carrière sans ajout.

Nous avons suivi le même protocole de l'essai Proctor Modifié pour les mélanges suivants :

90 % de sable de dune + 10% de sable carrière

80 % de sable de dune + 20% de sable carrière

70 % de sable de dune + 30% de sable carrière

Les figures suivantes III.8, III.9, III.10 montrent la variation de la teneur en eau W en fonction du poids volumique sec γ_d .

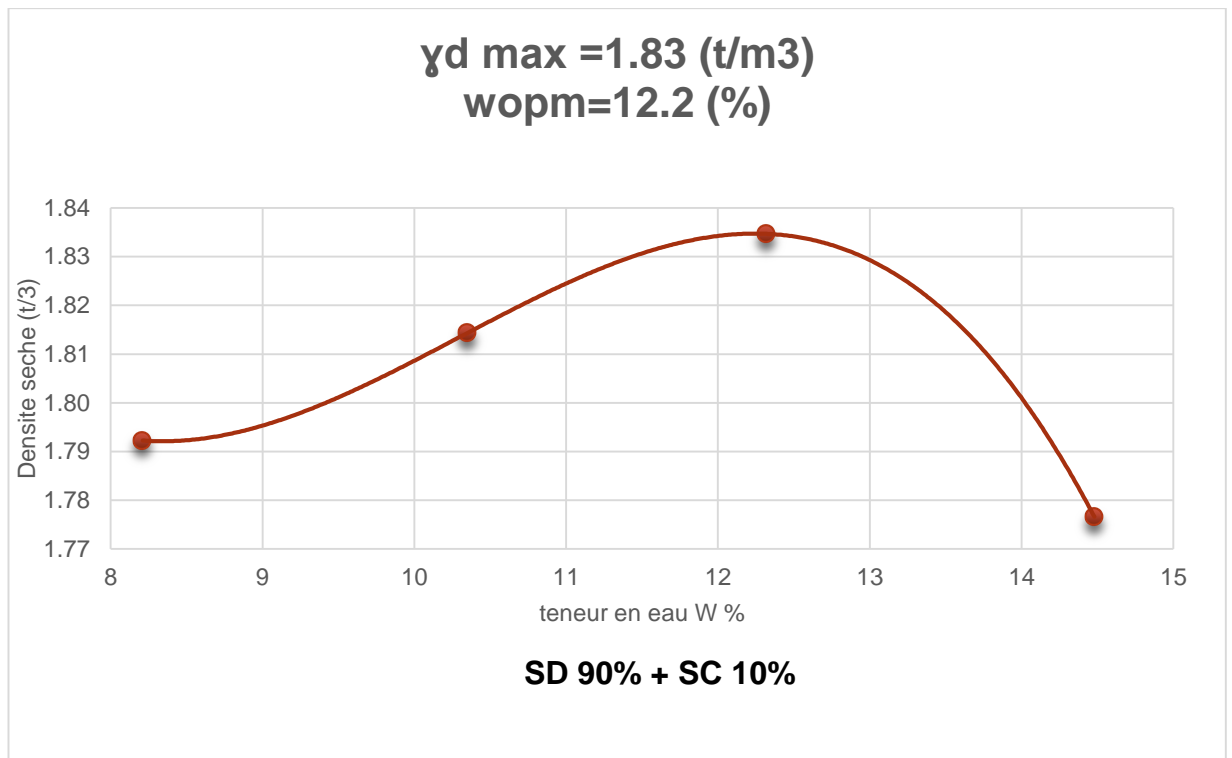


Figure IV.2 : Courbe Proctor MODIFIÉ (SD90% + SC10%)

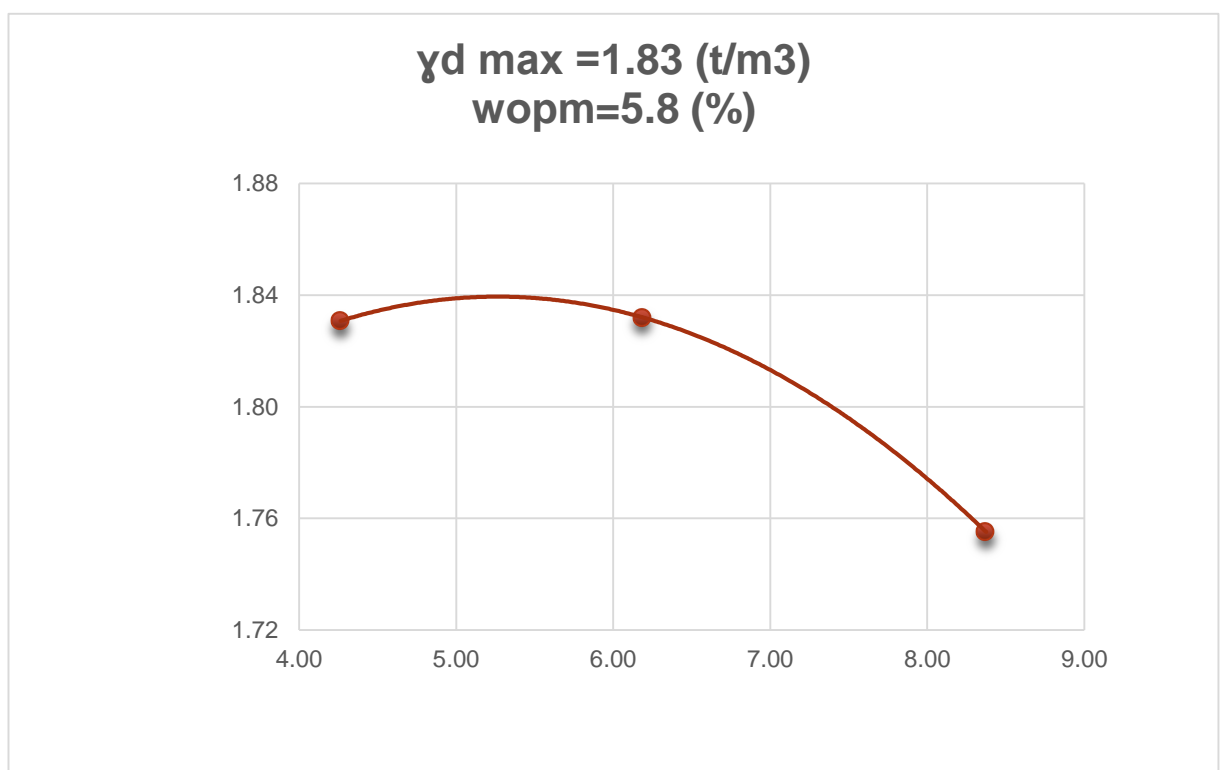


Figure IV.3 : Courbe Proctor MODIFIÉ (SD60% + SC20%)

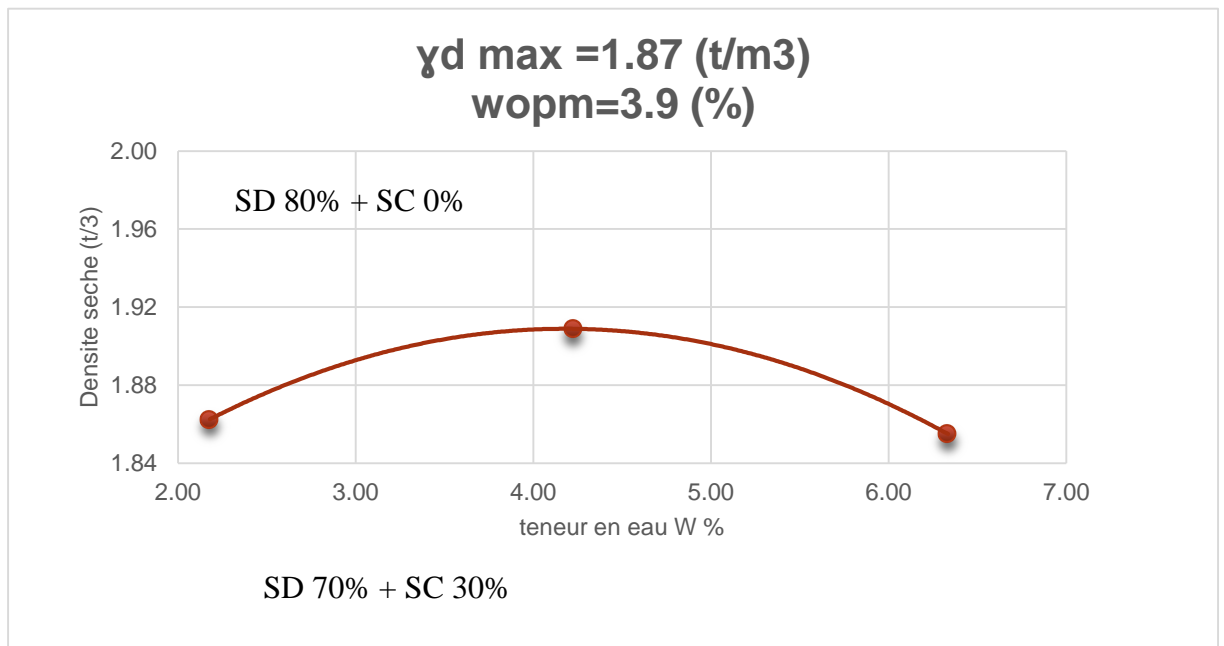


Figure IV.4 : Courbe Proctor MODIFIÉ (SD70% + SD30%)

IV.3 Comparaison des résultats:

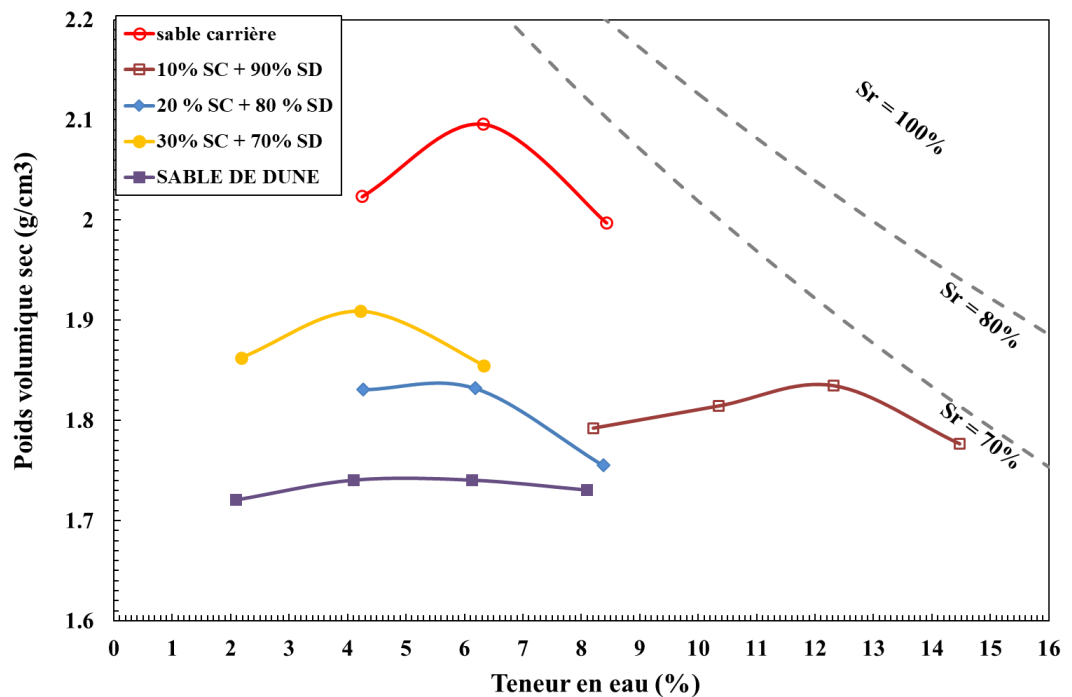
Les essais Proctor Modifié ont été faits selon la norme NFP94-093 pour les différents mélanges Sable de carrière et Sable de dune. Le Tableau IV.2 indique les valeurs de masse volumique sèche et de teneur en eau correspondantes à l'optimum Proctor Modifié pour les différents mélanges.

Tableau IV.1 : Influence De L'ajout De SD Sur γ_{dmax} Et W_{opt}

	sable de carrière(SC)	Sable des dunes(SD)	SD 90% + SC 10%	SD 80% + SC 20%	SD 70% + SC 30%
γ_{dmax} (KN/m)	2.09	1.74	1.83	1.83	1.87
W_{opt} (%)	6.1	5.5	12.2	5.8	3.9

La courbe suivant représentés les poids volumiques secs en fonction de la teneur en eau des échantillons étudiés.

Tableau IV.2: Résumé Des Résultats De Proctor Modifiée



Le mélange de « 30% SC + 70% SD » présente la valeur la plus élevée de poids volumique sec γ_{dmax} par rapport aux autres mélanges.

La variation de la masse volumique sec γ_{dmax} et W_{opt} du sable de dune et sable de dune + un pourcentage de sable de carrière est présenté sur la courbe suivante:

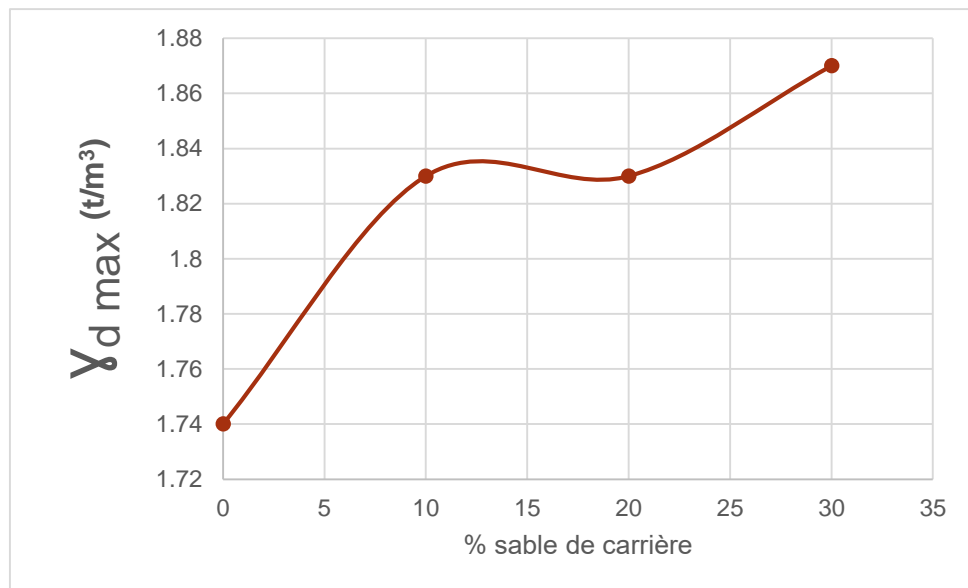


Figure IV.5 : Variation De γ_{dmax} En Fonction Du Pourcentage De SC

Lorsque le pourcentage de sable des dunes est plus élevé, le poids volumique sec à l'optimum est plus important, mais la teneur en eau optimale diminue.

IV.4 Tracé des courbes CBR:

L'essai de portance est réalisé conformément à la norme NFP 94-078 pour les différents mélanges Sable de dunes/ sable de carrière. L'indice CBR est déterminé immédiatement, juste après le compactage.

Nous avons suivi le même protocole de l'essai CBR pour les mélanges suivants :

- 90 % de sable de dune + 10% de sable carrière
- 80 % de sable de dune + 20% de sable carrière

- 70 % de sable de dune + 30% de sable carrière

Les figures suivantes IV.6 ; IV.7 montrent la variation de la force de piston en fonction de son enfoncement.

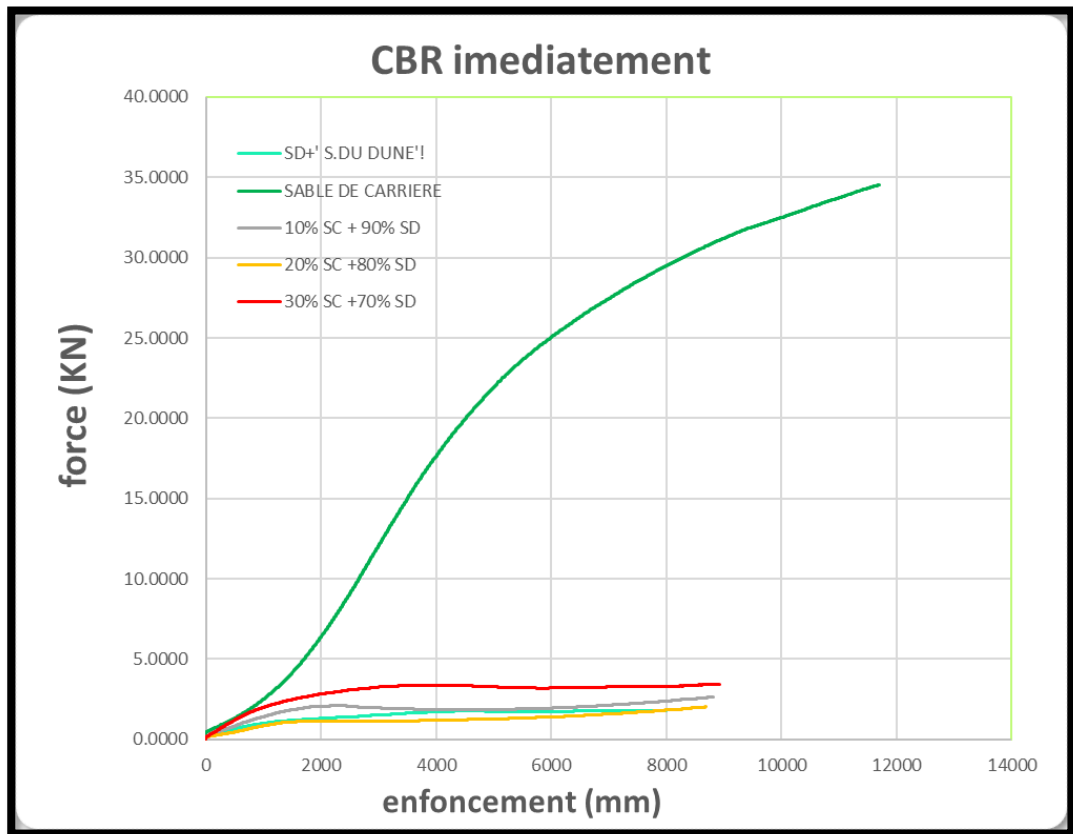


Figure IV.6 : Variation De La Force Du Piston En Fonction De Son Enfoncement (Mélanges Immédiatement)

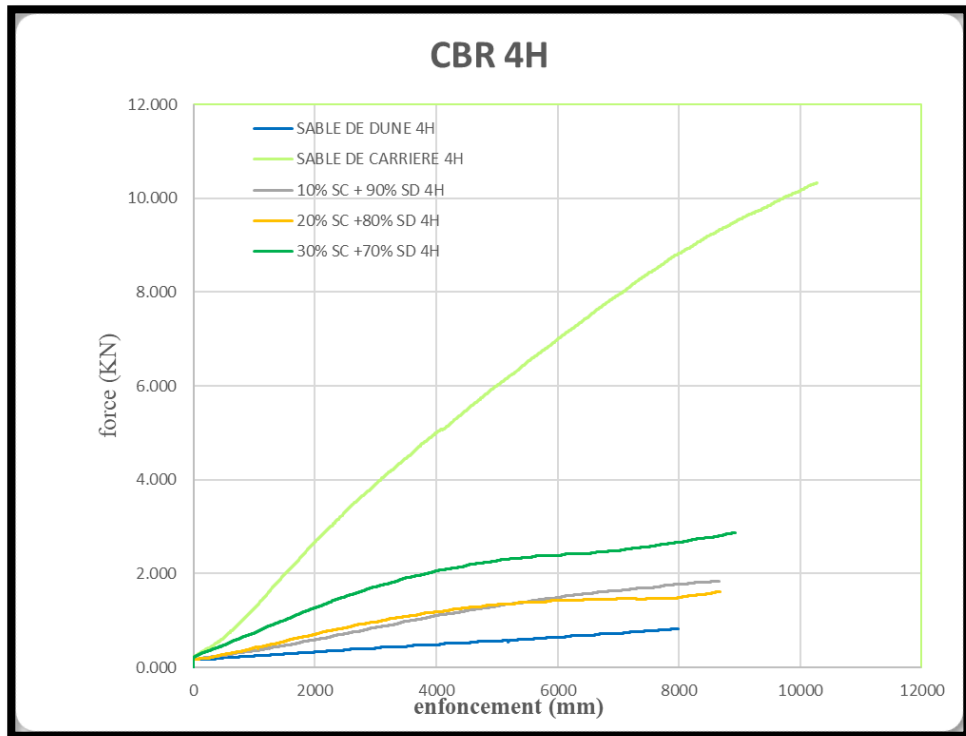


Figure IV.7: variation de la force du piston en fonction de son enfoncement (mélanges cbr 4h)

Les figures IV.6 ; IV.7 montre que une augmentions de la force du piston relative au pourcentage du sable de carrière incorporé.

IV.5 Influence sur l'indice CBR:

Les tableaux et la courbe suivants représentent les résultats de l'indice CBR des différents pourcentages de sable de dune (mélange SC/SD).

Tableau IV.3 : Résultats De L'indice Cbr Immédiatement

	Charge (KN)	Enfoncement en (mm)	Pression (kg/cm)	Formule Formule	I CBR I CBR	Valeur
SABLE DE CARRIERE	9.01	2.5	4.97	pression /0.70	7.09	11.77
	22.43	5	12.36	pression /1.05	11.77	
SABLE DE DUNE	1.27	2.5	0.70	pression /0.70	1.00	1.00
	1.65	5	0.91	pression /1.05	0.87	
10%SC + 90% SD	2.08	2.5	1.15	pression /0.70	1.64	1.64
	1.88	5	1.04	pression /1.05	0.99	
20%SC + 80% SD	1.15	2.5	0.63	pression /0.70	0.91	0.91
	1.17	5	0.64	pression /1.05	0.61	
30%SC + 70% SD	2.91	2.5	1.60	pression /0.70	2.29	2.29
	3.38	5	1.86	pression /1.05	1.77	

Tableau IV.4 : Résultats de l'indice CBR 4H

	Charge (KN)	Enfoncement en (mm)	Pression (kg/cm)	Formule Formule	I CBR I CBR	Valeur
SABLE DE CARRIERE	3.01	2.5	1.66	pression/ 0.70	2.37	2.81
	5.35	5	2.95	pression/ 1.05	2.81	
SABLE DE DUNE	0.30	2.5	0.17	pression/ 0.70	0.24	0.24
	0.44	5	0.24	pression/ 1.05	0.23	
10%SC + 90% SD	0.53	2.5	0.29	pression/ 0.70	0.42	0.51
	0.98	5	0.54	pression/ 1.05	0.51	
20%SC + 80% SD	0.65	2.5	0.36	pression/ 0.70	0.51	0.58
	1.11	5	0.61	pression/ 1.05	0.58	
30%SC + 70% SD	1.26	2.5	0.69	pression/ 0.70	0.99	1.05
	2.01	5	1.11	pression/ 1.05	1.05	

L'indice CBR (California Bearing Ratio) est une mesure de la résistance à la pénétration d'un sol.

On remarque que L'indice CBR immédiat est mesuré immédiatement après le compactage du sol tandis que l'indice CBR 4H est mesuré après 4 heures d'immersion dans l'eau. L'indice CBR immédiat est généralement plus élevé que l'indice CBR 4H car l'eau ne permet au sol de se tasser et de se stabiliser.

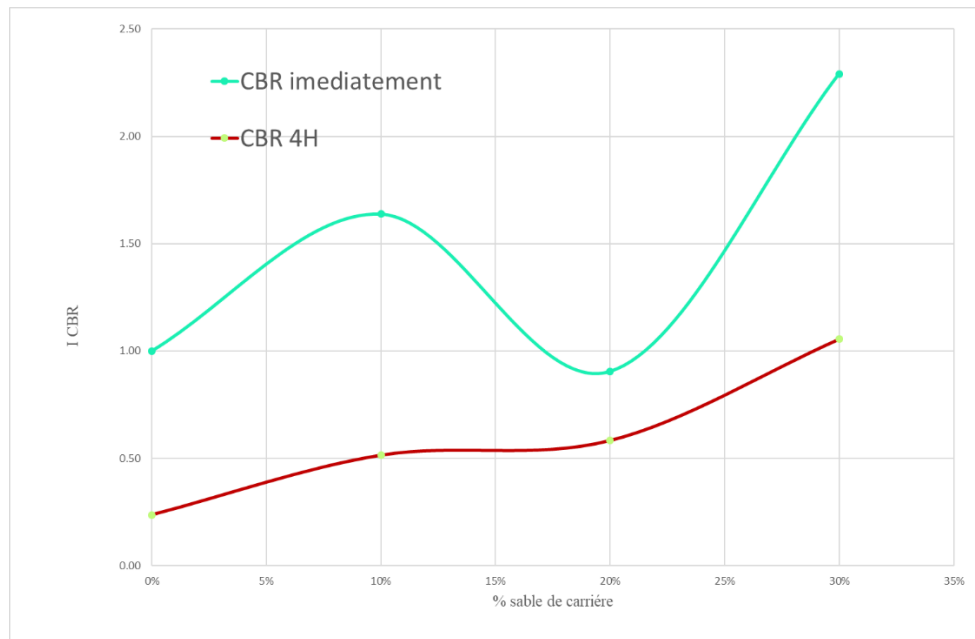


Figure IV.8 : Variation de I CBR en fonction des différents pourcentages de SC

Les résultats de figure IV. 3 montrent que pour un pourcentage de sable de dune et sable de carrière , la Variation de l'indice de portance du I CBR augmente de façon très significative avec l'augmentation de sable de dunes jusqu' à . Et diminue pour 20% immédiatement.

IV.6 Conclusion

Les essais de compactage Proctor modifié ont été effectués sur des mélanges de sable de dune et de sable de carrière pour montrer l'intérêt d'une présentation de l'effet d'ajout de sable de carrière au matériau local, le sable de dune, fréquemment utilisé en construction routière dans la région de GHARDAIA. Cette présentation permet de suivre l'évolution des caractéristiques des mélanges compactés, notamment le poids volumique sec et la teneur en eau optimale. En comparant les paramètres de l'optimum Proctor sur les mélanges de sable de dune et de sable des dunes, il est fortement conseillé d'utiliser le sable des dunes car il influe considérablement sur l'augmentation de la valeur de γ_{dmax} , le mélange optimal est un mélange 30% sable carrière et 70% sable de dune .

Conclusion générale

L'objectif de cette étude est de démontrer comment les techniques de stabilisation économiques peuvent améliorer et valoriser les propriétés mécaniques des matériaux locaux.

Pour une étude approfondie des matériaux locaux, des tests d'identification et des essais mécaniques (tels que le Proctor modifié, la capacité portante et la résistance à la compression simple) sont effectués sur ces matériaux.

L'étude de l'indice de portance a montré l'existence des formulations optimales binaires et d'autres ternaires.

La valeur maximale de l'indice de portance immédiat sont obtenues par le mélange composé de 30% de sable de carrière, 70% de sable de dune

Finalement, nous concluons à partir des expériences de laboratoire réalisées sur toutes les mélanges étudiées que le mélange 70% SABLE DE DUNE et 30% SABLE CARRIÈRE c'est le mélange optimal.

Références bibliographiques

- [1] z. B. e. B. Salah, MEMOIR DE MASTER "Utilisation du filler du sable de dune dans le domaine", 2022.
- [2] K. Khadidja, MEMOIR DE MASTER " mécanique d'un mélange :Tuf + sable de dunes", 2016.
- [3] AFNOR, Nf p11-300 Classification des matériaux, LA NORME FRANÇAISE , 2018.
- [4] RIGHI Lamis ; LEZIAR Khalida, Contribution à l'étude des bétons à base des sables des carrières, 2018.
- [5] Afnor, : «Analyse granulométrique, méthode par sédimentation ».
- [6] Afnor, A. A , « Détermination de limite d'Atterberg ». Normalisation.
- [7] A. Mustapha, Contribution à l'étude de la stabilisation aux liants hydraulique des tufs de région d'Adrar, 2008.
- [8] A. A. Afnor, Essai au bleu de méthylène, méthode à la tache, Normalisation française, 1990.
- [9] Afnor, « Détermination des références de compactage d'un matériau », Normalisation française , 1999.
- [11] : «. g. m. p. s. ». Afnor, Afnor, : «Analyse granulométrique, méthode par sédimentation ».
- [12] D. M. e. S. Anes, mémoire de master "Comportement d'un mélange Marne-Sable calcaire de la région de Ghardaïa : Application en construction routière saharienne ", 2020.
- [13] B. O. A. Hakim, mémoire de master "Utilisation du sable de dunes en technique routière Etude bibliographique ", Université Mohamed Khider - biskra, 2015.

ANNEXE

Annexe 01 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES GRANULATS
NF P 18- 560 Septembre 1990

Structure: U.GHARDAIA
N° Dossier interne:
Classe granulaire:
Prise d'essai: 408 g
Équipements utilisés: balance/Etuve

Lieu de travail: SERVICE MATERIAUX
Date:
Opérateur:
N° D'inventaire : L21.51.15/ L49-01-15

Ouverture Tamis	Refus partiel	Refus cumulé	Pourcentage refus	Pourcentage passant	Observations
80					
63					
50					
40					
31.5					
25					
20					
16					
12.5					
10					
8					
6.3					
5					
4					
3.15					
2.5					
2	00	00	00		
1.60					
1.25	00	00	00		
1					
0.80					
0.63	01	01	0,2	98,00	98,4
0.500					
0.400					
0.315	96	97	2,4	76,00	76,4
0.250	66	163	40,65	59,35	59,4
0.200					
0.160					
0.125	142	305	30,54	69,56	69,4
0.100					
0.063	96	401	98,28	1,72	2,4

L'opérateur

Visa du responsable

408 → 100 g
A → X

Annexe 03 : PROCTOR MODIFIÉ

RAPPORT D'ESSAI ESSAI PROCTOR #F P54-033									
Client : Projet : 033) 30%+5070% Endroit :	N° Projet : sans titre Réf. Client : N° rapport : Rév :								
Echantillon n° : 82%03+10503 Sondage n° : Profondeur : Matériau : Provenance :	Endroit de prélèvement : Prélèvement par : Date prélèvement : Reçu le : Date essais :		Densité des grains : 2,65 Refus à 20mm (%) :						
<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> $\gamma_{d\ max} = 1,83 \text{ (t/m}^3\text{)}$ $W_{opt} = 12,2 \text{ (\%)}$ </div> <div style="float: right; margin-top: 10px;"> <p>MOULE</p> Proctor <input checked="" type="checkbox"/> CBR <input type="checkbox"/> <p>ENERGIE</p> Normal <input type="checkbox"/> Modifié <input checked="" type="checkbox"/> <p>Densité des grains</p> Estimée <input checked="" type="checkbox"/> Mesurée <input type="checkbox"/> </div>									
TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES									
	W (%)	8,2	10,4	12,2	14,5				
	Densité (t/m ³)	1,79	1,81	1,83	1,77				
Remarque :									
Préparé par	Date	Approuvé par	Date						

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ESSAI PROCTOR

NORMAL

MODIFIÉ

NF P 94-093 Septembre 1997

Structure: L'GHARDANA

N° Dossier interne:

Echantillon: 10% (0.3 + 0) % SD

Poids d'essai: 2500G

Lieu de travail: SERVICE CONTROLE

Température de séchage: 55°C

Teneur en eau Opér:

Densité sèche Max:

Date:

Opérateur:

Équipements utilisés: balance - grave -

N° D'Inventaire: L072/15/9016 L49 07/86

Poids d'eau ajoutée :	8%	10%	12%	14%		
Poids total humide :	3628	3685	3741	3713		
Poids du moule :	1792	1792	1792	1792		
Poids du sol humide :	1836	1893	1949	1921		
Poids du sol sec :	1697	1716	1735	1678		
Volume du moule :	948	948	948	948		
Densité sèche :	1,79	1,81	1,83	1,77		
N° de la ture :	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Poids total humide :	186,84	183,38	198,69	195,43	201,20	208,47
Poids total sec :	174,02	170,94	181,85	178,78	181,31	187,55
Poids de la ture :	18,66	18,63	18,54	18,57	18,96	18,67
Poids de l'eau :	12,82	12,44	16,84	16,65	19,89	20,92
Poids du sol sec :	155,36	152,31	163,31	160,21	162,35	168,88
Teneur en eau :	8,25	8,17	10,31	10,39	12,25	12,39
Moyenne :	8,21	10,35	12,32	14,48		

L'opérateur

Visa du responsable

F-5-Sqj

ESSAI PROCTOR NORMAL

MODIFIÉ

NF P 94-093 Septembre 1997

Structure: U.GHARDALIA
 N° Dossier interne:
 Echantillon: (0/3) 30%+SD70%
 Prise d'essai: 2500g

Lieu de travail: SERVICE CONTROLE
 Température de séchage: 55°C
 Teneur en eau Opn:
 Densité sèche Max:

Date:
 Opérateur:
 Equipements utilisés: balance - etuve -
 N° D'inventaire: L022/15/8026 L49/07/86

Poids d'eau ajoutée :	2%	4%	6%		
Poids total humide :	3594	3675	3657		
Poids du moule :	1792	1792	1792		
Poids du sol humide :	1802	1883	1865		
Poids du sol sec :	1763	1773	1754		
Volume du moule :	948	948	948		
Densité sèche :	1,86	1,87	1,85		
N° de la tare :	51	52	53	54	55
Poids total humid :	177,33	173,26	187,70	190,13	199,74
Poids total sec :	173,9	170,01	180,88	183,14	188,91
Poids de la tare :	18,69	18,77	18,57	18,57	18,66
Poids de l'eau :	3,43	3,25	6,82	6,99	10,83
Poids du sol sec :	155,21	151,24	162,31	164,57	170,25
Teneur en eau :	2,21	2,15	4,20	4,25	6,36
Moyenne :	2,18	4,22	6,34		

L'opérateur

Visa du responsable

RAPPORT D'ESSAI
ESSAI PROCTOR
 NF P94-093

Client :
 Projet : (0/20 30%+80/70%)
 Echantillon :

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

Echantillon n°
 Sondage n°
 Profondeur
 Matériau
 Provenance

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

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

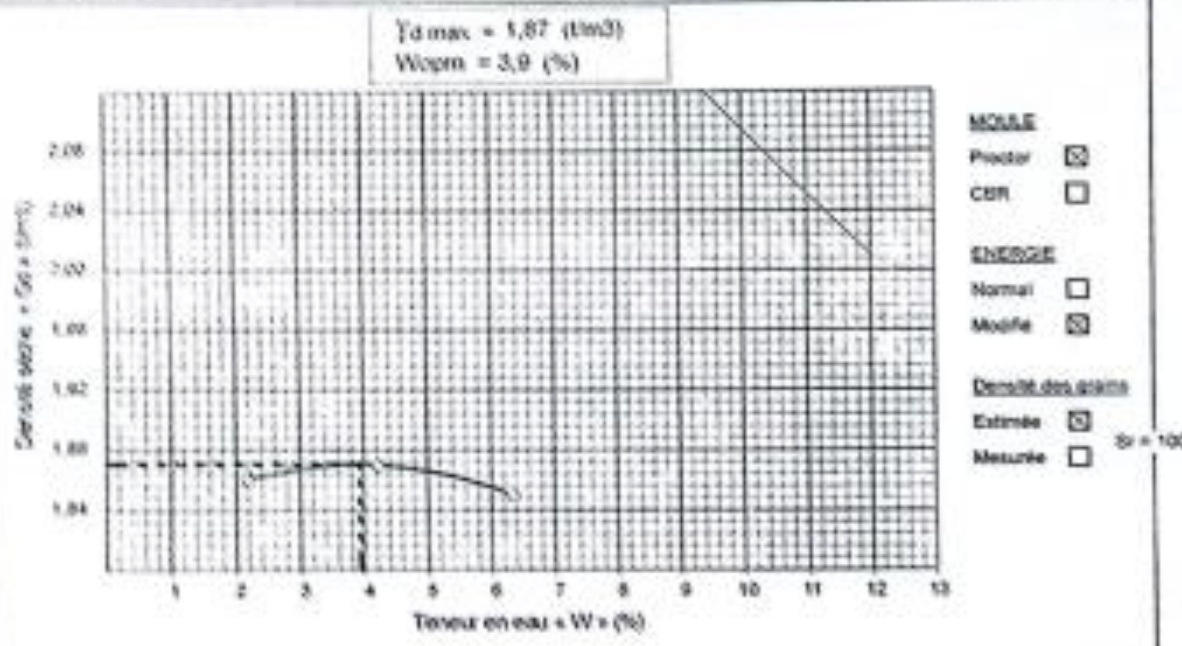


TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	2,2	4,2	6,3					
Densité (t/m ³)	1,80	1,87	1,85					

© Bureau, 2007

Remarque

Prélevé par

Date

Approuvé par

Date

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ESSAI PROCTOR

NORMAL

MODÈLE

NIF P 94-093 Septembre 1997

Structure: U.GHARDAIA
 N° Dossier interne:
 Echantillon: 20%/0/3-47%SSD
 Prise d'essai: 2500G *W*

Lieu de travail: SERVICE CONTRÔLE
 Température de séchage: 55C°
 Teneur en eau Opus:
 Densité sèche Max:

Date:
 Opérateur:
 Equipements utilisés: balance - tige -
 N° Inventaire: L072/15/9026 L490/186

Poids d'eau ajoutée :	4%	6%	8%				
Poids total humide :	3596	3634	3590				
Poids du moule :	1792	1792	1792				
Poids du sol humide :	1806	1842	1798				
Poids du sol sec :	1716	1735	1659				
Volume du moule :	948	948	948				
Densité sèche :	1,81	1,83	1,75				
N° de la tare :	X1	X2	X3	X4	X5	X6	
Poids total humide :	228,63	231,73	221,01	223,10	202,21	198,89	
Poids total sec :	219,94	223,13	209,19	211,21	188	184,98	
Poids de la tare :	18,69	18,77	18,57	18,57	18,66	18,63	
Poids de l'eau :	8,69	8,60	11,82	11,89	14,21	13,91	
Poids du sol sec :	201,25	204,36	190,62	192,64	169,34	166,35	
Teneur en eau :	4,32	4,21	6,20	6,17	8,39	8,36	
Moyenne :	4,27		6,19		8,38		

L'opérateur

Visa du responsable

F-S-5q1

RAPPORT D'ESSAI ESSAI PROCTOR

NF P94-093

Client :
Projet : (D3) 30%+SD70%
Endroit :

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

Echantillon n° : 20%03-00
Sondage n° :
Profondeur :
Matériaux :
Provenance :

Endroit de prélèvement :
Prélevé par :
Date prélèvement :
Reçu le :
Date essais :
Densité des grains : 2,65
Refus à 20mm (%) :

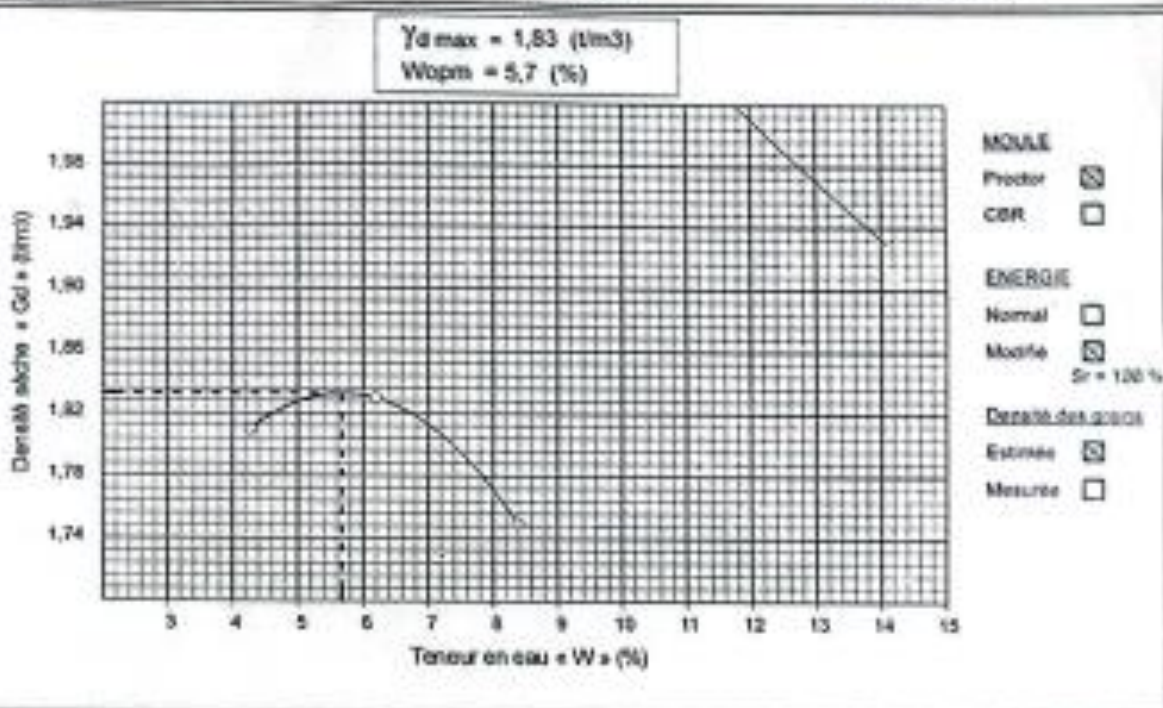


TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	4,3	6,2	8,4				
Densité (T/m3)	1,81	1,83	1,75				

© Sibelco 2007

Remarque :

Préparé par :	Date :	Approuvé par :	Date :
---------------	--------	----------------	--------

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ESSAI PROCTOR

NORMAL

MODIFIÉ

NF P 94-093 Septembre 1997

Structure: U.GHARDALIA
 N° Dossier interne:
 Echantillon: 20%0/3-40%SD
 Prie d'essai: 2500G $\frac{kg}{m^3}$

Lieu de travail: SERVICE CONTROLE
 Température de séchage: 55°C
 Teneur en eau Opér:
 Densité sèche Méas:

Date:
 Opérateur:
 Equipements utilisés: balance - enve -
 N° D'Inventaire: L022/15/S026 L49/07/86

Poids d'eau ajoutée :	4%		6%		8%			
Poids total humide :	3598	3634	3590					
Poids du moule :	1792	1792	1792					
Poids du sol humide :	1806	1842	1798					
Poids du sol sec :	1716	1735	1659					
Volume du moule :	948		948		948			
Densité sèche :	1,81		1,83		1,75			
N° de la tare :	X1	X2	X3	X4	X5	X6		
Poids total humid :	228,63	231,73	221,01	223,10	202,21	198,89		
Poids total sec :	219,94	223,13	209,19	211,21	188	184,98		
Poids de la tare :	18,69	18,77	18,57	18,57	18,66	18,63		
Poids de l'eau :	8,69	8,60	11,82	11,89	14,21	13,91		
Poids du sol sec :	201,25	204,36	190,62	192,64	169,34	166,35		
Teneur en eau :	4,32	4,21	6,20	6,17	8,39	8,36		
Moyenne :	4,27		6,19		8,38			

L'opérateur

Visa du responsable

RAPPORT D'ESSAI
ESSAI PROCTOR
N° P34.093

Client :
Projet : (03) 30%+6D70%
Etréot :

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

Echantillon n° : 20%03+80
Sondage n° :
Profondeur :
Matériau :
Provenance :

Etréot de prélevement :
Prélevé par :
Date prélevement :
Reçu le :
Date essais :

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

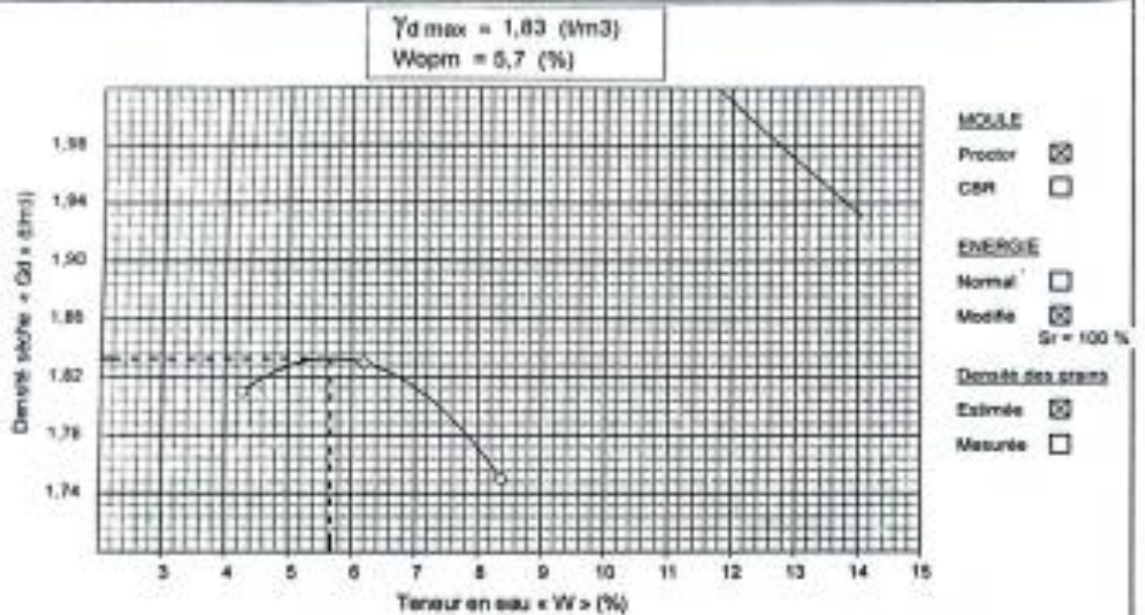


TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	4,3	6,2	8,4					
Densité (Tm3)	1,81	1,83	1,75					

Remarque :

Préparé par :

Date :

Approuvé par :

Date :

Annexe 04 : LIMITE D'ATTERBERG

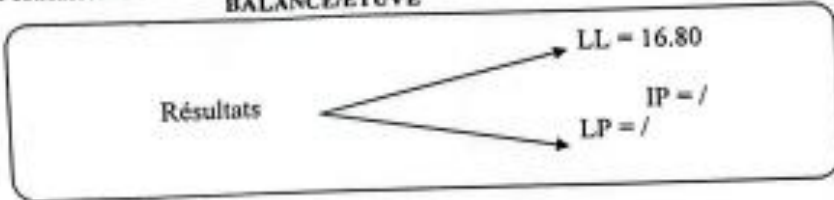
LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

LIMITES D'ATTERBERG
NFP 94-051 Mars 1993

Structure :U/G.....
N° Dossier interne : projet fin d'étude
Echantillon : sable concassée 0/3

Lieu de Travail :S^{CE} ID....
Température de Séchage : ...50C°...
Équipements utilisés :
BALANCE/ETUVE

Date : 28.02.2023
Opérateur : /
N°D'inventaire :
L21.09.15/L49.01.31



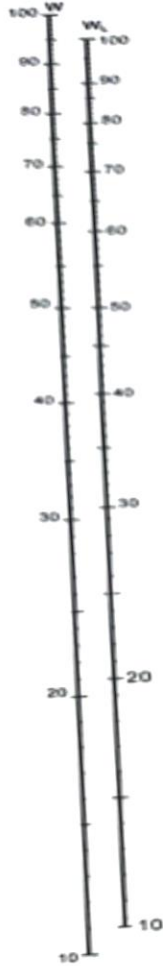
LIMITE DE PLASTICITE

	1 ^{er} Essai	2 ^{ème} Essai	3 ^{ème} Essai
N° de la tare			
Poids total humide			
Poids total sec		Non mesurable	
Poids de la tare			
Poids de l'eau			
Poids du sol sec			
Teneur en eau (%)			
Moyenne			

LP = /

L'Opérateur

Visa du Responsable



LIMITE DE LIQUIDITE

$$WL = W \left[\frac{N}{25} \right]^{0.121}$$

Coupelle | Lisse (1)
 | Rigoureuse (1)

Nombre de coups	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai éventuellement	
	m2	r7	t1	a6		
Poids total humide	41,81	44,72	41,12	44,38		
Poids total sec	40,19	42,97	39,65	42,56		
Poids de la tare	30,89	32,85	30,91	31,72		
Poids de l'eau	1,62	1,75	1,47	1,82		
Poids du sol sec	9,3	10,12	8,74	10,84		
Teneur en eau (%)	17,4	17,3	16,8	16,8		
Moyenne	17,36		16,80			
	16,80					

RAPPORT D'ESSAI

Limites d'Atterberg

NF P 94 - 61

Client :
Projet : projet fin d'étude
Endroit :

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

Echantillon n° :
Sondage n° : sable concassé
Profondeur :
Matériaux :

Provenance :
Endroit de prélèvement :
Prélevé par :
Date prélèvement :

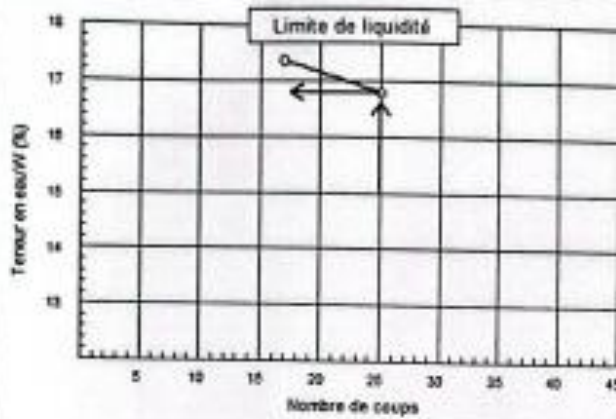
Requ le :
Date essais : 23.02.2023

Limite de Liquidité (%) : WL = 68,80

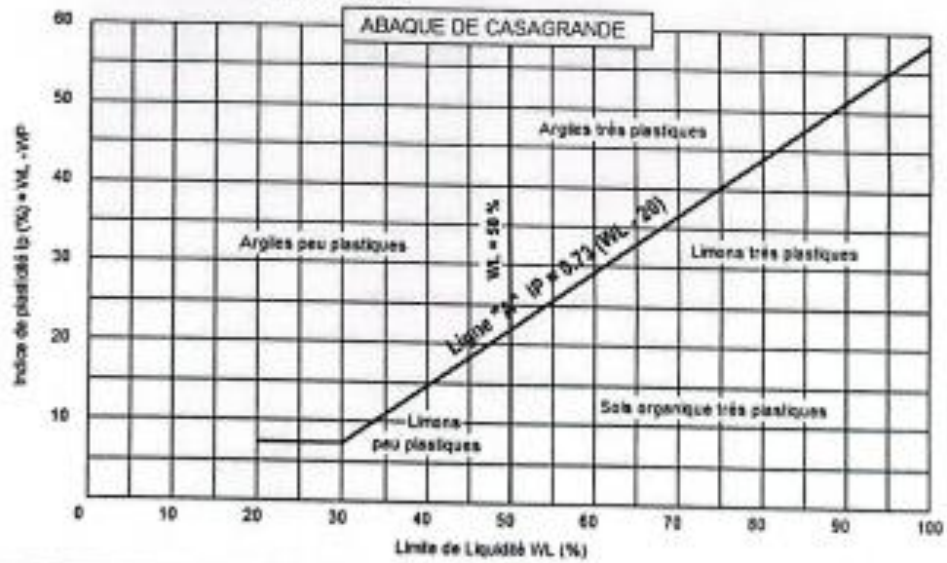
Teneur en eau naturelle (%) : Weau =

Limite de Plasticité (%) : WP =

Indice de Plasticité (%) : IP =



Limite de plasticité	
Ech N°	W (%)



Remarque :

Préparé par :

Date :

Approuvé par :

Date :

Annexe 05 : CBR



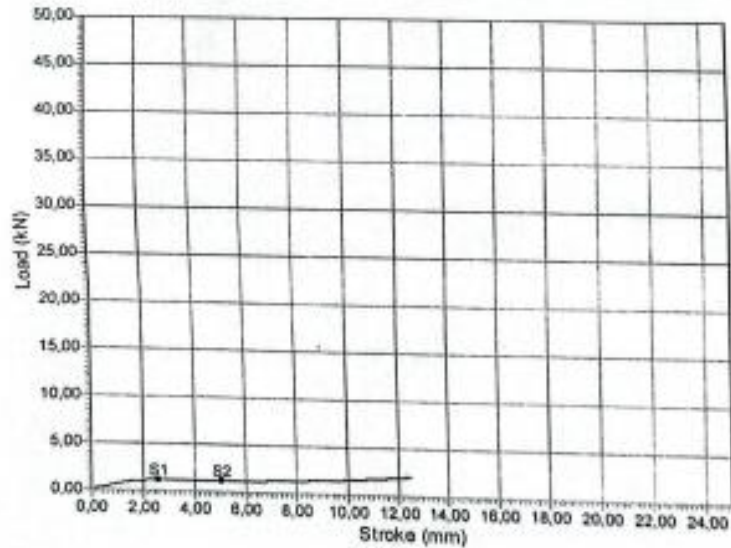
مخبر الأشغال العمومية في جنوب البلاد
LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ESSAI CBR

NF P 94-078

13-03-2023

Donnes		Epreuve	
Date :	21-02-2023	Type :	Cylindre
Structure	Unité Ghardala	Diamètre :	152 mm
Lieu de travail	Service Matériaux	Hauteur :	116 mm
N° Dossier Interne	ETUDE S.DUNE+0/3	Wopm	%
Echantillon	s. du dune 80%+20%0./3	MV Séche	t/m3
Traitement	CBR Immédiat	W après immersion	%
Balance / Euve	L21.51.15/L49.10.15	Section :	18145,839 mm²
Presse CBR/Damme P	L74.07.15/L54.03.15		
Valeur de déformation	%		



Résultats

Valeur de pénétration n°1 :	S1	2,574556	mm
Valeur de pénétration n°2 :	S2	5,074556	mm
Charge de pénétration n°1 :	F1	8,633777	%
Charge de pénétration n°2 :	F2	5,823834	%
Index CBR :	F	8,633777	%

Opérateur: B.L

Responsable : Djekaoua M.Ch

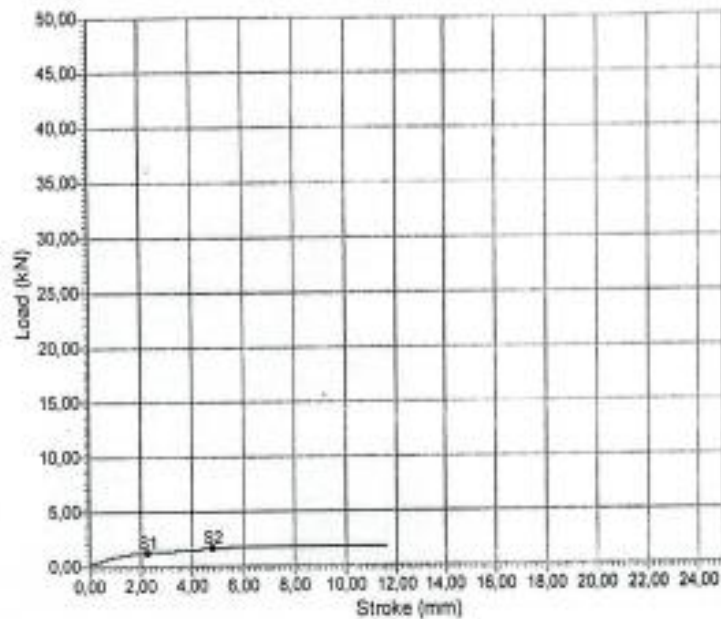


ESSAI CBR

NF P 94-078

13-03-2023

Données		Eprouvette	
Date :	20-02-2023	Type :	Cylindre
Structure	Unité Ghardaia	Diamètre :	152 mm
Lieu de travail	Service Matériaux	Hauteur :	110 mm
N° Dossier Interne	ETUDE S.DU DUNE +0/3	Wapm	%
Echantillon	S.DU DUNE	MV Séche	Wm3
Traitement	CBR immédiat	W après immersion	%
Balance / Euve	L21.51.15/L49.10.15	Section :	18145,839 mm²
Presse CBR/Damme P	L74.07.15/L54.03.15		
Valeur de déformation	%		



Résultats

Valeur de pénétration n°1 :	S1	2,307715	
Valeur de pénétration n°2 :	S2	4,807715	
Charge de pénétration n°1 :	F1	9,27961	%
Charge de pénétration n°2 :	F2	8,105024	%
Index CBR :	F	9,27961	%

Opérateur: B.L

Responsable : Djekaoua M.Ch

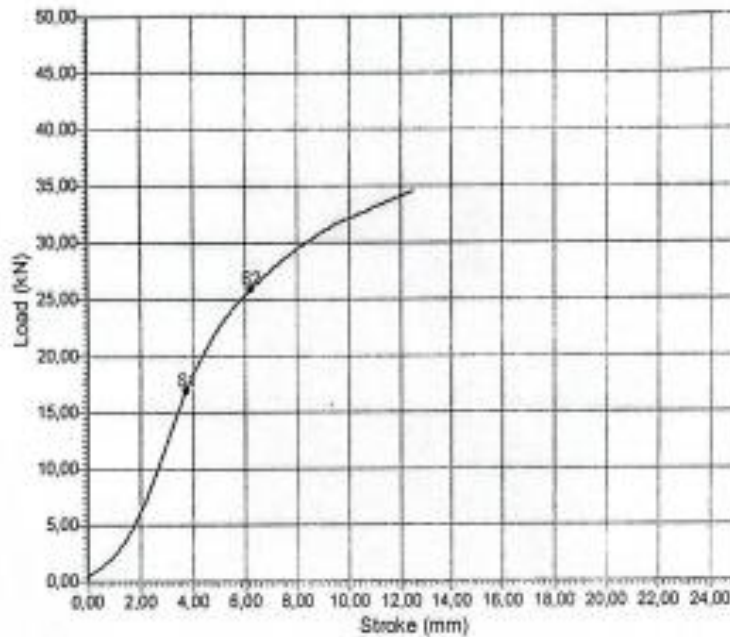


ESSAI CBR

13-03-2023

NF P 94-078

Donnes		Eprouvette	
Date :	20-02-2023	Type :	Cylindre
Structure	Unité Ghardeia	Diamètre :	152 mm
Lieu de travail	Service Matériaux	Hauteur :	116 mm
N° Dossier Interne	ETUDE S.DU DUNE +0/3	Wopm	%
Echantillon	0/3	MV Séche	t/m3
Traitement	CBR Immédiate	W après immersion	%
Balance / Evue	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	3,745941	mm
Valeur de pénétration n°2 :	S2	6,245941	mm
Charge de pénétration n°1 :	F1	127,157758	%
Charge de pénétration n°2 :	F2	129,548293	%
Index CBR :	F	129,548293	%

Opérateur: B.L

Responsable : Djekaoua M.Ch

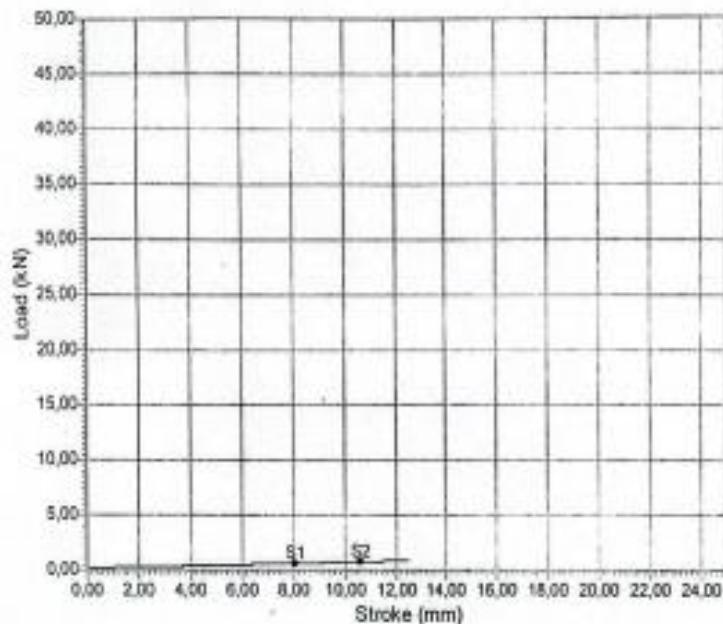


ESSAI CBR

13-03-2023

NF P 94-078

Donnes		Eprouvette	
Date :	21-02-2023	Type :	Cylindre
Structure	Unité Ghardaia	Diamètre :	152 mm
Lieu de travail	Service Matériaux	Hauteur :	116 mm
N° Dossier Interne	ETUDE S.DUNE+0/3	Wopm	%
Echantillon	S.DU DUNE	MV Séche	t/m3
Traitement	CBR 4H	W après immersion	%
Balance / Euve	L21.51.15/L49.10.15	Section :	18145,830 mm ²
Presse CBR/Damme P	L74.07.15/L54.03.15		
Valeur de déformation	%		



Résultats

Valeur de pénétration n°1 :	S1	8,101829	
Valeur de pénétration n°2 :	S2	10,601829	
Charge de pénétration n°1 :	F1	4,475514	%
Charge de pénétration n°2 :	F2	3,716376	%
Index CBR :	F	4,475514	%

Opérateur: B.L

Responsable : Djekaoua M.Ch

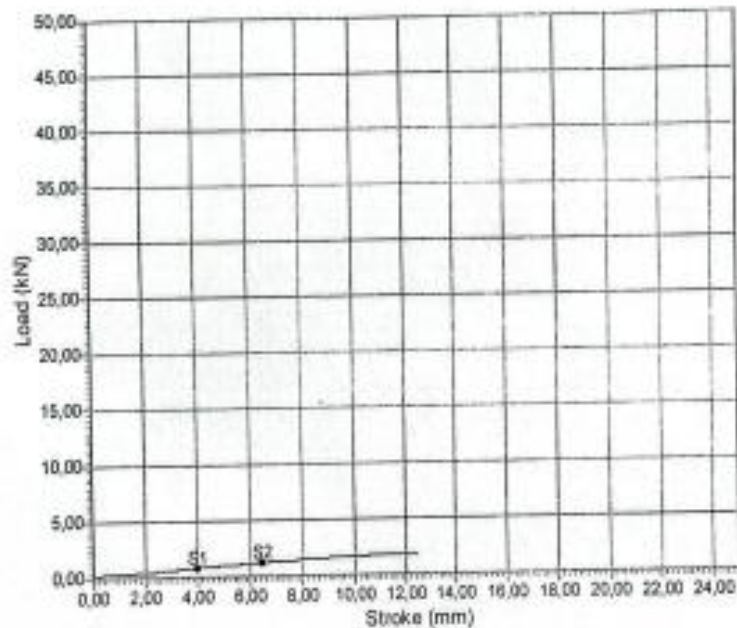


ESSAI CBR

NF P 94-078

13-03-2023

Donnes		Eprouvette		
Date :	05-03-2023	Type :	Cylindre	
Structure	Unité Ghardaia	Diamètre :	152	mm
Lieu de travail	Service Matériaux	Hauteur :	116	mm
N° Dossier Interne	ETUDE 0/3+ S.DU DUNE	Wapm	%	
Echantillon	10%	MV Séche	t/m3	
Traitement	CBR 4H	W après immersion	%	
Balance / Euve	L21.51.15/L49.10.15	Section :	18145,839	mm²
Presse CBR/Damme P	L74.07.15/L54.03.15			
Valeur de déformation	%			



Résultats

Valeur de pénétration n°1 :	S1	3,999242	
Valeur de pénétration n°2 :	S2	6,499242	
Charge de pénétration n°1 :	F1	5,948468	%
Charge de pénétration n°2 :	F2	6,125978	%
Index CBR :	F	6,125978	%

Opérateur: Beddiaf.Ch

Responsable : Djekaoua M.Ch

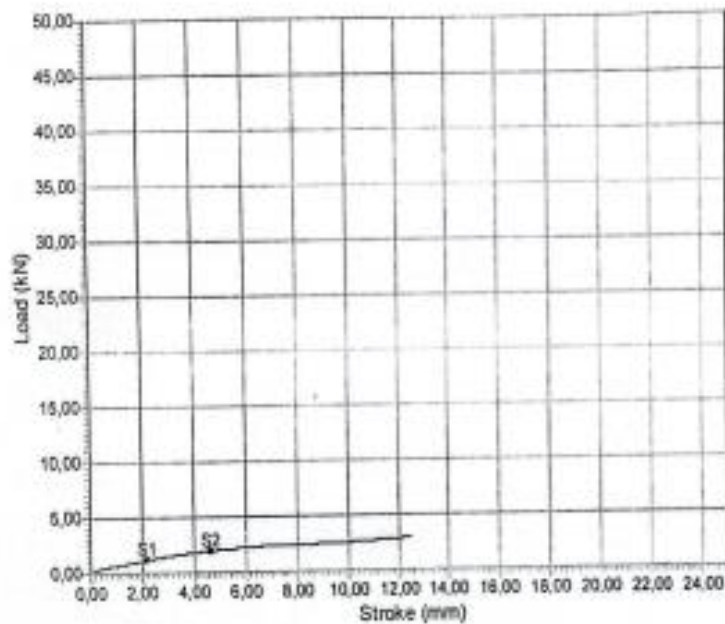


ESSAI CBR

NF P 94-078

13-03-2023

Donnes		Eprouvette		
Date :	05-03-2023	Type :	Cylindre	
Structure	Unité Ghardaia	Diamètre :	152	mm
Lieu de travail	Service Matériaux	Hauteur :	116	mm
N° Dossier Interne	ETUDE 0/3+ S.DU DUNE	Wopm		%
Echantillon	30%	MV Séche		1/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	2,165448	mm
Valeur de pénétration n°2 :	S2	4,665448	mm
Charge de pénétration n°1 :	F1	8,486481	%
Charge de pénétration n°2 :	F2	9,691282	%
Index CBR :	F	9,691282	%

Opérateur: Beddiaf.Ch

Responsable : Djekaoua M.Ch

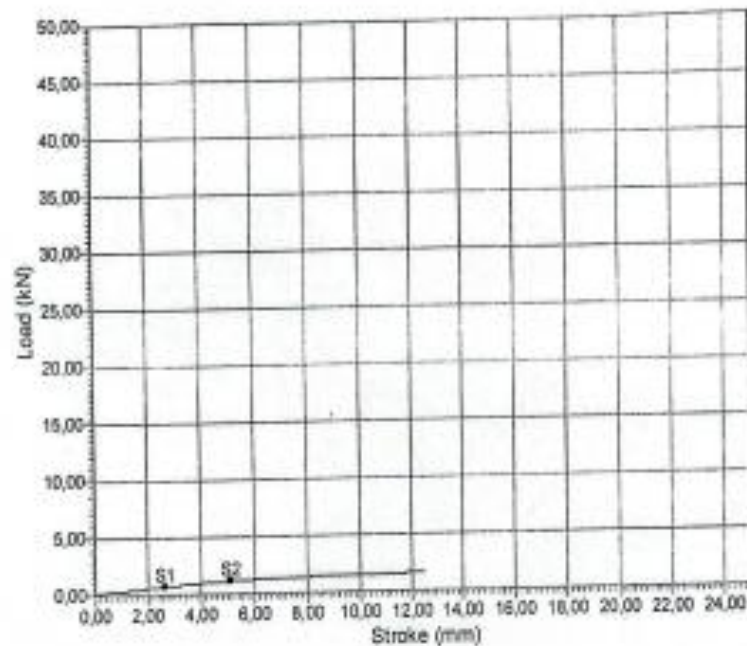


ESSAI CBR

NF P 94-078

13-03-2023

Données		Eprouvette	
Date :	05-03-2023	Type :	Cylindre
Structure :	Unité Ghardaia	Diamètre :	152 mm
Lieu de travail :	Service Matériaux	Hauteur :	116 mm
N° Dossier Interne :	ETUDE 0/3+ S DU DUNE	Wopm :	%
Echantillon :	20%	MV Séche :	1/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	2,63315	mm
Valeur de pénétration n°2 :	S2	5,13315	mm
Charge de pénétration n°1 :	F1	5,064696	%
Charge de pénétration n°2 :	F2	5,634993	%
Index CBR :	F	5,634993	%

Opérateur: Beddiaf.Ch

Responsable : Djekaoua M.Ch