

République Algérienne Démocratique et populaire  
الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
Ministère de l'enseignement Supérieur et de la recherche scientifique  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Mohamed Khider-Biskra  
Faculté des Sciences et de la Technologie  
Département de Génie civil et hydraulique  
référence: ...../2015

جامعة محمد خيضر- بسكرة  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم الهندسة المدنية و الري  
المرجع: ...../2015



## Mémoire de Master

2<sup>ème</sup> année

Option: voies et ouvrages d'art

THEME:

**Utilisation du sable de dunes en technique routière  
Etude bibliographique**

Etudiant:

• Ben ouakhir Abdel Hakim

Encadreur:

•Dr. TAALLAH Bachir

PROMOTION: JUIN 2015

# Remerciement

*Dans le cadre de la réalisation de cette étude, je remercie avant tous DIEU tous puissants, de m' avoir accordé la santé, guidée vers le bon chemin et de m'avoir permis d'accomplir la présente recherche.*

*Je remercie me très chers parents pour leurs soutiens et leurs patiences.*

*je remercie les plus chaleureux vont tout particulièrement à mon directe de recherche, Dr. TAALLAH. BACHIR, pour me avoir encadré et dirigé avec une grande rigueur scientifique. la qualité de sa formation et de ses conseils, le soutien et la confiance qu'il m'accordé, m'ai permis de réaliser cette période de recherche dans les meilleurs conditions.*

*Je remercier l'ensemble des enseignants de l'université Mohamed Khaider Biskra pour toutes les informations qu'ils nous ont prodigué durant les cinq ans de notre formation.*

*Je tiens également à remercier les membres du jury qui me feront l'honneur de présider et d'examiner ce modeste travail.*

*Enfin, je remercie sincèrement tous ceux qui m'a aidés de prés ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.*

# DEDICACE

*Tout d'abord je tien à remercié le dieu puissant.*

*Je dédie sincèrement à mes tuteurs dans la vie, la source d'amour et le symbole de compassion : mon cher père et ma mignonne mère, que Dieu les protège ; je les remercie jusqu'au l'infini pour leur soutien, leur encouragement leur patience....et tout beaux mots ne me suffisent plus de donner leur droit.*

*Qui sont être à mes cotés dans les moments difficile sans lesquels je n'aurai pas abouti à ce stade d'étude, ainsi que chaque instant de bonheur qu'ils m'ont procuré, fasse dieu que je puisse les honorés.*

*A mes chères frères; mon jumeau Aziz ,ma grand frère wahab, athman,*

*A mes chères sœurs; Malika, Ghalia, Samah; ma belle petite sœur Hanane*

*A tous me collègues DE l'université Mohamed Khider promotion 2015 ,*

*Abdeljalil, Anes, lamine Ismail, Achour, Feres, Adel,*

*et Je vous dis merci pour tous qui mon aidés de loin ou de prés pour la réalisation de ce mémoire.*

# RESUME

## Résumé:

La construction de routes est principalement basée sur l'utilisation de matières premières devant être en conformité avec les normes, assurant par suite une bonne qualité et durabilité de la route.

Certaines régions du monde, souffrent du problème de manque de matières premières utilisées pour la construction de routes notamment les régions sahariennes, d'où le besoin de déplacement sur de longues distances, ce qui influe défavorablement sur le cout du projet. Pour cette raison, les décideurs et les spécialistes ont cherché des alternatives efficaces et économiques. Le sable de dunes, vu son abondance, peut être considéré comme la plus importante de ces alternatives.

L'objectif de ce étude est de faire une recherche bibliographique sur l'utilisation du sable de dunes en technique routière, en vue de fournir aux futurs travaux expérimentaux sur ce sujet une base documentaire, qui leurs permettent une bonne exploitation de sable de dune dans la construction des routes de manière à avoir de bonne performance mécanique et une bonne durabilité.

Les résultats de la synthèse bibliographique montrent la possibilité d'utiliser les sables de dunes dans la construction des routes, que ce soit dans la couche du roulement ou les couches d'assises, non pas seul mais avec l'emploi de stabilisants (ciment, chaux, poussière de cimenterie,.....) à condition que les essais de durabilité donnent des résultats satisfaisants.

**Mots clé :** sable de dune, valorisation, techniques routières, durabilité

## ملخص

إن إنجاز الطرق يعتمد أساساً على استخدام المواد الأولية التي يجب أن تكون بمواصفات مطابقة للمقاييس، والتي بالتبع لذلك تضمن نوعية جيدة وديمومة للطريق.

بعض المناطق في العالم تعاني من مشكلة نقص المواد الأولية المستخدمة في إنشاء الطرق و بالأخص المناطق الصحراوية، مما يتطلب النقل لمسافات طويلة و الذي ينعكس سلباً على تكلفة المشروع. لهذا السبب يسعى أصحاب القرار و الخبراء للبحث عن بدائل فعالة و اقتصادية. إن وفرة رمل الكثبان يجعل منه أهم البدائل المطروحة.

هدف هذه الدراسة هو القيام ببحث مكتبي حول استخدام رمل الكثبان في تقنية الطرق و هذا قصد توفير قاعدة من المراجع للأبحاث المستقبلية في هذا المجال، وهذا ما يسمح باستغلال جيد لرمل الكثبان في إنشاء الطرق بشكل يسمح بالحصول على مقاومة عالية و ديمومة أفضل.

إن نتائج هذا البحث المكتبي أفضت إلى إمكانية استخدام رمل الكثبان في إنشاء الطرق سواء في طبقة السير، أو في طبقات جسم الطريق، ولكن ليس لوحده بل باستخدام مواد مثبته (اسمنت، الجير، غبار مصانع الاسمنت) بشرط تحقيق تجارب الديمومة لنتائج جيدة.

**كلمات دالة :** رمل الكثبان، ترمين، تقنية الطرق، ديمومة.

# SOMMAIRE

---

## Sommaire

Remerciements.....	I
Dédicace.....	II
Résumé.....	III
Sommaire.....	IV
Liste des figures.....	VII
Liste des tableaux.....	X
Liste d'abréviations.....	XI
Introduction générale.....	1

## Chapitre I Généralités sur les chaussées routières

I.1. INTRODUCTION.....	3
I.2. LES FAMILLES DE STRUCTURES DE CHAUSSEE.....	4
I.2.1 Les chaussées souples.....	4
I.2.2 Les chaussées bitumineuses épaisses.....	4
I.2.3 Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques.....	5
I.2.4 Les chaussées à structure mixte.....	5
I.2.5 Les chaussées à structure inverse.....	6
I.2.6 Les chaussées en béton de ciment.....	6
I.3. MATERIAUX CONSTRUCTIFS DES CHAUSSEES.....	8
I.3.1. Béton Bitumineux (BB).....	8
I. 3.2. Grave-Bitume (GB).....	8
I. 3. 3. Béton de Ciment (BC).....	9
I. 3. 4. Grave non traitée (GNT).....	9
I. 3. 5. Tufs Calcaires (TUF).....	10
I. 3. 6. Sable bitume (SB).....	11
I. 3. 7. Grave-ciment (GC).....	11
I. 3.8 Sables gypseux (SG).....	11
I. 4. LES DIFFERENTS ESSAIS SUR LES CHAUSSEES.....	12
I. 4.1. Les essais d'identification.....	12
I.4.2. Les Essais d'état (essais mécanique d'identification).....	19

# SOMMAIRE

---

I. 4.3. Les Essais Mécaniques:.....	21
I.4.4 Essais statique sur mélanges hydrocarbonés :.....	23
I. 4.5 Les Essais in situ.....	23
I. 5. LE COMPACTAGE.....	24
I.5.1 Compactage in situ.....	25
I.6. Conclusion.....	25

## **Chapitre II                    Généralités sur le sable des dunes**

II.1. Introduction.....	26
II .2. Définition d'un sable de dunes:.....	26
II. 3. Intérêt de sable de dune.....	26
II. 3.1 Les aspects économiques.....	26
II.3.2 Les aspects techniques.....	27
II. 4. Mécanismes de formation des dune.....	27
II.5 Différentes formes des dunes:.....	28
II.5.1 Dune de barkhane:.....	28
II.5.2 La dune parabolique.....	28
II.5.3 Les dunes en étoile.....	29
II.5.4 Les dunes transversales.....	29
II.5.5 Les dunes longitudinales.....	29
II.6. Identification des sables de dunes du Sahara.....	30
II.6.1 Composition chimique.....	30
II.6.2 Analyses minéralogiques.....	31
II.6.3 Granulométrie.....	32
II.6.4 Propriété.....	33
II.6.5 Comportement mécanique.....	34
II.6.6 Microscope électronique à balayage (MEB).....	34
II.7. Utilisation du sable de dunes:.....	35
II.7.a. Diverses utilisations.....	35
II.7.b. Utilisation du sable de dunes dans le béton.....	35
II.7.c. Utilisation du sable de dunes dans le domaine routier .....	36

# SOMMAIRE

---

II.8 Conclusion.....	36
----------------------	----

## **Chapitre III Utilisation de sable des dunes en techniques routières**

III.1 INTRODUCTION.....	37
III.2 Utilisation des sables de dunes en techniques routière dans le domaine de la recherche.	37
III.2.1 Matériaux pour corps de chaussée.....	37
III.2.2 Valorisation du sable de dunes en couche de roulement.....	53
III.3 L'utilisation sur terrain des sables de dunes en techniques routière.....	62
III.4 Conclusion.....	62
Conclusion générale.....	63
Bibliographie	

# Liste des figures

---

## LISTE DES FIGURES

<b>Figure. I.1</b>	: Profil type d'une chaussée et terminologie des différentes couches.....	4
<b>Figure. I.2</b>	: Les chaussées souples.....	4
<b>Figure. I.3</b>	: Les chaussées bitumineuses épaisses.....	5
<b>Figure. I.4</b>	: Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques.....	5
<b>Figure. I.5</b>	: Les chaussées à structure mixte.....	5
<b>Figure. I.6</b>	: Les chaussées à structure inverse.....	6
<b>Figure. I.7.a</b>	: Dalle non goudonnées avec fondation.....	6
<b>Figure. I.7.b</b>	: Dalle goudonnées avec fondation.....	7
<b>Figure. I.7.c</b>	: Dalle sans fondation.....	7
<b>Figure. I.7.d</b>	: Béton armé continu 1.....	7
<b>Figure. I.7.e</b>	: Béton armé continu 2.....	7
<b>Figure. I. 8</b>	: courbe granulométrique.....	13
<b>Figure. I. 9</b>	: Exemples de courbes granulométriques.....	13
<b>Figure. I.10</b>	: essai d'équivalent de sable.....	17
<b>Figure. I.11</b>	: Masse volumique apparente.....	18
<b>Figure. I.12</b>	: Masse volumique absolue (Méthode de l'éprouvette graduée).....	18
<b>Figure. I.13</b>	: Masse volumique absolue (Méthode du ballon).....	19
<b>Figure. I.14</b>	: essai Proctor.....	20
<b>Figure. I.15</b>	: Presse CBR.....	21
<b>Figure. II.1</b>	: Dune de barkhane.....	28
<b>Figure. II. 2</b>	: Dune parabolique.....	28
<b>Figure. II.3</b>	: Dunes en étoile.....	29
<b>Figure. II.4</b>	: Dune transversale.....	29
<b>Figure. II.5</b>	: dune longitudinale.....	30

## Liste des figures

---

<b>Figure. II.6 :</b> DRX du sable de dune.....	31
<b>Figure. II.7:</b> Courbes granulométriques de deux sables de dunes.....	33
<b>Figure. II.8 :</b> Vue générale (à grande échelle, MEB.) du sable de dune.....	34
<b>Figure.III.1 :</b> Effet de l'incorporation de sable de dune sur la portance de divers matériaux .	38
<b>Figure.III.2 :</b> Effet de la teneur en sable de dune sur le poids volumique.....	39
<b>Figure.III.3 :</b> Effet de la teneur en sable de dune sur la valeur de l'équivalent de sable.....	39
<b>Figure.III.4 :</b> Effet de la teneur en sable de dune sur la cohésion d'un mélange à base d'un grave alluvionnaire et de sable.....	40
<b>Figure. III.5 :</b> évolutions de la teneur en eau optimale en fonction de % de ciment.....	42
<b>Figure. III.6 :</b> variation de la teneur de l'eau en fonction du % de sable SC.....	43
<b>Figure. III.7 :</b> variation de la densité sèche en fonction de dosage en ciment.....	43
<b>Figure. III.8 :</b> variation de la densité sèche en fonction de dosage en SC.....	44
<b>Figure. III.9 :</b> évaluation de résistance à la compression en fonction de % en ciment.....	45
<b>Figure. III.10 :</b> évaluation de résistance à la compression en fonction de % de SC.....	45
<b>Figure. III.11 :</b> variation de résistance a la traction en fonction de dosage en ciment.....	46
<b>Figure. III.12 :</b> évaluation de la résistance à la traction en fonction de % en SC.....	46
<b>Figure. III.13 :</b> évaluation de résistance à immersion en fonction de % en ciment.....	48
<b>Figure. III.14 :</b> évaluation de résistance à immersion en fonction de % en SC.....	48
<b>Figure. III.15 :</b> Caractéristiques de compactage de mélanges CKD et de sable.....	51
<b>Figure. III.16 :</b> Résistance à la compression non confiné des mélanges de CKD et de sable en fonction de temps.....	52
<b>Figure. III.17 :</b> Caractéristiques d'essai CBR de mélanges CKD et sable.....	53
<b>Figure. III.18 :</b> Variation des vides comblés par le bitume en fonction des teneurs en bitume optimales.....	55
<b>Figure. III.19 :</b> Variation de la compacité en fonction des teneurs en bitume optimales pour chaque mélange.....	56
<b>Figure. III.20 :</b> Variation de stabilité Marshall maximale en fonction des teneurs en bitume optimales pour les cinq mélanges.....	56

## Liste des figures

---

<b>Figure. III.21</b> : Variation du fluage en fonction des teneurs en bitume optimales pour les cinq mélanges.....	57
<b>Figure. III.22</b> : Variation de la compacité en fonction des teneurs en bitume optimales.....	58
<b>Figure. III.23</b> : Variation du pourcentage d'imbibition en fonction des teneurs en bitume optimales selon chaque mélange.....	59
<b>Figure. III.24</b> : Effet de type d'ajout sur la résistance au cisaillement de sable de dunes traité par émulsion de bitume.....	60
<b>Figure. III.25</b> : Effet de type additif sur la résistance au cisaillement de sable de dunes traité par bitume fluidifié.....	61

---

# Liste des Tableaux

---

## Liste des Tableaux

<b>Tableau. I.1:</b> classification de l'argilite d'un sol selon l'indice Ip.....	15
<b>Tableau. I.2 :</b> état de sol en fonction de Ic.....	16
<b>Tableau. I.3 :</b> Conditions des essais Proctor normal et Modifié.....	20
<b>Tableau. I.4:</b> masse de la charge de boulets suivant les classes granulaire.....	22
<b>Tableau. II.1:</b> Analyse chimique du sable de dune.....	31
<b>Tableau. II.2 :</b> quelque propriétés de deux type de sable de dune de la wilaya de Biskra.....	33
<b>Tableau. III.1 :</b> Les détails des proportions des mélanges.....	41
<b>Tableau. III.2 :</b> mélanges sélectionnés.....	47
<b>Tableau. III.3 :</b> les quantités des déférents mélanges étudier en %.....	50
<b>Tableau. III.4 :</b> caractéristiques de compactage,CBR et la résistance a la compression des mélanges.....	51
<b>Tableau. III.5 :</b> Caractéristiques du bitume 40/50.....	53
<b>Tableau. III.6 :</b> les quantités des déférents mélanges étudier en %.....	54
<b>Tableau. III.7 :</b> teneur en bitume en fonction de module de richesse .....	54
<b>Tableau. III.8 :</b> Stabilité de Duriez.....	58

# Liste d'abréviations

---

## Liste d'abréviations

<b>BB</b>	: Béton Bitumineux
<b>GB</b>	: Grave-Bitume
<b>BC</b>	: Béton de Ciment
<b>GNT</b>	: Grave non traitée
<b>TUF</b>	: Tufs Calcaires
<b>SB</b>	: Sable bitume
<b>GC</b>	: Grave-ciment
<b>SG</b>	: Sables gypseux
<b>C<sub>u</sub></b>	: Coefficient d'uniformité Ou COEFFICIENT DE HAZEN
<b>C<sub>C</sub></b>	: Coefficient de courbure
<b>W</b>	: Teneur en eau
<b>W<sub>P</sub></b>	: Limite de plasticité
<b>W<sub>L</sub></b>	: Limite de liquidité
<b>I<sub>p</sub></b>	: Indice de plasticité
<b>I<sub>c</sub></b>	: Indice de consistance
<b>VBS</b>	: Valeur au bleu de méthylène
<b>ESV</b>	: Valeur de l'équivalent de sable visuel
<b>ESP</b>	: Valeur de l'équivalent de sable avec piston
<b>ρ<sub>app</sub></b>	: Masse volumique apparente
<b>ρ<sub>abs</sub></b>	: Masse volumique absolue
<b>IPI</b>	: L'indice Portant Immédiat de CBR
<b>MDS</b>	: Coefficient micro-Deval sec du granulat
<b>MDE</b>	: Coefficient micro-Deval en présence d'eau du granulat
<b>LA</b>	: Coefficient Los Angeles du matériau
<b>EV2</b>	: Module sous chargement statique a la plaque
<b>SM</b>	: Sable de la région d'El-Masrane (Djelfa)
<b>SZ</b>	: Sable de la région de Zaafrane (Djelfa)
<b>SA</b>	: Sable de la région d'El-Amra (Djelfa)
<b>SC/ FS</b>	: Sable concassé
<b>CKD</b>	: Cement kiln dust (poussière des cimenteries).
<b>OMC</b>	: Teneur en humidité optimale ;

## Liste d'abréviations

---

$\gamma_d$	: Densité sèche ;
UC	: Résistance en compression non confiné
K	: Module de richesse
TB	: Teneur en bitume
$V_L$	: Pourcentage des vides
R	: La compression avant immersion
r	: La compression après immersion
r/R	: Le rapport entre la compression après et avant immersion
W	: Pourcentage d'imbibition

## **Introduction générale**

Dans la plupart des pays, le réseau routier représente le patrimoine le plus important qui appartient essentiellement à l'état. Chaque jour plusieurs kilomètres de rues, de routes, d'autoroutes, de pistes d'aéroports sont construits pour accroître les échanges et donner un dynamisme aux régions. Les administrations routières doivent entretenir, exploiter, améliorer, remplacer et préserver ce patrimoine tout en gérant avec soin les ressources financières et humaines qui doivent servir à réaliser ces objectifs.

Ingénieurs routiers sont confrontés à de nombreux problèmes dans la conception des routes . Le plus éminent de ces problèmes est l'indisponibilité de matériaux de construction de la route naturelle appropriés. Cela nécessiterait soit la mise à niveau des matériaux locaux ou d'importer un autre matériau approprié pour le site, ce qui augmente le coût de la construction.

La construction routière en milieu désertique est devenu un besoin actuel, urgent et de plus en plus important. Les régions désertique sont toujours été les plus démunies dans le monde à cause de leurs conditions climatiques difficiles et de l'absence totale de ressources naturelles en surface. La présence de l'homme y est très faible aussi, ce qui a limité les projets de construction et d'infrastructure de toute sorte. Mais les hommes commencent à mieux explorer ces régions et à y investir pour une exploitation plus large de ce que nous offre la nature. Dans le Sahara maghrébin surtout, plusieurs activités sont nées ,comme:

- la prospection et l'exploitation du sous-sol;
- le tourisme saharien;
- l'alimentation et le développement de ces nouveaux marchés.

Ces activités se sont accompagnées par une forte volonté de sédentarisation des populations nomades autour de certains points ou pôles devenus stratégiques .

Il est, par conséquent ,nécessaire de développer le réseau routier dans les régions sahariennes. Cependant, l e milieu saharien présente non seulement les conditions les plus

défavorable s au développement économique et humain, mais aussi des particularités techniques pour la conception et la réalisation des routes.

L'immense étendue désertique de l'Algérie recèle des quantités inestimables de sable de dune généralement de granulométrie 0/2. Ce sable de dune est le seul matériau local des régions du grand sud algérien qui est resté très longtemps marginalisé. Actuellement, de grands efforts sont consentis afin de valoriser le sable de dune et notre travail s'inscrit dans ce cadre.

Les sables de dunes sont considérés comme des matériaux de qualité médiocre (non compactables, de faible portance, de pourcentage de vides élevé, de granulométrie homométrique...). Utilisés seuls avec des liants hydrocarbonés (bitumes purs, fluidifiés) ou hydrauliques (ciment), ils donnent des performances mécaniques (stabilités, compacité, résistances à la compression et à la traction) insuffisantes.

L'objectif de ce travail est de faire une recherche bibliographique sur l'utilisation du sable de dunes en technique routière, en vue de fournir aux futurs travaux expérimentaux sur ce sujet une base documentaire, qui leurs permettent une bonne exploitation de sable de dune dans la construction des routes de manière à avoir de bonne performance mécanique et une bonne durabilité.

pour cet raison, outre l'introduction général, le présent mémoire est divisé en trois chapitres:

- le premier chapitre présente des généralités sur les chaussées routiers.
- le deuxième chapitre est consacré à des généralités sur le sable des dunes.
- le troisième chapitre présente l'utilisation de sable de dune en technique routière, que ce soit sur le plan des recherches ou sur le plan d'exploitation sur terrain.

Finalement, une conclusion générale est présentée, suivit de quelque recommandations.

## I.1. INTRODUCTION

Les chaussées se présentent comme des structures multicouches (figure.1) mises en œuvre sur un ensemble appelé plate-forme support de chaussée constituée du sol terrassé (dit sol support) surmonté généralement d'une couche de forme.

- **La couche de forme**

Cette couche de transition entre le sol support et le corps de chaussée a une double fonction: pendant la phase de travaux, elle protège le sol support, elle établit une qualité de nivellement et permet la circulation des engins pour l'approvisionnement des matériaux et la construction des couches de chaussée, -vis-à-vis du fonctionnement mécanique de la chaussée, elle permet de rendre plus homogènes et éventuellement d'améliorer les caractéristiques dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place ainsi que de les protéger du gel.

- **Les couches d'assise**

L'assise de chaussée est généralement constituée de deux couches, la couche de fondation sur montée de la couche de base. Ces couches en matériaux élaborés (le plus souvent liés pour les chaussées à trafic élevé) apportent à la chaussée la résistance mécanique aux charges verticales induites par le trafic. Elles répartissent les pressions sur la plate-forme support afin de maintenir les déformations à ce niveau dans des limites admissibles. Pour les chaussées à faible trafic, le rôle de couche de fondation peut être, dans certains cas, assuré par un traitement du sol en place.

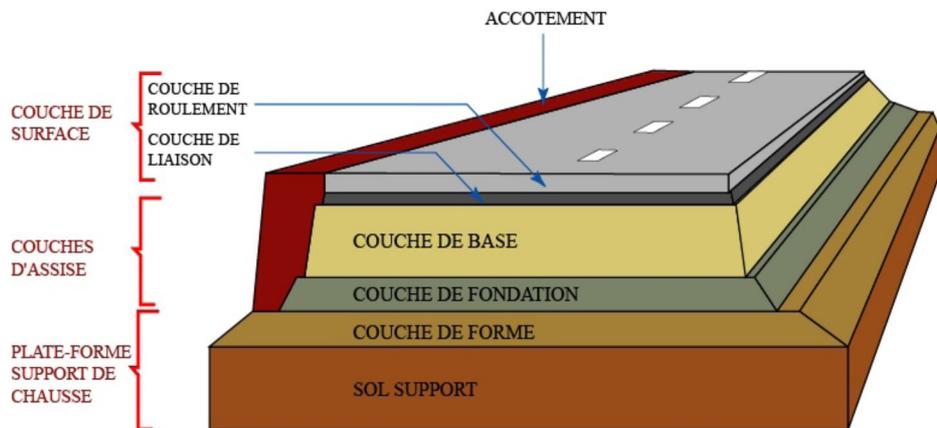
- **La couche de surface**

La couche de surface est constituée:

**de la couche de roulement**, qui est la couche supérieure de la structure de chaussée sur laquelle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat,  
**et le cas échéant d'une couche de liaison**, entre les couches d'assise et la couche de roulement.

C'est à l'interface entre la couche de surface et la couche de base que l'on trouvera éventuellement les dispositifs visant à ralentir la remontée des fissures des couches d'assises traitées aux liants hydrauliques. Des caractéristiques de surface de la couche de roulement dépend pour une large part la qualité d'usage de la chaussée. La couche de surface contribue

en outre à la pérennité de la structure de chaussée en particulier par la fonction d'étanchéité vis-à-vis de l'assise. (FAURE, 1996)

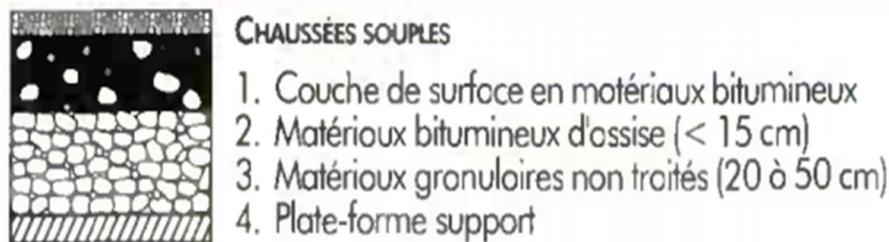


**Fig. I.1** : Profil type d'une chaussée et terminologie des différentes couches

## I.2. LES FAMILLES DE STRUCTURES DE CHAUSSEE

### I.2.1 Les chaussées souples

Ces structures (figure 2) comportent une couverture bitumineuse relativement mince (inférieure à 15cm), par fois réduite à un enduit pour les chaussées à très faible trafic, reposant sur une ou plusieurs couches de matériaux granulaires non traités. L'épaisseur globale de la chaussée est généralement comprise entre 30 et 60 cm. (LCPC, 1994).



**Fig. I.2:** Les chaussées souples

### I.2.2 Les chaussées bitumineuses épaisses

Ces structures (figure 3) se composent d'une couche de roulement bitumineuse sur un corps de chaussée en matériaux traités aux liants hydrocarbonés, fait d'une ou deux couches (base et fondation). L'épaisseur des couches d'assise est le plus souvent comprise entre 15 et 40 cm. (LCPC, 1994).

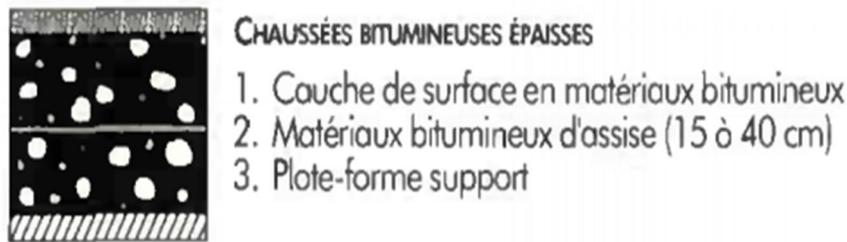


Fig. I.3: Les chaussées bitumineuses épaisses

### I.2.3 Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques

Ces structures (figure4) sont qualifiées couramment de "semi-rigide". Elles comportent une couche de surface bitumineuse sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques disposés en une ou deux couches (base et fondation) dont l'épaisseur totale est de l'ordre de 20 à 50 cm. (LCPC, 1994).



Fig. I.4: Les chaussées à assise traitée aux liants hydrauliques

### I.2.4 Les chaussées à structure mixte

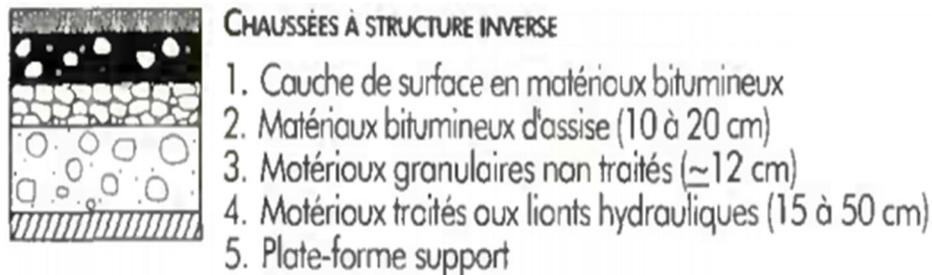
Ces structures (figure5) comportent une couche de roulement et une couche de base en matériaux bitumineux (épaisseur de la base: 10 à 20cm) sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques (20 à 40 cm). Les structures qualifiées de mixtes sont telles que le rapport de l'épaisseur de matériaux bitumineux à l'épaisseur totale de chaussée soit de l'ordre de 1/2. (LCPC, 1994).



Fig. I.5: Les chaussées à structure mixte

### I.2.5 Les chaussées à structure inverse

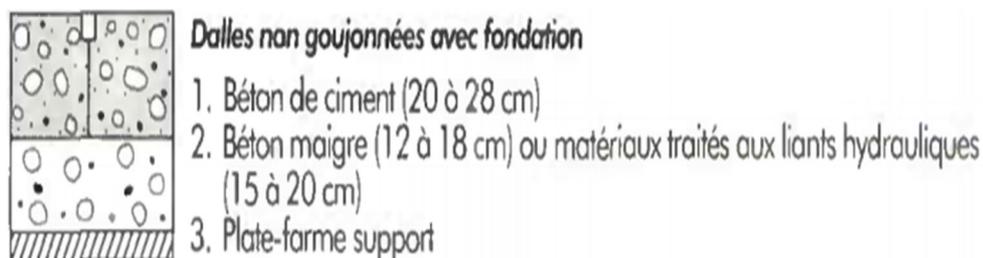
Ces structures (figure 6) sont formées de couches bitumineuses, d'une quinzaine de centimètres d'épaisseur totale, sur une couche en grave non traitée (d'environ 12 cm) reposant elle-même sur une couche de fondation en matériaux traités aux liants hydrauliques. L'épaisseur totale atteint 60 à 80 cm. (LCPC, 1994).



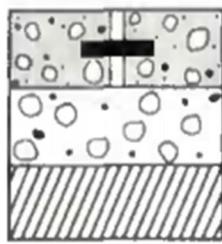
**Fig. I.6:** Les chaussées à structure inverse

### I.2.6 Les chaussées en béton de ciment

Ces structures (figure 7) comportent une couche de béton de ciment de 15 à 40 cm d'épaisseur éventuellement recouverte d'une couche de roulement mince en matériaux bitumineux. La couche de béton repose soit sur une couche de fondation ( qui peut être en matériaux traités aux liants hydrauliques, en béton de ciment, ou drainant e non traitée), soit directement sur le support de chaussée avec, dans ce cas, interposition fréquente d'une couche bitumineuse. La dalle de béton peut être continue avec un renforcement longitudinal ("béton armé continu"), ou discontinue avec ou sans éléments de liaison aux joints. (LCPC, 1994).



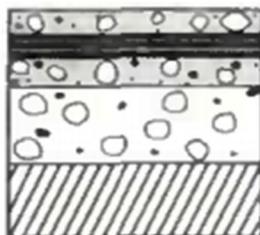
**Fig. I.7.a :** Dalle non goudronnées avec fondation

**Dalles goudonnées avec fondation**

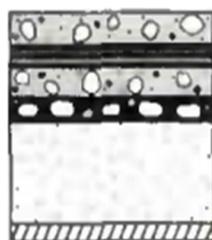
1. Béton de ciment (17 à 23 cm)
2. Béton moigre (14 à 22 cm)
3. Plate-forme support

**Fig. I.7.b : Dalle goudonnées avec fondation****Dalles sans fondation**

1. Béton de ciment (28 à 39 cm)
2. Couche drainante (matériaux granulaires ou géotextile)
3. Plate-forme support

**Fig. I.7.c : Dalle sans fondation****Béton armé continu (1)**

1. Béton de ciment (16 à 24 cm)
2. Béton maigre (12 à 14 cm)
3. Plate-forme support

**Fig. I.7.d : Béton arme continu 1****Béton armé continu (2)**

1. Béton de ciment (18 à 24 cm)
2. Matériaux bitumineux d'assise (5 cm)
3. Sable traité aux liants hydrauliques (50 à 60 cm)
4. Plate-forme support

**Fig. I.7.e : Béton arme continu 2**

### **I.3. MATERIAUX CONSTRUCTIFS DES CHAUSSEES**

#### **I.3.1. Béton Bitumineux (BB)**

##### **I.3.1.1 Définition**

Le béton bitumineux (BB) est un mélange à granularité continue se composant de gravillons, de sable, de filler, de liant bitumineux et d'additifs éventuels. Les classes granulaires des bétons bitumineux retenues dans le présent cahier des charges sont les suivantes : BB 0/4, BB 0/8, BB 0/12, BB 0/16 et BB 0/32. (CDC-ENR05, 2005).

##### **I.3.1.2 Domaine d'utilisation**

- Ce type de matériau est bien adapté aux couches de surface des chaussées à forts trafics en raison des bonnes caractéristiques mécaniques. il est aussi bien utilisé pour les chaussées neuves qu'en renforcement. (CTTP, 2001).
- Selon le type, il convient pour couche de roulement ou couche de liaison de routes, autoroutes et aérodromes. Il est fabriqué, mis en œuvre et compacté à chaud. (CDC-ENR05, 2005).

#### **I. 3.2. Grave-Bitume (GB)**

##### **I.3.2.1 Définition**

La grave-bitume (GB) est un mélange à granularité continue 0/32 se composant de granulats, de sable, de filler, de liant bitumineux et d'additifs éventuels. Elle est appropriée pour couche de base de routes, autoroutes et aérodromes. Elle est fabriquée, mise en œuvre et compactée à chaud et assure la portance de la chaussée et la répartition des charges du trafic transmis par les couches de surface. Elle sert aussi à établir le profil souhaité de la chaussée respectivement comme couche de reprofilage. (CDC-ENR05, 2005).

##### **I.3.2.2 Domaine d'utilisation**

- La technique des graves bitume est destinée à la réalisation des assises de chaussée (couche de base et couche de fondation).
- Réseau RP1 : Classes de trafic TPL3 à TPL7. (CTTP, 2001).

### **I. 3. 3. Béton de Ciment (BC)**

#### **I. 3.3.1 Définition**

Les chaussées modernes en béton peuvent se présenter sous différentes conceptions ; on peut citer les dalles courtes (3 à 5 m) non armées, à joints goujonnés ou non. les dalles moyennes (5 à 7 m) goujonnées ou non, les dalles épaisses (30 à 40 cm) courtes et non armées, etc. Dans le cadre du catalogue de dimensionnement des chaussées, il s'agit de dalles en béton de ciment (granulats et ciment) courtes ou moyennes non armées et goujonnées. (CTTP, 2001).

#### **I. 3.3.2 Domaine d'utilisation**

- Couche de roulement et couche de base.
- Réseau principal de niveau 1 (RP1) : Classes de trafic TPL3 à TPL7.(CTTP, 2001).

### **I. 3. 4. Grave non traitée (GNT)**

#### **I. 3.4.1 Définition**

La grave non traitée est le plus ancien des matériaux modernes. Depuis qu'elle s'est substituée au macadam, dans les années 50, le progrès des méthodes de fabrication a permis d'en faire un matériau de qualité sans cesse améliorée, l'expression la plus achevée de cette technique étant la « grave recomposée humidifiée » ou GRH. Une grave non traitée est un mélange à granularité continue, de cailloux, de graviers et de sable, avec généralement une certaine proportion de particules plus fines.

Pour pouvoir être mise en œuvre dans de bonnes conditions et jouer correctement son rôle dans la chaussée, la grave non traitée doit répondre à un certain nombre de conditions.(J. BERTHIER)

- Les Graves non traitées [GNT] sont définies comme étant des graves 0/D, ne comportant pas de liant. On distingue deux types de GNT suivant leur mode d'élaboration :
- Les GNT de type «A» sont obtenus en une seule fraction (ce type de GNT ne permet pas une optimisation de la granulométrie et n'offre pas de garantie d'homogénéité),
- Les GNT de type «B» sont des matériaux provenant du mélange d'au moins deux fractions granulométriques, malaxées et humidifiées en centrale. (CTTP, 2001).

**I.3.4.2 Domaine d'utilisation**

- Couches d'assises de chaussées (couche de base et de fondation) pour le réseau RP2
- Couche de fondation pour le réseau de niveau 1 (RP1) (CTTP, 2001).

**I. 3. 5. Tufs Calcaires (TUF)****I. 3.5.1 Définition**

Les tufs calcaires ou «encroûtement calcaires» sont des matériaux composés essentiellement, mais pas exclusivement de carbonate de calcium. Les tufs calcaires existent à l'état poudreux, nodulaire ou très induré ; ils sont dus à la cimentation, à l'accumulation ou au remplacement de quantité plus ou moins grande de sols, roches ou matériaux altérés par du calcaire dans une zone d'infiltration. Ils sont très répandus dans les zones climatiques II et III.

On les rencontre dans les bassins relativement plats irrigués par les eaux de ruissellement provenant des massifs calcaires limitrophes. On distingue généralement dans un tuf calcaire mûr trois horizons du haut en bas :

**Horizon A** : il constitue la terre végétale dont l'épaisseur est de 20 à 30 cm.

**Horizon B** : C'est l'horizon de l'encroûtement proprement dit ; son épaisseur peut varier de 1 à 2 m. Il comprend le plus souvent:

1. Dalle compacte, de consistance dure, à forte teneur en carbonate et dont l'épaisseur peut atteindre 20 cm.
2. Croûte constituée par une superposition de feuilletts.
3. Zone nodulaire. Il s'agit de nodules calcaires durs pris dans une gangue calcaire plus ou moins pulvérulente.

**Horizon C** : C'est le matériau d'origine dans lequel on rencontre cependant quelques nodules. (CTTP, 2001).

**I. 3.5.2 Domaine d'utilisation**

- Couches d'assises (base, fondation), pour le réseau principal de niveau 2 (RP2).
- TUF1 en couche de fondation, pour le réseau principal de niveau 1 (RP1). (CTTP, 2001).

### **I. 3. 6. Sable bitume (SB)**

#### **I. 3.6.1 Définition**

Le sable bitume est un mélange d'un ou plusieurs sables avec du bitume pur. Généralement, le mélange nécessite l'ajout de fines provenant soit des matériaux de concassage-broyage (sable fileries, fines calcaires), soit des pulvérulents industriels (chaux, ciment). Le bitume utilisé doit être assez dur, de classe 40/50 ou 20/30 afin d'assurer une rigidité et une stabilité convenable. La fabrication du mélange (sable + bitume) se fait en centrale d'enrobage à chaud. (CTTP, 2001).

#### **I. 3.6.2 Domaine d'utilisation :**

L'emploi du sable bitume est envisageable en couche de base pour les chaussées du réseau principal de niveau 2 (RP2). (CTTP, 2001).

### **I. 3. 7. Grave-ciment (GC)**

#### **I. 3.7.1 Définition**

Une grave ciment est un mélange de granulats, de ciment, éventuellement de retardateur de prise, et d'eau, fabriqué en centrale de malaxage.

#### **I. 3.7.2 Domaine d'utilisation**

- Couche de fondation de chaussées en béton de ciment
- Chaussées neuves de type RP1 : réseau principal de niveau 1 (TPL3 à TPL7) (CTTP, 2001).

### **I. 3.8 Sables gypseux (SG)**

#### **I. 3.8.1 Définition**

Les encroûtements gypseux sont situés dans la zone climatique IV, c'est la zone des chotts et souvent de grandes étendues dunaires. Les encroûtements gypseux se présentent généralement en couches horizontales.

**Horizon A** : Appelé «Tirch» en arabe, épaisseur varie de 20 à 30 cm. Cette partie est friable, poreuse et souvent sableuse.

**Horizon B** : Encroûtement massif ou «Taffeza» : Son épaisseur varie de 1 à 2 m. Il est souvent utilisé comme pierre à bâtir C'est l'horizon des roses des sables. Encroûtements friables ou «sables gypseux». Ils ne se différencient des encroûtements massifs que par la dureté.

**Horizon C** : Les encroûtements tendres : Appelés sables gypseux sont les matériaux recherchés pour l'utilisation en technique routière, ils sont d'extraction facile et évoluent en sable au compactage

### **I. 3.8.2 Domaine d'utilisation**

Couches d'assises (base, fondation), pour le réseau RPI - SGI en couche de fondation, pour le réseau RPI. (CTTP, 2001).

## **I. 4. LES DIFFERENTS ESSAIS SUR LES CHAUSSEES**

La géotechnique routière a pour objectif de définir les caractéristiques des sols qui serviront d'assise pour la structure de chaussée. Elle étudie les problèmes d'équilibre et de formation des masses de terre de différentes natures soumises à l'effet des efforts extérieurs, appliquée aussi bien au sol que l'on rencontre dans la nature et qui supporte la construction d'une route et des massifs de terres artificielles (remblai), Cette étude doit d'abord permettre de localiser les différentes couches et donner les renseignements de chaque couche et les caractéristiques mécaniques et physiques de ce sol. Pour cela, on fait des essais en laboratoire permettent de déterminer les caractéristiques in situ.

### **I. 4.1. Les essais d'identification**

#### **I. 4. 1.1. Analyse granulométrique et sédimentométrie**

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau. elle comprend deux opérations:

- Le tamisage pour la distribution dimensionnelle en poids des particules de dimension supérieur ou égale à 80 micron.
- La sédimentométrie pour la distribution dimensionnelle des particules de dimension inférieur à 80 microns. la sédimentométrie est basé sur la loi de Stokes qui donne la vitesse limite d'une particule tombant sous l'action de la pesanteur dans un liquide visqueux.

L'analyse granulométrique se traduit par la courbe granulométrique (fig I.8). cette courbe contribue à l'identification du matériau et permet de prévoir certaines propriétés. (LCPC, 1973).

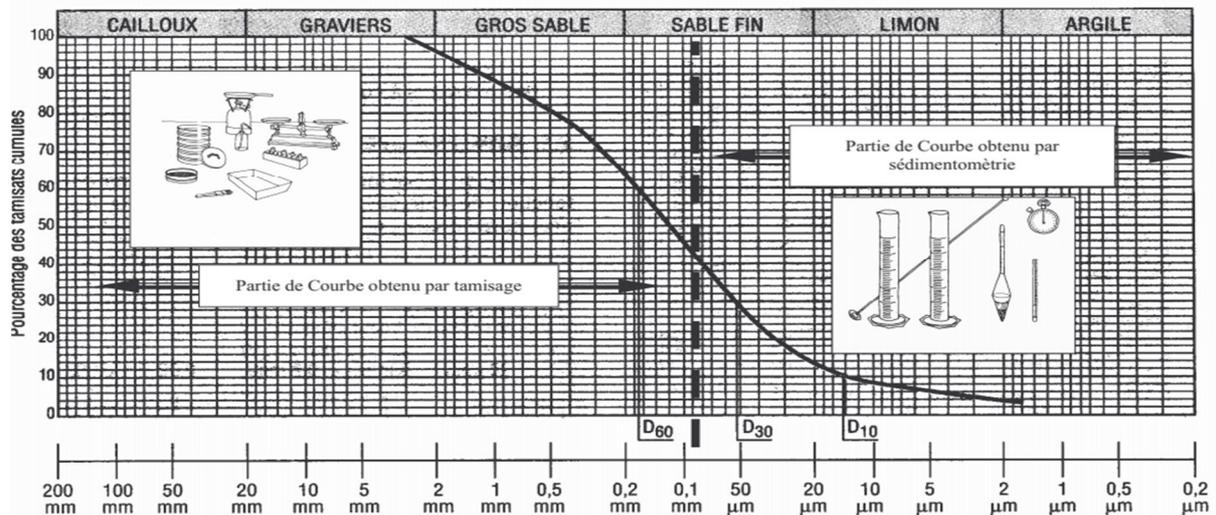


Fig. I. 8: courbe granulométrique

**I. 4. 1. 1 Exemples de courbes granulométriques :**

1. Granulométrie étalée et discontinue (alluvions de sables et graviers).
2. Granulométrie étalée et continue
3. Granulométrie serrée (sable)
4. Limon argileux
5. Argile limoneuse
6. Argile pratiquement pure (bentonite)

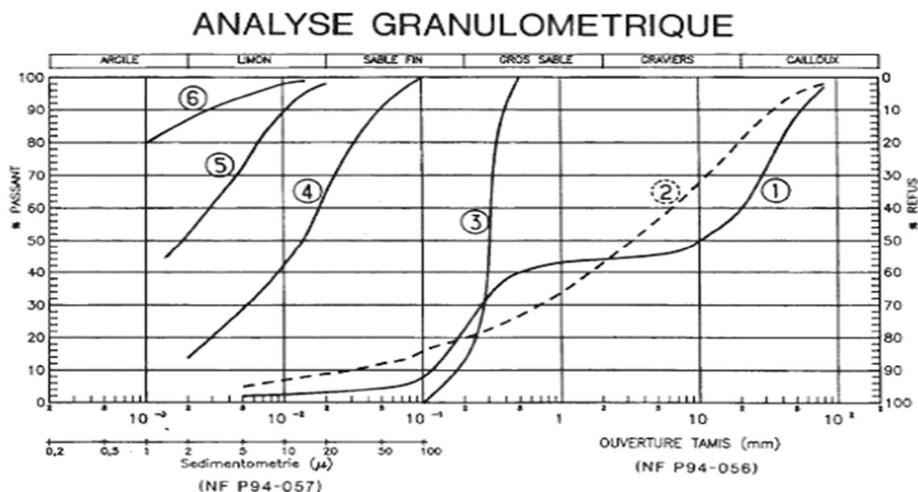


Fig. I. 9: Exemples de courbes granulométriques

### I.4.1.1.2 Coefficient d'uniformité et coefficient de courbure d'une courbe granulométrique

#### I. 4.1.1.2.1 Coefficient d'uniformité

Ou COEFFICIENT DE HAZEN exprimée l'uniformité ou encore le degré d'étalement de la granulométrie défini par le rapport:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

- si  $C_u < 2$ , la granulométrie est uniforme (ou serrée),
- si  $C_u > 2$ , la granulométrie est étalée (ou variée).

#### I. 4.1.1.2.2 Le coefficient de courbure $C_c$ :

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60} \times D_{10})}$$

Permet de déterminer si la granulométrie est bien graduée ou mal graduée ( un sol est mal gradué si une fraction de grains prédomine). Un sol est bien gradué si 'il est compris entre 1 et 3. (Cllaud, 2004).

### I. 4. 1. 2. Teneur en eau ( NF P 94-050)

#### I. 4.1.2.1 Objet

Détermination de la teneur en eau d'un matériau (W), C'est la caractéristique la plus facile à déterminer.

La teneur en eau se détermine par deux pesées. Une première pesée de l'échantillon à l'état initial donne la masse m de l'échantillon humide et une deuxième pesée, après passage à l'étuve à 105°C pendant 24heures (évaporation de l'eau libre et de l'eau capillaire), donne la masse sèche de l'échantillon  $m_s$

$$W = \frac{M_w}{M_d} \times 100$$

#### I. 4.1.2.2 Domaine d'application

Elle est effectuée à partir d'un échantillon intact, remanié, ou reconstitué, de tout le sol et de tous les matériaux cite dans la norme NF P 11-300 .

### I. 4.1.3 Limites d'Atterberg

#### I. 4.1.3.1 Définition

Les limites d'Atterberg sont des essais qui permettent de définir des indicateurs qualifiant la plasticité d'un sol, et plus précisément de prévoir le comportement des sols pendant les opérations de terrassement, en particulier sous l'action des variations de teneur en eau (LCPC, 1973). Notons que cet essai se fait uniquement sur les éléments fins du sol définis comme ayant des grains de diamètres inférieurs à 0.06 mm ( F. Weill, 2010), et il consiste à faire varier la teneur en eau de l'élément en observant sa consistance, ce qui permet de faire une classification du sol.

Le but de ces tests est de déterminer les limites de consistance qui sont exprimées en termes de teneur en eau marquant les limites entre état solide, plastique, et liquide.

A partir des limites d'Atterberg, on peut calculer les indices suivants qui expriment la sensibilité à l'eau du sol ( $I_p$ ) et sa consistance ( $I_c$ ) par rapport sa teneur en eau (LCPC, 1973)

#### I. 4.1.3.2 Indice de plasticité :

$$I_p = W_L - W_P$$

**Tab. I.1:** classification de l'argilite d'un sol selon l'indice  $I_p$

Indice de plasticité $I_p$	Etat- du sol
0 - 5	Non plastique
5 - 15	Peu plastique
15 - 40	Plastique
> 40	Très plastique

#### I. 4.1.3.3 Indice de consistance $I_c$

$$I_c = \frac{W_l - W}{I_p}$$

**Tab. I.2** : état de sol en fonction de  $I_c$ 

Indice de consistance $I_c$	Etat- du sol
$I_c > 1$	Solide
$0 < I_c < 1$	Plastique
$I_c < 0$	Liquide

#### I. 4.1.4 Valeur au bleu de méthylène

##### I. 4.1.4.1 But

Le but de l'essai est d'évaluer la richesse en argile d'un sol en mesurant sa capacité d'adsorption de molécules de bleu de méthylène. ( F. PORTET, 2011)

Le résultat VBS s'exprime donc en grammes de bleu pour 100g de sol. On considère que cet essai exprime globalement la quantité et la qualité de l'argile contenue dans un sol. (M. Cllaud, 2004), il est effectué sur la fraction 0/2 mm du sol et on distingue les valeurs suivantes :

- $VBS \leq 0,2$  : sols sableux (sol insensible à l'eau)
- $0,2 < VBS \leq 2,5$  : sols limoneux (sol peu plastique et sensible à l'eau)
- $2,5 < VBS \leq 6$  : sols limono-argileux, (sol de plasticité moyenne)
- $6 < VBS \leq 8$  : sols argileux
- $8 < VBS$  : sols très argileux. (D. Didier, 1999)

##### I. 4.1.5 Essai d'équivalent de sable

L'essai d'équivalent de sable (figure 4) imaginé par le Laboratoire routier de Californie est basé partiellement sur ce principe. Il n'a pas de sens physique intrinsèque ,mais sa détermination liée à un mode opératoire très précis permet de comparer les matériaux naturels peu plastiques. (R. Campanac).

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 5 mm. Il rend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport

conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

La valeur de l'équivalent de sable (ES) est le rapport, multiplié par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du flocculat et de la partie sableuse sédimentée (NF P18-598). Il est effectué sur les éléments de dimensions inférieures à 5 mm (fraction 0/5 mm du sol).

Par définition, elle est

$$ES = 100 \frac{hs}{hs + hf}$$

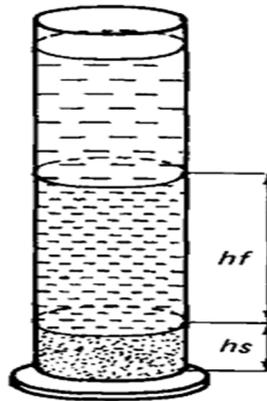


Fig. I.10: essai d'équivalent de sable

#### I.4.1.6. MASSES VOLUMIQUES DES GRANULATS

##### I. 4.1.6.1 Masse volumique apparente :(Ghomari, 2008)

###### I. 4.1.6.1.1 Définition:

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.

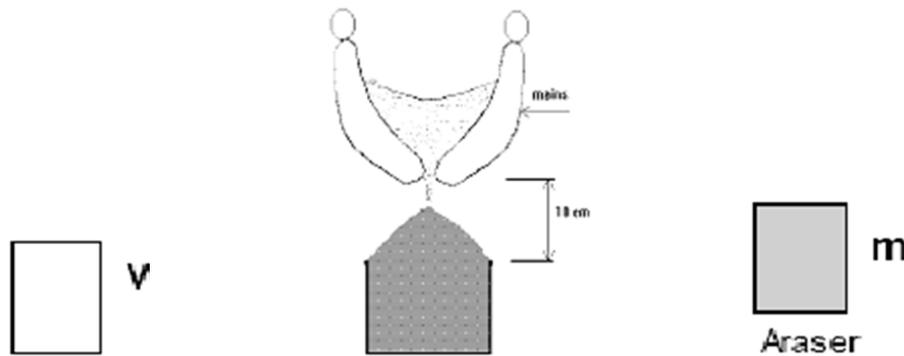


Fig. I.11: Masse volumique apparente

La masse volumique apparente est donnée par:  $\rho_{app} = \frac{m}{v}$

L'essai est répété 5 fois pour un volume de 1 litre et la moyenne de ces essais donne la valeur de la masse volumique apparente.

#### I. 4.1.6.2 Masse volumique absolue: (Ghomari, 2008)

##### Définition:

La masse volumique absolue  $\rho_s$  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.

##### I. 4.1.6.2.1. Méthode de l'éprouvette graduée :

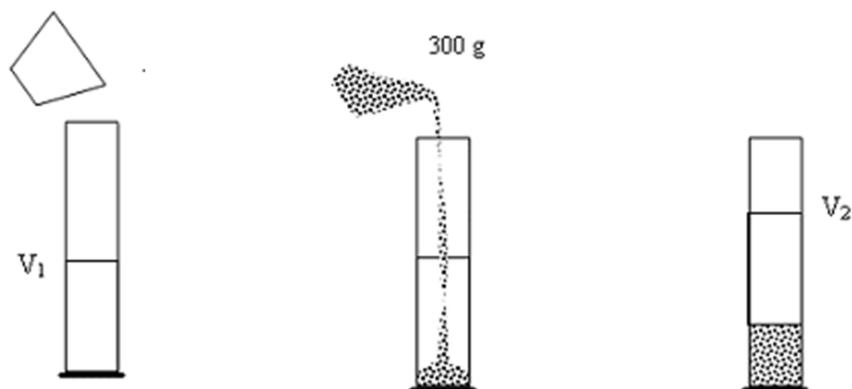


Fig. I.12: Masse volumique absolue (Méthode de l'éprouvette graduée)

• La masse volumique absolue est:

$$\rho_s = \frac{M}{V_2 - V_1}$$

#### I. 4.1.6.2.2. Méthode du ballon

- Cette méthode (Figure. I.13) 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, soit  $m_3$ .



Fig. I.13: Masse volumique absolue (Méthode du ballon)

La masse volumique absolue est alors : 
$$\rho_{abs} = \frac{m_2}{(m_1 + m_2) - m_3}$$

### I.4.2. Les Essais d'état (essais mécanique d'identification)

#### I.4.2.1 L'essai Proctor

L'essai Proctor (figure. I.14) 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.

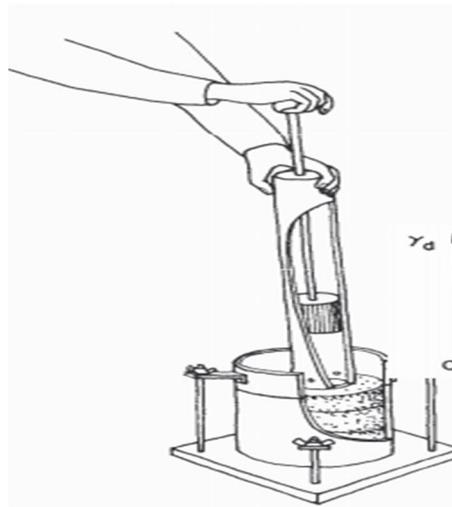


Fig .I.14 essai Proctor

L'essai Proctor permet de tracer la courbe du poids volumique sec en fonction de la teneur en eau, pour une énergie de compactage donnée. Cette courbe permet de mettre en évidence un optimum de poids volumique. En construction de remblai en grande masse (barrages, remblais routiers...) on se réfère presque exclusivement à l'essai Proctor Normal ; en couches de chaussée on se réfère presque exclusivement à l'essai Proctor Modifié, réalisé avec une énergie supérieure. (Cllaud, 2004)

Le tableau ci-dessous précise les conditions de chaque essai

Tab. I.3 : Conditions des essais Proctor normal et Modifié

	Masse de la dame (Kg)	Hauteur de chute (cm)	Nombre de coups par couche	Nombre de couches	Energie de compactage Kj/dm <sup>3</sup>	
<b>Essai Proctor</b>	<b>Normal</b>	2,490	30,50	25 (moule Proctor)	3	0,59
				55 (moule CBR )	3	0,53
	<b>Modifié</b>	4,540	45,70	25 (moule Proctor)	5	2,71
				55 (moule CBR )	5	2,41

#### I.4.2.2 L'indice portant californien CBR :

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) , sue une éprouvette compacté à l'énergie Proctor normal et a sa teneur en eau naturelle. (D. Didier, 1999)



**Fig. I.15 :** Presse CBR

### **I. 4.3. Les Essais Mécaniques:**

#### **I. 4.3.1 Essai Micro-Deval (NF P 18-572) :**

L'essai micro-Deval permet de mesurer la résistance a l'usure des roches. cette résistance à l'usure pour certaines roches n'est pas le même à sec ou en présence d'eau.

L'essai consiste à mesurer l'usure des granulats produite par frottement réciproque dans un cylindre en rotation dans des condition bien définies. la granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les classes granulaires: 4-6.3mm, 6.3-10mm, 10-14 mm et 25-50 mm. Pour les essais effectués sue les gravillons entre 4 et 14 mm une charge abrasive est utilisée.

Si M est la masse du matériau soumis à l'essai, m la masse des éléments inférieur à 1,6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à l'usure s'exprime par la quantité  $100 \frac{m}{M}$  par définition , cette quantité sans dimension , est appelée , suivant la méthode employée:

- coefficient micro-Deval sec du granulat ( $M_{DS}$ )
- coefficient micro-Deval en présence d'eau du granulat ( $M_{DE}$ )

#### I. 4.3.2. Essai Los Angeles (NF P 18-573):

L'essai consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieur à 1.6 mm produite en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés dans la machine Los Angeles.

La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les six classes granulaires 4-6.3 mm; 6.3-10 mm; 10-14 mm; 10-25 mm; 16-31.5 mm; 25-50 mm, de la granularité du matériau, tel qu'il sera mis en œuvre. la classe 10-25 mm doit contenir 60% de 10-16 mm, la classe 16-31.5 mm 60% de 16-25 mm et la classe 25-50 mm 60% de 25-40 mm. la masse de la charge de boulet varie suivant les classes granulaire.

Si  $M$  est la masse du matériau soumis à l'essai,  $m$  la masse des éléments inférieur à 1.6 mm produit au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation par chocs s'exprime par la quantité  $100 \frac{m}{M}$ , cette quantité sans dimension est appelée, par définition, coefficient Los Angeles du matériau ( $L_A$ ).

**Tab I.4:** masse de la charge de boulets suivant les classes granulaire.

Classes granulaires (mm)	Nombre de boulets	Masse totale de la charge (g)	
4 - 6.3	7	3080	+20
6.3 - 10	9	3960	A
10 - 14	11	4840	-150
10 - 25	11	4840	+20
16 - 31.5	12	5280	A
25 - 50	12	5280	-150

**I.4.4 Essais statique sur mélanges hydrocarbonés :****I.4.4 .1 Essai Marshall (NF P 98-251-2, 1992)****I.4.4.1.1 Objet**

L'essai est pour but de déterminer, pour une température et une énergie de compactage données, le pourcentage de vides , la stabilité et le fluage dits Marshal d'un mélange hydrocarboné à chaud.

**I.4.4.1.2 Domaine d'application**

Cette essai s'applique aux mélanges hydrocarbonés à chaud fabriqués en laboratoire ou prélevés sur chantier (grave bitume, béton bitumineux, autres mélanges hydrocarbonés à chaud de dimension D, selon la norme P 18-101, inférieur ou égale à 20 mm, utilisés dans le domaine des travaux publics

**I.4.4.2 Essai Duriez (NF P 98-251-4, 1992)****I.4.4.2.1 Objet**

L'essai a pour but de déterminer, pour une température et un compactage donnés, la tenue à l'eau d'un mélange hydrocarboné à froid à l'émulsion de bitume à partir du rapport des résistances à la compression avec et sans immersion des éprouvettes. il permet également de déterminer le pourcentage de vides du mélange hydrocarboné dans les conditions de compactage définies et d'appréhender une forme de susceptibilité thermique.

**I.4.4.2.2 Domaine d'application**

L'essai s'applique aux mélanges hydrocarbonés à froid à l'émulsion de bitume fabriqués en laboratoire ou prélevés sur chantier de dimension D au sens de la norme P 18-101 inférieur ou égale à 31.5 mm.

**I. 4.5 Les Essais in situ****I. 4.5.1 . Essai gamma densimètre****I. 4.5.1.1 Objet**

Mesure de la lasse volumique moyenne apparente d'un matériau en place sur une épaisseur donnée.

**I. 4.5.1.2 Domaine d'application**

Matériaux traité ou non traités, de nature chimique connu, utilisé en terrassement, l'épaisseur de matériau ausculté peut varier de 10 à 40 cm selon le matériel de mesure utilisé. (SETRA, 2007)

**I. 4.5.2. Essai de plaque****I. 4.5.2.1 Objet**

Cette essai permet de déterminer la portance d'une plate forme par la mesure de module dit "module sous chargement statique a la plaque".

**I. 4.5.2.2 Domaine d'application**

L'essai s'applique aux plate forme d'ouvrage de terrassement réalisées avec les matériaux dont le  $D_{max}$  est inférieur à 200 mm. La valeur maximale de module EV2 pouvant être mesuré par cette essai de 250 MPa. (SETRA, 2007)

**I. 4.5.3 Essai de pénétration dynamique****I. 4.5.3.1 Objet**

- évaluer l'épaisseur de couche ;
- vérifier que l'objectif de densification visé est atteint ;
- vérifier que le compactage est conforme à celui réalisé sur une planche de référence.

**I. 4.5.3.2 Domaine d'application**

La méthode s'applique a l'auscultation de remblai sur une épaisseur pouvant atteindre 5 mètre ou plus selon la nature des matériaux.(SETRA, 2007)

**I. 5. LE COMPACTAGE**

Le compactage est l'ensemble des mesures prises pour augmenter la densité apparente sèche du sol traité. Ce qui conduit à réduire son volume apparent (par diminution de l'indice des vides). Cette densification n'est pas un but en soi. Elle est recherchée parce qu'elle entraîne d'autres conséquences :

- La première, liée à la notion de compacité, est la suppression ou du moins la limitation des tassements. Cet objectif, qu'il soit spécialement recherché ou non, est toujours atteint ou au moins partiellement par le compactage,
- La deuxième conséquence est la diminution de la perméabilité de la couche traitée afin de s'opposer à l'écoulement de l'eau,
- Une troisième conséquence possible du compactage est l'amélioration des caractéristiques mécaniques qui en résultent généralement : portance et module de déformation, résistance à la compression et au poinçonnement, résistance au cisaillement.

Pour les sols fins, une réserve s'impose, une augmentation de compacité pouvant à des teneurs en eau élevées, entraîner une diminution brusque de la portance et du module de déformation. (M. Cllaud, 2004)

### **I.5.1 Compactage in situ**

Sur chantier le compactage devra s'effectuer par couche de faible épaisseur 20 à 30cm (pour les routes) ou encore 10 à 15 cm (pour les bâtiments) par extrême diversité des engins de compactage comme les compacteurs à pneu, les compacteurs vibrants Ets...

le compactage est influé par certains facteurs :

Des facteurs propres au terrain compacté (nature, teneur en eau,...) mais aussi des facteurs caractérisant l'engin et la séquence de compactage (nombre de passes, vitesse, pression de contact, fréquence et intensité de vibration...) (Cllaud, 2004).

### **Conclusion**

Les matériaux de qualité l'un des facteurs les plus importants qui assurent la durabilité des routes, qui est principalement liés aux caractéristiques de chaque matériau et qui nécessite l'approbation aux normes, et pour déterminer les propriétés et les caractéristiques d'un matériau il faut faire quelques expériences par type de matériau, que ce soit en laboratoire ou sur le terrain et ensuite faire la comparaison des résultats obtenus pour déterminer la qualité de la construction.

## **II.1. Introduction**

Le terme sable est généralement utilisé pour désigner un mélange de grains meuble n'ayant aucune cohésion et dont la dimension des grains est généralement comprise entre 0,062 et 5 mm. Du point de vue géologique, le terme sable recouvre deux aspects : un aspect granulométrique (taille des grains) et un aspect minéralogique (nature minéralogique des grains). Une particule individuelle est appelée grain de sable. Le sable peut avoir une origine naturelle ou artificielle ; d'origine naturelle, il provient de la désagrégation naturelle de roches au cours de leur processus d'érosion, artificiel, il est obtenu par broyage de roches massives après des opérations de concassage et de criblage, il est appelé aussi sable de carrière, il est caractérisé par des grains aux aspérités marquées. La composition du sable varie d'un endroit à l'autre selon la nature des roches.( BENYOUB, 2011).

## **II .2. Définition d'un sable de dunes:**

Les sables, que l'on trouve dans les dunes mouvantes, sont composés de particules siliceuses pratiquement de même taille et de petites dimensions. Ces sables sont accumulés sous forme de dunes mouvantes de hauteur très variable. D'après Fookes et Higginbotham (1968) (BEN DHIA, 1998 ), le Sahara est constitué d'environ 40 % de montagnes désertiques, 15 % de plaines désertiques et 30 % de dunes de sable, le reste étant constitué de sebkhas, de chotts, etc. Le Sahara, quant à lui, couvre environ le tiers du continent africain. Ces chiffres montrent bien l'intérêt que l'on doit apporter à la construction routière dans le Sahara, qui reste fort démunie en infrastructures, et aussi l'importance que l'on doit accorder au sable dans toute investigation visant la valorisation des matériaux locaux dans ces lieux. (KHangaoui, 2013).

## **II. 3. Intérêt de sable de dune**

L'intérêt d'utilisation de tels agrégats se situe à deux niveaux : technique et économique.

### **II. 3.1 Les aspects économiques**

Les aspects sont évidents dans la mesure où l'utilisation du sable de dune permet une économie certaine dans le transport des matériaux, puisqu'il est partout disponible en quantité inépuisable. Par ailleurs, son extraction n'engendre pratiquement pas de frais supplémentaires et son mélange avec les autres matériaux sur chantier peut se faire facilement.(GUERMITI, 2013).

### II.3.2 Les aspects techniques

Le sable peut contribuer à la densification des matériaux. Ceci permet, par la même occasion, l'amélioration de leurs caractéristiques géotechniques en augmentant le frottement interne et en améliorant la portance. Il peut être utilisé pour diminuer la plasticité des matériaux de base.( GUERMITI, 2013).

### II. 4. Mécanismes de formation des dunes

Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation (désert, plage, lit fluvial à l'étiage). Le sable est érodé et pris en charge par le vent (déflation). Il est transporté aux ras du sol par saltation, puis s'accumule quand la compétence du vent chute (versant sous le vent). Une dune peut se déplacer par érosion du versant au vent et accumulation sur le versant opposer. Une dune est une accumulation de sable formée par le vent, et l'action des vagues qui est recouverte de végétation. Les dunes sont des structures dynamiques qui changent de formes constamment. Pour la formation d'une dune es il faut y avoir d'obstacles, tels que les rochers ou les arbres, qui réduisent la vitesse du vent et permet le dépôt du sable transporté selon les étapes suivantes :

- chute des particules de sable devant l'obstacle après le choc, ou on assiste en deuxième étape à l'accumulation de ces particules.
- courant d'air se divise en deux bras passant prochain obstacle où Athrip sable autour de cet obstacle.
- augmente la taille des bras jusqu'à ce qu'ils rencontrent deux composantes de teinte de sable.

Et continuer à croître dans les dunes adsorption de plus de granules de sable que la taille jusqu'à la dune Pour arrêter la scène, puis de plus en plus et quand il décrit la dune qu'il était arrivé au stade de la maturité, ni Peut attirer plus de grains. (عباس الحارثي)

## II.5 Différentes formes des dunes:

### II.5.1 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 II.1) ;

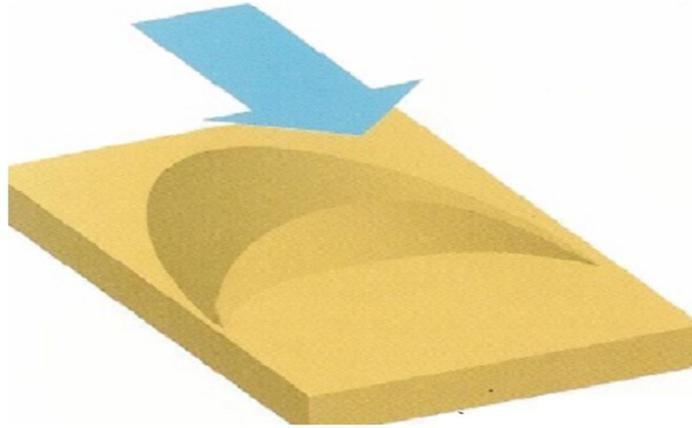


Fig. II.1: Dune de barkhane (ع.ألحارثي)

### II.5.2 La dune parabolique

Une dune dissymétrique en forme de fer à cheval à concavité au vent souvent plus ou moins fixée par la végétation (Figure II.2). 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 ;

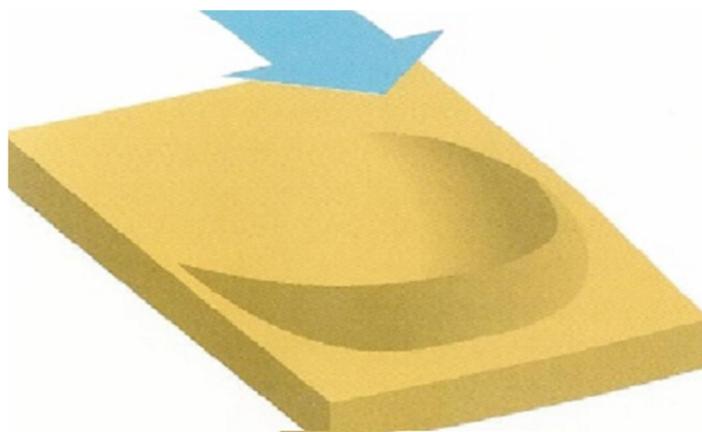


Fig. II. 2: Dune parabolique (ع.ألحارثي)

### II.5.3 Les dunes en étoile

Immobilisées se rencontrent dans les clairières des forêts de pins et seraient dues à un déséquilibre dans le système des vents. (figure II.3)

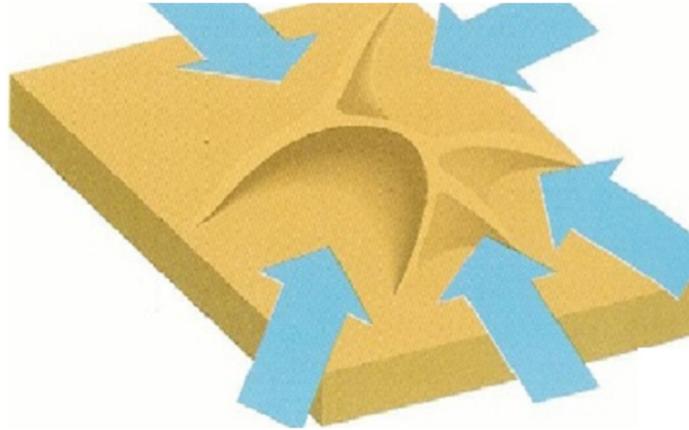


Fig. II.3: Dunes en étoile (ع.ألحارثي)

### II.5.4 Les dunes transversales

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

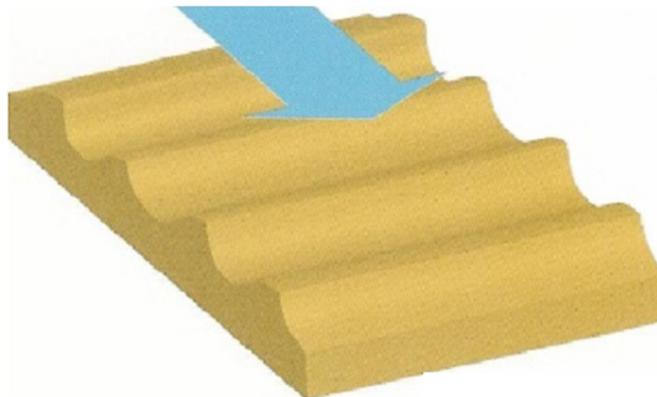


Fig. II.4: Dune transversale (ع.ألحارثي)

### II.5.5 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 puisque leur forme évolue beaucoup au cours du temps.

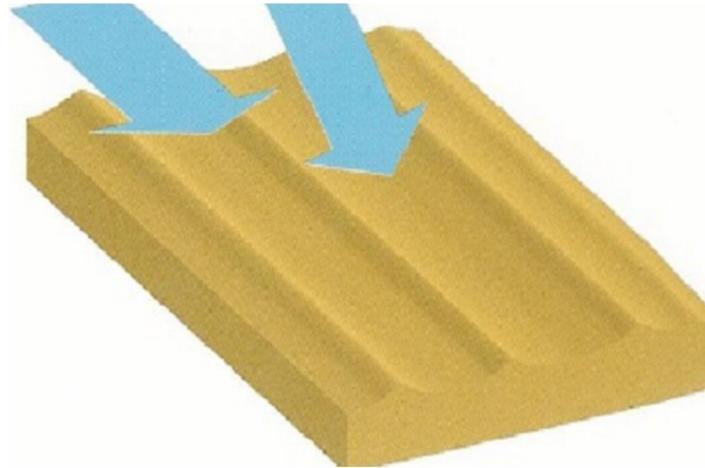


Fig. II.5: dune longitudinale (ع.ألحارثي)

## II.6. Identification des sables de dunes du Sahara

### II.6.1 Composition chimique

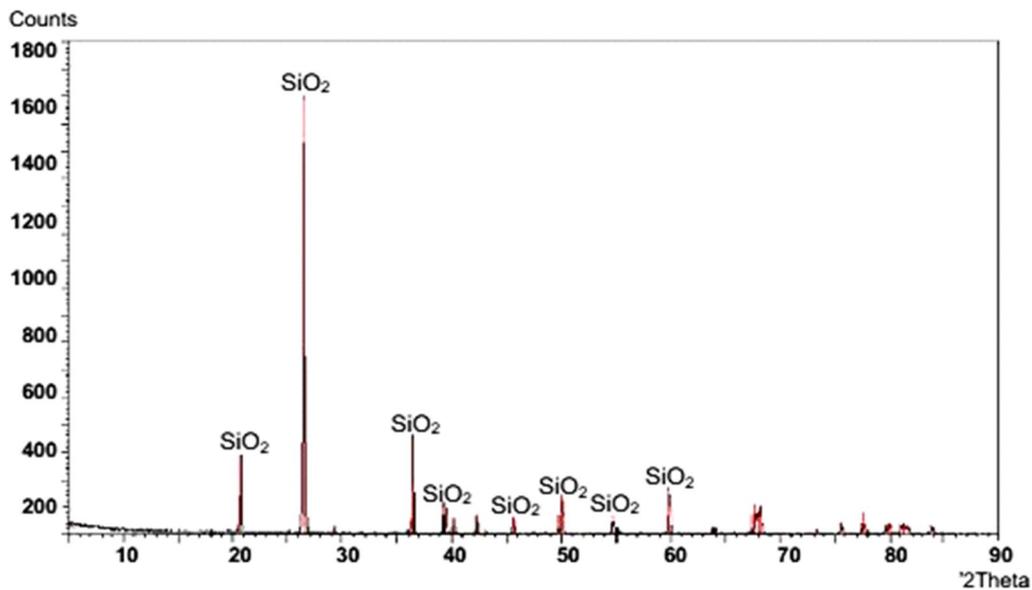
Ce sont des sables dont la composition chimique est très simple: plus de 95% de silice, de 1 à 2% de calcaire et des traces de différents oxydes. Du fait de cette constitution, le sable a une couleur blanche légèrement jaune et ocre il se dessèche et perd facilement sa cohésion en surface. (Ben Dhia, 1998). a titre d'exemple Gueddouda (Gueddouda, 2011) fait une étude sur Comportement hydromécanique des sols compactés: Application à la conception d'une barrière ouvragée, il a utilisé deux matériaux, le bentonite et le sable de dune de la région de Laghouat. le tableau 1 illustre les résultats de l'analyse chimique effectuée par LNHC de Djelfa (Laboratoire National d'Habitat et de Construction).

**Tab. II.1:** Analyse chimique du sable de dune (Gueddouda, 2011)

	Symboles	Unité	Sable de dune
<b>Résidu insoluble</b>	SiO <sub>2</sub> +Silice	%	95,87
<b>Sulfates</b>	SO <sub>3</sub>	%	0,91
<b>Chlorures</b>	Cl <sup>-</sup>	%	0,36
<b>Carbonate de calcium</b>	CaCO <sub>3</sub>	%	2,5
<b>Matières organiques</b>	MO	%	-----

### II.6.2 Analyses minéralogiques

L'analyse par DRX du sable dunaire révèle la présence d'atomes Si et O<sub>2</sub> ce qui correspond à la présence de l'espèce SiO<sub>2</sub>(silice). De plus le pourcentage atomique important de Si nous indique que SiO<sub>2</sub> est l'espèce prépondérante. Les autres valeurs de pourcentages atomiques nous permettent d'établir que le sable dunaire contient aussi quelques traces, en comparaison avec SiO<sub>2</sub>, d'espèces calciques et magnésiques les résultats sont présente dans le spectre. (figure 6) (Gueddouda, 2011).

**Fig. II.6 :** DRX du sable de dune (Gueddouda, 2011)

### II.6.2.1 Silice « quartz »

Le silice (quartz) est un composé chimique (dioxyde de silicium) et un minéral de formule  $\text{SiO}_2$ .

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

- principal constituant des roches sédimentaires détritiques (sables, grès), elle représente 27% de la croûte terrestre ;
- fréquente dans les roches métamorphiques ;
- fréquente dans les roches magmatiques : quartz dans les roches magmatiques acides, cristallisé ou amorphe dans les roches volcaniques.

Le silice se présente soit sous forme de cristaux non-moléculaires formés de motifs tétraédriques  $\text{SiO}_4$  liés entre eux par les atomes d'oxygène de façon régulière, comme dans le quartz, soit sous forme amorphe, comme dans le verre. (AZZOUZ, 2009)

### II.6.3 Granulométrie

Le diamètre des plus gros éléments des sables de dunes du Sahara est de l'ordre de 0,5 mm. Il est maximal aux endroits les plus proches de la roche mère et diminue de plus en plus quand on s'en éloigne. Les particules deviennent aussi de plus en plus arrondies. Le diamètre des éléments les plus fins est de l'ordre de 0,04mm. Le coefficient d'uniformité ( $C_u = D_{60} / D_{10}$ ) est de l'ordre de 1,8 et le coefficient de courbure ( $C_c = D_{30}^2 / [D_{10} \cdot D_{60}]$ ) est de l'ordre de 10. Il s'agit donc d'un sable très fin mal gradué. La figure 2 montre deux courbes granulométriques de sables de dunes prélevés dans deux zones sahariennes différentes en Tunisie (Gara, 1994) et en Mauritanie (Ould Sid et al., 1995) (cité par Ben Dhia, 1998)

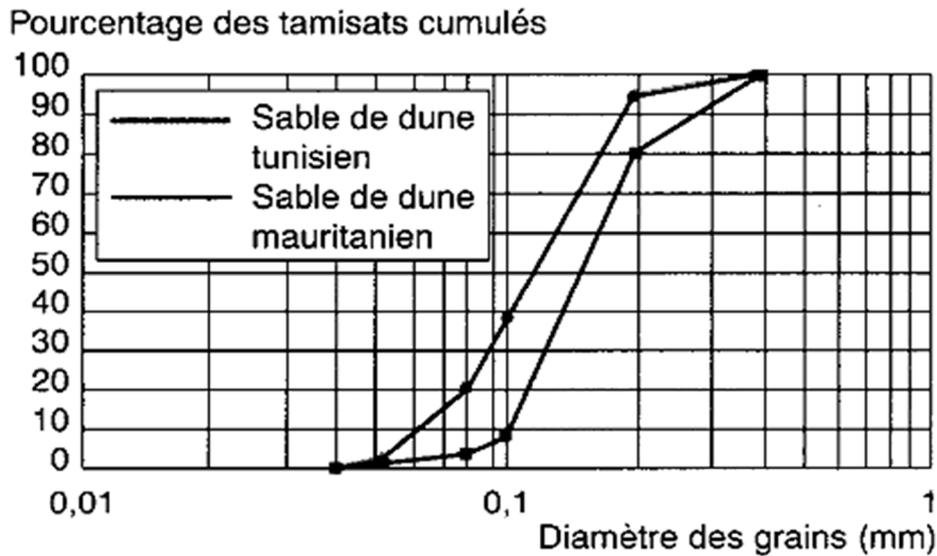


Fig. II.7: Courbes granulométriques de deux sables de dunes (Ben Dhia, 1998)

#### II.6.4 Propriété

Le sable de dune ne contient pratiquement pas de traces d'argile. Il a une limite de liquidité  $W_L$  de l'ordre de 25 et une limite de plasticité non mesurable. La valeur de l'équivalent de sable est supérieure à 60%. La valeur de bleu est de l'ordre de 0,1. (Ben Dhia, 1998). Le tableau II.2 présente quelques propriétés de deux types de sable de dune de la wilaya de Biskra:

- Sable de dune de la région de Lichana « SD1 »
- Sable de dune de la région de Aïn Bennaoui (El-Hadjeb) « SD2 »

Ces résultats sont obtenus par Hocine Azzouz (2004). Cette étude est entamée, pour tirer des conséquences sur l'utilisation de sable de dune dans la composition du béton,

TAB. II.2 quelques propriétés de deux types de sable de dune de la wilaya de Biskra

	Masse volumique apparente ( $\text{kg/m}^3$ )	Masse volumique absolue ( $\text{kg/m}^3$ )	Equivalent de sable (ESP/ESV)	Module de finesse
<b>SD1</b>	1330	2760	75/93	1.36
<b>SD2</b>	1285	2580	71/89	1.22

### II.6.5 Comportement mécanique

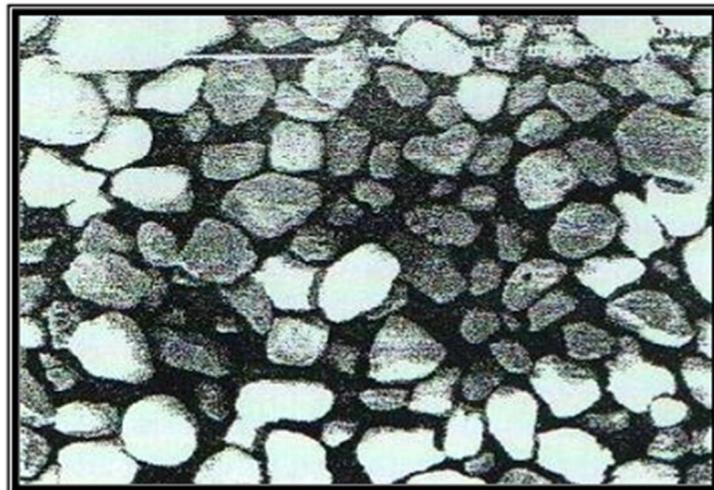
Des essais de compactage puis de cisaillement direct ont été réalisés par Ould Sid et al.(1995) Les principaux résultats trouvés sont que:

- l'effet de la teneur en eau sur le compactage est peu significatif quand la teneur en eau est faible (0 à 6 %);
- la cohésion a une valeur très faible , de l'ordre de 5kPa;
- l'angle de frottement interne varie de 30 à 35° ,selon la densité du sable.

Les valeurs de ces paramètres montrent que le sable de dune peut avoir un bon comportement mécanique même lorsque sa compacité est faible, à condition d'être à l'abri du vent. Par ailleurs, l'indice portant CBR de ces sables, au poids volumique et à la teneur en eau de l'optimum Proctor modifié, est relativement faible .Il est de l'ordre de 10%. C'est ce qui permet, entre autres, d'écarter toute possibilité d'utilisation de ces sables seuls en corps de chaussée .( Ben Dhia, 1998)

### II.6.6 Microscopie électronique à balayage (MEB)

Cet essai a été mené avec le microscope électronique à balayage à l' I.U.T d'Amiens en France. La photo présentée à grande échelle par la figure 8 , montre que le sable dunaire visualisé par microscope électronique à balayage (MEB), présente des grains de formes arrondies avec une faible angularité. (Gueddouda, 2011)



**Fig. II.8 :** Vue générale (à grande échelle, MEB.) du sable de dune

**II.7. Utilisation du sable de dunes:****II.7.a. Diverses utilisations**

Les sables sont un élément essentiel du processus sédimentaire et représentent une ressource très importante du point de vue économique: remblais, granulats pour béton, matériaux de construction, sables siliceux pour l'industrie. Ces derniers (appelés autrefois sables industriels) constituent l'essentiel de la matière première de l'industrie du verre, des moules, des noyaux de fonderie; ils entrent aussi dans la fabrication des céramiques et des mortiers spéciaux.

Le sable est aussi le milieu naturel où s'accumulent les minéraux lourds alluvionnaires; ces concentrations minéralisées sableuses sont dénommées placers (un mot espagnol) et l'on y extrait de l'or, des diamants, de la cassitérite (minerai d'étain), de la magnétite (oxyde de fer), de l'ilménite (oxyde de titane et de fer), etc. Les placers d'ilménite, ou «sables noirs», sont importants économiquement pour la fabrication des pigments de la peinture blanche (gisements côtiers en Australie) et comme source du titane métal.

Les sables jouent également un grand rôle comme réservoirs potentiels pour les nappes d'eau (aquifères) ou les hydrocarbures. Il importe que l'exploitation du sable, souvent anarchique, soit réglementée pour éviter de perturber de fragiles équilibres naturels: érosion des plages dont l'alimentation naturelle en sable a été coupée; destruction à terre de la nappe phréatique, etc. (AZZOUZ, 2009)

**II.7.b. Utilisation du sable de dunes dans le béton:**

Le sable de dunes était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblayage des fouilles de fondations et les travaux routiers, mais l'utilisation comme constituant principal du béton n'apparaît qu'après la naissance du béton de sable en 1853 par F.COIGNET (Rapport général et conclusion de 23e congrès mondial de la route ). Cette naissance a donnée le courage de commencer une nouvelle investigation qui a étudié la possibilité d'utiliser le sable de dunes comme un constituant principal dans les structures des ouvrages en génie civil; pour cette raison plusieurs actions de recherches, soit en Algérie ou à l'étranger, ont été engagées et hypothéquées. (AZZOUZ, 2009)

**II.7.c. Utilisation du sable de dunes dans le domaine routier :**

L'utilisation des sables en techniques routières n'est pas nouvelle. A l'époque déjà, les ingénieurs avaient recours à l'utilisation du sable mélangé à un liant hydrocarboné en particulier pour les couches de roulement .( Ben Dhia,1998).

Beaucoup d'études et des réalisations ont été faites, on va voir plus de détail dans le troisième chapitre.

**II.8 Conclusion**

Nous avons présenté dans ce chapitre des généralités sur le sable de dune telle que, définition d'un sable de dune, différents formes des dunes, Intérêt de sable de dune, quelque paramètres qui nous parmi d'identifier ce type de sable comme la composition chimique et minéralogique, analyse granulométrique, comportement mécanique et les propriétés ( $W_L$ ,  $W_P$ ,...). on a parlé aussi sur les devers utilisations des sable de dune comme il constituent l'essentiel de la matière première de l'industrie du verre, son utilisation dans la formulations des bétons, et dans le domaine routière qui on va l'expliqué dans le chapitre suivant.

### III.1 INTRODUCTION

L'utilisation des sables en techniques routières n'est pas nouvelle. Beaucoup d'études et de réalisations ont été faites et un guide pratique d'utilisation routière des sables a été publié (Chauvin, 1987). Cependant, les sables de dunes constituent un cas particulier pour lequel les directives et recommandations ne peuvent pas être appliquées sans études spécifiques. L'utilisation du sable de dune seul ne peut être envisagée malgré la facilité qu'il présente au reprofilage, car sa stabilité de surface est souvent incertaine, ce qui augmente la résistance au roulement et provoque par fois des enlacements (Autret, 1989). Mais il pourrait être mélangé avec d'autres matériaux.

L'idée de préparer des mélanges de sable de dunes avec d'autres matériaux dans les techniques routières, que ce soit dans le corps de chaussée ou dans les enrobés, est employée dans les recherches et dans des projets réalisés sur terrain.

### III.2 L'utilisation des sables de dunes en techniques routière dans le domaine de la recherche

#### III.2.1 Matériaux pour corps de chaussée

Dans ce chapitre, on présente quelques études faites dans ce sens, il s'agit ici de :

Au début, on commence par une étude menée par Ben Dhia (Ben Dhia, 1998), qui s'intéresse à l'utilisation du sable de dune en construction routière en milieu saharien. Dans cette étude, l'auteur présente d'abord les aspects particuliers du contexte saharien en construction routière, puis décrit des travaux sur l'utilisation des matériaux locaux sahariens avec l'incorporation du sable de dunes et la prise en compte de la salinité dans les travaux de terrassements.

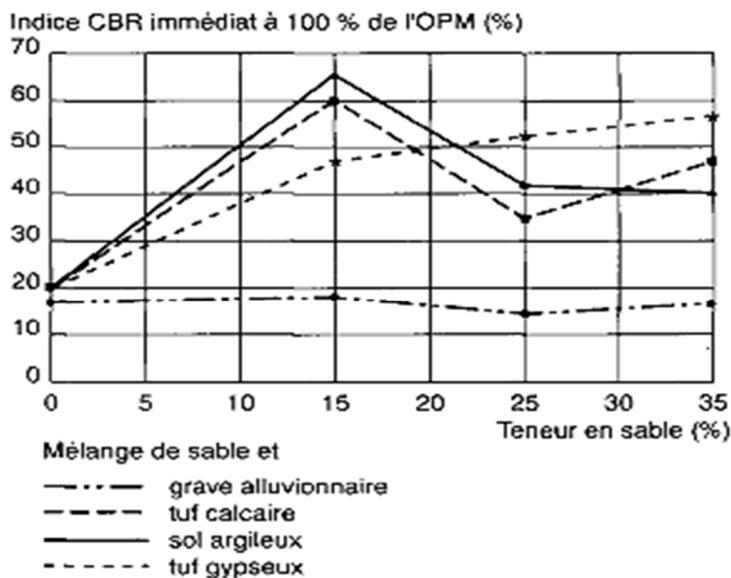
Les mélanges étudiés sont comme suit:

**- Les matériaux de base sont:**

Une grave alluvionnaire 0/20, un tuf calcaire, un tuf gypseux (Ben Dhia, 1983) et un sol argileux ayant des indices portants de l'ordre de 20%;

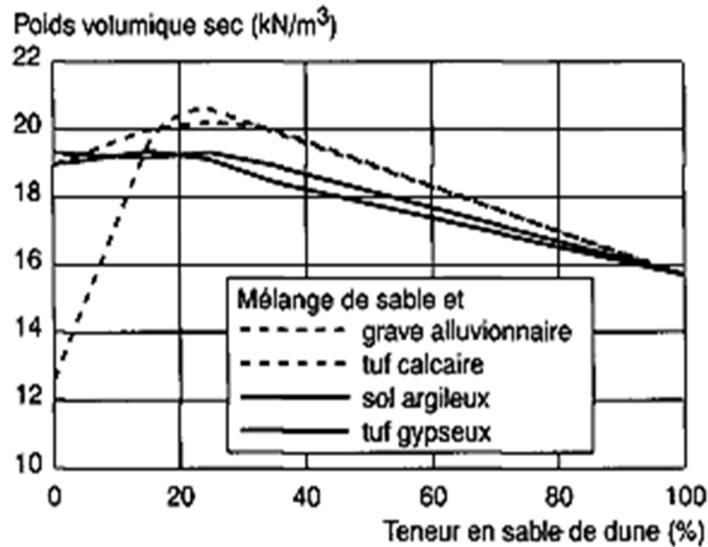
**- Le sable est mélangé avec** chacun de ces matériaux aux pourcentages suivants 5, 15, 25 et 35%.

Les résultats obtenus montrent que l'incorporation du sable de dune améliore d'une manière claire la portance des matériaux. Seule la portance de la grave alluvionnaire n'a pratiquement pas été modifiée. La figure.III.1 illustre ces résultats. Pour mettre en exergue l'effet de l'ajout de sable de dune, les matériaux de base ont été choisis avec des indices CBR immédiats comparables. (Ben Dhia, 1998).

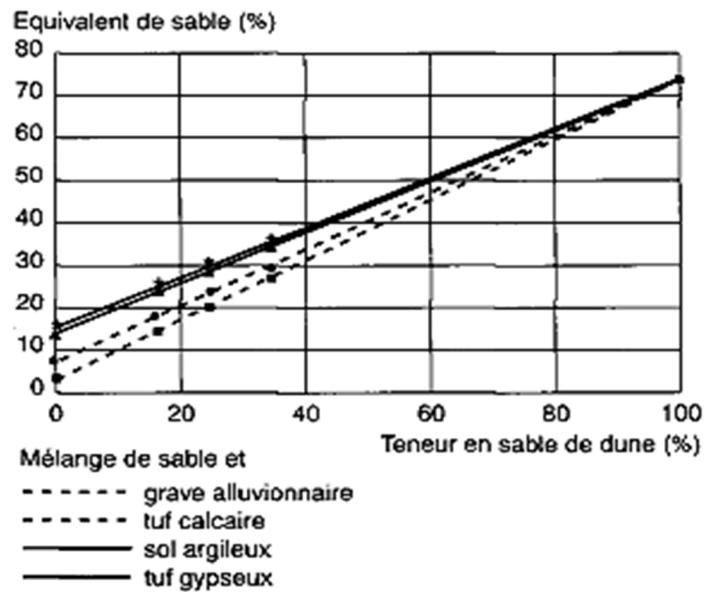


**Fig.III.1:** Effet de l'incorporation de sable de dune sur la portance de divers matériaux (Ben Dhia, 1998).

Le poids volumique s'améliore aussi ou reste quasi constant lorsque la teneur en sable du mélange augmente jusqu'à 30%. Il décroît légèrement en suite pour aboutir à la valeur relative au sable seul, comme le montre la figure.III.2. Quant à la plasticité, elle diminue au profit d'une nette amélioration de la propreté, qui peut être caractérisée par l'essai d'équivalent de sable. La figure.III.3 montre l'évolution de la valeur de l'équivalent de sable en fonction de l'augmentation de la proportion du sable de dune dans les différents mélanges. (Ben Dhia, 1998)

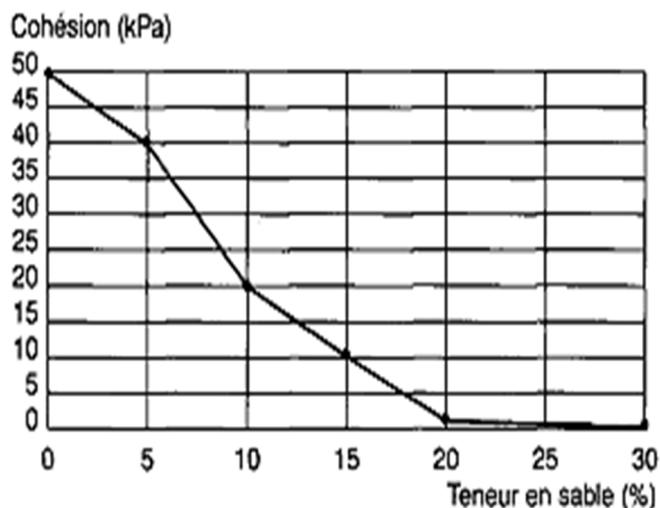


**Fig.III.2:** Effet de la teneur en sable de dune sur le poids volumique. (Ben Dhia, 1998).



**Fig.III.3 :** Effet de la teneur en sable de dune sur la valeur de l'équivalent de sable. (Ben Dhia, 1998).

Pour la grave alluvionnaire qui a une cohésion de 50kPa et un angle de frottement interne de 40 degrés, on enregistre une baisse de la cohésion quand le pourcentage de sable de dune augmente. La cohésion devient pratiquement nulle lorsque le mélange contient 30 % de sable, comme présenté sur la figure III.4. (Ben Dhia, 1998)



**Fig.III.4** Effet de la teneur en sable de dune sur la cohésion d'un mélange à base d'un grave alluvionnaire et de sable (Ould Sid et al, 1995).

Nous pouvons retenir de toutes ces études que jusqu' à 25% environ d'ajout de sable de dune, le matériau obtenu a des caractéristiques géotechniques comparables à celles du matériau de base, si non meilleures.

Une autre étude a été faite par Ghrieb et al. (Ghrieb, 2013), a comme objectif la valorisation du sable des dunes, qui est caractérisé par son abondance à la région de Djelfa (Algérie). les mélanges sont préparés de manière à assurer la stabilisation des sables étudiés via un liant hydraulique et un correcteur granulaire. Pour chaque mélange, l'optimum Proctor, la résistance à la compression avec et sans immersion et la résistance à la traction ont été déterminées.

Ce travail a été entrepris sur trois types de sable des dunes dans la région de Djelfa (Algérie): d'El-Masrane (SM) (commune de Hassi Bahbah située à environ 35 km au nord du centre de Djelfa), de Zaafrane (SZ) (commune de Zaafrane situé à environ 57 km au nord-ouest du centre de Djelfa) et d'El-Amra (SA) (commune de Ain El-Ibil situé à environ 40 km au sud-ouest du centre de Djelfa).

Pour la stabilisation, les auteurs ont utilisé du sable concassé et du ciment portland composé CPJ-CEM II / A 42,5 ( avec une densité spécifique de  $3,06 \text{ g / cm}^3$  et une surface spécifique de  $3918 \text{ cm}^2 / \text{g}$ ). La stabilisation du sable de dunes a été faite par trois méthodes:

- **Stabilisation mécanique:** réduction de vides par l'opération de compactage.
- **Stabilisation physique:** correction de la notation de sables étudiés par addition d'un correcteur granulaire (sable concassé).
- **Stabilisation chimique:** l'obtention d'une résistance mécanique par addition d'un liant hydraulique (ciment).

La teneur en ciment varie de 0 à 10% d'un pas de 2%, et celle du sable concassé SC de 0 à 30% avec un pas de 10% (les pourcentages étant basés sur le poids sec de mélange). Soixante douze (72) mélanges ont été préparés dans cette étude, comme il est présenté dans le tableau III.4 (Ghrieb, 2013).

**Tab III.1 :** Les détails des proportions des mélanges

Mélanges			sable de dunes %	ciment %	SC %
série SM	série SZ	série SA			
SM 100-0-0	SZ 100-0-0	SA 100-0-0	100	0	0
SM 98-2-0	SZ 98-2-0	SA 98-2-0	98	2	
SM-96-4-0	SZ-96-4-0	SA-96-4-0	96	4	
SM-94-4-0	SZ-94-4-0	SA-94-4-0	94	6	
SM-92-8-0	SZ-92-8-0	SA-92-8-0	92	8	
SM-90-10-0	SZ-90-10-0	SA-90-10-0	90	10	
SM-90-0-10	SZ-90-0-10	SA-90-0-10	90	0	10
SM-88-2-10	SZ-88-2-10	SA-88-2-10	88	2	
SM-86-4-10	SZ-86-4-10	SA-86-4-10	86	4	
SM-84-6-10	SZ-84-6-10	SA-84-6-10	84	6	
SM-82-8-10	SZ-82-8-10	SA-82-8-10	82	8	
SM-80-10-10	SZ-80-10-10	SA-80-10-10	80	10	
SM-80-0-20	SZ-80-0-20	SA-80-0-20	80	0	20
SM-78-2-20	SZ-78-2-20	SA-78-2-20	78	2	
SM-76-4-20	SZ-76-4-20	SA-76-4-20	76	4	
SM-74-6-20	SZ-74-6-20	SA-74-6-20	74	6	
SM-72-8-20	SZ-72-8-20	SA-72-8-20	72	8	
SM-70-10-20	SZ-70-10-20	SA-70-10-20	70	10	
SM-70-0-30	SZ-70-0-30	SA-70-0-30	70	0	30
SM-68-2-30	SZ-68-2-30	SA-68-2-30	68	2	
SM-66-4-30	SZ-66-4-30	SA-66-4-30	66	4	
SM-64-6-30	SZ-64-6-30	SA-64-6-30	64	6	
SM-62-8-30	SZ-62-8-30	SA-62-8-30	62	8	
SM-60-10-30	SZ-60-10-30	SA-60-10-30	60	10	

Les mélanges sont compactés en utilisant l'énergie Proctor normale selon la norme ASTM D1557-09 standard. L'essai a été effectué juste après opération de mélange et ne pouvait donc pas prendre en compte l'effet de l'hydratation du ciment, (Ghrieb, 2013).

Les résultats obtenus ont permis tout d'abord de déterminer la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale à travers l'essai Proctor, en suite les résistances à la compression et à la traction sont déterminées.

### Teneur en eau Optimale

D'après les auteurs, pour une proportion fixe de sable SC, l'augmentation du pourcentage de ciment conduit à une réduction continue de la teneur en eau optimale (voir figure III.5)

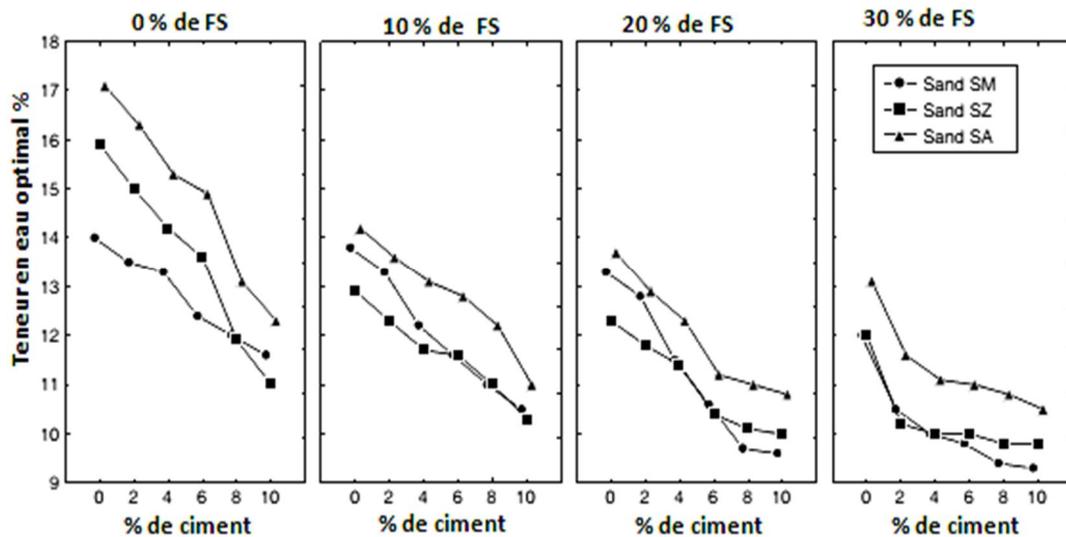


Fig III.5: évolutions de la teneur en eau optimale en fonction de % de ciment (Ghrieb, 2013)

La même situation peut être indiquée pour la variation de la teneur en eau en fonction du pourcentage de sable SC (figure III.6).

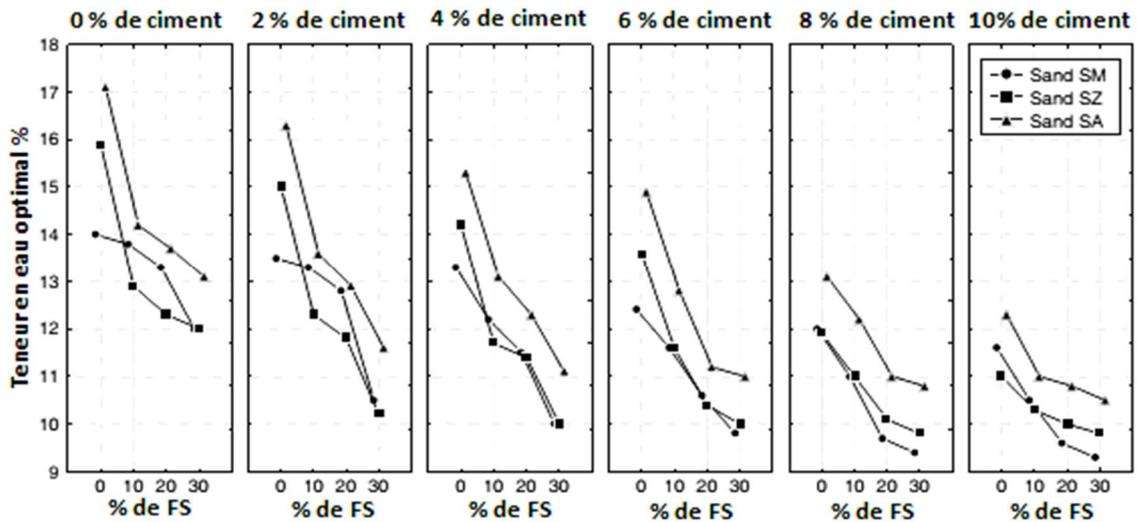


Fig III.6 : variation de la teneur en eau en fonction du % de sable SC (Ghrieb, 2013)

**Densité sèche maximale**

Les résultats présentés sur la figure III.7 prouve que pour une proportion constante de sable SC, l'augmentation de la quantité de ciment ajoutée aux mélanges à un influences positivement et de manière très significative sur la densité sèche max. Ceci indique que l'addition de ciment participe à l'amélioration de la densité sèche maximale de mélange.

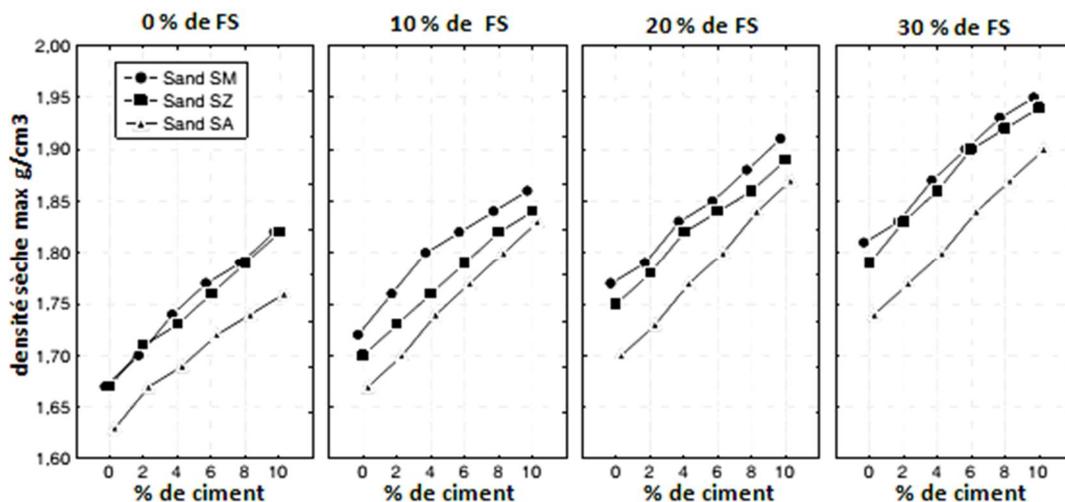


Fig III.7 : variation de la densité sèche en fonction de dosage en ciment (Ghrieb, 2013)

La même remarque peut être faite concernant l'influence de sable SC dosage de la densité sèche maximale (Figure III.8). Il est clair que la densité des mélanges à base de sable de SM est supérieure à celle des mélanges à base de SZ; les mélanges à base de SA donnent les densités les plus faibles.

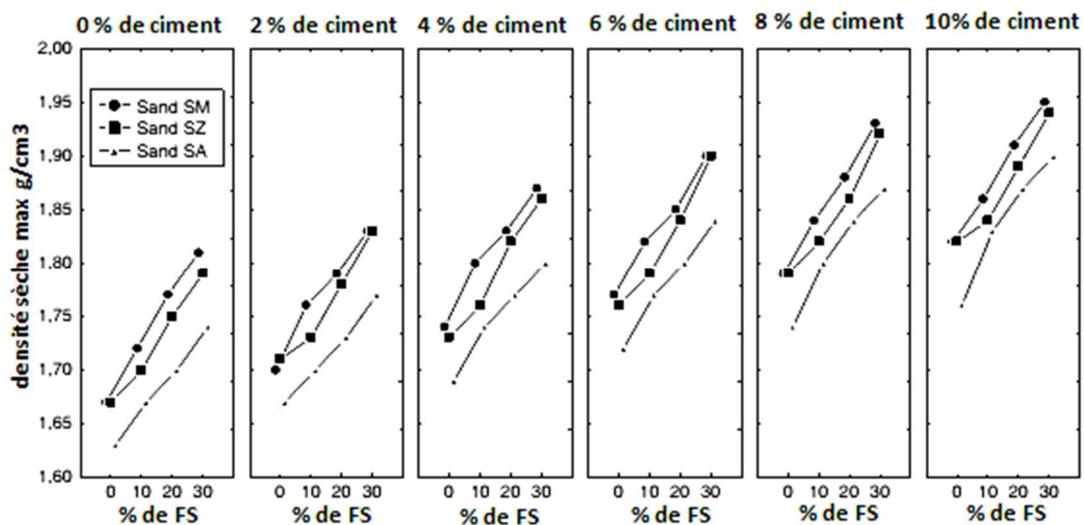


Fig III.8 : variation de la densité sèche en fonction de dosage en SC (Ghrieb, 2013)

### Evolution de résistance à la compression

L'essai de compression est réalisé sur des échantillons de forme cylindrique de 80 mm de diamètre et 80 mm de hauteur. Les échantillons ont été conservés dans des sacs étanches à une température de  $20 \pm 2^\circ \text{C}$ , jusqu'au moment de essai (28 jours). Les résultats de figure III.9 montrent que pour un pourcentage constant de sable SC, la résistance à la compression augmente de façon très significative avec l'augmentation de la quantité de ciment.

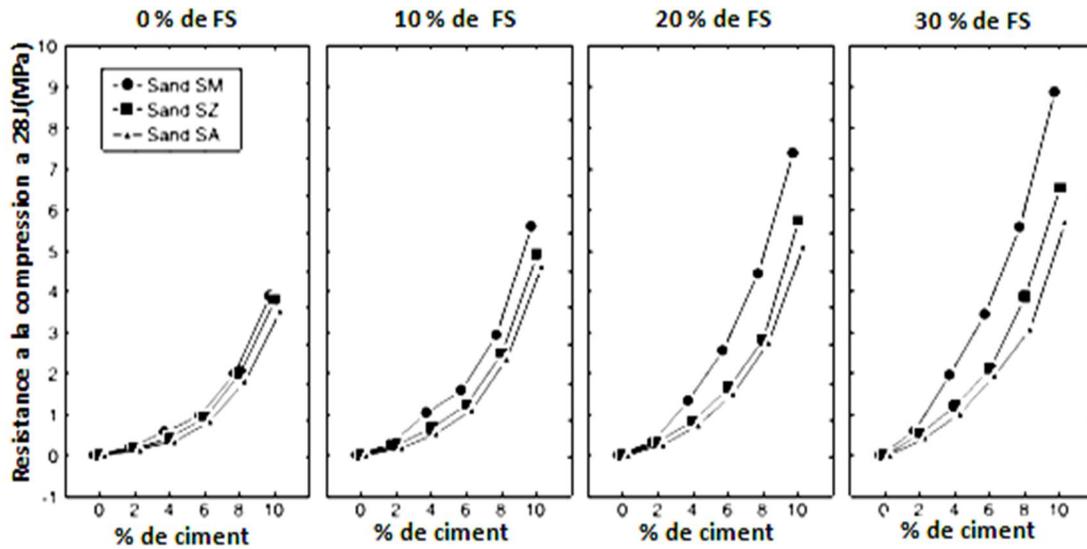


Fig III.9: évaluation de résistance à la compression en fonction de % en ciment( Ghrieb, 2013)

Les courbes de la figure III.10 qui reflètent au-delà de 2% de ciment, la résistance à la compression augmente proportionnellement avec l'augmentation du pourcentage de sable SC, ce qui explique l'efficacité du correcteur granulaire utilisé pour améliorer la compacité des mélanges,

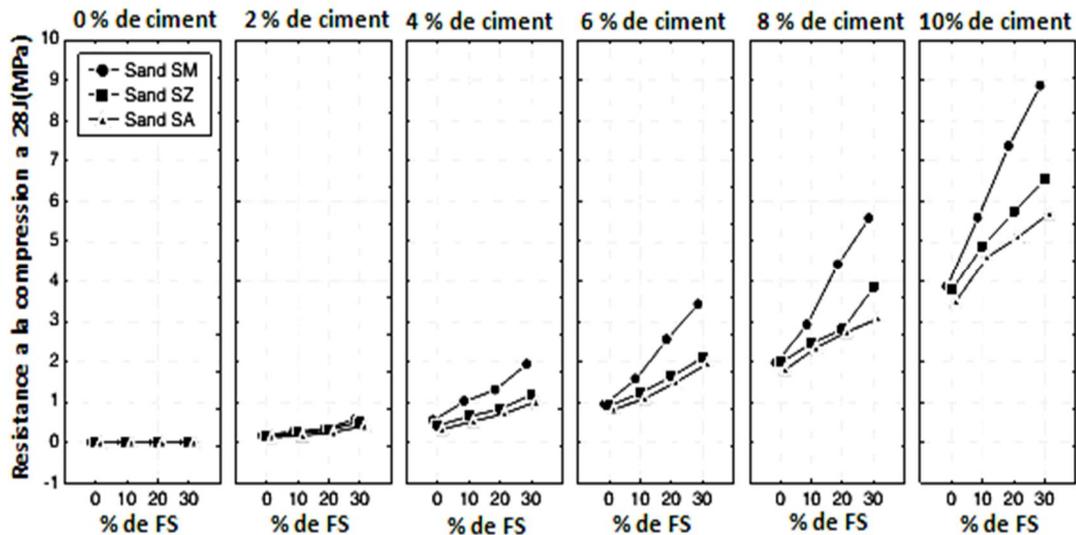


Fig III.10: évaluation de résistance à la compression en fonction de % de SC(Ghrieb, 2013)

### Evolution de la résistance à la traction

L'essai de traction a été réalisée sur des échantillons cylindriques de élancement égal à 1 avec un diamètre de 80 mm. ces échantillons ont été conservés dans des sacs étanches à une température de  $20 \pm 2^\circ \text{C}$ , jusqu'à ce que le moment de l'essai (90 jours). D'après les courbes

de la figure III.11 on vu que la résistance à la traction augmente avec l'augmentation des proportions de ciment ajoutée.

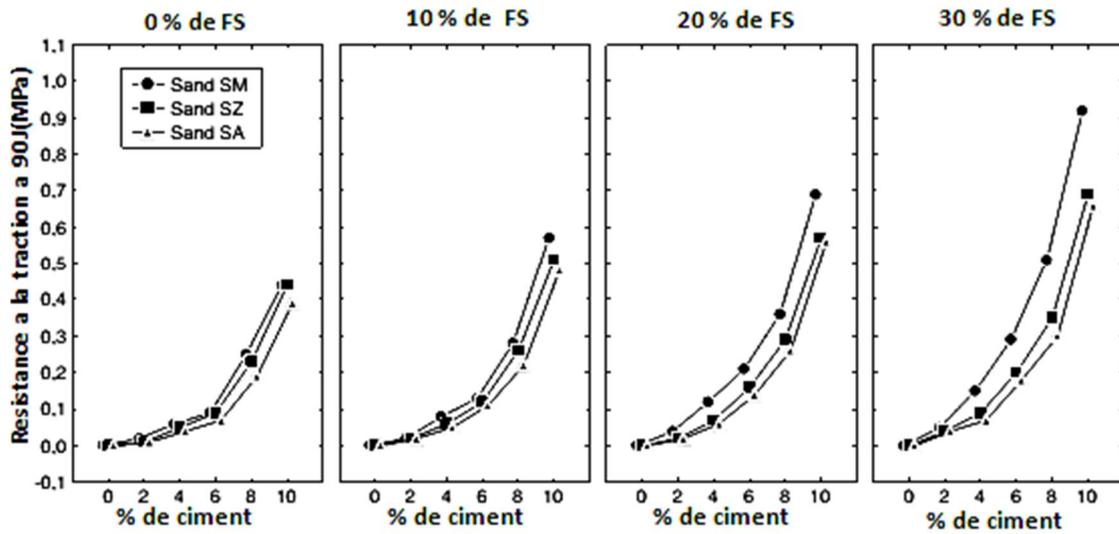


Fig III.11 variation de résistance a la traction en fonction de dosage en ciment.(Ghrieb, 2013)

Les courbes de la figure III.12 montrent que, au-delà de 2% de ciment, la résistance à la traction augmente avec la quantité de sable SC ajoutée. Au-delà de 4% de ciment, l'influence de l'origine du sable de résistance à la traction devient significative.

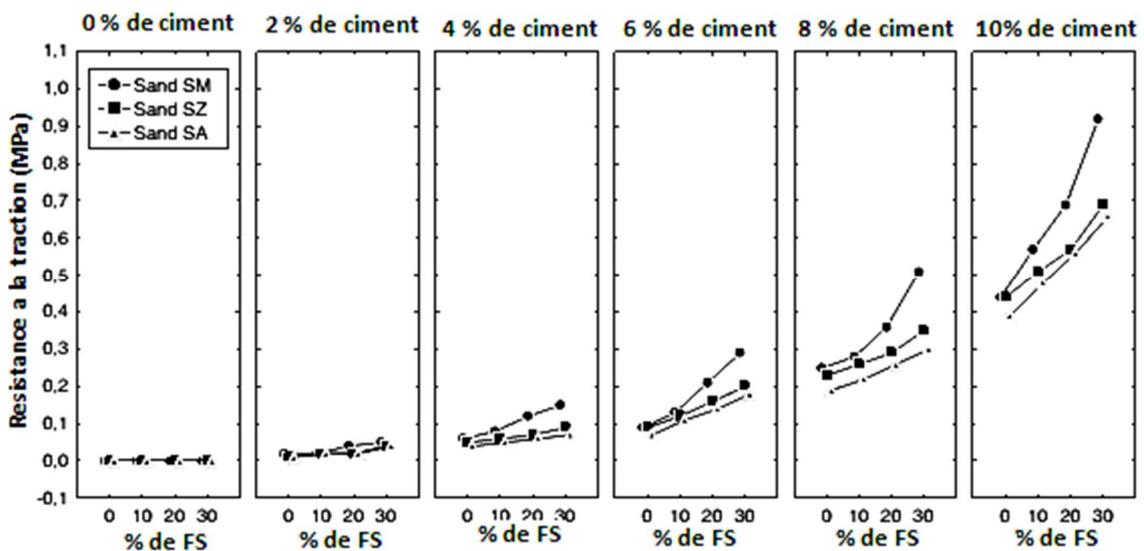


Fig III.12 évaluation de la résistance à la traction en fonction de % en SC(Ghrieb, 2013)

La même observation mentionnée dans le cas de la résistance à la compression peut être remarqué; les mélanges contenant du sable SM donnent toujours les meilleures performances.

La stabilisation du sable SM avec 8% de ciment et 30% de sable SC est suffisante pour obtenir les performances recommandées pour la couche de base, car d'après Chauvin (Chauvin, 1987), les sables stabilisés aux liants hydrauliques peuvent être utilisés dans la couche de base pour le trafic inférieure à 6000 véhicules par jour, quand leur résistance à la traction de fendage à 90 jours est supérieure à 0,50 MPa. Pour sable SZ, ces performances sont obtenues pour une proportion de ciment égal à 10% et un pourcentage minimal de sable SC égale à 10%. La même remarque peut être faite pour le sable SA mais avec un dosage minimal de sable SC égal à 20%. Le tableau III.2 donne les mélanges sélectionnés à cette étape.

**Tab III.2:** mélanges sélectionnés. (Ghrieb, 2013)

SERIES		
SM	SZ	SA
SM 62-08 30	SZ 80-10-10	SA 70-10-20
SM 80-10-10	SZ 70-10-20	SA 60-10-30
SM 70-10-20	SZ 60-10-30	
SM 60-10-30		

Les mélanges de sélection sont classées en fonction de leur module d'élasticité et leur résistance à la traction conformément à la norme NF EN 14227-1.

### Evolution de résistance à la compression avec immersion dans l'eau

La résistance à immersion ( $R_{imm}$ ) est un rapport entre la résistance à la compression avec et sans immersion :

$$R_{imm} = \frac{R_{ci}}{R_{c28}}$$

- $R_{ci}$ : résistance à la compression avec immersion dans l'eau
- $R_{c28}$ : résistance à la compression sans immersion à 28 jours

Pour déterminer la résistance à l'immersion, la résistance à la compression obtenue à 28 jours dans des sacs étanches est comparée à celle obtenue en conservant les échantillons à

21 jours dans des sacs étanches et ensuite à 7 jours d'immersion dans l'eau à  $20 \pm 2^\circ \text{C}$  (Chauvin, 1987).

Les courbes de la Figure III.13 montrent que la résistance à immersion augmente légèrement avec la proportion de ciment ajoutée.

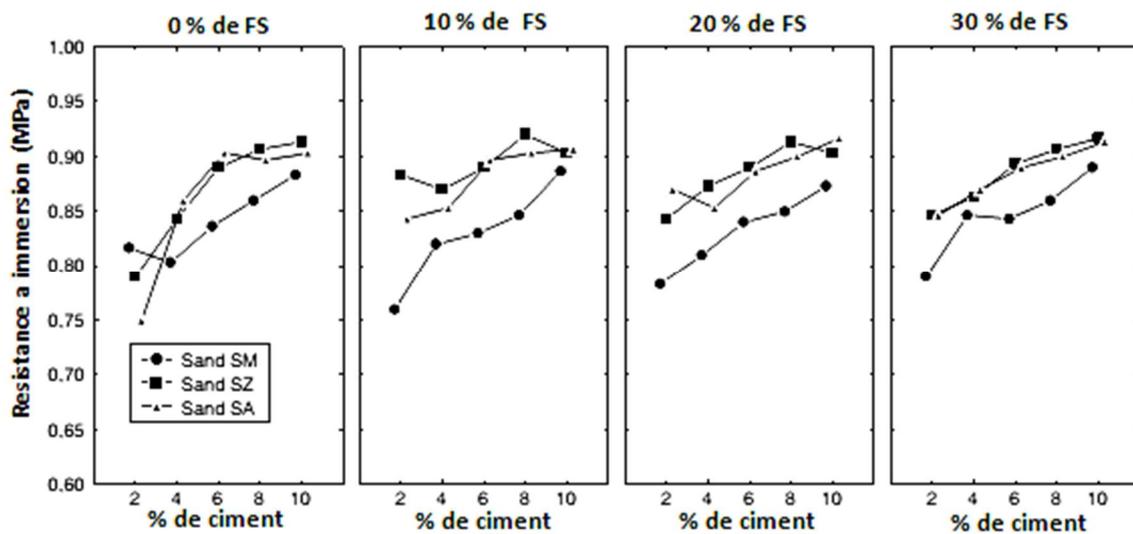


Fig III.13: évaluation de résistance à immersion en fonction de % en ciment( Ghrieb, 2013)

La figure III.14 montre que l'effet du pourcentage de sable SC sur la résistance à l'immersion ne est pas significatif; ce qui explique pourquoi l'addition de sable SC aux mélanges ne participe pas à l'amélioration de la durabilité dans l'eau.

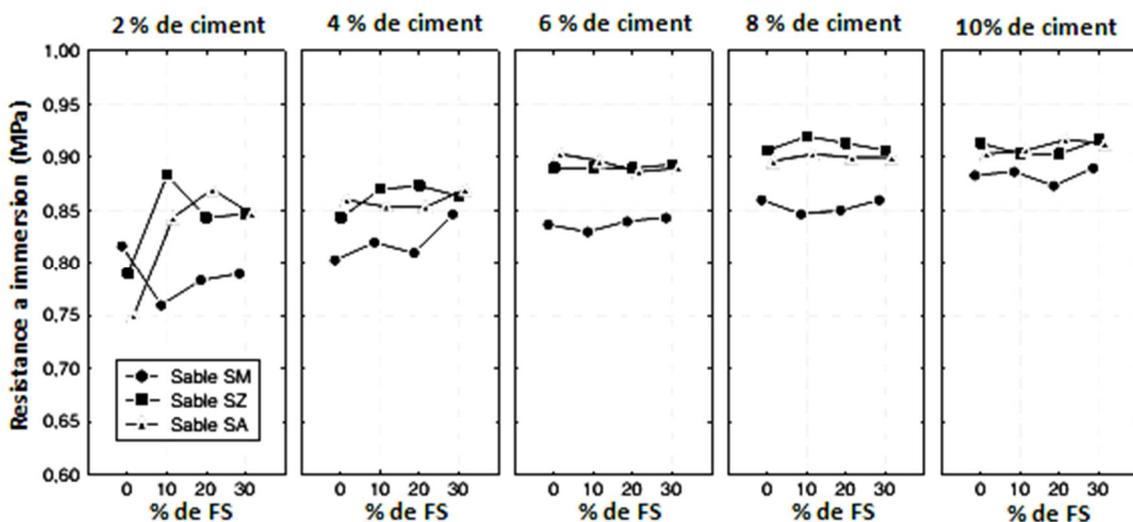


Fig III.14: évaluation de résistance à immersion en fonction de % en SC(Ghrieb, 2013)

Les résultats de cette étude montrent que:

- Les dunes de sable de la région étudiées de Djelfa appartiennent à la classe D1 selon la classification de la directive technique sur les talus et en plafonnant la construction de couche (GTR). Ils sont mal classés et contiennent une forte proportion d'éléments fins (porosité élevée); leur stabilisation nécessite l'ajout d'un correcteur granulaire.

- La densité sèche maximale augmente avec l'addition du ciment, du fait de la plus forte densité absolue du ciment. Toutefois, la teneur en eau optimale diminue.

- L'augmentation de la densité sèche maximale avec plus de sable SC est attribuée à l'augmentation de la compacité des mélanges.

- L'ajout de sable SC participe d'une manière très positive pour corriger le classement des sables étudiés (porosité environ 45%), par l'amélioration de la compacité des mélanges et par conséquent les performances mécaniques, en particulier la compression et la résistance à la traction.

- L'effet de l'origine du sable sur les caractéristiques physiques et mécaniques est très important. Cette situation est attribuable à la distinction relative de classement pour chaque sable.

- La valeur de la résistance à l'immersion est élevée pour n'importe quel pourcentage de ciment (supérieure à 0,75 pour 2% de ciment). Elle est peu influencée par la proportion de ciment ajoutée et l'origine de sable. L'effet du pourcentage de sable SC sur cette caractéristique ne est pas significative. Cela explique pourquoi l'ajout de sable SF aux mélanges ne contribue pas à l'amélioration de la durabilité dans l'eau.

- L'utilisation de sable SC améliore les performances mécaniques testés (de traction et de résistance à la compression et module d'élasticité) et ne réduit pas la résistance à l'immersion (l'effet de ce sable ne est pas négative). Par conséquent, l'utilisation de ce sable est très important.

- La stabilisation de sable SM avec 8% de ciment et 30% de sable SC est suffisante pour obtenir les performances recommandées pour les couches de base (résistance à la traction au fractionnement 90 jours est supérieure à 0,50 MPa). Pour le sable SZ, ces performances sont obtenues pour une proportion de ciment égal à 10% et un pourcentage

minimal de sable SC égale à 10%. La même observation peut être remarqué pour le sable SA mais avec un pourcentage minime de sable SC égal à 20%.

- Les formulations optimales sont choisies en classe T3, selon la classification de la norme EN 14227-1. Ils développent performances mécaniques satisfaisantes à considérer leur valorisation dans les couches de fondation de la route.

BAGHDADI et al. (Baghdadi, 1990), ont mené une étude sur la stabilisation de sable de Dune dans la construction routière par la poussière des cimenteries (Cement kiln dust CKD).

Les auteurs ont utilisé deux matériaux qui sont: un sable de dune ( $D_{10} = 0,11$ ;  $D_{30} = 0,18$ ;  $D_{60} = 0,24$ ;  $C_u = 2,18$ ;  $C_c = 1,23$ ) et la poussière de cimenterie de densité 2,75 . Cette dernière est composée de 45,9% d'oxyde de calcium, 13,94% de silice et des proportions moindres d'oxydes d'aluminium, le fer, le magnésium, le soufre, le potassium et le sodium . (Baghdadi, 1990)

Le plan expérimental consiste à la préparation de cinq mélanges avec différents fractions de matériaux utilisés (CKD + sable), les proportions des différents mélanges sont présenté dans le tableau III.3.

**Tab III.3:** Les quantités des différents mélanges étudiés en % (Baghdadi, 1990)

	1 <sup>ere</sup> mélange	2 <sup>eme</sup> mélange	3 <sup>eme</sup> mélange	4 <sup>eme</sup> mélange	5 <sup>eme</sup> mélange
<b>Sable de dune %</b>	<b>100</b>	<b>75</b>	<b>50</b>	<b>25</b>	<b>0</b>
<b>CKD %</b>	<b>0</b>	<b>25</b>	<b>50</b>	<b>75</b>	<b>100</b>

Les résultats des essais de compactage Proctor sur différents mélanges de poussière et de sable sont présentés au tableau III.4 . La nature des changements de densité sèche maximale et la teneur en humidité optimale est également présentée dans la figure.III.15, Cette figure montre clairement que la densité sèche augmente initialement jusqu'à 30% de la poussière cimenterie et puis commence à diminuer de façon presque linéaire. D'autre part, la

teneur optimale de l'humidité diminue légèrement jusqu'à 30% de poussière et ensuite elle commence à augmenter de façon presque linéaire. D'après les auteurs, ces caractéristiques de compactage se produisent en raison du remplissage de vide par la poussière de four. Cependant, pour plus de 30% de poussière, il ya un surdosage de l'effet de la poussière, ce qui réduit la densité sèche maximale.

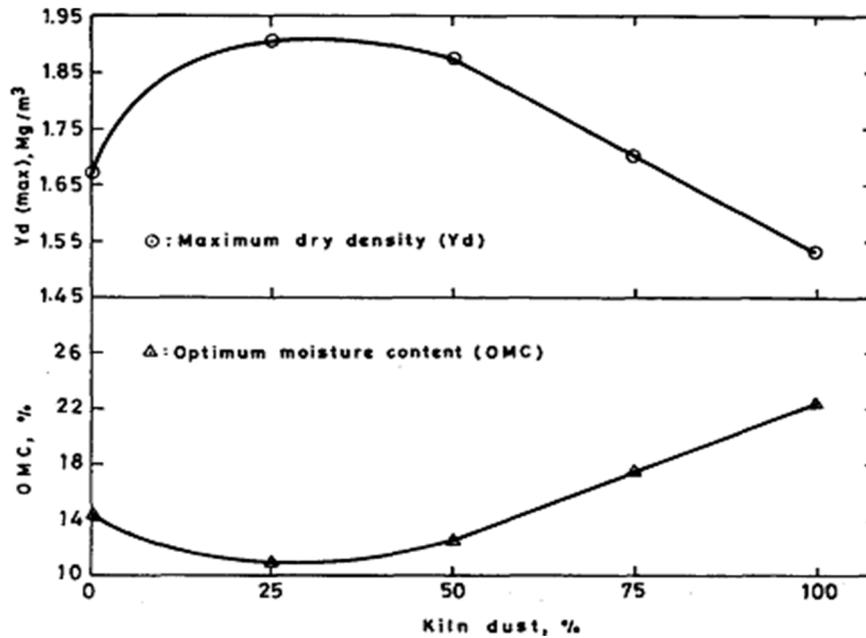


Fig. III.15: Caractéristiques de compactage de mélanges CKD et de sable.(Baghdadi, 1990)

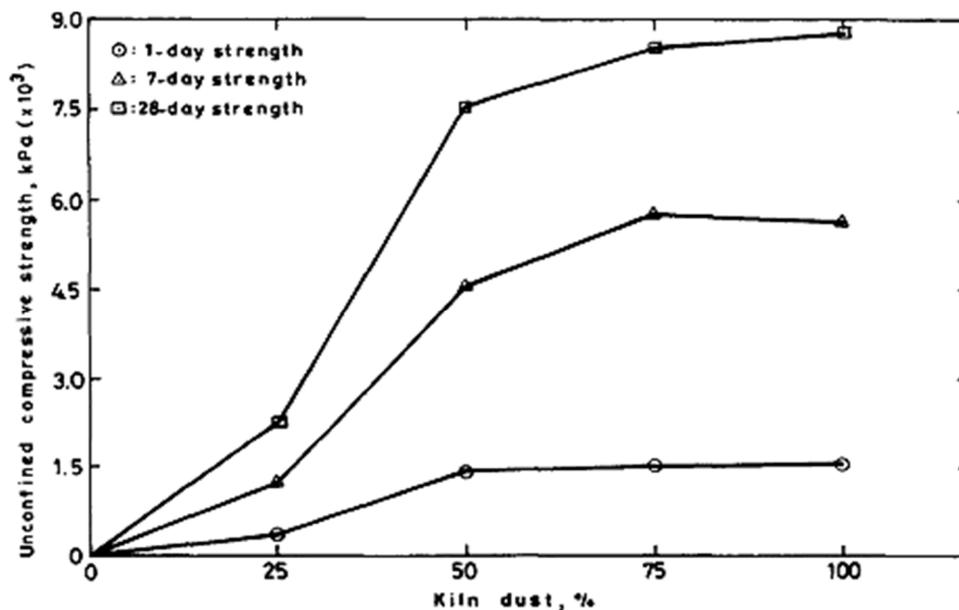
Tab.III.4. caractéristiques de compactage, CBR et la résistance a la compression des mélanges. (Baghdadi, 1990.)

%CKD + % sable	OMC %	$\gamma_d$	UC(KPa) 1 jour	UC(KPa) 7 jour	UC(KPa) 28 jour	CBR(%) Saturé	CBR(%) gonflement
0 + 100	14.29	1.67	---	---	---	24.8	0
25 + 75	10.95	1.91	373.2	1254.0	2287.6	176.1	0.0200
50 + 50	12.52	1.87	1431.2	4591.7	7588.0	236.3	0.0213
75 + 25	17.50	1.70	1505.8	5749.8	8554.2	267.4	0.0225
100 + 0	22.38	1.53	1563.8	5628.7	8799.5	254.6	0.0236

OMC = teneur en humidité optimale ;  $\gamma_d$  = densité sèche ; UC = résistance en compression simple ;

Un résumé des résultats des essais de compression sur différents mélanges poussière cimenterie sable est présentée dans le tableau III.4 . La tendance des changements de résistance à la compression de la poussière cimenterie est également présentée dans la figure.III.15. On peut voir d'après la figure que la résistance à la compression augmente avec l'augmentation de pourcentage de poussière cimenterie. Cette augmentation de la résistance n'est pas linéaire. La résistance à la compression reste sensiblement constant après 75% le contenu de poussière cimenterie.

Les résultats obtenus par les chercheurs, présentées dans la figure.III.16, montrent que plus l'âge des échantillons est élevé, plus la résistance à la compression est élevée. Ils ont conclu aussi que 'une proportion de mélange de 30% de poussière de cimenterie à + 70% de sable de dune remplit le critère de résistance à 7 jours qui nécessite une résistance de compression de 1,7 MPa pour une stabilisation adéquate d'un sol.



**Fig.III.16** : Résistance à la compression non confinée des mélanges de CKD et de sable en fonction de temps. (Baghdadi, 1990.)

Les résultats des essais de CBR trempés montrent que la valeur CBR augmente avec la poussière cimenterie et le taux d'augmentation n'est pas linéaire. La valeur maximale CBR est atteinte à une teneur en poussières de 75%, puis elle reste constante. Le pourcentage du gonflement augmente linéairement avec l'augmentation de la poussière de cimenterie (voir figure.III.17).

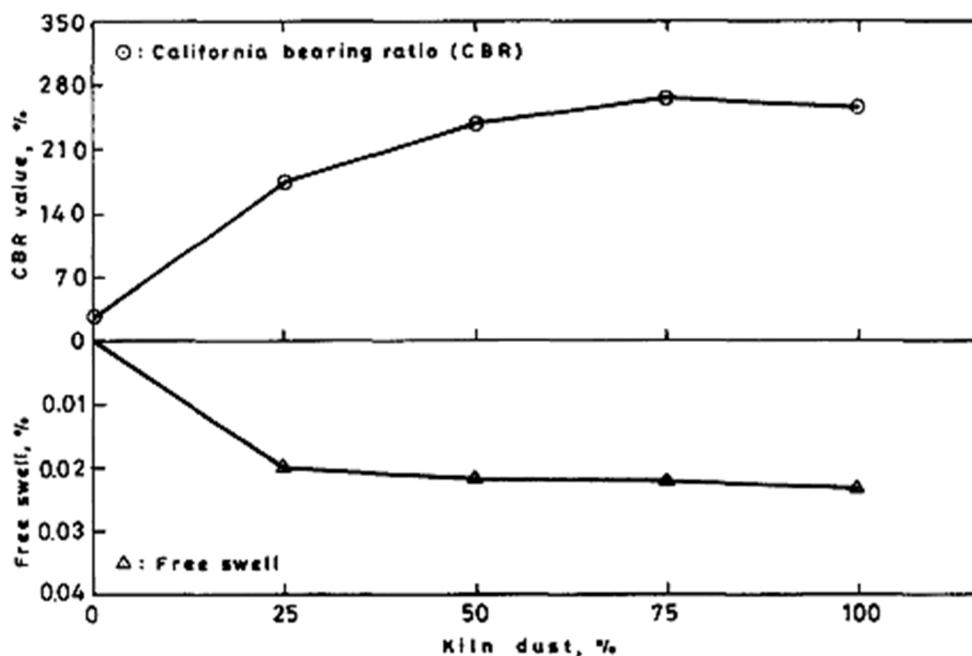


Fig.III.17. Caractéristiques d'essai CBR de mélanges CKD et sable. (Baghdadi, 1990)

### III.2.2 Valorisation du sable de dunes en couche de roulement

Plusieurs études ont été faites sur la valorisation de sable de dune dans la technique routiers, parmi celles-ci on trouve l'étude de KHangaoui (KHangaoui, 2013), dont l'objectif est de substituer les agrégats entrant dans les enrobés bitumineux par les sables locaux. Puis déterminer les performances mécaniques des différents mélanges de sable bitume à base des sables locaux afin de déterminer l'évolution des caractéristiques de ce dernier par rapport aux spécifications d'un béton bitumineux destiné à la couche de roulement. trois types de sable sont utilisés dans l'étude : sable de dunes, sable alluvionnaire et sable concassé 0/3. de la région de Ouargla, et un bitume pur de classe 40/50 de caractéristiques illustré dans la tableau III.5 :

Tab III.5 : Caractéristiques du bitume 40/50 (KHangaoui, 2013)

ESSAI	Unité	Valeur
Densité	$\text{g.cm}^{-3}$	1.04
Pénétrabilité à 25°C	1/10 mm	49
Point de ramollissement TBA	°C	50

Le plan expérimental consiste à la préparation de cinq mélanges avec différents fractions des sables utilisés (tableau III.6), et différentes teneurs en bitume. Calculer en fonction de module de richesse (K), ces valeurs sont présentées dans le tableau III.7.

**Tab III.6 :** les quantités des différents mélanges étudiés en %. (KHangaoui, 2013)

	1 <sup>ère</sup> mélange	2 <sup>ème</sup> mélange	3 <sup>ème</sup> mélange	4 <sup>ème</sup> mélange	5 <sup>ème</sup> mélange
<b>Sable de dune %</b>	<b>100</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>50</b>	<b>34</b>
<b>Sable alluvionnaire%</b>	<b>0</b>	<b>25</b>	<b>35</b>	<b>15</b>	<b>33</b>
<b>Sable concassé 0/3 %</b>	<b>0</b>	<b>25</b>	<b>15</b>	<b>35</b>	<b>33</b>

**Tab III.7 :** teneur en bitume en fonction de module de richesse (KHangaoui, 2013)

1 <sup>ère</sup> mélange			2 <sup>ème</sup> mélange			3 <sup>ème</sup> mélange				4 <sup>ème</sup> mélange			5 <sup>ème</sup> mélange			
K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K	K
3,75	4	4,25	3,75	4	4,3	3,75	4	4,25	4,5	3,75	4	4,25	3,75	4	4,25	4,5
TB %	TB %	TB %	TB %	TB %	TB %	TB %	TB %	TB %	TB %	TB %	TB %	TB %	TB %	TB %	TB %	TB %
5,77	6,16	6,5	6,57	7	7,4	6,23	6,64	7,06	7,47	6,8	7,26	7,7	6,76	7,21	7,66	8,11

L'étude expérimentale s'est focalisée sur deux essais: l'essai Marshall et l'essai Duriez (voir chapitre I).

### 1. Essai Marshall

Les résultats de l'essai Marshall s'articulent autour de : Densité apparente et absolue en fonction de teneur en bitume, Pourcentage des vides, La compacité, Stabilité Marshall et Fluage Marshall.

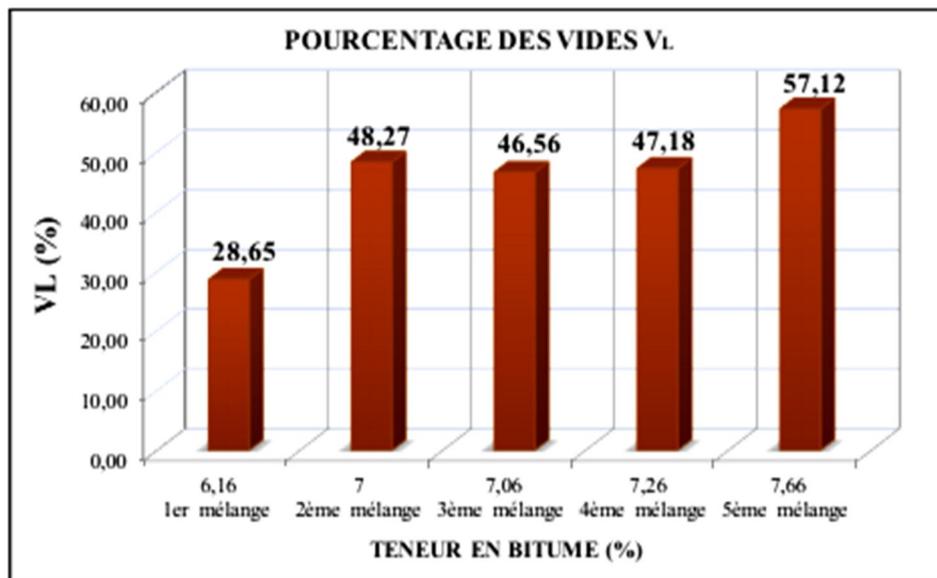
Ces derniers facteurs permettent de donner des indications sur la qualité globale de l'enrobé dont le choix et le dosage des constituants pour obtenir une meilleure composition ou une formulation à adopter pour un enrobé.

### 1.1 Densité apparentes et absolue en fonction de teneur en bitume

Le chercheur remarque dans ce tableau que la densité apparente et la densité absolue dans les cinq mélanges, approximativement sont constantes en fonction de la variation des teneurs en bitumes. Cela est dû à la méthode de formulation qui se base sur le module de richesse, où le dosage en bitume qui est déterminé pour un enrobé presque de manière totale ou quasi-totale des grains dans les différents mélanges.

### 1.2 Pourcentage des vides:

Le pourcentage des vides comblés par le bitume VL, qui caractérise l'aptitude de chaque mélange d'absorber une quantité du bitume, est présenté sur la figure III.18. L'auteur a trouvé que le meilleur résultat est obtenu pour le cas du 5<sup>ème</sup> mélange de teneur en bitume de 7.66% ou le pourcentage des vides comblé par le bitume est égal à 57.12 %. par contre le 1<sup>ère</sup> mélange donne la plus faible résultat ou VL est égal 28.65%.



**Fig III.18 :** Variation des vides comblés par le bitume en fonction des teneurs en bitume optimales (KHangou, 2013)

### 1.3 La compacité:

D'après la figure III.19, on remarque que le 5<sup>ème</sup> mélange donne la meilleure valeur de compacité, qui a atteint 88.52% pour une teneur en bitume de 7.66%, par contre le 1<sup>ère</sup> mélange représente les faibles valeurs dont la compacité est 74.40% pour 6.16% bitume.

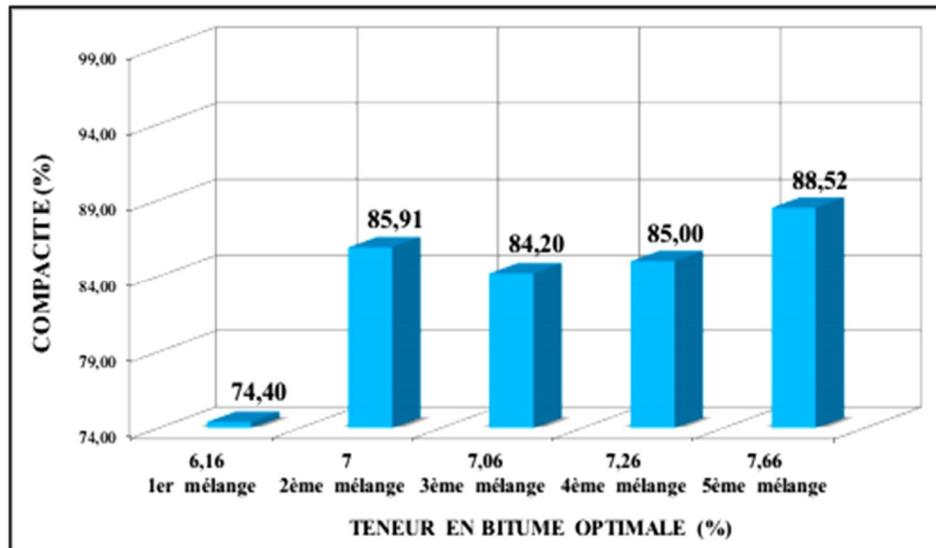


Fig III.19 : Variation de la compacité en fonction des teneurs en bitume optimales pour chaque mélange (KHangouai, 2013)

#### 1.4 Stabilité Marshall:

D'après l'auteur, le 1<sup>ère</sup> mélange présente une valeur de stabilité très faible par rapport aux autres mélanges, dont on observe cette valeur est 79.60 Kg pour une teneur en bitume égal 6.16%, 609.10 Kg et 578.4 Kg sont les meilleurs résultats enregistrés dans le 2<sup>ème</sup> et le 5<sup>ème</sup> mélange respectivement. (figure III.20).

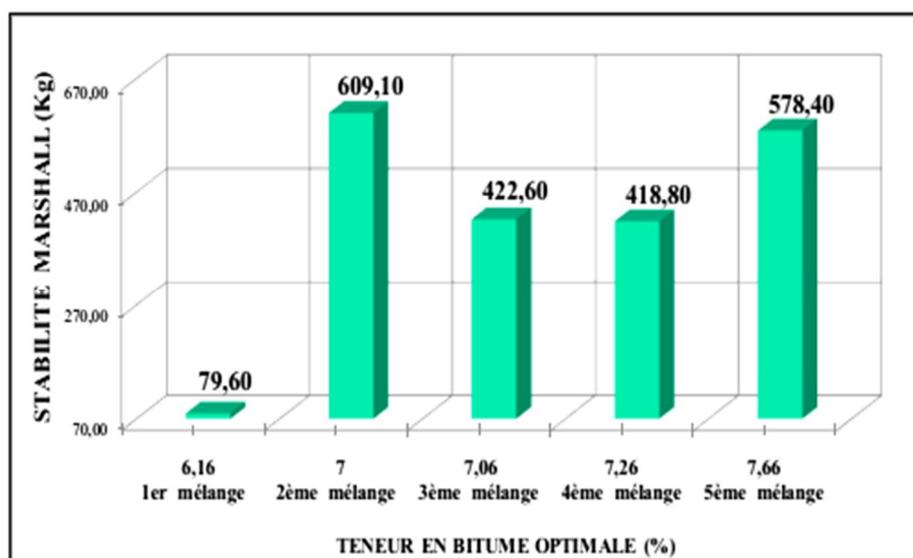
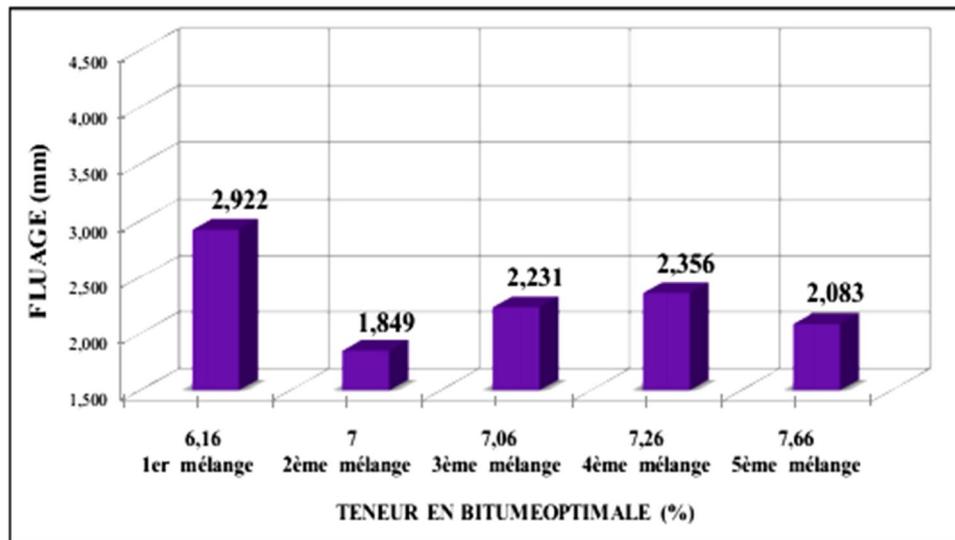


Fig III.20 : Variation de stabilité Marshall maximale en fonction des teneurs en bitume optimales pour les cinq mélanges.(KHangouai, 2013)

## 1.5 Fluage Marshall

Le fluage Marshall ou déformation Marshall qui fait dans cet essai est le raccourcissement du diamètre de l'éprouvette au moment de sa rupture. Le résultat du fluage dans le 2<sup>ème</sup> mélange est le plus satisfaisant par rapport aux autres mélanges par ce que quand le fluage est diminué la déformation par l'ornièrage est diminuée. (figure III.21)



**Fig. III.21 :** Variation du fluage en fonction des teneurs en bitume optimales pour les cinq mélanges (KHangaoui, 2013)

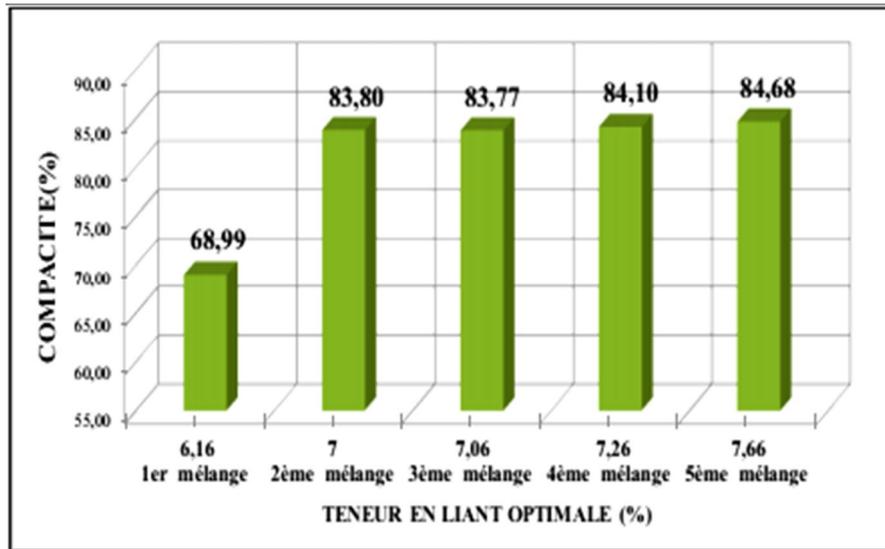
## 2 . L'essai Duriez :

Dans cette étude, l'essai Duriez est réalisé sur les éprouvettes qui contiennent un dosage de bitume optimum correspondant à la meilleure stabilité Marshall.

les paramètres déterminer par cet essais sont: La compacité de Duriez, 2 Stabilité Duriez et Pourcentage d'imbibition " W "

### 2.1 La compacité de Duriez:

D'après les résultats présentés sur la figure III.22, le 1<sup>ère</sup> mélange donne la faible valeur de compacité est de 68.99%, les résultats de 2<sup>ème</sup> et de 3<sup>ème</sup> mélange sont presque égal (différence de 0.03%), même chose pour le 4<sup>ème</sup> et le 5<sup>ème</sup> mélange, 84.68 % est la meilleur compacité enregistré est dans le 5<sup>ème</sup> mélange pour une teneur en bitume de 7.66%,



**Fig III.22 :** Variation de la compacité Duriez en fonction des teneurs en bitume optimales (KHangaoui, 2013)

## 2.2 Stabilité Duriez

D'après le tableau III.8 qui présente les résultats obtenus de l'essai Duriez telle que la résistance à la compression avant immersion ( $R$ ) et après immersion ( $r$ ) et le rapport entre eux ( $r/R$ ) on remarque que la meilleur résultat de résistance a été enregistré dans le 4<sup>ème</sup> mélange, ou  $R$  est égal  $49.76 \text{ Kg/cm}^2$ . par contre le 1<sup>ère</sup> mélange donne le faible résultat qui est de  $22.89 \text{ Kg/cm}^2$ . même chose pour la résistance à la compression après immersion, dont la valeur  $32.84 \text{ Kg/cm}^2$  est le meilleur résultat enregistré dans le 4<sup>ème</sup> mélange, et aussi la plus faible valeur est celle du 1<sup>er</sup> mélange dont la valeur est de  $17.91 \text{ Kg/cm}^2$ .

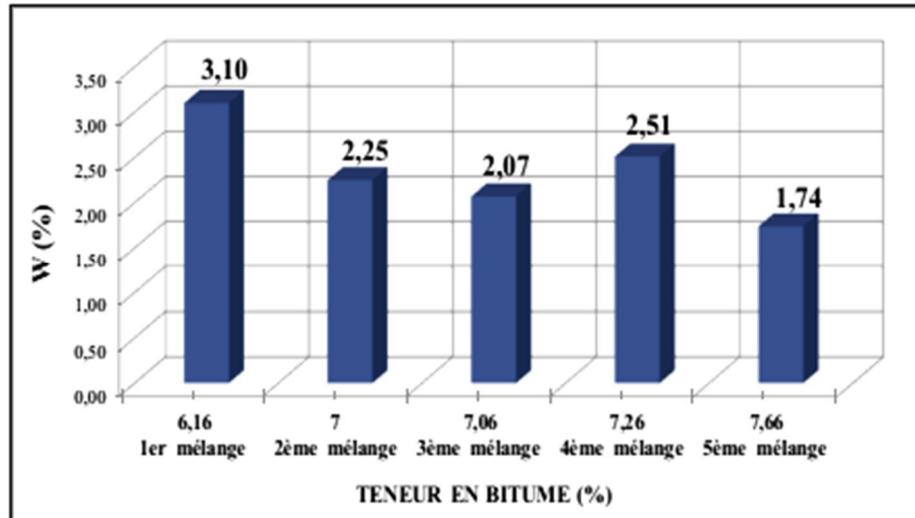
L'auteur a remarque une légère variation du rapport ( $r/R$ ) et elle est bien observée dans le 1<sup>ère</sup> et le 3<sup>ème</sup> mélange qui atteinte 0,78 et 0,72 respectivement. Par contre on trouve les valeurs de rapport ( $r/R$ ) dans le 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et 5<sup>ème</sup> mélange d'une manière générale sont proches les unes des autres.

**Tab III.8 :** Stabilité de Duriez (KHangaoui, 2013)

	1ere mélange	2ème mélange	3ème mélange	4ème mélange	5ème mélange
<b>TB%</b>	6.16	7.00	7.06	7.26	7.66
<b>R(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	22.89	45.78	43.79	49.76	45.78
<b>r(Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	17.91	31.85	31.85	32.84	31.85
<b>r/R</b>	0.78	0.69	0.72	0.66	0.69

### 2.3 Pourcentage d'imbibition " W " :

L'auteur a remarqué que le 5<sup>ème</sup> mélange donne le meilleur résultat d'ambition 1.74%, le 2<sup>ème</sup>, 3<sup>ème</sup> et le 4<sup>ème</sup> mélange donne presque les même résultats avec une légère variation, le 1<sup>re</sup> mélange est le plus faible résultat enregistré (figure III.23).



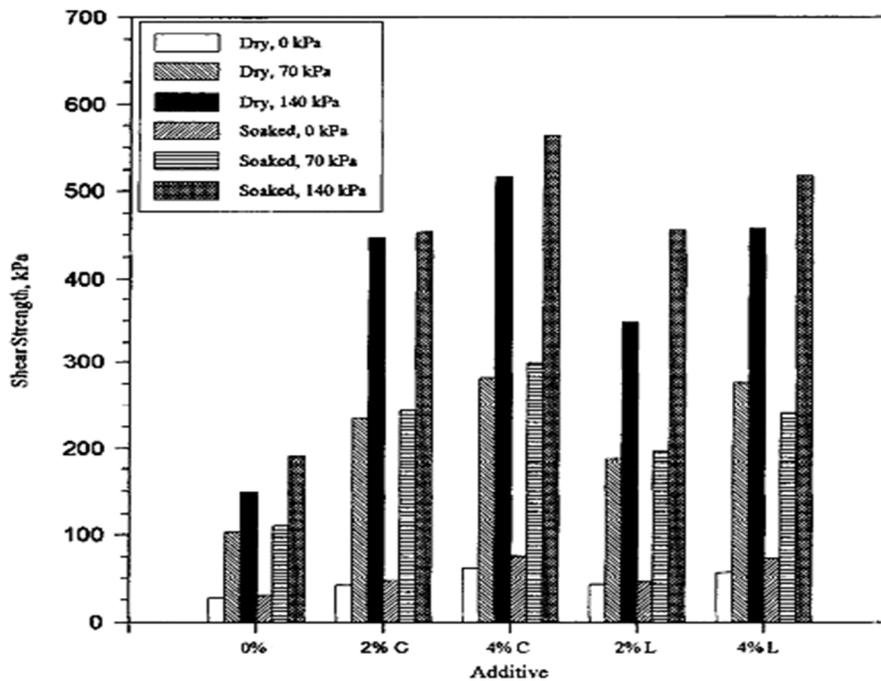
**Fig III.23:** Variation du pourcentage d'imbibition en fonction des teneurs en bitume optimales selon chaque mélange (KHangaoui, 2013)

Al-Abdul Wahhab et al.( Al-Abdul Wahhab, 1997), ont faite une étude pour objectif de valorise le sable de dune dans les enrobés.

Le sable de dunes a sélectionnés pour cette étude, a été recueilli des dunes de le région Dhahran- Le Royaume d'Arabie Saoudite, Trois traitements d'asphalte (fluidifié, émulsion et sans asphalte), deux types de stabilisateur sec (ciment et chaux) et trois teneurs de stabilisant sec ont été utilisés (0%, 2% et 4%).

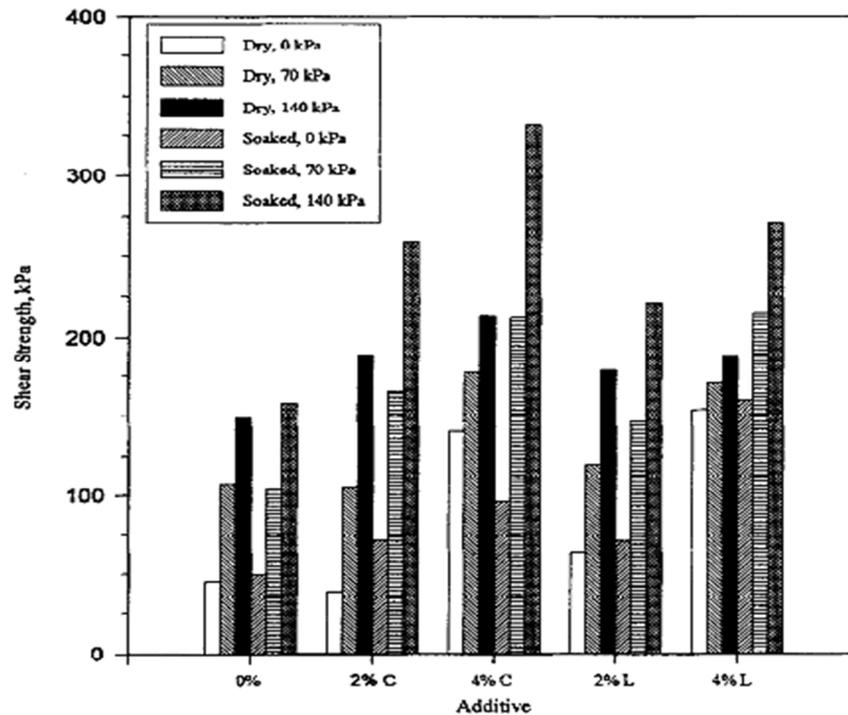
Les résultats du mélange de liquide d'asphalte ont indiqué que pour le sable de dune le contenu de l'asphalte émulsionné optimale est de 8% et le bitume fluidifié optimale était de 6%. Un marteau Marshall a été utilisé pour préparer des échantillons d'essai, un essai triaxial a été utilisé pour évaluer les mélanges traités. L'essai triaxial a été utilisé pour évaluer la résistance au cisaillement du matériau stabilisé. Trois pressions ont été utilisées soit 0, 70 et 140 KPa. La figure III.24 présente l'effet de chaque type d'additif (ciment et chaux) sur la résistance au cisaillement de sable de dune traité par l'émulsion de bitume, ou il est clair que le ciment et la chaux a un effet positif sur l'augmentation de résistance au cisaillement, et le

ciment donne les meilleur résultats par rapport a la chaux. A 0% d'ajout, la résistance au cisaillement est faible, soit à l'état sec ou humide, l'ajout de ciment améliore cette résistance d'une manière remarquable surtout à l'état humide avec 4% de ciment avec une valeur de 600 KPa sous une pression de 140 KPa. Même remarque pour la chaux mais l'augmentation de résistance au cisaillement et moins importante que celle du cas de ciment sous une pression de 140 KPa.



**Fig III.24** Effet de type d'ajout sur la résistance au cisaillement de sable de dunes traité par émulsion de bitume (WAHHAB, 1997)

Pour le cas du bitume fluidifié, les résultats présentés sur la figure III.25 montrent que les meilleurs valeurs sont obtenus à l'état humide sous une pression de 140 KPa, la meilleur valeur de résistance au cisaillement a été obtenu pour 4% de ciment ou elle est égale a 350 KPa. La chaux a un effet positif sur l'amélioration de la résistance d'une façon moins importante que pour le cas du ciment. D'une manière générale l'augmentation de la teneur d'ajout conduit à une augmentation de la résistance au cisaillement.



**Fig III.25 :** Effet de type additif sur la résistance au cisaillement de sable de dunes traité par bitume fluidifié.

Finalement on présente une autre étude réalisée par FATANI et al. (FATANI, 1990), qui a pour objectif l'utilisation du sable de dune comme revêtement en béton bitumineux pour les routes.

Le matériau étudié dans cette recherche est constitué de sable des dunes, d'asphalte, d'oxyde de fer, le ciment Portland ordinaire, de gypse, les poussières de cimenterie, et la poussière de tuf volcanique.

Le bitume utilisé tout au long de cette étude est un bitume de pénétration 60/70, sa densité est 1.025. La qualité du bitume est considéré comme la plus appropriée pour les régions arides, où se trouvent la plupart des zones de sable de dunes.

À la lumière de cette étude, les auteurs ont constaté que l'ajout de poussière de cimenterie, agissant comme filler, ne donne pas d'amélioration satisfaisante, tandis que la poussière de tuf, agissant comme un matériau pouzzolanique, donne une bonne amélioration qui répond aux exigences de l'exploitation du matériau. Par conséquent, les sables de dunes peuvent être utilisés avec l'emploi de stabilisants à condition que les essais de durabilité donnent des résultats satisfaisants.

### III.2 L'utilisation sur terrain des sables de dunes en techniques routière

Plusieurs exemples de routes ont été réalisés au sud algérien avec un sable-bitume en couche de roulement, on peut citer (BENKHALIFA et KEBAILI, 19992; KERROUM et FERHI 1990 cité par KHangouï, 2013) :

- **RN 3 région de Gassi Touil** : ce tronçon de longueur environ de **300 km**, réalisé avec un sable enrobé en couche de roulement d'épaisseur 5,5 cm (1960).
- **RN 49 Ouargla – Hassi Messaoud** : **12 km** de cette route a été réalisée en sable enrobé.
- **RN 3 Stil – Touggourt** : **140 km** cette route réalisés en sable enrobé avec des épaisseurs variables d'environ 6 cm (1956 – 1957).
- **RN 48 Stil – El Oued** : réalisé avec un revêtement en sable bitume, le seul sable utilisé est le sable de dunes (1956).
- **RN 56** : sur une longueur de **67 km** de Touggourt vers Ouargla.

### III.3 Conclusion

Le présent chapitre a mis l'accent sur l'utilisation des sables en techniques routière que ce soit dans le corps de chaussée ou dans les enrobés, vu son intérêt économique surtout dans les régions sahariennes. La recherche bibliographique dans ce chapitre est faite sur deux axes, l'axe de recherche et l'axe d'exploitation sur terrain. Vu le peu de projets routiers réalisés par le sable de dunes, l'intérêt est porté sur les travaux de recherches effectués sur les sables de dunes et leur stabilisation.

À la lumière de cette recherche bibliographique, on a remarqué que plusieurs travaux de recherches ont confirmé que l'utilisation des sables de dunes seules ne donne pas des résultats favorables, par contre la correction granulaire et l'ajout de stabilisants, comme le ciment, la chaux, la poussière de cimenterie, tuf volcanique et autres, peuvent donner une amélioration satisfaisante, à condition de faire le bon choix du stabilisant ainsi que la teneur adéquate, permettant de vérifier les essais de durabilité exigés par les normes.

# Conclusion générale

La tendance actuelle est d'adapter la technique routière à l'emploi des matériaux locaux notamment les sables et particulièrement les sables de dunes.

L'immense étendue désertique de l'Algérie recèle des quantités inestimables de sable de dune généralement de granulométrie 0/2. Ce sable de dune est le seul matériau local des régions du grand sud Algérien et il est resté très longtemps marginalisé. Actuellement, de grands efforts sont consentis afin de valoriser le sable de dune, ce qui permet de résoudre, à la fois le problème environnemental (sur exploitation des agrégats importés du nord vers le sud et aussi la question économique (le coût élevé du transport des agrégats nécessaires à la réalisation des projets routiers), et notre travail s'inscrit dans ce cadre.

L'objectif de ce travail est de rédiger une base documentaire sur l'utilisation du sable de dune dans la construction routière, qui sera un outil d'information pour les chercheurs qui travaillent dans cet axe de recherche.

Pour atteindre notre but, l'étude est scindée en trois chapitres, qui constituent ensemble une synthèse bibliographique:

Dans le premier chapitre, on a essayé de donner plus de détails sur les chaussées routières, alors que le deuxième chapitre est consacré au sable de dune (définition, classification, intérêt, paramètres d'identification et divers utilisations).

Finalement le troisième chapitre présente l'utilisation de sable de dune en technique routière.

## Conclusion générale

---

Cette étude bibliographique nous a permis de dégager les principales conclusions suivantes :

- des sables correcteurs sont nécessaires pour améliorer les caractéristiques du sable de dune telle que sable alluvionnaire et sable concassé.
- des ajouts stabilisateurs comme la chaux et le ciment ont un effet positif sur les performances mécaniques des mélanges à base de sable de dune pour l'utilisation en technique routière avec des pourcentages entre 2 et 10% pour le ciment et 2 et 4% pour la chaux. L'augmentation de la densité sèche maximale avec l'ajout du ciment est observée par les chercheurs, du fait de la plus forte densité absolue du ciment.
- La chaux a un effet positif sur l'amélioration de la résistance d'une façon moins importante que pour le cas du ciment. D'une manière générale l'augmentation de la teneur d'ajout conduit à une augmentation de la résistance au cisaillement.
- L'effet de l'origine du sable sur les caractéristiques physiques et mécaniques est très important. Cette situation est attribuable à la distinction relative de classement pour chaque sable.
- l'utilisation de sable concassé améliore les performances mécaniques testées (les résistances à la traction et à la compression et le module d'élasticité) et ne réduit pas la résistance en cas d'immersion sous l'eau. L'augmentation de la densité sèche maximale avec plus de sable concassé est attribuée à l'augmentation de la compacité des mélanges. Par conséquent, l'utilisation de ce sable est très recommandée.
- une proportion de mélange de 30% de poussière de cimenterie à + 70% de sable de dune remplit le critère de résistance à 7 jours qui nécessite une résistance de compression de 1,7 MPa pour une stabilisation adéquate d'un sol.

On conclue finalement que l'utilisation des sables de dunes seules ne donne pas des résultats favorables, par contre la correction granulaire et l'ajout de stabilisants, comme le ciment, la chaux, la poussière de cimenterie, tuf volcanique et autres, peuvent donner une amélioration satisfaisante, à condition de faire le bon choix du stabilisant ainsi que la teneur adéquate, permettant de vérifier les essais de durabilité exigés par les normes.

### Recommandations

- L'utilisation du sable de dunes seule dans le corps de chaussée est déconseillé ;
- La correction de la granulométrie de sable de dunes s'avère nécessaire dans le but d'une utilisation courante de ce dernier dans la confection de sable bitume.
- On recommande la poursuite des recherches dans cet axe, de manière à acquérir une meilleure stabilité et durabilité de la route.

### Références bibliographiques

**AL-ABDUL WAHHAB. H. I., ASI. I.M. (1997)** : Improvement of Marl and Dune Sand for Highway Construction in Arid Areas; Building and Environment, Vol 32, No. 3, pp. 271-279.

**AUTRET. P. (1989)** : Routes dans les régions en développement, LCPC, 64 P.

**AZZOUZ. H. (2009)** : Etude des bétons à base des sables de dune, thème de Magister, université Mohamed Khider Biskra.

**BAGHDADI.Z.A., RAHMAN M. A. (1990)** : The Potential of Cement Kiln Dust for the Stabilization of Dune Sand in Highway Construction; Building and Environment, Vol. 25, No. 4, pp. 285-289.

**BEN DHIA. M.H (1998)** : Quelques particularités de l'utilisation du sable de dune en construction routière en milieu saharien, bulletin des laboratoires des ponts et chaussées, P 33-42.

**BEN DHIA .M.H (1983)** : Les tufs et encroûtements calcaires dans la construction routière, Thèse de l'Université de Paris VI, 189 P.

**BENKHALIFA.M., KEBAILI. N. (1992)**: Sable enrobé à froid au moyen de cut-back, étude et formulation, mémoire de fin d'étude, école nationale des travaux public PP 4.

**BENYOUB. A. (2011)**: Le sable siliceux en Algérie, Extrait du Portail Algérien des ENERGIES RENOUVELABLES, 12 P .

**BERTHIER .J:** (Professeur à l'École Nationale des Ponts et Chaussées) Projet et construction de routes; www. Techniques de l'Ingénieur.com.

**CAMPANAC .R:** Chef de la section Carrières et granulats; Laboratoire régional d'Aix-en-Provence; Equivalent de sable et mesure de la nocivité des sables concassés.

**Chauvin, J.J. (1987)**: Les sables, guide technique d'utilisation routière. ISTED, France, p 76.

**CDC-ENR05. (2005)** : Cahier des charges 'enrobes a chaud, grand-duché de Luxembourg ,Ministère des Travaux Publics, ponts et chaussées, version du 06 avril.

## Références Bibliographiques

---

**Claud .M (2004)** : propriété des sols, Cours de mécanique de sol, tome1, Institut national d'ingénierie de l'Eau et de l'Environnement.

**CTTP. (2001)** : Catalogue de dimensionnement des chaussées neuves, Fascicule 3( fiche technique de dimensionnement).

**Didier .D Girard .N (1999)** : précise de chantier matériel et matériau, mise en œuvre, normalisation, AFNOR, 258 P.

**FATANI. M., KHAN. A., (1990)** : Improvement of Dune Sand Asphalt Mixes for Pavement Bases; King Abdul-Aziz University, Jeddah, Saudi Arabia ,Eng. Sci.. Vol.2, PP.35-47.

**FAURE .M. (1996)** : Cour de routes, tome II, ENT PE ALEAS, 255 P.

**Florian .W. (2010)** : rapport d'identification des sols, école polytechnique fédération Lausanne.

**GHOMARI F .M Mme BENDI-OUISA (2008)**: Travaux pratiques, science des matériaux de construction.

**Ghrieb. A., Mitiche-Kettab. R., Bali. A (2013)** : Stabilization and Utilization of Dune Sand in Road Engineering, King Fahd University of Petroleum and Minerals, P 1517–1529.

**Gueddouda M.K (2011)** : Comportement hydromécanique des sols compactés, application à la conception d'une barrière ouvragée« sable de dune –bentonite, Thèse de Doctorat, Université ABOUBAKR Belkaid – TLEMEN.

**GUERMITI. L(2013)** : Contribution a l'amélioration de certaines caractéristiques du béton de structure à base de Sable de dune corrigé et renforcé par des fibres Métalliques, Mémoire de MAGISTER, Université Kasdi Merbah Ouargla.

**KERROUM. T., FERHI. M., (1991)** :« Sable bitume en couche de roulement, étude et formulation », mémoire de fin d'étude, école nationale des travaux public pp 11 à 17.

**KHangaoui .S. (2013)** : Valorisation du sable de dunes en couche de roulement sable - bitume, thèse de Magister en génie civil, Géo - Matériaux.

**LCPC, (1994)** : Guide technique, Conception et dimensionnement des structures de chaussées; LCPC-SETRA.

**LCPC, (1973)** : Essais de laboratoire et en place de mécanique des sols, note d'information technique.

**NF P18-598** : équivalent de sable, granulat, Norme Française, , octobre 1991.

## Références Bibliographiques

---

**NF P 18-572**; Norme française, granulats, essai d'usure Micro-Deval, décembre 1990.

**NF P 18-573**; Norme française, granulats, essai Los Angeles, décembre 1990.

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

**NF P 98-251-2**, , essais relatifs aux chaussées, essais statiques sur mélange hydrocarbonés, partie 2, essai Marshall, Norme française, avril 1992.

**NF P 98-251-2**, essais relatifs aux chaussées, essais statiques sur mélange hydrocarbonés, partie 4, essai DURIEZ sur mélange hydrocarbonés à froid à l'émulsion de bitume, Norme française, octobre 1992.

**OULD SIDA.C., HAVARD H.,VALIN. C. (1995)** : Terrassements routiers dans les sables de dunes de Mauritanie, Bulletin de liaison des Laboratoires des Ponts et Chaussées, 199, PP .27-34.

**PORTET.F ET OLIVIER .N, (2011)** : La Classification des sols, Géotechnique routière, ENTE D'AIX-EN-PROVENCE.

**SETRA. (2007)** : conception et réalisation des terrassements, Guide technique, Fascicule 3 ,méthode d'essai.

د/ عباس بن عفيان الحارثي – قسم الجيولوجيا الهندسية و البيئية- كلية علوم الأرض مقرر المخاطر الجيولوجي - جامعة الملك عبد العزيز.