

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa



كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des sciences et de la technologie

قسم الهندسة المدنية والري

Département de génie civil et hydraulique

Mémoire de fin d'étude d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine : sciences et technologies

Filière : Génie civil

Spécialité : Structure

Thème

**Optimisation des Propriétés Géotechniques du Sable de Dune
par l'Incorporation d'Argile pour
les Routes Sahariennes''**

Présenté par

MEZZI mouna

Soutenue publiquement le 11/09/2022

Devant le jury composé de

p rénom et nom	Grade	Université	Président
M ^{me} AZZOUZ Fatima.Zohra	MAA	Université- Ghardaïa	Encadrant
M ^{me} Cady Mokhtaria	MCB	Université- Ghardaïa	Examinateur
M ^{me} LAROUÏ Abdebasset	MAA	Université- Ghardaïa	Examinateur

Année universitaire 2021/2022

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique Et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur Et de La Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa



كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des sciences et de la technologie

قسم الهندسة المدنية والري

Département de génie civil et hydraulique

Mémoire de fin d'étude d'étude, en vue de l'obtention du diplôme

Master

Domaine : sciences et technologies

Filière : Génie civil

Spécialité : Structure

Thème

**Optimisation des Propriétés Géotechniques du Sable de Dune
par l'Incorporation d'Argile pour
les Routes Sahariennes"**

Présenté par

MEZZI mouna

Soutenue publiquement le 11/09/2022

Devant le jury composé de

p rénom et nom	Grade	Université	Président
M ^{me} AZZOUZ Fatima.Zohra	MAA	Université- Ghardaïa	Encadrant
M ^{me} Cady Mokhtaria	MCB	Université- Ghardaïa	Examinateur
M ^{me} LAROUÏ Abdebasset	MAA	Université- Ghardaïa	Examinateur

Année universitaire 2021/2022





Remerciement

Tout d'abord, je tiens à remercier mon encadrer

Madame AZZOUZ Fatima Zohra

qui m'a témoigné son soutien et sa confiance durant la
période de Préparation de cet mémoire ;

qu'elle trouve ici l'expression de ma sincère Gratitude.

Je tiens également à remercier l

es membres du jury qui me feront

l'honprésidé et d'examiner ce modeste travail.

Je remercié mes enseignants de l'université de Ghardaïa

Je voudrais sincères remerciements

l'ensemble de Laboratoire des travaux publics

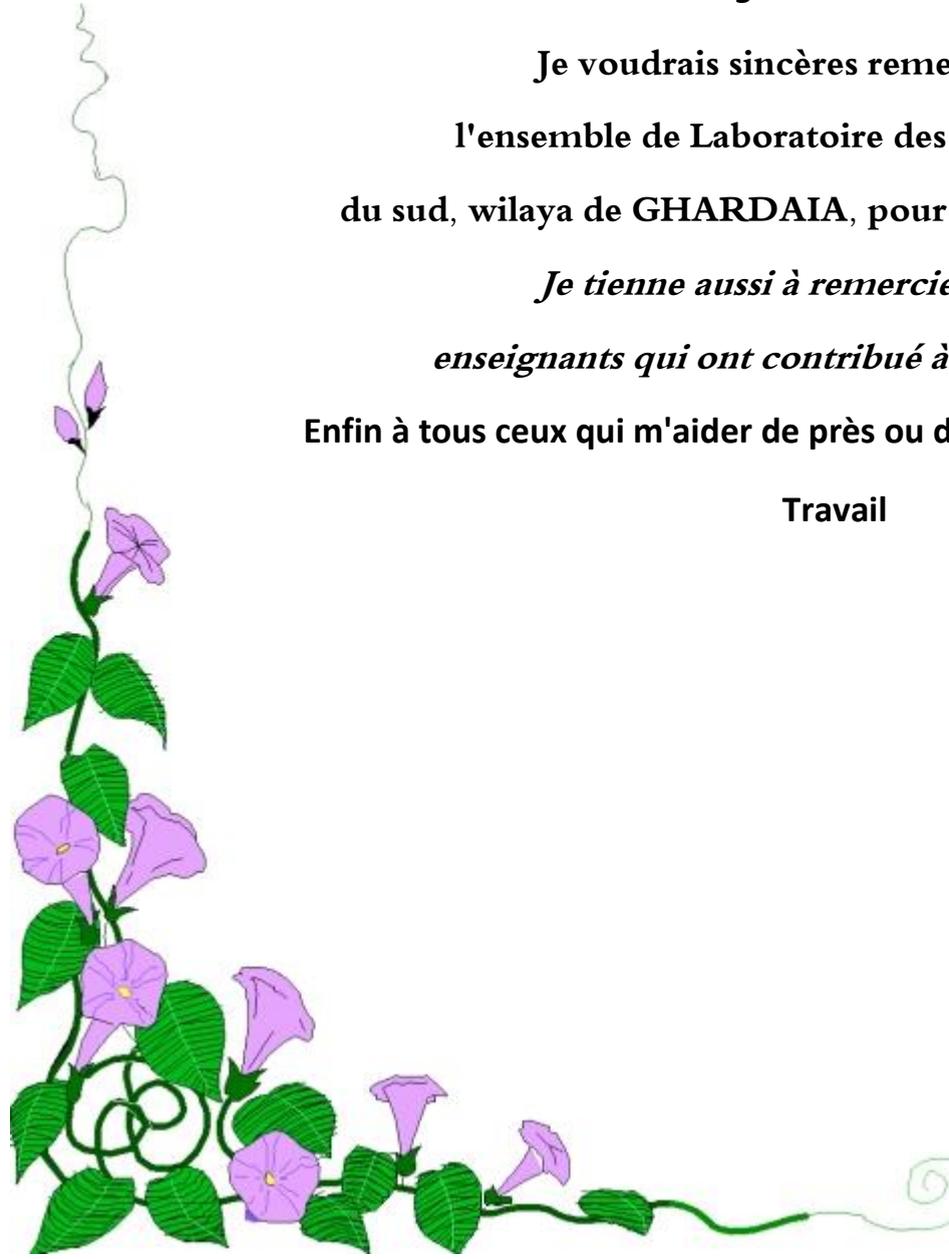
du sud, wilaya de GHARDAIA, pour leur aide de ce travail.

Je tiéne aussi à remercier tous nos

enseignants qui ont contribué à notre formation.

Enfin à tous ceux qui m'aider de près ou de loin à la réalisation de ce

Travail





Dédicace

**À mon père; Je t'ai toujours trouvé dans tout
ce dont j'ai besoin. Vos prières et vos conseils**

ne m'ont jamais fait défaut tout au long de mes études.

***A la lumière de ma vie, à ma chère maman qui a apporté le goût de la vie et le
sens des responsabilités par sa tendresse, son soutien et ses encouragements,
et sans son amour, je n'aurais pas pu atteindre mes objectifs.***

**A mon mari, ma force dans les moments de faiblesse
Pour un morceau de mon cœur ma petite princesse**

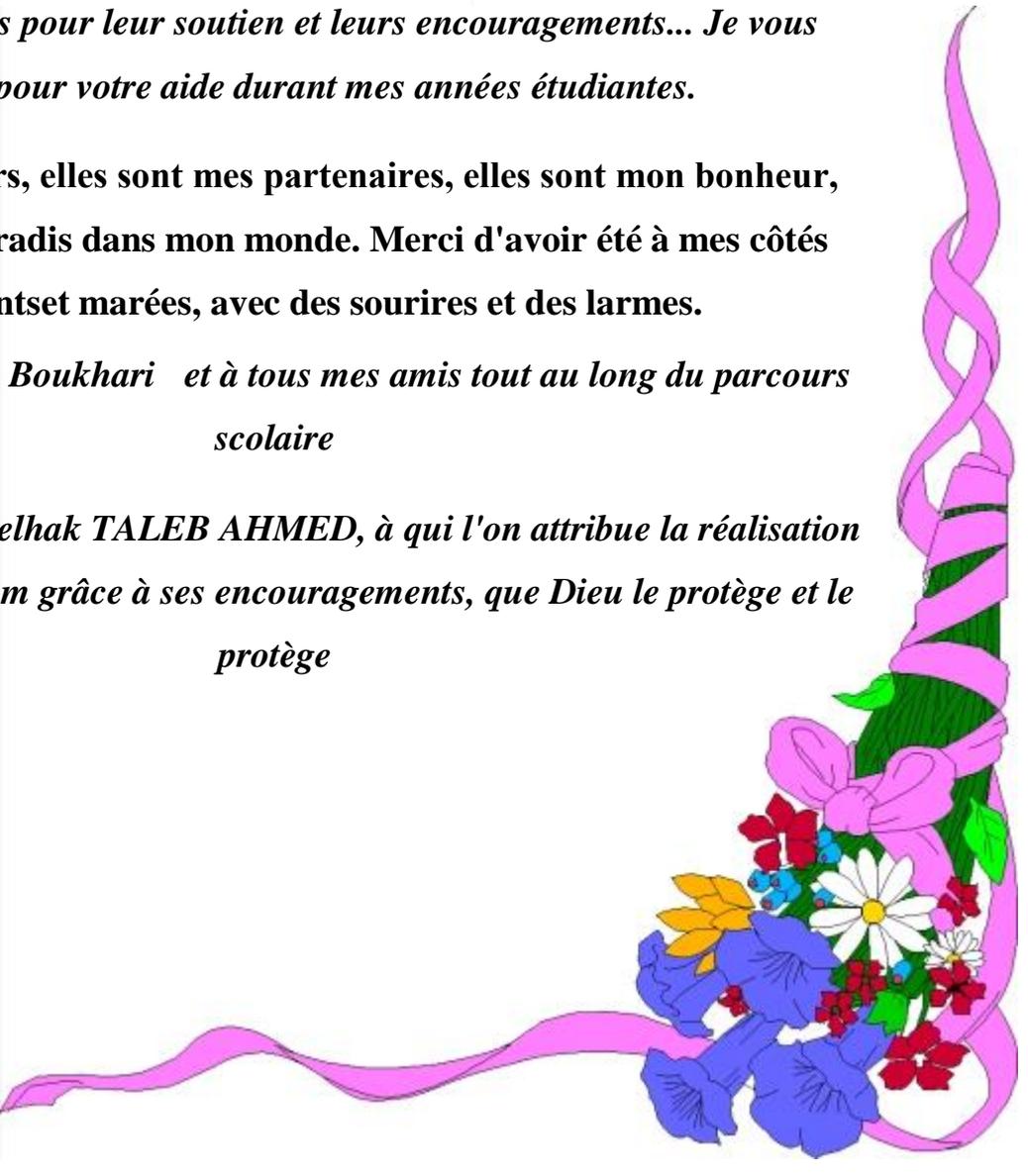
Hala

***A mes chers frères pour leur soutien et leurs encouragements... Je vous
remercie pour votre aide durant mes années étudiantes.***

**À mes chères sœurs, elles sont mes partenaires, elles sont mon bonheur,
elles sont mon paradis dans mon monde. Merci d'avoir été à mes côtés
contre vent et marées, avec des sourires et des larmes.**

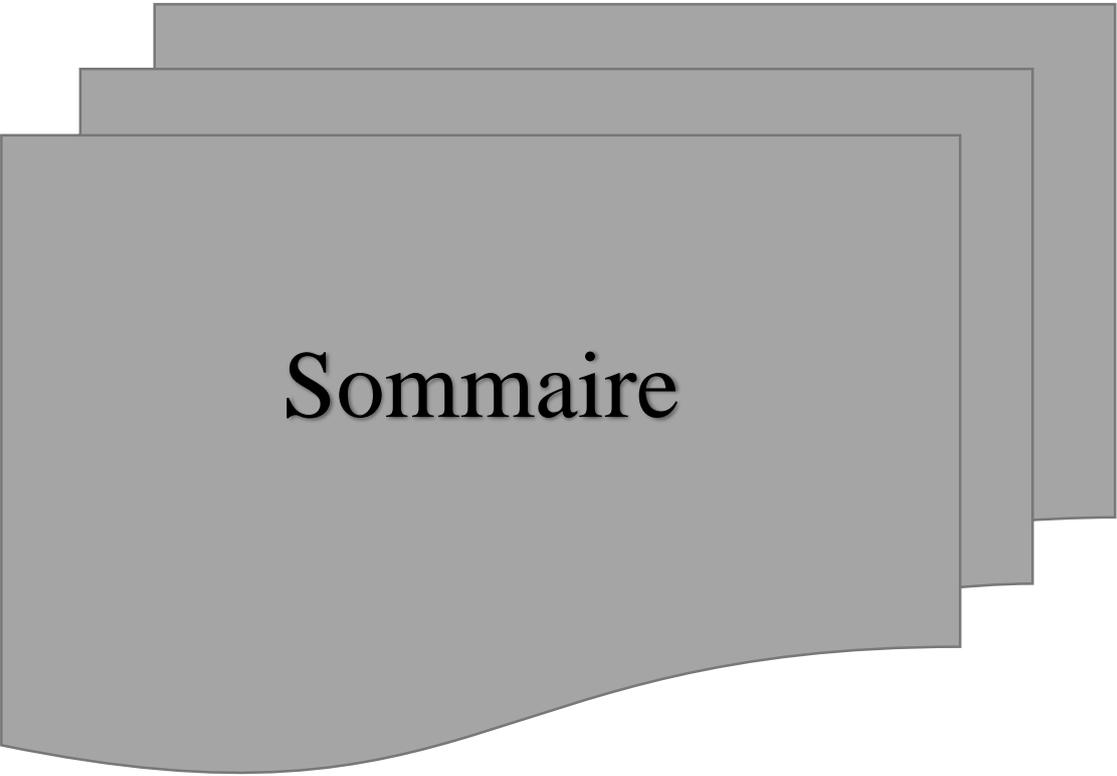
***A mon amie Zainab Boukhari et à tous mes amis tout au long du parcours
scolaire***

***A mon collègue Abdelhak TALEB AHMED, à qui l'on attribue la réalisation
de mon mémorandum grâce à ses encouragements, que Dieu le protège et le
protège***



Liste des abréviations

Abr	Désignat aion
ω	Teneur en eau initiale.
ω opt	teneur en eau qui correspond à l'optimum Proctor.
o d	densité volumique sèche.
Cc	coefficient de compressibilité.
PM	Essai Proctor modifié.
WL	limite de liquidité
W _n	Teneur en eau naturelle
WP	limite de plasticité
W _r	limite de retrait
LTPS	Laboratoire des travaux publics du sud.
CBR	Californian Bearing Ratio: Indice Portant Californien.
ICBR imb	Indice CBR imbibe.
ICBR imed	Indice CBR immédiat.
GTR	Guide technique pour la réalisation des remblais et couches de forme
Cc	coefficient de courbure
SB	sable propre Bien gradué.
S	surcharge simulant l'action de la chaussée qui s'oppose au déplacement vertical du sol de fondation lors de l'action du pneu.
I _p	Indice de Plasticité.
IPI	Indice Portant Immédiat, mesure à la teneur en eau de confection
	de l'éprouvette sans application des surcharges, en pourcentage
R	renforcement ;
S	séparation.
PET	polyester ;
PP	polypropylène.
T	tissé (y inclus les tissés à bandelettes dont la permittivité est d'au moins 0,05 sec-1)
AB	Argile Bouhraoua
AO	Argile Oued Nechou
AM	argile Metlili
SD	sable de dune
TRS	technique routière saharienne



Sommaire

Sommaire

Remerciement

Dédicace

Liste des abréviations

Résumé :	19
Introduction générale.....	18

Chapitre I :

"Caractérisation Et Optimisation Des Propriétés Des Matériaux Granulaires

I.1 Introduction :	20
I.2. Les sables de dunes:.....	20
I.2.1.Utilisation du sable de dunes dans le domaine génie civil : [3]	20
I.2.2. D'utilisation du mélange sable et argiles dans le domaine géotechniques :	21
I.2.3. Les formes de sable de dune:.....	22
I.2.4. Types de sable de dune: [5]	23
I.2.4.1.Les avant-dunes (fore dune pour les anglophones) :	23
I.2.4.2.Les falaises dunaires (dune Cliff pour les anglophones) :	23
I.2.4.3.Les dunes perchées (Cliff-top dune pour les anglophones) :.....	23
I.2.4.4.Les cordons dunaires artificiels :	23
I.3. Les Argiles :	23
I.3.1. Définition:	23
I.3.2. Formation des argiles :.....	24
I.3.3. Les principe groupe d'argile :.....	24
I.3.4. Les minéraux argileux :	26
I.3.5. Structure des argiles :.....	27
I.3.6. Méthods d'investigation miniralogique :.....	27
I.4. Etudes antérieurs:.....	30
I.4.1. Azzouz F. Z et al (2016) :.....	30
I.4.2. Idriss Gouala, Mohamed Sayeh Gouala, Saïd Taibib et Nabil Abou-Bekra, (2012):	30
I.4.3. S. Kouloughli et al (2007):.....	31

I.4.4. Chenini Mohammed Zouhir et Bellahcen Taher, (2021):	31
Conclusions :	32

Chapitre II

Caractéristiques des Routes Sahariennes et Essais de Comportement Mécanique : Une Analyse Approfondie

II.1. Introduction :	34
II.2. Caractéristiques Des routes sahariennes :.....	34
II.2.1. Matériaux :.....	34
II.2.2. Relief :	34
II.2.3. Climat :	34
II.2.4. Hydrologie :.....	34
II.3. Caractéristiques Géométriques :.....	35
II.3.1. Vitesse de base :.....	35
II.3.2. Profil en travers :	36
II.4. Les différentes composantes de la chaussée :.....	36
II.5. Critères de Sélection	37
II.5.1. Une bonne Granulométrie :	37
II.5.2. Une bonne Aptitude au Compactage :.....	37
II.5.3. Une bonne Portance :.....	37
II.5.4. Une bonne Résistance à la Compression simple :.....	37
II.6. Essais de comportement mécanique	38
II.6.1. L'essai Proctor :	38
II.6.3. L'Essai de Résistance à la Compression Simple	41
Introduction :	44
II.1 Zone d'Etude :	44

CHAPITRE III

Programme Expérimentale Des Essais Physico–Chimiques Des Matériaux Utilisés.

III.3. Localisation des sites de prélèvement des matériaux :	45
III.2 Argile Oued Nechou :.....	47
III.3 Argile Bouhraoua :	47

III.2.1 Argile Metlili el Jadida :	48
III.4 Programme des essais :	48
III.4 Essais d'identification :	48
III.4.a.1 Analyse chimique :	49
III.4.A.1 : Analyse chimique du sable de dune étudié ()	49
III 4.a.2 Analyse granulométrique :	50
III.4.A.3 Limite d'Atterberg :	50
III.5 Equivalent de sable :	51
III.6 Identification et classification des argiles :	54
III.6.1 Analyse chimique :	54
III6.1 Analyse granulométrique :	54
III.7 Teneur en carbonate de calcium des argiles étudié :	59
III.8 Limite de liquidité WL :	60
III.9 La limite de plasticité WP :	60
III.10 L'indice de plasticité Ip :	61
III.11 Classification du sol étudié de Ghardaïa :	63
Conclusion	65

Chapitre IV

ÉTUDE OPTIMISATION

Introduction:	67
IV-2. Etude de l'influence de l'ajout d'argile au laboratoire :	67
IV.1. Essais mécaniques	68
II.4.1. Essais Proctor modifier (NF P94-093)	68
IV.2.1.1. Essai Proctor modifié :	68
IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile d' Oued Nechou (sable de 90% et argile de 10%) :	72
IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile d' Oued Nechou (sable de 80% et argile de 20%)	73
IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Bouhraoua (sable de 90% et argile de 10%) :	78

IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Bouhraoua (sable de 80% et argile de 20%)	79
IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Bouhraoua (sable de 70% et argile de 30%) :	80
IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Bouhraoua (sable de 50% et argile de 50%) :	82
IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Metlil eldjadida (sable de 90% et argile de 10%) :	85
IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Metlil eldjadida (sable de 80% et argile de 20%) :	87
IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Metlil eldjadida (sable de 70% et argile de 30%) :	87
IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Metlil eldjadida (sable de 60% et argile de 40%) :	88
IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Metlil eldjadida (sable de 50% et argile de 50%) :	89
Conclusion :	95

CHAPTER V

Application D'un Mélange Optimal Pour Les Essais Routiers

Introduction:	97
V.3. Résultats d'essais de limites d'Atterberg des trois mélanges optimaux étudiés	98
V.4. Résultats d'essais de bleu de méthylène des trois mélanges optimaux étudiés	99
V.5. Classification GTR des trois mélanges optimaux :	100
IV.5.4.2 Essai De Portance Californien (California Bearing Ratio) (C.B.R) (NF P 94-078) :	100
IV.5.4.2.1 CBR immédiat.....	101
Conclusion:.....	113
Conclusion générale	115
Recommandation.....	116

Sommaire De Figure

Figure I.1. Dune de sable [2]	20
Figure I.2. Schéma de la particule de montmorillonite [9]	24
Figure I.3. Schéma de la particule de kaolinite [11]	25
Figure I.4. Représentation schématique de la structure de l'illite [13].....	25
Figure I.5. Structure d'une couche tétraédrique, a) Tétraèdre SiO ₄ , b) Couche tétraédrique [15]	26
Figure I.6. Représentation de la couche octaédrique (Morel, 1989)[16]	26
Figure II.1. Représentation des différentes composantes de la chaussée.	36
Figure II.4. Mode opératoire de compression.....	41
Figure III.2.2 : Photo Google Earth de localisation de la carrière étudiée.	47
Figure III.2.3 : Photo Google Earth de localisation de la carrière étudiée.	47
Figure III.2.4 : Photo Google Earth de localisation de la carrière étudiée.	48
Figure III.4.A.2 : Analyse granulométrique.	50
Figure III.5.1 : courbe granulométrie de sable de dune. (<i>ARTICLE AZZOUZ F.Z 2015</i>).....	53
Figure III.6.2 : Courbe granulométrique des 3 argiles	55
Figure III.6.3 : Essai bleu de méthylène.....	59
Photo III.8 : Détermination de la limite de liquidité.	60
Photo III.9 : Détermination de la limite de liquidité.	60
Figure III.12 : Classification des sols fins selon GTR	62
Figure III.13 : Classification des sols fins selon GTR.	64
Photo.IV.1 : Un tamis d'ouverture égale à 2 mm est 5mm.	69
Photo.IV.2 : Préparation de mélange optimal d'échantillon	69
Photo.IV.3 : Appareil de Proctor modifié automatique au laboratoire LTPS	70
Figure VI.3 : Courbe proctor d'échantillon argile Bouhraoua, Oued Necho, Metlili et sable de dune	71
Figure VI.3 : Courbe proctor d'échantillon argile Bouhraoua, Oued Necho, Metlili et sable de dune	93
Figure V.01. Courbe granulométrique des trois mélanges.	97
Figure V.02 : Essai CBR imbibé après 04 heures sur une période de 04 jours.....	101

Sommaire De Tableau

Tableau résumé des Critères de Sélection.	38
Tableau III -3 : Programmes des Essais pour l'Identification des Matériaux Utilisés (AZZOUZ 2016)	49
Tableau III.5.1 : identification et classification de sable de dune. (AZZOUZ F.Z 2015)	52
Tableau III.5.2 : Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique du sable de dune. (AZZOUZ F.Z 2015).....	53
Tableau III.6.1 : Analyse chimique des argiles étudiées	54
Tableau III.6.2 : Analyse physico-chimique des argiles étudié	56
Tableau III.6.3.1 : Paramètres tirés de l'essai au bleu à la tâche.....	57
Tableau III.6.3.2 : Valeur de bleu de quelques sols.....	57
Tableau III.11 : La classification par CaCO ₃ de quelques sols cité par	59
Tableau III.10. : Récapitulation des résultats d'essais de limites d'Atterberg des argiles étudiés.....	60
Tableau III.12 : Classification GTR (SETRA-LCPC 1980).....	62
Tableau IV.01. Récapitulation des résultats d'essais de limites d'Atterberg des mélanges optimaux étudiés.....	98
Tableau V.02. Les volumes du bleu des mélanges optimaux	100
Tableau V.03. Résultats des essais Proctor modifié pour le mélange sable de dune / argile d'Oued Nechou (avec 7 0% de sable et 30% d'argile) obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous :	101
Tableau V.04. Résultats de l'Essai CBR (Immédiat) pour le mélange de d' OUED NECHOU :	103
Tableau V.05. Résultats de l'Essai CBR (Imbibé) pour le mélange de d' OUED NECHOU :	104
Tableau V.06 : Résultats des essais Proctor modifié pour le mélange sable de dune / argile Metlili eldjadida (avec 7 0% de sable et 30% d'argile) obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous :	106
Tableau V.07 :Résultats de l'Essai CBR (Immédiat) pour le mélange sable de dune / argile eldjadida.....	106
Tableau V.08 :Résultats de l'Essai CBR (Imbibé) pour le mélange sable de dune / argile metlili eldjadida.....	107

Tableau V.09 :Résultats des essais Proctor modifié pour le mélange sable de dune / argile Bouhraoua (avec 7 0% de sable et 30% d'argile) obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous :.....	109
Tableau V.10 :Résultats de l'Essai CBR (Immédiat) pour le mélange sable de dune / argile Bouhraoua	110
Tableau V.11 :Résultats de l'Essai CBR (Imbibé) pour le mélange sable de dune / argile Bouhraoua	110
Tableau V.12 :Le tableau des valeurs des résistances à la compression pour les trois mélanges optimaux :	111

ملخص الدراسة

Résumé :

L'amélioration des propriétés mécaniques par l'ajout de sable de dune revêt une importance croissante en raison de son utilisation diversifiée dans plusieurs domaines. Cette étude se focalise sur l'optimisation des propriétés physiques et mécaniques des mélanges argile/sable de dune, évalués à travers les essais Proctor normal/modifié pour déterminer le mélange optimal. De plus, les tests CBR immédiat et imbibe de quatre heures, ainsi que la compression simple, sont réalisés pour les trois mélanges (Oued Nechou, Metlili et Bouhraoua).

Mots clé : Sable de dune , Argile, Proctor modifier, CBR, mélange optimal.

Abstract

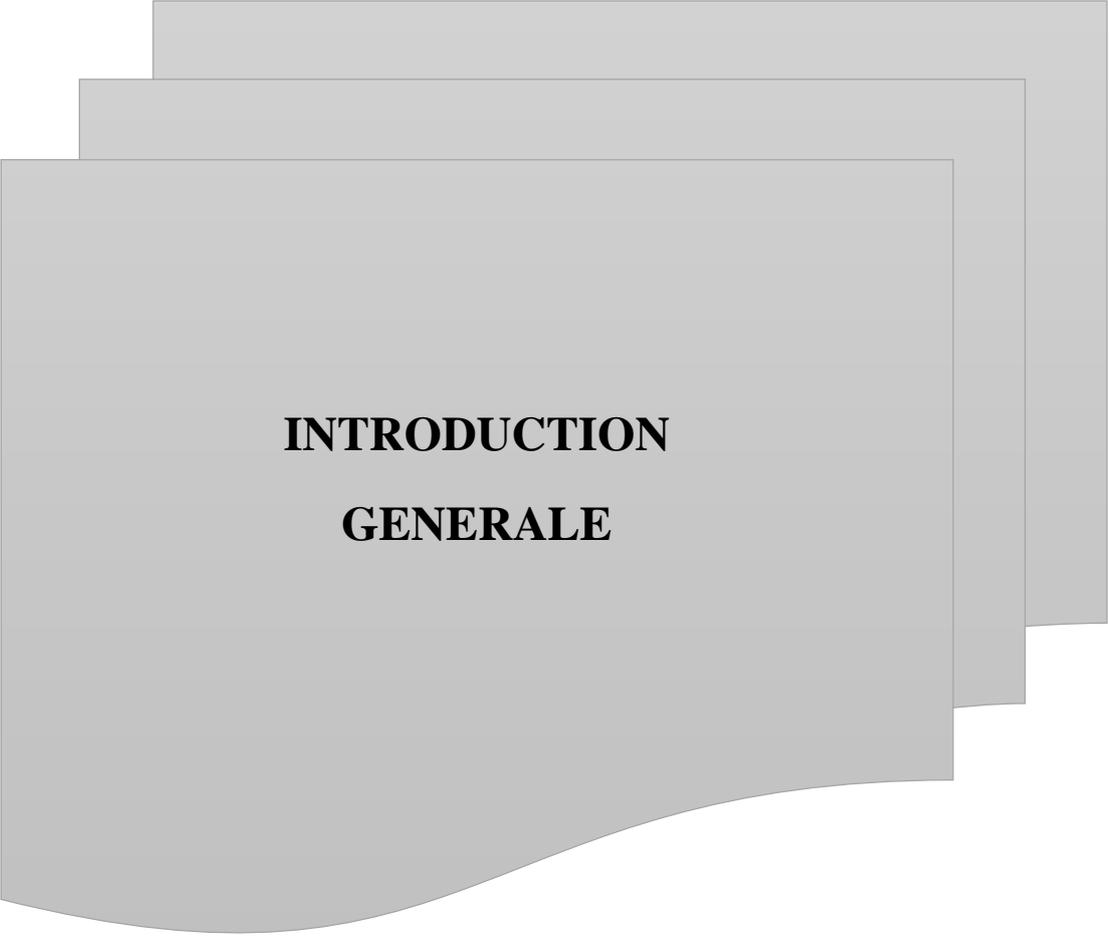
The improvement of mechanical properties through the addition of dune sand has become increasingly important due to its diversified use in various fields. This study focuses on optimizing the physical and mechanical properties of clay/dune sand mixtures, assessed through Proctor normal/modified tests to determine the optimal blend. Additionally, immediate and four-hour soaked CBR tests, along with simple compression tests, are conducted for the three mixtures (Oued Nechou, Metlili, and Bouhraoua).

Key words: Sand, Clay, Proctor modify, CBR, optimal mixture.

الملخص

تزداد أهمية تحسين الخصائص الميكانيكية عن طريق إضافة رمل الكثبان بسبب استخدامه المتنوع في مجالات عدة تركز هذه الدراسة على تحسين الخصائص الفيزيائية والميكانيكية لمزج الطين رمل الكثبان، وذلك من خلال اختبارات بروكتور العادي / المعدل لتحديد التركيبة الأمثل. بالإضافة إلى ذلك، يتم إجراء اختبارات CBR الفوري والمشرب لمدة أربع ساعات بالإضافة إلى اختبار الضغط البسيط للثلاثة مزج (وادي النشو وميتليلي وبوهرأوة)

الكلمات المفتاحية: الكثبان الرملية ، الطين ، تعديل بروكتور ، CBR ، الخليط الأمثل.



INTRODUCTION
GENERALE

Introduction générale

Dans la plupart des nations, le réseau routier représente le patrimoine essentiellement détenu par l'État. Chaque jour, des kilomètres de nouvelles rues, routes, autoroutes et pistes d'aéroports sont construits pour stimuler les échanges et dynamiser les régions. Les administrations routières sont chargées de maintenir, exploiter, améliorer, remplacer et préserver ce patrimoine, tout en gérant judicieusement les ressources financières et humaines nécessaires pour atteindre ces objectifs. Les ingénieurs routiers sont confrontés à divers problèmes dans la conception des routes, et l'un des plus éminents est la rareté de matériaux de construction routière naturels appropriés. Cette situation nécessite soit la mise à niveau des matériaux locaux, soit l'importation de matériaux adaptés au site, entraînant une augmentation des coûts de construction.

La construction routière en milieu désertique est devenue une nécessité urgente, notamment dans les régions désertiques qui ont toujours été parmi les plus défavorisées en raison de leurs conditions climatiques difficiles et du manque de ressources naturelles en surface. Ces régions ont été historiquement limitées dans les projets de construction et d'infrastructure en raison de la faible présence humaine. Cependant, avec une meilleure exploration de ces régions, des investissements émergent, notamment dans le Sahara maghrébin, donnant lieu à diverses activités telles que la prospection et l'exploitation du sous-sol, le tourisme saharien, l'alimentation, et le développement de nouveaux marchés.

Certaines parties du monde, en particulier les régions sahariennes, font face à des problèmes de pénurie de matières premières pour la construction de routes, nécessitant des déplacements sur de longues distances, ce qui impacte négativement le coût des projets. Pour remédier à cela, les décideurs et les spécialistes recherchent des alternatives efficaces et économiques. Le sable de dune, en raison de son abondance, émerge comme l'une des alternatives les plus prometteuses. L'objectif de cette étude est de mener une recherche bibliographique sur l'utilisation du sable de dunes en génie routier afin de fournir une base documentaire aux travaux expérimentaux futurs, permettant une exploitation efficace du sable de dune dans la construction routière pour obtenir de bonnes performances mécaniques et une durabilité optimale.

Pour faciliter la compréhension de cette étude, elle est divisée en cinq chapitres. Le premier chapitre présente les dunes de sable et la boue en général, en mettant en avant leurs caractéristiques et types les plus importants, en intégrant également des études antérieures. Le deuxième chapitre explore les méthodes et leurs types, en mentionnant les expériences prévues sur les matériaux. Le troisième chapitre aborde l'identification de la zone d'étude avec une expérience approfondie et les outils utilisés dans chaque expérience, tels que le Proctor, le CBR, la compression, etc. Le quatrième chapitre se concentre sur l'expérience du Proctor modifié, permettant d'obtenir le mélange optimal. Enfin, le cinquième et dernier chapitre conclut les expériences sur le mélange amélioré en présentant les résultats les plus significatifs.

CHAPITRE I :
**"Caractérisation et Optimisation des
Propriétés des Matériaux Granulaires :
Une Approche Complète sur le Sable de
Dune, les Argiles et les Mélanges
Optimaux"**

Chapitre I Caractérisation et Optimisation des Propriétés des Matériaux

I.1 Introduction :

Dans ce premier chapitre de notre étude, nous procéderons à une présentation générale des caractéristiques du sable de dune et des argiles. Nous aborderons ensuite l'utilisation des mélanges optimaux de ces deux matériaux dans le domaine géotechnique. L'intérêt de l'utilisation de ces mélanges est examiné sous deux aspects : technique et économique, comme relevé par divers chercheurs dans leurs travaux.

I.2. Les sables 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) , 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 ce lieux. [1]



Figure I.1. Dune de sable [2]

I.2.1. Utilisation du sable de dunes dans le domaine génie civil : [3]

- **Pour 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 donné le courage de commencer une nouvelle investigation qui a étudié la possibilité d'utiliser le sable de dunes comme un constituant principal dans les

Chapitre I Caractérisation et Optimisation des Propriétés des Matériaux

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.

- **Pour 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.

- **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.

I.2.2. D'utilisation du mélange sable et argiles dans le domaine géotechniques :

Le mélange sable-argile sont utilisées surtout pour l'enfouissement des déchets, Kouloughli (2007) a résumé les considérations de base pour la sélection de la bentonite et les méthodes de design de ces barrières par la granulométrie du sol de base, la quantité et la minéralogie de la bentonite.

Alberta Environnement (1985) recommande l'utilisation de bentonites à forte teneur en montmorillonite ayant principalement du sodium comme cations échangeables. D'après ce document, les bentonites avec du calcium auraient un potentiel de gonflement plus faible et nécessiteraient des pourcentages de bentonite plus élevés pour atteindre les mêmes objectifs de conductivité hydraulique. Le sable doit aussi posséder des caractéristiques granulométriques telles que la stabilité hydraulique du mélange sera assurée et que la bentonite demeurera à l'intérieur du squelette formé par le sable.

Les données de Marcotte et al. (1993) recueillies dans le cadre de l'étude géotechnique réalisée pour les étangs de Trois-Rivières, montrent que le risque de les sivages augmente

Chapitre I Caractérisation et Optimisation des Propriétés des Matériaux

lorsque les pourcentages de particules fines et de bentonite sont faibles. On peut y remédier en augmentant le pourcentage de particules fines. Bien sûr, les conditions conduisant à un les sivages varient avec le sol étudié, la nature de la bentonite utilisée et peut-être les caractéristiques d'essais. On doit donc vérifier que le mélange sable-bentonite est stable, en réalisant des essais de perméabilité sous des gradients hydrauliques au moins aussi élevés que dans les conditions de terrain, sans papier-filtre qui pourrait arrêter la bentonite, et en suivant l'évolution dans le temps de la conductivité hydraulique et de l'apparence de l'eau percolée (Laine et Miklas, 2002). Pour de faibles pourcentages de bentonite,

Le comportement mécanique est contrôlé par le sol pulvérulent. Si par contre le pourcentage en bentonite devenait excessif, les particules de sable ne seraient plus en contact les unes avec les autres et le comportement mécanique serait alors contrôlé par la bentonite et son faible angle de frottement. En ce sens, trop de sécurité sur le pourcentage de bentonite pour atteindre une performance hydraulique peut conduire à un problème de stabilité mécanique des mélanges sur les talus.

Les résultats Aïd Nouri. (2009), sur les Comportement mécanique d'un sable renforcé par des nappes de polyéthylène, réaliser sur les essais de compactage, les essais de cisaillement direct ainsi que des essais de conductivité hydraulique de ces mélanges sont présentés. L'étude a montré qu'un mélange sable- bentonite à 10% assure une imperméabilisation adéquate des centres d'enfouissement technique.

L'étude de Gueddouda k 2011, recueillies dans le cadre de l'étude géotechnique réalisée pour La caractérisation complète du mélange (de sable de dune/ bentonite) adopté, les paramètres physiques, hydriques et mécaniques qui en découlent montrent qu'il s'agit d'un matériau qui répond aux exigences des dispositions réglementaires pour une utilisation dans les ISD. Ils devraient aussi naturellement déboucher sur une modélisation aux limites de la barrière ouvragée pour valider les performances de ces matériaux locaux dans les applications environnementales envisagées.[2]

I.2.3. Les formes de sable de dune:

IL existe trois formes:

- ✓ La forme la plus commune sur la Terre (et sur Mars) des dunes est celle en demi-lune, aussi appelée transversale ou barkhane en forme de croissant. Les collines en demi-lune sont, généralement, plus larges que courtes Elle naît là où l'apport de sable est faible et sous des vents unidirectionnels.
- ✓ La dune parabolique est en forme de U. Elles sont typiques des déserts côtiers. La plus longue dune en parabole connue mesure 12 kilomètres. Ce type de dune se forme quand, aux extrémités d'une formation sableuse, commence à apparaître de la végétation qui en arrête la progression, tandis que la partie centrale continue à avancer. Elles se forment quand le vent ne souffle que dans une seule direction dominante.
- ✓ Les siouf ou SIF, dunes en forme de sabre, sont des ondulations longitudinales s'amincissant vers une extrémité [4].

I.2.4. Types de sable de dune: [5]

I.2.4.1. Les avant-dunes (fore dune pour les anglophones) :

Qui sont des bourrelets plus ou moins fixés par la végétation (oyats par exemples), parallèles au trait de côte et solidaire de la plage, c'est à dire échangeant du sable avec elle, dans un même système sédimentaire. À ne pas confondre avec une ancienne arrière dune en cours d'érosion, ou avec une dune formée par du sable venant de terre sur un secteur ou un avant-dune active ne pourrait pas se former. En Espagne et en Tunisie, ces avant-dunes sont systématiquement considérées comme faisant partie du domaine public maritime, ce qui facilite leur protection. L'avant dune se forme à partir de fixation du sable en haut de plage, par des plantes pionnières spasmophiles.

I.2.4.2. Les falaises dunaires (dune Cliff pour les anglophones) :

N'est pas une vraie dune mais un profil résultant de l'érosion marine d'une dune ancienne fixée par une pelouse ou un boisement qui ont été à l'origine de la formation d'une couche d'humus ou de sol sableux.

I.2.4.3. Les dunes perchées (Cliff-top dune pour les anglophones) :

Qui apparaissent au sommet d'une falaise vive ; alimentée en sable par le vent à partir de l'estran, voire à partir du profil de pente, quand il s'agit d'une falaise Dunaire.

I.2.4.4. Les cordons dunaires artificiels :

Qui sont construits de main d'homme, généralement comme élément de protection contre la mer ou d'une zone cultivée et/ou construite. Ils Nécessitent un entretien permanent, sans lequel ils se désintègrent en quelques décennies. Certains cordons sont semi-naturels (ex : avant-dunes plus ou moins dégradés rectifiées par des engins et fixées par des oyats à Sangatte dans le nord de la France).

I.3. Les Argiles :

I.3.1. Définition:

Les argiles sont des sols très sensibles à l'eau. Elles sont à l'origine de nombreux désordres dans les constructions. Elles peuvent être classées en deux grandes catégories:

- A. argiles plastiques : indurés et très déformables.
- B. argiles raides : indurées et présentent un comportement plus fragile que de la limite d'élasticité.

L'argile brute contient généralement des particules élémentaires dont le diamètre du grain est inférieur à 2 micromètres qui représentent les individus cristallins (phase minérale pure) appelés minéraux argileux responsables de ses propriétés telles que le gonflement, la plasticité et les propriétés d'adsorption. Mais dans les sols, ces particules élémentaires sont

Chapitre I Caractérisation et Optimisation des Propriétés des Matériaux

généralement liées par des ciments de nature très diverse (carbonates, composés organiques, composés minéraux amorphes ou oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium, feldspaths de quartz) au sein d'agrégats de taille beaucoup plus importante [6].

I.3.2. Formation des argiles :

Les sols argileux se forment par un processus lent d'altération sous l'action du climat, suivi de phénomènes d'érosion, de transport et de sédimentation. 90 % des minéraux argileux sont d'origine détritique. L'altération peut être physique (désagrégation des minéraux primaires) ou chimique (par transformation des minéraux). Certains minéraux argileux précipitent à partir d'une solution (minéraux néoformés)[7]

I.3.3. Les principe groupe d'argile :

a. structures de la montmorillonite:

La montmorillonite, appelée aussi smectite, est un minéral argileux de type 2:1 dont le feuillet élémentaire est composé d'une couche d'alumine comprise entre deux couches de silice. Une substitution partielle de l'aluminium Al par le magnésium Mg est fréquente. À l'instar de la kaolinite, les couches peuvent se prolonger indéfiniment dans les deux autres directions. Les forces de Van der Waals, dues principalement au moment électrique qui règne entre les feuillets et qui soudent les sommets de feuillets de silice, sont faibles par rapport aux autres forces de liaison. Cela se traduit par une déficience en charge négative nette dans les feuillets en octaèdre.

Pour cette raison les ions échangeables peuvent pénétrer dans la structure et séparer les couches.

La montmorillonite est donc caractérisée par une structure instable qui est affectée par la présence d'eau. Les plaquettes de montmorillonite ont une forme quelconque est de taille très petite, un diamètre moyen entre 0,1 μm et 1 μm et une épaisseur moyenne entre 0,001 μm et 0,01 μm . La montmorillonite possède une surface spécifique totale entre 700 et 840 m^2/g et un espace inter-feuillets de 9,6 \AA [8].

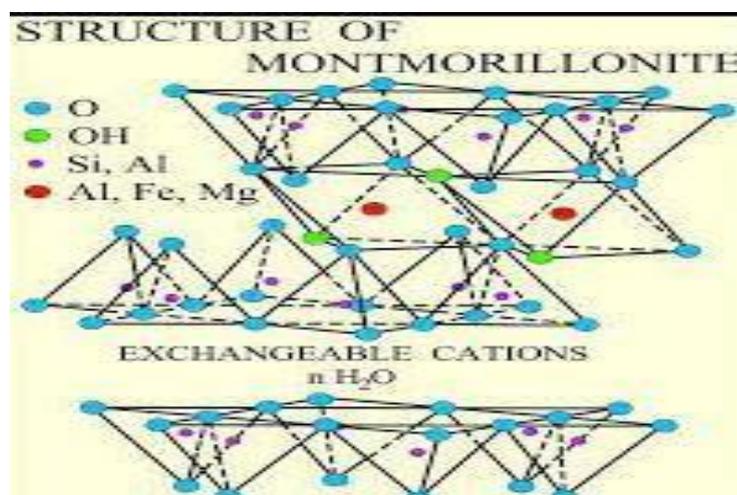


Figure I.2. Schéma de la particule de montmorillonite [9]

Chapitre I Caractérisation et Optimisation des Propriétés des Matériaux

b. Structures de la kaolinite :

La kaolinite ($\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_2 \cdot \text{Al}_2(\text{OH})_4$) Le feuillet élémentaire est composé d'une couche de silice et d'une couche d'alumine. Entre différents feuillets de kaolinite, le contact se fait entre un plan contenant les ions hydroxyles - OH de l'octaèdre, et celui contenant les ions d'oxygène 2- O du tétraèdre ; dans ce cas, les liaisons inter foliaires résultent de l'effet composé de liaisons hydrogène et de forces de Van der Waals ; ce qui se traduit par un lien assez fort. Ainsi une particule de kaolinite sera constituée, par exemple, de quelques centaines de feuillets et pourra avoir une épaisseur de quelques dizaines de micromètres. Ces particules sont stables et leur structure élémentaire n'est pas affectée par la présence d'eau [10].

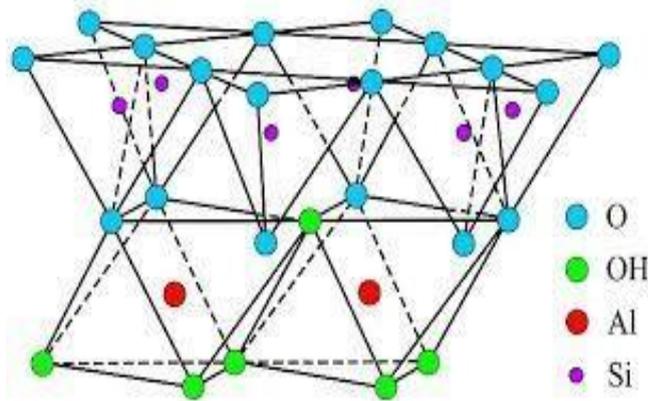


Figure I.3. Schéma de la particule de kaolinite [11]

c. Structure d'illite :

Le feuillet élémentaire est composé d'une couche d'alumine entre deux couches de silice (figure I.4). Dans les couches de silice, un ion Si^{4+} sur quatre est remplacé par un ion Al^{3+} . Le déficit de charge qui en résulte est compensé par les ions K^+ qui assurent des liaisons assez fortes entre les feuillets. On peut aussi rencontrer dans le feuillet de silice certaines substitutions isomorphes partielles de Al^{3+} par Mg^{2+} et Fe^{2+} ainsi que de silicium par l'aluminium. Les particules d'illite sont plates de forme moins régulière que celle des particules de kaolinite. Elles ont diamètre moyen variant entre 0,1 μm et 3 μm et une épaisseur de l'ordre de 0,01 μm à 0,3 μm . L'illite a une surface spécifique totale de l'ordre de 65 à 100 m^2/g [12].

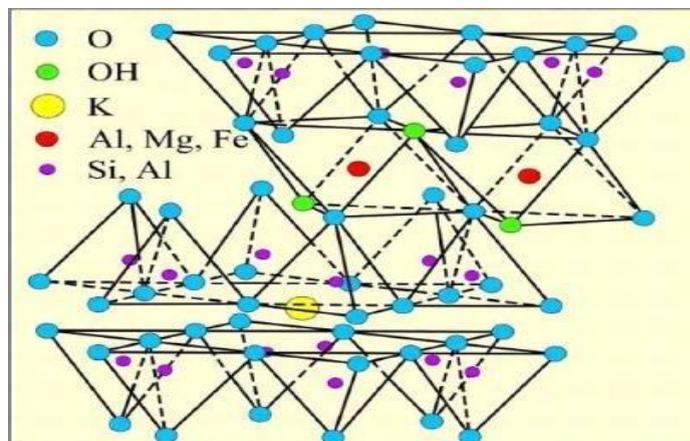


Figure I.4. Représentation schématique de la structure de l'illite [13]

I.3.4. Les minéraux argileux :

En minéralogie, le terme argile désigne un groupe de minéraux appartenant à la famille des aluminosilicates plus au moins hydratés, de taille généralement inférieure à $2\ \mu\text{m}$ et avec une texture phylliteuse ou fibreuse. Ce sont des phyllosilicates. Comme leur nom l'indique les phyllosilicates (du grec phyllos qui veut dire feuillet) sont formés de particules dont les unités de base sont des feuillets bidimensionnels, d'où l'appellation de silicates lamellaires. Chaque feuillet ou lamelle est composé de deux, trois, ou quatre couches associées (Caillere et Hénin,

1959). On distingue deux types de couches : La couche tétraédrique (T) qui résulte de la soudure des uns aux autres, par trois de leurs sommets, de tétraèdres d'oxygène. Les tétraèdres, dont les bases sont coplanaires, pointent dans une même direction et sont disposés suivant un réseau plan à maille hexagonale. Les quatre anions O^{2-} , aux sommets de chaque tétraèdre, enserrent au centre du tétraèdre un cation Si^{4+} (Figure I.4). Ce cation peut être substitué par un cation Al^{3+} , Fe^{3+} et Fe^{2+} .

Dans le cas où le cation de là La couche octaédrique (O) est formée par deux plans d'anions oxygène O^{2-} ou d'anions hydroxyle $(\text{OH})^-$, disposés en assemblage hexagonal compact. Les six anions O^{2-} ou $(\text{OH})^-$, aux sommets de chaque octaèdre, enserrent au centre de l'octaèdre, pour les sites non vacants, un cation tel que Al^{3+} , Fe^{3+} , Mg^{2+} ou Fe^{2+} . [14].

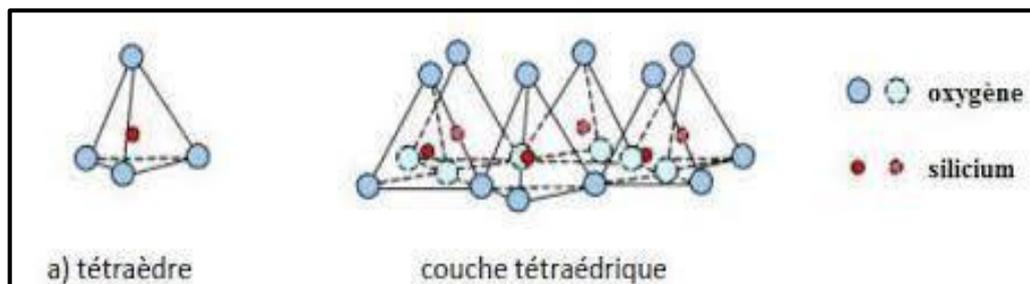


Figure I.5. Structure d'une couche tétraédrique, a) Tétraèdre SiO_4 , b) Couche tétraédrique [15]

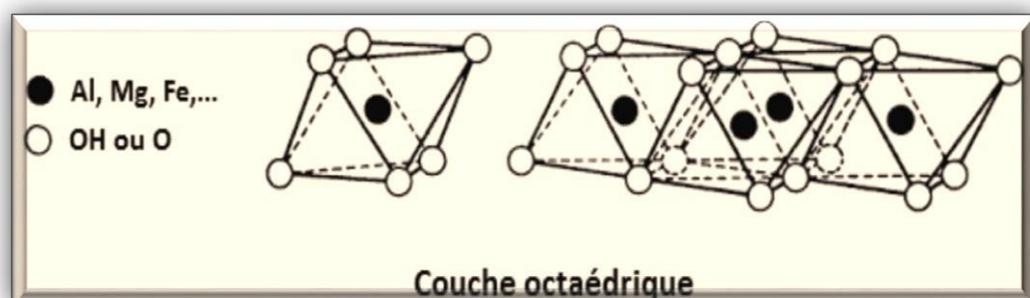


Figure I.6. Représentation de la couche octaédrique (Morel, 1989)[16]

I.3.5. Structure des argiles :

Les minéraux argileux appartiennent à la famille des phyllo silicates. Leur structure est un empilement de couches tétraédriques et octaédriques qui forme les feuillets. Les tétraèdres sont liés les uns aux autres par des atomes d'oxygène. Ils forment ainsi un réseau planaire d'hexagones d'atomes d'oxygène. Les octaèdres sont liés par un côté. L'agencement des couches permet de distinguer trois principaux types de minéraux :

- Type 1 :1 ou T –O (1 couche octaédrique et 1 couche tétraédrique) équidistance voisine de 7 Å
- Type 2 :1 ou T -O- T (1 couche octaédrique entre 2 couches tétraédriques) équidistance variable entre 9 et 15 Å, suivant le remplissage ou non de l'espace inter foliaire ;
- Type 2 :1 :1 ou T –O-T –O est similaire au type précédent mais l'espace inter foliaire est occupé par une couche d'octaèdres. L'équidistance caractéristique est alors de 14 Å environ.

Chimiquement, les tétraèdres sont constitués de quatre oxygènes (trois planaires et un apical) encadrant généralement un atome de Si^{4+} ou Al^{3+} , et plus occasionnellement Fe^{3+} et Cr^{3+} . Idéalement, une demi-maille élémentaire est définie par trois octaèdres. Quoiqu'il en soit, l'électro neutralité de la maille est réalisée avec 6 charges positives obtenues par le remplissage cationique de deux ou trois cavités octaédriques. On peut ainsi distinguer deux grands groupes parmi les familles de minéraux argileux : les minéraux d'octaédriques (deux cavités sur trois sont remplies par des cations trivalents) et le minéral tri octaédriques (les trois cavités sont remplies par des cations divalents). Les différentes substitutions possibles dans le tétraèdre ou dans l'octaèdre créent un déficit de charge cationique dans la structure. Ce déficit, s'il existe, est compensé au plus près par la charge du remplissage inter foliaire, soit par des cations (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+), soit par une couche octaédrique (cas des chlorites), qui agit également sur la distance entre les feuillets [17].

I.3.6. Méthodes d'investigation minéralogique :

Notre but de cette analyse minérale est de déterminer les minéraux présents dans le sol. Afin d'identifier ces minéraux nécessite l'utilisation d'un ensemble de moyens empiriques, dont chacun permet la détermination de cette information spécifique pour les minéraux.

a. Analyse par diffraction aux rayons x:

La diffractométrie de rayons X est une méthode d'analyse structurale. Parmi les différentes méthodes cristallographiques possible (Laue, cristal tournant, debye et Scherrer), la dernière, souvent appelée méthode des poudres, est particulièrement favorable à l'étude des minéraux argileux pour lesquels il n'est pas possible de disposer de cristaux de grande taille. En effet, en faisant arriver un rayonnement monochromatique sur une multitude de grains ou toutes les orientations se trouvent statistiquement réalisées, il y a toujours une famille de plan réticulaires (plans parallèles) qui satisfait à la condition de Bragg et qui peut conduire à des réflexions décelable.

Chapitre I Caractérisation et Optimisation des Propriétés des Matériaux

L'usage du diffractomètre s'est maintenant généralisé pour les opérations de détermination des minéraux argileux. Dans les cas simple, il suffit en effet d'une rotation du goniomètre d'une dizaine de degrés pour obtenir la première réflexion basale des principaux minéraux argileux. L'utilisation du rayon X en minéralogie est avant tout basée sur les phénomènes de diffusion cohérente des rayons X par les couches électronique des atomes, sans qu'il y ait de changement de longueur d'onde : c'est ce que l'on appelle le phénomène de diffraction des rayons, et la loi de Bragg en définit les conditions:

$$n \lambda = 2d \sin\theta$$

λ : longueur d'onde de la source

d : espacement entre deux plans parallèles du cristal

θ : angle entre le faisceau incident et le réseau de plan [18].

b. Microscope électronique à balayage (M.E.B) :

La microscopie photonique allie l'étude de la morphologie des cristaux aux mesures de leurs caractères optique (indice de réfraction, biréfringence, signe d'allongement, angle d'axes). Grâce à son pouvoir sépateur extrêmes élevé ($10A^\circ$), la microscopie électronique en transmission donne accès à l'étude de plus petites cristallites, et la micro diffraction associée permet dans les cas favorables de les identifier. En revanche, le champ observable est très petit (quelques microns), d'où une difficulté d'interprétation des images.

Si la pouvoir sépateur de la microscopie à balayage est plus faible ($150 A^\circ$), que celui de la microscopie en transmission, la profondeur de champ et l'étendue de la gamune des grossissement autorisent l'examen de la texture d'échantillons plus importants (quelques centimètres carrés), tandis que l'analyse du rayonnement X émis par le matériau sous l'impact du faisceau d'électrons peut conduire à une cartographie de la composition chimique élémentaire avec une résolution spatiale voisine du micron [19].

c. Analyse Thermique:

Les analyses thermiques permettent d'exprimer l'évolution d'une propriété du matériau analysé en fonction de la température à laquelle il est soumis [20].

Cette méthode peut la rendre intéressante et dans certains cas complémentaire d'autres techniques de détermination de la composition minérale des sols. Elle peut être classée en deux groupes:

1. **L'analyse thermique différentielle (ATD)** qui donne des renseignements qualitatifs et parfois quantitatifs, avec des appareils appropriés.
2. **L'analyse thermogravimétrie (ATG) et l'analyse pondérale (ATP)** des gaz qui fournissent des Données quantitatives. Le principe de ces méthodes consiste à effectuer la mesure de la différence de la température ΔT qui se produit entre la substance à étudier et un matériau inerte servant de témoin.

Chapitre I Caractérisation et Optimisation des Propriétés des Matériaux

d. Analyse chimique :

- Spectrométrie d'émission atomique (SEA):[21]

Après séchage et broyage, l'échantillon est tamisé pour retirer tout "corps" étranger et ne retenir que la fraction fine. 0.1gr de cette poudre est fondue à 1000°C avec du méta borate de lithium (flux). Ensuite, ce mélange est dissous dans du HNO₃ dilué. L'échantillon est alors volatilisé dans un arc électrique à une température de 6000°C. Cette énergie thermique excite les électrons des atomes qui, revenus à leur état originel, libèrent l'excès d'énergie accumulé lors de l'"excitation". Elle est émise avec une longueur d'onde propre à chaque élément et est dispersée par un système de fentes. L'intensité de chaque longueur d'onde est donc mesurée et comparée à des solutions standard ; les éléments sont alors identifiés et quantifiés.

- Spectrométrie d'absorption atomique (SAA):

Dans cette technique, les éléments sont identifiés par leur capacité d'absorber de l'énergie lumineuse plutôt que d'en émettre. La préparation de l'échantillon est la même que celle employée pour la SEA. Après préparation, l'échantillon est volatilisé dans une flamme d'air acétylène de +/- 1000°C. Chaque élément atomisé absorbe des longueurs d'onde de lumière émise de chaque élément à analyser par une lampe à cathode creuse (en effet, une lampe de l'élément X émet un intervalle restreint de longueurs d'onde propre à cet élément X). La quantité" de lumière absorbée par l'échantillon est mesurée et comparée à des courbes" standard de concentration connues, pour déterminer la concentration des éléments présents.

Un désavantage de cette méthode est que la quantification ne porte jamais que sur seulélément par analyse.

- Spectroscopie par fluorescence des rayons X (FRX):

La fluorescence-X est l'une des méthodes les plus utilisées pour déterminer la composition chimique des éléments. Elle permet de réaliser les analyses des constituants majeurs et de nombreux éléments en traces en un temps très court. La méthode est fiable et reproductible.

Après séchage et broyage, 1.25 gr de l'échantillon est mélangé à 6.25 gr de flux et à 0.030gr de Libre. Le mélange est ensuite fondu et trempé. Des rayons-X primaires sont envoyés sur l'échantillon et excitent les électrons. Leurs transitions s'accompagnent d'émission d'énergie: rayons-X secondaires ou rayons-X fluorescents. Chaque élément produit des rayons-X d'une longueur d'onde particulière, et l'intensité des rayons-X secondaires est proportionnelle à la concentration de l'élément. Les rayons-X secondaires sont dispersés et détectés par un cristal analyseur positionné selon un angle déterminé par l'équation de Bragg pour capter les rayons - X secondaires à analyser. Notons par ailleurs que seule une mince épaisseur de l'échantillon est analysée (20-200µm).

- Analyse par activation neutronique

Après séchage et broyage, l'échantillon est pressé dans une pastille et placé dans un réacteur nucléaire muni de fonctions de recherche avec des standards de calibration. Sous des conditions bien strictes, les l'atome sont bombardés par des neutrons. Les éléments

Chapitre I Caractérisation et Optimisation des Propriétés des Matériaux

de l'échantillon deviennent des isotopes instables et radioactifs ce qui anéantit les conditions de stabilité. Des radiations sont émises avec un rapport et une intensité typique pour chaque élément, et caractérisées par leur demi-vie. Par la détermination des niveaux d'énergie des rayonnements gamma émis, les éléments sont détectés individuellement. Via le calcul des intensités des rayonnements, c'est-à-dire du nombre de photons, on peut déterminer la concentration de chaque élément.

I.4. Etudes antérieurs:

I.4.1. Azzouz F. Z et al (2016) :

Cette étude vise la caractérisation physique et mécanique des mélanges sable de dune et argile utilisés dans la construction des couches compactées en régions arides d'Algérie. L'objectif est de valoriser les matériaux locaux pour des couches routières économiques et efficaces. Les essais de compactage montrent une augmentation de la densité sèche maximale avec la quantité de sable ajoutée, mais la teneur optimale diminue. Aucun mélange optimal n'est trouvé en raison de l'augmentation continue de la densité avec le sable. Les résultats des essais de Proctor montrent l'effet de l'ajout de l'argile sur la densité sèche maximale des mélanges. Étude se base sur les paramètres de Proctor pour les mélanges sable de dune et argile avec différentes proportions de l'argile (10%, 20, 30%, 40%, 50%).

Les conclusions indiquent un mélange optimal de 70% de sable et 30% d'argile pour trois mélanges optimaux dans la région de Ghardaïa (Azzouz F. Z et al ,2016)

I.4.2. Idriss Gouala, Mohamed Sayeh Gouala, Saïd Taibib et Nabil Abou-Bekra, (2012):

"Amélioration des propriétés d'un tuf naturel utilisé en technique routière saharienne par ajout d'un sable calcaire."

L'objectif de l'article est de montrer la possibilité d'amélioration des caractéristiques mécaniques d'un tuf par une technique de stabilisation économique à l'aide d'un déchet de carrière (sable de calcaire). Les essais de compactage et de portance du mélange tuf-sable calcaire ont montré que la teneur en eau diminue et la densité maximale augmente avec l'ajout du sable calcaire. En revanche, les indices de portance ont montré l'existence d'une formulation optimale tuf-sable calcaire, correspondant à un ajout d'un pourcentage de sable calcaire de 30% et 40%, respectivement pour les indices immédiats et après 4 jours d'imbibition. Au-delà de ces pourcentages, les indices de portance baissent tout en gardant des valeurs supérieures ou égales à celles du tuf seul. Par ailleurs, les essais de résistance à la compression simple ont montré que la résistance optimale est obtenue avec un ajout de 20% de sable calcaire. Cette résistance a été retenue pour évaluer la cohésion, élément incontournable dans les critères de choix des matériaux utilisés en technique routière saharienne. Cette cohésion disparaît quasi totalement après saturation du matériau. Cette formulation composée de 80% tuf et de 20% sable calcaire est retenue comme mélange optimal noté TSCopt. Le point faible de cette formulation réside dans l'effondrement de sa résistance après immersion. Pour compenser ce défaut, un traitement

Chapitre I Caractérisation et Optimisation des Propriétés des Matériaux

avec un faible pourcentage de liant hydraulique s'est avéré nécessaire. Ce traitement au ciment a montré une amélioration notable (plus du double) des performances mécaniques du mélange optimisé TSCopt, malgré l'observation d'une diminution de la densité OPM immédiatement après traitement. La démarche expérimentale proposée et les résultats obtenus mettent en évidence la possibilité de valorisation des matériaux locaux à base de tuf et de déchets de carrière (sable calcaire) pour la conception de corps de chaussées dans les zones arides sahariennes. Les essais triaxiaux permettront dans un proche avenir de caler des lois de comportement en vue d'une modélisation aux limites d'un corps de chaussée conçu avec ce matériau.

I.4.3. S. Kouloughli et al (2007):

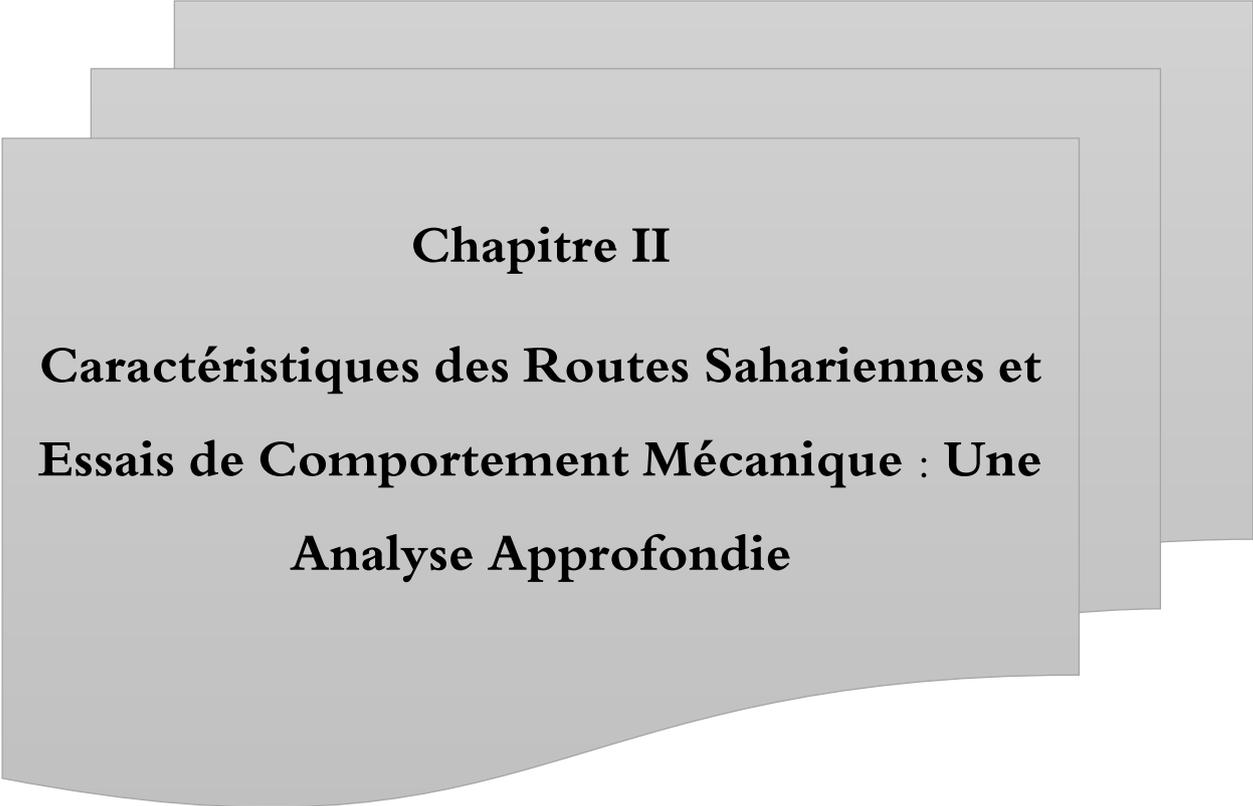
Cette étude expérimentale examine les mélanges sable-bentonite utilisés dans la construction de barrières de confinement de déchets solides. Les résultats montrent que la conductivité hydraulique varie avec la teneur en bentonite, diminuant avec l'augmentation du gonflement. Les densités sèches maximales augmentent avec la teneur en bentonite, tandis que l'angle de frottement interne diminue de manière significative. L'utilisation de plus de 10% de bentonite provoque une diminution de la résistance au cisaillement et un gonflement accru des mélanges.

I.4.4. Chenini Mohammed Zouhir et Bellahcen Taher, (2021):

Cette étude explore le comportement mécanique d'un mélange de sable de dune et d'argile renforcé par géotextile. Les résultats révèlent l'évolution des paramètres mécaniques de cisaillement et d'œdomètre pour différents mélanges optimaux de la région de Ghardaïa. L'incorporation de géotextile améliore les paramètres de cisaillement, transformant ainsi le comportement fragile du sable en un comportement plus ductile. De plus, des améliorations similaires sont observées pour les résultats des paramètres d'œdomètre.

Conclusions :

Ce chapitre nous a permis d'acquérir une compréhension approfondie des propriétés des dunes de sable, de leurs applications dans le domaine du génie civil, ainsi que de la composition microscopique et macroscopique des argiles, y compris leur composition minérale. L'argile et le sable sont des matériaux universellement présents, notamment dans la région de Ghardaïa (Algérie), et ils jouent un rôle essentiel dans divers domaines de l'activité humaine, en particulier en géotechnique. Il est donc tout à fait naturel qu'un effort de recherche significatif et continu soit déployé à l'échelle mondiale pour résoudre de nombreux problèmes en génie civil, tels que l'instabilité et les propriétés du béton. En outre, des études antérieures pertinentes à notre contexte ont été intégrées à cette conclusion



Chapitre II

**Caractéristiques des Routes Sahariennes et
Essais de Comportement Mécanique : Une
Analyse Approfondie**

Chapitre II : Caractéristiques des Routes Sahariennes et Essais de Comportement Mécanique

II.1. Introduction :

Les routes sahariennes exhibent des propriétés distinctives qui les distinguent des routes situées dans des environnements humides ou semi-arides. En Algérie, les premières routes sahariennes ont été construites dans les années 50. La conception des routes dépend principalement du climat et de la nature du sol porteur. L'objectif de ce chapitre est de présenter les caractéristiques d'un environnement désertique ainsi que les critères déterminants dans la conception d'une route saharienne.

II.2. Caractéristiques Des routes sahariennes :

II.2.1. Matériaux :

La couverture des zones sahariennes est constituée dans sa quasi-totalité de matériaux du quaternaire, l'éventail des matériaux n'est pas très large. On rencontre essentiellement des roches, des éboulis, des sables, des limons et des argiles. Les roches sont anciennes ou récentes et composées, le plus souvent, de calcaires massifs, dégrés, de tufs calcaires, de tufs gypseux,etc.

Elles comparent les massives montagnes et des hauts plateaux. Les éboulis sont les matériaux accumulés au pied des montagnes, dans les gorges et dans les oueds formant les ergs. Ils sont constitués de fragments de roches ou de granulats de formes et de tailles variables, les sables des dunes mouvantes, sont composés de petites particules siliceuses pratiquement de même taille.

Les limons constituent, en alternance avec les lœss, la couverture en couches minces, la plus fréquente, dans les oueds, les argiles sont rencontrées principalement dans la dépression et constituent, très souvent, le support des marécages des sebkhas et des chotts.

II.2.2. Relief :

Le sud algérien est caractérisé par un relief peu accidenté, constitué par de vastes pénéplaines. Les paysages sont généralement monotones à l'exception de quelques zones montagneuses ou passages d'ergs.

II.2.3. Climat :

Le sud algérien est caractérisé par des étés très chauds (50° à l'ombre), et des hivers rudes avec d'important écarts de température (-5° le soir et 30° le jour). Les pluies sont rares et tombent généralement sous forme d'averse (précipitations annuellement moyennes inférieures à 50mm qui peuvent tomber en une ou deux averses). Les vents de sable y sont fréquents. _

II.2.4. Hydrologie :

Du point de vue hydrologique, on distingue deux zones :

Chapitre II : Caractéristiques des Routes Sahariennes et Essais de Comportement Mécanique

- ✓ La partie secondaire et tertiaire constituant le nord de Sahara et renfermant diverses nappes souterraines dont l'une « Albiennaise » est particulièrement d'abondantes étendues.
- ✓ La partie primaire constituant l'extrême sud ou les seules ressources disponibles sont constituées par des nappes d'infiltration des oueds importants.

II.3. Caractéristiques Géométriques :

Les caractéristiques géométriques des routes en zone désertique sont déterminées, comme celles des autres routes du pays, en appliquant à chaque catégorie une vitesse conventionnelle dite "vitesse de base" qui permet de définir les valeurs limites d'aménagement des points particuliers de l'itinéraire. Les règles couramment édictées à partir de ce principe ont été modulées pour tenir compte des spécificités inhérentes aux zones désertiques du sud algérien. Celles-ci se caractérisent, rappelons-le, par : Un relief peu accidenté, dont l'altitude culmine à 672 mètres constitué d'une succession de vastes plateaux (hamadas) et de grandes dépressions (sebkhas) plus ou moins ensablées L'immensité de la superficie à desservir et les grandes distances séparant l'agglomération dont l'ordre de grandeur dépasse les 200 km.

Une très faible pluviométrie dont la moyenne annuelle des précipitations n'excède pas 50mm. L'omniprésence du sable éolien qui se manifeste sous forme de couloirs de dunes vives ou de dépôts affectant d'importantes zones du territoire.

II.3.1. Vitesse de base :

Trois vitesses de base ont été retenues : 60, 80, 120 km par heure. Il n'est pas prévu de vitesse de base intermédiaire entre 80 et 120 km par heure, car il est estimé qu'en raison du risque d'inattention des conducteurs dans le contexte désertique, les catégories de routes doivent être dans un objectif de sécurité nettement contrastées. La vitesse de base de 80 km/h est un maximum en zones dunaires ou des dépôts de sable sur les chaussées sont à craindre et où il ne faut donc pas encourager la vitesse. En terrain plat et vallonné, non soumis au risque d'ensablement, et compte tenu des grandes distances à parcourir (dans un relief monotone), il est estimé qu'un effort financier doit être consenti pour donner à la route les caractéristiques géométriques correspondant à la vitesse de base 120km/h. Dans les zones où le relief est particulièrement difficile, la vitesse de base est réduite à 60km/h. Continuité entre section de catégorie différente : La variation du relief en un milieu désertique est souvent brusque. Elle entraîne des changements de vitesse de base qui nécessitent la mise en place de section transition dont le but est d'inciter l'utilisateur à adapter progressivement sa vitesse aux caractéristiques géométriques du tronçon qu'il va parcourir. Pour éviter les sections de transition très longues (imposées par l'instruction sur les caractéristiques géométriques des routes de rase campagne), dont la longueur pourrait dans certains cas être supérieure à la section annoncée, il est admis de passer d'une catégorie à une autre même non contiguë par une succession de virages qui respecte les rapports entre rayon minimum des catégories concernées, sous réserve d'assurer une bonne visibilité ainsi que faible distance entre courbes.

Chapitre II : Caractéristiques des Routes Sahariennes et Essais de Comportement Mécanique

II.3.2. Profil en travers :

Les largeurs de plateforme et de chaussée sont modulées en fonction de la vitesse de base et de trafic. Elle varie de 6,7m à 11 m pour la plateforme et de 3,3m à 7m pour la chaussée. Dans les sections en déblai des sones comportent un risque d'ensablement, la pente des talus est réduite 1/10 sur une banquette d'une largeur de 8m pour faciliter l'écoulement du sable et maintenir les routes ouvertes à la circulation. En règle générale il n'est pas creusé de fossé en limite de plateforme ceux-ci étant rapidement comblés par le sable.

II.4. Les différentes composantes de la chaussée :

Pourquoi la chaussée est-elle formée de plusieurs couches ?

Rappelons que le rôle d'une chaussée est de reporter sur le sol support, en les répartissant convenablement, les efforts dus au trafic. La chaussée doit avoir une épaisseur telle que la pression verticale transmise au sol soit suffisamment faible afin que celui-ci puisse la supporter sans dégradation. Comme la pression dans la couche granulaire décroît régulièrement en profondeur, on peut constituer une chaussée par la superposition de couches de caractéristiques mécaniques croissantes. En général, on rencontre les couches suivantes à partir du sol :

- ✓ **Couche de forme .**
- ✓ **Couche de fondation** : la construction de cette couche ne pose pas de problème particulier. La plupart des matériaux routiers conviennent.
- ✓ **Couche de base** : la construction de cette couche doit faire l'objet d'une attention toute spéciale : le matériau utilisé dans cette couche doit pouvoir résister aux contraintes résultant du trafic.
- ✓ **Couche de surface.** ???(ref)

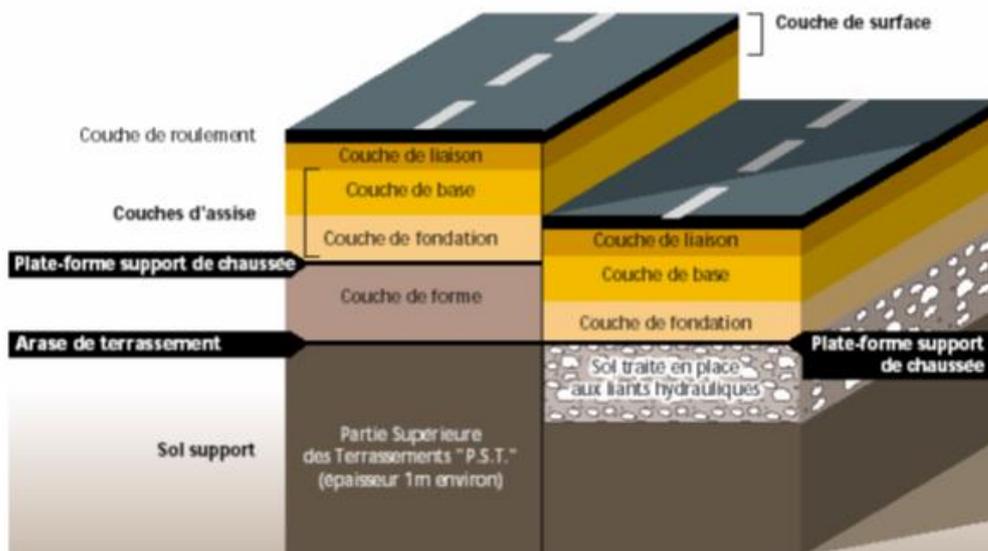


Figure II.1. Représentation des différentes composantes de la chaussée.

Chapitre II : Caractéristiques des Routes Sahariennes et Essais de Comportement Mécanique

II.5. Critères de Sélection

Les critères de sélection d'un matériau sont imposés par sa destination, soit en couche de fondation ou en couche de base. Les matériaux pour couche de base doivent avoir les principaux critères suivants :

II.5.1. Une bonne Granulométrie :

Ce critère est donné par le résultat de l'analyse granulométrique, ainsi, les matériaux graveleux et grenus et faiblement plastiques (c'est-à-dire ne contenant pas une grande fraction fine, limoneuse ou argileuse) sont les plus à rechercher.

La fraction fine (passant au 0.08mm) doit être inférieure à 20 ou 25 %. Aussi les passants à 2mm doivent être inférieurs à 65 ou 75 %.

II.5.2. Une bonne Aptitude au Compactage :

Cette appréciation est donnée par le résultat de l'essai Proctor, ainsi, toute densité sèche maximale inférieure à 1.65 t/m³, caractérise un matériau fragile, léger, dépourvu d'ossature. Les valeurs de densités sèches généralement adoptées varient entre 1.7 et 2 t/m³.

II.5.3. Une bonne Portance :

La portance est appréciée par l'essai CBR, mais, c'est surtout le CBR imbibé qui est nous intéresse le plus, car il donne la valeur la plus défavorable, aussi, il mesure la réduction de portance sous l'effet de l'imbibition, représentée par les eaux pluviales, ou autres. En effet, les matériaux en sable gypseux, sable calcaires, ou, les gypso-calcaires perdent environs 50 % de leur portance après imbibition (résultats d'expériences à 4 heures d'imbibition).

Un CBR imbibé supérieur à 15 est l'indice d'un matériau de bonne portance.

II.5.4. Une bonne Résistance à la Compression simple :

En zone aride à climat sec, les matériaux doivent présenter une cohésion minimale, celle-ci étant appréciée par l'essai de compression simple, donnant la résistance à la compression simple. L'exigence d'une cohésion minimale est nécessaire pour résister aux phénomènes de dessiccation et de décohésion par vibration et frottements provoqués par les véhicules.

Les résistances demandées pour de bons matériaux doivent être supérieurs à 10 ou à 15 bars à la compacité minimale exigée.

Généralement, ce sont les fines calcaires et gypseuses qui procurent aux matériaux une cohésion élevée.

Chapitre II : Caractéristiques des Routes Sahariennes et Essais de Comportement Mécanique

- **Tableau résumé des Critères de Sélection.**

Essais	Critères de Sélection	Remarques
Analyse Granulométrique	Matériaux grenus % fines < 20 ou 25 et % passant à 2 mm : < 65 % ou 75 %.	Un fuseau est à établir pour ce type de matériaux.
Proctor (compactage)	$\gamma_d > 1.65 \text{ t/m}^3$.	Pour un matériau dense et maniable.
Portance CBR	$I_{\text{CBR}} \text{ imbibé} > 15$	Pour une bonne portance (conditions défavorables). Temps d'imbibition en fonction de la zone (4 à 6 h en gle.).
Résistance à la Compression Simple.	> 10 à 15 bars à la compacité minimale.	Pour une cohésion minimale.

II.6. Essais de comportement mécanique

Les essais caractérisant le comportement mécanique sont les essais liés à la fonction même du matériau, celle de résistance, de portance, et de non déformabilité sous charge pesants (le trafic), ou sous charge hydrique (l'eau). A cet effet, Trois essais sont réalisés, il s'agit en premier de l'essai Proctor, déterminant l'aptitude au compactage, en deuxième, c'est l'essai CBR, déterminant la portance du matériau avec, ou sans l'influence de l'eau, et en troisième, l'essai de compression simple, déterminant la cohésion et la résistance de matériau.

II.6.1. L'essai Proctor :

- **But de l'essai Proctor:**

Il existe une teneur en eau particulière w_{optimum} notée W_{opt} pour l'essai Proctor normal et W_{opt} pour l'essai Proctor modifié pour laquelle le compactage conduit à une masse volumique sèche γ_d (ou un poids volumique) maximum.

La masse volumique maximale correspond donc à un état de compacité maximum et à une capacité de résistance maximum.

L'essai Proctor permet de déterminer ces conditions particulières.

- **Principe de l'essai Proctor:**

Le principe de l'essai consiste à humidifier un sol à plusieurs teneurs en eau et à la compacter selon un procédé et une énergie conventionnels. Pour chacune des valeurs de teneur en eau considérée, on détermine la masse volumique sèche du sol et on établit la courbe des variations de cette masse volumique en fonction de la teneur en eau.

Chapitre II : Caractéristiques des Routes Sahariennes et Essais de Comportement Mécanique

D'une manière générale, cette courbe appelée courbe Proctor présente une valeur maximale de la masse volumique sèche, elle est obtenue pour une valeur particulière de la teneur en eau. Ce sont ces 2 valeurs qui sont appelées caractéristiques de compactage Proctor Normal ou Proctor Modifié suivant l'essai réalisé.



Figure II.2. Appareillage spécifique pour essais de compactage (Proctor Normal)

- **Matériel spécifique Proctor :**
 - ✓ Moule Proctor avec embase et hausse.
 - ✓ Moule CBR avec embase et hausse.
 - ✓ Dame Proctor normal.
 - ✓ Dame Proctor modifié.
 - ✓ Règle à araser.
 - ✓ Balance de portée supérieure à 6 kg.

- **Matériel connexe pour essai Proctor :**

Éprouvette graduée et burette d'eau pour humidifier le sol.

Four, balance de précision, petits récipients pour mesurer la teneur en eau à postériori.

Chapitre II : Caractéristiques des Routes Sahariennes et Essais de Comportement Mécanique



Figure II.3. Mode opératoire de Proctor

- **Mode opératoire pour essai Proctor:**

- ✓ On dispose d'un échantillon de masse $m = 2\text{kg}$.
- ✓ On mesure le poids du moule à vide.
- ✓ Ajouter par respectivement considéré les teneurs en Eau suivantes : 12% ; 14% ; 16% ; 18% ; 20%.
- ✓ A chaque étape, on procède comme suit.
- ✓ On remanie le sol jusqu'à ce que la teneur en eau soit supposée uniforme.
- ✓ Une première fraction est introduite dans le moule et celle-ci est compactée à l'aide de 56 coups de la dame.
- ✓ On suit la même procédure pour une 2ème puis une 5ème fraction.
- ✓ On enlève la hausse amovible du moule.
- ✓ La couche supérieure débordant la partie inamovible du moule est rasée.

II.6.2. L'essai CBR :

Il est réalisé à la base de la norme NF P 94-078 Mai 97, on donnera ci-dessous une description simplifiée. L'essai CBR a pour objet la détermination de la portance d'un matériau compacté à la teneur en eau de l'optimum Proctor .Il est utilisé dans le domaine de la géotechnique routière ,et dans le dimensionnement des chaussées. Son principe est basé sur la comparaison de l'enfoncement d'un poinçon dans le matériau testé et dans un matériau type. Il utilise pour cela, un moule dit " moule CBR", une machine de chargement, un poinçon, et un système de mesure. La fraction du matériau utilisée est celle inférieure à 20 mm, le matériau est imbibé dans l'eau pendant une période(4 jours ou 4 heures)selon la zone d'utilisation. Le résultat est obtenu en mesurant l'enfoncement en fonction de la charge, et en trace le diagramme CBR Par définition l'indice CBR est pris égal à la plus grande des deux valeurs suivantes:

$$ICBR_{2.5} = \frac{F_{2.5}}{13.35} \times 100 \quad ; \quad ICBR_5 = \frac{F_5}{20} \times 100 \quad ,$$

$F_{2.5}$ =Force à 2.5 mm d'enfoncement ; F_5 =Force à 5 mm d'enfoncement

Chapitre II : Caractéristiques des Routes Sahariennes et Essais de Comportement Mécanique

II.6.3. L'Essai de Résistance à la Compression Simple

- **Définition**

S'exécute sur des échantillons cylindriques d'élanement compris entre deux et trois, il est conseillé d'utiliser des éprouvettes de $\phi = 50$ mm.

- **Principe**

Cet essai consiste à appliquer un effort de compression a un échantillon reposant sur une surface indéformable. Cette sollicitation provoque un écrasement de l'éprouvette.

On mesure simultanément les contraintes et déformations à la cour de l'essai. La norme définie entre autre

- La contrainte de rupture
- La contrainte au seuil d'écoulement
- La déformation a la rupture
- La déformation au seuil d'écoulement

Pour obtenir des résultats comparatifs en compression il est nécessaire d'employer des éprouvettes de forme, de dimensions et de mode d'obtention identiques, et de les soumettre a essais dans des conditions bien définies de traitement préalable, de température par défirent teneur en ciment.



Figure II.4. Mode opératoire de compression.

Chapitre II : Caractéristiques des Routes Sahariennes et Essais de Comportement Mécanique

Conclusion:

Dans cette section, nous avons exploré les bénéfices des routes désertiques ainsi que les expériences les plus significatives que nous intégrons dans nos recherches

CHAPITRE III

**Programme Expérimentale Des Essais
Physico-Chimiques Des Matériaux
Utilisés.**

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

Introduction :

Ce chapitre expose les résultats des essais menés au Laboratoire des Travaux Publics du Sud à Ghardaïa (LTPS) pour l'identification des matériaux.

Dans un premier temps, la zone d'étude est définie pour expliquer la localisation des matériaux utilisés dans notre étude.

Ensuite, un programme d'essais est élaboré pour identifier le sable de Sabseb, suivi des trois argiles des régions d'Oued Nechou, Metlili et Bouhraoua. Les essais incluent la granulométrie, les limites d'Atterberg et le bleu de méthylène, à l'exception de l'équivalent du sable pour le sable, qui est également présenté.

De plus, une classification de ces matériaux est effectuée selon les normes LCPC et la classification GTR pour les matériaux routiers fins.

II.1 Zone d'Etude :

Avant d'entamer les essais routiers sur les matériaux choisis, il a été procédé à l'identi La wilaya de Ghardaïa issue du dernier découpage administratif, du territoire selon la loi n°19 - 12 du 12/11/2019. Elle est située au centre de la partie nord du Sahara, à 600 km au sud de la capitale Alger, avec une superficie de 26 165,43 km² et une population de plus de 409 660 habitants, répartis dans la figure 1, 08 daïras et 10 communes (D.S.A, 2021).

Elle se situe à 32° 23' de latitude nord, 4° 13' de latitude est et à 355 m au-dessus du niveau de la mer. Il couvre une superficie de 2220 km².

- Latitude 30° 37' Nord.
- Longitude 3° 45' Est
- Altitude 480 m

La wilaya de Ghardaïa est limitée :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200Km)
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300Km)
- A l'Est par la Wilaya d'Ouargla (200 Km)
- Au Sud par la Wilaya de Ménea (270Km)
- A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh (350Km) (Chikhi, 2023).

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

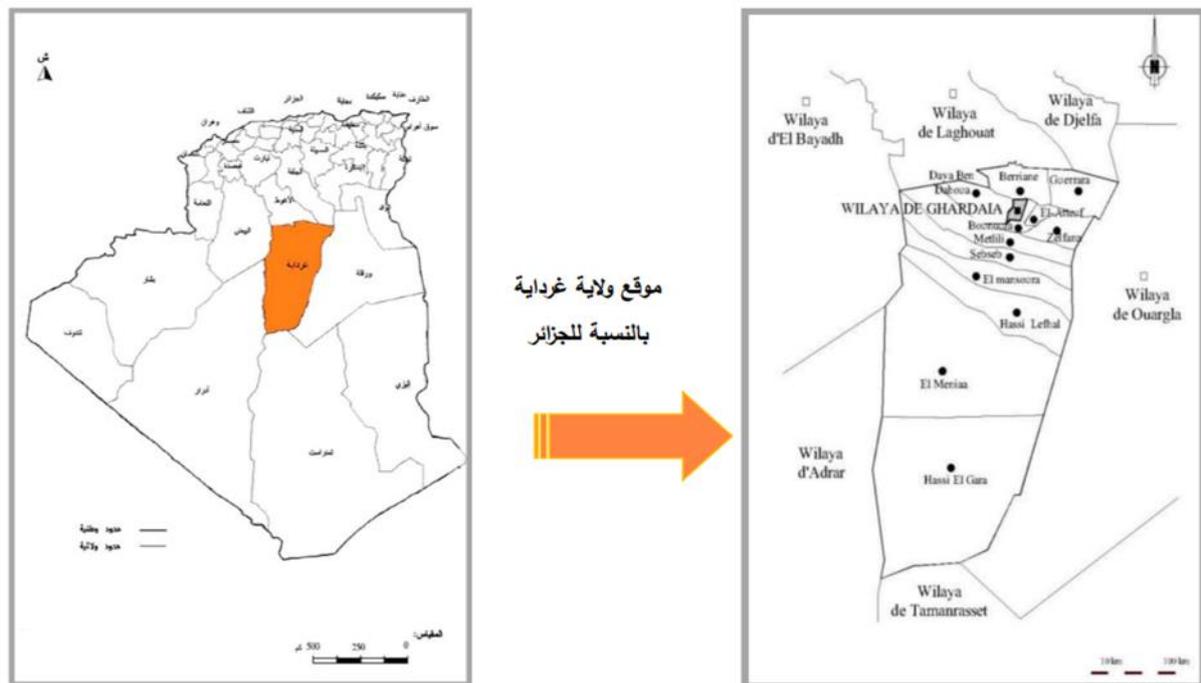


Figure 01 : Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa (Chikhi, 2023).

III.3. Localisation des sites de prélèvement des matériaux :

Le sable de dune :

Comme la région de Ghardaia est considérée comme une région saharienne, la zone de provenance de sable de dune est située dans les environs de 50 Km de la ville (Oasis de Sebseb).

2.1. Argile :

Nous avons fait le prélèvement avec un géologue de LTPS, on a procédé à trois prélèvements du sol de région de Ghardaia le premier sol sis à Bouhraoua située à la sortie de la ville de Ghardaia vers Laghouat. Exactement du coordonnée JPS (N 3231'43.1'' ; E003 46'21.0''), ce sol à deux faciès différents d'une même zone, cette zone présente deux faciès, dont le premier est de couleur jaune, avec présence de cristaux de gypse, et la deuxième rouge et toujours avec la présence de cristaux de gypse.

Le premier échantillon (Bouhraoua) de ce sol est prélevé à une Gara en utilisant la pelle manuelle .et même pour le deuxième échantillon (d'oued Nechou), les deux échantillons se trouvent à la surface.

Dans l'ensemble, on a utilisé un peu de creusement qui est due à l'aridité de la zone.

De point de vue géologique, les échantillons ont été prélevés à une profondeur entre 1, 00 et 1,50 m. voir les Photo des déférents régions que on prélevé nos échantillons.

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.



Photo III.2.c : massif du site Bouhraoua



Photo III.2.d : massif du site Metlili



Photo III.2. b : massif du site Oued Nechou

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

III.2 Argile Oued Nechou :

Le matériau choisi a été prélevés d'un site situé à 20 km au Nord-ouest de la wilaya de Ghardaïa, ce gisement se trouve à 100 m de la RN°1 (Voir



Figure III.2.2 : Photo Google Earth de localisation de la carrière étudiée.

III.3 Argile Bouhraoua :

Le matériau choisi a été prélevés d'un site situé à 10 km au Nord-ouest de la wilaya de Ghardaïa, ce gisement se trouve à 100 m de la RN°1 (Voir

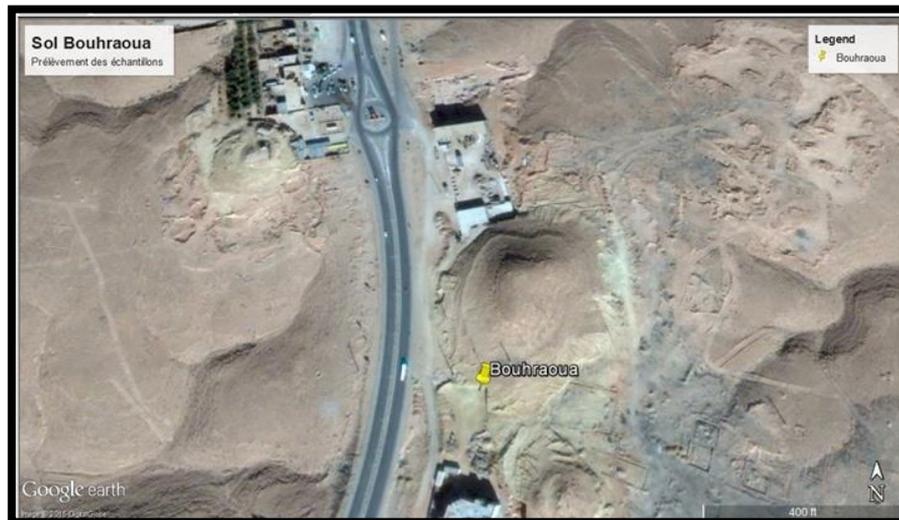


Figure III.2.3 : Photo Google Earth de localisation de la carrière étudiée.

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

III.2.1 Argile Metlili el Jadida :

Le matériau choisi a été prélevés d'un site situé à 20 km au Sud-ouest de la wilaya de Ghardaïa, ce gisement se trouve à 100 m de la RN°1 (Voir Photo)



Figure III.2.4 : Photo Google Earth de localisation de la carrière étudiée.

III.4 Programme des essais :

Une série d'essai a été réalisée aux laboratoires de LTPS, permettant l'identification du sol étudié. Cette étude comporte les différents essais suivants:

des Essais pour l'Identification du sable de dune et d'argile de Bouhraoua

- Analyse granulométriques par sédimentation ;
- Les limites d'Atterberg (limite de liquidité et de plasticité, indice de plasticité) pour
- caractériser la consistance du sol et permettre de ce fait de le classer ;
- Essais à la tache au bleu de méthylène ;

III.4 Essais d'identification :

Selon qu'il s'agit de sable ou d'argile, des essais d'identification appropriés à chaque nature de sol existent, en plus d'une analyse de l'eau car c'est recommandé par plusieurs auteurs tels que [50].

Le tableau suivant illustre la nature des essais effectués

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

- **Tableau III -3 : Programmes des Essais pour l'Identification des Matériaux Utilisés (AZZOUZ 2016)**

ARGILE	SABLE
<ul style="list-style-type: none"> • Analyse chimique • Analyse granulométrique. • Limites d'atte berg. • teneur en CaCO₃. • essai au bleu de méthylène. • essai de compressibilité /consolidation. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse chimique • analyse granulométrique. • équivalent de sable • essai au bleu de méthylène

III.4.1. Les essais sur Sable de dune :

III.4.a.1Analyse chimique :

Les mêmes analyses effectuées sur les argiles, ont été appliquées aux sables, et les résultats sont illustrés dans le tableau III.4.A.1 (AZZOUZ F.Z 2015).

Tableau III.4.A.1 : Analyse chimique du sable de dune étudié ()

Caractéristique	Symboles	Unité	Sable de dune
Résidu insoluble	SiO ₂ +Silice	%	88.91
Sulfates	SO ₃	%	3.09
Chlorures	Cl ⁻	%	0.023
Carbonate de Calcium	CaCO ₃	%	03
Matières organiques	MO	%	-----

La constatation importante a signalée, est la présence d'un fort pourcentage en silice qui est supérieur à 80%, et par conséquent, le sable de dune de Ghardaïa est un sable siliceux

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

III 4.a.2Analyse granulométrique :

L'analyse est effectuée par voie sèche, et des courbes obtenues, plusieurs paramètres peuvent être tirés. Ces paramètres, considérés comme essentiels pour la classification, seront donnés, qui englobe tous les résultats des essais effectués sur le sable de dune.

Figure III.4.A.2 : Analyse granulométrique.



III.4.A.3Limite d'Atterberg :

Les essais permettant la détermination des limites d'Atterberg ont été réalisés conformément à la norme NF P 94-051. Ils sont effectués sur la fraction inférieure à 400 μ m du sol étudié.



Photo III.4.A.3 : Appareil de CAZAGRANDE

III.5 Equivalent de sable :

L'équivalent de sable n'est intéressant que pour caractériser les sols sableux contenant très peu de particules fines.

Cet équivalent désigné par « ES » varie de 10 à 100%. Le sable de dune étudiée est propre à pur, ce qui est en concordance avec la classification LCPC. Les résultats des essais sur le sable de dune.



Photo III.5.1 : machine d'agitation pour Equivalent de sable.

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

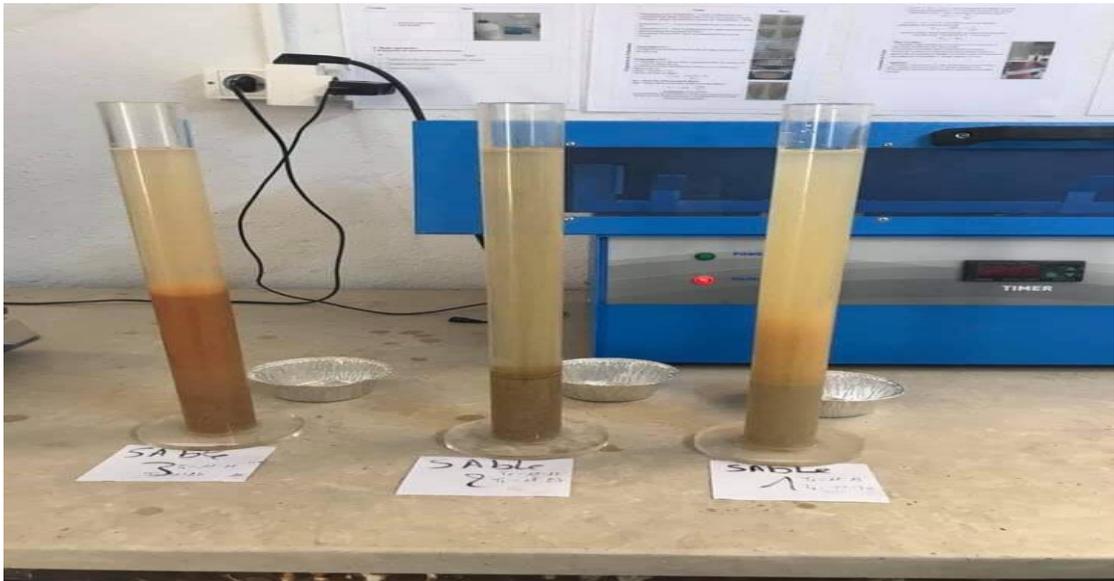


Photo III.5.2 : Équivalent de sable.

Les résultats obtenus de cet essai sont donnés dans le tableau :

- **Tableau III.5.1 : identification et classification de sable de dune. (AZZOUC F.Z 2015)**

Essais		Sable de dune
Granulométrie	Cu	1.5
	Cc	1.04
	LCPC	SB
Bleu de méthylène	SST (m ² /g)	0.84
	classification	Elément non argileux
Equivalent de sable	ES (%)	76
	Degré de propreté	Propre
Masse volumique solide	γ_s (g/cm ³)	1.55

Cu : coefficient d'uniformité.

$$Cu = D_{60}/D_{10}$$

Cc : coefficient de courbure.

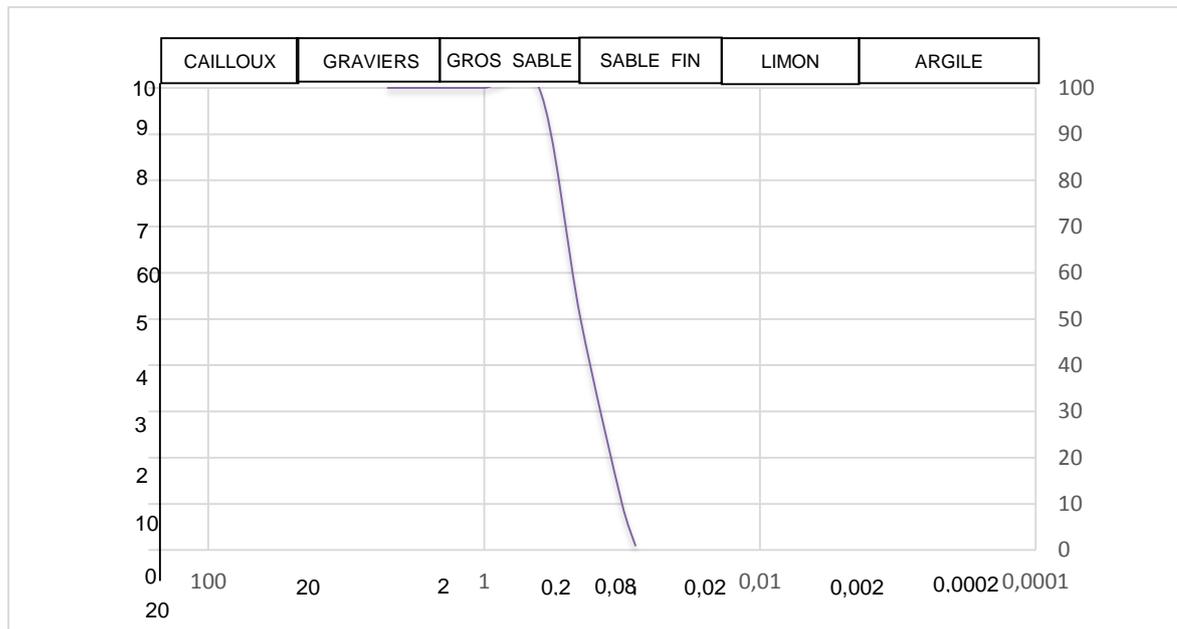
$$Cc = (D_{30})^2 / D_{60} \cdot D_{10}$$

LCPC : Classification donnée par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

SB : sable propre Bien gradué.

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

La courbe granulométrique du sable utilisé est représenté sur la figure III.5.1 Cette granulométrie est uniforme caractérisée par un coefficient d'uniformité, inférieur à 2, un



diamètre moyen $D_{50} = 0,6$ mm.

Figure III.5.1 : courbe granulométrique de sable de dune. (ARTICLE AZZOUZ F.Z 2015)

- **Tableau III.5.2 : Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique du sable de dune. (AZZOUZ F.Z 2015)**

	Sable de dune
Gros Sable %	54.66
Sable fin %	45.34
D10 (μ)	0.21
D30 (μ)	0.25
D60 (μ)	0.3
Cu = D60/D10	1.43
Cc = (D30)² / D10D60	0.089

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

III.6 Identification et classification des argiles :

III.6.1 Analyse chimique :

Les résultats de l'analyse chimique des argiles étudiées sont résumés dans le tableau III.6.1 :

- **Tableau III.6.1 : Analyse chimique des argiles étudiées**

	Symboles	Unité	Bouhraoua	Oued Nechou	Metlili El Jadadida
Résidu insoluble	SiO ₂ +Silice	%	30,494	31,251	65 ,50
Sulfates	SO ₃ ²⁻	%	5,28	0.31	9,4
Chlorates	Cl -	%	----	----	----
Carbonate de Calcium	CaCO ₃	%	39	23	7
Matières organiques	MO	%	----	----	----

D'après les résultats, nous remarquons que la silice est l'élément prépondérant. On constate aussi que le taux du gypse très élevé pour les trois argiles, donc on a des argiles gypseuse.

III.6.1 Analyse granulométrique :

Elle se fait par tamisage par voie sèche après lavage pour les sols dont les éléments sont supérieurs à 80µm (NF P94 – 056) et par sédimentation pour les éléments inférieurs ou égaux. À 80µm (NF P94 – 057) qui exprime la finesse et oriente en grande partie le choix du matériau de traitement.

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

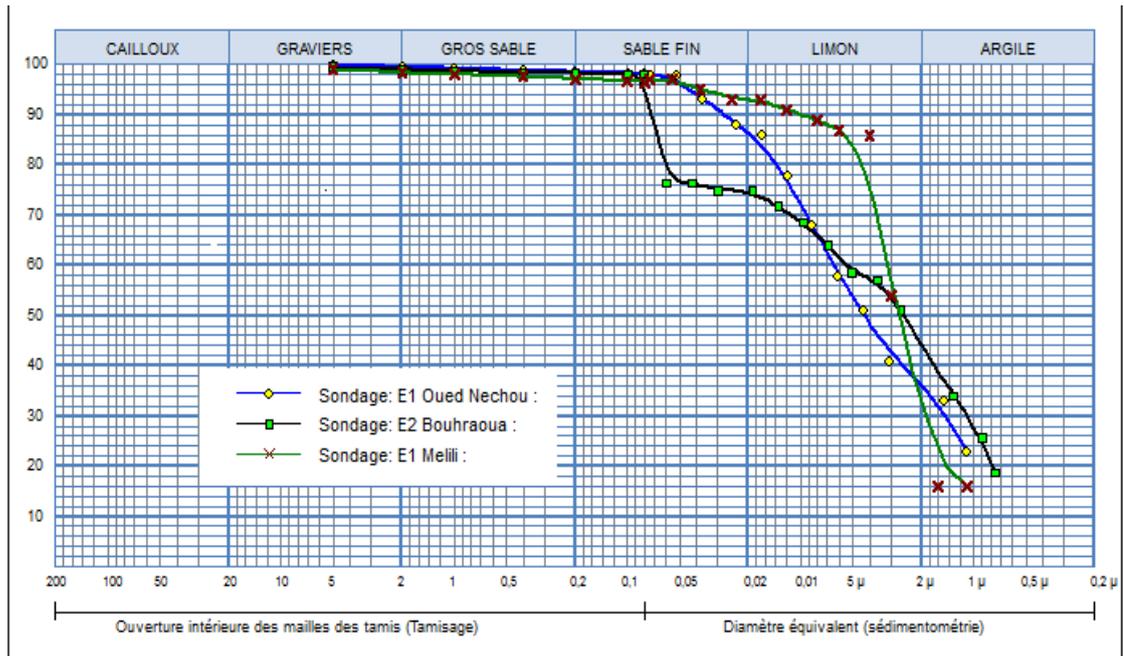


Figure III.6.2 : Courbe granulométrique des 3 argiles

Les résultats sont présentés graphiquement sur des courbes dites « courbes granulométriques », de ces courbes nous pouvons tirer certains paramètres et par la suite classer le sol. (Voir la figure III.6.2)

1. La distribution granulométrique pour les trois argiles obtenue nous montre que : La fraction fine est assez importante d'Oued Nechou (36%), et Metlili el Jadida de (26%), et mais pour Bouhraoua assez faible de (46%),
2. Une présence de particules sableuses faible importante d'Oued Nechou (14%), et Metlili el Jadida de (08%), et mais pour Bouhraoua assez importante de (6%),
3. Un pourcentage de particules limoneuses d'Oued Nechou (50 %), et Bouhraoua de (48%) comparable à celui de l'argile d'Oued Nechou et mais pour Metlili el Jadida assez importante de (66%).

Donc, on peut juger suivant cette portion granulométrique présentée dans la courbe qu'on est en présence d'un sol à prédominance limono- argileux pour trois types des argiles.

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

Caractérisations des argiles utilisées

- **Tableau III.6.2 : Analyse physico-chimique des argiles étudié**

Paramètre des argiles	Argile de Bouhraoua	Argile de Oued Nechou	Argile de Metlili
Eléments <0.08mm	89	97	98
Eléments <2µm	14	20	23
WL (%)	54.07	85.19	61.28
WP (%)	31.79	38.21	34.44
IP (%)	22.28	46.98	26.79
AC	1.59	1.67	2.35
Vb (cm ³)	5.5	4.25	7.73
Sst (m ² /g)	115.5	89;25	161.7
Teneur en carbonate de calcium CaCO ₃	39	23	07
W nat (%)	2.25	3.00	3.50

III.6.1- Essai au Bleu de Méthylène :

Cet essai permet de mesurer la capacité des éléments fins du sol à adsorber du bleu de méthylène, cette capacité d'adsorption rend compte globalement de l'activité de surface des argiles (c à d de leur surfaces spécifiques) qu'il contient d'avantage d'argile. (Voir figure III.6.3), celle –ci traduit le début d'excès de bleu dans la suspension et donc la saturation des particules argileuses du sol.

On appelle valeur de bleu de méthylène VB, la quantité exprimée en gramme de bleu de méthylène absorbée par 100 g de fines.

De cet essai, nous pouvons tirer :

$$VBs \text{ (valeur du bleu)} = V / f$$

V : étant le volume final de solution injectée en cm³

f : poids sec des fines en grammes de la prise d'essai pour les quantités de sol

La surface spécifique totale :

$$SST = 20,93 \times Vcc \times \frac{1}{Ps}$$

Où SST : surface spécifique (m²/g)

Vcc : volume de solution utilisé (cm³)

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

Ps : poids de matériaux sec (g)

20,93 : surface correspondant à 1 cm³ de bleu de méthylène.

L'indice de nocivité de la fraction argileuse qui est définie par :

$$N = \frac{100V_B (\text{fraction } O/D)}{C_2}$$

Avec : C₂ : terme en pourcentage des éléments < 2μ de la fraction O/D

Les résultats obtenus sont repris dans le tableau :

- **Tableau III.6.3.1 : Paramètres tirés de l'essai au bleu à la tâche.**

Paramètre	Bouhraoua	Oued Nechou	Metlili
Valeur de bleu « VB » (%).	5,50	4.25	7,73
Surface spécifique totale (m ² /g).	89,25	161 ,7	115.5

Nous allons maintenant classer les deux argiles à la base des résultats obtenus.

Le premier paramètre tiré de l'essai est la valeur du bleu VB, et le tableau III.6.3.2 représente la valeur de bleu de quelques sols.

- **Tableau III.6.3.2 : Valeur de bleu de quelques sols**

VB (%)	Sols
0,1	Sols insensibles à l'eau.
0,2	Apparition de la sensibilité à l'eau.

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

1,5	Seuil distinguant les sols sablo-limoneux des sols argileux.
2,5	Seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux de plasticité moyenne.
6	Seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux.
>8	Seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux.



Figure III.6.3 : Essai bleu de méthylène

III.7 Teneur en carbonate de calcium des argiles étudiant :

L'essai consiste à déterminer le volume de gaz carbonique dégagé après attaque par l'acide chlorhydrique d'un demi-gramme de matériaux sec :

$$CaCO_3(\%) = \frac{\text{volume du } CO_2 \text{ dégagé par 0,5g d'échantillon}}{\text{volume du } CO_2 \text{ dégagé par 0,5g de } CaCO_3 \text{ pur}}$$

- **Tableau III.11 : La classification par CaCO₃ de quelques sols cité par**

CaCO ₃ (%)	Dénomination
0-10	Argile ou limon.
10-30	Argile calcaire.
30-70	Marne.
70-90	Calcaire argileuse.
90-100	Calcaire.

D'après les résultats obtenus de l'essai, la teneur en carbonate de Calcium est de 7% pour l'argile de Metlili El Jadida, et 39% pour l'argile de Bouhraoua, et pour l'argile d'Oued Nechou

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

Le tableau III-11 donne la valeur de la teneur en CaCO_3 de quelques sols, et en se basant sur cette classification, nos L'argile de Metlili El-Jadida appartiennent à la classe de argile ou limon, et L'argile de Bouhraoua et oued nechou appartiennent à la classe de Marne.

III.8 Limite de liquidité WL :

Est calculée à partir de l'équation de la droite moyenne ajustée sur les couples de valeurs expérimentales (N, W). WL : est obtenue pour une valeur N égale à 25 coups exprimée en pourcentage (%). $WL = W (N/25)^{0,121}$ voir le figure III.8



Photo III.8 : Détermination de la limite de liquidité.

III.9 La limite de plasticité WP :

Est la moyenne arithmétique des teneurs en eau obtenus à partir de ces essais exprimée en pourcentage (%) (Voir la figure III.9).



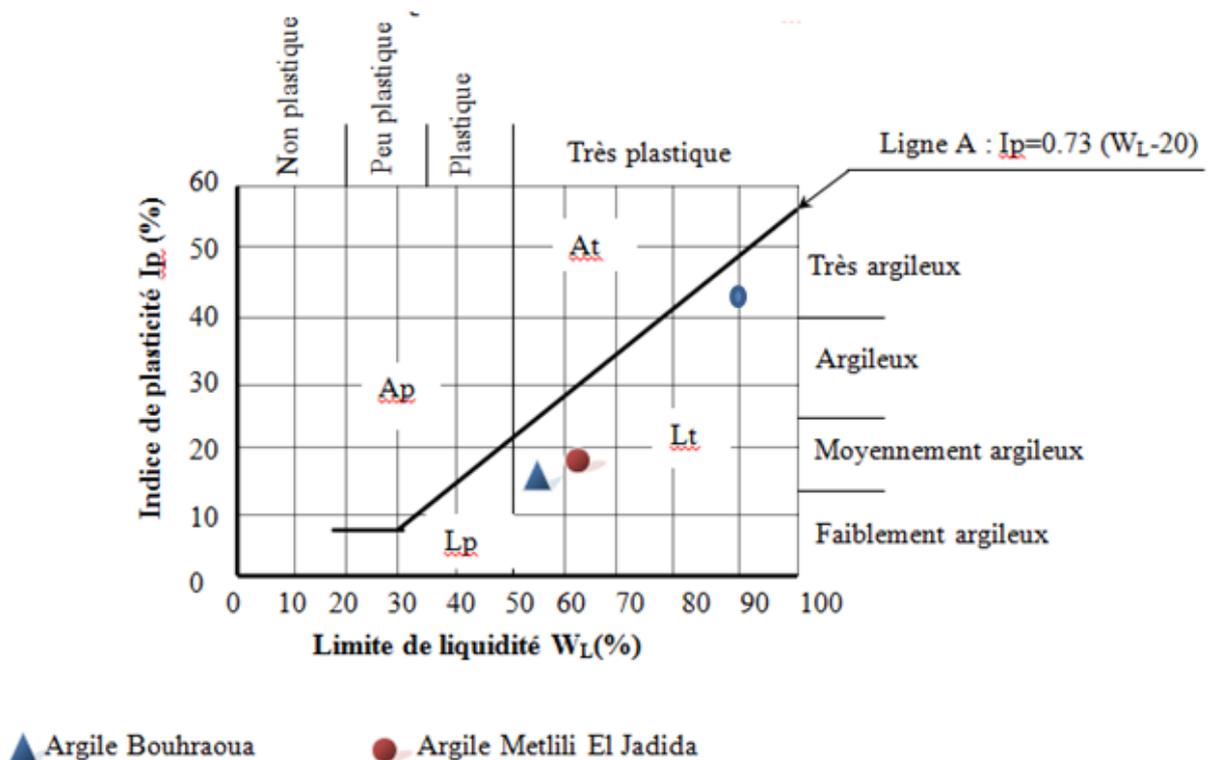
Photo III.9 : Détermination de la limite de liquidité.

- **Tableau III.10. : Récapitulation des résultats d'essais de limites d'Atterberg des argiles étudiés.**

Selon la classification LCPC, et l'abaque de plasticité de Casa grande les trois mélanges sont classe comme Moyennement Argileux très plastique.

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

Limites D'Atterberg	Valeur (%)		
	Argile de Bouhraoua	Argile de Oued Nechou	Argile de Metlili
Limite de liquidité	54.07	85.19	61.28
Limite de plasticité	31.79	38.21	34.44
Indice de plasticité	22.28	46.98	26.79



Selon la classification LCPC, et l'abaque de plasticité de Casagrande le sol d' Oued Nechou se classe comme **Argileux très plastique**. et le sol de Bouhraoua et Metlili sont classés comme **Moyennement Argileux**.

III.10 L'indice de plasticité I_p :

III.1- Classification du sol selon le GTR :

L'utilisation des terres en remblai est d'abord directement liée à leur classification et à leur comportement lors de leur mise en place.

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

Le GTR 92 (Guide des Terrassements Routiers, Réalisation des remblais et des couches de forme, LCPC, SETRA, 1992) et la norme quine découle NF-P 11-300 (septembre 1992) proposent une classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.

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

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

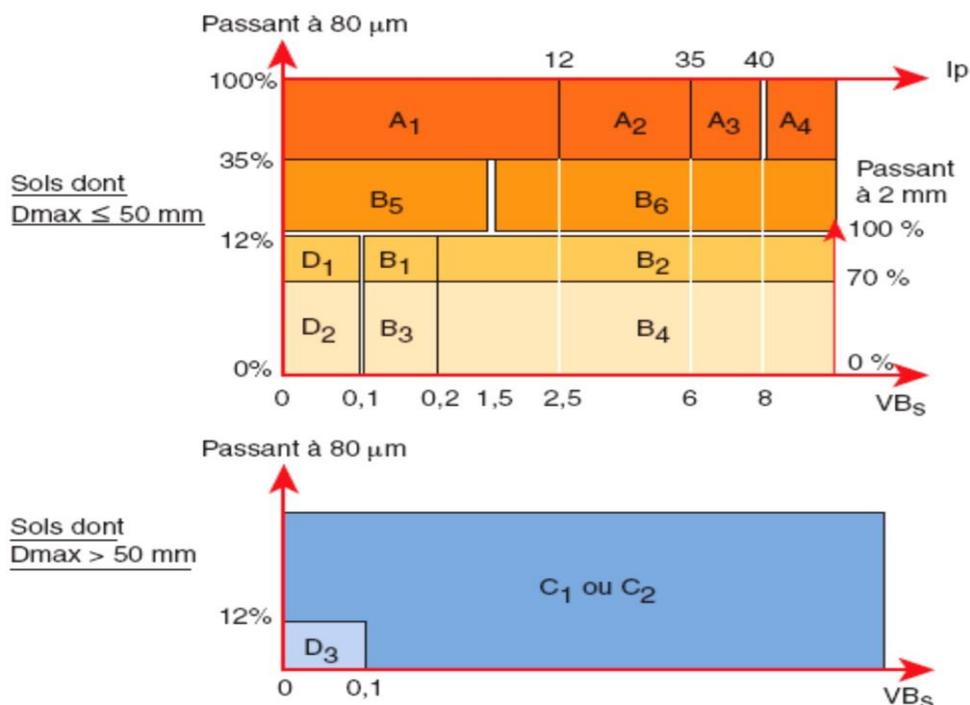


Figure III.12 : Classification des sols fins selon GTR

- **Tableau III.12 : Classification GTR (SETRA-LCPC 1980).**

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

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

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

- ✓ VBS : Capacité d'adsorption par le bleu de méthylène ;
- ✓ IP : Indice de plasticité par la méthode des limites d'Atterberg ;
- ✓ Passant à 80 μm et à 2 mm : pourcentage de particules fines passant aux tamis de 80 μm et 2mm.

III.11 Classification du sol étudiés de Ghardaïa :

✓ Classification GTR (cas des sols fins) :

Selon la Classification GTR (NF P 11-300) (cas des sols fins), on peut classer les argiles comme suit :

- **Argile Bouhraoua**

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

Passant à 80 μm = 35% ;

$I_p > 12\%$;

- **Argile Oued Nechou**

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

Passant à 80 μm = 35% ;

$I_p > 12\%$;

- **Argile Metlili**

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

Passant à 80 μm = 35% ;

$I_p > 12\%$;

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

Donc selon ces valeurs des caractéristiques géotechniques la classification de notre matériau est **A3** sachant que la classe A3 est « Sols fins » (Figure III-14).

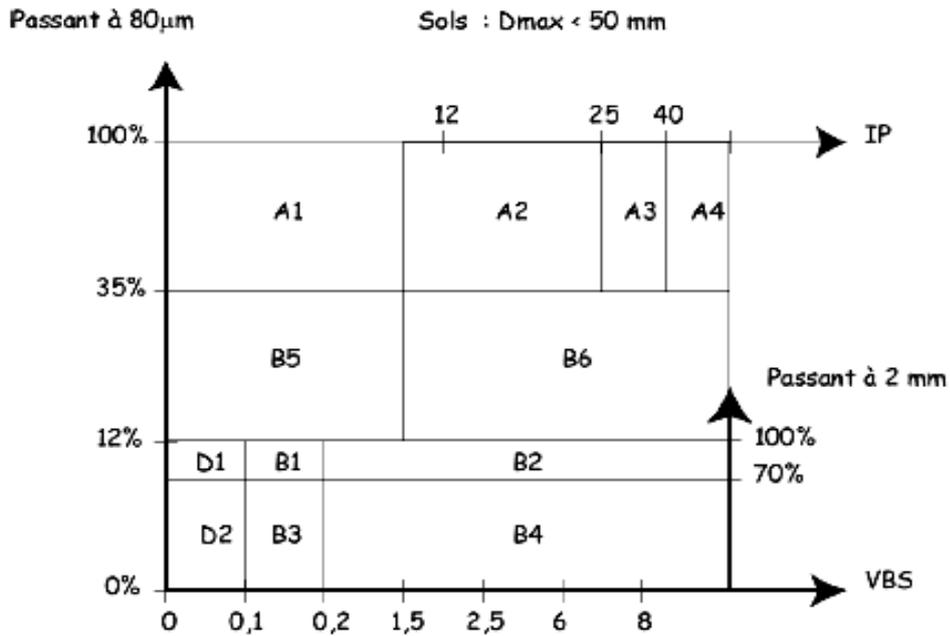


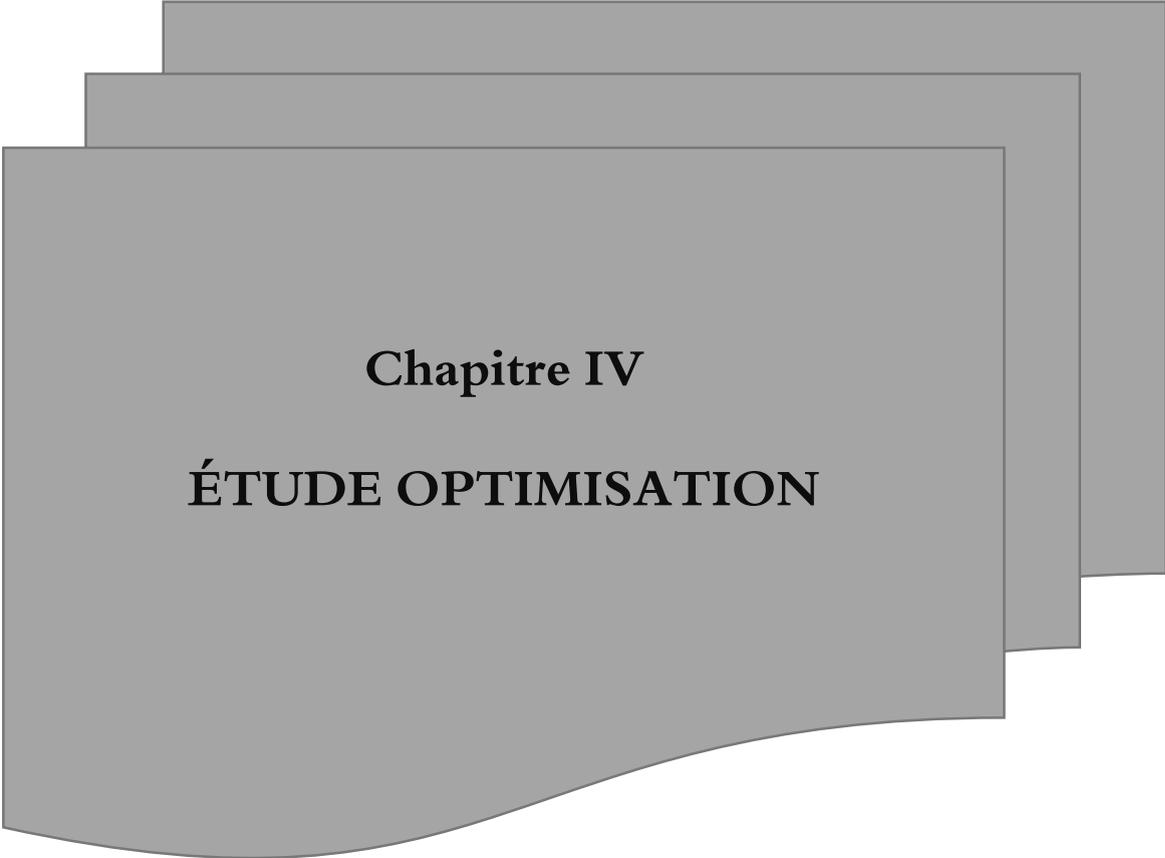
Figure III.13 : Classification des sols fins selon GTR.

Chapitre III : Programme Expérimentale Des Essais Physico-Chimiques Des Matériaux Utilisés.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les caractéristiques des sols composés de sable et d'argile en effectuant des expériences physico-chimiques utilisées dans la classification des sols. Parmi ces essais, nous avons réalisé l'essai équivalent de sable, l'analyse granulométrique, la limite d'atterberg, l'essai au bleu de méthylène, etc.

En se basant sur les valeurs obtenues pour ces caractéristiques géotechniques,. Enfin, nous avons classé notre matériau selon la classification du Guide Technique des Routes (GTR).



Chapitre IV

ÉTUDE OPTIMISATION

Introduction:

Dans ce chapitre, nous explorerons l'influence de l'ajout d'argile sur les propriétés géotechniques du sable de dune dans trois régions (Oued Nechou, Metlili, Bouhraoua), en utilisant des proportions d'argile réalistes, à savoir 10%, 20%, 30%, 40%, et 50%. Les objectifs de cette étude sont les suivants :

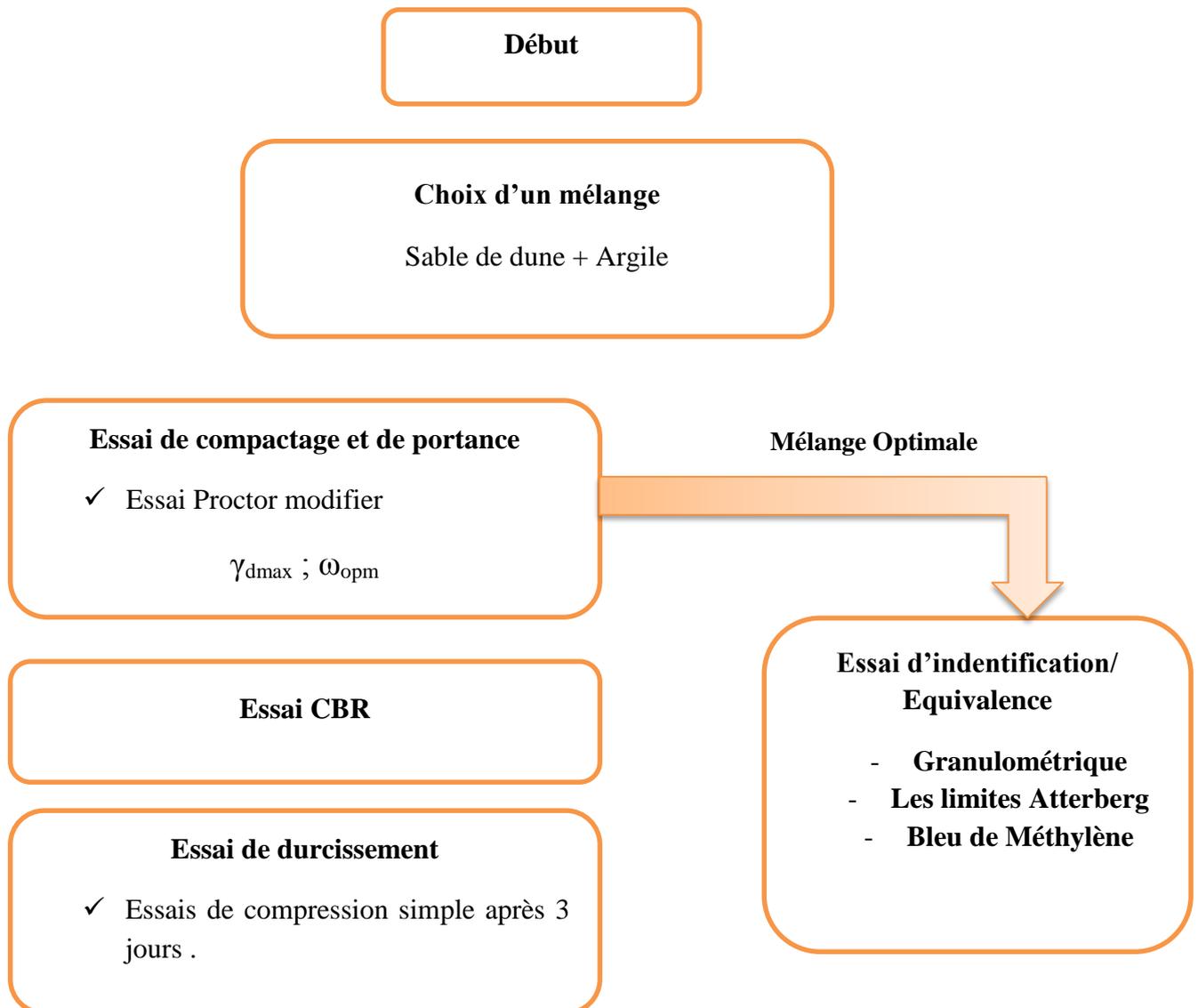
- Recherche d'un mélange optimal parmi trois mélanges pour déterminer des caractéristiques telles que la densité sèche maximale et la teneur en eau optimale pour trois mélanges de sable de dune de Sabseb et trois argiles de la région du Ghardaïa.
- Détermination des caractéristiques immédiates de portance, à la fois à l'état sec et imbibé, pour les trois mélanges optimaux.
- Réalisation d'essais de compression simple après 3 jours pour évaluer les caractéristiques immédiates de portance, à sec et imbibé, pour les trois mélanges optimaux.

IV-2. Etude de l'influence de l'ajout d'argile au laboratoire :

Notre étude au laboratoire est composée des investigations suivantes :

- ✓ Recherche sur les caractéristiques (densité sèche maximale, teneur en eau optimale) des trois mélanges sable de dune de sabseb et trois argiles de la région du Ghardaïa ;
- ✓ Savoir les caractéristiques immédiates (de la portance immédiat et imbibé) pour les mélanges optimaux ;
- ✓ Savoir les caractéristiques immédiates (de la portance immédiat et imbibé) pour les mélanges optimaux Essais de compression simple après 3 jours

La conduite de l'étude est faite selon l'organigramme suivant :



Le schéma organisationnel guide nos travaux au laboratoire selon ce plan.

IV.1. Essais mécaniques

II.4.1. Essais Proctor modifier (NF P94-093)

IV.2.1.1. Essai Proctor modifié :

a- Préparation des échantillons :

L'échantillon de sable et les argiles sont desséchés, ensuite pulvérisé. L'échantillon de les argiles et éventuellement tamisé à un tamis d'ouverture égale à 2 mm est répandu dans un bac d'homogénéisation, ensuite l'échantillon est parts identique.



Photo.IV.1 : Un tamis d'ouverture égale à 2 mm est 5mm.



Photo.IV.2 : Préparation de mélange optimal d'échantillon

Il est fait suivant la norme NF P 94-093. Il consiste à compacter dans un volume donné (moule CBR) un certain nombre d'échantillons (la fraction de 0/20mm) à différentes teneurs en eau ω_i et à un même niveau d'énergie de compactage de 2472 kJ/m^3 .



Photo.IV.3 : Appareil de Proctor modifié automatique au laboratoire LTPS

Résultats de Proctor Modifier :

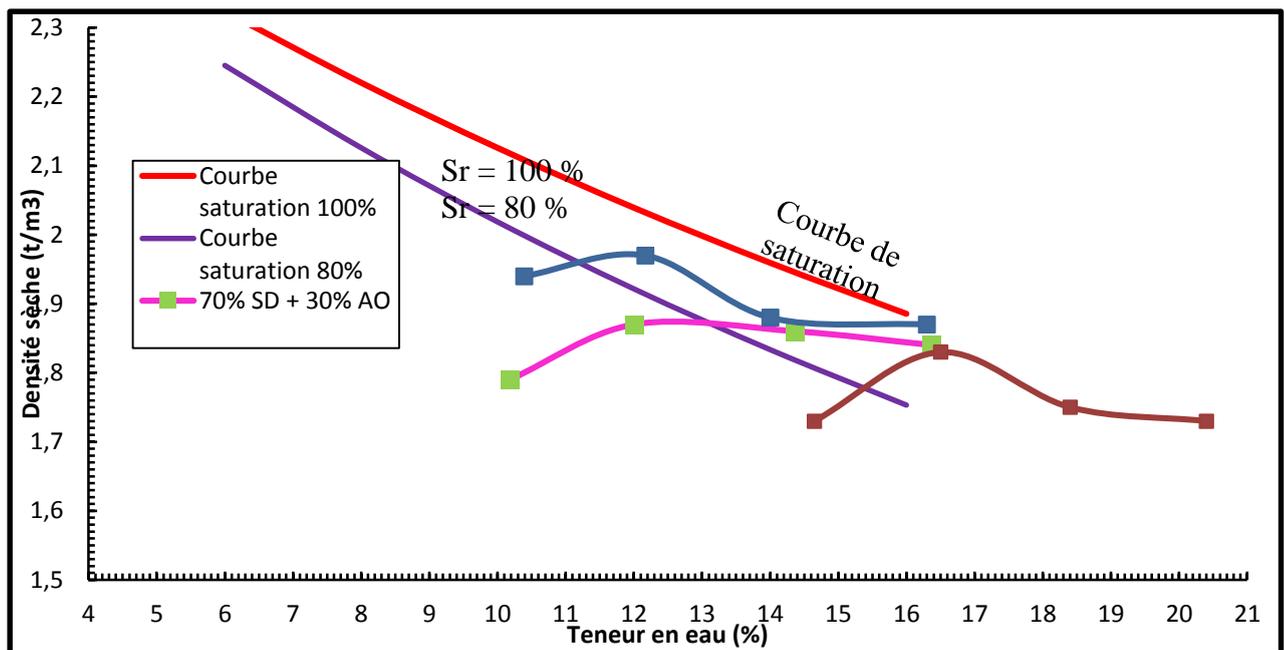


Figure VI.3 : Courbe proctor d'échantillon argile Bouhraoua, Oued Necho, Metlili et sable de dune

L'analyse de la figure offre des informations complémentaires à savoir :

Le mélange sable de dune/argile Bouhraoua présente une densité sèche maximale de l'ordre de 19,7 kN/m³ correspondant à une teneur en eau optimale de l'ordre de 12, 17 %.

Le mélange sable de dune/argile Oued Necho présente une densité sèche maximale de l'ordre de 18,7 kN/m³ correspondant à une teneur en eau optimale de l'ordre de 12, 50 %.

Le mélange sable de dune/argile Metlili présente une densité sèche maximale de l'ordre de 18,3 kN/m³ correspondant à une teneur en eau optimale de l'ordre de 16, 50 %.

Pour chaque courbe de compactage, le poids volumique sec du mélange sable-bentonite le poids volumique sec du mélange diminue avec la teneur en eau. Le poids volumique sec maximum et la teneur en eau optimale correspondent au sommet des courbes du compactage.

On remarque bien que la teneur en eau augmente avec le pourcentage de argile (voir tableau caractéristique) par contre le poids volumique sec maximum diminue. Ces résultats sont en accord avec ceux de Chalermyanont et Arrykul, (2005) et Kouloughli (2007) et gueddouda k m (2011)

IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile d' Oued Nechou (sable de 90% et argile de 10%) :

a.1. 100 % sable :

ω en eau	4	6	8
p T humide (g)	7352	7452	7466
p moule vide (g)	3844	3844	3844
p sol humide (g)	3508	3608	3622
p du sol sec (g)	3345,73	3373,22	3336,10
V moule (m ³)	2104	2104	2104
Densité seche exact	1,59	1,60	1,59

ω en eau	4		6		8	
N Tare	W17	F1	531	W31	I53	516
p T humide (g)	132,51	133,06	132,33	132,66	104,84	97,37
p T sec (g)	127,31	127,74	124,94	125,22	98,08	91,42
P de taire (%)	18,35	19,32	18,17	18,78	18,52	19,62
p sol humide (g)	114,16	113,74	114,16	113,88	86,32	77,75
P eau (%)	5,2	5,32	7,39	7,44	7,02	5,95
p du sol sec (g)	108,96	108,42	106,77	106,44	79,3	71,8
T en eau (ω)	4,77	4,91	6,92	6,99	8,85	8,29
Moyenne (ω)	4,84		6,96		8,57	

a.2. 90 % sable / 10 % Argile

ω en eau	8	10	12	14
p T humide (g)	7839	8262	8265	8339
p moule vide (g)	3844	3844	3844	3844
p sol humide (g)	3995	4418	4421	4495
p du sol sec (g)	3692,24	4006,53	3934,67	3932,98
V moule (m ³)	2104	2104	2104	2104
densité seche Avant	1,75	1,90	1,87	1,87

ω en eau	8		10		12		14	
N Tare	509	F42	W4	X7	R9	MZ	504	548
p T humide (g)	138,19	138,01	148,2	148,11	148,2	148,11	133,31	133,63

p T sec (g)	129,14	128,9	136,18	135,97	134,18	133,6	119,17	118,86
P de taire (%)	18,28	18,2	18,3	18,6	18,27	18,62	18,62	18,85
p sol humide (g)	119,91	119,81	129,9	129,51	129,93	129,49	114,69	114,78
P eau (%)	9,05	9,11	12,02	12,14	14,02	14,51	14,14	14,77
p du sol sec (g)	110,86	110,70	117,88	117,37	115,91	114,98	100,55	100,01
T en eau (ω)	8,16	8,23	10,20	10,34	12,10	12,62	14,06	14,77
Moyenne (ω)	8,20		10,27		12,36		14,42	

IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile d' Oued Nechou (sable de 80% et argile de 20%)

a.3. 80 % sable / 20 % Argile

ω en eau	8	10	12
p T humide (g)	7902	8040	8090
p moule vide (g)	3844	3844	3844
p sol humide (g)	4058	4196	4246
p du sol sec (g)	3734,58	3786,32	3768,86
V moule (m ³)	2104	2104	2104
densité seche Avant	1,77	1,80	1,79

ω en eau	8		10		12	
N Tare	A40	S2	I7	548	W24	K
p T humide (g)	129,68	129,24	127,48	127,75	121,54	121,43
p T sec (g)	120,88	120,42	116,93	117,05	109,74	109,96
P de taire (%)	18,61	19,2	18,68	18,88	18,43	17,48
p sol humide (g)	111,07	110,04	108,8	108,87	103,11	103,95
P eau (%)	8,80	8,82	10,55	10,70	11,80	11,47
p du sol sec (g)	102,27	101,22	98,25	98,17	91,31	92,48
T en eau (ω)	8,60	8,71	10,74	10,90	12,92	12,40
Moyenne (ω)	8,66		10,82		12,66	

Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile d' Oued Nechou (sable de 70% et argile de 30%)

a.4. 70 % sable / 30 % Argile

ω en eau	10	12	14
p T humide (g)	7985	8325	8398
p moule vide (g)	3843	3929	3929
p sol humide (g)	4142	4396	4469
p du sol sec (g)	3759,30	3924,65	3920,18
V moule (m ³)	2104	2104	2104
Densité sèche	1,79	1,87	1,86

ω en eau	10		12		14	
N Tare	F20	F1	K	S2	548	504
p T humide (g)	121,06	122,27	111,59	111,61	103,91	104,01
p T sec (g)	111,67	112,67	101,6	101,6	93,31	93,21
P de taire (%)	18,44	19,32	17,51	19,2	18,85	18,77
p sol humide (g)	102,62	102,95	94,08	92,41	85,06	85,24
P eau (%)	9,39	9,60	9,99	10,01	10,60	10,80
p du sol sec (g)	93,23	93,35	84,09	82,40	74,46	74,44
T en eau (ω)	10,07	10,28	11,88	12,15	14,24	14,51
Moyenne (ω)	10,18		12,01		14,37	

Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile d' Oued Nechou (sable de 60% et argile de 40%)

a.5. 60 % sable / 40 % Argile

ω en eau	10	12	14	16
p T humide (g)	8044	8261	8372	8268
p moule vide (g)	3929	3929	3929	3844
p sol humide (g)	4115	4332	4443	4424
p du sol sec (g)	3708,88	3861,31	3882,72	3797,75
V moule (m³)	2104	2104	2104	2104
Densité seche avant	1,76	1,84	1,85	1,81

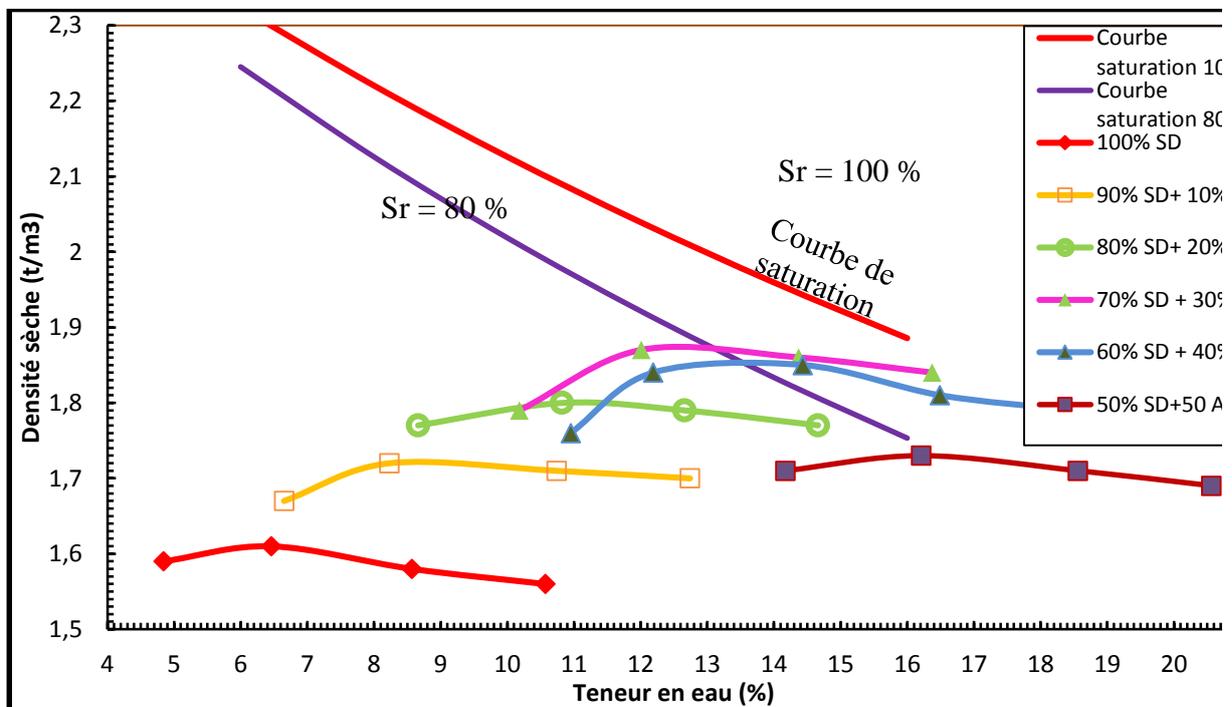
ω en eau	10		12		14		16	
N Tare	D10	S9	551	561	58	A2	A3	548
p T humide (g)	134,1	134,43	109,51	110,74	119,26	119,38	101,57	102,66
p T sec (g)	123,09	122,7	99,82	100,56	106,86	106,6	89,96	90,6
P de tairé (%)	18,37	19,62	18,67	18,77	20,19	18,76	18,18	18,88
p sol humide (g)	115,73	114,81	90,84	91,97	99,07	100,62	83,39	83,78
P eau (%)	104,72	103,08	81,15	81,79	86,67	87,84	71,78	71,72
p du sol sec (g)	11,01	11,73	9,69	10,18	12,4	12,78	11,61	12,06
T en eau (ω)	10,51	11,38	11,94	12,45	14,31	14,55	16,17	16,82
Moyenne (ω)	10,95		12,19		14,43		16,49	

Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile d' Oued Nechou (sable de 50% et argile de 50%)

a.6. 50 % sable / 50 % Argile

ω en eau	14	16	18
p T humide (g)	7941	8085	8099
p moule vide (g)	3844	3844	3844

p sol humide (g)		4097	4241	4255		
p du sol sec (g)		3593,86	3649,43	3588,90		
V moule (m³)		2104	2104	2104		
Densité seche avant		1,71	1,73	1,71		
ω en eau		14		16		18
N Tare	R9	561	F42	B7	I51	D7
p T humide (g)	107,37	106,15	97,91	97,58	104,15	104,53
p T sec (g)	96,3	95,2	86,9	86,5	90,81	91,05
P de taire (%)	18,2	17,95	19,62	17,51	18,52	18,8
p sol humide (g)	89,17	88,2	78,29	80,07	85,63	85,73
P eau (%)	78,1	77,25	67,28	68,99	72,29	72,25
p du sol sec (g)	11,07	10,95	11,01	11,08	13,34	13,48
T en eau (ω)	14,17	14,17	16,36	16,06	18,45	18,66
Moyenne (ω)		14,17		16,21		18,56



Courbe Proctor modifié pour différents mélanges argiles Oued Nechou

Les données de cette courbe sont présentées dans les tableaux suivants :

100% sable		90% sable		80% sable		70% sable	
Expérimentale		Expérimentale		Expérimentale		Expérimentale	
ω	γ_d	ω	γ_d	ω	γ_d	ω	γ_d
4.84	1.59	6.65	1.67	8.66	1.77	10.18	1.79
6.46	1.61	8.23	1.72	10.82	1.8	12.01	1.87
8.57	1.58	10.74	1.71	12.66	1.79	14.37	1.86
10.57	1.56	12.74	1.7	14.66	1.77	16.37	1.84

60 % sable		50 % sable	
Expérimentale		Expérimentale	
ω	γ_d	ω	γ_d
10.95	1.76	14.17	1.71
12.19	1.84	16.21	1.73
14.43	1.85	18.56	1.71
16.49	1.81	20.56	1.69
18.49	1.79	14.17	1.71

Interprétation de la courbe :

- La courbe Proctor du sol étudié présente une forme en cloche (bombée), ce qui montre la sensibilité du matériau à l'eau.
- L'analyse de cette courbe a permis d'aboutir à une teneur en eau optimale de 14% et une densité sèche de 1,76 g/cm³. (modifier selon vos résultats).

Également, nous obtenons des résultats identiques à ceux que vous avez découverts dans l'étude d'Azzouz en 2016.

Remarque :

Selon les résultats des essais de mélange du sable de dune avec l'incorporation des pourcentages d'argile suivants : 10%, 20%, 30%, 40%, et 50% provenant d'Oued Nechou, il a été déterminé que le mélange optimal est obtenu avec 70% de sable de dune et 30% d'argile parmi ces diverses combinaisons.

Également, nous obtenons des résultats identiques à ceux que vous avez découverts dans l'étude d'Azzouz en 2016.

IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Bouhraoua (sable de 90% et argile de 10%) :

c.1. 100 % sable

ω en eau	4	6	8
p T humide (g)	7352	7452	7466
p moule vide (g)	3844	3844	3844
p sol humide (g)	3508	3608	3622
p du sol sec (g)	3345,73	3389,07	3336,10
V moule (m3)	2104	2104	2104
densite seche exact	1,59	1,61	1,59

ω en eau	4		6		8	
N Tare	W17	F1	531	W31	I53	516
p T humide (g)	132,51	133,06	132,33	132,66	104,84	97,37
p T sec (g)	127,31	127,74	124,94	126,22	98,08	91,42
P de taire (%)	18,35	19,32	18,17	18,78	18,52	19,62
p sol humide (g)	114,16	113,74	114,16	113,88	86,32	77,75
P Eau (%)	5,2	5,32	7,39	6,44	7,02	5,95
p du sol sec (g)	108,96	108,42	106,77	107,44	79,3	71,8
T en eau (ω)	4,77	4,91	6,92	5,99	8,85	8,29
Moyenne (ω)	4,84		6,46		8,57	

c.2. 90 % sable / 10 % Argile

ω en eau	8	10	12	14
p T humide (g)	7839	8262	8265	8339
p moule vide (g)	3844	3844	3844	3844
p sol humide (g)	3995	4418	4421	4495
p du sol sec (g)	3692,24	4006,53	3934,67	3932,98
V moule (m3)	2104	2104	2104	2104
densite seche Avant	1,75	1,90	1,87	1,87

ω en eau	8	10	12	14				
N Tare	509	F42	W4	X7	R9	MZ	504	548
p T humide (g)	138,19	138,01	148,2	148,11	148,2	148,11	133,31	133,63
p T sec (g)	129,14	128,9	136,18	135,97	134,18	133,6	119,17	118,86
P de tairé (%)	18,28	18,2	18,3	18,6	18,27	18,62	18,62	18,85
p sol humide (g)	119,91	119,81	129,9	129,51	129,93	129,49	114,69	114,78
P Eau (%)	9,05	9,11	12,02	12,14	14,02	14,51	14,14	14,77
p du sol sec (g)	110,86	110,70	117,88	117,37	115,91	114,98	100,55	100,01
T en eau (ω)	8,16	8,23	10,20	10,34	12,10	12,62	14,06	14,77
Moyenne (ω)	8,20	10,27	12,36	14,42				

IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Bouhraoua (sable de 80% et argile de 20%) :

c.3. 80 % sable / 20 % Argile

ω en eau	8	10	12
p T humide (g)	7776	7947	7995

p moule vide (g)	3844	3844	3844
p sol humide (g)	3932	4103	4151
p du sol sec (g)	3630,66	3723,57	3698,00
V moule (m3)	2104	2104	2104
densite seche Avant	1,73	1,77	1,76

ω en eau	8		10		12	
N Tare	E10	A40	52	D10	C10	Z30
p T humide (g)	99,89	112,77	124,07	130,78	125,36	103,75
p T sec (g)	93,37	105,61	114,33	120,5	113,44	94,71
P de taire (%)	15,56	18,61	19,2	19,12	18,35	19,18
p sol humide (g)	84,33	94,16	104,87	111,66	107,01	84,57
P Eau (%)	6,52	7,16	9,74	10,28	11,92	9,04
p du sol sec (g)	77,81	87,00	95,13	101,38	95,09	75,53
T en eau (ω)	8,38	8,23	10,24	10,14	12,54	11,97
Moyenne (ω)	8,30		10,19		12,25	

IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Bouhraoua (sable de 70% et argile de 30%) :

c.4. 70 % sable / 30 % Argile

ω en eau	10	12	14
p T humide (g)	8355	8502	8360
p moule vide (g)	3844	3844	3844

p sol humide (g)	4511	4658	4516
p du sol sec (g)	4086,42	4152,63	3961,40
V moule (m3)	2104	2104	2104
Densité sèche	1,94	1,97	1,88

ω en eau	10		12		14	
N Tare	A10	S2	X9	W24	C4	W4
p T humide (g)	108,94	108,62	111,4	112,72	130	130
p T sec (g)	100,38	100,26	101,5	102,5	116,11	116,5
P de tairé (%)	18,6	19,2	20,2	18,43	18,62	18,3
p sol humide (g)	90,34	89,42	91,2	94,29	111,38	111,7
P Eau (%)	8,56	8,36	9,90	10,22	13,89	13,50
p du sol sec (g)	81,78	81,06	81,30	84,07	97,49	98,20
T en eau (ω)	10,47	10,31	12,18	12,16	14,25	13,75
Moyenne (ω)	10,39		12,17		14,00	

IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Bouhraoua (sable de 60% et argile de 40%) :

c.5. 60 % sable / 40 % Argile

ω en eau	4	6	8
p T humide (g)	8351	8477	8385

p moule vide (g)	3844	3844	3844
p sol humide (g)	4507	4633	4541
p du sol sec (g)	4065,12	4100,73	3982,63
V moule (m3)	2104	2104	2104
densite seche Avant	1,93	1,95	1,89

ω en eau	10		12		14	
N Tare	W17	S16	I17	W31	F1	F20
p T humide (g)	131,07	131,33	121,45	121,45	126,85	126,34
p T sec (g)	120,06	120,34	109,65	109,65	113,2	113,5
P de tair (%)	18,37	19,62	18,67	18,77	19,32	18,44
p sol humide (g)	112,7	111,71	102,78	102,68	107,53	107,9
p du sol sec (g)	101,69	100,72	90,98	90,88	93,88	95,06
P Eau (%)	11,01	10,99	11,80	11,80	13,65	12,84
T en eau (ω)	10,83	10,91	12,97	12,98	14,54	13,51
Moyenne (ω)	10,87		12,98		14,02	

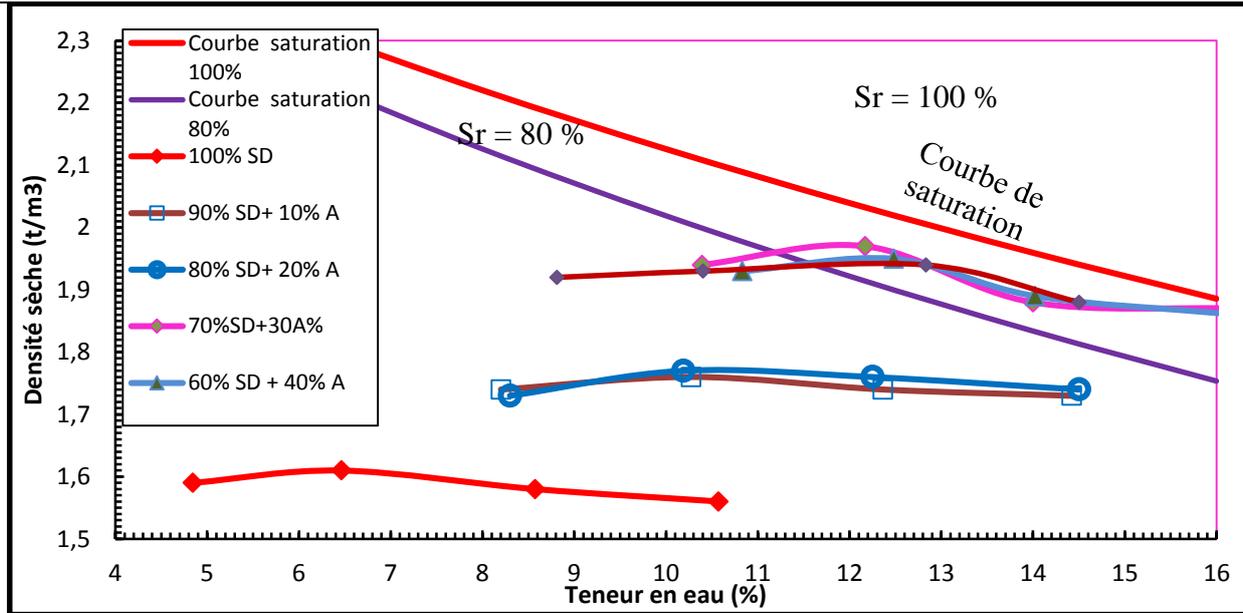
IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Bouhraoua (sable de 50% et argile de 50%) :

c.6. 50 % sable / 50 % Argile

ω en eau	8	10	12	14
p T humide (g)	7352	7452	7466	7466

p moule vide (g)	3844	3844	3844	3844
p sol humide (g)	3508	3608	3622	3622
p du sol sec (g)	3245,14	3268,12	3210,14	3163,32
V moule (m3)	2104	2104	2104	2104
densite seche Avant	1,54	1,55	1,53	1,50

ω en eau	8		10		12		14	
N Tare	K	S2	F1	F20	I7	W31	W17	S16
p T humide (g)	104,11	104,13	128,78	128,49	124,52	124,89	121,55	121,63
p T sec (g)	96,95	97,32	118,4	118,2	112,5	112,8	108,5	108,7
P de taire (%)	17,5	18,19	19,32	18,44	18,78	18,66	18,35	19,62
p sol humide (g)	86,61	85,94	109,46	110,05	105,74	106,23	103,2	102,01
p du sol sec (g)	79,45	79,13	99,08	99,76	93,72	94,14	90,15	89,08
P Eau (%)	7,16	6,81	10,38	10,29	12,02	12,09	13,05	12,93
T en eau (ω)	9,01	8,61	10,48	10,31	12,83	12,84	14,48	14,52
Moyenne (ω)	8,81		10,40		12,83		14,50	



Courbe Proctor modifié pour différents mélanges argiles Bouhraoua

Les données de cette courbe sont présentées dans les tableaux suivants :

100% sable		90% sable		80% sable		70% sable	
Expérimentale		Expérimentale		Expérimentale		Expérimentale	
ω	γ_d	ω	γ_d	ω	γ_d	ω	γ_d
4.84	1.59	8.20	1.74	8.30	1.73	10.39	1.94
6.46	1.61	10.27	1.76	10.19	1.77	12.17	1.97
8.57	1.58	12.36	1.74	12.25	1.76	14	1.88
10.57	1.56	14.42	1.73	14.50	1.74	16.3	1.87

60 % sable		50 % sable	
Expérimentale		Expérimentale	
ω	γ_d	ω	γ_d
10.83	1.93	8.81	1.92
12.48	1.95	10.4	1.93

14.02	1.89			12.83	1.94
16.22	1.86			14.5	1.88
10.83	1.930			8.81	1.92

Interprétation de la courbe :

- La courbe Proctor du sol étudié présente une forme en cloche (bombée), ce qui montre la sensibilité du matériau à l'eau.
- L'analyse de cette courbe a permis d'aboutir à une teneur en eau optimale de 14% et une densité sèche de 1,76 g/cm³. (modifier selon vos résultats).

Également, nous obtenons des résultats identiques à ceux que vous avez découverts dans l'étude d'Azzouz en 2016.

Remarque :

Selon les résultats des essais de mélange du sable de dune avec l'incorporation des pourcentages d'argile suivants : 10%, 20%, 30%, 40%, et 50% provenant d'Oued Nechou, il a été déterminé que le mélange optimal est obtenu avec 70% de sable de dune et 30% d'argile parmi ces diverses combinaisons.

Également, nous obtenons des résultats identiques à ceux que vous avez découverts dans l'étude d'Azzouz en 2016.

IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Metlil eldjadida (sable de 90% et argile de 10%) :

b.1. 100 % sable

ω en eau	4	6	8
p T humide (g)	7352	7452	7466
p moule vide (g)	3844	3844	3844
p sol humide (g)	3508	3608	3622
p du sol sec (g)	3345,73	3373,22	3336,10
V moule (m³)	2104	2104	2104
Densité sèche	1,59	1,60	1,59

ω en eau	4			6			8		
N Tare	W17	F1	531	W31	I53	516			
p T humide (g)	132,51	133,06	132,33	132,66	104,84	97,37			
p T sec (g)	127,31	127,74	124,94	125,22	98,08	91,42			
P de taire (%)	18,35	19,32	18,17	18,78	18,52	19,62			
p sol humide (g)	114,16	113,74	114,16	113,88	86,32	77,75			
P eau (%)	5,2	5,32	7,39	7,44	7,02	5,95			
p du sol sec (g)	108,96	108,42	106,77	106,44	79,3	71,8			
T en eau (ω)	4,77	4,91	6,92	6,99	8,85	8,29			
Moyenne (ω)	4,84			6,96			8,57		

b.2. 90 % sable / 10 % Argile

ω en eau	10	12	14
p T humide (g)	7926	8052	8111
p moule vide (g)	3844	3844	3844
p sol humide (g)	4082	4208	4267
p du sol sec (g)	3701,82	3756,81	3740,69
V moule (m ³)	2104	2104	2104
Densité seche avant	1,76	1,79	1,78

ω en eau	10		12		14	
N Tare	564	W4	A3	K	S16	A14
p T humide (g)	120,36	120,27	108,69	108,73	102,36	102,8
p T sec (g)	110,85	110,81	99,01	98,92	92,2	92,4
P de taire (%)	18,59	18,33	18,19	17,52	19,63	18,9
p sol humide (g)	101,77	101,94	90,5	91,21	82,73	83,9

P eau (%)	9,51	9,46	9,68	9,81	10,16	10,40
p du sol sec (g)	92,26	92,48	80,82	81,4	72,57	73,5
T en eau (ω)	10,31	10,23	11,98	12,05	14,00	14,15
Moyenne (ω)	10,27		12,01		14,07	

IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Metlil eldjadida (sable de 80% et argile de 20%) :

b.3. 80 % sable / 20 % Argile

ω en eau	8	10	12
p T humide (g)	8140	8251	8260
p moule vide (g)	3842	3842	3842
p sol humide (g)	4298	4409	4418
p du sol sec (g)	3815,36	3850,99	3806,32
V moule (m ³)	2104	2104	2104
Densité seche avant	1,81	1,83	1,81

ω en eau	12		14		16	
N Tare	B7	569	F42	542	S9	551
p T humide (g)	131,23	131,65	122,39	122,15	119,58	119,07
p T sec (g)	118,36	119,36	109,21	109,03	105,6	105,1
P de taire (%)	18,58	20,23	18,2	18,55	18,85	17,9
p sol humide (g)	112,65	111,42	104,19	103,6	100,73	101,17
P eau (%)	12,87	12,29	13,18	13,12	13,98	13,97
p du sol sec (g)	99,78	99,13	91,01	90,48	86,75	87,20
T en eau (ω)	12,90	12,40	14,48	14,50	16,12	16,02
Moyenne (ω)	12,65		14,49		16,07	

IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Metlil eldjadida (sable de 70% et argile de 30%) :

b.4. 70 % sable / 30 % Argile

ω en eau	10	12	14
p T humide (g)	8100	8320	8209
p moule vide (g)	3842	3842	3842
p sol humide (g)	4258	4478	4367
p du sol sec (g)	3713,91	3843,78	3688,34
V moule (m ³)	2104	2104	2104
Densité sèche	1,77	1,83	1,75

ω en eau	14		16		18	
N Tare	D7	MZ	555	549	W24	S1
p T humide (g)	111,12	111,23	112,27	112,9	137,27	129,85
p T sec (g)	98,95	99,5	99,01	99,55	118,63	112,73
P de tairé (%)	16,81	18,53	18,78	18,52	18,45	18,67
p sol humide (g)	94,31	92,7	93,49	94,38	118,82	111,18
P eau (%)	12,17	11,73	13,26	13,35	18,64	17,12
p du sol sec (g)	82,14	80,97	80,23	81,03	100,18	94,06
T en eau (ω)	14,82	14,49	16,53	16,48	18,61	18,20
Moyenne (ω)	14,65		16,50		18,40	

IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Metlil eldjadida (sable de 60% et argile de 40%) :

b.5. 60 % sable / 40 % Argile

ω en eau	14	16	18
p T humide (g)	7992	8203	8175
p moule vide (g)	3842	3842	3929
p sol humide (g)	4150	4361	4246
p du sol sec (g)	3620,98	3759,16	3576,78
V moule (m ³)	2104	2104	2104
Densité seche avant	1,72	1,79	1,70

ω en eau	14		18		16	
N Tare	542	B7	8	W33	A14	S9
p T humide (g)	115,83	115,83	110,11	110,78	106,09	106,6
p T sec (g)	103,49	103,37	97,55	98,01	92,25	92,8
P de taire (%)	18,56	18,59	18,52	18,8	18,52	18,8
p sol humide (g)	97,27	97,24	91,59	91,98	87,57	87,8
P eau (%)	84,93	84,78	79,03	79,21	73,73	74
p du sol sec (g)	12,34	12,46	12,56	12,77	13,84	13,80
T en eau (ω)	14,53	14,70	15,89	16,12	18,77	18,65
Moyenne (ω)	14,61		16,01		18,71	

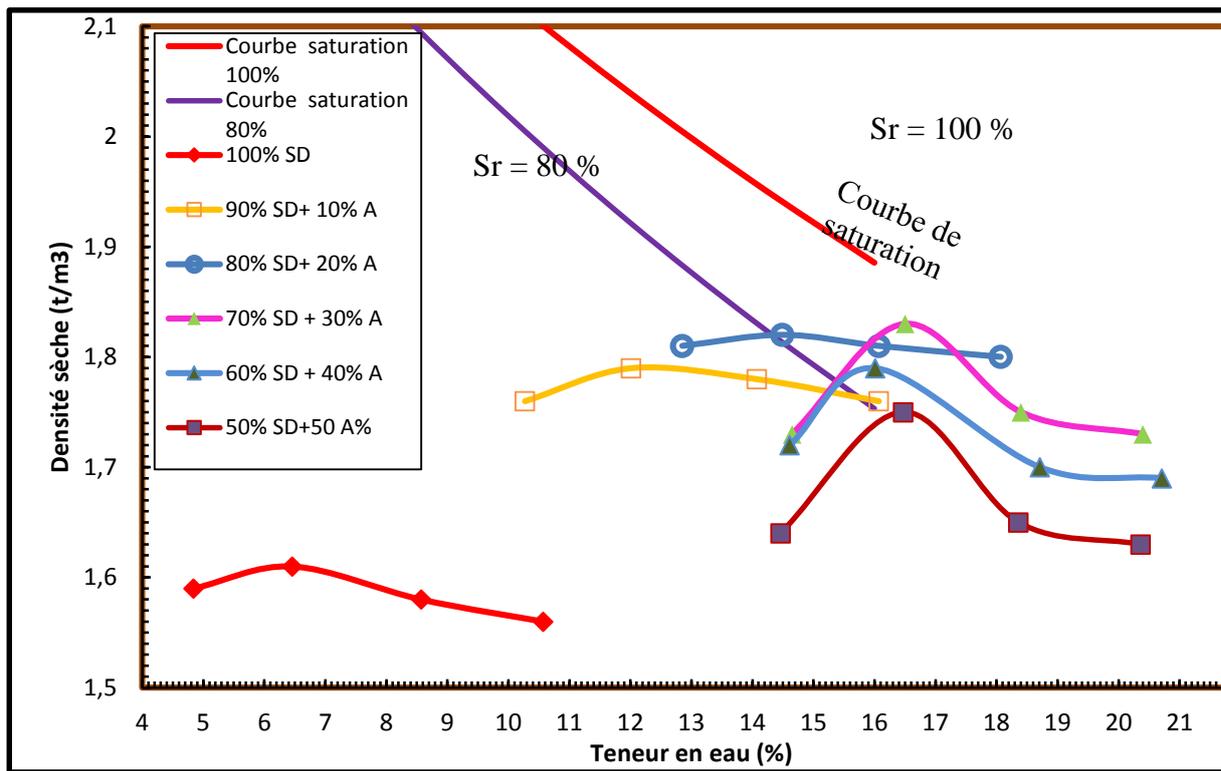
IV.3.1.2. Résultat de l'essai de Proctor modifier Pour le mélange de sable de dune / Argile de Metlil eldjadida (sable de 50% et argile de 50%) :

b.6. 50 % sable / 50 % Argile

ω en eau	14	16	18
p T humide (g)	7800	8123	7945
p moule vide (g)	3842	3842	3844

p sol humide (g)	3958	4281	4101
p du sol sec (g)	3457,98	3675,62	3464,85
V moule (m³)	2104	2104	2104
Densité seche avant	1,64	1,75	1,65

ω en eau	14		16		18	
N Tare	S9	542	564	A3	A14	B7
p T humide (g)	115,33	115,27	115,05	115,65	114,33	114,58
p T sec (g)	103,01	103,18	101,66	101,62	99,33	99,88
P de taire (%)	18,85	18,53	18,6	18,22	18,9	18,56
p sol humide (g)	96,48	96,74	96,45	97,43	95,43	96,02
P eau (%)	84,16	84,65	83,06	83,4	80,43	81,32
p du sol sec (g)	12,32	12,09	13,39	14,03	15	14,70
T en eau (ω)	14,64	14,28	16,12	16,82	18,65	18,08
Moyenne (ω)	14,46		16,47		18,36	



Proctor Modifié pour différents mélanges argiles Metlili

Les données de cette courbe sont présentées dans les tableaux suivants :

100% sable		90% sable		80% sable		70% sable	
Expérimentale		Expérimentale		Expérimentale		Expérimentale	
ω	γ_d	ω	γ_d	ω	γ_d	ω	γ_d
4.84	1.59	10.27	1.76	12.85	1.81	14.65	1.73
6.46	1.61	12.01	1.79	14.49	1.82	16.5	1.83
8.57	1.58	14.07	1.78	16.07	1.81	18.4	1.75
10.57	1.56	16.07	1.76	18.07	1.8	20.4	1.73

60 % sable	
Expérimentale	
ω	γ_d

50 % sable	
Expérimentale	
ω	γ_d

14.61	1.72	14.46	1.64
16.01	1.79	16.47	1.75
18.71	1.7	18.36	1.65
20.71	1.69	20.36	1.63
14.61	1.72	14.46	1.64

Interprétation de la courbe

- La courbe Proctor du sol étudié présente une forme en cloche (bombée), ce qui montre la sensibilité du matériau à l'eau.
- L'analyse de cette courbe a permis d'aboutir à une teneur en eau optimale de 14% et une densité sèche de 1,76 g/cm³. (modifier selon vos résultats.

Également, nous obtenons des résultats identiques à ceux que vous avez découverts dans l'étude d'Azzouz en 2016.

Remarque :

Selon les résultats des essais de mélange du sable de dune avec l'incorporation des pourcentages d'argile suivants : 10%, 20%, 30%, 40%, et 50% provenant d'Oued Nechou, il a été déterminé que le mélange optimal est obtenu avec 70% de sable de dune et 30% d'argile parmi ces diverses combinaisons.

Également, nous obtenons des résultats identiques à ceux que vous avez découverts dans l'étude d'Azzouz en 2016.

Le tableau suivant représente le résultat des différentes caractéristiques mécaniques des trois mélanges d'après essais de Proctor modifié.

les différentes caractéristiques mécaniques des trois mélanges d'après essais de Proctor modifié.

- Le tableau précédent représente le mélange optimale (70% sable + 30 % argile) pour chaque région tel que :

Tableau xxx : les différentes caractéristiques mécaniques des trois mélanges d'après essais de Proctor modifié.

Formulation optimale	Site des argiles étudiées	W(%)	γ_d (g/cm ³)
Formulation optimale = 70% Sable de dune +30% Argile	Oued Nechou	12, 01	1,87
	Metlili	20, 04	1,83
	Bouhraoua	16, 3	1,97

- Bouhraoua ($\gamma_d = 1.97 \text{ g/cm}^3$)
- Oued Nechou ($\gamma_d = 1.87 \text{ g/cm}^3$)
- Metlili ($\gamma_d = 1.83 \text{ g/cm}^3$)

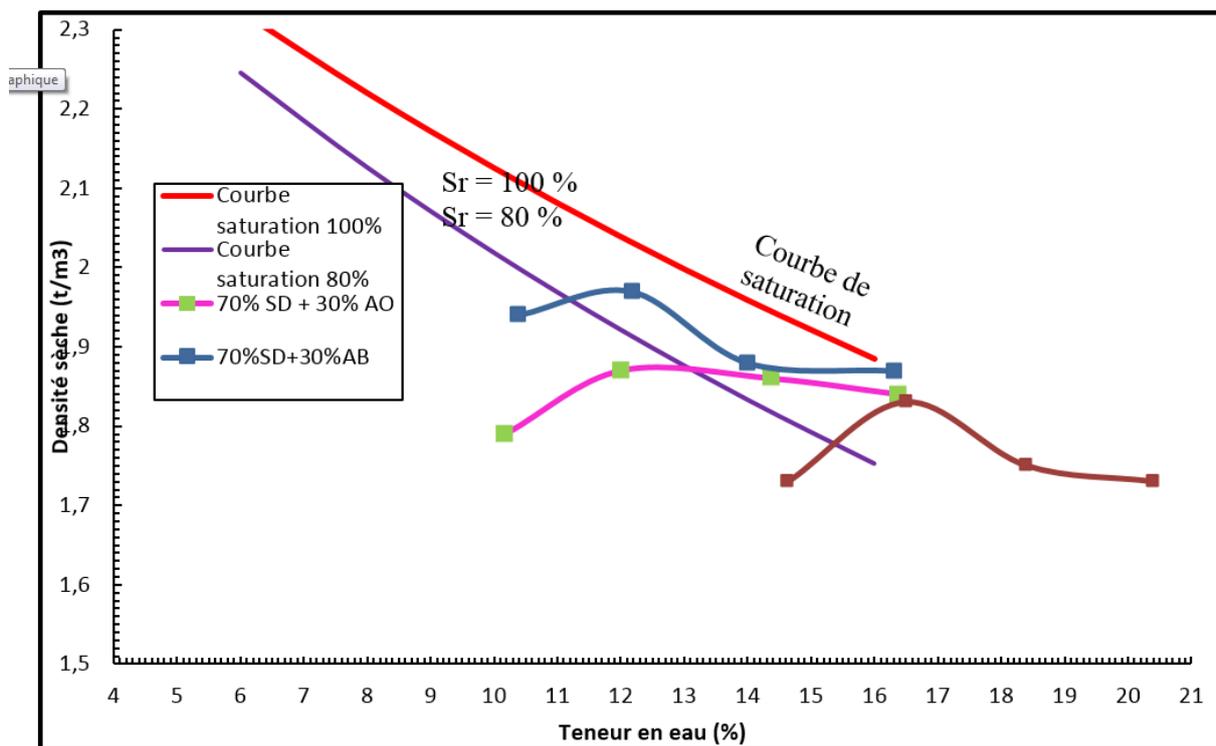


Figure VI.3 : Courbe proctor d'échantillon argile Bouhraoua, Oued Necho, Metlili et sable de dune

L'analyse de la figure offre des informations complémentaires à savoir :

Le mélange sable de dune/argile Bouhraoua présente une densité sèche maximale de l'ordre de 19,7 kN/m³ correspondant à une teneur en eau optimale de l'ordre de 12, 17 %.

Le mélange sable de dune/argile Oued Nechou présente une densité sèche maximale de l'ordre de 18,7 kN/m³ correspondant à une teneur en eau optimale de l'ordre de 12, 50 %.

Le mélange sable de dune/argile Metlili présente une densité sèche maximale de l'ordre de 18,3 kN/m³ correspondant à une teneur en eau optimale de l'ordre de 16, 50 %.

Pour chaque courbe de compactage, le poids volumique sec du mélange sable-bentonite le poids volumique sec du mélange diminue avec la teneur en eau. Le poids volumique sec maximum et la teneur en eau optimale correspondent au sommet des courbes du compactage.

On remarque bien que la teneur en eau augmente avec le pourcentage de argile (voir tableau caractéristique) par contre le poids volumique sec maximum diminue. Ces résultats sont en accord avec ceux de Chalermyanont et Arrykul, (2005) et Kouloughli (2007) et gueddouda k m (2011).

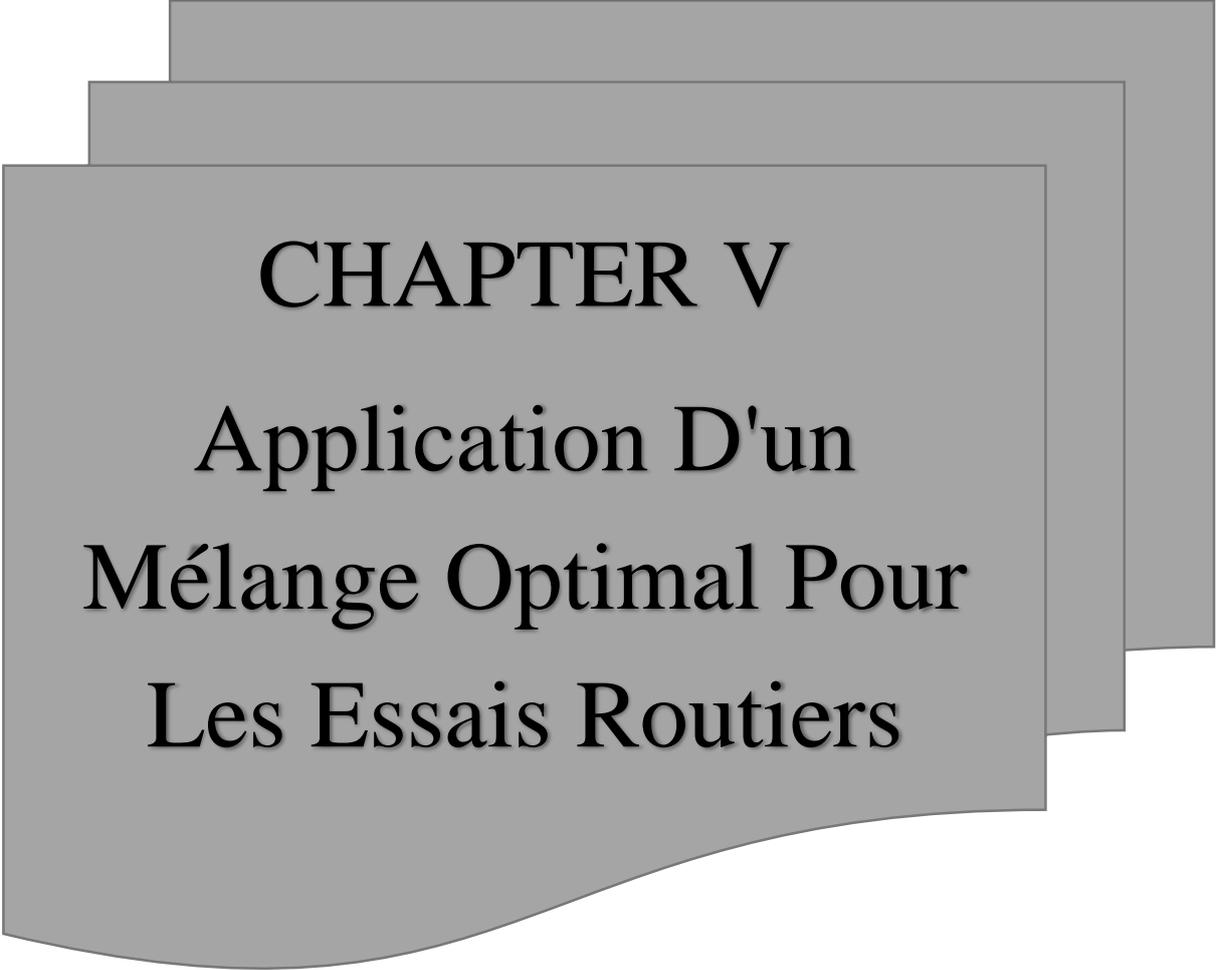
Conclusion :

Selon les résultats des essais de mélange du sable de dune avec l'incorporation des pourcentages d'argile suivants : 10%, 20%, 30%, 40%, et 50% provenant d'Oued Nechou, il a été déterminé que le mélange optimal est obtenu avec 70% de sable de dune et 30% d'argile parmi ces diverses combinaisons. Les mêmes résultats identiques à ceux que vous avez découverts dans l'étude d'Azzouz en 2016.

Le mélange de sable de dune/argile d'Oued Nechou présente une densité sèche maximale d'environ 18,7 kN/m³, avec une teneur en eau optimale d'environ 12,50%. En revanche, le mélange de sable de dune/argile de Metlili affiche une densité sèche maximale d'environ 18,3 kN/m³, avec une teneur en eau optimale différente de 20%.

Le mélange de sable de dune/argile d'Oued Nechou présente une densité sèche maximale d'environ 18,7 kN/m³, avec une teneur en eau optimale d'environ 12,50%. En revanche, le mélange de sable de dune/argile de Bouhraoua affiche une densité sèche maximale d'environ 19,7 kN/m³, avec une teneur en eau optimale différente de 12%.

La nature ou la structure de l'argile exerce une influence sur les caractéristiques mécaniques, notamment sur la densité sèche maximale et la teneur en eau optimale



CHAPTER V

**Application D'un
Mélange Optimal Pour
Les Essais Routiers**

Introduction:

Ce chapitre expose les résultats des essais réalisés sur le mélange optimal des trois échantillons (70% de sable et 30% d'argile) dans les trois régions (Oued Nechou, Metlili, Bouhraoua). Dans un premier temps, les essais d'identification des mélanges optimaux, tels que la granulométrie, les limites d'Atterberg, et le bleu de méthylène, sont présentés. De plus, une classification GTR de ces mélanges est effectuée.

Dans un deuxième temps, les résultats de l'essai CBR immédiat et imbibé, ainsi que l'évolution de la résistance à la compression des trois mélanges optimaux, sont également présentés.

V.2. Résultats d'essais des granulométriques des trois mélanges optimaux étudiés

Les résultats des essais granulométriques des trois mélanges examinés sont illustrés graphiquement à travers des courbes appelées "courbes granulométriques". À partir de ces courbes, nous pouvons extraire certains paramètres permettant ensuite de classer le sol.

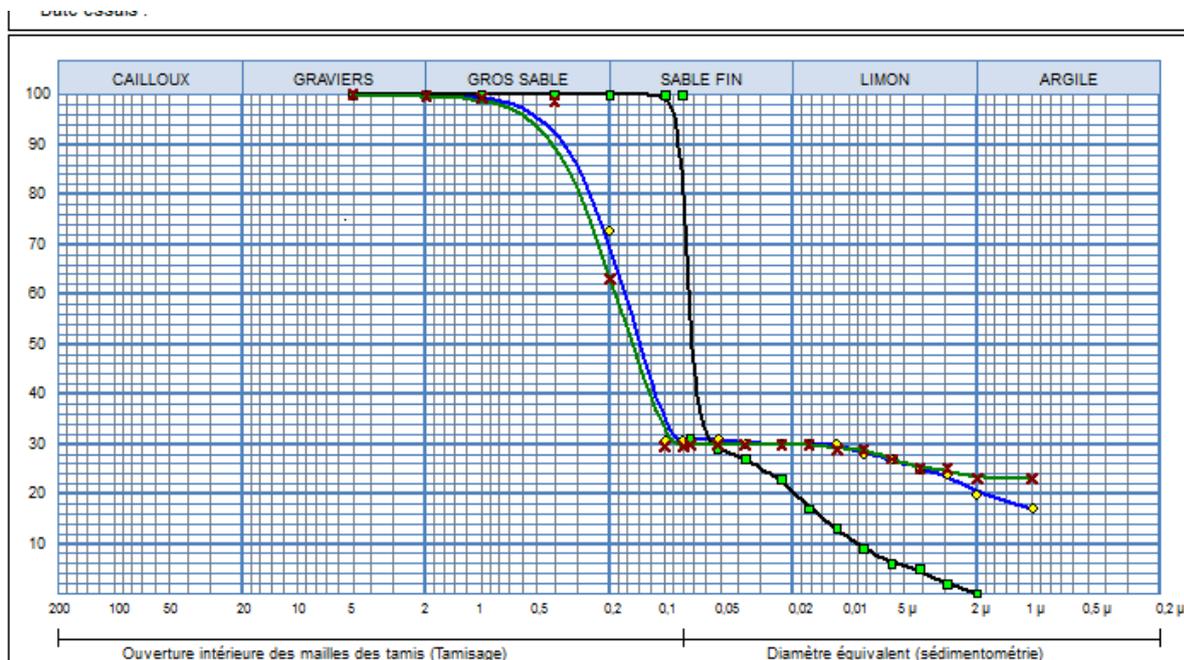


Figure V.01. Courbe granulométrique des trois mélanges.

La distribution granulométrique des trois argiles obtenue révèle les observations suivantes :

La fraction fine est assez importante pour Oued Nechou (36%) et Metlili (26%), mais assez faible pour Bouhraoua (46%).

Une présence de particules sableuses est assez faible pour Oued Nechou (14%) et Metlili (08%), mais assez importante pour Bouhraoua (6%).

Le pourcentage de particules limoneuses est de 50% pour Oued Nechou et 48% pour Bouhraoua, comparable à celui de l'argile d'Oued Nechou, mais assez important pour Metlili (66%).

Ainsi, en se basant sur cette analyse granulométrique présentée dans la courbe, on peut conclure que l'on a affaire à un sol à prédominance limono-argileuse pour les trois types d'argiles.

V.3. Résultats d'essais de limites d'Atterberg des trois mélanges optimaux étudiés

- **Tableau IV.01. Récapitulation des résultats d'essais de limites d'Atterberg des mélanges optimaux étudiés.**

Limites D'Atterberg	Valeur (%)		
	S/MD	S/B	S/OD
Limite de liquidité	34,26	22,05	33,6
Limite de plasticité	18,57	14,51	18,45
Indice de plasticité	15,69	7,54	15,15

on utilise pour simplifier écriture sur les tableaux

S/MD : mélange optimal de Meltli El djadida

S/B: Bouhraoua

S/OD: Oued Nechou

Pour les sols fins, il est courant de représenter les valeurs de plasticité (IP) et de limite liquide (WL) sur un diagramme où l'indice de plasticité est en ordonnée et la limite liquide en abscisse. Ce graphique est communément appelé "diagramme de Casagrande" (Figure V.02).

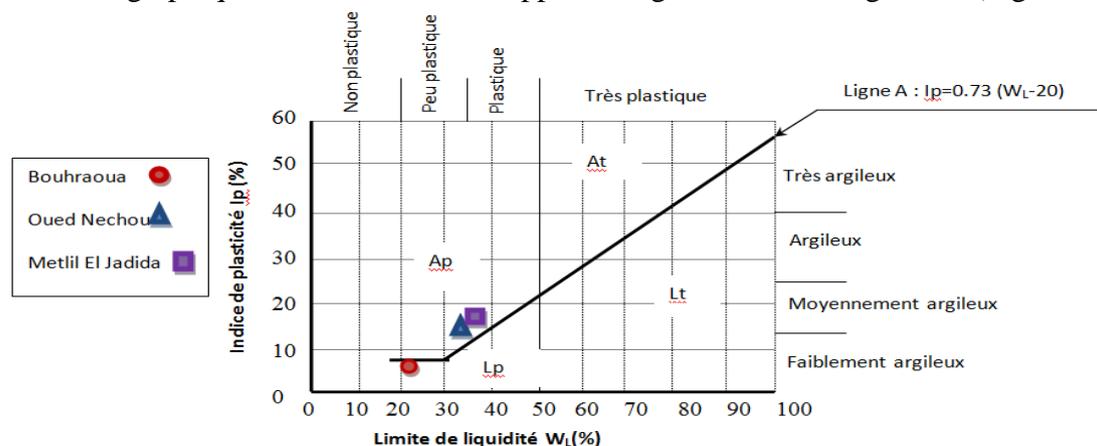


Figure V.02: Classification des mélanges optimaux selon l'abaque de Casagrande

Selon la classification LCPC, et l'abaque de plasticité de Casa grande les trois mélanges sont classés comme Moyennement Argileux très plastique.

V.4. Résultats d'essais de bleu de méthylène des trois mélanges optimaux étudiés

L'essai est fait selon. Le principe de cet essai consiste à contrôler l'absorption du bleu de méthylène injecté dans un bain aqueux contenant les fines de la prise d'essai, en observant une goutte de suspension déposée sur une feuille de papier filtre.

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

On appelle valeur de bleu de méthylène VB, la quantité exprimée en gramme de bleu de méthylène absorbée par 100 g de fines.

De cet essai, nous pouvons tirer :

❖ La surface spécifique totale :

$$SST = 20.93 \times V_{cc} \times \frac{1}{P_s}$$

- SST : surface spécifique (m²/g).
- V_{cc} : volume de solution utilisé (cm³).
- P_s : poids de matériaux secs (g).
- 20,93 : surface correspondant à 1 cm³ de bleu de méthylène.

❖ L'indice de nocivité de la fraction argileuse qui est définie par :

$$N = \frac{100 V_s \left(\text{Fraction} \frac{O}{D} \right)}{C_2}$$

Avec : C₂ : terme en pourcentage des éléments < 2μ de la fraction O/D.

Le tableau des résultats du test consiste à contrôler l'adsorption du bleu de méthylène injecté dans un bain-marie contenant les granulés de l'échantillon à tester pour les trois régions, en notant une goutte de suspension de précipitation sur une feuille de papier filtre. La valeur du bleu de méthylène VB est la quantité exprimée en grammes de bleu de méthylène absorbée pour 100.

- **Tableau V.02. Les volumes du bleu des mélanges optimaux**

Paramètre	Volume absorbé (ml)
S/MD	2,50
S/B	1,35
S/OD	1,50

Selon ces résultats du VBS obtenue pour l'argile de Bouhraoua est de $VBS = 1,35$ et pour l'argile d'Oued Nechou est de $VBS = 1,50$ sont comparable coïncide avec une activité argileuse modérée correspondant sont classe comme des sols sablo-limoneux des sols argileux. Et le mélanges de argile de Metlili el Jadida de $VBS = 2,50$ se classe comme un sol limoneux peu plastique des sols limoneux de plasticité moyenne, après le tableau (V.02).

V.5. Classification GTR des trois mélanges optimaux :

Selon Classification GTR notre matériaux est classé comme : sable dune/ argile, famille des matériaux fins.

- **Mélange de sable /Argile Bouhraoua:**

$D_{max} < 50mm$;

Passant à $80\mu m = 35\%$;

$I_p > 12\%$;

- **Mélange de sable /Argile Oued Nechou:**

$D_{max} < 50mm$;

Passant à $80\mu m = 35\%$;

$I_p > 12\%$;

- **Mélange de sable /Argile Metlili:**

$D_{max} < 50mm$;

Passant à $80\mu m = 35\%$;

$I_p > 12\%$;

IV.5.4.2 Essai De Portance Californien (California Bearing Ratio) (C.B.R) (NF P 94-078) :

Le C.B.R est un essai de poinçonnement réalisé dans des conditions bien définies, sur des

Échantillons moulés suivant la méthode de Proctor modifié, avec des énergies et des teneurs en eau déterminées. Cet essai a pour but, d'évaluer la portance d'un sol ou d'un matériau utilisé dans la construction des ouvrages en terre ou les assises de chaussées et pour la confection des remblais et les couches de forme, en fonction de sa teneur en eau.

On réalise des essais deux types CBR :

- CBR immédiat
- CBR imbibé (a 04 heures)

IV.5.4.2.1 CBR immédiat

Cet essai est réalisé pour montrer l'effet des surcharges sur la portance de sol. L'essai consiste à poinçonner par un piston des échantillons de sol compactés selon la norme NF P 94-078 avant d'effectuer le poinçonnement on dispose deux charges annulaire (deux disque de 2/3kg chacun) afin de simuler les contraintes apportées par les couches supérieures.

CBR immersion :

L'essai consiste à mesuré l'indice CBR après immersion, c'est la même procédure que la détermination de l'indice C.B.R Immédiat. Sauf que l'échantillon de sol préalablement compactés et soumis à l'imbibition pendant quatre jours selon la norme (NF P 94-078), après quatre (4) jours d'immersion on mesure la hauteur de gonflement (Δh) indiquée par le comparateur. On a mesuré le gonflement pendant la période d'immersion des essais CBR imbibé.



Figure V.02 : Essai CBR imbibé après 04 heures sur une période de 04 jours.

Tableau V.03. Résultats des essais Proctor modifié pour le mélange sable de dune / argile d'Oued Nechou (avec 7 0% de sable et 30% d'argile) obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

ω en eau	10	12	14
p T humide (g)	7985	8325	8398
p moule vide (g)	3843	3929	3929
p sol humide (g)	4142	4396	4469
p du sol sec (g)	3759,30	3924,65	3920,18
V moule (m ³)	2104	2104	2104
Densité sèche	1,79	1,87	1,86

ω en eau	10		12		14	
N Tare	F20	F1	K	S2	548	504
p T humide (g)	121,06	122,27	111,59	111,61	103,91	104,01
p T sec (g)	111,67	112,67	101,6	101,6	93,31	93,21
P de taire (%)	18,44	19,32	17,51	19,2	18,85	18,77
p sol humide (g)	102,62	102,95	94,08	92,41	85,06	85,24
P eau (%)	9,39	9,60	9,99	10,01	10,60	10,80
p du sol sec (g)	93,23	93,35	84,09	82,40	74,46	74,44
T en eau (ω)	10,07	10,28	11,88	12,15	14,24	14,51
Moyenne (ω)	10,18		12,01		14,37	

Tableau V.04. Résultats de l'Essai CBR (Immédiat) pour le mélange de d' OUED NECHOU :

Temps	Enforcement		Pression		
	mm	lecture	Valeur	Kgf/Cm2	bars
0' 30"	0,625	0,32	32,64	1,66	0,17
1' 40"	1,25	0,932	95,06	4,84	0,48
2' 00"	2	1,8	183,60	9,36	0,94
4' 00"	2,5	2,2	224,40	11,43	1,14
6' 00"	5	4,275	436,05	22,22	2,22
8' 00"	7,5	5,942	606,08	30,88	3,09
10' 00"	10	7,443	759,19	38,68	3,87
12' 00"	12,5	8,85	902,70	46,00	4,60

$$A_{2.5\text{mm}} = P(2.5)/0.7 = 16.33$$

$$A_{5\text{ mm}} = P(5)/1.05 = 21.16$$

$$\text{CBR} = 21.16$$

Il semble que le tableau présente les résultats de l'essai CBR (California Bearing Ratio) pour le mélange de d'OUED NECHOU à différents intervalles de temps. Voici une interprétation des données fournies :

Temps : Cela indique les différents moments pendant lesquels les mesures ont été prises, en minutes et secondes.

Enforcement : Cela représente la charge appliquée, mesurée en millimètres.

Pression : Les colonnes suivantes donnent la lecture, la valeur, la pression en Kgf/cm2 et en bars. En utilisant les données fournies, vous avez calculé les valeurs suivantes :

A2.5mm : Cela représente le rapport de la pression à 2,5 mm sur 0,7, donnant une valeur de 16,33.

A5 mm : Cela représente le rapport de la pression à 5 mm sur 1,05, donnant une valeur de 21,16.

CBR : La valeur de CBR est indiquée comme 21,16. **Le CBR (California Bearing Ratio)** est une mesure de la capacité portante des sols. Dans ce contexte, la valeur de CBR semble être calculée en utilisant les rapports de pression spécifiques aux profondeurs de 2,5 mm et 5 mm.

Tableau V.05. Résultats de l'Essai CBR (Imbibé) pour le mélange de d'OUED NECHOU :

	Temps		Enforcement		Pression	
		mm	lecture	Valeur	Kgf/Cm2	bars
0' 30"	0,625	0,06	6,12	0,31	0,03	
1' 40"	1,25	0,145	14,79	0,75	0,08	
2' 00"	2	0,28	28,56	1,46	0,15	
4' 00"	2,5	0,351	35,80	1,82	0,18	
6' 00"	5	0,662	67,52	3,44	0,34	
8' 00"	7,5	0,891	90,88	4,63	0,46	
10' 00"	10	1,071	109,24	5,57	0,56	
12' 00"	12,5	1,248	127,30	6,49	0,65	

$$A_{2.5\text{mm}} = P(2.5)/0.7 = 2.61$$

$$A_{5\text{ mm}} = P(5)/1.05 = 3.28$$

$$\text{CBR} = 3.28$$

Ce tableau semble représenter les résultats de l'Essai CBR (California Bearing Ratio) pour le mélange de d'OUED NECHOU dans des conditions imbibées à différents intervalles de temps. Voici une interprétation des données fournies :

Temps : Indique les différents moments pendant lesquels les mesures ont été prises, en minutes et secondes.

Enforcement : Représente la charge appliquée, mesurée en millimètres.

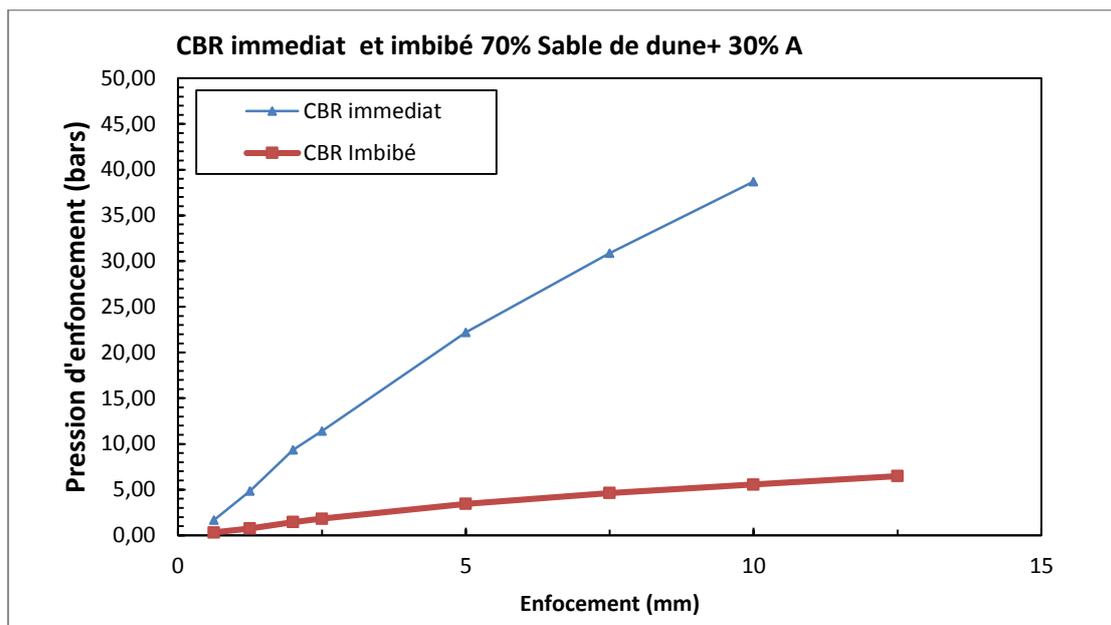
Pression : Les colonnes suivantes donnent la lecture, la valeur, la pression en Kgf/cm2, et en bars. Les calculs effectués à partir des données sont les suivants :

A2.5mm : Représente le rapport de la pression à 2,5 mm divisé par 0,7, donnant une valeur de **2,61**.

A5 mm : Représente le rapport de la pression à 5 mm divisé par 1,05, donnant une valeur de **3,28**.

CBR : La valeur de CBR est indiquée comme **3,28**.

Le **CBR** (California Bearing Ratio) est une mesure importante pour évaluer la capacité portante des sols. Dans ce contexte, les valeurs de CBR indiquent la résistance relative du mélange de d'OUED NECHOU dans des conditions imbibées. Des valeurs plus élevées de CBR indiquent généralement une meilleure capacité portante du sol.



Les Figures précédents représentent la variation de pression d'enfoncement CBR immédiat et imbibé en fonction l'enfoncement pour un mélange optimal de (sable de dune / argile metlili eldjadida).

On montre que la pression de d'enfoncement croît linéairement avec l'enfoncement pour les deux essais (immédiat et imbibé).

La comparaison entre le CBR immédiat et le CBR imbibé pour le mélange de sable de dune/argile à Eldjadida suggère les points suivants

2.5mm : La valeur pour le CBR immédiat à 2,5 mm (16,33) est nettement plus élevée que celle du CBR imbibé (2,61). Cela suggère une meilleure capacité portante immédiate du sol à une profondeur de 2,5 mm dans des conditions sèches.

A5mm : De manière similaire, la valeur pour le CBR immédiat à 5 mm (21,16) est significativement supérieure à celle du CBR imbibé (3,28), indiquant une meilleure capacité portante à une profondeur de 5 mm dans des conditions sèches.

Tableau V.06 : Résultats des essais Proctor modifié pour le mélange sable de dune / argile Metlili eldjadida (avec 7 0% de sable et 30% d'argile) obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

ω en eau	10	12	14
p T humide (g)	8100	8320	8209
p moule vide (g)	3842	3842	3842
p sol humide (g)	4258	4478	4367
p du sol sec (g)	3713,91	3843,78	3688,34
V moule (m³)	2104	2104	2104
Densité sèche	1,77	1,83	1,75

ω en eau	14		16		18	
N Tare	D7	MZ	555	549	W24	S1
p T humide (g)	111,12	111,23	112,27	112,9	137,27	129,85
p T sec (g)	98,95	99,5	99,01	99,55	118,63	112,73
P de taire (%)	16,81	18,53	18,78	18,52	18,45	18,67
p sol humide (g)	94,31	92,7	93,49	94,38	118,82	111,18
P eau (%)	12,17	11,73	13,26	13,35	18,64	17,12
p du sol sec (g)	82,14	80,97	80,23	81,03	100,18	94,06
T en eau (ω)	14,82	14,49	16,53	16,48	18,61	18,20
Moyenne (ω)	14,65		16,50		18,40	

Tableau V.07 : Résultats de l'Essai CBR (Immédiat) pour le mélange sable de dune / argile eldjadida

Temps	Enforcement		Pression		
	mm	lecture	Valeur	Kgf/Cm2	bars
0' 30"	0,625	0,307	31,31	1,60	0,16
1' 40"	1,25	0,508	51,82	2,64	0,26
2' 00"	2	0,697	71,09	3,62	0,36
4' 00"	2,5	0,783	79,87	4,07	0,41
6' 00"	5	1,22	124,44	6,34	0,63
8' 00"	7,5	1,62	165,24	8,42	0,84
10' 00"	10	2	204,00	10,39	1,04
12' 00"	12,5	2,34	238,68	12,16	1,22

$$A_{2.5mm} = P(2.5)/0.7 = 5.81$$

$$A_{5 mm} = P(5)/1.05 = 6.04$$

CBR = 6.04

Tableau V.08 : Résultats de l'Essai CBR (Imbibé) pour le mélange sable de dune / argile metlili eldjadida

	Temps		Enforcement		Pression	
	mm	lecture	Valeur	Kgf/Cm2	bars	
0' 30"	0,625	0,032	3,26	0,17	0,02	
1' 40"	1,25	0,081	8,26	0,42	0,04	
2' 00"	2	0,149	15,20	0,77	0,08	
4' 00"	2,5	0,194	19,79	1,01	0,10	
6' 00"	5	0,37	37,74	1,92	0,19	
8' 00"	7,5	0,529	53,96	2,75	0,27	
10' 00"	10	0,69	70,38	3,59	0,36	
12' 00"	12,5	0,84	85,68	4,37	0,44	

$$A_{2.5\text{mm}} = P(2.5)/0.7 = 1.44$$

$$A_{5\text{ mm}} = P(5)/1.05 = 1.83$$

CBR = 1.83

Le tableau représente les résultats de l'Essai CBR (California Bearing Ratio) pour le mélange de sable de dune/argile à Eldjadida dans des conditions imbibées à différents intervalles de temps. Voici une interprétation des données fournies :

Temps : Indique les différents moments pendant lesquels les mesures ont été prises, en minutes et secondes.

Enforcement : Représente la charge appliquée, mesurée en millimètres.

Pression : Les colonnes suivantes donnent la lecture, la valeur, la pression en Kgf/cm², et en bars. Calculs effectués à partir des données :

A2.5mm : Représente le rapport de la pression à 2,5 mm divisé par 0,7, donnant une valeur de **1,44**.

A5 mm : Représente le rapport de la pression à 5 mm divisé par 1,05, donnant une valeur de 1,83.

CBR : La valeur de CBR est indiquée comme **1,83**.

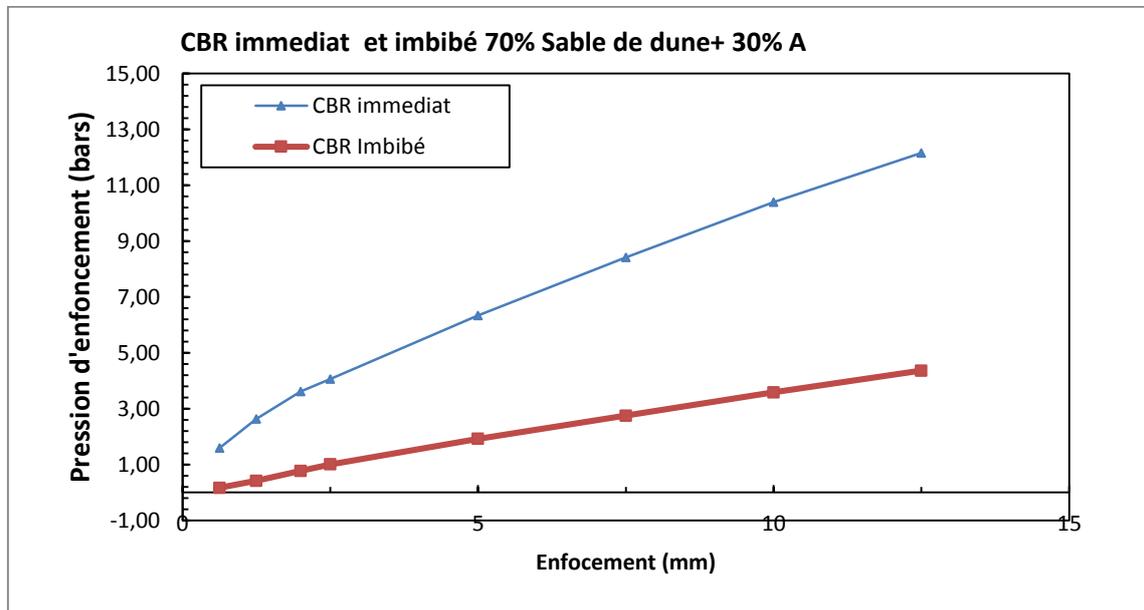
Interpretation:

Les valeurs de CBR indiquent la capacité portante du sol dans des conditions imbibées. Plus le CBR est élevé, meilleure est la capacité du sol à supporter des charges. Dans ce cas :

La valeur de CBR à 2,5 mm (1,44) et à 5 mm (1,83) est relativement basse, suggérant que le mélange de sable de dune/argile à Metlili Eldjadida a une capacité portante modérée à faible dans des conditions imbibées.

Ces valeurs pourraient indiquer une relative sensibilité du sol à l'eau, où la capacité portante diminue lorsque le sol est imbibé.

Il est important de noter que l'interprétation des résultats de l'essai CBR dépend également du contexte spécifique de l'utilisation prévue du sol et des normes applicables. Si vous avez des exigences spécifiques ou des questions supplémentaires, n'hésitez pas à les mentionner.



Les Figures précédents représentent la variation de pression d'enfoncement CBR immédiat et imbibé en fonction l'enfoncement pour un mélange optimal de (sable de dune / argile metlili eldjadida).

On montre que la pression de d'enfoncement croît linéairement avec l'enfoncement pour les deux essais (immédiat et imbibé).

La comparaison entre le CBR immédiat et le CBR imbibé pour le mélange de sable de dune/argile à Eldjadida suggère les points suivants :

A2.5mm :

- CBR immédiat à 2,5 mm : 16,33
- CBR imbibé à 2,5 mm : 1,44

La valeur de CBR à 2,5 mm dans des conditions immédiates (16,33) est nettement plus élevée que la valeur de CBR à 2,5 mm dans des conditions imbibées (1,44). Cela indique une bien meilleure capacité portante du sol à cette profondeur lorsque le sol est sec par rapport aux conditions imbibées.

A5mm :

- CBR immédiat à 5 mm : 21,16
- CBR imbibé à 5 mm : 1,83

De manière similaire, la valeur de CBR à 5 mm dans des conditions immédiates (21,16) est beaucoup plus élevée que la valeur de CBR à 5 mm dans des conditions imbibées (1,83).

Cela suggère une meilleure capacité portante à une profondeur de 5 mm lorsque le sol est sec par rapport aux conditions imbibées.

Tableau V.09 : Résultats des essais Proctor modifié pour le mélange sable de dune / argile Bouhraoua (avec 70% de sable et 30% d'argile) obtenus sont regroupés dans le tableau ci-dessous :

ω en eau	10	12	14
p T humide (g)	8355	8502	8360
p moule vide (g)	3844	3844	3844
p sol humide (g)	4511	4658	4516
p du sol sec (g)	4086,42	4152,63	3961,40
V moule (m3)	2104	2104	2104
Densité sèche	1,94	1,97	1,88

ω en eau	10		12		14	
N Tare	A10	S2	X9	W24	C4	W4
p T humide (g)	108,94	108,62	111,4	112,72	130	130
p T sec (g)	100,38	100,26	101,5	102,5	116,11	116,5
P de tairé (%)	18,6	19,2	20,2	18,43	18,62	18,3
p sol humide (g)	90,34	89,42	91,2	94,29	111,38	111,7
P Eau (%)	8,56	8,36	9,90	10,22	13,89	13,50
p du sol sec (g)	81,78	81,06	81,30	84,07	97,49	98,20
T en eau (ω)	10,47	10,31	12,18	12,16	14,25	13,75
Moyenne (ω)	10,39		12,17		14,00	

Tableau V.10 : Résultats de l'Essai CBR (Immédiat) pour le mélange sable de dune / argile Bouhraoua

Temps	Enforcement		Pression		
	mm	lecture	Valeur	Kgf/Cm2	bars
0' 30"	0,625	0,189	19,28	0,98	0,10
1' 40"	1,25	0,334	34,07	1,74	0,17
2' 00"	2	0,51	52,02	2,65	0,27
4' 00"	2,5	0,58	59,16	3,01	0,30
6' 00"	5	1	102,00	5,20	0,52
8' 00"	7,5	1,45	147,90	7,54	0,75
10' 00"	10	1,96	199,92	10,19	1,02
12' 00"	12,5	2,48	252,96	12,89	1,29

$$A_{2.5\text{mm}} = P(2.5)/0.7 = 4.31$$

$$A_{5\text{ mm}} = P(5)/1.05 = 4.95$$

$$\text{CBR} = 4.95$$

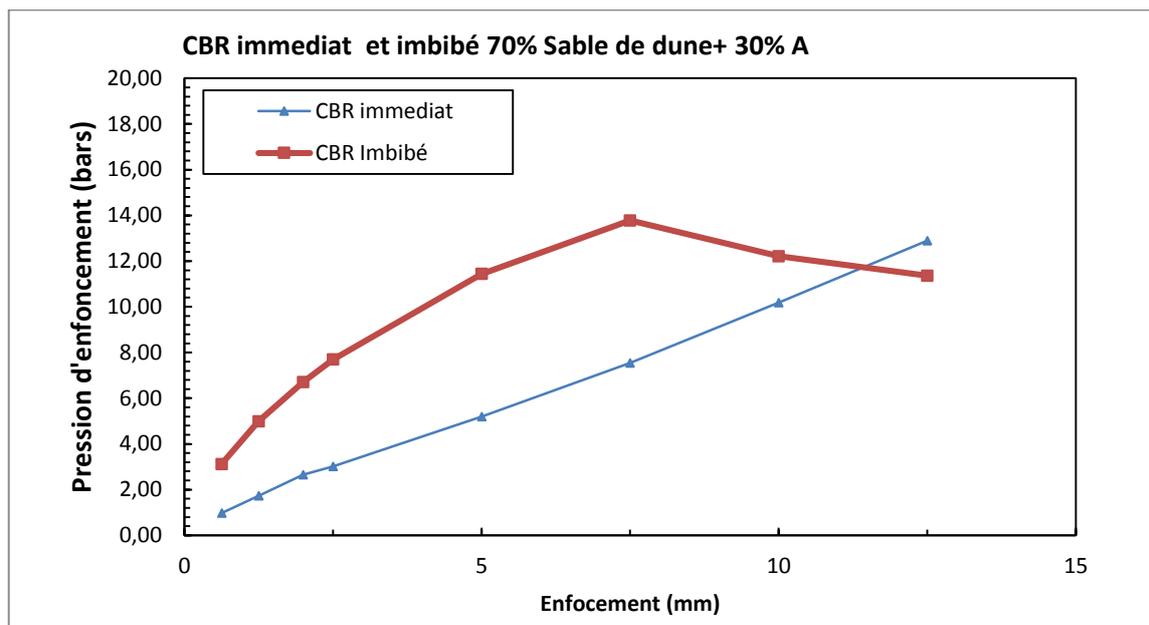
Tableau V.11 : Résultats de l'Essai CBR (Imbibé) pour le mélange sable de dune / argile Bouhraoua

Temps	Enforcement		Pression		
	mm	lecture	Valeur	Kgf/Cm2	bars
0' 30"	0,625	0,6	61,20	3,12	0,31
1' 40"	1,25	0,96	97,92	4,99	0,50
2' 00"	2	1,29	131,58	6,70	0,67
4' 00"	2,5	1,48	150,96	7,69	0,77
6' 00"	5	2,2	224,40	11,43	1,14
8' 00"	7,5	2,65	270,30	13,77	1,38
10' 00"	10	2,35	239,70	12,21	1,22
12' 00"	12,5	2,186	222,97	11,36	1,14

$$A_{2.5\text{mm}} = P(2.5)/0.7 = 10.99$$

$$A_{5\text{ mm}} = P(5)/1.05 = 10.89$$

$$\text{CBR} = 10.99$$



Les Figures précédents représentent la variation de pression d'enfoncement CBR immédiat et imbibé en fonction l'enfoncement pour un mélange optimal de (sable de dune / Bouhraoua).

On montre que la pression de d'enfoncement croît linéairement avec l'enfoncement pour les deux essais (immédiat et imbibé).

Tableau V.12 :Le tableau des valeurs des résistances à la compression pour les trois mélanges optimaux :

Site	Composition optimal	resistance à la compression (bars)
S/B	70% S/ 30% argile	8,26
S/ ON	70% S/ 30% argile	8, 15
S/ MD	70% S/ 30% argile	15, 73

Le tableau VI-3 fournit des informations sur les mélanges optimaux de sable de dune et d'argile pour trois sites différents, avec les compositions optimales et les valeurs de résistance à la compression. Voici une interprétation du tableau :

Site S/B (Sable de Dune / Argile Bouhraoua) :

- Composition optimale : 70% Sable de Dune / 30% Argile Bouhraoua
- Résistance à la compression : 8,26 bars

La résistance à la compression pour ce mélange optimal est de 8,26 bars. Cette valeur indique la capacité du matériau à résister à des charges compressives, mesurée en unités de pression (bars).

- Site S/ON (Sable de Dune / Argile Oued Nechou) :
- Composition optimale : 70% Sable de Dune / 30% Argile Oued Nechou
- Résistance à la compression : 8,15 bars

La résistance à la compression pour ce mélange optimal est de 8,15 bars. Cette valeur représente la capacité du matériau à résister à la compression dans des conditions spécifiques.

- Site S/MD (Sable de Dune / Argile Metlili) :
- Composition optimale : 70% Sable de Dune / 30% Argile Metlili
- Résistance à la compression : 15,73 bars

La résistance à la compression pour ce mélange optimal est de 15,73 bars, indiquant une valeur plus élevée par rapport aux deux autres mélanges. Cela suggère une meilleure capacité du matériau à supporter des charges compressives à 100% de compacité.

Conclusion:

Nous avons entrepris une analyse des propriétés physico-mécaniques afin de caractériser et classer les mélanges optimaux. Les résultats des essais granulométriques, des limites d'Atterberg, et du VBS ont été utilisés pour les classer selon la classification GTR en tant que sols argileux de moyenne à fine granulométrie.

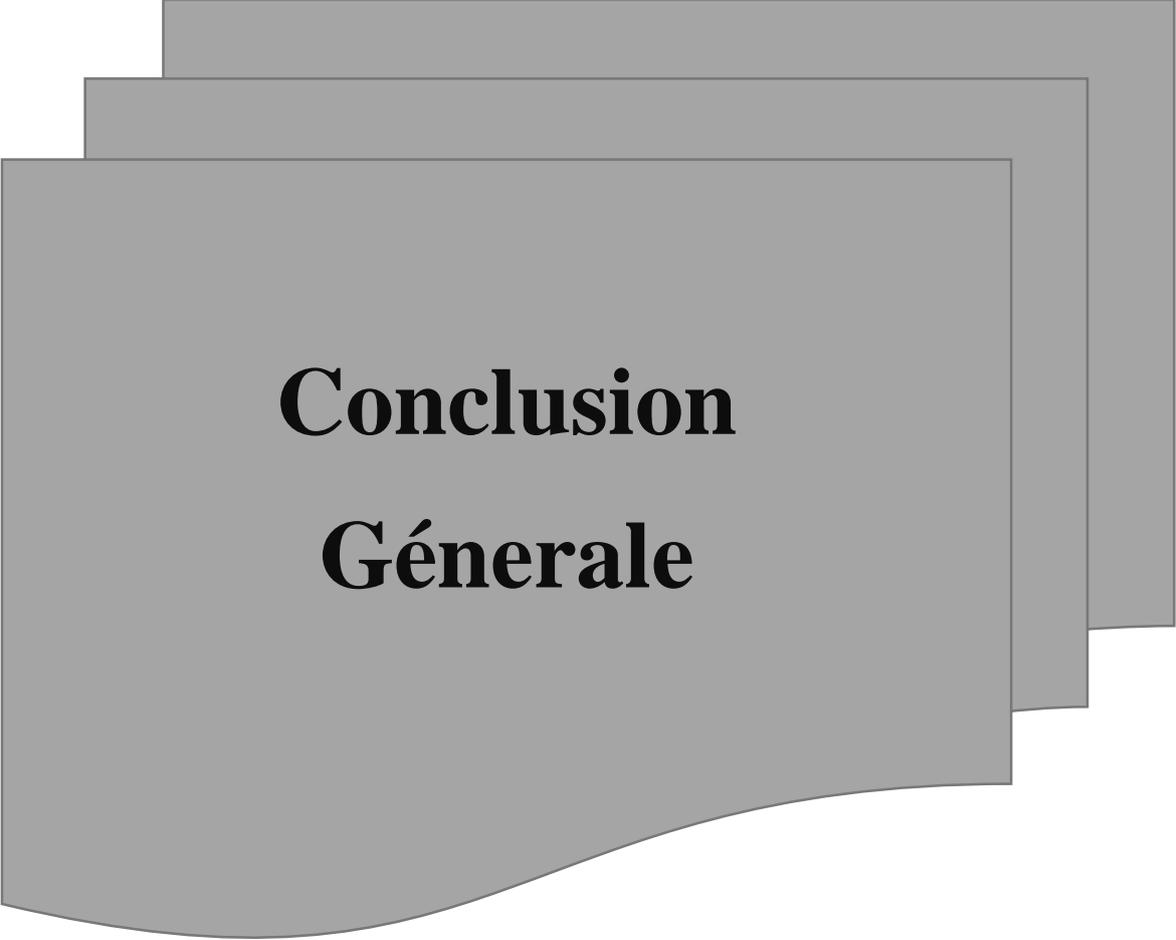
La comparaison entre le CBR immédiat et le CBR imbibé pour le mélange de sable de dune/argile à Oued Nechou révèle plusieurs points importants. À une profondeur de 2,5 mm, le CBR immédiat (16,33) est significativement supérieur au CBR imbibé (2,61), indiquant une meilleure capacité portante immédiate du sol dans des conditions sèches. De manière similaire, à une profondeur de 5 mm, le CBR immédiat (21,16) est nettement supérieur au CBR imbibé (3,28), soulignant une meilleure capacité portante à cette profondeur dans des conditions sèches.

Globalement, le CBR immédiat global (21,16) dépasse considérablement le CBR imbibé global (1,83), démontrant une capacité portante globale bien supérieure dans des conditions immédiates par rapport aux conditions imbibées.

En analysant les résultats des essais de CBR immédiat et imbibé après 4 heures, on observe une augmentation de la valeur de l'indice immédiat par rapport au CBR imbibé pour tous les cas. Cependant, les valeurs de CBR imbibé restent relativement faibles pour tous les mélanges optimaux.

Concernant la résistance à la compression, le mélange optimal d'argile d'Oued Nechou, d'argile de Bouhraoua et d'argile de Metlili a présenté des valeurs maximales de l'indice CBR toutes équivalentes à 18,96%. Le mélange optimal S/MD (Sable de Dune / Argile Metlili) a démontré la résistance à la compression la plus élevée avec une valeur de 15,73 bars, tandis que les mélanges S/B (Sable de Dune / Argile Bouhraoua) et S/ON (Sable de Dune / Argile Oued Nechou) ont montré des résistances plus basses de 8,26 bars et 8,15 bars respectivement.

Ces résultats soulignent l'influence significative du choix de l'argile sur la résistance à la compression du matériau résultant. La présence de 30% d'argile renforce la cohésion entre les particules, contribuant ainsi à une amélioration globale de la stabilité et de la résistance du sol



**Conclusion
Générale**

Conclusion générale

Conclusion générale

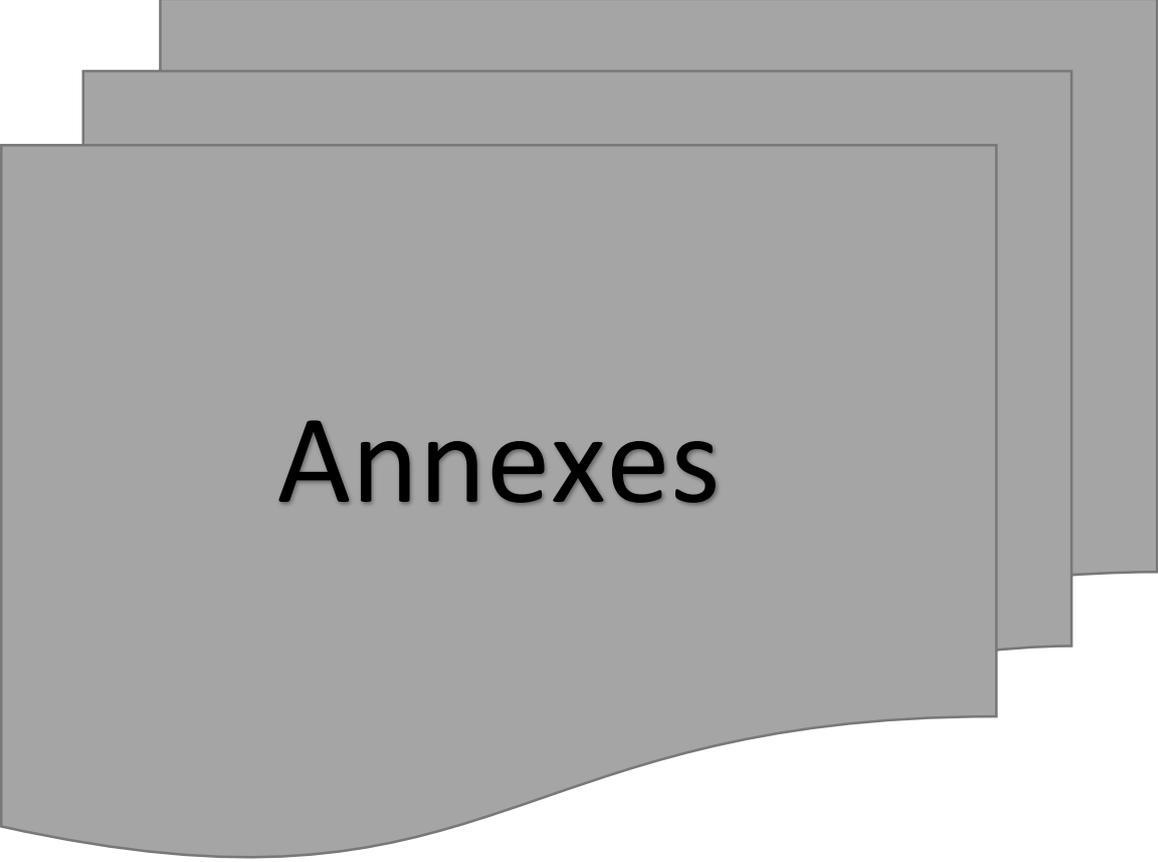
La construction routière repose principalement sur l'utilisation de matières premières conformes aux normes afin d'assurer une qualité et une durabilité optimales des routes. Dans certaines régions du monde, notamment les régions sahariennes, le manque de matières premières pour la construction des routes pose un défi, nécessitant des déplacements sur de longues distances et impactant négativement les coûts des projets. Pour remédier à cette situation, les décideurs et les spécialistes ont exploré des alternatives efficaces et économiques, parmi lesquelles le sable de dunes, en raison de son abondance, se distingue comme l'une des plus importantes.

Notre étude démontre la possibilité d'utiliser les dunes de sable à des fins diverses, en ajoutant un pourcentage d'argile. Après avoir travaillé sur le mélange et ajouté des proportions variables d'argile (10%, 20%, 30%, 40%, 50%) aux trois zones de sable lors de l'essai de Proctor modifié, nous avons conclu que le mélange optimal est (70 %_30 %) dans chaque zone des trois régions.

Suite à l'obtention du mélange optimal, nous avons poursuivi nos expériences de CBR et de compression. Les résultats indiquent que le mélange Oued Ncho présente le pourcentage le plus élevé de l'indice Imb CBR par rapport aux mélanges Metlili et Bouhraoua. En ce qui concerne l'essai de compression simple, le mélange le plus résistant est Metlili, suivi du mélange Bouhraoua et d'Oud Nechou.

Recommandation

- Au terme de ce travail, on peut conclure qu'un certain nombre de pistes a été prospecté et que beaucoup d'autres restent à explorer. Comme perspectives à court terme, je préconise :
 - L'utilisation du mélange optimal (sable de dunes et l'argile) seule dans le corps de chaussée ;
 - 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 ou dans le domaine routier ;
 - On recommande la poursuite des recherches dans cet axe, de manière à acquérir une meilleure stabilité et durabilité de la route.
- La modélisation numérique du comportement d'un corps de chaussée constitué des mélanges traités selon les différentes formulations, en se basant sur les paramètres de lois de comportement déterminés dans cette étude. L'objectif étant d'optimiser le traitement (géotextiles) tout en satisfaisant les normes en vigueur en terme de résistance et de déformation (modules)



Annexes

ANNEXES

ANNEXE 01 : CBR immédiat

Echantillon N°1 : Eau de Bouhraoua (eau du robinet) (TSopt)

temp	Enfoncement (mm)	Fonce totale (kgf)	pression (kgf/cm ²)
		Lecture	
0-30	0,625	60	10,0
1-00	1,25	125	22,29
01*40	2	212	37,81
2-00	2,5	254	45,30
4-00	5	463	82,57
6-00	7,5	611	108,97
8-00	10	646	115,21
10-00	12,5	633	112,89

Calcul de l'indice portant : A 2.5 mm : $p(2.5)/0.70 = 64,28$

A 5 mm : $p(5)/1.05 = 78.90$

CBR imbibé A-Etat initial de l'échantillon

Teneur en eau de compactage w_0 (%)			Densité sèche γ_d (t/m ³)	
N° de la tare (g)	W6	W9	p. Total humide (g)	10552
p. Total humide (g)	129	156	p. du mol (g)	5328
p. total sec (g)	120	140	p. du sol humide (g)	5224
p.de la tare (g)	19	19	Teneur en eau w_0	11.065
p.de l'eau (g)	9	16	p. du sol sec (g)	4703
p. du sol sec (g)	101	121	Volume du mole (cm ³)	2303
Teneur en eau w_0	8.91	13.22	Densité sèche γ_d : 2.04	
Moyenne	11.065			

B-Etat final de l'échantillon après imbibition

Teneur en eau après immersion w_f (%)			Poids approximatif du sol imbibé	
N° de la tare (g)	D55	N33	p. Total après imbibition	10585
p. Total humide (g)	156.20	177.50	p. Total avant imbibition	10552
p. total sec (g)	140.40	159.90	P. de l'eau absorbée	33
p.de la tare (g)	18.20	18.60	Différence de teneur en eau	1.64
p.de l'eau (g)	15.80	17.6	P. du sol imbibé	52.57
p. du sol sec (g)	122.20	141.30		

ANNEXES

Teneur en eau w_f	12.93	12.46	
Moyenne	12.70		

temps	Enfoncement (mm)	Fonce totale (kgf)		pression (kgf/cm ²)
		Lecture		
0-30	0,625	2		0,40
1-00	1,25	4		0,79
01*40	2	6		1,19
2-00	2,5	9		1,78
4-00	5	33		6,54
6-00	7,5	66		13,08
8-00	10	105		20,81
10-00	12,5	122		24,18

Calcul de l'indice portant : A 2.5 mm : $p(2.5)/0.70 = 2,51$

A 5 mm : $p(5)/1.05 = 6.29$

ANNEXE 02 : CBR immédiat

Echantillon N°2 : Eau de Bouhraoua (eau du robinet+5%sel) (TSopt)

Teneur en eau de compactage w_0 (%)			Densité sèche γ_d (t/m ³)	
N° de la tare (g)	W6	W9	p. Total humide (g)	10561
p. Total humide (g)	144.12	152.33	p. du mol (g)	5924
p. total sec (g)	134.56	142.12	p. du sol humide (g)	4637
p.de la tare (g)	18.77	18.23	Teneur en eau w_0	8.25
p.de l'eau (g)	9.56	10.21	p. du sol sec (g)	4284
p. du sol sec (g)	115.79	123.89	Volume du mole (cm ³)	2104
Teneur en eau w_0	8.26	8.24	Densité sèche γ_d : 2.04	
Moyenne	8.25			

temps	Enfoncement (mm)	Fonce totale (kgf)		pression (kgf/cm ²)
		Lecture	Valeur	
0-30	0,625	1.450	147.900	7.54
1-00	1,25	4.230	431.460	21.99
01*40	2	7.320	746.640	38.05
2-00	2,5	8.740	891.480	45.43
4-00	5	13.113	1337.526	68.15
6-00	7,5	16.078	1639.956	83.56
8-00	10	18.380	1874.760	95.53
10-00	12,5	20.350	2075.700	105.77

Calcul de l'indice portant : A 2.5 mm : $p(2.5)/0.70 = 64.89$

A 5 mm : $p(5)/1.05 = 64.91$

ANNEXES

LOAD	COMP	TENSION
kg	Division	Division
0	0	0,03496
5	143	0,03496
10	290	0,03496
15	436	0,03496
20	585	0,03496
25	736	0,03496
30	887	0,03496
35	2039	0,03496
40	2192	0,03496
45	4345	0,03496
50	4498	0,03496

$$\text{Valeur} = [\text{LOAD} - [(\text{Camp} - \text{Lecteur}) \times \text{Tension}]] \times 102$$

$$\text{Pression} = \text{valeur} / 19.625 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

CBR imbibé

A-Etat initial de l'échantillon

Teneur en eau de compactage w_0 (%)			Densité sèche γ_d (t/m^3)	
N° de la tare (g)	M10	M63	p. Total humide (g)	10630
p. Total humide (g)	126.34	133.14	p. du mol (g)	6006
p. total sec (g)	118.09	123.93	p. du sol humide (g)	4524
p.de la tare (g)	18.38	18.91	Teneur en eau w_0	8.53
p.de l'eau (g)	8.25	9.21	p. du sol sec (g)	4261
p. du sol sec (g)	99.71	105.02	Volume du mole (cm^3)	2104
Teneur en eau w_0	8.27	8.78	Densité sèche γ_d : 2.03	
Moyenne	8.53			

B-Etat final de l'échantillon après imbibition

Teneur en eau après immersion w_f (%)			Poids approximatif du sol imbibé	
N° de la tare (g)	33	52	p. Total après imbibition	10755
p. Total humide (g)	135.96	115.98	p. Total avant imbibition	10630
p. total sec (g)	124.59	103.79	P. de l'eau absorbée	125
p.de la tare (g)	19.01	18.52	Différence de teneur en eau	4.01
p.de l'eau (g)	11.37	12.19		
p. du sol sec (g)	105.58	85.27	P. du sol imbibé	4749
Teneur en eau w_f	10.77	14.30		

ANNEXES

Moyenne	12.54	

temps	Enfoncement (mm)	Fonce totale (kgf)		pression (kgf/cm ²)
		Lecture	Valeur	
0-30	0,625	0.06	6.120	0.31
1-00	1,25	0.010	1.020	0.05
1-40	2	0.489	49.878	2.54
2-00	2,5	1.217	124.138	6.33
4-00	5	7.851	800.802	40.81
6-00	7,5	10.366	1057.332	53.88
8-00	10	11.573	1180.446	60.15
10-00	12,5	12.523	1277.346	65.09

Calcul de l'indice portant : A 2.5 mm : $p(2.5)/0.70 = 9.04$
 A 5 mm : $p(5)/1.05 = 38.86$

ANNEXE 03 : CBR immédiat

Echantillon N°3 : Eau de Bouhraoua (eau du robinet+10% sel) (TSopt)

Teneur en eau de compactage w_0 (%)		Densité sèche γ_d (t/m ³)	
T° de séchage (g)		p. Total humide (g)	10597
N° de la tare (g)	549	Z30	6006
p. Total humide (g)	149.98	126.19	p. du sol humide (g) 4591
p. total sec (g)	139.14	117.32	Teneur en eau w_0 9.01
p. de la tare (g)	18.52	19.15	p. du sol sec (g) 4211
p. de l'eau (g)	10.84	8.87	Volume du mole (cm ³) 2104
p. du sol sec (g)	120.62	98.17	Densité sèche γ_d : 2.00
Teneur en eau w_0	8.99	9.04	
Moyenne	9.015		

temps	Enfoncement (mm)	Fonce totale (kgf)		pression (kgf/cm ²)
		Lecture	Valeur	
0-30	0,625	0.561	57.22	2.92
1-00	1,25	2.46	250.920	12.79
01*40	2	7.20	734.400	37.42
2-00	2,5	10.02	1022.040	52.08
4-00	5	23.05	2351.100	119.80
6-00	7,5	31.015	3163.530	161.20
8-00	10	38.120	3888.240	198.13
10-00	12,5	44.153	4503.606	229.48

ANNEXES

Calcul de l'indice portant : A 2.5 mm : $p(2.5)/0.70 = 74.40$, A 5 mm : $p(5)/1.05 = 114.10$

LOAD	COMP	TENSION
kg	Division	Division
0	0	0,03496
5	143	0,03496
10	290	0,03496
15	436	0,03496
20	585	0,03496
25	736	0,03496
30	887	0,03496
35	2039	0,03496
40	2192	0,03496
45	4345	0,03496
50	4498	0,03496

Valeur = $[LOAD - ((Camp - Lecteur) \times Tension)] \times 102$

Pression = valeur /19.625 (kg/cm²)

CBR imbibé

A-Etat initial de l'échantillon

Teneur en eau de compactage $w_0(\%)$		Densité sèche γ_d (t/m ³)	
N° de la tare (g)	36 55	p. Total humide (g)	10895
p. Total humide (g)	123.79 105.07	p. du mol (g)	5887
p. total sec (g)	114.78 98.05	p. du sol humide (g)	5008
p.de la tare (g)	18.97 15.92	Teneur en eau w_0	9.08
p.de l'eau (g)	9.01 7.02	p. du sol sec (g)	4591
p. du sol sec (g)	95.81 80.13	Volume du mole (cm ³)	2242
Teneur en eau w_0	9.40 8.76	Densité sèche γ_d : 2.05	
Moyenne	9.08		

ANNEXES

B-Etat final de l'échantillon après imbibition

Teneur en eau après immersion w_f (%)			Poids approximatif du sol imbibé	
N° de la tare (g)	551	8	p. Total après imbibition	11038
p. Total humide (g)	165.87	136.53	p. Total avant imbibition	10895
p. total sec (g)	145.71	121.72	P. de l'eau absorbée	143
p.de la tare (g)	17.91	18.96	Différence de teneur en eau	6.01
p.de l'eau (g)	20.16	14.81		
p. du sol sec (g)	127.8	102.76	P. du sol imbibé	5151
Teneur en eau w_f	15.77	14.41		
Moyenne	15.09			

temps	Enfoncement (mm)	Fonce totale (kgf)		pression (kgf/cm ²)
		Lecture	Valeur	
0-30	0,625	0.041	4.182	0.21
1-00	1,25	0.185	18.870	0.96
1-40	2	0.720	73.440	3.74
2-00	2,5	0.995	101.490	5.17
4-00	5	1.870	190.740	9.72
6-00	7,5	2.640	269.280	13.72
8-00	10	3.614	368.628	18.78
10-00	12,5	4.780	481.440	24.53

Calcul de l'indice portant : A 2.5 mm : $p(2.5)/0.70 = 7.39$

A 5 mm : $p(5)/1.05 = 9.26$

Teneur en eau de compactage w_0 (%)			Densité sèche γ_d (t/m ³)	
T° de séchage (g)			p. Total humide (g)	10527
N° de la tare (g)	08	44	p. du mol (g)	5329
p. Total humide (g)	143	160	p. du sol humide (g)	5198
p. total sec (g)	132	148	Teneur en eau w_0	9.55
p.de la tare (g)	19	20	p. du sol sec (g)	5694.40
p.de l'eau (g)	11	12	Volume du mole (cm ³)	2304
p. du sol sec (g)	113	128	Densité sèche γ_d : 2.47	
Teneur en eau w_0	9.73	9.37		
Moyenne	9.55			

ANNEXES

ANNEXE 04 : analyse granulométrique par tamisage

Voie Humide Echantillon N°1 Tuf Bouhraoua

Masse sec de l'échantillon à analyser (après étuvage) : M= 8000 g.

Poids de l'échantillon	Diamètre (mm)	Refus partielle (g)	Refus cumulé (g)	Refus (%)	Complément à 100	Tamisât (%)
8000 g	50	0	0	0	100	100
	40	336	336	4.20	95.80	96
	31.5	114	450	5.63	94.38	94
	20	818	1268	15.85	84.15	84
	10	1034	2302	28.78	71.23	71
5698 g	5	635	635	11.14	88.86	63
	2	686	1321	23.18	76.82	55
	1	240	1561	27.40	72.60	52
	0.5	210	1771	31.08	68.92	49
	0.2	222	1993	34.98	65.02	46
	0.16	41	2034	35.70	64.30	46
	0,08	100	2134	37.45	62.55	45

ANNEXE 05 : Analyse sédimentométrie

Durée de chute	Temps	Lecture de Densimètre R'	t (°C)	Correction (c)	Lecture corrigée $R_1 = R' + C$	% des éléments (D) sur l'ensemble de l'échantillon	D (mm)
30	8 h 30	10.5	30.2	+ 2.378	12.878	45	0,08
1	8 h 31	10	30.2	+ 2.378	12.378	43	0,055
2	8 h 32	09	30.2	+ 2.378	11.378	40	0,038
5	8 h 35	08	30.2	+ 2.378	10.378	36	0,025
10	8 h 40	07	30.2	+ 2.378	9.378	33	0,017
20	8 h 50	06	30	+2.320	8.320	29	0,012
40	9 h 10	05	29	+ 2.040	7.040	25	0,008
80	9 h 50	4.5	28.2	+ 1.824	6.324	22	0,006
160	11 h 10	04	26	+ 1.200	5.200	18	0,004
320	13 h 50	02	26	+ 1.200	3.200	11	0,003
1440	24 h	1.5	25	1.164	2.664	09	0.002
	48 h	0.5	25	1.020	1.520	05	0.001

ANNEXES

ANNEXE 06 : limite d'Atterberg

Liquidité -Plasticité

Echantillon N°02 : Argile Bouhraoua

🌈 Limite de liquidité

	1 Essai		2 Essai		3 Essai éventuellement	
Nombre de coups	18		22		33	
N° de la tare	7	1	12	4	15	13
Poids total humide	35.60	34.66	36.64	37.33	34.62	34.25
Poids total sec	34.77	33.96	35.46	35.94	34.00	33.76
Poids de la tare	32.12	31.71	31.56	35.42	31.80	32.08
Poids de l'eau	0.83	0.70	1.18	1.39	0.62	0.49
Poids du sol sec	2.65	2.25	3.90	4.52	2.20	1.68
Teneur en eau (%)	31.32	31.11	30.26	30.75	28.18	29.17
Moyenne	31.22		30.51		28.68	
Limite de liquidité	30.02					

Limite de plasticité

	1 Essai	2 Essai	3 Essai
N° de la tare	11	9	6
Poids total humide	4.75	4.88	7.93
Poids total sec	4.60	4.70	7.79
Poids de la tare	3.75	3.72	7.02
Poids de l'eau	1.15	0.18	0.14
Poids du sol sec	0.85	0.98	0.77
Teneur en eau (%)	17.65	18.37	18.18
Limite de plasticité	18.06		

ANNEXES

ANNEXE 07 : Essai volume et bleu de méthylène d'argile Argile Bouhraoua

Prise D'essai Mh =100 g		
Calcul de la Teneur en Eau		
Tare N°	2	3
PT	122.18	115.86
Ph+T	207.28	212.52
PS+T	206.65	211.75
Ps	84.47	95.89
W (%)	0.75	0.80
W _{mov}	0.76	
$Ps = ph \times 100 / 100 + w (\%)$ $PS = 99.25$		

Volume de bleu injecte dans la prise d'essai $V = 120 \text{ cm}^3$
 Valeur au bleu de la prise d'essai passant a :
 $V_b = V/Ms = 120 / 99.25 = 1.21$

Prise D'essai Mh =100 g		
Calcul de la Teneur en Eau		
Tare N°	5	8
PT	117.66	116.84
Ph+T	198.18	218.54
PS+T	198.11	218.43
Ps	80.45	101.59
W (%)	0.09	0.11
W _{mov}	0.10	
$Ps = ph \times 100 / 100 + w (\%)$ $PS = 99.90$		

Volume de bleu injecte dans la prise d'essai $V = 05 \text{ cm}^3$
 Valeur au bleu de la prise d'essai passant a :
 $V_b = V/Ms = 5 / 99.90 = 0.05$

ANNEXE 08 : Essai Equivalent de sable Tuf Bouhraoua

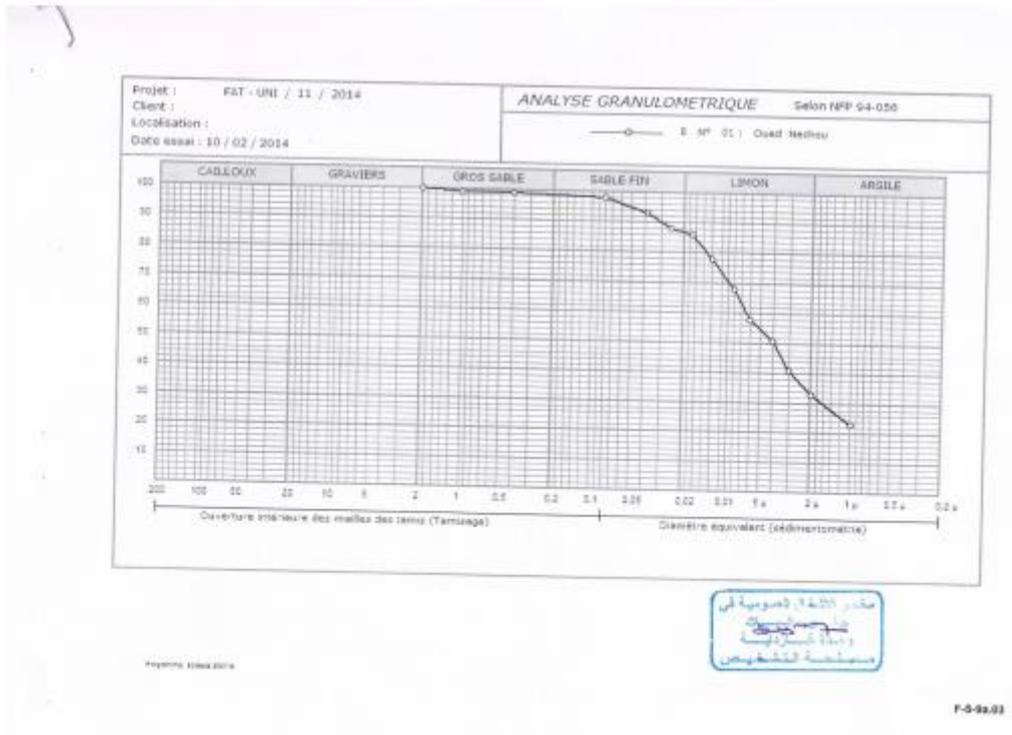
		Essai n° 1	Essai n° 2	Moyenne
Tuf de Bouhraoua	h_1 (cm)	25.70	27.20	9.66
	h_2 (cm)	2.60	2.50	
	$ES = \frac{h_2}{h_1}$	10.12	9.19	

ANNEXES

ANNEXE 09 : Essai Equivalent de sable Sable de dune

		Essai n° 1	Essai n° 2	Moyenne
Sable De dune	h ₁ (cm)	11.10	11.00	54.65
	h ₂ (cm)	6.20	5.90	
	$ES = \frac{h_2}{h_1}$	55.85	53.44	

ANNEXE 10 : Sol Oued Nechou



ANNEXES

RAPPORT D'ESSAI
ESSAI PROCTOR
 NF P94-053

Client : Projet : FAT-uni/11/2014 Endroit :	N° Projet : Réf. Client : N° rapport :	Rév :
Echantillon n° : QUID NECHAUR Sondage n° : Profondeur : Matériaux : Provenance :	Endroit de prélèvement : Prélèvement par : Date prélèvement : Reçu le : Date essais : 12/01/2015	Densité des grains : 2,65 Refus à 20mm (%) :

$\gamma_d \text{ max} = 1,35 \text{ (T/m}^3\text{)}$
 $W_{opt} = 20,5 \text{ (\%)}$

MOULE

 Proctor
 CBR

ENERGIE

 Normal
 Modifié

Densité des grains

 Estimée
 Mesurée

TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	16,5	18,2	20,3	22,2	24,4	26,3		
Densité (T/m3)	1,32	1,34	1,34	1,34	1,34	1,28		

Remarque :

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

F-5-5q-03
 © Sofrema 2007

ANNEXES

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

**ANALYSE
SEDIMENTOMETRIQUE
NFP 94 – 057 Mai 1992**

Structure : Unité Ghardaïa
 N° Dossier interne : FAT – UNI / 11 / 2014
 Echantillon : E N° 01 Oued Nechou
 Equipement utilisés: Balance / Etuve

Lieu de travail : Cst ID
 Date : 10 / 02 / 2014
 Opérateur : Amrouche
 N°D'inventaire: L 210906 / L490191

Température ° C	Temps	Durée de chute	R'-R -1000 R : lecture au densimètre	Correction (C)	Lecture corrigée R1=R'+C Ou R1=R'-C	Diamètre (D)	% des éléments (D) sur l'ensemble de l'échantillon
17°.80	09 ^h 00	30 "	20,00	0,380	19,620	0.075	98
/	09 ^h 00	01'	20,00	0,380	19,620	0.055	98
/	09 ^h 00	02'	19,00	0,380	18,620	0.038	93
/	09 ^h 00	05'	18,00	0,380	17,620	0.025	88
/	09 ^h 00	10'	17,50	0,380	17,120	0.017	86
/	09 ^h 00	20'	16,00	0,380	15,620	0.012	78
/	09 ^h 00	40'	14,00	0,380	13,620	0.008	68
/	10 ^h 20	80'	12,00	0,380	11,620	0.006	58
/	11h40	160'	10,50	0,380	10,120	0.004	51
18°.00	14 ^h 10	320'	8,50	0,350	8,150	0.003	41
17°.70	24 h	1440'	7,00	0,395	6,605	0.002	33
17°.90	48 h		5,00	0,365	4,635	0.001	23
/	72 h	/	/	/	/	0.0005	/

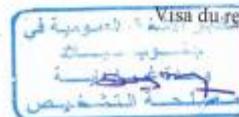
Remarque :

$$p' = \frac{y}{100} \times p \quad \text{avec } y = \% \text{ du passant à } 0.080 \text{ mm} = 98 \%$$

R1 = R' + C Si T° > à 20 ° C
 R1 = R' - C Si T° < à 20 ° C

L'Opérateur

94

Visa du responsable


F-5-5b.04

ANNEXES

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES SOLS

- (Méthode par tamisage à sec après lavage)
 NF P 94-056 Mars 1996
 (Méthode de tamisage par voie humide)
 XP P 94-041 Dec. 1995

Structure : alg. Échantillon : E1. OUEANERMOU
 Lieu de travail : S2. I.B. Date : 06/04/2014
 N° Dossier interne : FAT. VNI. 191. 2014. Opérateur : GHAYCHAB, B.
 Équipements utilisés : BALANCE + CUVUE N° D'inventaire : L21-13-26
L43-01-4

Poids de l'Echantillon (g)	Tamis (mm)	Poids refus partiels (g)	Poids refus cumulés (g)	Poids refus cumulés (%)	Complément à 100	Tamisés %
	80					
	50					
	31.5					
	20					
	10	00	00	00	00	100
500g ₂	5	0.58	0.58	0.12	99.88	100
	2	1.85	2.43	0.49	99.51	100
	1	1.34	3.77	0.76	99.24	99
	0.4	1.89	5.66	0.92	99.08	99
	0.2	1.85	7.51	1.50	98.50	98
	0.1	1.18	8.69	0.73	98.27	98
	0.08	0.17	8.86	0.97	98.23	98

L'Opérateur

AY

Visa du responsable



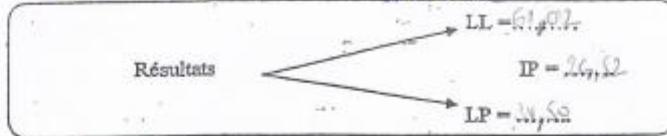
P-5-Sa.03

ANNEXES

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

LIMITES D' ATTERBERG NFP 94-051 Mars 1993

Structure : L1/G Lieu de Travail : S. Ce = I.D Date : 05/09/2014
 N° Dossier interne : FAT-UM/1/2014 Température de Séchage : 50°C Opérateur : J. Hammami
 Échantillon : E. Qual. N. G. C. 2 Equipements utilisés : CAV. V. Z. RACMOG N° D' inventaire : L19.01.38
02.09.06



LIMITÉ DE PLASTICITE

	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai	
N° de la tare	<u>X8</u>		<u>9</u>		<u>X9</u>	
Poids total humide	<u>31,29</u>		<u>37,28</u>		<u>37,57</u>	
Poids total sec	<u>31,05</u>		<u>37,05</u>		<u>37,35</u>	
Poids de la tare	<u>30,36</u>		<u>36,38</u>		<u>36,71</u>	
Poids de l'eau	<u>0,24</u>		<u>0,23</u>		<u>0,22</u>	
Poids du sol sec	<u>0,69</u>		<u>0,67</u>		<u>0,64</u>	
Teneur en eau (%)						
Moyenne	<u>34,78</u>		<u>34,23</u>		<u>34,77</u>	

LP = 34,50.....

L' Opérateur



Visa du Responsable

مدير المختبر
 المختبر المركزي
 مصلحة التفتيش

ANNEXES

RAPPORT D'ESSAI Limites d'Atterberg NF P 94 - 51														
Client : Projet : FAT - UNI / 11 / 2014 Endroit :	N° Projet : sans titre Réf. Client : N° rapport : Rév :													
Echantillon n° : E 21 Sondage n° : Profondeur : Matériaux : OUED NECHOU	Provenance : Endroit de prélèvement : Prélevé par : Date prélèvement :	Reçu le : Date essais : 05/02/2014												
Limite de Liquidité (%): WL = 61,28 Limite de Plasticité (%): WP = 34,49 Indice de Plasticité (%): IP = 26,79		Teneur en eau naturelle (%): $W_{eau} =$												
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 2px;">Limite de liquidité</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 2px;">Limite de plasticité</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th style="padding: 2px;">Ech N°</th> <th style="padding: 2px;">W (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="padding: 2px;">1</td> <td style="padding: 2px;">34,79</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">2</td> <td style="padding: 2px;">34,37</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">3</td> <td style="padding: 2px;">34,37</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>	Ech N°	W (%)	1	34,79	2	34,37	3	34,37						
Ech N°	W (%)													
1	34,79													
2	34,37													
3	34,37													
<div style="text-align: center;"> <p style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">ABAQUE DE CASAGRAINE</p> </div>														
Remarque :														
Préparé par :	Date :	Approuvé par :	Date :											

مختبر التربة والاساسات

جامعة سطيف 1

مصلحة التفتيش

ANNEXES

ANNEXE 11 : Sol Bouhraoua

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD
ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES SOLS

(Méthode par tamisage à sec après lavage)
NF P 94-056 Mars 1996

(Méthode de tamisage par voie humide)
XP P 94-041 Dec. 1995

Structure : L. Ghardaia Échantillon : E1 jaune : 01,00 - 03,00 m
 Lieu de travail : 2^e ID Date : 10/10/2010
 N° Dossier interne : MEM-FAT/04/2010 Opérateur : E. Bouhraoua
 Équipements utilisés : Balance / L. Ghardaia N° D'inventaire : L. 21.02.06 / L. 49.01.91

Poids de l'échantillon (g)	Tamis (mm)	Poids refus partiels (g)	Poids refus cumulés (g)	Poids refus cumulés (%)	Complément à 100	Tamisés %
	80					
	50					
	31.5					
	20					
	10	00	00	00	100	100
1000 g	5	19,04	19,04	19,0	98,10	98
	2	25,64	44,68	44,7	91,53	96
	1	19,64	64,32	64,3	84,91	91
	0.4	15,46	79,78	79,8	78,90	89
	0.2	16,88	96,66	96,7	91,25	91
	0.1	14,64	111,30	111,3	89,77	90
	0.08	12,44	123,74	123,7	88,54	89

L'Opérateur Visa du responsable

P-5-Sa.03

ANNEXES

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE SEDIMENTOMETRIQUE NFP 94 - 057 Mai 1992

Structure : L. Gardia Lieu de travail : STP
 N° Dossier interne : 1.15.1.1.AT/1/2013 Date : 25.04.94
 Échantillon : Enjeune : 03.00 m Opérateur : B. Laouan
 Équipements utilisés : Balboa N° D'inventaire : L.1.09.06
E. lina L.49.01.94

Température °C	Temps	Durée de chute	R'=R-1000 R : lecture au densimètre	Correction (C)	Lecture corrigée R1=R'+C Ou R1=R'-C	Diamètre (D)	% des éléments (D) sur l'ensemble de l'échantillon
20,10	08.30	30"	22,00	0,019	22,019	0,075	89
	08.31	01'	22,00	1	22,019	0,055	89
	08.32	02'	21,00	1	21,019	0,038	85
	08.35	05'	20,00	1	20,019	0,025	81
20,20	08.40	10'	15,00	0,038	15,038	0,017	61
	08.50	20'	09,00	1	09,038	0,012	37
	09.10	40'	05,00	1	05,052	0,008	20
20,50	09.50	80'	02,00	0,090	02,090	0,006	08
20,70	11.10	160'	01,00	0,133	01,133	0,004	05
	13.50	320'				0,003	
	24 h	1440'				0,002	
	48 h					0,001	
	72 h					0,0005	

Remarque :

$$p' = \frac{y}{100} \times p \quad \text{avec } y = \% \text{ du passant à } 0,080 \text{ mm} = \dots 89$$

R1 = R' + C Si T° > à 20 °C
 R1 = R' - C Si T° < à 20 °C

L'Opérateur

[Signature]

Visa du responsable

[Signature]

F-5-5b.04

ANNEXES

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

LIMITES D' ATTERBERG NFP 94-051 Mars 1993

Structure : ... H.I.G. ... Lieu de Travail : ... S. G. F.D. ... Date : 24/04/2013
 N° Dossier interne : H.E.H.F.T./M/2013 ... Température de Séchage : ... 50°C ... Opérateur : J. J. J.
 Echantillon : ... R. JAUNE (1,00 kg) ... Équipements utilisés : ETV. = BRUCOLE ... N° D'inventaire : 133.01.51
121.09.06

Résultats

LL = 53,23

IP = 22,14

LP = 31,29

LIMITÉ DE PLASTICITE

	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai	
N° de la tare	<u>x2</u>		<u>x3</u>		<u>x6</u>	
Poids total humide	<u>37,81</u>		<u>37,97</u>		<u>36,12</u>	
Poids total sec	<u>37,24</u>		<u>37,42</u>		<u>35,99</u>	
Poids de la tare	<u>35,42</u>		<u>36,33</u>		<u>35,27</u>	
Poids de l'eau	<u>0,57</u>		<u>0,35</u>		<u>0,23</u>	
Poids du sol sec	<u>1,82</u>		<u>1,09</u>		<u>0,72</u>	
Teneur en eau (%)	<u>31,22</u>		<u>31,11</u>		<u>31,84</u>	
Moyenne						

LP = 31,29

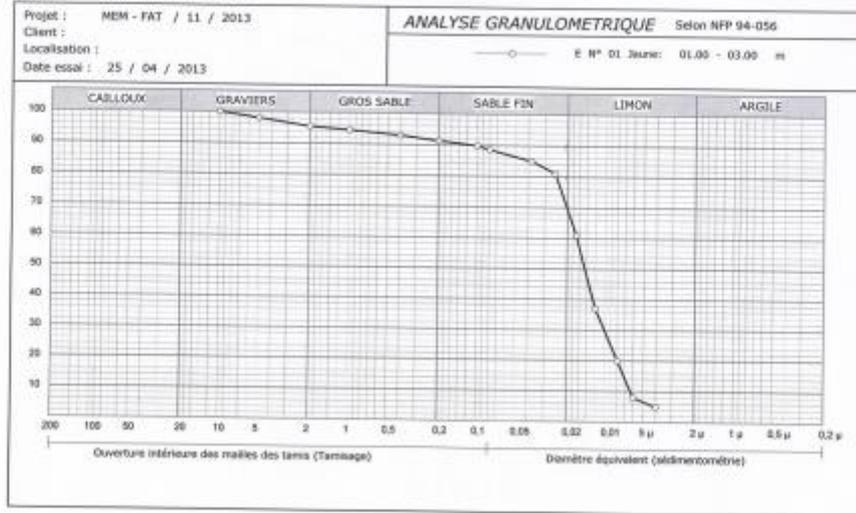
L' Opérateur



Visa du Responsable



ANNEXES



Projet MEM - FAT / 11 / 2013

Projet MEM - FAT / 11 / 2013
Date 25/04/2013
E N° 01 Jaune

ANNEXES

RAPPORT D'ESSAI Limites d'Atterberg NF P 94 - 51																	
Client : Projet : MEM - FAT / 11 / 2013 Endroit :	N° Projet : Ref. Client : N° rapport : Rév:																
Echantillon n° : Sondage n° : E N° 01 - Jaune Profondeur : 01.00 - 03.00 m Matériau :	Provenance : Endroit de prélèvement : Prélèvement par : Reçu le : Date prélèvement : Date essais : 24 / 06 / 2013																
Limite de Liquidité (%) : WL = 64,67 Teneur en eau naturelle (%) : Wnat = Limite de Plasticité (%) : WP = 31,75 Indice de Plasticité (%) : IP = 22,28																	
<p style="text-align: center;">Limite de liquidité</p>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Limite de plasticité</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Ech N°</th> <th style="text-align: center;">W (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">31,32</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">32,11</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">31,84</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>	Limite de plasticité		Ech N°	W (%)	1	31,32	2	32,11	3	31,84						
Limite de plasticité																	
Ech N°	W (%)																
1	31,32																
2	32,11																
3	31,84																
<p style="text-align: center;">ABAQUE DE CASAGRANDE</p>																	
Remarque :																	
Préparé par :	Date :	Approuvé par :	Date :														

(Signature manuscrite)
Signature

ANNEXES

ANNEXE 10 : Sol Metlili

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

NORMAL

ESSAI PROCTOR

MODIFIE

NF P 94-093 September 1997

Structure : Alger Lieu de travail : S. I. D. Date : 06.01.2015
 N° Dossier interne : F.A.T. 101/2014 Température de séchage : Opérateur : Boukhal
 Echantillon : S. I. D. Teneur en eau Open : Equipements utilisés : BAI, B.A.C.E.
 Prise d'essai : 55.00 Densité sèche Max : N° D'inventaire : L. 81.41. 80

Poids d'eau ajoutée :	14%	16%	19%	20%				
Poids total humide :	2736	4005	5050	5078				
Poids du moule :	2659	3659	4659	4659				
Poids du sol humide :	6069	4546	4391	4439				
Poids du sol sec :	3553	3757	3707	3687				
Volume du moule :	2243	2243	2243	2243				
Densité sèche :	1,59	1,67	1,65	1,64				
N° de la tare :	W ₀	O ₁	F ₁	E ₁	S ₀₁	F ₂	S ₀₂	S ₀₄
Poids total humid :	135,2	18,6	12,9	11,3	23,2	10,7	1,8	14,8
Poids total sec :	120,3	16,6	11,0	9,7	110,2	7,8	10,5	108,5
Poids de la tare :	73,4	75,4	75,6	73,7	7,9	78,6	79,2	78,3
Poids de l'eau :	14,9	15	14,8	13,3	17	13,9	1,2	18,3
Poids du sol sec :	101,9	104,2	94,4	91	92,2	75,6	94,1	89,6
Teneur en eau :	14,62	14,40	16,5	14,62	18,44	18,48	2,34	20,42
Moyenne :	14,57	16,81	18,46	18,58				

L'opérateur :

Visa du responsable :

F-5-03.03

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ANALYSE GRANULOMETRIQUE DES SOLS

(Méthode par tamisage à sec après lavage)
NF P 94-056 Dec 1996

(Méthode de tamisage par voie humide)
XP P 94-041 Dec 1995

Structure : U. G. Echantillon : So. Metlili
 Lieu de travail : S. I. D. Date : 12.01.2015
 N° Dossier interne : F.A.T. 101/2014 Opérateur : Boukhal
 Equipements utilisés : B.A.I., B.A.C.E. N° D'inventaire : L. 81.41. 80

Poids de l'échantillon (g)	Tamis (mm)	Poids refus partiels (g)	Poids refus cumulés (g)	Poids refus cumulés (%)	Complément à 100	Tamisats %
	80					
	50					
	31,5					
	20					
	10	00	00	00	00	100
1000 g	5	8,48	8,48	0,85	99,15	99
	2	2,12	10,60	1,06	98,94	98
	1	4,50	15,10	1,91	98,09	98
	0,4	4,22	19,32	2,03	97,97	98
	0,2	5,52	24,84	2,85	97,15	97
	0,1	3,92	28,76	3,23	96,77	97
	0,08	1,98	30,74	3,47	96,53	97

L'opérateur :

Visa du responsable :

F-5-03.03

ANNEXES

RAPPORT D'ESSAI Limites d'Atterberg NF P 94 - 51																					
Client : Projet : F A T.Uni / 11 / 2014 Endroit :		N° Projet : F A T.Uni / 11 / 2014 Réf. Client : N° rapport : Rév :																			
Echantillon n° : E1 METLIL Sondage n° : Profondeur : Matériaux :		Provenance : Endroit de prélèvement : Prélevé par : Reçu le : Date prélèvement : Date essais : 12 / 01 / 2015																			
Limite de Liquidité (%) : WL = 85,19 Limite de Plasticité (%) : WP = 38,21 Indice de Plasticité (%) : IP = 46,98		Teneur en eau naturelle (%) : Weau =																			
<p style="text-align: center;">Limite de liquidité</p>		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: center;">Limite de plasticité</th> </tr> <tr> <th>Ech N°</th> <th>W (%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td style="text-align: center;">39,02</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td style="text-align: center;">37,5</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3</td> <td style="text-align: center;">38,1</td> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> </tr> </tbody> </table>		Limite de plasticité		Ech N°	W (%)	1	39,02	2	37,5	3	38,1								
Limite de plasticité																					
Ech N°	W (%)																				
1	39,02																				
2	37,5																				
3	38,1																				
<p style="text-align: center;">ABAQUE DE CASAGRANDE</p>																					
<p>Remarque :</p>																					
Préparé par :		Date :	Approuvé par : 																		

ANNEXES

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

LIMITES D' ATTERBERG
NFP 94-051 Mars 1993

Structure : U.C. Lieu de Travail : S. S. D. Date : 22.12.2011
 N° Dossier interne : F.A.T. H. 11.11.11.11.11 Température de Séchage : 60°C Opérateur : D.S.E. D.S.B.
 Echantillon : E. M. t. l. l. l. Équipements utilisés : Balance N° D' inventaire : L.H.P.A. 26.
Etuve 49.01.41

Résultats

LL = 25,19
 IP = 46,98
 LP = 38,21

LIMITE DE PLASTICITE

	1 ^{er} Essai	2 ^{ème} Essai	3 ^{ème} Essai
N° de la tare	<u>114</u>	<u>277</u>	<u>139</u>
Poids total humide	<u>7,48</u>	<u>7,63</u>	<u>7,54</u>
Poids total sec	<u>7,32</u>	<u>7,48</u>	<u>7,35</u>
Poids de la tare	<u>6,91</u>	<u>7,09</u>	<u>6,93</u>
Poids de l'eau	<u>0,16</u>	<u>0,15</u>	<u>0,16</u>
Poids du sol sec	<u>0,41</u>	<u>0,4</u>	<u>0,42</u>
Teneur en eau (%)			
Moyenne	<u>39,92</u>	<u>37,50</u>	<u>38,10</u>

LP = 38,21

L' Opérateur

Visa du Responsable

ANNEXES

RAPPORT D'ESSAI
ESSAI PROCTOR
 NF P94-093

Client : Projet : FAT-un/11/2014 Endroit :	N° Projet : Réf. Client : N° rapport : Rév :
--	---

Echantillon n° : E1 METLILE Sondage n° : Profondeur : Matériaux : Provenance :	Endroit de prélèvement : Prélevé par : Date prélèvement : Reçu le : Date essais : 08/01/2015 Densité des grains : 2,65 Refus à 20mm (%) :
--	---

$\gamma_d \text{ max} = 1,67 \text{ (T/m}^3\text{)}$
 $W_{opm} = 18, \text{ (\%)}$

Densité sèche « Gd » (T/m3)

Teneur en eau « W » (%)

MOULE

 Proctor
 CBR

ENERGIE

 Normal
 Modifié

Densité des grains

 Estimée
 Mesurée

TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	14,5	16,3	18,5	20,4			
Densité (T/m3)	1,58	1,67	1,65	1,64			

Remarque : p/m

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

E0-bc-S

© Sotesta 2007

ANNEXES

RAPPORT D'ESSAI ESSAI PROCTOR NF P94-093																			
Client : Projet : FAT-uni/11/2014 Endroit :	N° Projet : Réf. Client : N° rapport : Rév :																		
Echantillon n° : E1 METLILE Sondage n° : Profondeur : Matériaux : Provenance :	Endroit de prélèvement : Prélèvement par : Date prélèvement : Reçu le : Date essais : 05/01/2015	Densité des grains : 2,65 Refus à 20mm (%) :																	
<div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;"> $\gamma_d \text{ max} = 1,54 \text{ (t/m}^3\text{)}$ $W_{opn} = 19,1 \text{ (\%)}$ </div>																			
		MOULE Proctor <input type="checkbox"/> CBR <input checked="" type="checkbox"/>	ENERGIE Normal <input checked="" type="checkbox"/> Modifié <input type="checkbox"/> $S_r = 100 \%$																
TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;">W (%)</td> <td style="width: 10%;">14,3</td> <td style="width: 10%;">16,3</td> <td style="width: 10%;">18,4</td> <td style="width: 10%;">20,5</td> <td style="width: 10%;">22,6</td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>Densité (T/m3)</td> <td>1,43</td> <td>1,51</td> <td>1,54</td> <td>1,52</td> <td>1,49</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	W (%)	14,3	16,3	18,4	20,5	22,6			Densité (T/m3)	1,43	1,51	1,54	1,52	1,49			<div style="border: 2px solid blue; padding: 5px; display: inline-block;"> مختبر الأشغال العمومية في جنسوب البسات وحدة عمومية مصلحة المسالك </div>		
W (%)	14,3	16,3	18,4	20,5	22,6														
Densité (T/m3)	1,43	1,51	1,54	1,52	1,49														
Remarque : <i>p.n</i>																			
Préparé par :	Date :	Approuvé par :	Date :																

ANNEXES

RAPPORT D'ESSAI
ESSAI PROCTOR
NF P94-093

Client : Projet : Endroit :	N° Projet : sans titre Réf. Client : N° rapport :
Echantillon n° : Sondage n° : Profondeur : Matériau : Argile Provenance : <i>Netelili</i>	Endroit de prélèvement : Metiti Et Jaida Prélevé par : pelle manuelle Date prélèvement : 10-01-2015 Reçu le : Date essais : 11-02-2015

Rév :
 Densité des grains : 2,85
 Refus à 20mm (%) :

$\gamma_d \text{ max} = 1,36 \text{ (t/m}^3\text{)}$
 $W_{opt} = 18,7 \text{ (\%)}$

MOULE	
Proctor	<input type="checkbox"/>
CBR	<input checked="" type="checkbox"/>
ENERGIE	
Normal	<input checked="" type="checkbox"/>
Modéré	<input type="checkbox"/>
Densité des grains	
Estimée	<input checked="" type="checkbox"/>
Mesurée	<input type="checkbox"/>

TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	16,3	18,5	20,4						
Densité (t/m ³)	1,32	1,36	1,34						

Remarque :
 10 % sable de dune (P_N)

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

... SUD

ANNEXES

NORMAL
 ESSAI PROCTOR
 MODIFIE
 NF P 94-093 September 1997

Structure : M. CAHAROREL Lieu de travail : 3, 27 Date : 07.01.2015
 N° Dossier interne : FAT. 411111.004 Température de séchage : Opérateur : Bouh
 Echantillon : L3 METELLE Teneur en eau Opn : Equipements utilisés : BARANTZ
 Prise d'essai : 150g Densité sèche Max : N° D'inventaire : L21-12-96

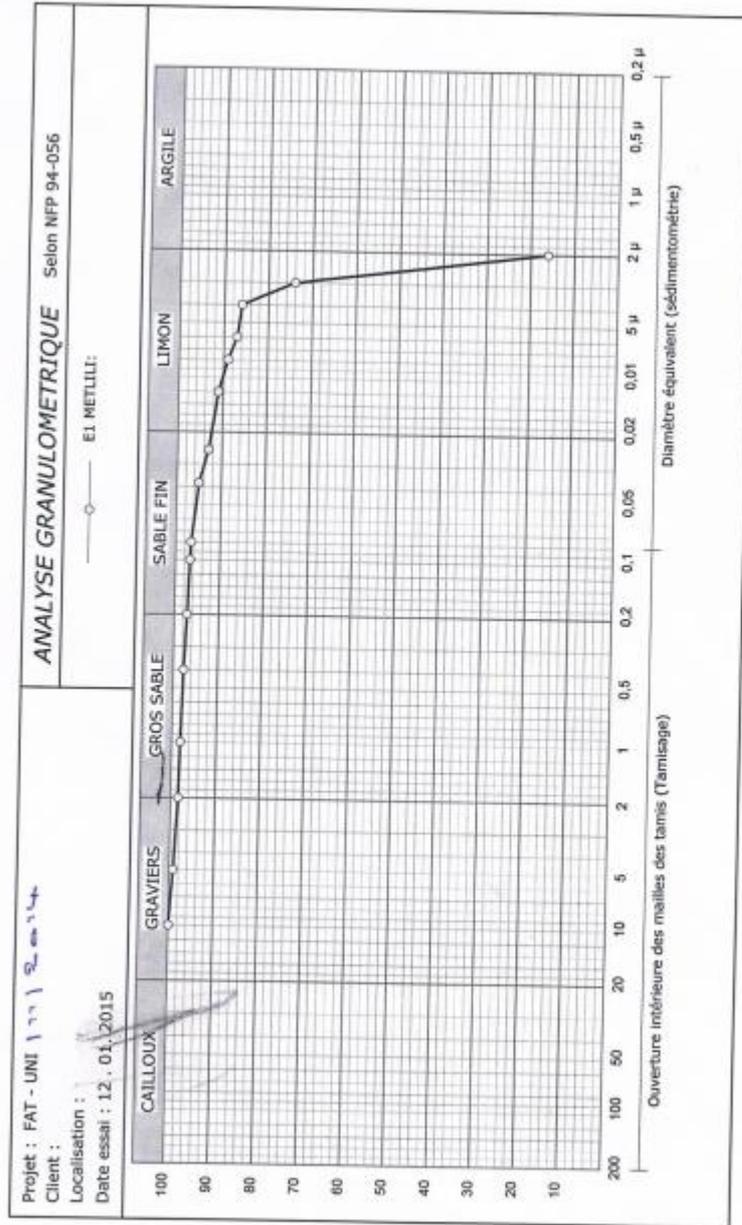
	1,43	1,51	1,54	1,52	1,50					
Poids d'eau ajoutée :	14%	16%	18%	20%	22%					
Poids total humide :	7335	7605	7744	7752	7763					
Poids du moule :	3652	3652	3652	3652	3652					
Poids du sol humide :	3677	3947	4086	4100	4105					
Poids du sol sec :	3212	3393	3457	3404	3345					
Volume du moule :	2243	2243	2243	2243	2243					
Densité sèche :	1,43	1,51	1,54	1,52	1,49					
N° de la tare :	F1	S39	C4	F19	W4	S11	R2	555	A72	F29
Poids total humid :	123	132	132	126	116	126	115	111	115	110
Poids total sec :	110	124	124	119	92,5	112,2	98,3	95,4	92,4	92,8
Poids de la tare :	19,3	18,1	19,9	18,3	19,2	19,7	16,2	19,0	18,7	17,4
Poids de l'eau :	13	15	14,6	15,2	14,5	18,3	16,7	15,6	17,6	12,2
Poids du sol sec :	96,7	105,9	103,5	96,5	72,3	99	81,5	76,4	78,7	75,4
Teneur en eau :	14,53	14,16	16,20	16,43	18,28	18,49	20,49	20,42	23,96	17,81
Moyenne :	14,25	16,31								22,59

L'opérateur

 Bouh

20/01/2015
 Bouh
 Responsable

F-3-94-03



مختبر التحاليل الكيميائية
 جامعة سطيف
 ص.ب. 24000

F-5-9.03

ANNEXES

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ESSAI DE COMPRESSION SIMPLE MODE OPÉRATOIRE

Structure: U. G. H. A. R. D. A. B. Lieu de travail: S. H. Date: 02.04.2014
 Dossier n°: F. A. T. W. M. I. 19812014 Nature du matériau: Opérateur: Boualem B.
 Échantillon: E. 4 J. M. A. 2 Température de séchage: Équipements utilisés: BALANCE
 Type: A. 6.1 W_{opt}: 12.0 N° D'inventaire: L. 2. 2. 0. 1. 0. 6

Compacité théorique	Densité	Poids du sol sec	Poids de l'eau	Poids du sol humide
100%	1.64	327.42	79.38	367.05
98%	1.64	321.85	78.62	360.47
95%	1.59	312.04	74.44	349.48

p. sol. s
 2200 → P. eau
 7264

N° d'éprouvette	Poids réel après compactage	Poids réel à l'échouement	Teneur en eau	Diamètre éprouvette	Hauteur éprouvette	Volumen éprouvette	Durée mise à l'échouement	Compacité à l'échouement	lecture	Résistance en (Kg/cm ²)	RC Moyenne (bars)
100	363.2	309.6		5	10	196.25			90	16.36	
100	366.2	339.7		5	10	196.25			85	15.45	16
98	357.9	306.2		5	10	196.25			75	13.63	
98	357.1	306.1		5	10	196.25			80	14.54	14
95	345.6	295.2		5	10	196.25			68	12.36	
95	346.7	296.7		5	10	196.25			62	11.27	12

L'Opérateur