



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



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة غرداية

Université de Ghardaïa

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الري والهندسة المدنية

Département Hydraulique et Génie Civile

N°d'enregistrement  
/...../...../...../.....

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine: ST

Filière: Génie Civile

Spécialité: Structures

**Thème :**

**Influence des trois types de géotextiles sur les paramètres des gonflements libre d'un mélange sable de dunes\_argile Metlili**

**El\_djadida - région de Ghardaïa**

Déposé le : 21/06/2023

**Par :**

**GEUSSOUM Hafsa**

**HEBAL Feriha**

**Évalué Par le jury composé de :**

<b>M<sup>me</sup> Matallah Z</b>	<b>M. A. A Université de Ghardaïa</b>	<b>Univ Ghardaïa</b>	<b>Président</b>
<b>Mr Nessim H</b>	<b>M. A. A Université de Ghardaïa</b>	<b>Univ Ghardaïa</b>	<b>Examineur</b>
<b>M<sup>me</sup> AZZOUZ F. Z</b>	<b>M. A. A Université de Ghardaïa</b>	<b>Univ Ghardaïa</b>	<b>Encadreur</b>

**Année universitaire : 2022/2023**

# **Sommaire**

## Sommaire

Sommaire .....	I
Dédicace .....	VI
Remercîment .....	VII
Résume .....	VIII
Listes des figures .....	XII
Listes des Graphes.....	XIII
Listes des photos.....	XIV
Listes des tableaux.....	XV
Signale et abréviations .....	XVI

### *Introduction général*

Introduction .....	O1
Problématique.....	O2
Objectifs.....	O2
Hypothèses.....	O2
Méthodologie et outils de travail.....	O2
Structure du mémoire.....	O3

## *Chapitre I : Synthèse bibliographique*

Introduction .....	04
I.1.- Situation géographique .....	04
I.2. Différents types des matériaux	05
I.2.1. Tuf .....	05
I.2.2. Gypse .....	05
I.2.3. Calcaire .....	06
I.2.4. Sable .....	06
I.2.4.1. Origine de sable .....	06
I.2.4.2. Type de sable .....	06
I.2.4.1.1. Sables artificiels .....	06
I.2.4.1.2. Sables naturels .....	07
I.2.4.3. Sables des dunes .....	07
I.2.4.3.1. Types des dunes .....	08
Avant-dunes (fore dune pour les anglophones) .....	08
Falaises dunaires (dune Cliff pour les anglophones) .....	08
Dunes perchées (Cliff-top dune pour les anglophones) .....	09
Cordons dunaires artificiels .....	09

I.2.4.3.2. Composition du sable des dunes .....	09
Granulométrie.....	09
Sables fins .....	09
Sables moyens .....	09
Sables grossiers .....	09
Composition chimique .....	09
I.2.4.3.2. Nature minéralogique .....	10
1.2.4.4. Intérêt et utilisation .....	10
Pour le domaine routier .....	10
Diverses Utilisation .....	10
I.2.4.5. Aspects économiques .....	10
I.2.4.6. Aspects techniques .....	11
I.2.4.7. L'utilisation du mélange sable et argiles dans le domaine géotechniques.....	11
I.2.5. Argiles.....	11
I.2.5.1. Formation des argiles .....	12
I.2.5.2. Classification des argiles.....	12
Minéraux de type 1 : 1 (ou T-O) .....	12
Minéraux de type 2 :1(ou T-O-T) .....	13

Minéraux de type 2:1:1(ou T-O-T-O) .....	13
I.2.5.3. Les principe groupe d'argile .....	13
I.2.5.4. phénomène de gonflement .....	14
Description du phénomène de gonflement .....	14
Facture d'effectuant de gonflement .....	15
I.3. Généralités sur le géotextile .....	15
I.3.1. Définition .....	15
I.3.2. Types de géotextiles .....	16
I.3.2.1. Géotextile tisse.....	16
I.3.2.2. Géotextile non tisse .....	16
I.3.2.3. Géotextile tricoté .....	16
I.3.3. Fonctions de géotextiles .....	16
I.4. Généralités sur les géotechniques routières .....	17
I.4.1. Couches de route .....	18
I.4.2- Matériaux et mise en œuvre .....	18
I.4.2.1- Terrassement .....	18
I.4.2.2- Couche de fondation .....	19
I.4.2.3- Couche de base .....	19

I.4.2.4-Couche de roulement.....	20
I.4. 3. Différentes structures de chaussées .....	22
I.4. 3. 1. Chaussées souples.....	22
I.4. 3. 2. Chaussées semi-rigides .....	23
I.4. 3. 3. Chaussées rigides.....	24
I.5. Les tufs et les sables de dunes en technique routière saharienne .....	24
I.5. 1. Utilisation des tufs d'encroûtement dans le domaine routier	25
II.6. L'essai Proctor.....	25
II.7. L'essai CBR .....	25
conclusion.....	26

## *Chapitre II : Matériels et méthodes*

Introduction .....	28
II.1. Site de prélèvement des matériaux.....	28
II.1. 1. sable de dune .....	28
II.1. 2. L'Argile Metlili El_djadida .....	29
II.2. Les essais des identifications du matériau utilisent .....	29
II.2. 1. analyse chimique .....	30
II.2.2. limites granulométriques .....	30

II.2.3. limites d'Atterberg .....	31
II.2.4. essai au bleu de méthylène .....	32
II.2.5. Equivalent de sable .....	33
II.2.6. L'essai Oedomètre .....	35
II.2.7. Essai Oedométrique sans géotextile .....	35
II.2.7.1. le principe de cet essai.....	35
II.2.7.2.Cet essai permet d'établir, pour un échantillon donné deux types de courbes...	36
II.2.7.3. Paramètres obtenus à partir de l'essai Oedométrique.....	36
II.2.7.3.1.Contrainte de consolidation Cc.....	36
II.2.7.3.2. Description de la courbe Oedométrique.....	37
II.2.8. L'essai de Proctor.....	37
II.2.8.. Le principe.....	38
II.2.8.2. Matériel spécifique Proctor.....	38
II.2.8.3. Matériel connexe pour essai Proctor.....	39
II.2.8.4. Mode opératoire pour essai Proctor .....	39
II.2.9. L'essai de gonflement libre .....	40
II.2.9. 1 .Méthode de gonflement libre .....	40
II.2.10.protocoles d'essai .....	41

II.2.10. 1. préparation de chantions.....	42
II.2.11. Le choi de geotextile.....	45
conclusion.....	45

### *Chapitre III : Résultats et discussion*

Introduction .....	47
III.1. Analyse chimique.....	47
III.2. Analyse granulométrique .....	48
III.2.1. Analyse granulométrique de sable de dune.....	48
III.2.2. Analyse granulométrie d'argile.....	49
III.2.3. Analyse minéralogie d'argile.....	50
III 3. Limite d'Atterberg.....	51
III 4. Équivalent de sable.....	52
III.5. Essai au bleu de méthylène.....	52
III.6- Résultats du Proctor modifie.....	53
III.7. Résultats du l'Oedomètre.....	54
III.8. Résultats de gonflement.....	56
III.8.1. mélange optimale sons géotextile .....	56
III.8.2. mélange optimale avec géotextile ( 01) .....	57

III.8.3. mélange optimale avec géotextile ( 02) .....	58
III.8.4. mélange optimale avec géotextile ( 03) .....	59
III.9. comparaison les résultats de gonflements sans et avec geo .....	60
conclusion.....	60

Conclusion général

Listes Bibliographies

ANNEXES



## *Dédicace*

*A mes chers parents que dieu les garde.*

*A mes chers soeurs.et Mon frère.*

*A toute ma famille, grande et petite.*

*à tous mes amis.*

*Mes collègues et tous ceux qui m'ont enseigné.*

*Guessoum Hafsa*

## *Dédicace*

*Dédie ce travail principalement*

*A mes chères parents.*

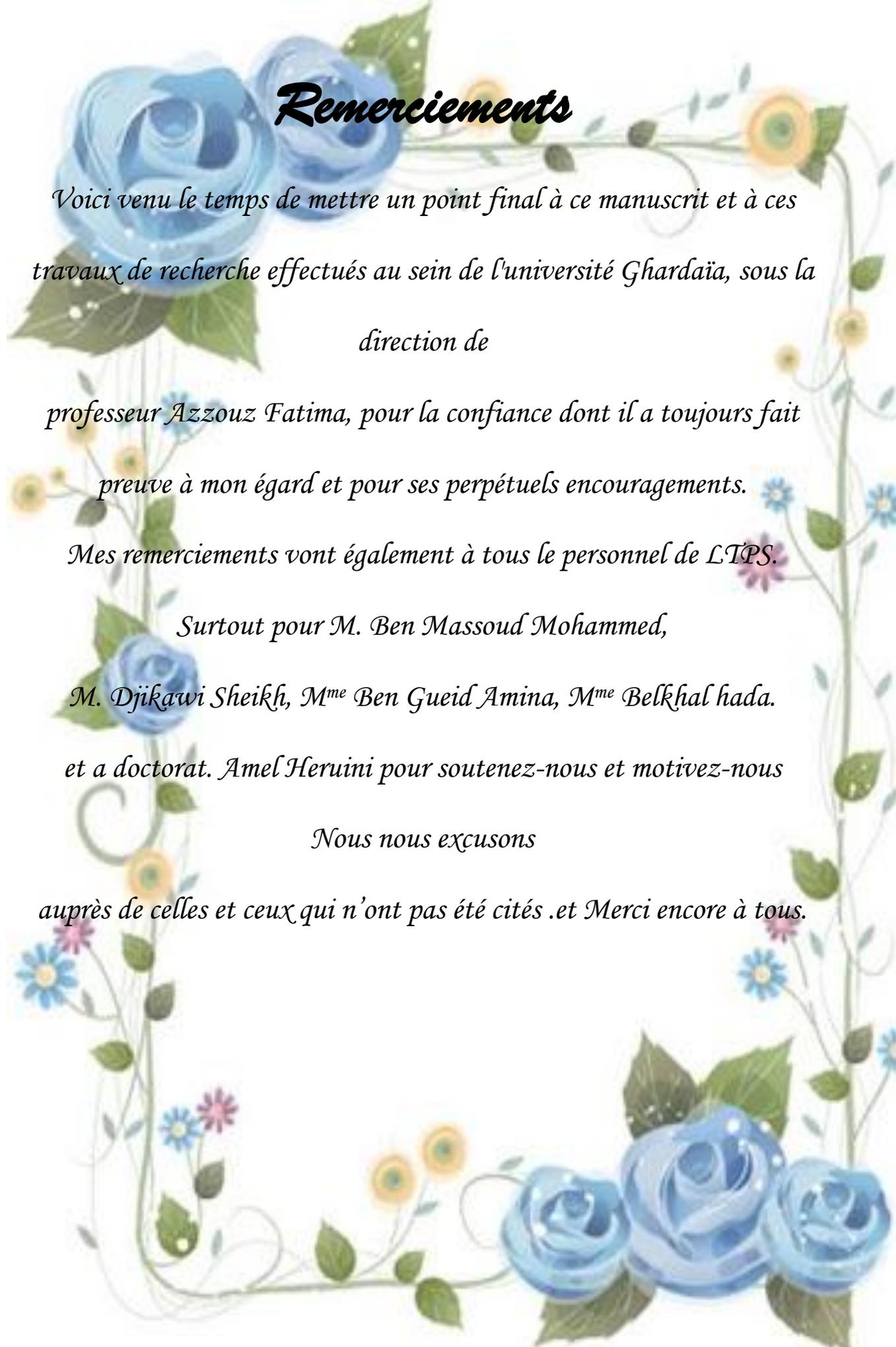
*À toute ma famille, grande et petite.*

*À tous mes professeurs qui ont eu le mérite.*

*après dieu tout\_ puissant.*

*de notre éducation et de notre discipline.*

*HEbal Feriha*



## *Remerciements*

*Voici venu le temps de mettre un point final à ce manuscrit et à ces travaux de recherche effectués au sein de l'université Ghardaïa, sous la*

*direction de*

*professeur Azzouz Fatima, pour la confiance dont il a toujours fait*

*preuve à mon égard et pour ses perpétuels encouragements.*

*Mes remerciements vont également à tous le personnel de LTPS.*

*Surtout pour M. Ben Massoud Mohammed,*

*M. Djikawi Sheikhi, M<sup>me</sup> Ben Gueid Amina, M<sup>me</sup> Belkhal hada.*

*et a doctorat. Amel Heruini pour soutenez-nous et motivez-nous*

*Nous nous excusons*

*auprès de celles et ceux qui n'ont pas été cités .et Merci encore à tous.*

# Résumé

تأثير الأنواع الثلاثة من التغطية الأرضية على معاملات الانتفاخ الحر لمزيج مثالي  
مكون من 70% رمل من الكتبان الرملية و 30% طين  
من متيلي الجديدة - منطقة غرداية

### ملخص

هذا البحث هو بهدف الاستغلال المحلي للمواد. لمنطقة المشروع ( غرداية) في مشاريع الهندسة المدنية و خاصة الطرقات حيث أن غرداية بها كمية معتبرة من الرمل والطين مما يجعلنا نسعى لاستغلالها . قمنا بإجراء تجارب للمواد المستعملة (رمل الكتبان. الطين) ومجموعة من تجارب الانتفاخ الحر للمزيج المثالي ( رمل الكتبان والطين) بعد خلطهما معا بنسبة 70 % و 30 % . وللحصول على مقاومة للانتفاخ الحر أضافنا 3 أنواع من التغطية الأرضية  
أظهرت النتائج أن دمج التغطية الأرضية للخليط الأمثل يزيد في مدة صلاحية الطريق.  
وفي الأخير تظهر أن الخليط المثالي اقتصادي ماديا كبديل لمشاريع الطرق وخاصة بالجنوب  
الجزائري

الكلمات المفتاحية : الطين , الرمل والخليط الأمثل , التغطية الأرضية , اختبارا لانتفاخ الحر والطرق

# **Influence des trois types de géotextiles sur les paramètres des gonflement libre pour d'un mélange optimal 70% sable de dune de Sebseb et 30% argile de Metlili El Djadida - région de Ghardaïa**

## **Résumé**

Cette recherche a pour but une valorisation locale des matériaux. Pour la zone du projet (Ghardaïa) dans les projets de génie civil, en particulier les routes, car Ghardaïa a une quantité importante de sable et de boue, ce qui fait que nous cherchons à l'exploiter. Nous avons mené des expériences pour les matériaux utilisés (sable de dune, argile) et un ensemble d'expériences de gonflement libre pour le mélange idéal (sable de dune et argile) après les avoir mélangés à 70% et 30%. Et pour la résistance au gonflement libre, nous avons ajouté trois types de géotextiles

Les résultats ont montré que l'incorporation de géotextiles au mélange optimal augmente la durée de validité de la route

Enfin, il apparaît que le mélange idéal est financièrement économique comme alternative aux projets routiers, notamment dans le sud algérien.

**Mots-clés :** argile, sable et mélange optimal, géotextiles, essai de gonflement libre et routes

# **Influence of the three types of géotextiles on the parameters of free swelling for an optimal mixture of 70% sand from the Sebseb dune and 30% clay from Metlili El Djadida - Ghardaïa region**

## **Abstract**

The aim of this research is to promote local materials. For the project area (Ghardaia) in civil engineering projects, especially roads, because Ghardaïa has a significant amount of sand and mud, so we are looking to exploit it. We conducted experiments for the materials used (dune sand, clay) and a set of free-swelling experiments for the ideal mixture (dune sand and clay) after mixing them at 70% and 30%. And for resistance to free swelling, we added three types of géotextiles

The results showed that the incorporation of géotextiles at the optimal mixture increases the validity period of the road.

Finally, it appears that the ideal mix is financially economical as an alternative to road projects, especially in southern Algeria.

**Keywords:** clay, sand and optimal mixing, géotextiles, free swelling test and roads

## Liste des figures

### *Chapitre I : Synthèse bibliographique*

Figure 01: Limites administratives de la wilaya de Ghardaïa.....	05
Figure 02: photographie au microscope électronique à balayage des argiles.....	13
Figure 03: les couches constituant la route.....	18
Figure 04: Différentes couches de chaussée .....	18
Figure 05: Structure type d'une chaussée souple.....	23
Figure 06: Structure type d'une chaussée semi-rigide.....	23
Figure 07: Structure type d'une chaussée rigide.....	24

### *Chapitre II : Matériels et méthodes*

Figure 08: carte de la situation géographique de la région d'étude (SebSeb et Metlili El_djadida) .....	28
Figure 09: Fiole de bleu de méthylène.....	32
Figure 10: Appareillage pour l'essai d'équivalent de sable.....	34
Figure 11 : Mode opératoire de Proctor.....	35
Figure 12: Test de l'odomètre.....	36
Figure 13: Appareillage spécifique pour essais de compactage (Proctor Normal) .....	38
Figure 14: Mode opératoire de Proctor.....	39

## Liste des graphes

### *Chapitre II : Matériels et méthodes*

Graphe O1: courbe de compressibilité .....	37
Graphe O2: courbes de consolidation.....	37
Graphe O3: Méthode de gonflement libre, (MRAD, 2005.....	41

### *Chapitre III : Résultats et discussion*

Graphe 04: courbe granulométrique du sable de dune.....	49
Graphe 05: courbe granulométrique d'argile.....	50
Graphe 06: courbe Analyse minéralogique d'argile.....	51
Graphe 07: courbe limites d'Atterberg.....	52
Graphe 08: Courbe Proctor de mélange.....	54
Graphe 09: Courbe résultat de Proctor modifie.....	55
Graphe 10: Courbe de gonflement en fonction de tempe sons Geo.....	55
Graphe 11: Courbe de gonflement en fonction de tempe avec Geo01.....	55
Graphe 12: Courbe de gonflement en fonction de tempe avec Geo02.....	56
Graphe 13: Courbe de gonflement en fonction de tempe avec Geo03.....	56
Graphe 14: La courbe de gonflement libre sons géotextile .....	57

Grphe 15: La courbe de gonflement libre avec géotextile 01..... ..	58
Grphe 16: La courbe de gonflement libre avec géotextile 02..... ..	59
Grphe 17: La courbe de gonflement libre avec géotextile 03..... ..	60
Grphe 18: comparaison les valeurs de gonflement..... ..	61

## LISTE DES PHOTOS

### *Chapitre I : Synthèse bibliographique*

Photo 01 : Sable des dunes dans la région de SebSeb (Ghardaïa, Algérie) .....	08
Photo 02 : Modèles de géotextiles ou LTPS.....	16

### *Chapitre II : Matériels et méthodes*

Photo 03 : sable de dune du site SebSeb.....	29
Photo 04 : gisement de sable de dune du site SebSeb.....	29
Photo 05 : L'argile du site metlili_djadida.....	29
Photo 06 : gisement de L'argile du site metlili_djadida.....	29
Photo 07: après avoir utilisé bleu de méthylène.....	32
Photo 08 : Tamis de 2mm pour cribler l'échantillons.....	42
Photo 09 : mélange optimaux (sable dune SebSeb + argile Metlili El_djadida.....	42
Photo 10 : ajoutée l'eau au mélange.....	42
Photo 11 : L'ajouté échantillon dans moule.....	42
Photo 12 : L'échantillon est dans le moule.....	42
Photo 13 : L'appareil de compactage.....	43

Photo 14 : l'échantillon dans le moule pour peson.....	43
Photo 15 : échantillon dans moule tous a la boîte.....	43
Photo 16 : échantillon dans l'appareil de gonflement.....	43
Photo 17 : après démontage l'appareil on vide l'eau du bassin de moule d'échantillon..	44
Photo 18 : en peser l'échantillon humide .....	44
Photo 19 : après démolée l'échantillons .....	44
Photo 20 : échantillon séchée .....	44
Photo 21 : GEOAS 300.....	45
Photo 22 : GEOAS 30.....	45
Photo 23 : GEOAS A50.....	45

## Liste des tableaux

### *Chapitre I : Synthèse bibliographique*

Tableau 1 : Daïrates et communes de la Wilaya de Ghardaïa .....	04
---	----

### *Chapitre II : Matériels et méthodes*

Tableau 02 : Types d'expériences à travailler .....	29
Tableau 03 : La classification par CaCO <sub>3</sub> de quelques sols cité .....	30
Tableau 04 : Valeur de bleu de quelques sols .....	33
Tableau 05 : classification de sable.....	34
Tableau 06 : Type et fonction des différents géosynthétiques .....	44

### *Chapitre III : Résultats et discussion*

Tableau 07 : Analyse chimique du sable de dune étudiée .....	47
Tableau 08 : Analyse chimique des argiles étudiées.....	48
Tableau 09: Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique du sable de dune .....	49
Tableau 10: Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique d'Argile de Metlili El_Jadida .....	50
Tableau 11: résultat d'essai de mélange utilisé .....	51
Tableau 12: résultat Limite de plasticité.....	52
Tableau 13: résultat d'essai .....	53
Tableau 14: résultats d'essai de Proctor.....	53
Tableau 15: comparaison des valeurs des résultats de gonflement.....	60

## Signale et abréviations

<b>P<sub>g</sub></b>	Pression de gonflement
<b>I<sub>c</sub></b>	Indice de consistance
<b>I<sub>p</sub></b>	Indice de plasticité
<b>W</b>	Teneur en eau
<b>W<sub>l</sub></b>	Limite de liquidité
$\gamma_d$	Poids volumique sec
$\gamma_h$	Poids volumique humide
<b>C</b>	Cohésion
<b>n</b>	La porosité
<b>e</b>	Indice des vides
<b>R</b>	Coefficient de corrélation
<b>X</b>	Moyenne
<b>P<sub>c</sub></b>	Préssion de consolidation
<b>I<sub>p</sub></b>	Indice de Plasticité
<b>M<sub>s</sub></b>	Mass sec
<b>M<sub>h</sub></b>	Mass humide
<b>P<sub>w</sub></b>	Poids water
<b>C<sub>u</sub></b>	coefficient d'uniformité
<b>S<sub>st</sub></b>	Surface spécifique totale.
<b>ES</b>	Equivalent de sable
<b>géo</b>	Géotextile
<b>LTPS</b>	Laboratoire des travaux publics du sud.
<b>ANDI</b>	Agence nationale du développement des investissements
<b>Ch</b>	Chapitre

# **Introduction Générale**

## **Introduction Générale**

Dans le contexte du développement des infrastructures routières en Algérie, l'amélioration de la qualité des routes tout en réduisant leur coût d'entretien est un enjeu crucial pour promouvoir le développement durable du pays.

Les autorités algériennes ont lancé un ambitieux programme impliquant des investissements de plusieurs milliards de dollars pour moderniser et développer divers projets routiers (Goual, 2012). Depuis 2005, un projet majeur a été mis en œuvre, comprenant la réhabilitation, le renforcement et l'amélioration de 2 299 km de routes existantes, la construction de 612 km de nouvelles routes nationales et régionales, ainsi que la création de 350 km de routes nouvelles ou renforcées, permettant ainsi à environ 600 000 personnes d'avoir un meilleur accès (Rapport sur les activités de développement, 2005).

L'utilisation des géosynthétiques est répandue dans le domaine du génie civil, en particulier en géotechnique. Depuis plus de trente ans, ces matériaux sont employés dans divers domaines tels que le drainage, le filtrage, la séparation, le renforcement des talus et des chaussées, ainsi que la protection contre l'érosion. Malgré les avancées réalisées par le pays ces dernières années dans le secteur des travaux publics, l'utilisation des géosynthétiques en Algérie demeure très limitée (Mirech, 2013).

Une autre innovation dans ce domaine est l'utilisation de textiles techniques en tant que drains et filtres. L'évolution des matériaux synthétiques a permis aux liquides de s'écouler à travers des matériaux poreux tout en retenant une partie du sol environnant. Ces matériaux géosynthétiques peuvent ainsi remplacer les couches de sable traditionnellement utilisées comme drains et filtres. Les capacités de filtration pour l'eau et le sol ont conduit à l'émergence des matériaux géosynthétiques dès les années 1930, lorsque les fabricants européens de textiles ont adapté leurs machines et développé une nouvelle gamme de produits destinés aux applications géotechniques (Mirech, 2013).

Cependant, ce programme routier est confronté à des défis liés à la vaste étendue désertique au sud, notamment en ce qui concerne les coûts matériels pour la réalisation des projets et la vitesse d'usure des routes.

L'objectif de ce travail est de créer une base documentaire pour guider les futurs travaux expérimentaux dans le domaine de la construction de routes en utilisant un mélange

optimal de sable de dune et d'argile. L'objectif est d'exploiter les matériaux locaux afin de réduire les coûts, tout en augmentant la durée de vie du projet grâce à l'ajout de géotextiles. L'étude vise également à déterminer l'effet de ces géotextiles sur le mélange optimal et à identifier le meilleur choix parmi trois types de géotextiles.

Le mémoire est structuré en trois chapitres :

- Chapitre I : Synthèse bibliographique

Ce chapitre présente la géologie de la région d'étude (zone Ghardaïa), des informations générales sur le sable de dune et les argiles, ainsi qu'un aperçu sur les géosynthétiques et leurs applications. On y explore également les différents mélanges réalisés dans le domaine des géosynthétiques.

- Chapitre II : Matériels et méthodes

Dans ce chapitre, tous les essais réalisés sur le sol, l'argile et le mélange optimal (70 % de sable de dune SebSeb et 30 % d'argile Metlili El\_djadida) sont regroupés. On y présente les résultats des essais Proctor, du gonflement libre et de l'odomètre, en incluant l'ajout des trois types de géotextiles. Les expériences ont été menées au Laboratoire des Travaux Publics du Sud (LTPS) à Ghardaïa.

- Chapitre III : Résultats et discussion

Dans ce dernier chapitre, les résultats essentiels concernant le mélange de sable de dune et d'argile, ainsi que le mélange optimal, sont présentés. On y expose également les résultats du gonflement libre suite à l'ajout de géotextile et leurs interprétations. Enfin, le mémoire se conclut par une synthèse des résultats et des perspectives pour de futures recherches.

En résumé, ce travail vise à établir un mélange optimal de sable de dune et d'argile pour la construction de routes, en exploitant les matériaux locaux et en intégrant des géotextiles pour améliorer la durabilité du projet. Les trois chapitres du mémoire couvrent la synthèse bibliographique, les essais et méthodes utilisées, ainsi que les résultats et leur discussion.

**CHAPITRE I :**  
**Synthèse**  
**bibliographique**

## Chapitre I : Synthèse bibliographique

### Introduction

Dans ce chapitre nous allons parler sur la géologie de région d'étude (zone Ghardaïa), des généralités sur le sable de dune et les argiles et les différents mélanges faites dans le domaine de géo synthétiques, et en bref.

### I.1. Situation géographique

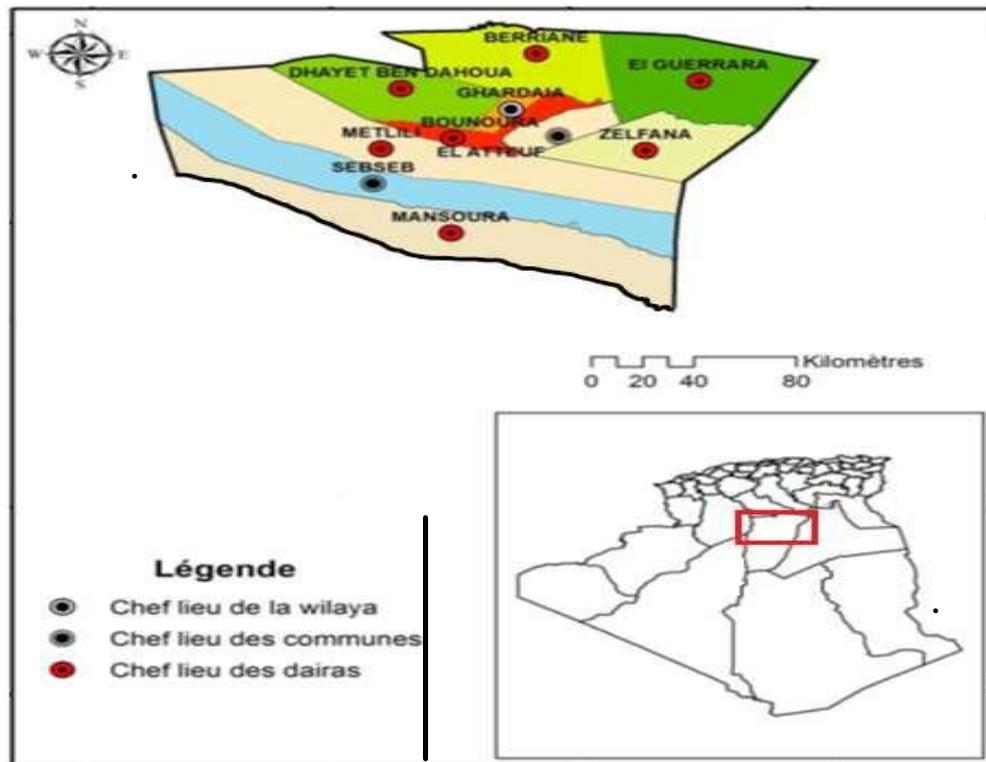
La wilaya de Ghardaïa issue du dernier découpage administratif, du territoire selon la loi n°19 - 12 du 12/11/2019. Elle est située au centre de la partie nord du Sahara, à 600 km au sud de la capitale Alger, avec une superficie de 26. 165 km<sup>2</sup> avec une population de plus de 409.660 habitants, répartis dans la figure 1, 08 daïras et 10 communes (D.S.A, 2021).

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).

**Tableau 01** : Daïrates et communes de la Wilaya de Ghardaïa (D.P.S.B, 2020).

Dairates	Nombre de communes	Communes
Ghardaïa	01	Ghardaïa
Metlili	02	Metlili-Sebseb
Berriane	01	Berriane
Guerrara	01	Guerrara
Bounoura	02	Bounoura- El-Atteuf
Daya	01	Daya
Zelfana	01	Zelfana
Mansoura	01	Mansoura



**Figure 01** : Limites administratives de la wilaya de Ghardaïa (Hamel, 2023)

## I.2. Différents types des matériaux

Il y a des plusieurs matériaux comme: Tuf, Calcaire, sable et l'argile.

### I.2.1. Tuf

Les tufs calcaires, également connus sous le nom d'encroûtements calcaires", sont principalement composés de carbonate de calcium, bien que d'autres éléments puissent également être présents. Les tufs calcaires se présentent sous forme de poudre, de nodules ou de formations très dures. Ils se forment lorsque le calcaire s'infiltré et cimente, accumule ou remplace des quantités variables de sols, de roches ou de matériaux altérés dans une zone d'infiltration. (Ben ouakhir, 2015)

### I.2.2. Gypse

C'est un minéral mou avec une densité de 2,3 g/cm<sup>3</sup> et une structure granuleuse et stratifiée ou fibreuse. Il est blanc, parfois il est blanc à cause de différentes impuretés. Gris, rouge, jaune et noir. Il est facilement soluble dans l'eau. Chimiquement, il se compose de sulfate de calcium hydraté de formule:CaSO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O (Hafsi, 2010).

Les encroûtements gypseux sont des formations analogues aux encroûtements calcaires. Ils sont très abondants dans les régions à climat aride où le gypse existe déjà dans les formations géologiques anciennes (Alloul, 1981 ; Frenkel, et *al.*, 1986).

### **I.2.3. Calcaire**

Connu principalement sous le nom de carbonate de calcium sous forme de  $\text{CaCO}_3$ , il est le minéral le plus commun de la croûte terrestre. Il forme des roches granuleuses à grosses, Grains moyens et fins, sa densité est de 2,7 g/cm<sup>3</sup>. Insoluble dans l'eau, réagira action acide forte (Hafsi, 2010)

### **I.2.4. Sable**

Le sable est constitué de différents minéraux comprenant la silice, les silicates, les carbonates et les argiles. Les silicates sont particulièrement répandus dans la nature, représentant environ 90% de la masse de l'écorce terrestre. (Daheur, 2019).

#### **I.2.4.1. Origine des sables**

Les caractéristiques physico-chimiques des sables rencontrés sont le résultat d'une décomposition chimique ou d'une désintégration mécanique des roches, suivies d'un processus de transport qui les façonne (Chauvin, 1987).

#### **I.2.4.2. Type de sable**

Le sable se distingue par de nombreux paramètres, mais on peut distinguer deux types de sable : Le sable naturel et le sable transformé.

##### **I.2.4.2.1. Sables artificiels**

Il s'agit de matériaux fabriqués dans le processus de production de granulats, qui peuvent être en excès par rapport à la production souhaitée (gravier ou gravillon). Ces matériaux peuvent être soit :

- Des sables roulés obtenus par le tamisage initial d'un matériau brut.
- Des sables concassés, qui sont souvent en surplus de la production d'une carrière ou d'une sablière. Ces derniers sont de plus en plus utilisés dans le domaine de routier (Kateb, 2007)

##### **I.2.4.2.2. Sables naturels**

Dans certaines régions, on trouve en grande quantité des matériaux qui résultent d'un processus complexe d'érosion et de sédimentation. Leur formation se déroule en trois

étapes successives : la décomposition sur place des diverses roches, suivie d'un transport qui les dépose dans des dépôts où ils se trouvent sous différentes formes (Kateb, 2007)

Les plus rencontrés et les plus connus sont :

- Les sables marins.
- Les sables marins littoraux.
- Les sables fluviatiles.
- Les sables éoliens.
- Sables du Sahara.
- Sables éoliens.
- Sables de regs.
- Sables géologiques en place.
- Sables gypseux.
- Sables gypso-calcaires (Kateb, 2007)

#### **I.2.4.3. Sables des dunes**

Le Sahara est constituée d'environ 40 % de montagnes désertiques, 15 % de plaines désertiques et 30 % de dunes de sable, le reste étant constitué de sebkhas, de chotts. (Chenini, 2021)

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 se trouvent dans plusieurs régions du désert accumulés sous forme de dunes mouvantes de hauteur très variable et occupent de vastes territoires dans le sud algérien. La vitesse et l'intensité des vents sont les deux facteurs responsables du triage granulaire de ces sables, de leur distance de transport et de leur mode d'accumulation (Oldache, 1988)



**Photo 01** : Sable des dunes dans la région de Sebseb (Ghardaia, Algérie source auteure)

#### **I.2.4.3.1. Types des dunes**

##### ✓ **Avant-dunes (fore dune pour les anglophones)**

Également appelées fore dunes en anglais, sont des bourrelets plus ou moins fixés par la végétation, comme les oyats, par exemple. Elles sont parallèles au trait de côte et solidaire de la plage, c'est-à-dire qu'elles échangent du sable avec elle, dans un même système sédimentaire. Il ne faut pas les confondre avec une ancienne arrière-dune en cours d'érosion ou avec une dune formée par du sable venant de l'intérieur des terres sur un secteur où une 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 la fixation du sable en haut de la plage par des plantes pionnières spasmophiles. (Azouz, 2009)

##### ✓ **Falaises dunaires (dune Cliff pour les anglophones)**

Les falaises dunaires, appelées dune cliffs en anglais, ne sont pas de vraies dunes, mais plutôt 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. (Azouz, 2009)

✓ **Dunes perchées (Cliff-top dune pour les anglophones)**

Apparaissent au sommet d'une falaise vive. Elles sont alimentées 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. (Azouz, 2009)

✓ **Cordons dunaires artificiels**

Les cordons dunaires artificiels sont construits par l'homme, généralement comme élément de protection contre la mer ou pour préserver une zone cultivée ou construite. Ils nécessitent un entretien permanent, sans lequel ils se désintègrent en quelques décennies. Certains cordons sont semi-naturels, comme les avant-dunes plus ou moins dégradées, rectifiées par des engins et fixées par des oyats à Sangatte, dans le nord de la France. (Azzouz, 2009)

#### **I.2.4.3.2. Composition du sable des dunes**

Ils ont classé les sables selon trois paramètres dont :

- **Granulométrie:** Elle permet de séparer les sables en trois catégories :
  - **Sables fins :** plus de 75% des éléments supérieurs à 80 $\mu$ m, sont inférieurs à 0,5mm. Ces sables doivent être notablement corrigés pour acquérir des propriétés comparables à celles des graves.
  - **Sables moyens :** Moins de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80 $\mu$ m sont compris entre 0,2 et 2mm.
  - **Sables grossiers :** Plus de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80 $\mu$ m sont compris entre 0,5 et 5mm. Ces sables ont des propriétés qui se rapprochent des graves (Ben dhia, 1998).
- **Composition chimique**

Ces sables se caractérisent par une composition chimique extrêmement simple : plus de 95 % de silice, de 1 à 2 % de calcaire, ainsi que des traces d'autres oxydes. En raison de cette composition, le sable présente une teinte blanche légèrement jaune et ocre. Il a tendance à se dessécher et à perdre facilement sa cohésion en surface. (Ben dhia, 1998).

#### **1.2.4.3.2. Nature minéralogique**

En général, les sables peuvent être classés comme suit :

- Sables siliceux.
- Sables silico-calcaires.
- Sable calcaires.

#### **1.2.4.4. Intérêt et utilisation**

##### **➤ 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 (Cherrak, 2015)

##### **➤ Diverses Utilisation**

Les sables jouent un rôle crucial dans le processus de sédimentation et possèdent une grande valeur économique en tant que ressource. Ils sont utilisés comme remblais, granulats pour le béton, matériaux de construction et sables siliceux dans l'industrie. Les sables siliceux, autrefois appelés sables industriels, constituent la matière première principale de l'industrie du verre, des moules et des noyaux de fonderie. Ils sont également utilisés dans la fabrication de céramiques et de mortiers spéciaux. Le sable constitue un environnement naturel où se concentrent les minéraux lourds transportés par les cours d'eau, connus sous le nom de placers. Ces dépôts sableux minéralisés sont exploités pour extraire des minéraux tels que l'or, les diamants, la cassitérite (minerai d'étain), la magnétite (oxyde de fer) et l'ilménite (oxyde de titane et de fer). De plus, les sables jouent un rôle crucial en tant que réservoirs potentiels pour les nappes d'eau (aquifères) ou les hydrocarbures. Il est essentiel de réglementer l'exploitation du sable, souvent réalisée de manière anarchique, afin de prévenir les perturbations des équilibres naturels fragiles, telles que l'érosion des plages privées de leur apport naturel de sable, ou encore la détérioration de la nappe phréatique (Azzouz, 2009)

#### **1.2.4.5. Aspects économiques**

Les aspects sont évidents dans la mesure où l'utilisation du sable de dune permet une économie certaine dans le transport des matériaux, puisqu'il est partout disponible en quantité inépuisable. Par ailleurs, son extraction n'engendre pratiquement pas de frais supplémentaires

et son mélange avec les autres matériaux sur chantier peut se faire facilement (Guermiti, 2013).

#### **1.2.4.6. Aspects techniques**

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

#### **1.2.4.7. L'utilisation du mélange sable et argiles dans le domaine géotechniques**

Le mélange sable-argile est utilisé surtout pour l'enfouissement des déchets, 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 (Koulougli, 2007)

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.

#### **1.2.5. Argiles**

Les Argiles est l'un des matériaux les plus abondants sur Terre, et son utilisation par l'humanité remonte à une période très ancienne, et l'humanité s'y intéresse depuis des milliers d'années. Ils jouent un rôle crucial dans les propriétés physico-chimiques des sols, tels que l'adsorption d'éléments chimiques ou de molécules dans le sol. Les minéraux argileux sont également des indicateurs importants des processus de formation des sols. (Tesson et *al.*, 2016)

Avec l'avancement des sciences modernes, les argiles sont aujourd'hui étudiées et utilisées dans de nombreuses applications industrielles. Elles jouent un rôle essentiel dans des domaines tels que la catalyse (filtres, absorbants, dépôt de déchets, etc.), l'énergie et l'environnement (récupération du pétrole, assainissement des sols, confinement géologique des déchets radioactifs et du CO<sub>2</sub>, etc.). Dans ces domaines, l'étude de l'interaction entre l'eau contenue dans les sols et les matériaux argileux revêt une importance primordiale (Koneshloo, 2007).

#### **I.2.5.1. Formation des argiles**

Les sols argileux se forment par un processus lent d'altération sous l'action du climat, suivi de phénomènes «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) (Belabbaci, 2014)

#### **I.2.5.2. Classification des argiles**

Les principaux critères de classification des phyllosilicates sont basés sur la combinaison des feuillets, le type de cations dans l'octaèdre et le tétraèdre, la charge de la couche et la nature des espèces dans l'espace interfoliaire.

##### **✓ Minéraux de type 1 : 1 (ou T-O)**

À une couche d'octaèdres et une couche de tétraèdres. L'équidistance caractéristique est d'environ 7,1 Å. A ce type correspond le groupe de la kaolinite (figureII.1). Les minéraux de ce type présentent peu de substitutions isomorphiques et ont par conséquent peu ou pas de cations interfoliaires. Dans ce groupe, l'halloysite est une espèce particulière qui s'apparente à une kaolinite hydratée. Sa morphologie est tubulaire avec un diamètre moyen de 20 nm. Son espace interfoliaire renferme deux couches d'eau et son équidistance à l'état hydraté est de l'ordre de 1 nm (Brigatti et al, 2006)

✓ **Minéraux de type 2 :1(ou T-O-T)**

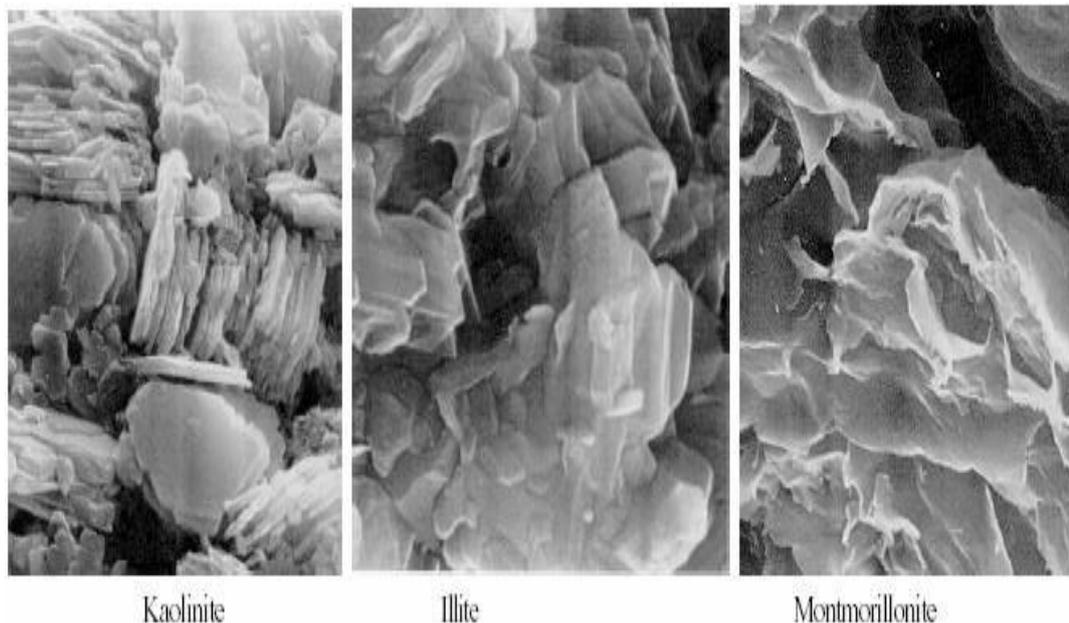
Le feuillet est constitué de deux couches tétraédriques et d'une couche octaédrique, il est qualifié de T:O:T ou de type 2 :1, son épaisseur est d'environ 10Å. Par exemple la Montmorillonite, Illite et le Pyrophyllite (M'bodj et *al.*, 2004)

✓ **Minéraux de type 2:1:1(ou T-O-T-O)**

A une couche d'octaèdres encadrée par deux couches tétraédriques, et un inter feuillet constitué par une couche d'octaèdres ; l'équidistance caractéristique est alors d'environ 14 Å ; à ce type correspond le groupe du chlorite (Moore et Reynolds, 1997).

### I.2.5.3. Les principe groupe d'argile (Chenini ,2021)

Nous raccourcissons les groupes aux images suivantes la fuguer 02.



**Figure 02** : photographie au microscope électronique à balayage des argiles (Chenini, 2021)

#### I.2.5.4. Phénomène du Gonflement

De nombreuses études ont été menées sur le gonflement des argiles, révélant ainsi des domaines d'intérêt spécifiques. Parmi les principales préoccupations des chercheurs dans le domaine de l'étude des argiles gonflantes, il est primordial de comprendre et d'identifier les facteurs responsables de ce phénomène (Fenniche et Soudani, 2022).

##### ✓ Description du phénomène de gonflement

Diverses explications ont été avancées par plusieurs auteurs pour expliquer le phénomène du gonflement. On va citer ci-dessous quelques-unes de ces approches :

Dans l'étude menée par Serratrice *et al.*, (1996), le phénomène de gonflement a été subdivisé en deux phases qui peuvent coexister et interagir entre elles : le gonflement primaire et le gonflement secondaire. Le gonflement primaire, également appelé gonflement macroscopique, se produit rapidement dès que le sol entre en contact avec l'eau. Il est contrôlé par la perméabilité du sol et est lié au degré de saturation ( $S_r$ ). Ce premier processus est associé à l'écoulement de l'eau selon la loi de Darcy. La deuxième phase du gonflement, appelée gonflement microscopique, résulte de l'hydratation progressive des minéraux actifs et se déroule plus lentement. Ce type de gonflement est influencé par le type de minéraux présents dans le fluide interstitiel et est également affecté par la pression de confinement.

Van Olphen (1963) a expliqué le processus de gonflement par deux étapes : la première étape serait due à la capacité d'absorption monocouche successive d'eau à la surface des particules et la suite serait quant à elle due aux forces de répulsion qui sont dominantes dans ce stade.

Seed *et al.*, (1961) travaillant sur les argiles reconstituées, ont attribué le gonflement à deux phases, une phase mécanique et une phase physico-chimique. Ces auteurs ont observé que les échantillons d'argile reconstituée à la même densité par le compactage statique ont donné un gonflement approximativement le double de celui donné par les échantillons reconstitués par malaxage. Donc les différences dans le mode de préparation des échantillons résultent en des structures différentes (contribution des effets mécaniques).

Chang et Warkentin (1966) a divisé le gonflement en deux composantes: l'un structural, les pores ne sont pas totalement remplis d'eau, et l'autre normal, l'échantillon est totalement saturé.

Wong et Yong (1973) ont montré expérimentalement que l'évolution de la pression de gonflement est rapide au début de l'essai et s'atténue avec le temps.

#### ✓ Facteurs affectant le gonflement (LAHRECHE 2022)

Les résultats de nombreuses études ont montré que l'amplitude du gonflement dépend de deux types de facteurs :

- Les facteurs intrinsèques.
- Les facteurs externes.

### I.3. Généralités sur le géotextile

Dans cette partie on présente les géotextiles et les types, les classes de géotextiles qui existent dans l'industrie et l'utilisation de ces derniers dans le domaine du génie civil (routes) et renforcements des sols.

Les géotextiles sont des tissus en polymères (naturels ou synthétiques), plans, perméables, utilisés en contact avec le sol ou d'autres matériaux pour des applications géotechniques et de génie civil (géotextiles de renforcement dans les bâtiments, de séparation dans la construction de routes et de voies ferrées...) et avec propriété de laisser passer l'eau (perméable aux fluides). En génie civil, ils font partie de la famille des géosynthétiques. Des géotextiles biodégradables ou écologiques existent aussi comme la toile de jute et servent à la végétalisation de talus ou de pistes de ski. (Souilem, 2018)

#### I.3.1. Définition

L'appellation « géosynthétiques » est un terme générique désignant des produits dans lesquels au moins un de ces composants est à base de polymères synthétiques ou naturels et qui sont utilisés au contact du sol sous forme de rubans ou de structures tridimensionnelles. Ou il peut être utilisé en combinaison avec d'autres matériaux dans le domaine de la géotechnique et du génie civil.

Sont classés en (02) deux grandes familles:

- Produits perméables
- Produits imperméables

### I.3.2. Types de géotextiles : Matière en polymère (Souilem, 2018)

#### I.3.2.1- Géotextile tisse

Fabriqué en entrelaçant à angle droit deux brins ou plus de filament de blondelet ou d'un autre élément.

#### I.3.2.2. Géotextile non tisse

Fait les fibres de filament ou d'autres élément oriente directionnellement ou de façon aléatoire et lie de façon mécanique et ou thermique et ou chimique.

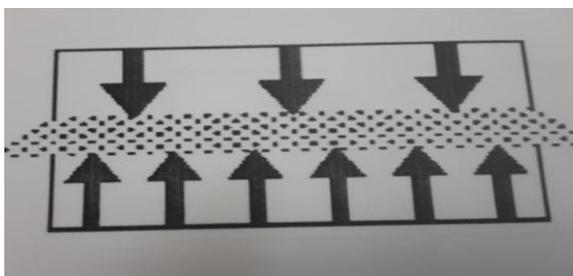
#### I.3.2.3. Géotextile tricoté

Produit par entrelacement d'un ou de plusieurs fils de filaments ou d'autres éléments.

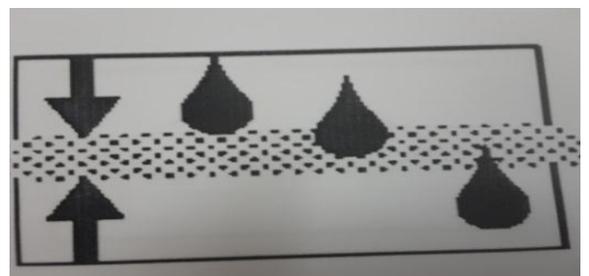


**Photo 02:** Modèles de géotextiles ou LTPS (source auteure)

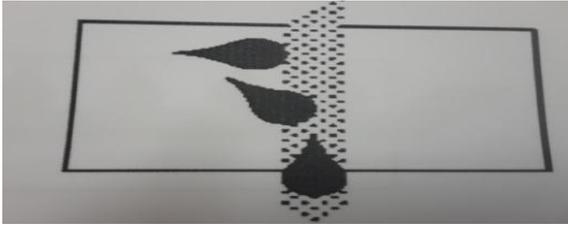
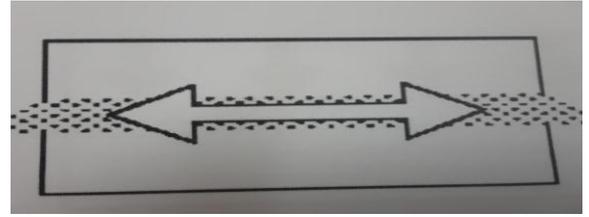
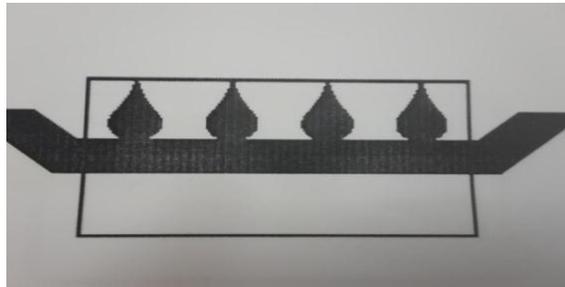
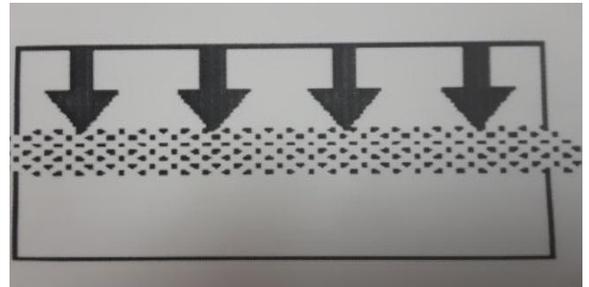
### I.3.3. Fonctions de géotextiles (Souilem, 2018)



**Séparation:** prévention de matériaux ou de sols. (Souilem, 2018)



**Filtrations** (Souilem, 2018)

**Drainages** (Souilem, 2018)**Renforcement** (Souilem, 2018)**Etanchéité** : utilisation pour limiter la migration de fluides. (Souilem, 2018)**Protection** (Souilem, 2018)

L'industrie des géo-synthétiques a connu une forte croissance et a commencé à améliorer sa structure, mais elle a un certain nombre de points communs : le renforcement du sol avec des géotextiles améliore sa résistance mécanique en augmentant sa cohésion apparente, mais ne modifie pas sa résistance au frottement. L'amélioration de cette résistance mécanique est fortement influencée par les propriétés mécaniques du matériau géotextile ainsi que par le nombre de géotextiles interconnectés.

#### I.4. Généralités sur les géotechniques routières

Le sol joue un rôle essentiel dans les travaux de terrassement du domaine routier. Les terrassements et les routes sont d'une grande importance économique dans le secteur des travaux publics, représentant 25% du chiffre d'affaires de cette profession.

Une route est une voie de communication terrestre. C'est un endroit aménagé ou construit pour la circulation des véhicules automobiles à deux ou plusieurs roues, des piétons. Généralement de nos jours, les routes sont artificielles, c'est-à-dire construites par l'Homme. La route est un moyen de relier les installations des autres voies de communication (port maritime ou fluviales, gare, aéroport) avec n'importe quels points du territoire. (<https://fr.wikidia.org/wiki/Route> le 22/07/2023).

I.4.1. Couches de route (Adjir hamza, 2021)

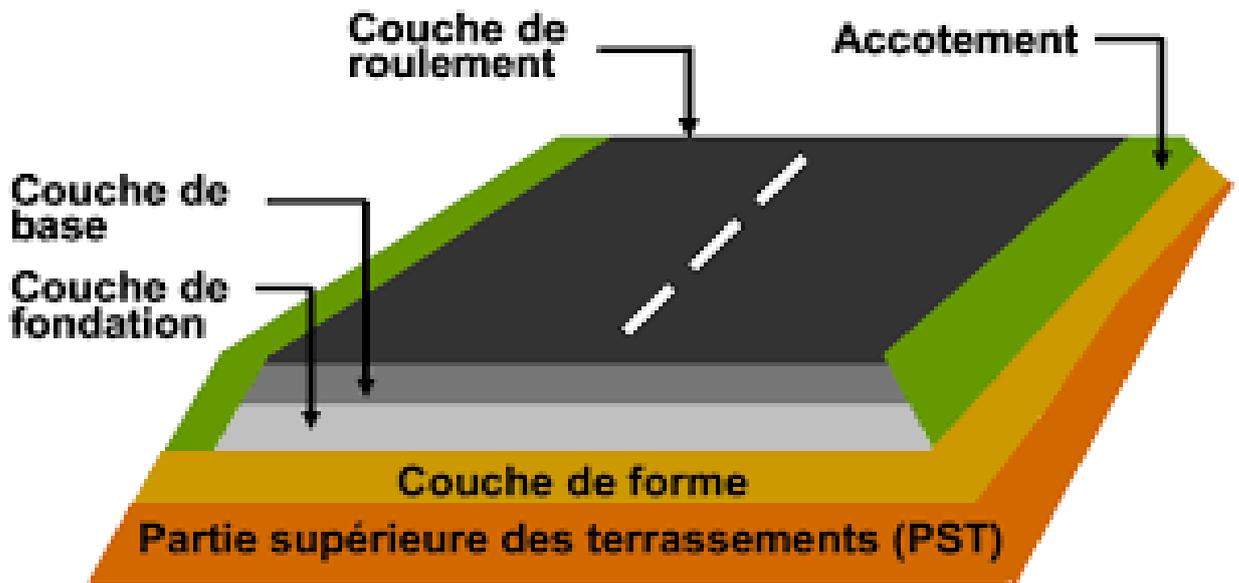


Figure 03 : les couches constituant la route (Adjir hamza, 2021)

I.4.2. Matériaux et mise en œuvre : (Fumet, 1959 ; Fenzy, 1965 ; Inal, 1980 ; Boularek, 1989)

La structure de chaussée se présente alors selon le schéma de la typique représenté dans la (figure.04) (Route)

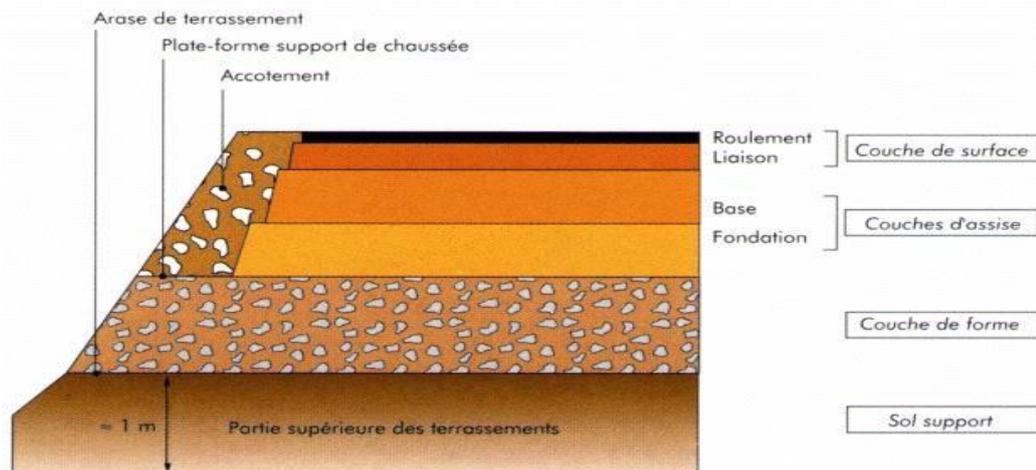


Figure 04 : Différentes couches de chaussée(Adjir hamza, 2021)

I.4.2.1. Terrassement (Loualbia, 2018)

Dans les régions désertiques, les routes sont souvent construites en utilisant un remblai de faible hauteur, généralement entre 20 et 30 cm. Cette approche présente plusieurs

avantages, notamment en favorisant le drainage et en modifiant positivement la teneur en eau sous la chaussée. Il est préférable d'éviter les déblais car ils contribuent à l'accumulation de sable sur les routes. Lorsqu'il est possible d'utiliser des matériaux de bonne qualité à des distances de transport abordables, il n'y a pas de sélection spécifique de matériaux pour les travaux de terrassement, à l'exception des matériaux trop fins et pulvérulents qui devraient être évités. Les remblais sont construits en utilisant ces matériaux de bonne qualité, ce qui constitue déjà une fondation solide, permettant de réduire au minimum l'épaisseur de la couche de base de la chaussée, qui est d'environ 15 cm. En zones dunaires, le sable peut constituer le corps du remblai, cependant sa mise en œuvre pose des problèmes particuliers, difficultés de épandage du matériau de couche de base sur le sable de dune, cette opération ne peut se faire sans contamination de la couche supérieure sauf si l'on prend des précautions lors de la mise en œuvre (approvisionnement à l'avancement)

Les terrassements sont compactés à sec de manière à atteindre des densités de l'ordre de 90 % de l'optimum Proctor. La dernière couche étant compactée à l'eau, à 96 % de l'optimum Proctor. La couche supérieure des terrassements devra être traitée de façon à acquérir une compacité maximale, de l'ordre de 98% de l'optimum Proctor (Larabi, 1998).

#### **I.4.2.2. Couche de fondation** (Loualbia, 2018)

Dans les zones désertiques, il est impossible d'avoir un sol mou, et les conditions climatiques arides rendent les sols supports et les assises très rigides. Par conséquent, le choix d'une seule assise est privilégié, avec une épaisseur variant de 15 cm à 30 cm. Chaque fois que possible, cette assise est réalisée avec un matériau identique qui respecte des normes strictes, conformes aux exigences techniques des routes sahariennes. Cependant, lorsque les matériaux performants conformes à ces normes ne sont pas disponibles en quantité suffisante, les 10 cm inférieurs, qui jouent le rôle de couche de fondation, sont réalisés avec un matériau de moindre qualité.

La couche de fondation est appliquée sur toute la largeur de la plate-forme support de la chaussée (après les travaux de terrassement) en utilisant une technique de compactage avec humidification

#### **I.4.2.3. Couche de base** (Loualbia, 2018)

La couche de base est compactée avec humidification et exécutée sur toute la plate-forme. Lorsqu'elle est terminée, elle a une largeur de 7.50 à 10.50 m suivant les projets, avec

des élargissements sur certaines sections-passages submersibles, remblais de grande hauteur, etc (Domec, 1980). Les matériaux utilisés en couche de base appartiennent soit à la famille II (matériaux à ossature), soit à la famille III (matériaux fins).

La construction des chaussées avec matériaux fins, dits à cohésion élevée, est le privilège des régions à climat sec. On détermine leur qualité par des essais d'Atterberg, l'analyse chimique et on apprécie leur cohésion par des essais de résistance à la compression simple.

Leur résistance doit être au moins de 25 bars à teneur en eau finale quasiment nulle. Ces matériaux nécessitent une teneur en eau optimale élevée, d'où les risques de retrait au séchage et de fissuration. La résistance chute brutalement avec la compacité (de l'ordre de 50% quand on passe de 98 à 95% de l'optimum Proctor modifié); il est donc indispensable d'exiger un bon compactage avec des tolérances très limitées. Il est à noter qu'un bon compactage est souvent difficile à obtenir, lorsque le matériau est très fin car sa surface spécifique importante exige : Il est également déconseillé de rapporter, sur une surface déjà compactée, une couche mince car il se produit ce qui est appelé le feuilleteage : la couche supérieure se détache du corps de la chaussée dès qu'un effort lui est appliqué ; une reprise sur l'épaisseur totale de la couche de base par grattage des matériaux déjà mis en place est indiquée lorsqu'une correction s'impose. Ces types de matériaux sont assez aléatoires et demandent une mise en œuvre soignée. Ils donnent un excellent uni. Leur tenue est parfaite en l'absence d'eau mais leur imbibition avec maintien du trafic lourd entraîne la ruine de la chaussée.

#### **I.4.2.4. Couche de roulement (Loualbia, 2018)**

##### **➤ Imprégnation :**

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

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

L'imprégnation est réalisée sur toute la largeur de la plate-forme, le plus souvent au cut-back 0/1 et parfois au cut-back 10/1. Les assises de chaussées étant réalisées avec des matériaux naturels non élaborés et en couches relativement minces, les déflexions élastiques produites sont relativement importantes (de l'ordre du millimètre). Ceci impose l'exécution d'un revêtement souple et mince. Selon l'intensité du trafic, la couche de roulement sera constituée par un enduit superficiel, un enrobé à froid, un enrobé à chaud ou un sable bitume. Toutefois, l'enrobé à froid est le plus indiqué.

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

#### ➤ **Enduits superficiels**

Le dosage en liant hydrocarboné est assez élevé : les films de liant sont assez épais pour que le vieillissement soit lent, malgré la température et la présence permanente de sable fin siliceux éolien ; le liant garde ainsi sa ductilité assez longtemps. Les risques de ressuyages ne sont pas graves au Sahara à cause de l'apport continu de sable fin siliceux éolien en surface de chaussée. - La couche est assez compacte pour que du sable éolien ne s'introduise pas dans les interstices du gravier et mobilise le liant au détriment des liaisons entre grains. L'enduit superficiel retenu pour les zones arides est soit une bicouche, soit untricouche dont la formulation est la suivante : bicouche : 8/16 et 3/8 ou 12,5/18 et 5/12,5 ; tricouche : 15/25 ; 8/15 et 3/8. La réussite des enduits superficiels est souvent difficile à cause de la pollution des granulats par le sable éolien et l'absence de compactage par un trafic régulier ; les rejets de granulats sont importants et constituent un grave danger pour les véhicules circulant à grande vitesse. Les enrobes ouverts sont plus faciles à mettre en œuvre et donnent un uni de meilleure qualité.

#### ➤ **Enrobés ouverts à froid**

Les enrobés ouverts ont l'avantage d'être assez souples aussi, mais l'épaisseur de la couche les soumet à une fatigue accélérée. Leur formulation se présente comme suit :

- Granulométrie continue 2/16 ou 2/18
- Dosage en liant 6 à 6,50%
- Épaisseur 3,5 à 5cm

- Liants cut-backs 150 /250 ou 400/600 et 0/1 pour l'imprégnation.
- Enrobage en centrale classique.

Le pourcentage des vides après compactage reste important (20 à 25%) mais ces vides sont parfaitement comblés par le sable éolien et les effets du trafic lourd.

#### ➤ **Les enrobés denses classiques**

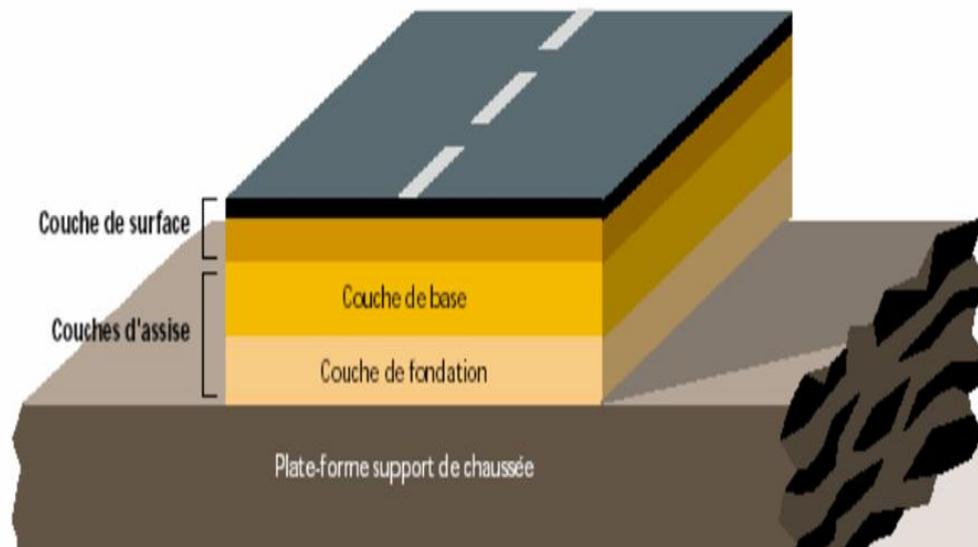
L'utilisation des enrobés denses est possible mais coûteuse. L'épaisseur minimale recommandée est de 6 cm, compte tenu des déflexions élastiques importantes sur couches de base ; les bitumes durs sont recommandés. Les risques de fluage et d'orniérage sont limités, le trafic étant faible et non canalisé. Il est à signaler qu'un revêtement légèrement fissuré peut durer plusieurs années sans grand dommage pour la chaussée.

#### **I.4.3. Différentes structures de chaussées** (boumehraz, 2018)

Selon le fonctionnement mécanique de la chaussée, on distingue généralement les trois différents types de structures suivants :

##### **I.4.3.1. Chaussées souples**

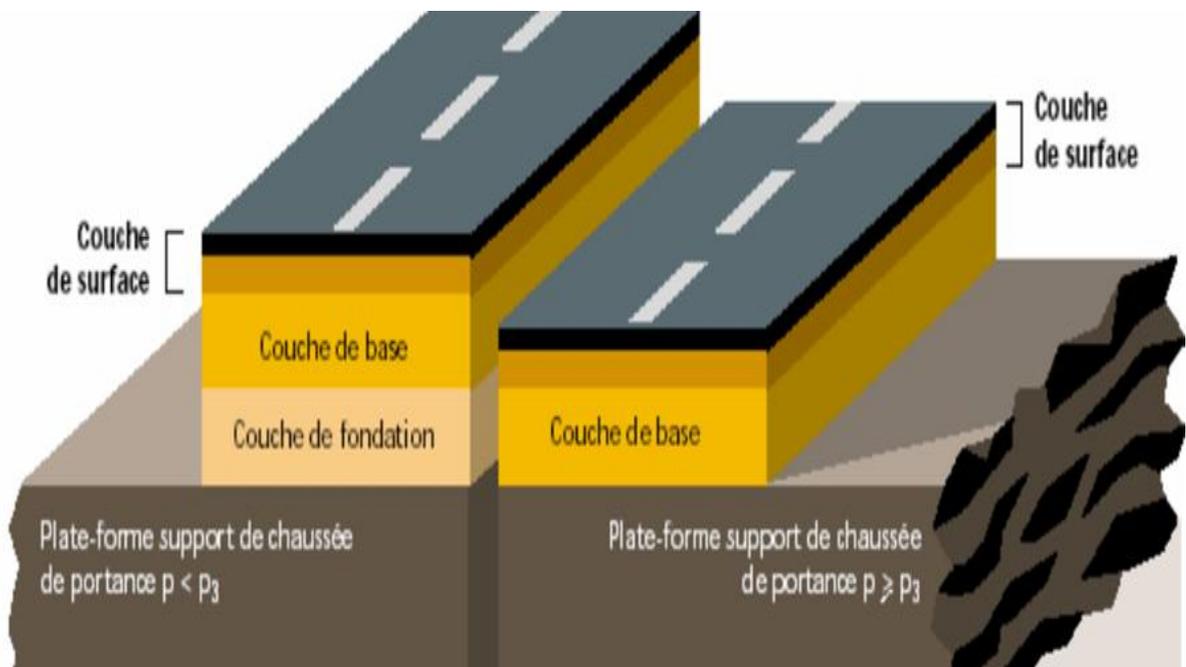
C'est une structure de chaussée dans laquelle l'ensemble des couches liées qui la constituent, sont traitées aux liants hydrocarbonés. La couche de fondation et/ou la couche de base peuvent être constituées de grave non traitée. Dans le cas d'une chaussée neuve à faible trafic.



**Figure 05 :** Structure type d'une chaussée souple (boumehraz, 2018)

#### I.4.3.2. Chaussées semi-rigides

Elles comportent une couche de surface bitumineuse reposant sur une assise en matériaux traités aux liants hydrauliques disposés en une couche (base) ou deux couches (base et fondation). Dans le cas d'une chaussée neuve à faible trafic.



**Figure 06 :** Structure type d'une chaussée semi-rigide (boumehraz, 2018)

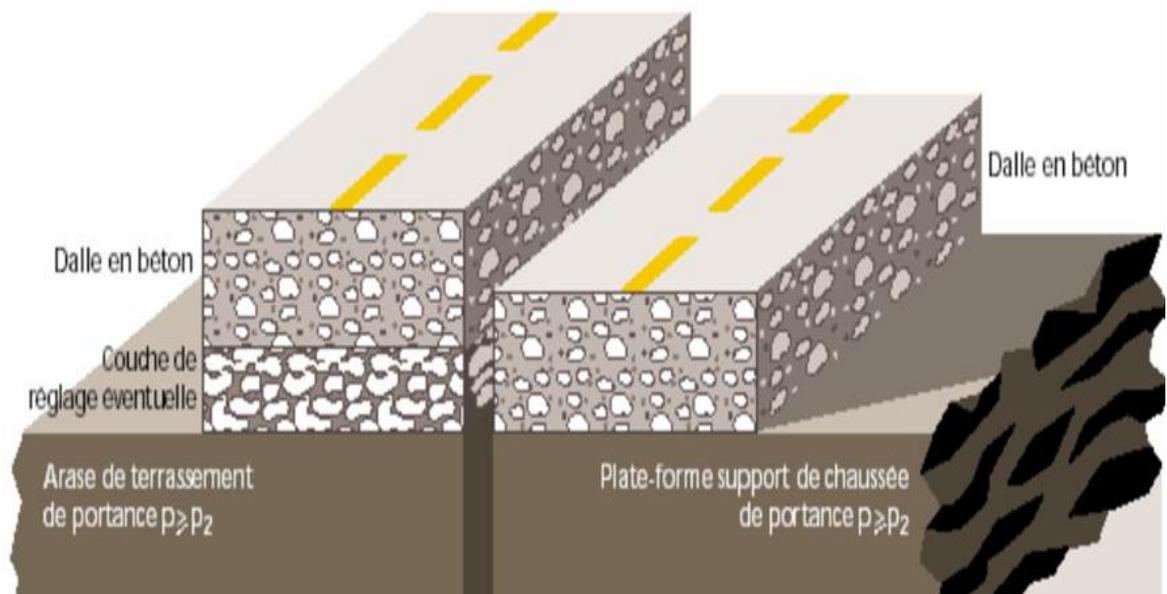
### I.4.3.3. Chaussées rigides

Une chaussée rigide est constituée d'un revêtement en béton de ciment pervibré ou fluide. En règle générale, une chaussée en béton comporte, à partir du sol, les couches suivantes :

- Une couche de forme,
- Une couche de fondation,
- Une couche de roulement en béton de ciment.

Dans le cas d'une chaussée neuve à faible trafic, la couche de fondation n'est pas nécessaire. La dalle en béton de ciment peut ainsi être réalisée directement sur l'arase terrassement ou sur la plate-forme support de chaussée (figure. 06).

Dans la chaussée rigide, la couche de surface et la couche de base sont confondues.



**Figure 07** : Structure type d'une chaussée rigide (boumehraz, 2018)

### I.5. Les tufs et les sables de dunes en technique routière saharienne

Le Sahara présente certains aspects liés à la nature du sol, au climat et au trafic, ces caractéristiques ont poussés les ingénieurs et les techniciens routiers à innover en mettant à profit ces particularités pour ouvrir très largement l'éventail des matériaux utilisés en corps de chaussées, tels que les tufs et les sable de dune qui sont initialement inadéquats pour une utilisation routière selon les normes classiques. (Daheur, 2019)

### I.5.1. Utilisation des tufs d'encroûtement dans le domaine routier

L'utilisation des tufs d'encroûtements en Algérie dans la construction des chaussées a débuté en 1956 sur la route nationale 1 entre Laghouat et Ghardaïa (Ponton, 1962, cité par Boukezzi, 1997). Leur utilisation la plus courante actuellement est pour la réalisation des couches d'assises (fondation et base) des routes à trafic moyen ou faible. Ils sont également fréquemment utilisés pour les couches de forme, les accotements, les pistes agricoles, les remblais, etc. Le traitement des tufs est recommandé dans des cas spécifiques, tels que les zones sujettes à des infiltrations souterraines ou à des ruissellements fréquents, ou lorsque les caractéristiques des matériaux ne répondent pas aux spécifications requises. Les tufs naturels sont rarement aptes à être utilisés en couches de bases pour les routes à fort ou moyen trafic. (Daheur, 2019)

### I.6. L'essai Proctor

Ce test d'évaluation du comportement des sols compactés a été développé vers 1930 par l'ingénieur américain Proctor. Mode de fonctionnement du numéro de port LCPC. Le principe de base est de travailler avec la même intensité que le sol lors de la compression. Cependant, on constate que la masse volumique sèche  $\gamma_d$  passe généralement par une valeur maximale pour différents tannages à l'eau. L'objectif initial était de déterminer l'aptitude au compactage des tampons fins pour les grandes structures de sol telles que les barrages en terre. Pour généraliser aux revêtements routiers, les tests ont dû être effectués à des énergies de compression plus élevées, et l'utilisation de matériaux plus granulaires a nécessité des dimensions de mousse de test adaptées à des granulométries plus importantes. (mehrez khemakhem,)

- Les principales raisons de définir deux tests sont les suivantes :
  - Test de surveillance normal
  - Test de surveillant modifié

### I.7. L'essai CBR

Les essais CBR permettent la caractérisation mécanique des sols naturels et compactés dans les remblais, les morts-terrains, les fondations routières et aéroportuaires et les plates-formes. Mesure la résistance du sol à la contrainte de cisaillement et au gonflement du sol lorsqu'il est immergé dans l'eau pendant 4 jours. En estimant la résistance au poinçonnement, on peut calculer la capacité portante du sol. Ce test est utilisé dans le monde entier pour

mesurer l'épaisseur du substrat, classer les sols et étudier la praticabilité. Elle peut être réalisée aussi bien en laboratoire que sur le terrain. Cependant, cette dernière option est rarement réalisée. Cela fournit l'un des paramètres clés des essais géotechniques de pré-construction. Différents types de tests CBR doivent être effectués en fonction du type et de la qualité du sol. (mehrez khemakhem,)

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons traité de la définition des matériaux utilisés en général, avec quelques explications complètes et les expériences que nous allons réaliser. Dans le chapitre suivant, nous vous parlerons sur des matériaux et des essais utilisés.



**CHAPITRE II**  
**Matériels et méthodes**

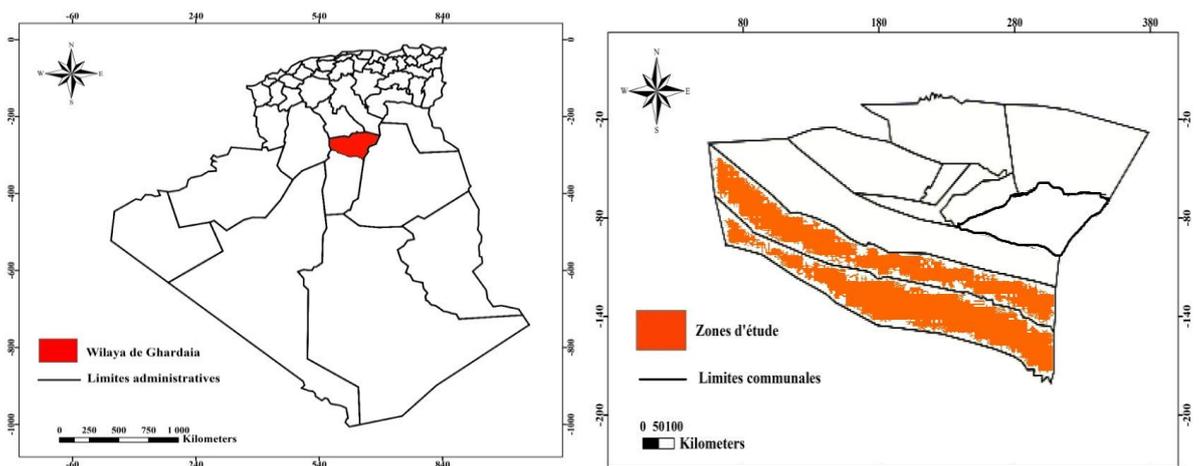
## Chapitre II : Matériels et méthodes

### Introduction

Le présent chapitre regroupe l'ensemble des essais réalisés sur le sol et l'argile et mélange optimal (70 % Sable de dune sebseb et de 30 % d'argile Metlili El\_djadida) et leurs essais proctor, gonflement libre et odomètre avec l'ajoute des trois types de geotextile. L'étude expérimentale se déroule dans le laboratoire des travaux publics du sud (LTPS) à Ghardaïa.

### II.1.- Site de prélèvement des matériaux

Le site de prélèvement des matériaux soit le sable de dune de la commune de Sebseb et l'argile zone de Metlili el\_djadida.



**Figure 08 :** Carte de la situation géographique de la région d'étude (Sebseb et Metlili el\_djadida) ( Hamel 2023)

#### II.1.1.- Sable de dune

Les échantillons de Sable de dune provient de la commune de SebSeb, 65 km au Sud de la wilaya de Ghardaïa voir photos (Photo 03 et photo 04).



**Photo 03 :** Sable de dune du site Sebseb (source auteur)



**Photo 04 :** Gisement de sable de dune du site Sebseb (source auteur)

### II.1.2.- Arrgile de Metlili El\_Djadida

Les échantillons de l'Argile a été prélevés d'un site située à 20 km au Sud-ouest de la wilaya de Ghardaïa, ce gisement se trouve à 100 m de la route national N° 01 (Photo 05 et 06).



**Photo 05 :** Argile du site Metlili\_djadida (source auteur)



**Photo 06 :** Gisement de l'argile du site Metlili\_djadida (source auteur)

### II.2. Essais et identifications du matériaux

A fin d'avoir les propriétés physiques, chimiques et mécaniques des matériaux, des analyses chimiques et granulométrique sont effectués

**Tableau 02.** Types d'expériences à travailler ( chenini 2021)

Argile	Sable
Analyse chimique	Analyse chimique
Analyse granulométrique	Analyse granulométrique
Limites d'Atterberg	Équivalent de sable
Essai au bleu de méthylène	Essai au bleu de méthylène
Teneur en CaCO <sub>3</sub>	

### II.2.1. Analyse chimique

**Tableau 03.** Classification par CaCO<sub>3</sub> de quelques sols cités. (chnini 2021)

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

Les mêmes essais sont effectués sur les sables et les argiles.

### II.2.2.- Analyse granulométriques

Différentes méthodes sont employées pour évaluer la texture des sols. Dans notre étude, nous avons utilisé la méthode internationale à la pipette de Robinson. Cette méthode permet de déterminer la répartition des particules minérales d'un échantillon, d'une taille inférieure à 2 mm, en fonction de différentes classes de taille. Son objectif est de comprendre et de déduire la distribution des fractions granulométriques des particules minérales dans l'échantillon (Baize, 1988).

C'est la détermination de la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un sol, et elle s'effectue en deux étapes :

- Tamisage par voie humide ou tamisage sous l'eau pour la distribution dimensionnelle en poids des particules de taille supérieure à 80 microns.
- Sédimentométrie, pour la distribution dimensionnelle en poids des particules de taille inférieure à 80 microns.

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 (mehrez khemakhem,)

### II.2.3. Limites d'Atterberg

Quelque soit la nature de l'argile, celle-ci malaxée avec des quantités d'eau de plus en plus importantes finit par se transformer en boue « l'argile a un comportement liquide ». Au contraire, si l'argile est suffisamment desséchée, les grains sont très resserrés et les liaisons deviennent intenses « l'argile a un comportement solide ». Entre ces deux états, l'argile est malléable « elle a un comportement plastique ».

Le but de ces tests est de déterminer les limites de consistance qui sont exprimées en termes de teneur en eau marquant les limites entre état solide, plastique, et liquide (LCPC, 1973).

L'activité d'une argile « AC » se définit comme suit :

$$Ac = \frac{\text{Indice de plasticité}}{\% \text{éléments} < 2\mu}$$

On distingue alors trois états de la consistance des argiles : états liquide, plastique et solide.

A l'état liquide, les grains sont indépendants les uns des autres, le mouvement relatif entre les particules est aisé.

A l'état plastique, les grains sont plus rapprochés et ont mis en commun leurs couches d'eau adsorbées. Lorsqu'il y a mouvement, les grains restent attachés les uns aux autres sans s'éloigner.

A l'état solide, les distances inter-granulaires sont encore plus petites. Les grains arrivent même au contact en quelques points chassant ainsi l'eau adsorbée.

Les frottements internes sont alors importants. La transition d'un état à l'autre est très progressive. Néanmoins, on utilise de façon pratique les limites d'Atterberg.

Limite de liquidité **WL** :

Elle sépare l'état liquide de l'état plastique.

Limite de plasticité **WP** :

Elle sépare l'état plastique de l'état solide.

Indice de plasticité **IP** :

Il mesure l'étendu du domaine de plasticité du sol. Il s'exprime par :

$$IP = WL - WP$$

### II.2.4. Essai au bleu de méthylène (mehrez khemakhem)

Le principe de cet essai consiste à contrôler 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 de 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.



**Figure 09** : Fiole de bleu de méthylène

([https://fr.wikipedia.org/wiki/Bleu\\_de\\_m%C3%A9thyl%C3%A8ne](https://fr.wikipedia.org/wiki/Bleu_de_m%C3%A9thyl%C3%A8ne)

le 18/07/2023)



**Photo 07** : Après l'utilisation de bleu de méthylène (source auteur)

#### - Les calculs à exécuter sont

- La valeur du bleu :  $V_B = \frac{\text{volume en cm}^3 \text{ de solution}}{\text{poids sec de la prise}}$

✓ **Vb = 2.73 %**

- La surface spécifique totale :  $SST = 20,93 \times V_{cc} \times \frac{1}{P_s}$   
 $P_s = 29.27 \text{ gr}$

$Sst = 20.93 * V * (1/P_s)$

$Sst = 20.93 * 80 * (1/29.27)$

✓ **Sst = 57.20 m<sup>2</sup>/g**

- Où
- SST : surface spécifique ( $m^2/g$ )
  - Vcc : volume de solution utilisé ( $cm^3$ )
  - Ps : poids de matériaux sec (g)
  - 20,93 : surface correspondant à  $1\text{ cm}^3$  de bleu de méthylène.

En géotechnique, il est utilisé dans l'essai au bleu de méthylène : il permet de déterminer l'argilosité d'un sol en mesurant la capacité de ce dernier à l'adsorber

**Tableau 04.** Valeur de bleu de quelques sols [Hang1984]

VB (%)	Sols
< 0,1	Sols insensibles à l'eau
0.1 _ 0,2	Apparition de la sensibilité à l'eau
0.2 _ 1,5	Seuil distinguant les sols sablo-limoneux des sols argileux
1.5 _ 2,5	Seuil distinguant les sols limoneux peu plastiques des sols limoneux de plasticité moyenne
2.5 _ 6	Seuil distinguant les sols limoneux des sols argileux
>8	Seuil distinguant les sols argileux des sols très argileux

### II.2.5.- Équivalent 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 Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC).

Ce test permet d'évaluer la propreté du sable, qui peut être déterminée en mesurant le pourcentage. Poudre fine dans ces sables. Le sable peut être broyé à partir de carrières, de dunes ou de sable de rivière asséché (NF P 18-598)

#### - Principe d'essai (NF P 18-598)

Est réalisé sur une section de 0/5 mm du sable à étudier. Nettoyer l'échantillon selon la procédure Normalisez et laissez tout reposer. Après 20 minutes, mesurez les éléments suivants :

- **Équivalent de sable (ES) (NF P 18-598)**

$$ESV = (h2/h1) 100\%$$

Avec :

**h1** : hauteur du sable plus flocculat.

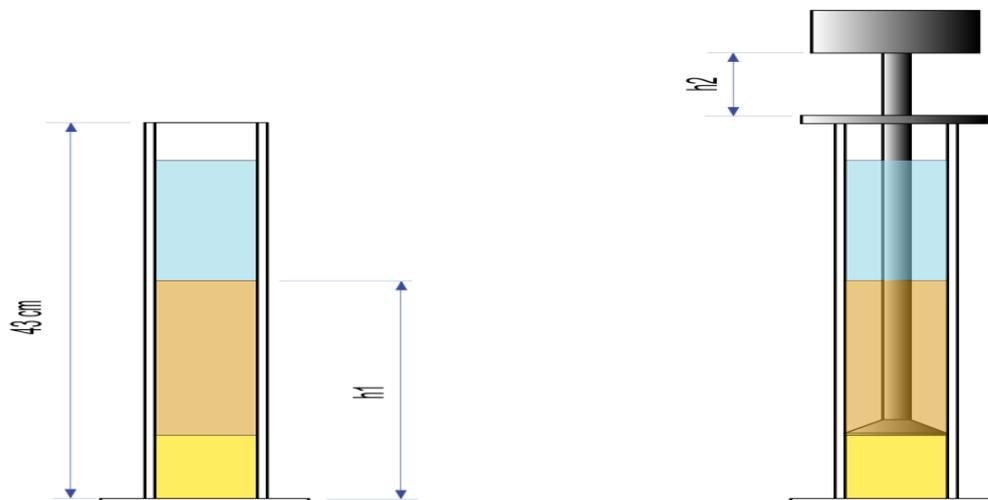
**h2** : hauteur du sable.

Si on mesure visuellement la hauteur du sable propre avec un piston (plus précis), on parle d'E.S. P (Equivalent de sable au Piston).

- ✓ L'essai est effectué sur 120 g de grains sec.
- ✓ Les éléments argileux fins peuvent être séparés à l'aide d'une solution de lavage.

**Tableau 05.- Classification de sable (NF P 18-598)**

ES	ESv	Qualité de sable
<60	< 65	Sable argileuse
60 _ 70	65 _ 75	Sable légèrement argileux
70 _ 80	75 _ 85	Sable propre
80 <	85 <	Sable très propre



**Figure 10** : Appareillage pour l'essai d'équivalent de sable  
 ([https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quivalent\\_de\\_sable#:~:text=Les%20%C3%A9ments%20d'appareillage%20principaux,bouchon%20en%20caoutchouc%20et%20gradu%C3%A9es. Le 18/07/2023](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quivalent_de_sable#:~:text=Les%20%C3%A9ments%20d'appareillage%20principaux,bouchon%20en%20caoutchouc%20et%20gradu%C3%A9es. Le 18/07/2023))

ES= 76 %

### II.2.6. Essai Oedomètre

L'appareil œnométrique comporte :

- Un bâti métallique permettant par l'intermédiaire d'un bras de levier d'appliquer au piston les pressions de consolidation successives désirées
- Une cellule ou enceinte œnométrique de consolidation : moule cylindrique rigide qui empêche toute déformation radiale lors des essais
- Deux bases de pierres poreuses permettant le drainage de l'échantillon en cours d'essai et éviter au sein du matériau l'apparition de pression interstitielle
- Un couvercle pour répartir l'effort de compression sur la surface totale de l'échantillon.
- Un comparateur pour mesurer les tassements ou le gonflement.

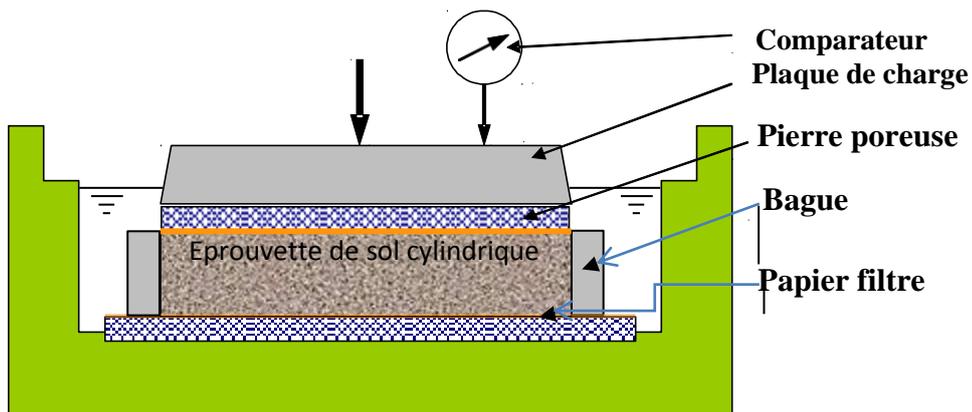


Figure 11 : Mode opératoire de Proctor (essai œdométrique, 2018)

### II.2.7. Essai Oedométrique sans géotextile

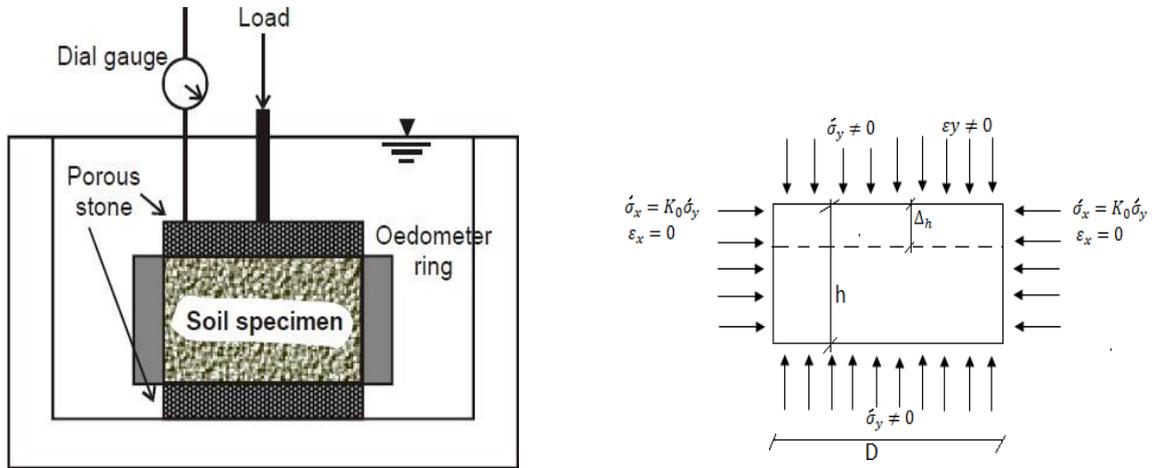
#### II.2.7.1.- Principe de cet essai

Les essais de consolidation et de compressibilité permettent d'apprécier la déformation verticale des sols.

Cet essai pour le but de mesurer le tassement au cours du temps d'une éprouvette cylindrique (intacte) type galette placée dans une enceinte sans déformation latérale possible au fur et à mesure de l'application de différentes charges verticales constantes.

L'éprouvette est saturée d'eau au préalable au premier chargement et étant drainée en haut et en bas, elle est maintenue saturée pendant l'essai

**NB:** il est possible après un palier de consolidation de procéder à une mesure de perméabilité via un dispositif à burette soumise à la pression atmosphérique

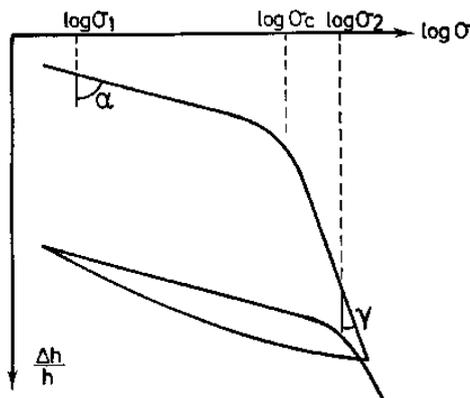


**Figure 12 :** Test de l'odomètre (mekhanter nour el houda,2021 )

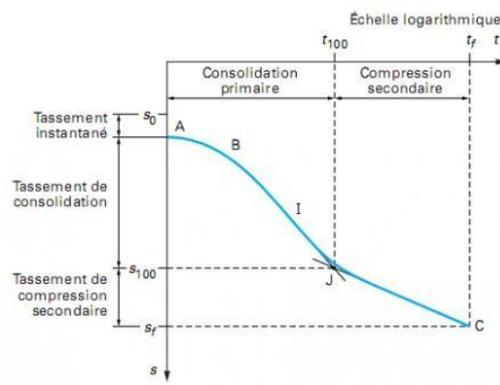
**II.2.7.2.- Cet essai permet d'établir, pour un échantillon donné, deux types de courbes:**

Les courbes de consolidation, qui donnent le tassement de l'échantillon en fonction du temps sous application d'une contrainte constante.

La courbe de compressibilité, contrainte appliquée qui indique le tassement total en fonction du logarithme de la contrainte appliquée. (M<sup>me</sup> L. Bouabdallah 2022 )



**Graphe 01 :** Courbe de compressibilité (M<sup>me</sup> L. Bouabdallah 2022 )



**Graphe 02 :** Courbes de consolidation (M<sup>me</sup> L. Bouabdallah 2022 )

**II.2.7.3.- Paramètres obtenus à partir de l'essai Oedométrique**

**II.2.7.3.1.- Contrainte de consolidation Cc**

Correspond au changement de pente sur la branche supérieure du graphique précédant. Les sols dits sous-consolidés sont ceux pour lesquels la contrainte effective

verticale est supérieure à  $\sigma'_c$  (exemple : vases récentes). Les sols dits sur consolidés sont ceux pour lesquels la contrainte effective verticale est inférieure à  $\sigma'_c$  (exemple : sols anciens érodés).

$$C_c = \Delta e / \Delta \text{Log } \sigma'$$

Ce coefficient  $C_c$  permet de calculer le tassement total à long terme sous un état de charge donné en considérant que pour des contraintes supérieures à la contrainte de consolidation, la variation ( $e, \log s'$ ) est linéaire. Mais lorsque la courbe Oedométrique est fournie.

L'essai permet de tracer une courbe Oedométrique : indice des vides « e » en fonction de « log s » d'où on peut déduire :

- Pression de consolidation ( $P_c$ )
- Coefficient de tassement ( $C_v$ )
- Coefficient de gonflement ( $C_g$ )

### II.2.7.3.2.- Description de la courbe Oedométrique

La courbe comporte trois segments bien distincts. Elle commence par un segment de faible pente pour ensuite s'incliner fortement à l'approche d'une contrainte notée  $\sigma'_c$ . Cette contrainte porte le nom de pression de consolidation : elle représente la contrainte effective maximale que l'échantillon a subie au cours de son histoire géologique. Pendant le chargement de l'échantillon, quand la pression dépasse la pression de pré consolidation, le tassement s'accroît et l'indice des vides diminue considérablement. La pente du second segment de la courbe est représentée par le symbole  $C_c$  : c'est l'indice de compression.

### II.2.8. Essai de proctor

L'échantillon de sable et les argiles sont desséchés, ensuite pulvérisés. L'échantillon de les argiles et éventuellement tamisé à un tamis d'ouverture égale à 5 mm est répandu dans un bac d'homogénéisation, ensuite l'échantillon est partit identique.

Il existe une teneur en eau particulière  $w_{opt}$  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  $\gamma_d$  (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.

### II.2.8.1. Principe

Le principe de l'essai consiste à humidifier un sol à plusieurs teneur 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.

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. Ces ont ces 2 valeurs qui sont appelées caractéristiques de compactage Proctor Normal ou Proctor Modifié suivant l'essai réalisé.



**Figure 13** : l'appareille de l'essai au Proctor modifié (zemouri 2020)

### II.2.8.2. 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.

### II.2.8.3. 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



Figure 14 : Mode opératoire de Proctor (mehrez khemakhem)

### II.2.8.4. Mode opératoire pour essai Proctor

La préparation des échantillons est faite pour la détermination concomitante des caractéristiques de compactage et l'indice CBR immédiat / imbibé (après immersion). 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 5 mm est répandu dans un bac d'homogénéisation, ensuite l'échantillon est parts identique dans chaque part  $M = 5500$  g.

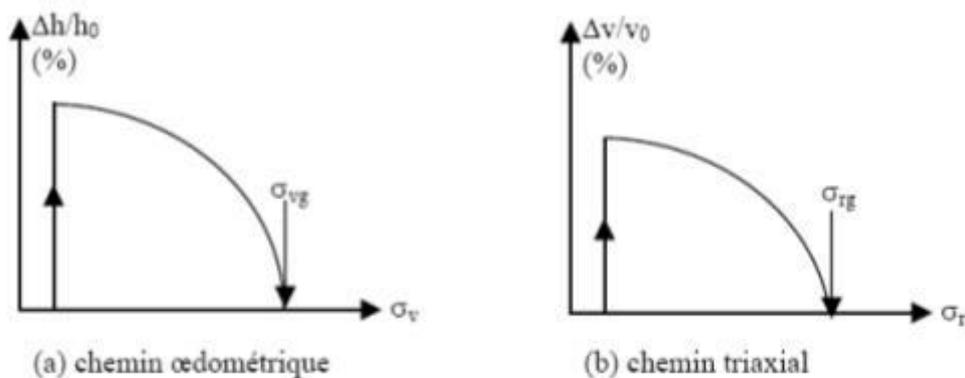
Dans notre étude nous avons utilisé la formule optimale choisie d'après les essais de proctor modifier réalisés par les Travaux de thèse de doctorat AZZOUZ 2015 du: « 70% SD +30% argile».

- On dispose d'un échantillon de masse  $m = 2$ 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 jus qu'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 2<sup>ème</sup> puis une 5<sup>ème</sup> fraction.
- On enlève la hausse amovible du moule.
- La couche supérieure dé bordant la partie inamovible du moule est rasée

## II.2.9.- Essai de gonflement libre

### II.2.9.1.- Méthode de gonflement libre

Dans l'essai de gonflement libre, l'échantillon soumis à une faible pression correspondant au poids du piston et de la pierre poreuse, est laissée en contact avec de l'eau. Une fois le phénomène de gonflement stabilisé, l'échantillon quasi-saturé suit un chemin de chargement par paliers avec stabilisation des déformations sous chaque palier. La pression de gonflement correspond à la charge nécessaire à appliquer pour ramener le volume de l'échantillon à sa valeur initiale. Cette méthode peut se faire dans un Oedomètre ou un triaxial (Figure 13).



**Graph 03** : Méthode de gonflement libre, (MRAD, 2005)

Le mode de chargement influe sur la valeur de la pression de gonflement. En effet, GUIRAS et SHANAJI (1996), ont montré que la pression de gonflement déterminée à partir des essais de gonflement libre dépend de la vitesse de chargement. Un chargement rapide, après 24 heures, abouti à une pression de gonflement plus importante qu'un chargement lent (à la fin de la phase de consolidation primaire (après stabilisation des déformations). Ce comportement à déjà été constaté également par TIROT, 1984).

L'avantage de cette méthode est qu'elle nécessite une seule éprouvette et permet d'obtenir, outre la pression de gonflement et le gonflement libre, la courbe de compressibilité du sol saturé (après gonflement). Cependant, l'inconvénient est qu'elle n'est pas représentative du chemin de contrainte suivi par le sol lorsqu'il subit un gonflement sous

confinement (Brachely, 1975. Justo et *al.*, 1984 et El Sayed et Rabbaa, 1986), cité par Mrad, 2005.

### II.2.10.- Protocoles d'essai

Les essais de gonflement sont menés sur des échantillons intacts secs (à une teneur en eau nulle) à l'aide des odomètres selon le processus d'essai de gonflement à l'oedomètre (détermination des déformations par chargement de plusieurs éprouvettes) décrit par la norme XP P 94-091 Décembre 1995.

L'essai s'effectue sur plusieurs éprouvettes d'un même échantillon et prélevées sensiblement au même niveau. Chaque éprouvette de sol est placée dans une enceinte cylindrique rigide (Oedometre) et un dispositif de chargement applique sur cette éprouvette un effort axial vertical maintenu constant.

L'essai consiste à appliquer à chaque éprouvette une contrainte verticale différente et à mesurer sa variation de hauteur lorsqu'elle est mise en présence d'eau.

Les valeurs de déformation finale de chaque éprouvette  $\Delta H_f/H_i$  sont reportées sur le diagramme semi- logarithmique afin de déterminer la relation  $\Delta H_f/H_i$  en fonction de  $\log \sigma$ .

La valeur absolue de la pente de cette droite est appelée rapport de gonflement  $R_g$  donc on a la relation :

$$\Delta H_f/H_i = - R_g \log (\sigma_g / \sigma)$$

Où :  $\Delta H_f$  : la variation de hauteur de l'éprouvette sous la contrainte de l'essai lors de la phase d'imbibition.

$H_i$  : la hauteur juste avant la mise en eau de l'éprouvette sous la contrainte de l'essai

$R_g$  : le rapport de gonflement

$\sigma_g$  : la pression de gonflement du matériau, exprimé en bars

$\sigma$  : la contrainte axiale appliquée à une éprouvette, exprimée en bar sm

### II.2.10.1.- Préparation des échantillons

Après le broyage de l'argile dans la machine et après tamisage dans un tamis d'un diamètre de 2 mm (Photo.08)



**Photo 08 :** Tamis de 2mm pour cribler l'échantillons (source auteur)

Préparation de l'échantillon à étudier (70% sable dune + 30% argile Metlili El\_djadida) et Ajouter de l'eau au mélange photos (09) et (10).



**Photo 09 :** Mélange optimaux (sable dune + argile Metlili El\_djadida) (source auteur)



**Photo 10 :** Ajoutée l'eau au mélange (source auteur)



**Photo 11 :** Ajoute chantaiens dans moule (source auteur)



**Photo 12 :** L'échantillon est dans le moule (source auteur)



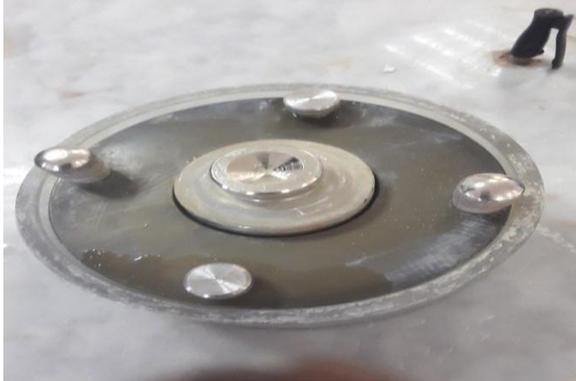
**Photo 13 :** Appareille de compactage (source auteur)

Après on a coupé les échantillons selon le moule et on les pesés.



**Photo 14 :** Échantillon dans le moule pour peson (source auteur)

Nous placés l'échantillon dans la boîte **Photo (15)** et l'a placé dans la machine de gonflage **Photo (16)** et on le verse sur de l'eau jusqu'à ce qu'il a été rempli.



**Photo 15:** Échantillon dan moule tous a la boîte (source auteur)



**Photo 16:** Échantillon don l'appareil de gonflément (source auteur)

Après gonflément, on enlève l'échantillon (**Photo.17**) et pesez (**Photo.18**) et le mettre dans le chauffe-eau. Au bout de 24 heures et l'échantillon a séché, nous pesons encore



**Photo 17 :** Avant le moulage(source auteur)



**Photo 18 :** Peser l'échantillon (source auteur)



**Photo 19 :** Après démoulée (source auteur)



**Photo 20 :** Échantillon séchée (source auteur)

### II.2.11.- Choix de géotextile

Tableau 06. Type et fonction des différents géosynthétiques (chenini 2021)

	Géotextile non tissé	Géotextile tissé	Gmb	Gsb	Géogrille	geocomposite
Étanchéité			X	X		X
Protection	X					X
Filtration	X					X
Drainage						X
Séparation	X	X				X
renforcement		X			X	

Les géotextiles utilisés dans ce travail sont les trois suivants :

- **Géotextile 1** : type non tissé **GEOAS 300** entreprise d'Espagne
- **Géotextile 2** : type non tissé **GEOAS 30** entreprise d'AFITEX
- **Géotextile 3** : type tissé **GEOAS A50** entreprise d'AFITEX



**Photo 21:** GEOAS 300 (source auteur)



**Photo 22 :** GEOAS 30 (source auteur)



**Photo 23 :** GEOAS A50 (source auteur)

### Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons parlé des matériaux utilisés, de leur définition, des essais utilisés dans ce travail, de la méthode de réalisation des essais et des calculs. Au prochain chapitre suivant, nous vous parlerons des résultats précis.



**CHAPITRE III**  
**Résultats et discussions**

## Chapitre III : Résultats et discussion

### Introduction

Le présent chapitre explique les résultats obtenus d'après les essais de différents mélanges du sable de dune et de l'argile pour constituer un mélange optimal, aussi le gonflement libre avec l'ajout de géotextile. Avant de tous nous choisis les résultats optimal d'après les essais de Proctor modifier réalisés par Azzouz (2017) (70% sable de dunes + 30% argile)

Une analyse physico-chimiques est effectuées sur les échantillons prélevés soit les sables des dunes et les argiles, ont été appliquées au niveau de laboratoire de travaux publiques de sud (LTPS).

### III.1.- Analyse chimique

**Tableau 04.-**Analyse chimique du sable de dune étudié (Azzouz, 2017)

Caractéristiques	Symboles	Unité	Sable de dune
Résidu insoluble	SiO <sub>2</sub> +Silice	%	88.91
Sulfates	SO <sub>3</sub>	%	3.09
Chlorures	Cl <sup>-</sup>	%	0.023
Carbonate de Calcium	CaCO <sub>3</sub>	%	03
Matières organiques	MO	%	-----

Au vu les résultats de tableau au-dessus, l'analyse chimique des échantillons de sable des dunes prélevée de la région de Sabseb révèlent que le taux de résidu insoluble de nos échantillons est de 88.91%, alors que pour les meneaux soit Sulfates et les Carbonate de Calcium un taux important de 3.09% et 03% respectivement. Cependant un taux très faible de Chlorures avec un pourcentage de 0.023%. Il est signalé que la présence d'un fort pourcentage en silice qui est supérieur à 80% confirme que le sable de dune de Ghardaïa est un sable siliceux.

**Tableau 05.-** Analyse chimique des argiles étudiées (Azzouz, 2017)

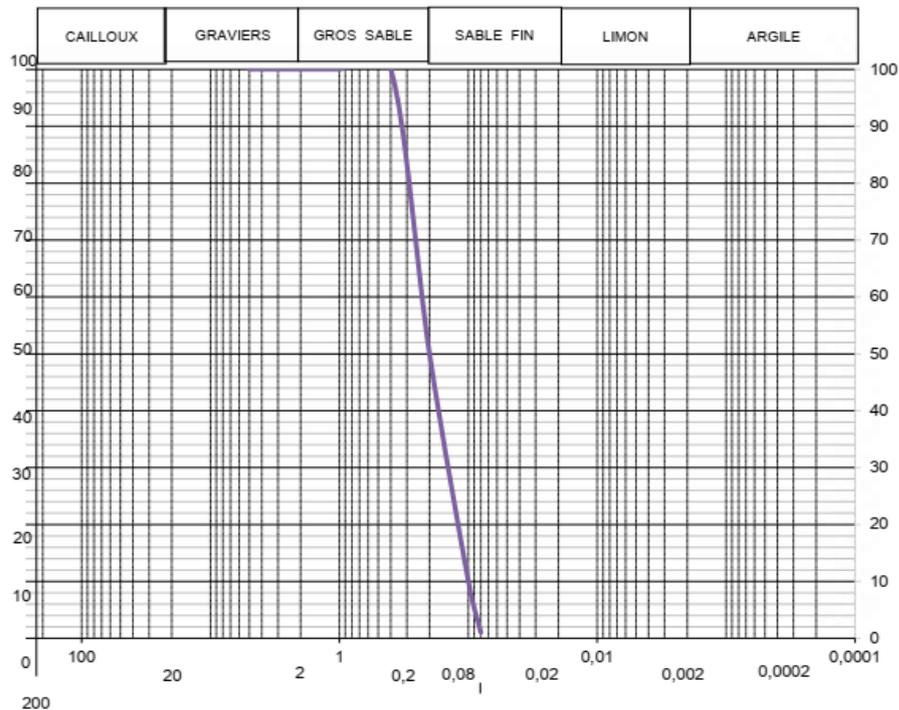
Caractéristique	Symboles	Unités	Metlili El- Jadida
<b>Résidu insoluble</b>	SiO <sub>2</sub>	%	65.5
<b>Sulfates</b>	CaSO <sub>4</sub> 2H <sub>2</sub> O	%	9.4
<b>Chlorures</b>	Cl <sup>-</sup>	%	-
<b>Carbonate et Calcium</b>	CaCO <sub>3</sub>	%	7
<b>Matières Organiques</b>	MO	%	-

Au vu les résultats de tableau au-dessus, les analyses chimique des argiles étudié révèle que le résidu insoluble (SiO<sub>2</sub>) présente un taux élevé par apport les autres constituants de l'ordre de 65.5%, suivi par le Sulfates (CaSO<sub>4</sub>2H<sub>2</sub>O) et le Carbonate de Calcium (Ca CO<sub>3</sub>) avec un taux de l'ordre de 9.4% et 7% respectivement. Outre aucune présence pour Chlorure (Cl) et la matière organique (MO).

### III.2.- Analyse granulométrique

#### III.2.1. Analyse granulométrique de Sable de dune

La courbe granulométrique du sable utilisé est représenté sur la figure (07) montre que cette granulométrie est uniforme caractérisée par un coefficient d'uniformité, inférieur à 2, un diamètre moyen D50 = 0,6 mm.

**Graph 04 :** Courbe granulométrie de sable de dune (Azzouz, 2017)

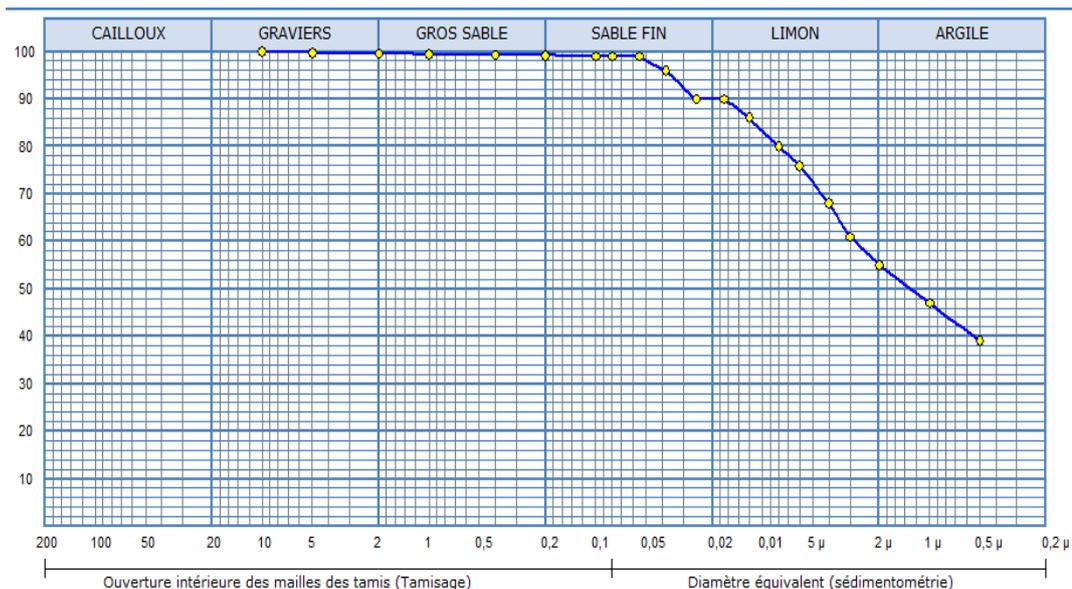
**Tableau 09 :** Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique du sable de dune (Azzouz, 2017)

<b>Argile %</b>	–
<b>Limon %</b>	–
<b>Gros Sable %</b>	54.66
<b>Sable fin %</b>	45.34
<b>Tamisât à 0,08 mm %</b>	–
<b>Tamisât à 2 mm %</b>	–
<b>D10 (μ)</b>	0.21
<b>D30 (μ)</b>	0.25
<b>D60 (μ)</b>	0.3
<b>Cu = D60/D10</b>	1.43
<b>Cc = (D30)<sup>2</sup> / D10D60</b>	0.089

Les résultats consignés dans le (tableau.06) présentent les l’analyse granulométrique du sable de dune. Les valeurs enregistrées pour le gros sable et le sable fin sont de l’ordre de 54.66% et 45.34% respectivement. Pour le Cu une valeur de 1.43 qui compris entre l’intervalle de (1 <Cu<3). Cela montre que ce sable de dune est très uniforme.

### III.2.2.- Analyse granulométrique de l’argile

La courbe granulométrique de l’argile utilisé est représenté sur la figure (08) révèle que la granulométrie est uniforme caractérisée par un coefficient d’uniformité, Cu=0.5



**Graphe 05 :** Courbe granulométrique de l’argile (source auteur)

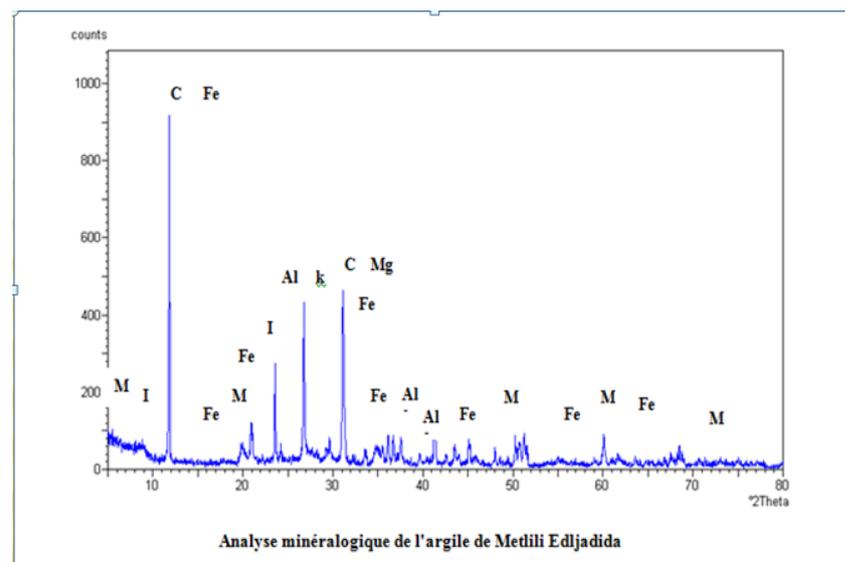
**Tableau 10.** Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique d'Argile de Metlili El\_Djadida (source auteur)

	%
<b>Argile %</b>	16
<b>Limon %</b>	77
<b>Sable %</b>	5
<b>Gravier %</b>	2
<b>Tamisé à 0,08 mm %</b>	97
<b>Tamisé à 2 mm %</b>	98
<b>D10 (μ)</b>	0.003
<b>D30 (μ)</b>	0.006
<b>D60 (μ)</b>	0.007
<b>Cu = D60/D10</b>	2.33
<b>Cc = (D30)<sup>2</sup> / D10D60</b>	1.71

D'après les résultats de l'analyse granulométrique d'Argile de Metlili El\_Djadida présentées dans la figure (08) et le tableau (07), il est constaté que le pourcentage des éléments fins ( $<80\mu\text{m}$ ) présente plus de 97%, on constate aussi que le taux des particules inférieures à ( $\Phi \leq 2\mu\text{m}$ ) est de l'ordre de 48%, ce que nous indique que l'argile de Metlili El\_Djadida est une argile fines.

Pour l'argile de Metlili El-Jadida, la courbe est très uniforme  $C_u = 2.33$ . Pour  $C_c = 1.71$

### III.2.3.- Analyse minéralogique de l'argile



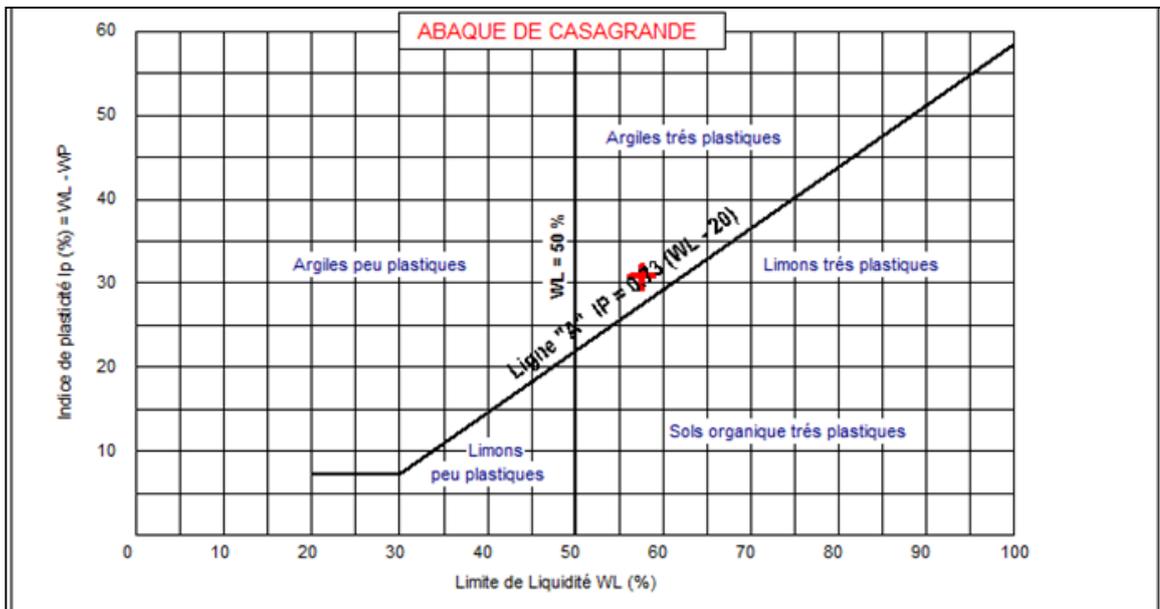
**Graph 06 :** Courbe Analyse minéralogique d'argile (azzouz 2017)

### III.3.- Limite d'Atterberg

Les limites d'Atterberg définissent des niveaux d'humidité spécifiques pour les sols fins, ce qui permet de les classer et d'évaluer leur cohérence. L'essai a été réalisé conformément à la norme française AFNOR (1993), avec quelques ajustements : un temps de mélange ne dépassant pas 5 minutes et un échantillon frais pour chaque niveau d'humidité. (Mouali, 2021)

**Tableau 11.** Résultat des essais de mélange utilisé (chnini 2021)

Argiles	WL(%)	WP(%)	IP(%)
<b>Metlili El_Djadida</b>	57.60	26.83	30.77



**Graphe 07:** Courbe de Limite d'Atterberg (source auteur)

Indépendamment de sa composition, lorsque l'argile est mélangée avec des quantités croissantes d'eau, elle finit par se transformer en une substance boueuse, exhibant un comportement liquide. En revanche, si l'argile est suffisamment desséchée, les particules se resserrent considérablement et les liaisons deviennent solides, conférant à l'argile un comportement solide. Entre ces deux états, l'argile est malléable et présente un comportement plastique (Chenini, 2021)

Au vu les résultats de Tableau (11) et la figure (21), il est constaté que l'argile de Metlili El Jadida se classe comme Argileux très plastique, après diagramme reporter les valeurs de « IP » et « WL » sur un diagramme ayant « IP » en ordonnée et « WL » en abscisse.

**Tableau 12.** Résultats de limite de plasticité (source auteur)

	1 <sup>er</sup> Essai	2 <sup>ème</sup> Essai	3 <sup>ème</sup> Essai
N° de la tare	A5	X11	F3
Poids total humide	39,56	34,84	36,34
Poids total sec	39,27	34,57	36,12
Poids de la tare	38,37	33,75	35,44
Poids de l'eau	0,29	0,27	0,22
Poids du sol sec	0,9	0,82	0,68
Teneur en eau (%)	-	-	-
Moyenne	32.22	32.93	32.35
		LP = 32.50	

Les résultats consignés dans le tableau (12) présente la limite de plasticité dans les trois essais réalisés, on a trouvé que limite de plasticité  $L_p = 32.50$ .

#### III.4. Équivalent de sable

Les résultats de l'équivalent de sable  $ES=76\%$   $\longrightarrow$   $70 > ES < 80$

Donc que le sable propre.

#### III.5. Essai au bleu de méthylène

Les résultats d'essai bleu de méthylène:

Valeur de bleu « VB » (%)  $\longrightarrow$   $V_b = 2.73 \%$

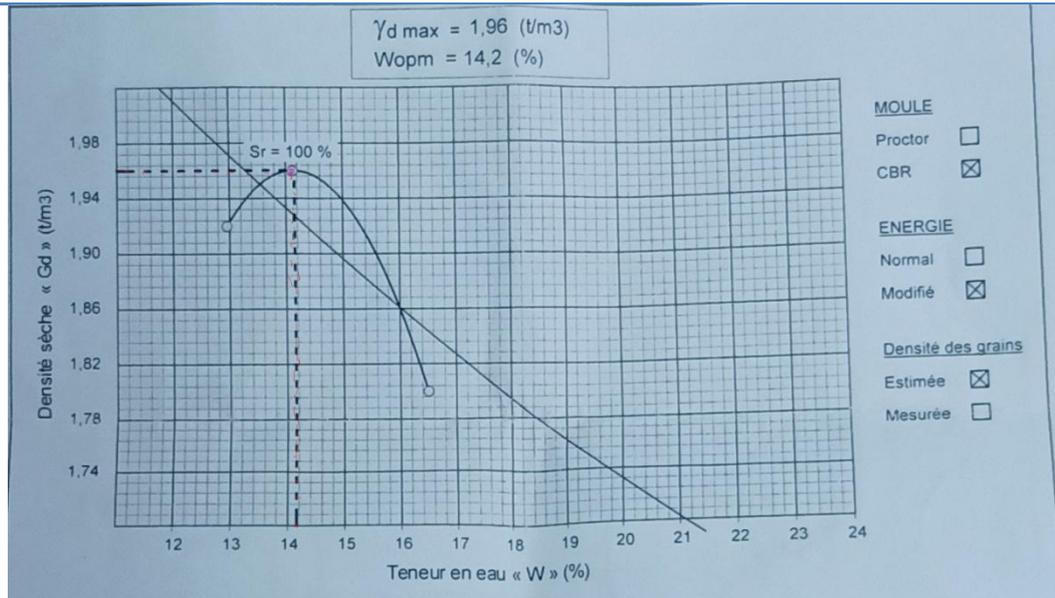
Surface spécifique totale « Sst » ( $m^2/g$ )  $\longrightarrow$   $S_{st} = 57.20 m^2/g$

**III.6. Résultats du Proctor modifié**

Après avoir mené un essai Proctor, nous résumons les résultats suivant:

**Tableau 13.** Résultat d'essai (source auteur)

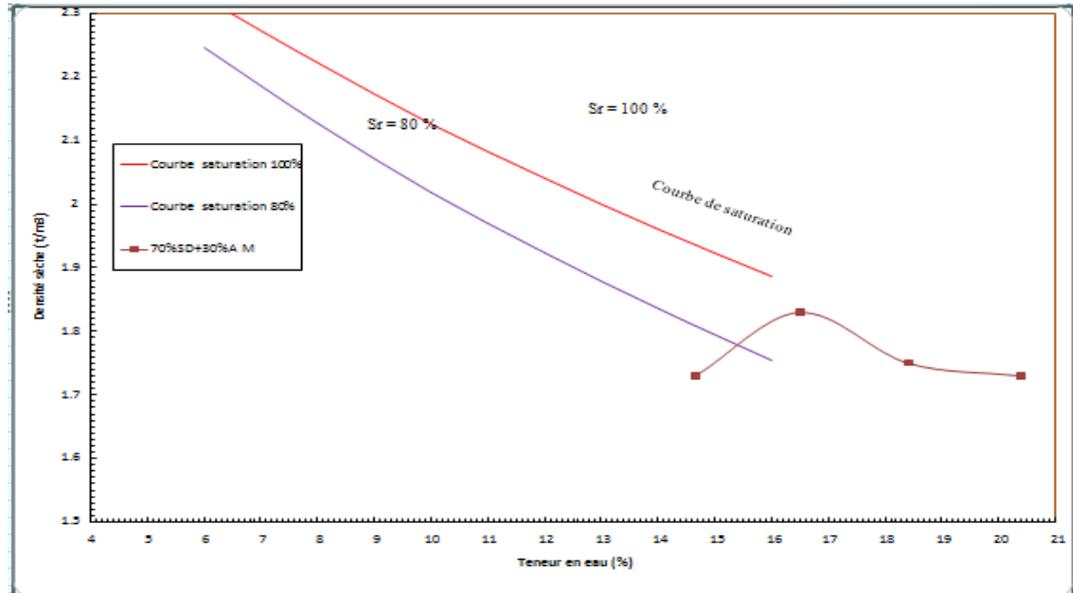
Formulation optimale	Site des matériaux étudiés	W(%)	$\gamma_d$ (g/cm <sup>3</sup> )
<b>70% Sable de dune +30% Argile</b>	Sable de dune de SebSeb L'Argile de Metlili El_Djadida	<b>14.2</b>	<b>1.96</b>



**Graphe 08 :** Courbe Proctor de mélange (source auteur)

**Tableau 14.-** Résultat d'essai de Proctor (source auteur)

	1.91	1.93	1.96	1.81				
<b>Poids d'eau ajoutée</b>	10%	12%	14%	16%				
<b>Poids total humide</b>	8238	8425	8595	8281.7				
<b>Poids du moule</b>	3800	3866	3892	3800				
<b>Poids du sol humide</b>	4438	4559	4703	4419				
<b>Poids du sol sec</b>	4000	4036	4121	3793				
<b>Volume de moule</b>	2104	2104	2104	2104				
<b>Densité sèche</b>	1.90	1.92	1.96	1.80				
<b>N° de la tare</b>	R2	569	564	548	F24	548	N4	M15
<b>Poids total humide</b>	144	168	181	152	122.1	125.5	139.1	157.4
<b>Poids total sec</b>	132	153	162	137	109.1	112.1	122.1	137.7
<b>Poids de la tare</b>	19	20	18	19	18	19	18	18
<b>Poids de l'eau</b>	12	15	19	15	13	13	17	20
<b>Poids du sol sec</b>	113	133	144	118	91.1	23	104	120
<b>Teneur en eau</b>	10.62	11.28	13.19	12.71	14.27	13.97	16.35	16.66
<b>Moyenne</b>	10.95	12.55	14.12	16.50				



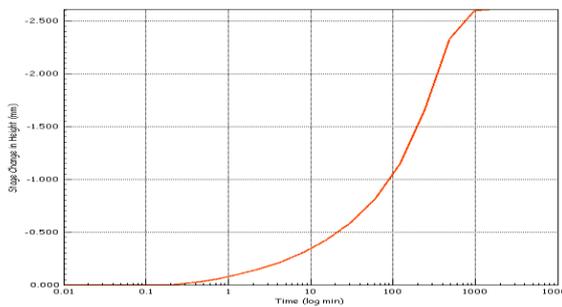
**Graph 09 :** Courbe résultat de Proctor modifiée (azzouz 2017)

Au vu travers les résultats via les tableaux affichés et les fugueurs pour mélanges de sable de dune de SebSeb et l'argile de Metlili El-Jadida au-dessus que densité maximale :

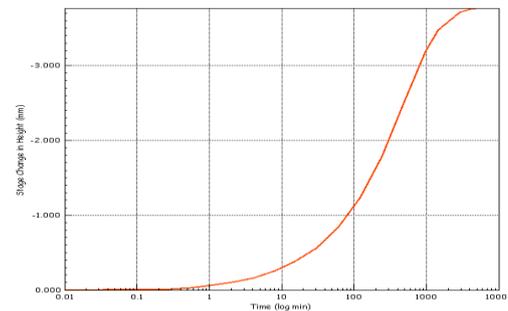
$$\gamma_d \text{ max} = 1.96 \text{ t/m}^3 \text{ homogène a la teneur en eau } W\% = 14.2 \%$$

### III.7. Résultats du L'Odomètre

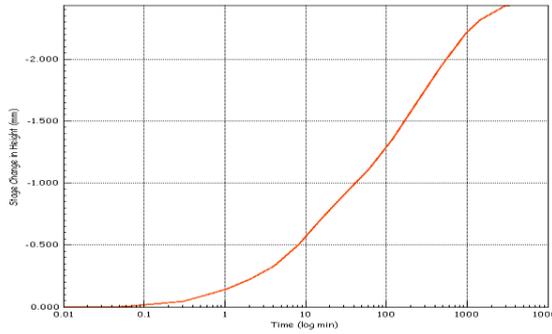
Les échantillons est préparés en utilisé la formule optimale choisie d'après l'essai Oedométrique « 30% argile + 70% SD » avec géotextile.



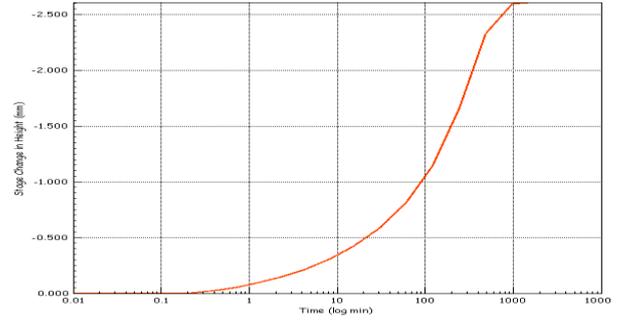
**graph 10 :** Courbe de gonflement en fonction de temps sans Géo(source auteur)



**graph 11 :** Courbe de gonflement en fonction de temps avec Geo01(source auteur)



**graphe 12 :** Courbe de gonflement en fonction de temps avec **Geo02** (source auteur)

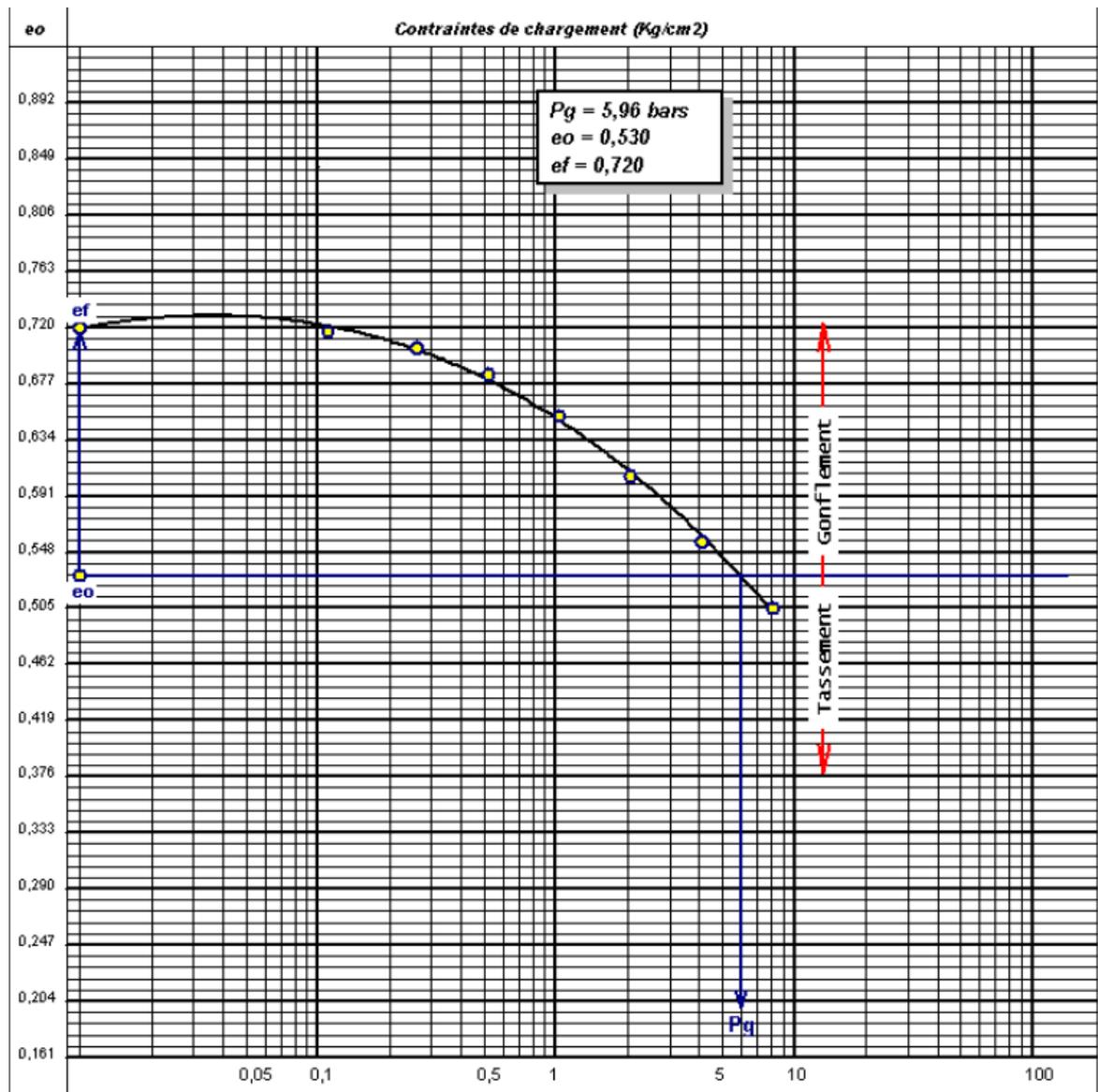


**graphe 13 :** Courbe de gonflement en fonction de temps avec **Geo03** (source auteur)

Les figures (10, 11, 12, 13) présente les résultats du L'Odomètre, les courbe plus le temps est long, plus il continue bas jusqu'à ce que la baisse se stabilise.

### III.8.- Résultats du gonflement

#### III.8.1.- Mélange optimale sans géotextile

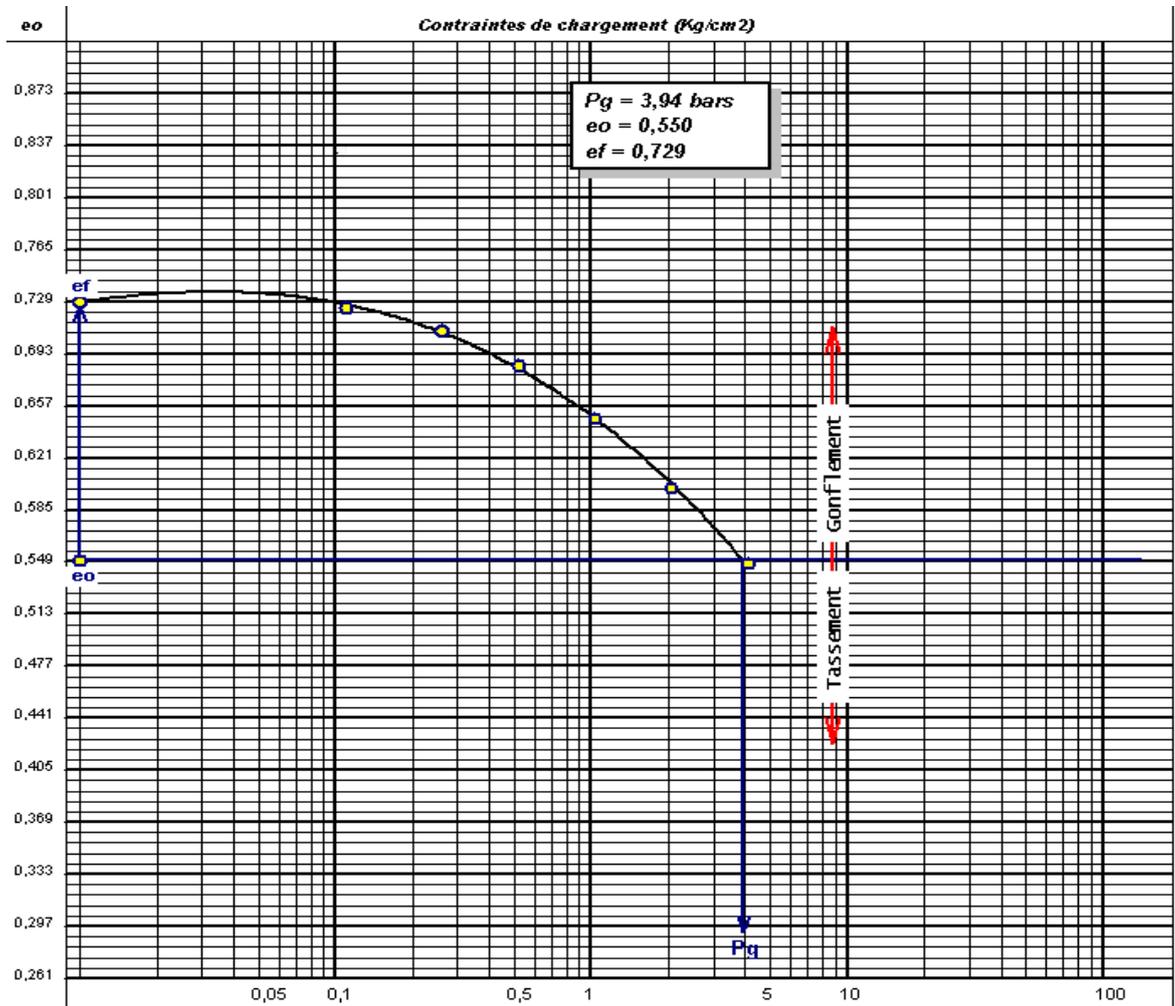


Graphe 14 : Courbe de gonflement libre sans géotextile (source auteur)

D'après les résultats trouvés on a remarqué que la courbe de gonflement libre sans géotextile, la pression de gonflement  $P_g = 5.96 \text{ bar}$



III.8.3.- Mélange optimale avec géotextile (02)



Graphe 16: Courbe de gonflement libre avec géotextile (02) (source auteur)

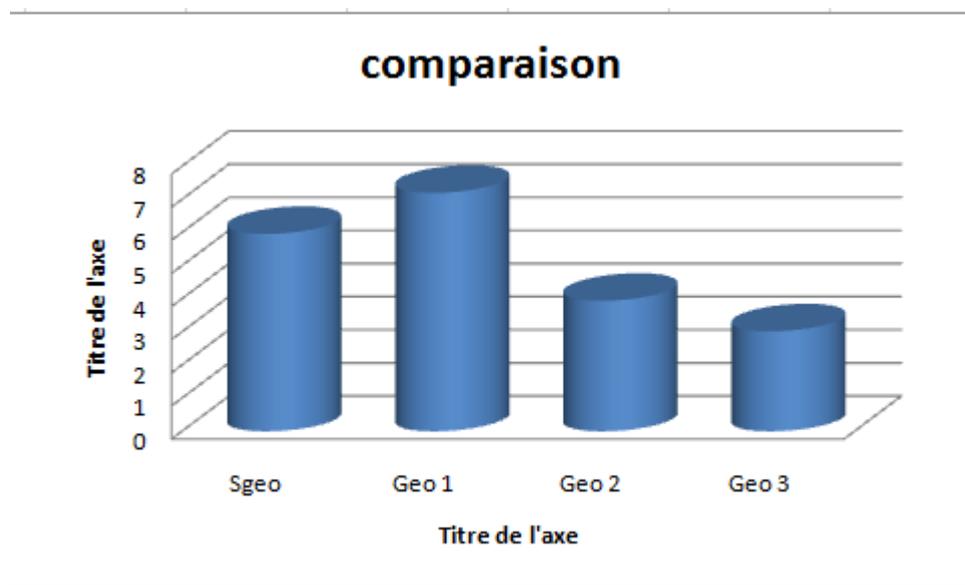
Les résultats consignés dans la graphe 16 révélé que la courbe de gonflement libre avec géotextile (02), la pression de gonflement  $P_g = 3.94$ bar



### III.9.- Comparaison les résultats de gonflements sans et avec géotextile

**Tableau 15.** Comparaison des valeurs de gonflement (source auteur)

	Unité	Valeurs
Mélange son Géo		5.96
Mélange avec Géo01	bar	7.20
Mélange avec Géo02		3.94
Mélange avec Géo03		3.02



**Graphe 18 :** Comparaison les valeurs de gonflement (source auteur)

Au vu que les résultats de tableau et la courbe au-dessus que la pression de gonflement  $P_g$  le plus faible est de l'ordre de 3.02bar donc cela prouvé que le meilleur model de géotextile de numéro 3

### Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons parlé sur les résultats obtenus et discuté sur chaque essai bien détaillé

# **Conclusion Générale**

## Conclusion Générale

La présente étude a été menée pour le but de chercher l'influence des trois types de géotextiles sur les paramètres des gonflements libre pour d'un mélange optimal 70% sable de dune de SebSeb et 30% argile de Metlili El Djadida-région de Ghardaïa.

Ce travail a permis d'étudier expérimentalement le gonflement libre de mélange optimaux sable-argile (30% L'argile de Metlili El\_djadida.et de sable de dune de SebSeb (région de Ghardaïa).Les mélanges mélange optimal 70% sable de dune/ 30% argile (S/A) sont fréquemment utilisés comme tuf de la couche de base et couche dans la construction de techniques routier.

L'essai de gonflement libre qui permet de déterminer les paramètres de gonflements tels que (pression, amplitude et taux de gonflement) sur le mélange optimaux destine pour les couches d'assise. L'ensemble des essais de gonflement libre pour le mélange idéal (sable de dune et argile) après les avoir mélangés à 70% et 30%.Pour avoir la résistance au gonflement libre, on a ajouté trois types de géotextiles.

Les résultats ont montré que l'incorporation de géotextiles au mélange optimal augmente la durée de validité de la route.

- Les résultats montrent que une augmentation pour le mélange sans géotextile provoque une augmentation de la pression au gonflement ( $P_g = 5.96\text{bar}$ ).
- Les résultats montrent que une augmentation pour le mélange que l'ajout géotextile (01) provoque une augmentation de la résistance au gonflement ( $P_g = 7.20\text{ bar}$ ).
- Les résultats montrent que une augmentation pour le mélange que l'ajout géotextile (02) provoque une augmentation de la pression au gonflement ( $P_g = 3.94\text{bar}$ ).
- Les résultats montrent que une augmentation pour le mélange que l'ajout géotextile (03) provoque une augmentation de la pression au gonflement ( $P_g = 3.02\text{bar}$ ).

A partir les résultats de l'étude on a trouvé que le plus faible  $P_g$  est de l'ordre de 3.02bar donc cela prouvé que le meilleur model de géotextile de type **GEOAS A50** entreprise d'AFITEX.

Nous recommandons que cette recherche soit poursuivie sur d'autres sites afin d'identifier et pour voir tracer une carte de gonflement. Également d'autres mélanges avec d'autres types de géotextiles devraient être étudiés.

*Listes*

*bibliographiques*

### Liste Bibliographies

- 01 **DSA, (2021).** Direction des Services Agricoles ; Rapport des Cultures en Wilaya.
- 02 **Mihoub R,** l'obtention du grade de docteur en sciences option : hydrogéologie  
université des frères mentouri constantine1
- 03 **Daheur H G, (2019),** comportement d'un mélange tuf sable de dune sous  
solicitations monotones et cycliques, école nationale polytechnique, thèse doctorat.
- 04 **Hafsi A,( 2010),** ltps ouargla, article, séminaire national, les tuf gypseux et calcaires  
en zones arides essais et critères de sélection.
- 05 **Chenini, M.Z., Bellahcene, T. (2021).** Étude de un comportement mécanique d'un  
mélange sable de dune – argile de wilaya Ghardaïa renforcé par géotextile. Mémoire  
de Master. Université de Ghardaia. 113p
- 06 **Oldache El Hadj, (1988).** Contribution à l'étude de la fixation des dunes dans les  
régions d'El Mesrane, Wilaya de Djelfa et de Boussaâda. Thèse de Magister
- 07 **Azouz , H., (2009).** Étude de bétons à base des sables de dune).  
Mémoire de Magister, Université Mohamed Kheider Biskra
- 08 **Bendhia, M.H., (1998).** Quelques particularités de l'utilisation du sable de dune en  
construction routière en milieu saharien. Bulletin des laboratoires des ponts et  
chaussées - 213- réf. 4159, pp : 33-42
- 09 **Tesson, S., Salanne, M., Rotenberg, B., Tazi, S., Marry, V. (2016).** Classical  
polarizable force field for clays: Pyrophyllite and talc. J. Phys. Chem. C, 120(7), pp :  
3749–3758.
- 10 **Belabbaci , Z., (2014).** Stabilisation des sols gonflants. Thèse de Doctorat en Génie  
Civil. Université ABOU BEKR BELKAID TLEMCEN.185p.
- 11 **Brigatti et al. (2006),** livre, development in clay science, elsevier
- 12 **Azzouz f z. (2013),** Contribution à l'étude de la stabilisation chimique de  
quelques argiles gonflants de la région de Tlemcen".Univ AbdouBekr Belkaid.  
Mémoire Magister.
- 13 **Souilem, A., Souilem, B., (2018).** Les GÉOSYNTHÉTIQUES fonctions et  
applications et retour d'expérience en Algérie. 2<sup>ème</sup> Congrès Algérien des  
géosynthétiques. 70p.
- 14 **Chikhi, F., (2023).** Étude morpho-analytique du sol de la palmeraie de (Zelfana  
Sahara central algérien). Thèse de Doctorat en Écologie saharienne. Université de  
Ghardaia. 136p

## Liste Bibliographies

- 15 **D.P.S.B, (2020)**, direction de la programmation et de suivi,  
16 **Hamel, I., (2023)**. Caractérisation et cartographie des propriétés physicochimiques  
des sols de la région de Ghardaïa (Cas de la palmeraie de ZELFANA) Algérie. Thèse  
de Doctorat en Écologie saharienne. Université de Ghardaia. 216p.
- 17 NF P 18-598 ( norme France et européen)
- 18 **Ben Ouakhir, A., (2015)**. Utilisation du sable de dunes en technique routière Etude  
bibliographique. Mémoire de Master académique. Université Mohamed Khider-  
Biskra. 81p
- 19 **Alloul, B., (1981)**. Étude géologique des tufs calcaires et gypseux d'Algérie en vue de  
leur valorisation routière. Thèse de docteur 3<sup>ème</sup> cycle. Université de paris, juillet 1981.
- 20 **Chauvin J, (1987)**, Les sables : guide pratique d'utilisation routière,  
Chauvin, Jean-Jacques. Auteur.
- 21 Guermi I, (2013), contribution a l'amélioration de certaines caractéristiques du béton  
de structure à base de sable de dune corrigé et renforcé par des fibres métalliques ,  
magister , univ de Ouargla,
- 22 **fenniche, m el f , soudani, k, (2022)**, stabilisation des argiles gonflantes par ajout de  
sable calcaire cas: argile el menia (taghit)., univ ghardaia,
- 23 **lahreche f z, souilem m, (2022)**, stabilisation des mélanges optimaux sable de dune et  
des argiles marne par ciment et géotextiles sur les paramètres de gonflement de la  
région de Ghardaïa, U ghardaia
- 24 **Adjir h , Chouiteh y , (2021)**, dimensionnement de la route reliant bir issa –  
guemour , univ mohamed el-bachir el ibrahimi bordj bou argeridj.
- 25 **Koulougli, S., (2007)**. Étude expérimentale des mélanges sable bentonite leurs  
performances comme barrières de confinement dans les CET- » thèse de doctorat  
université de Constantine, Algérie, pp (71-80).
- 26 Loualbia Hamza, Cours de Géotechnique routière, Univ Ziane Achour de Djelfa  
2018
- 27 **boumehraz n, (2018)**, dimensionnement optimal des chaussées rigides , univ de  
blida 1.
- 28 Baize , D., (1988). Guide des analyses courantes en pédologie (choix-  
expression - présentation- interprétation). I.N.R.A., Paris, 172p.
- 29 **khemakhem**, les essais de la géotechnique routière étude comparative entre les  
normes, [www.Genie civilPDF.com](http://www.Genie civilPDF.com)

## Liste Bibliographies

- 30 **Hang, (1984)**, Hrong Thanh (@thanh.hang1984.  
31 **Mekhanter n el h, Djemie CH , (2022)**, Modélisation et validation de l'essai  
32 Oedométrique par deux codes de calcul ansys et plaxis, Univ -Ain-Temouchent  
33 .( Mme L. Bouabdallah , Cours Mécanique des sols  
34 **Bouabdallah L., (2022)**, Cours Mécanique des sols 2 , 13.  
35 **Zemouri N. Zine Kh. (2020)**, caracterisation mecanique de la vase du barrage  
36 k'sob en vue de sa valorisation dans les travaux routiers , uni msila.  
37 <https://fr.wikidia.org/wiki/Route> / le 22/07/ 2023  
38 [https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quivalent\\_de\\_sable#:~:text=Les%20%C3%A9l%C3%A9ments%20d'appareillage%20principaux,bouchon%20en%20caoutchouc%20et%20gradu%C3%A9es](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quivalent_de_sable#:~:text=Les%20%C3%A9l%C3%A9ments%20d'appareillage%20principaux,bouchon%20en%20caoutchouc%20et%20gradu%C3%A9es). Le 22/07/2023  
39 **Cherrak Née Boulkhiout, Messaouda, Bali, Abderrahim, Silhadi, Kamel,**  
40 **(2015)**, Valorisation des tufs dans le béton, Thèse de Doctorat , École Nationale  
Polytechnique,  
**Koneshloo, M., (2007)**. Caractérisation, estimation et valorisation de gisements  
37 d'argiles kaoliniques du bassin des Charentes. Sciences de l'ingénieur. École  
Nationale Supérieure des Mines de Paris, 2007. Français. 334p.  
38 **Kettab, R., (2007)**. Contribution à la valorisation du sable de dunes. Thèse de  
39 doctorat d'État en Génie Civil. école nationale polytechnique. 269p  
40 Route, faculté des science et technologie , marrakech,  
**Moore, DM et Reynolds, RC, (1997)**, Matériau biocéramique sol-gel à partir  
d'argile bentonite, Univ Press, New York,



# **ANNEXES**

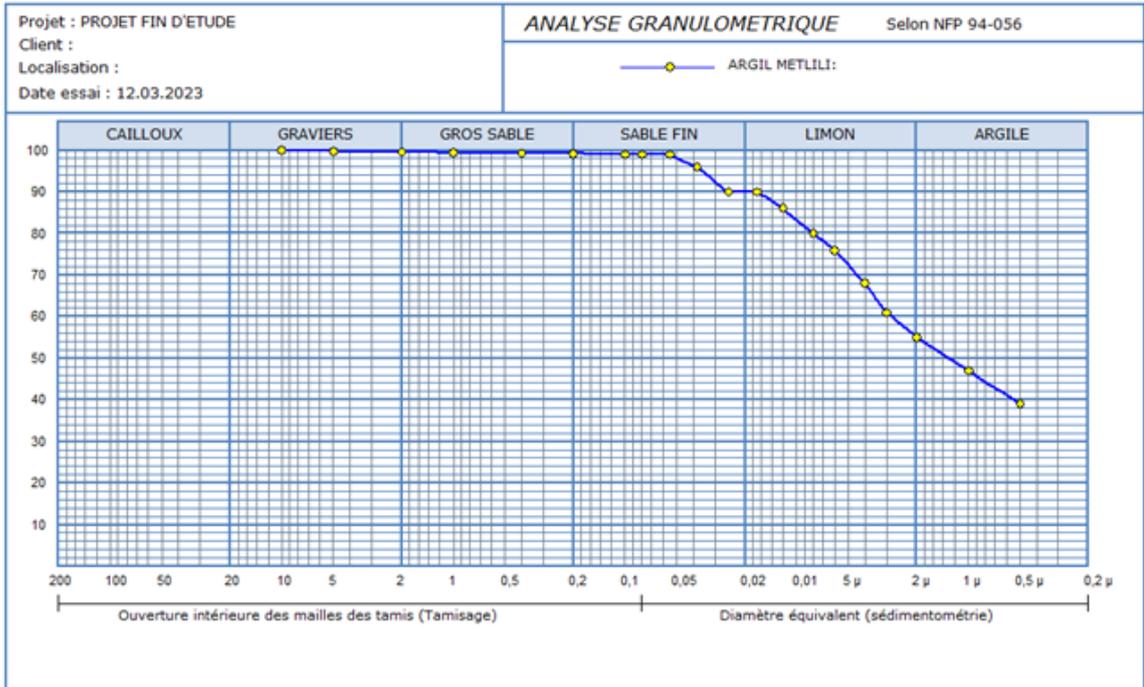
# LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

## LIMITES D'ATTERBERG

S  
N  
D  
E

<b>RAPPORT D'ESSAI</b> <b>Limites d'Atterberg</b> NF P 94 - 51																	
<b>Client :</b> <b>Projet :</b> PROJET FIN D'ETUDE <b>Endroit :</b>		<b>N° Projet :</b> <b>Réf. Client :</b> <b>N° rapport :</b> <b>Rév :</b>															
<b>Echantillon n° :</b> <b>Sondage n° :</b> ARGIL -METLILI <b>Profondeur :</b> <b>Matériaux :</b>		<b>Provenance :</b> <b>Endroit de prélèvement :</b> <b>Prélevé par :</b> <b>Reçu le :</b> <b>Date prélèvement :</b> <b>Date essais :</b> 12 . 03 . 2023															
<b>Limite de Liquidité (%) :</b> WL = 77,12 <b>Limite de Plasticité (%) :</b> WP = 32,50 <b>Indice de Plasticité (%) :</b> IP = 44,62		<b>Teneur en eau naturelle (%) :</b> Weau =															
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"><b>Limite de liquidité</b></p> </div> <div style="width: 45%;"> <p style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"><b>Limite de plasticité</b></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;">32,22</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">2</td> <td style="padding: 2px;">32,93</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;">3</td> <td style="padding: 2px;">32,35</td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"> </td> <td style="padding: 2px;"> </td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"> </td> <td style="padding: 2px;"> </td> </tr> <tr> <td style="padding: 2px;"> </td> <td style="padding: 2px;"> </td> </tr> </tbody> </table> </div> </div>		Ech N°	W (%)	1	32,22	2	32,93	3	32,35							<p style="text-align: center; border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"><b>ABAQUE DE CASAGRANDE</b></p>	
Ech N°	W (%)																
1	32,22																
2	32,93																
3	32,35																
<b>Remarque :</b>																	
<b>Préparé par :</b>		<b>Date :</b>															
<b>Approuvé par :</b>		<b>Date :</b>															





**LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS**

NORMAL   
**ESSAI PROCTOR**  
 MODIFIE   
 NF P 94-093 Septembre 1997

Structure: U GHARDAIA  
 N° Dossier interne:  
 Echantillon: *Metlili*  
 Prise d'essai: 500g

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

Date:  
 Opérateur:  
 Équipements utilisés: balance – étuve –  
 N° D'inventaire: L022/15/S026 L49/07/86

Poids d'eau ajoutée : .....	13%	12%	14%	16%
Poids total humide : .....	8238	8425	8595	8218,7
Poids du moule : .....	3800	3866	3892	3800
Poids du sol humide : .....	4438	4559	4703	4418,7
Poids du sol sec : .....	4000	4036	4121	3793
Volume du moule : .....	2104	2104	2104	2104
Densité sèche : .....	1,90	1,92	1,96	1,80
N° de la tare : .....	R2 569	564	548	F24 548
Poids total humid : .....	144	168	181	152
Poids total sec : .....	132	153	162	137
Poids de la tare : .....	19	20	18	19
Poids de l'eau : .....	12	15	15	13
Poids du sol sec : .....	113	133	144	118
Teneur en eau : .....	10,62	11,28	13,19	12,71
Moyenne : .....	10,95	12,95	14,12	16,50

L'opérateur \_\_\_\_\_ Visa du responsable \_\_\_\_\_

F-5-5q.0.

# RAPPORT D'ESSAI

## ESSAI PROCTOR

NF P94-093

Client :  
Projet :  
Endroit :

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

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

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

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

$\gamma_d \text{ max} = 1,96 \text{ (t/m}^3\text{)}$   
 $W_{opm} = 14,2 \text{ (\%)}$

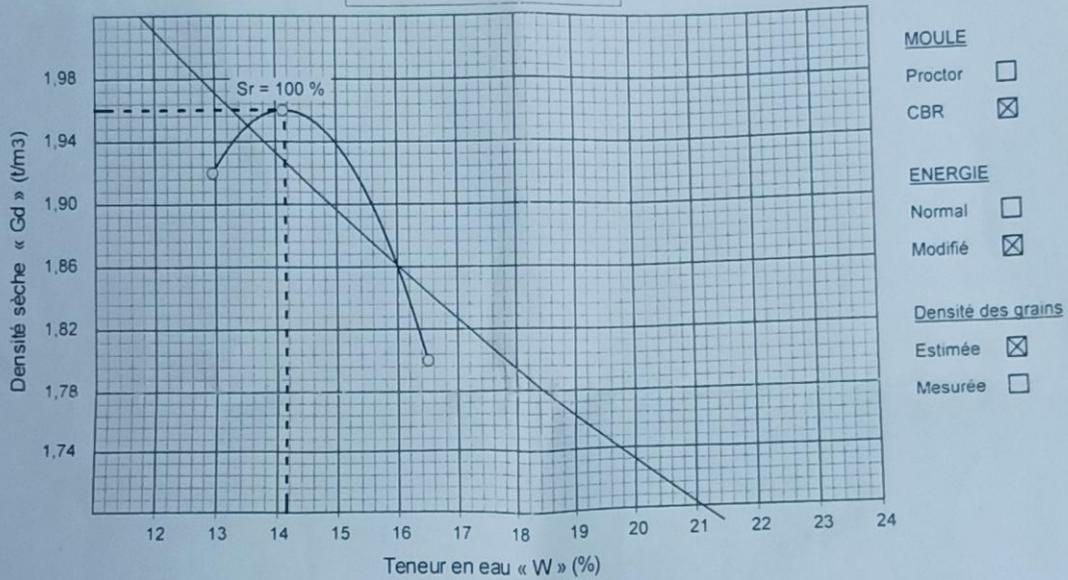


TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	13,0	14,1	16,5				
Densité (T/m <sup>3</sup> )	1,92	1,96	1,80				

Remarque :

Préparé par :

Date :

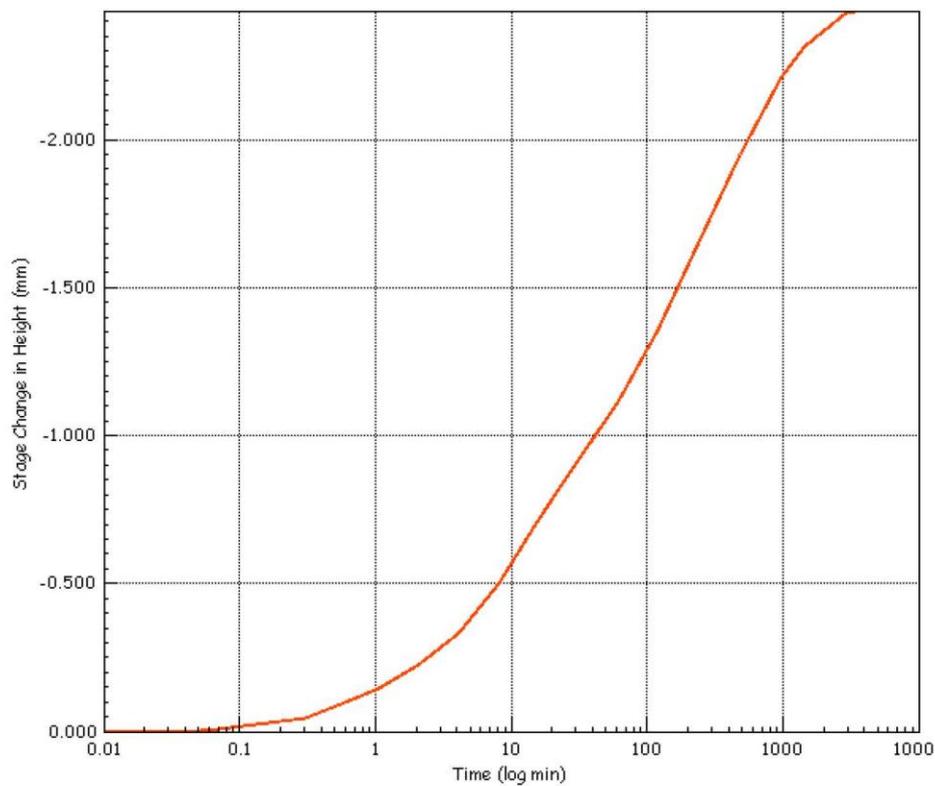
Approuvé par :

Date :

OU HAROUZ

## Oedometer Consolidation Settlement Report

				Specimen 1
Vertical Stress	$\sigma'_{i}$	(kPa)		0.00
Initial Temperature	$T_i$	(°C)		20.0
Frame Correction	L CORR	(mm)		0.000
Height Settlement	$\Delta L_s$	(mm)		-2.436
Voids Ratio	$e_f$	.		0.575
Final Temperature	$T_f$	(°C)		0.0
t50 Time	t50	(min)		3.171
t90 Time	t90	(min)		
Consolidation	C <sub>v</sub>	(m <sup>2</sup> /year)		3.7
Compressibility	m <sub>v</sub>	(m <sup>2</sup> /MN)		
Secondary Compression	C <sub>SEC</sub>	(m <sup>2</sup> /MN)		0.0000

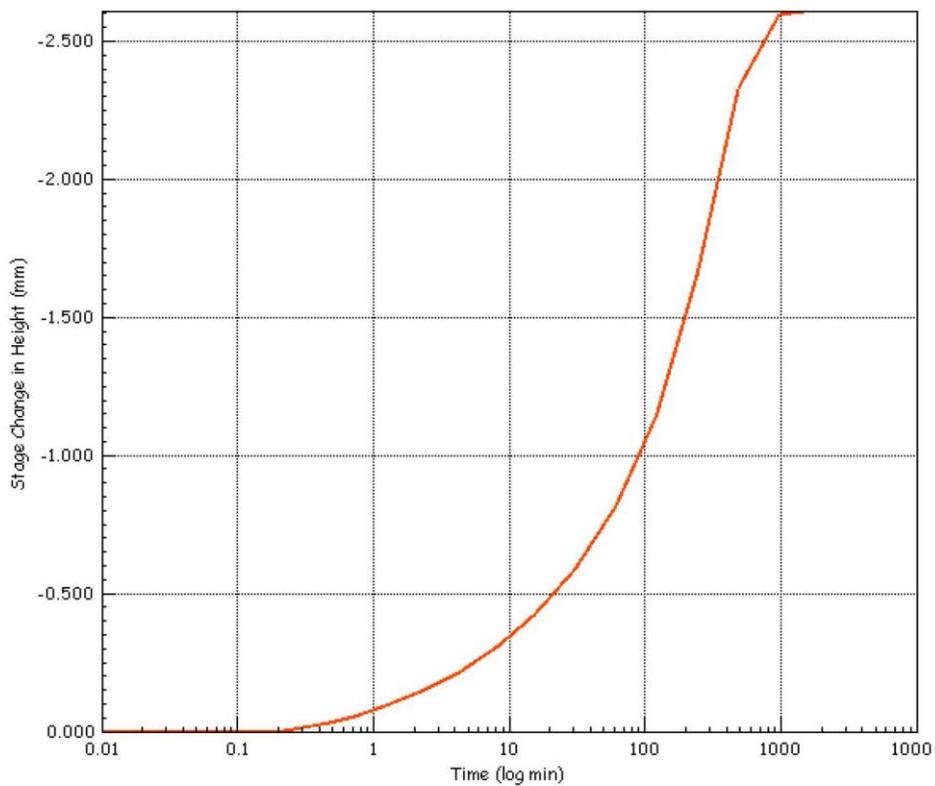


	Test Method	BS	Test Name	70-30-GEO02	
	Site Reference		Database:	.\SQLEXPRESS \ lotfi	
	Jobfile	PFE	Test Date	25/04/2023	
	Client	PFE GASSOUME	Sample	70-30	
			Borehole	40A-30S	
Operator	CHAIMA.A	Checked	*	Approved	M.BEN MESSAOUD

LTPS ( Clisp V2.5.5.2426 )

## Oedometer Consolidation Settlement Report

			Specimen 1
Vertical Stress	$\sigma'_{i}$	(kPa)	0.00
Initial Temperature	$T_i$	(°C)	20.0
Frame Correction	L CORR	(mm)	0.000
Height Settlement	$\Delta L_s$	(mm)	-2.611
Voids Ratio	$e_f$	.	0.730
Final Temperature	$T_f$	(°C)	0.0
t50 Time	t50	(min)	3.171
t90 Time	t90	(min)	-
Consolidation	C v	(m <sup>2</sup> /year)	3.7
Compressibility	m v	(m <sup>2</sup> /MN)	-
Secondary Compression	C SEC	(m <sup>2</sup> /MN)	0.0000



	Test Method	BS	Test Name	70-30-GEO03	
	Site Reference		Database:	.\SQLEXPRESS \ lotfi	
	Jobfile	PFE	Test Date	25/04/2023	
	Client	PFE GASSOUME	Sample	70-30	
			Borehole	40A-30S	
Operator	CHAIMA.A	Checked	*	Approved	M.BEN MESSAOUD

LTPS ( Clisp V2.5.5.2426 )

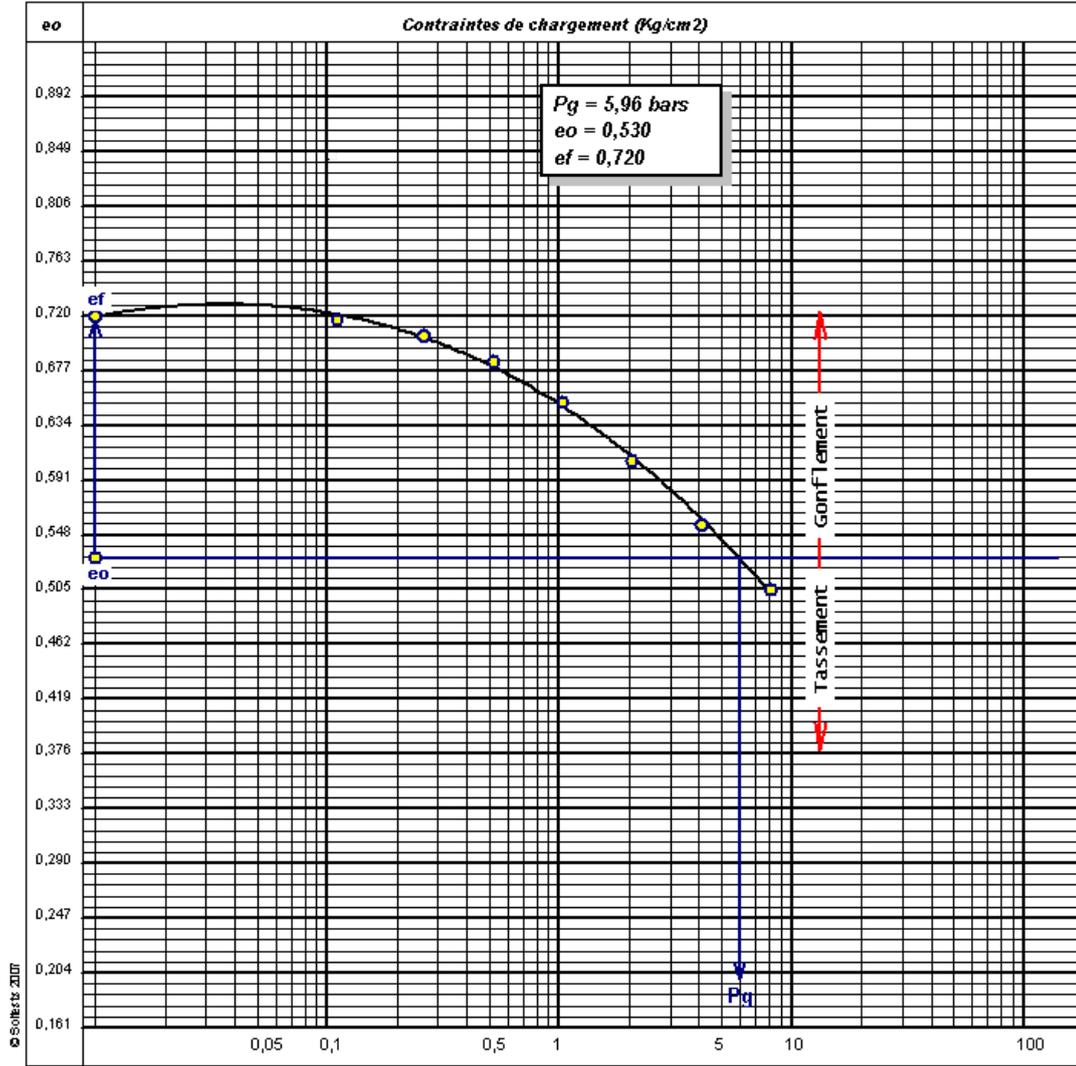


Client : UNIVERSITE GHARDAIA  
Projet : PFE GEUSSOUME  
Endroit : SCE MDS LTPS

N° Projet : PFE 03

Sondage n° : 70%A+30%S  
Profondeur : 00,00 m  
Matériaux :  
Provenance :  
Date essais : 25-04-2023

Diamètre échantillon: 50 mm  
Poids échantillon sec : 75,44 g  
Poids eau final : 14,12 g  
Densité des grains ( $t/m^3$ ) : 2,7



Remarque :

Préparé par :  
GEUSSOUME & HABAL

Approuvé par :  
M.BEN MESSAOUD

Date :  
16-05-2023

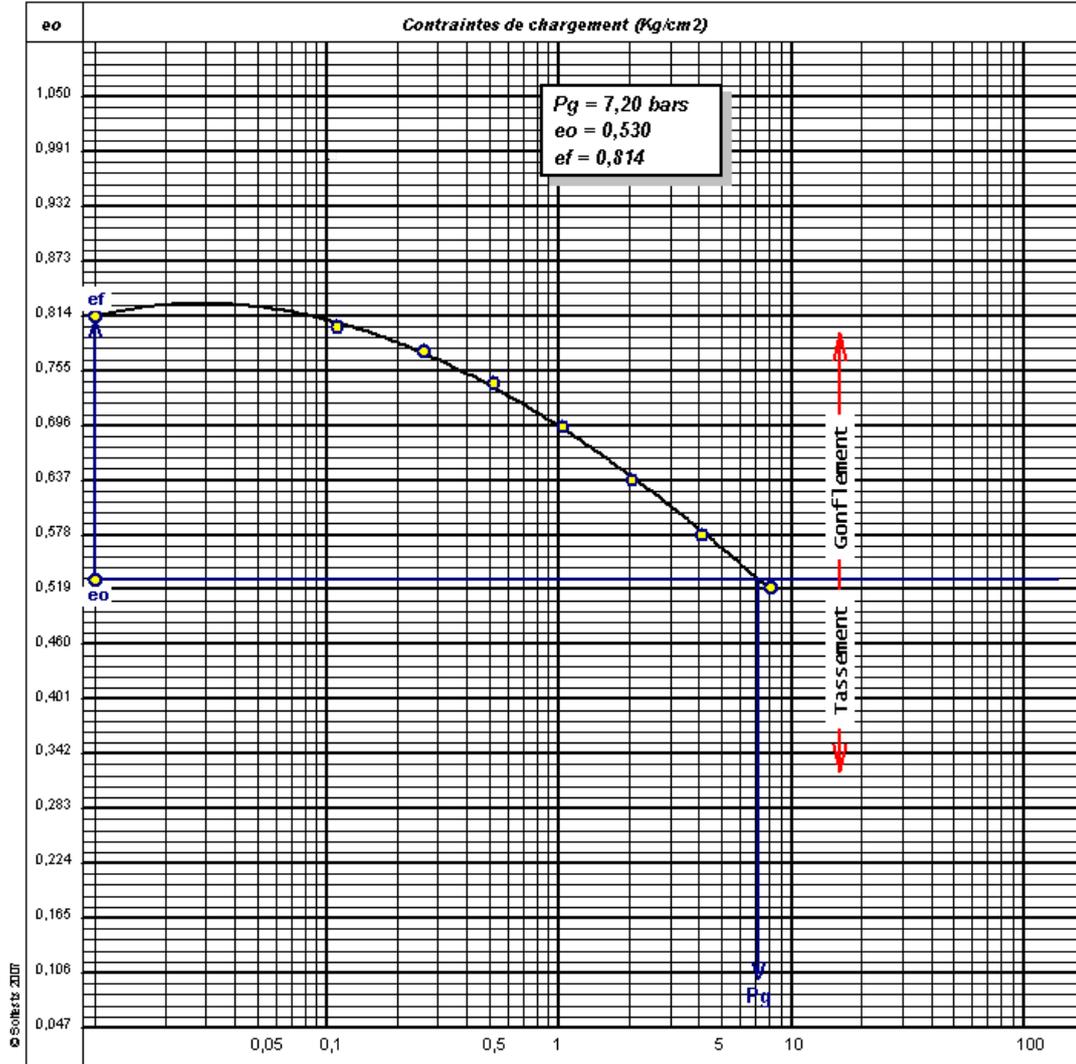


Client : UNIVERSITE GHARDAIA  
Projet : PFE GEUSSOUME  
Endroit : SCE MDS LTPS

N° Projet : PFE 03

Sondage n° : 70%A+30%S+GEOTEXTILE 01  
Profondeur : 0,00 m  
Matériaux :  
Provenance :  
Date essais : 24-04-2023

Diamètre échantillon: 50 mm  
Poids échantillon sec : 70,21 g  
Poids eau final : 13,56 g  
Densité des grains ( $t/m^3$ ) : 2,7



Remarque :

Préparé par :  
GEUSSOUME&HABBAL

Approuvé par :  
M.BEN MESSAOUD

Date :  
16-05-2023

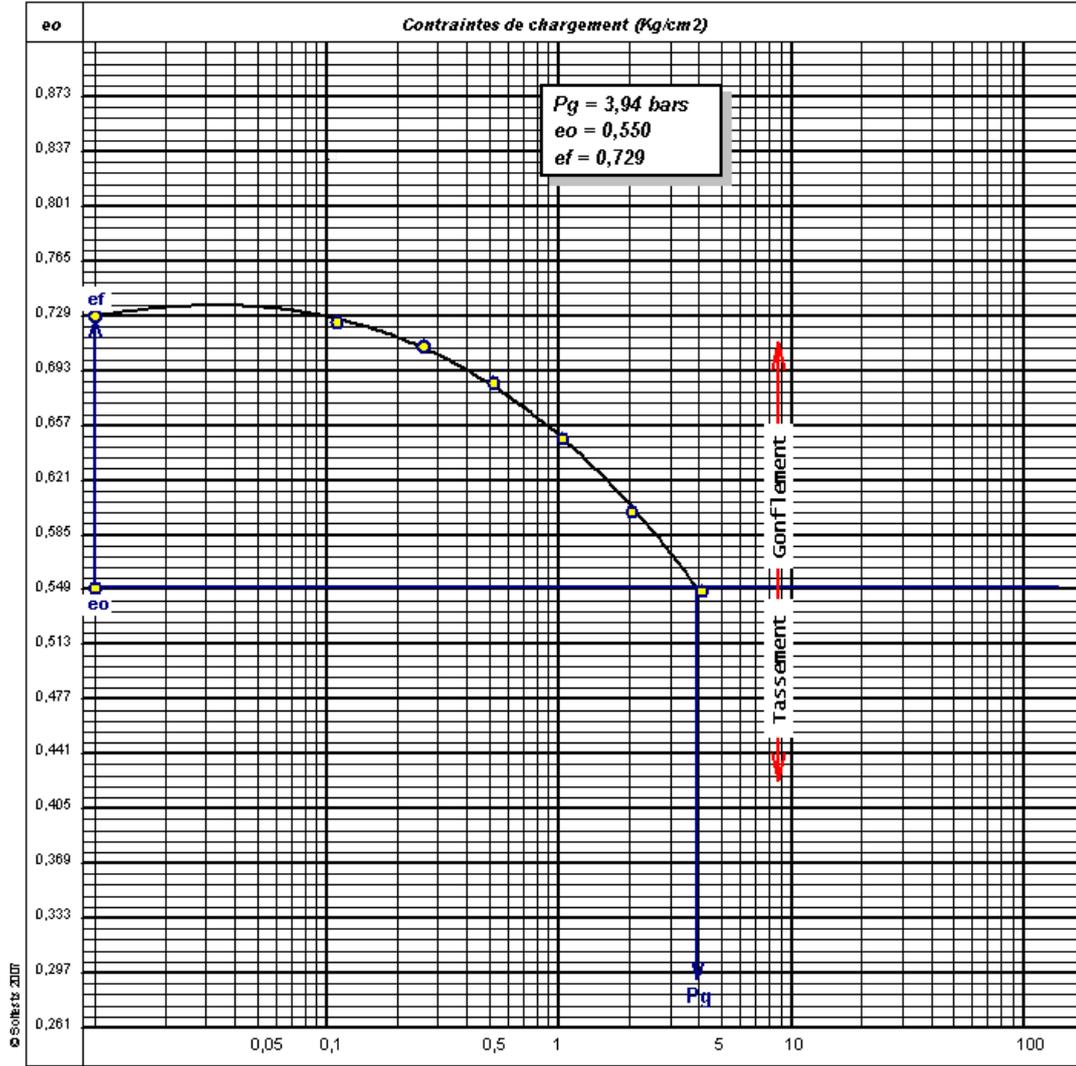


Client : UNIVERSITE GHARDAIA  
Projet : PFE GEUSSOUME  
Endroit : SCE MDS LTPS

N° Projet : PFE 03

Sondage n° : 70%A+30%S+GEOTEXTILE 02  
Profondeur : 0,00 m  
Matériaux :  
Provenance :  
Date essais : 25-04-2023

Diamètre échantillon: 50 mm  
Poids échantillon sec : 72,25 g  
Poids eau final : 14,67 g  
Densité des grains ( $\text{t/m}^3$ ) : 2,7



Remarque :

Préparé par :  
GEUSSOUME & HABBAL

Approuvé par :  
M.BEN MESSAOUD

Date :  
16-05-2023

