

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة غرداية
Université de Ghardaïa



كلية العلوم والتكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la Technologie
قسم الهندسة المدنية والري
Département de Génie civil et Hydraulique

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

MASTER

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Génie civil

Spécialité : Structure

Par : GHAZALI ABDESSALAM

Thème

Influence de trois types de géotextiles sur l'indice CBR d'un mélange optimal de sable de dune et l'argile de Bouhraoua de la wilaya de Ghardaïa dans le domaine routier

Soutenu publiquement le : 19/06/2023

Devant le jury :

Prénom et nom	Grade	Université	Président
M ^{ME} AZZOUZ .FATIMA ZOHRA	MAA	Université de Ghardaïa	Encadrant
Mr SAITLISSAM	MAA	Université de Ghardaïa	Président
Mr DAHEUR. EHADJ GESMIA	MCA	Université de Ghardaïa	Examinateur

Année universitaire 2022/2023



Dédicaces



*À ceux qui m'ont encouragé à persévérer toute ma vie
auprès de l'homme le plus remarquable de ma vie,*

Mon cher père.

À celui qui est au-dessus de lui est ancré au cœur donné,

Ma chère mère.

À ceux qui ont essayé de m'aider et qui étaient bons.

Mes sœurs.

A ma famille, à mes amis et collègues.

*À tous ceux qui ont contribué ne serait-ce qu'une lettre
dans ma vie universitaire.*

*A tous, je dédie ce travail, en espérant que Dieu
l'acceptera.*



Ghazali Abdessalam



Remerciements

*T*out d'abord, je tiens à remercier mon encadrer Madame **AZZOUZ Fatima Zohra** qui m'a témoigné son soutien et sa confiance durant la période de Préparation de cet mémoire ; qu'elle trouve ici l'expression de ma sincère Gratitude.

*J*e tiens également à remercier les membres du jury qui me feront l'hon présidé et d'examiner ce modeste travail.

*J*e remercier mes enseignants de l'université de Ghardaïa

*J*e voudrais sincères remerciements l'ensemble de Laboratoire des travaux publics du sud, wilaya de GHARDAIA, pour leur aide de ce travail.

*J*e tiens aussi à remercier tous nos enseignants qui ont contribué à notre formation.

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

RESUME

L'étude se concentre sur l'influence de trois types de géotextiles sur un mélange optimal composé de 70% de sable de dune et 30% d'argile de Bouhraoua provenant de la wilaya de Ghardaïa, afin d'évaluer leur impact sur la portance du sol (CBR immédiat et CBR après une immersion de 4 heures/jours). L'objectif est de déterminer quel type de géotextile offre le meilleur indice de CBR.

Dans un premier temps, les propriétés physico-chimiques des matériaux utilisés sont présentées à travers des essais d'identification et des essais sur les matériaux prélevés dans la région de Ghardaïa (sable de dune de Sebseb et argile de Bouhraoua).

Dans un second temps, des essais hydromécaniques sont réalisés, comprenant des essais Proctor ainsi que des essais de CBR immédiat et CBR après une immersion de 4 heures/jours, sur le mélange optimal (70% de sable de dune + 30% d'argile de Bouhraoua). Les mêmes essais sont ensuite effectués en utilisant les trois types de géotextiles.

Les résultats obtenus démontrent que les trois types de géotextiles ont amélioré la portance du mélange optimal, tant pour le CBR immédiat que pour le CBR après immersion. Cependant, les valeurs du CBR après immersion se révèlent supérieures à celles du CBR immédiat.

Le géotextile 2 (AS 30) s'avère être le type de géotextile offrant les indices de CBR les plus élevés.

Mots-Clés : domaine routier, argile, sable de dune, Géotextile, essais routier, CBR

Abstract

The study focuses on the influence of three types of geotextiles on an optimal mixture consisting of 70% dune sand and 30% Bouhraoua clay from the province of Ghardaïa, in order to assess their impact on soil bearing capacity (immediate CBR and CBR after 4-hour/day immersion). The objective is to determine which type of geotextile offers the highest CBR index.

In the first stage, the physicochemical properties of the materials used are presented through identification tests and tests on materials collected from the Ghardaïa region (Sebseb dune sand and Bouhraoua clay).

In the second stage, hydro mechanical tests are conducted, including Proctor tests as well as immediate CBR and CBR after 4-hour/day immersion tests, on the optimal mixture (70% dune sand + 30% Bouhraoua clay). The same tests are then performed using the three types of géotextiles.

The results obtained demonstrate that all three types of géotextiles have improved the bearing capacity of the optimal mixture, both for immediate CBR and CBR after immersion. However, the CBR values after immersion are found to be higher than those of immediate CBR.

geotextile 2 (AS 30) proves to be the type of geotextile offering the highest CBR indices.

Keywords: road, Clay, dune sand, geotextile, road tests, CBR

ملخص

الدراسة تركز على تأثير ثلاثة أنواع من الجيوتكستايل على مزيج مثالي يتألف من ٧٠% من رمل الكثبان و ٣٠% من طين بوهرأوة من ولاية غرداية، بهدف تقييم تأثيرها على تحمل التربة (مؤشر CBR الفوري ومؤشر CBR بعد غمر لمدة ٤ ساعات/يوم). الهدف هو تحديد أي نوع من الجيوتكستايل يوفر أعلى مؤشر CBR.

في المرحلة الأولى، يتم تقديم الخصائص الفيزيائية والكيميائية للمواد المستخدمة من خلال اختبارات التعرف واختبارات على المواد المأخوذة من منطقة غرداية (رمل كثبان سبب وطين بوهرأوة).

في المرحلة الثانية، يتم إجراء اختبارات هيدروميكانيكية تشمل اختبارات بروكتور بالإضافة إلى اختبارات CBR الفوري و CBR بعد غمر لمدة ٤ ساعات/يوم على المزيج المثالي (٧٠% رمل كثبان + ٣٠% طين بوهرأوة). يتم إجراء نفس الاختبارات باستخدام الجيوتكستايل الثلاثة.

توضح النتائج المستخلصة أن الجيوتكستايل الثلاثة قد حسنت تحمل المزيج المثالي، سواء بالنسبة لمؤشر CBR الفوري أو مؤشر CBR بعد الغمر. ومع ذلك، تبين أن قيم مؤشر CBR بعد الغمر أعلى من تلك لمؤشر CBR الفوري.

يتبين أن الجيوتكستايل رقم ٢ (AS 30) هو النوع الذي يقدم أعلى قيم مؤشر CBR.

الكلمات المفتاحية: طريق, طين, رمل الكثبان, الجيوتكستايل, معامل التحمل

Liste des abréviations

Ω	Teneur en eau initiale.
Ω_{opt}	Teneur en eau qui correspond à l'optimum Proctor.
γ_d	Densité volumique sèche.
Cc	Coefficient de compressibilité.
PM	Essai Proctor modifié.
WL	Limite de liquidité.
W_n	Teneur en eau naturelle.
WP	Limite de plasticité.
W_r	Limite de retrait.
LTPS	Laboratoire des travaux publics du sud.
CBR	Californian Bearing Ratio: indice portante californien.
ICBR_{imb}	Indice CBR imbibé.
ICBR_{imed}	Indice CBR immédiat.
GTR	Guide technique pour la réalisation des remblais et couches de forme.
Cu	Coefficient d'uniformité.
Cc	Coefficient de courbure.
LCPC	Classification donnée par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.
SB	Sable propre Bien gradué.
P	Pression appliquée par le pneumatique sur le sol de fondation.
S	Surcharge simulant l'action de la chaussée qui s'oppose au déplacement vertical du sol de fondation lors de l'action du pneu.
I_p	Indice de Plasticité.
IPI	Indice Portant Immédiat, mesure à la teneur en eau de confection de l'éprouvette sans application des surcharges, en pourcentage.
R	Renforcement.
S	Séparation.

PET	Polyester.
PP	Polypropylène.
T	Tissé (y inclus les tissés à bandelettes dont la permittivité est d'au moins 0,05 sec-1) ;
NTA	Composite non-tissé renforcé ;
NTR	Non-tissé aiguilleté.
Géo 1	Géotextile 1(A300)
Géo 2	Géotextile 2 (AS30)
Géo 3	Géotextile 3(AS50)
AB	Argile bouhraoua
SD	Sable de dune
TRS	Technique routière saharienne

Cu : coefficient d'uniformité.

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

Cc : coefficient de courbure.

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

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

SB : sable propre Bien gradué

Sommaire

INTRODUCTION GENERALE :	1
<i>Chapitre I : Généralités sur les matériaux granulaires sable de dune et des argiles</i>	

I.1. Introduction :	4
I.2. Les sables de dunes :	4
I.2.1. Utilisation du sable de dune domaine génie civil :.....	5
I.2.1.1. Utilisation du sable de dunes dans le béton :.....	5
I.2.1.2. Utilisation du sable de dunes dans le domaine routier :.....	5
I.2.1.3. Diverses utilisations :.....	5
I.2.2. Intérêt de sable de dune dans les domaines différents :.....	6
I.2.2.1. Les aspects économiques :.....	6
I.2.2.2. Les aspects techniques :.....	6
I.3. Généralités surLes argiles :	6
I.3.1. Formation des argiles :.....	7
I.3.2. La surface spécifique :.....	7
I.3.3. Les principes groupes des argiles :.....	8
I.3.3.1. Structures de la montmorillonite :.....	8
I.3.3.2. Structures de la kaolinite :.....	9
I.3.3.3. Structure d'illite :.....	9
I.4. Définition de la chaussée :	10
I.4.1. Structure de chaussée :.....	10
I.4.1.1. La couche d'assise :.....	11
I.4.1.2. Couche de surface :.....	11
1-Couche de roulement :.....	12
I.5. ClassificationGTR:	12
I.6. Conclusion :	13

Chapitre II : Introduction aux concepts de renforcement par géotextile et aux travaux ultérieurs

II.1. Introduction :	14
II.2. Que sont les géotextiles ?	14
II.3. Autre définition :	15
II.4. Les caractéristiques des géotextiles :	15
II.4.1. Exigences générales :.....	15
II.4.1.1. Emballage :.....	16
II.4.2. Caractéristiques physiques et mécaniques :.....	16
II.4.2.1. Masse surfacique :.....	16
II.4.2.2. Résistance à la traction :.....	17
II.4.2.3. Ouverture de filtration « FOS » :.....	17
II.4.3. Caractéristiques complémentaires :.....	17
II.4.3.1. Permittivité :.....	17
II.4.3.2. Résistance aux rayons ultraviolets :.....	18
II.5. Les différents types de géotextiles :	18

II.5.1.	Géotextile non tissé :.....	18
II.5.2.	Géotextile tissé :.....	19
II.5.3.	Géotextile tricoté :	19
II.6.	Utilisation des Géotextiles en géotechnique routière :.....	20
II.6.1.	La séparation :.....	20
II.6.2.	La protection :.....	20
II.6.3.	La filtration :	21
II.6.4.	Le drainage :	21
II.6.5.	Le renforcement :.....	22
II.6.6.	Fonction anti-érosion :.....	23
II.7.	Synthèse des travaux d'étude du comportement mécanique de sols renforcés par géotextile :.....	23
II.8.	Conclusions :	26

*Chapitre III : Programme expérimentale des essais physico- chimique des
matériaux Utilisés*

III.1.	Introduction :	27
III.2.	Localisation du site :	28
III.2.1.	Sable de dune :.....	29
III.2.2.	Argile Bouhraoua :	30
III.3.	Essais d'identification des matériaux utilisés :.....	31
III.3.1.	Les essais sur Sable de dune. :.....	32
III.3.1.1.	Analyse chimique :.....	32
III.3.1.2.	Analyse granulométrique : (NF P94-056 et NF P94-057)	33
III.3.1.3.	Limite d'Atterberg :(NF P 94-051)	33
III.3.1.4.	Equivalent de sable : (NFP 18-598)	33
III.3.2.	Les essais sur l'argile de Bouhraoua :	35
III.3.2.1.	Analyse chimique :.....	36
III.3.2.2.	Analyse granulométrique (NF P94 – 056):	36
III.3.2.3.	Essai au Bleu de Méthylène :	37
III.3.2.4.	Teneur en carbonate de calcium de l'argile étudiée :.....	39
III.3.2.5.	LIMITES D'ATTERBERG :(NF P 94-051)	40
III.3.2.5.1	Limite de liquidité WL :	40
III.3.2.5.2	: La limite de plasticité WP :(NF P 94-051).....	41
III.3.2.5.3	Indice de plasticité de la vase Ip:(NF P 94-051)	42
III.3.2.5.4	Résultats d'essais de limites d'atterberg :	42
III.3.2.6.	Caractérisation de l'argile utilisée.....	43
III.4.	Classification du sol selon le GTR :.....	43
III.5.	Recapitulatif des essais d'identification:.....	46
III.6.	Conclusion :	47

*Chapitre IV : Influence des trois géotextiles sur la portance (CBR immédiat /
imbibé) d'un mélange optimal de d'argile Bouhraoua)*

IV.1.	Introduction :	49
IV.2.	Préparation des échantillons pour essai Proctor Modifié :	49
IV.2.1.	Essai Proctor modifié (Norme NF P 94-093) :	49
IV.2.2.	Résultats de l'essai Proctor Modifié :	50
IV.3.	Les types du géotextile utilisé :	51

IV.4. Les caractéristiques physiques et mécaniques du géotextile utilisé :	52
IV.5. Les essais CBR (California Bearing Ratio test) : Norme NF P 94-078	53
IV.5.1. CBR Immédiat :	54
IV.5.1.1. Résultats de l'essai CBR Immédiat du mélange optimal (70 % Sable et de 30 %) d'argile Bouhraoua :	54
IV.5.1.2. Résultats de l'essai CBR Immédiat avec Géotextiles :	54
IV.5.1.2.1 Résultats géo 1(A300) :	55
IV.5.1.2.2 Résultats géo 2(as30) :	56
IV.5.1.2.3 Résultats géo 3(AS 50) :	57
IV.5.2. CBR Imbibé :	58
IV.5.2.1. Résultats de l'essai CBR Imbibé du mélange optimal utilise :	59
IV.5.2.2. Résultats de l'essai CBR Imbibé avec les Géotextiles :	60
IV.5.2.2.1 Résultats CBR Imbibé 04 Heures :	60
IV.5.2.2.2 RÉSULTATS des valeurs de gonflement A 04 heures :	63
IV.5.2.2.3 . Comparaison entre les valeurs de gonflement géo 1 géo 2 et géo 3 (4 heures) :	66
IV.5.2.2.4 : Résultats CBR imbibé 0 4 jours :	67
IV.5.2.2.5 . Résultats des valeurs de gonflement 04 jours :	70
IV.5.2.2.6 : Comparaison entre les valeurs de gonflement géo 1 géo 2 et géo 3 04 jours :	72
IV.6. Caractéristique portance de mélange optimale :	73
IV.7. conclusion :	73
CONCLUSION GENERALE :	75
REFERENCES BIBLIOGRAPHIES	737
ANNEXE	80

LISTE DES FIGURES

Figure I-1:sable de dune	4
Figure I-2:Schéma de la particule de kaolinite.	9
Figure I-3:Schéma de la particule d'illite.	10
Figure I-4:Les différentes couches qui constituent une chaussée.....	11
Figure II-1:Les géotextiles.	15
Figure II-2:Géotextile non tissé.	18
Figure II-3:Géotextile tissé.	19
Figure II-4:Géotextile tricoté.....	20
Figure II-5:Séparation des couches par un géotextile.	20
Figure II-6:Protection du géo membrane par un géotextile.	21
Figure II-7:Filtration des fluides par un géotextile.	21
Figure II-8:Drainage de fluide par un géotextile.	22
Figure II-9:Renforcement par un géo composite.	23
Figure III-1:GoogleEarth de localisation de la carrière étudiée.	31
Figure III-2:courbe granulométrie de sable de dune.	35
FigureIII-3:Courbe granulométrique de l'argile de Bouhraoua.....	37
FigureIII-4:GrapheLimite de liquidité.	41
FigureIII-5:Diagramme de Casa grande.	43
Figure III-6:Classification des sols fins selon GTR.	44
Figure III-7: Graphe Classification des sols fins selon GTR	46
FigureIV-1:Diagramme CBR Immédiat A300.....	55
Figure IV-2:Diagramme CBR Immédiat GE02 (AS30).	56
Figure IV-IV-3: Diagramme CBR Immédiat GE03(AS30)	57
Figure IV-4:Comparaison entre Résultats CBR Immédiat du mélange utilise avec trois types des géotextiles	58
Figure IV-5:Diagramme CBR Imbibé 04 heure géo 1.....	60
FigureIV-6:Diagramme CBR Imbibé 04 heures géo 2.....	61
Figure IV-7: Diagramme CBR Imbibé 04 heures géo 3.....	62
Figure IV-8:Comparaison entreles résultats CBR Imbibé des trois types de géotextiles.....	63

FigureIV-9:comparaison entre les valeurs de gonflement géo 1géo 2 et géo 3...	66
FigureIV-10:Diagramme CBR imbibé a 04 jours GE01.....	67
Figure IV-11:Diagramme CBR imbibé a 04 jours GE02.....	68
Figure IV-12:Diagramme CBR imbibé a 04 jours GE03.....	69
Figure IV-13:Comparaison entre les résultats CBR imbibé du mélange utilise avec trois types de géotextiles.	70
Figure IV-14:comparaisons entre les valeur de gonflement géo 1 et 2 et 3	72

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I-1:La surface spécifique de quelques minéraux argileux	8
Tableau II-1:Caractéristiques physiques et mécaniques des géotextiles de renforcement de La résistance minimale à la rupture est augmentée.	16
Tableau III-1:Essais d'identification	32
Tableau III-2:Analyse chimique du sable de dune étudié.	32
Tableau III-3:tableau recapitaf des essais identificationsdu sable de dune.	34
Tableau III-4:Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique du sable de dune.	35
Tableau III-5:Analyse chimique des argiles étudiées.....	36
Tableau III-6 : résultats de l'essai au bleu à la tâche.	39
Tableau III-7:Valeur de bleu de quelques sols.	39
Tableau III-8:La classification par CaCO3 de quelques sols	40
Tableau III-9:Récapitulation des résultats d'essais de limites d'Atterberg d'argile étudié.....	42
Tableau III-10:Caractérisation d'argile utilisée.....	43
Tableau III-11:Classification GTR (SETRA-LCPC 1980).	45
Tableau III-12:Caractéristique du sable de dune et de l'argile bouharoua	46
Tableau IV-1:Résultats PROCTOR MODIFIE.....	50
Tableau IV-2:Les caractéristiques physiques et mécaniques du géotextile utilisé.	52
Tableau IV-3:CBR Immédiat du mélange utilise	54
Tableau IV-4:Résultats CBR Immédiat du mélange utilise avec géo1	55
Tableau IV-5:Résultats CBR Immédiat du mélange utilise avec géo2	56
Tableau IV-6:Résultats CBR Immédiat du mélange utilise avec géo 3	57
Tableau IV-7 :Résultats CBR Imbibé 4 heure du mélange optimalutilise.	59
Tableau IV-8:Résultats CBR Imbibé 4 heure géo 1.	60
Tableau IV-9:Résultats CBR 04 heures géo 2.....	61
Tableau IV-10:Résultats CBR Imbibé 04 heures géo 3.....	62
Tableau IV-11:Les valeurs de gonflement du melange utilise	63
Tableau IV-12:Les valeurs de gonflement géo 1.....	64

Tableau IV-13:Les valeurs de gonflement géo 2.....	64
Tableau IV-14:Les valeurs de gonflement géo 3.....	65
Tableau IV-15:Résultats CBR Imbibé à4 jours géo 1.....	67
Tableau IV-16:Résultats CBR Imbibé 04 jours géo 2.....	68
Tableau IV-17:Résultats CBR Imbibé 04 joursgéo 3.....	69
Tableau IV-18:Les valeurs de gonflement du melange utilise	70
Tableau IV-19: Les valeurs de gonflement géo 2.....	71
Tableau IV-20:Les valeurs de gonflement géo 3.....	72
Tableau IV-21:Caractéristique portonce de melange optimale	73

LISTE DES PHOTOS

Photo III-1:Sable de dune de Sebseb.....	29
Photo III-2:Massifs du site Bouhraoua.....	29
Photo III-3:Photo Google Earth de localisation de sable dune.....	30
Photo III-4:Machine d'agitation pour Équivalent de sable	33
Photo III-5:Équivalent de sable.....	34
Photo III-6:Détermination de la limite de liquidité.	41
Photo III-7:La limite de plasticité WP.....	42
Photo IV-1: Appareil de Proctor modifié automatique au laboratoire LTPS.	50
PhotoIV-2:Géotextile A300(type non tissé)	51
Photo IV-3 :Géotextile AS30(type non tissé)	52
Photo IV-4:Géotextile 3 AS50 (tisséet tricoté).....	52
Photo IV-5: Essai CBR imbibé	59

Introduction générale

Introduction générale :

L'expérience acquise en technique routière au Sahara a permis d'identifier divers matériaux locaux adaptés à la géotechnique routière, tels que les sables gypseux, les sables calcaires, les sables de dune et les massifs argileux, ainsi que leurs mélanges. Leur valorisation continue de jouer un rôle important dans la construction de routes, en permettant une utilisation rationnelle et durable de ces ressources locales.

Dans le cadre de Notre travail, Nous souhaitons réaliser une identification géotechnique de deux matériaux de la région de Ghardaïa, à savoir le sable de dune et les argiles. La valorisation des matériaux locaux dans la géotechnique est un enjeu important pour mieux comprendre leur comportement dans différentes situations et faciliter leur utilisation par les ingénieurs et techniciens routiers.

Nous soulignons également l'importance de la recherche de procédés de traitement de ces matériaux afin d'améliorer leurs caractéristiques physicomécaniques. En répondant aux exigences techniques des chaussées de routes, il est possible de trouver des solutions appropriées pour surmonter ces défis.

La région de Ghardaïa, située à environ 600 km au sud d'Alger, possède un gisement significatif de sable de dune et de massifs argileux. Notre étude vise à valoriser ces matériaux locaux en explorant leur potentiel pour une utilisation dans la géotechnique routière.

- les échantillons sont préparés à partir d'une matière première de base contenant 70 % de sable et 30 % d'argile, ce qui est considéré comme le mélange optimal. Le sable de dune et l'argile de Bouhraoua sont d'abord mélangés à sec pour former cette matière première de base. Ensuite, trois types de géotextiles sont ajoutés à ce mélange optimal. Les géotextiles utilisés sont les suivants

- **Géotextile 1** : type non tissé **GÉO AS 300** entreprise d'Espagne
- **Géotextile 2** : type non tissé **GÉO AS 30** entreprise d'AFITEX
- **Géotextile 3** : type tissé **GÉO AS 50 (tricoté)** entreprise d'AFITEX

Le problème posé : est-ce que le mélange optimal (70% sable de dune et 30% argile peut remplacer le tuf à la même façon ?

Introduction générale

Est-ce que l'ajout du 3 géotextile a une influence sur l'indice des essais routier (CBR) par rapport le mélange sans géotextiles ?

Quel est le type de géotextile qui donne des meilleurs résultats sur les essais de CBR ?

Les objectifs majeurs de notre travail se résument dans les axes suivants :

Valorisation : Valoriser les tufs d'encroûtements qui sont initialement inadéquats à une utilisation routière pour des chaussées à trafic relativement élevé.

L'objectif étant d'arriver valoriser trois les mélanges optimaux sables de dune –argiles ou marne qui sont initialement inadéquats à une utilisation routière pour des chaussées à des différents trafics routier :

➤ à proposer un matériau traité économiquement compétitif et facile à mettre en œuvre in situ comme géotextile.

Economique :

- Préservation des ressources en matériaux routiers de bonne qualité, Eviter le recours à des transports onéreux et gênants pour le réseau routier local.
- Réduction des épaisseurs des couches de chaussée.
- Réduction du coût global du projet routier.

Notre travail est reparti en quatre chapitres :

- **Chapitre 1** : présente à des rappels sur matériaux locaux de la région de Ghardaïa et généralités sur sable de dune. et leur utilisation dans des différents domaines, puis généralités sur les argiles différents types et de leurs caractéristiques tel que la texture, enfin les revues de la littérature précédente qui couvre différentes caractéristiques hydromécaniques des mélanges optimaux sable de dune –argile en domaine géotechnique routière.
- **Chapitre 2** : Consacré à des rappels sur les définitions au renforcement leurs classifications, intérêts, paramètres d'identification et divers utilisations, puis les revues de la littérature précédente qui couvre différentes caractéristiques hydromécaniques et géotechniques des mélanges optimaux

Introduction générale

sable de dune –argile en domaine géotechnique routière avec utilisation du géotextile.

- **Chapitre 3 :** présente les résultats des essais de caractérisation chimiques, physiques du sable de dune et de l'argile de mélange composé de 70% sable de dune +30 % argile de Bouhraoua
- **Chapitre 4 :** est consacré à l'étude de l'effet de l'ajout les trois types de géotextiles sur un mélange optimal (70% de dunes de sable +30 %d'argile de Bouhraoua), Le but est de choisir le type de géotextile qui représente la meilleure valeur d'indice de CBR selon classification GTR.
- Finalement, Cette étude est clôturée par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus lors de travail et des recommandations concernant les travaux futurs.

Chapitre I :

**Généralités sur les matériaux
granulaires sable de dune et des argiles**

Chapitre I: Généralités sur les matériaux granulaires sable de dune et des argiles

I.1. Introduction :

Dans ce premier chapitre de notre étude nous allons donner une présentation générale sur des sables de dune et leurs utilisations et les argiles.

Ces études serviront à l'analyse de base des facteurs à prendre en compte lors du choix de formulation adéquate qui peut donner les bonnes performances répondant aux sollicitations due soit par le trafic soit par la température.

I.2. Les sables de dunes :

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



Figure I-1:sable de dune (Chenini & Bellahcene, 2021)

I.2.1. Utilisation du sable de dune domaine génie civil :

I.2.1.1. Utilisation du sable de dunes dans le béton :

Le sable de dunes était utilisé depuis longtemps dans l'exécution des travaux de remblayage des fouilles de fondations et les travaux routiers, mais l'utilisation comme constituant principal du béton n'apparaît qu'après la naissance du béton de sable en 1853 par F.COIGNET (Rapport général et conclusion de 23e congrès mondial de la route). Cette naissance a donné le courage de commencer une nouvelle investigation qui a étudié la possibilité d'utiliser le sable de dunes comme un constituant principal dans les structures des ouvrages en génie civil : pour cette raison plusieurs actions de recherches, soit en Algérie ou à l'étranger, ont été engagées et hypothéquées. (Ben ouakhir, 2015)

I.2.1.2. Utilisation du sable de dunes dans le domaine routier :

L'utilisation des sables en techniques routières n'est pas nouvelle. Beaucoup d'études et de réalisations ont été faites et un guide pratique d'utilisation routière des sables a été publié (Chauvin, 1987). Cependant, les sables de dunes constituent un cas particulier pour lequel les directives et recommandations ne peuvent pas être appliquées sans études spécifiques. L'utilisation du sable de dune seul ne peut être envisagée malgré la facilité qu'il présente au profilage, car sa stabilité de surface est souvent incertaine, ce qui augmente la résistance au roulement et provoque parfois des enlacements (Autre, 1989). Mais il pourrait être mélangé avec d'autres matériaux. (BEN DHIA, 1998)

I.2.1.3. Diverses utilisations :

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

Le sable est aussi le milieu naturel où s'accumulent les minéraux lourds alluvionnaires ; ces concentrations minéralisées sableuses sont dénommées placers (un mot espagnol) et l'on extrait de l'or, des diamants, de la cassitérite (minerai d'étain), de la

Chapitre I: Généralités sur les matériaux granulaires sable de dune et des argiles

magnétite (oxyde de fer), de l'ilménite (oxyde de titane et de fer), etc. Les placers d'ilménite, ou «sables noirs», sont importants économiquement pour la fabrication des pigments de la peinture blanche (gisements côtiers en Australie) et comme source du titane métal.

Les sables jouent également un grand rôle comme réservoirs potentiels pour les nappes d'eau (aquifères) ou les hydrocarbures. Il importe que l'exploitation du sable, souvent anarchique, soit réglementée pour éviter de perturber de fragiles équilibres naturels : érosion des plages dont l'alimentation naturelle en sable a été coupée ; destruction à terre de la nappe phréatique, etc. (Ben ouakhir, 2015)

I.2.2. Intérêt de sable de dune dans les domaines différents :

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

I.2.2.1. Les aspects économiques :

Les avantages sont évidents lorsqu'il s'agit d'utiliser du sable de dune, car cela permet des économies substantielles dans le transport des matériaux. De plus, le sable de dune est largement disponible en quantités illimitées. En outre, son extraction ne nécessite pratiquement aucun coût supplémentaire, et son mélange avec d'autres matériaux sur le chantier peut être réalisé facilement.(GUERMITI, 2013)

I.2.2.2. Les aspects techniques :

Le sable peut jouer un rôle dans la densification des matériaux, ce qui entraîne une amélioration de leurs caractéristiques géotechniques en renforçant le frottement interne et en augmentant la portance. De plus, il peut être utilisé pour réduire la plasticité des matériaux de base. (GUERMITI, 2013)

I.3. Généralités sur Les argiles :

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

- 1) **Argiles plastiques** : indurés et très déformables.
- 2) **Argiles raides** : indurées et présentent un comportement plus fragile que de la limite d'élasticité.

Chapitre I: Généralités sur les matériaux granulaires sable de dune et des argiles

L'argile brute contient généralement des particules élémentaires dont le diamètre des grains inférieures à 2 micromètres qui représentent les individus cristallins (phase minérale pure) appelés minéraux argileux responsables de ses propriétés telles que le gonflement, la plasticité et les propriétés d'adsorption. Mais dans les sols, ces particules élémentaires sont généralement liées par des ciments de nature très diverse (carbonates, composés organiques, composés minéraux amorphes ou oxydes et hydroxydes de fer et d'aluminium, feldspaths de quartz) au sein d'agrégats de taille beaucoup plus importante (GUENDOUZ, 2021)

I.3.1. Formation des argiles :

Les sols argileux se forment grâce à un processus progressif d'altération sous l'influence du climat, suivi de phénomènes d'érosion, de transport et de sédimentation. Environ 90 % des minéraux argileux ont une origine détritique, c'est-à-dire qu'ils proviennent de la désagrégation et de la fragmentation de minéraux préexistants.

I.3.2. La surface spécifique :

Les argiles sont largement utilisées comme des adsorbants à cause de leur grande surface spécifique, qui comprend la somme de deux surfaces, l'une externe comprise entre les particules et l'autre interne correspondant à l'espace inter foliaire. Elle est exprimée en m² par gramme d'argile, l'augmentation de la surface Minerai La capacité d'échange cationique (meq/100g) Kaolinite 3-15 Montmorillonite 80-150 Illite 10-40 Vermiculite 100-150 Chlorite 10-40. (Lahreche & Souilem, 2022)

Chapitre I: Généralités sur les matériaux granulaires sable de dune et des argiles

Tableau I-1: La surface spécifique de quelques minéraux argileux (Lahreche & Souilem, 2022)

Minéral	Surface interne (m ² /g)	Surface externe (m ² /g)	Surface totale (m ² /g)
Kaolinite	0	10-30	10-30
Illite	20-55	80-120	100-175
Smectites	600-700	80	700-800
Vermiculit	700	40-70	760
Chlorite	-	100-175	100-175

I.3.3. Les principes groupes des argiles :

Parmi les structures de base de l'argile, l'octaèdre et le tétraèdre, plusieurs familles d'argiles sont définies, notamment l'illite, la kaolinite, la montmorillonite et le chlorite. Dans la suite, nous allons décrire les trois argiles les plus connues.

I.3.3.1. Structures de la montmorillonite :

La montmorillonite, appelée aussi smaltite, est un minéral argileux de type 2:1 dont le feuillet élémentaire est composé d'une couche d'alumine comprise entre deux couches de silice.

Une substitution partielle de l'aluminium Al par le magnésium Mg est fréquente. À l'instar de la kaolinite, les couches peuvent se prolonger indéfiniment dans les deux autres directions. Les forces de Van der Waals, dues principalement au moment électrique qui règne entre les feuillets et qui soudent les sommets de feuillets de silice, sont faibles par rapport aux autres forces de liaison. Cela se traduit par une déficience en charge négative nette dans les feuillets en octaèdre.

Pour cette raison les ions échangeables peuvent pénétrer dans la structure et séparer les couches. La montmorillonite est donc caractérisée par une structure instable qui est affectée par la présence d'eau. Les plaquettes de montmorillonite ont une forme quelconque est de taille très petite, un diamètre moyen entre 0,1 µm et 1 µm et une épaisseur moyenne entre 0,

Chapitre I: Généralités sur les matériaux granulaires sable de dune et des argiles

001 μm et 0,01 μm . La montmorillonite possède une surface spécifique totale entre 700 et 840 m^2/g et un espace inter-feuillets de 9,6 \AA (KHEMISSA)

I.3.3.2. Structures de la kaolinite :

La kaolinite ($\text{Si}_4\text{O}_{10}\text{Al}_2(\text{OH})_4$) Le feuillet élémentaire est composé d'une couche de silice et d'une couche d'alumine. Entre différents feuillets de kaolinite, le contact se fait entre un plan contenant les ions hydroxyles - OH de l'octaèdre, et celui contenant les ions d'oxygène 2^- O du tétraèdre ; dans ce cas, les liaisons inter foliaires résultent de l'effet composé de liaisons hydrogène et de forces de Van der Waal ; ce qui se traduit par un lien assez fort. Ainsi une particule de kaolinite sera constituée, par exemple, de quelques centaines de feuillets et pourra avoir une épaisseur de quelques dizaines de micromètres. Ces particules sont stables et leur structure élémentaire n'est pas affectée par la présence d'eau. (Frédéric, 2001)

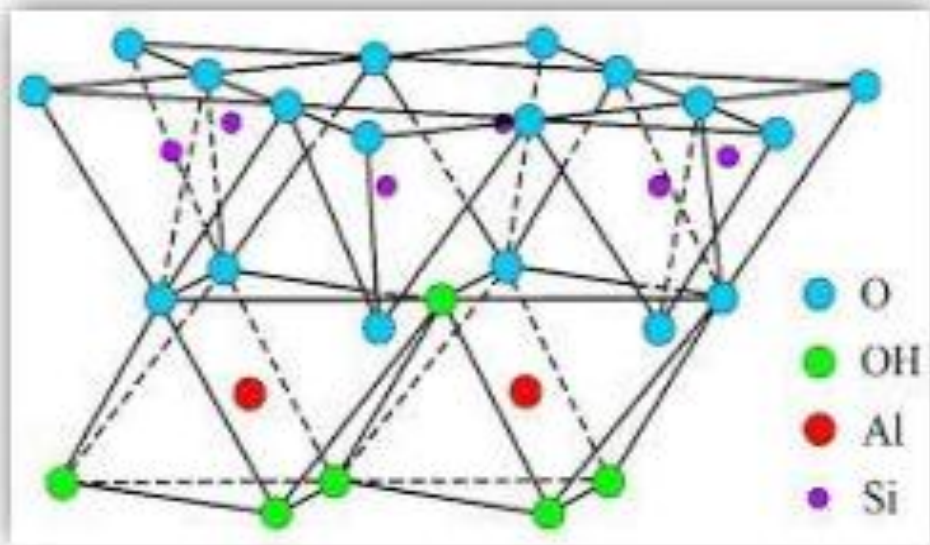


Figure I-2: Schéma de la particule de kaolinite. (Melle Djefal, 2008)

I.3.3.3. Structure d'illite :

Le feuillet élémentaire est composé d'une couche d'alumine entre deux couches de silice (**figure**). Dans les couches de silice, un ion Si^{4+} sur quatre est remplacé par un ion Al^{3+} . Le déficit de charge qui en résulte est compensé par les ions K^+ qui assurent des liaisons assez fortes entre les feuillets. On peut aussi rencontrer dans le feuillet de silice

Chapitre I: Généralités sur les matériaux granulaires sable de dune et des argiles

certaines substitutions isomorphes partielles d' Al^{3+} par Mg^{2+} et Fe^{2+} ainsi que de silicium par l'aluminium. Les particules d'illite sont plates de forme moins régulière que celle des particules de kaolinite. Elles sont diamètre moyen variant entre 0,1 m et 3 m et une épaisseur de l'ordre de 0,01m à 0,3m. L'illite a une surface spécifique totale de l'ordre de 65 à 100 m^2/g . (MEKKI, 2018)

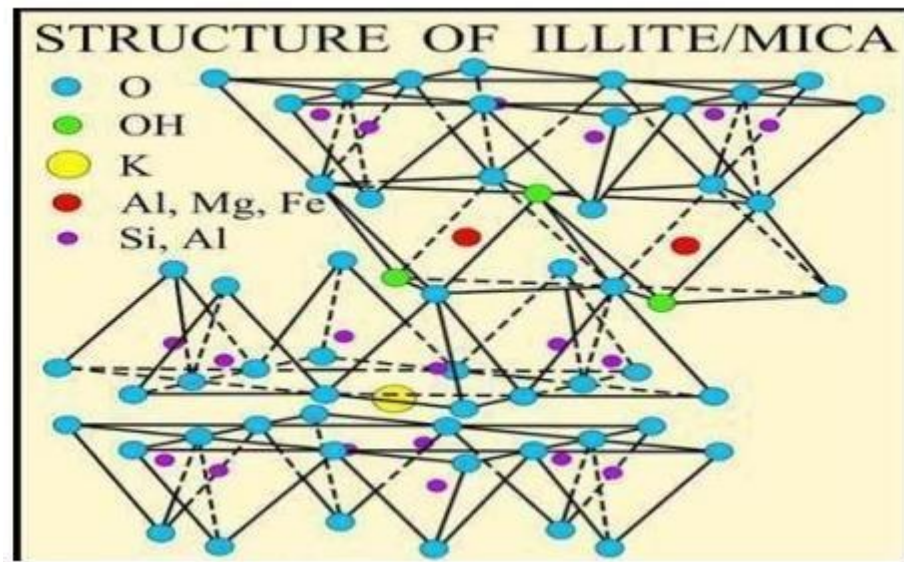


Figure I-3: Schéma de la particule d'illite. (Lahreche & Souilem, 2022)

I.4. Définition de la chaussée :

Une chaussée est une structure composée de trois parties distinctes, chacune ayant un rôle spécifique. Son objectif principal est de supporter les charges mécaniques des véhicules et de les transférer vers le sol de fondation sous-jacent, tout en évitant la survenue de déformations permanentes, tant au niveau du sol que de la chaussée elle-même..(SAIDANE & SOUAYB, 2021)

I.4.1. Structure de chaussée :

Une structure routière est constituée d'un certain nombre d'assises superposées qui ont pour rôle essentielle de supporter les charges de trafic et d'assurer leur diffusion selon des niveaux de contraintes supportables par le sol d'infrastructure. En effet, lorsque la contrainte de chargement transmise à travers une couche de chaussée devient supérieure à la charge admissible que celle-ci peut supporter, il s'amorce un processus de dégradation qui conduit inévitablement à la ruine de la structure.(SAIDANE & SOUAYB, 2021)

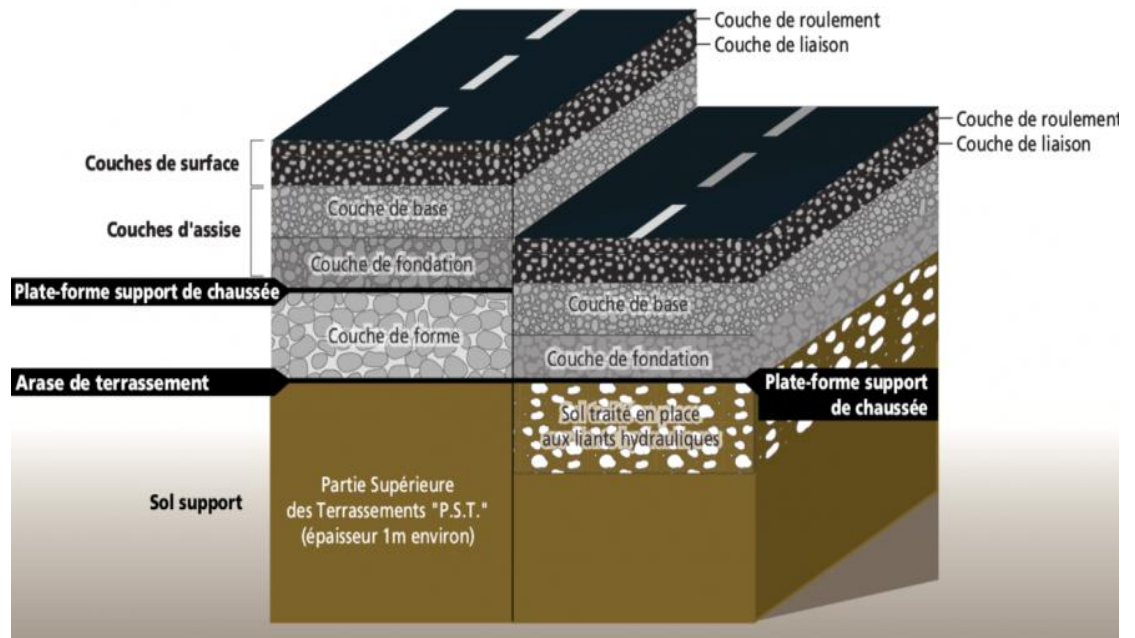


Figure I-4: Les différentes couches qui constituent une chaussée.

I.4.1.1. La couche d'assise :

L'assise de chaussée est généralement constituée de deux couches, la couche de fondation, surmontée de la couche de base. Ces couches en matériaux élaborés, le plus souvent liés (bitume, liants hydrauliques), pour les forts trafics, apportent à la chaussée la résistance mécanique aux charges verticales induites par le trafic. Elles répartissent les pressions sur le support, afin de maintenir les déformations à ce niveau dans les limites admissibles.

- 1) **Couche de fondation** : Constituée de gravier concassé 0 /40, elle permet la répartition des pressions sur le support ainsi que le maintien des déformations.
- 2) **Couche de base** : Composée de gravier 0/25 et bitume, elle supporte l'action des véhicules permettant aussi d'atténuer les pressions élevées avant d'être transmise à la couche de fondation.

I.4.1.2. Couche de surface :

Chapitre I: Généralités sur les matériaux granulaires sable de dune et des argiles

Elle est composée des couches de roulement et d'une couche de liaison et elle est en contact direct avec le pneumatique de véhicule et la charge extérieure.

1-Couche de roulement :

C'est la couche supérieure de la chaussée sur la qu'elle s'exercent directement les agressions conjuguées du trafic et du climat.

2-Couche de liaison : Assurer une transition avec les couches inférieures plus rigides. (SAIDANE & SOUAYB, 2021)

I.5. Classification GTR:

La détermination de la classe géotechnique du sol en place, s'effectue selon la norme NF P 11-300 à partir d'essais de laboratoire pratiqués sur un prélèvement représentatif de

Ce dernier effectué sur site dans des conditions adéquates.

A partir de ce classement défini dans le GTR (Guide Technique Routier), quatre grandes classes géotechniques de sol naturel sont distinguées présentant des Propriétés spécifiques ainsi que des comportements mécaniques et gélifs prévisibles dans le temps :

Classe **A** : les sols fins. Cette classe contient quatre sous classes : **A1, A2, A3, A4**

Classe **B** : les sols sableux et graveleux avec fines. Cette classe contient six sous Classes : **B1, B2, B3, B4, B5, B6** ;

Classe **C** : les sols comportant des fines et des gros éléments. Cette classe contient Deux sous classes : **C1, C2** qui s'associent pour la fraction 0/50 mm aux classes **A1, A2, A3, A4 ou B1, B2, B3, B4, B5, B6** ;

Classe **D** : les sols insensibles à l'eau. Cette classe contient trois sous classes : **D1, D2, D3.**

L'ensemble de ces matériaux se retrouve le plus souvent dans la réalisation d'une

Chapitre I: Généralités sur les matériaux granulaires sable de dune et des argiles

Chaussée neuve ou d'un élargissement, notamment au niveau de la partie supérieure des terrassements (PST). (P, Mars 2017)

I.6. Conclusion :

Ce chapitre nous a permis d'acquérir une compréhension des principaux éléments constitutifs de notre domaine de recherche, en particulier en ce qui concerne les structures et les différents types d'argiles, ainsi qu'une introduction à l'utilisation du sable de dune. De plus, nous avons abordé les différentes couches constituant la chaussée et les différents types de structures de chaussées.

Ces connaissances revêtent une importance capitale pour analyser de manière approfondie notre étude de recherche, notamment en ce qui concerne la partie expérimentale de notre travail.

Il convient de souligner que les mélanges optimaux, tels que le mélange de sable de dune et d'argile, sont utilisés dans divers domaines tels que le béton, la géotechnique, les infrastructures routières, etc. Ces mélanges jouent un rôle crucial dans de nombreux secteurs, offrant des avantages et des utilisations variés.

Chapitre II :

**Introduction aux concepts de renforcement
par géotextile et aux travaux ultérieurs**

Chapitre II : Introduction aux concepts de renforcement par géotextile et aux travaux ultérieurs.

II.1. Introduction :

Dans ce chapitre ont présenté les caractéristiques du géotextile et son l'utilisation des géotextiles synthétique dans le génie civil remonte aux années 1960, avec une utilisation limitée essentiellement alors à un rôle de filtre anti-contaminant.

Parce qu'ils sont faciles à mettre en œuvre et assez peu coûteux, ils ont supplanté des matériaux traditionnels, y compris dans la construction d'ouvrages audacieux. Pour accompagner l'évolution de ces produits « techniques », des essais et méthodes de dimensionnement ont été développés par la profession.

II.2. Que sont les géotextiles ?

Les géotextiles sont définis comme des produits textiles à base de fibres polymères se présentant sous forme de nappes perméables, souples, résistantes et filtrantes, utilisés dans le domaine de la géotechnique et du génie civil. Ce sont en fait des textiles, au sens commun du terme, utilisés au contact du sol.

Actuellement, les géotextiles sont plus utilisés et mieux connus que les géo membranes (Lambert, 1997), employées notamment pour l'étanchéité des ouvrages. On recense plusieurs dizaines de domaines d'utilisation des géotextiles, de la géotechnique routière aux ouvrages hydrauliques en passant par la stabilisation des sols. Dans tous ces ouvrages les géotextiles remplissent l'une au moins des six fonctions élémentaires : la séparation, la filtration, le drainage, le renforcement, la protection, la lutte contre l'érosion. Ces fonctions seront précisées par la suite. Les géotextiles sont classés selon leur structure, c'est-à-dire en fonction du mode de fabrication qui, à partir de fibres de polymères (principalement du polypropylène), a permis d'obtenir un matériau fini. Ces « familles » portent des Noms issus de l'industrie textile. Ainsi, les géotextiles peuvent être des géotextiles tissés produits à partir de fils mono filaments, de fils multi filaments, ou de bandelettes ; des géotextiles non-tissés qui peuvent être aiguillés ou thermo liés, ou bien encore tricotés.

Il existe aussi des produits apparentés aux géotextiles conçus pour assurer l'une au moins des fonctions élémentaires des géotextiles. Parmi ces produits, citons les géo grilles, géo composites, géo cellules, géo naturels (constitués de fibres naturelles) notamment utilisés en renforcement, drainage, protection des berges, et lutte anti-érosion (Lambert, 2000)

Chapitre II : Introduction aux concepts de renforcement par géotextile et aux travaux ultérieurs.

II.3. Autre définition :

Les géotextiles, tissus généralement en matériaux synthétiques sont destinés aux travaux de bâtiment, de génie civil et d'agriculture. Ils sont souvent et improprement appelés Bidim, du nom du leader historique des fabricants de ce produit. (Lambert, 2000)



Figure II-1:Les géotextiles. (Guiraa, 2022)

II.4. Les caractéristiques des géotextiles :

II.4.1. Exigences générales :

Les géotextiles de renforcement sont fabriqués à 100 % de fibres de polyester, de polypropylène, de polyéthylène ou d'autres polymères résistants à l'action des bases, des acides, des hydrocarbures. Ils sont inaltérables par des micro-organismes et résistent à l'hydrolyse, à l'exception des polyamides (nylon) qui sont hydrolysables. Les géotextiles doivent conserver la majeure partie de chacune de leurs propriétés malgré les dommages et les contraintes physiques subis au cours de leur mise en place et de la compaction des matériaux granulaires sus-jacents.

Le tableau 1 présente, entre autres, les types de polymères permis, les propriétés de fabrication et les rôles que doivent jouer les géotextiles de renforcement.(Chenini & Bellahcene, 2021)

Chapitre II : Introduction aux concepts de renforcement par géotextile et aux travaux ultérieurs.

II.4.1.1. Emballage :

Les géotextiles doivent être protégés jusqu'au moment de leur utilisation par un film de polyéthylène opaque de 0,15 mm d'épaisseur minimale ou par une membrane imperméable opaque.

II.4.2. Caractéristiques physiques et mécaniques :

Les caractéristiques physiques et mécaniques des géotextiles de renforcement doivent être conformes aux exigences énumérées au (Tableau II-1).

Tableau II-1:Caractéristiques physiques et mécaniques des géotextiles de renforcement de La résistance minimale à la rupture est augmentée. (Guiraa, 2022)

Type	Principales applications	Rôles (1)	Résistance à la traction (kN/m) (Min)		Ouverture de filtration « FOS » (μ m) (Max)	Type de polymère (2)
			ASTM D4595		CAN/CGS B148.1, no. 10	
			À 5 % de déformation	À la rupture		
II	Renforcement et anticontamination de l'infrastructure de chaussées	R, S	5	11	150	II

II.4.2.1. Masse surfacique :

La masse surfacique est déterminée conformément à la méthode d'essai **CAN/CGSG-148.1 n° 2** « Méthodes d'essais des géo synthétiques. Masse surfacique ». Le coefficient de

Chapitre II : Introduction aux concepts de renforcement par géotextile et aux travaux ultérieurs.

variation de la masse surfacique (CVMS) est déterminé selon un minimum de cinq prises d'essais.

II.4.2.2. Résistance à la traction :

Les résistances minimales à la traction, à 5 % de déformation et à la rupture, doivent respecter les exigences du tableau 1 dans les directions transversale et longitudinale.

Ces caractéristiques sont mesurées selon la norme **ASTM D4595** « Standard Test Méthode for T'ensile Propretés of Géotextiles by the Wide-Width Strippé Méthode ». Des mâchoires à rouleau et un extensomètre doivent être employés. L'utilisation de mâchoires classiques est tolérée ainsi que la mesure du déplacement sans extensomètre, à condition que la rupture du produit soit uniforme sur la largeur de l'éprouvette et que celle-ci ne soit pas observée à proximité des mâchoires.

La résistance minimale à la rupture est augmentée de 5 % si le **CVMS** est compris entre 5 et 10 %, de 10 % si le **CVMS** est compris entre 10 et 15 %, et ainsi de suite. Cependant un géotextile présentant un **CVMS** supérieur à 30 % est refusé pour toute application spécifique.

II.4.2.3. Ouverture de filtration « FOS » :

La dimension des ouvertures du géotextile correspond à la valeur donnée au **Tableau II -1**. L'ouverture de filtration « **FOS** » est déterminée conformément à la norme **CAN/CGSB 148.1 n° 10** « Géotextiles – Détermination du diamètre d'ouverture de filtration ».

II.4.3. Caractéristiques complémentaires :

Les caractéristiques complémentaires aux caractéristiques physiques et mécaniques doivent être conformes aux exigences suivantes :

II.4.3.1. Permittivité :

La permittivité des géotextiles de renforcement est d'au moins 0,05 sec-1. Cette valeur est déterminée conformément à la norme **CAN/CGSB-148.1 n° 4** « Géotextiles – Perméabilité à l'eau dans un sens normal sans charge de compression ».

Chapitre II : Introduction aux concepts de renforcement par géotextile et aux travaux ultérieurs.

II.4.3.2. Résistance aux rayons ultraviolets :

La résistance des géotextiles de renforcement aux rayons ultraviolets est d'au moins 50 % après 500 heures d'exposition. Cette valeur détermine conformément à la norme **ASTM D4355** « Standard Test Method for Deterioration of géotextiles by Exposure to Light, Moisture and Heat in a Xenon Arc Type Apparatus ».

II.5. Les différents types de géotextiles :

II.5.1. Géotextile non tissé :

C'est un géotextile se présentant sous forme d'une feuille manufacturée, constituée d'une voile ou d'une nappe de fibre, orientée selon une direction ou distribuée aléatoirement, et dont la liaison peut être de différents types :

- 1- La liaison mécanique :** est faite par entrelacement des fibres, à partir d'une série d'aiguilles qui s'enfoncent dans la nappe qui défile (non tissé aiguilles).
- 2- La liaison chimique :** est réalisée soit à l'aide de résines soit d'émulsions qui appartiennent à des décomposées proches des caoutchoucs naturels.
- 3- La liaison thermique :** est faite par calandrage (effets conjugués de la chaleur et de la pression) entre deux rouleaux presseurs chauffants. On obtient une fusion partielle des points de contacts des fibres (non tissé thermo soudé). (Mirech, Juin 2013)



Figure II-2:Géotextile non tissé. (GUEFAIFIA & BENRDJEM, 2020)

Chapitre II : Introduction aux concepts de renforcement par géotextile et aux travaux ultérieurs.

II.5.2. Géotextile tissé :

Les tissés sont soit des tissés de fils mono filaments, soit des tissés de fils multi-filaments dont chaque fil est constitué de plusieurs brins élémentaires soit des tissés de bandelettes de films extrudés à base de polyéthylène, ou de polypropylène. Le tissage permet d'obtenir un module de traction élevé, une faible déformabilité et une régularité des pores intéressante sur le plan hydraulique cependant il entraîne une anisotropie en plan. (Mirech, Juin 2013)



Figure II-3:Géotextile tissé. (GUEFAIFIA & BENRDJEM, 2020)

II.5.3. Géotextile tricoté :

C'est un géotextile produit par assemblage de deux nappes de fils parallèles au moyen d'un fil de liaison, de façon à obtenir la répartition géométrique désirée.



Figure II-4:Géotextile tricoté.(Mirech, Juin 2013)

II.6. Utilisation des Géotextiles en géotechnique routière :

II.6.1. La séparation :

Lorsqu'il est utilisé pour assurer une fonction de séparation, le géotextile est positionné entre deux types de sols très différents en termes de granulométrie, l'un étant fin et l'autre plus grossier. Son objectif principal est de préserver l'intégrité et les performances de chaque matériau. Le géotextile empêche ainsi la pénétration des deux milieux tout en permettant la circulation des fluides sans aucune obstruction.(Lambert, 2000)

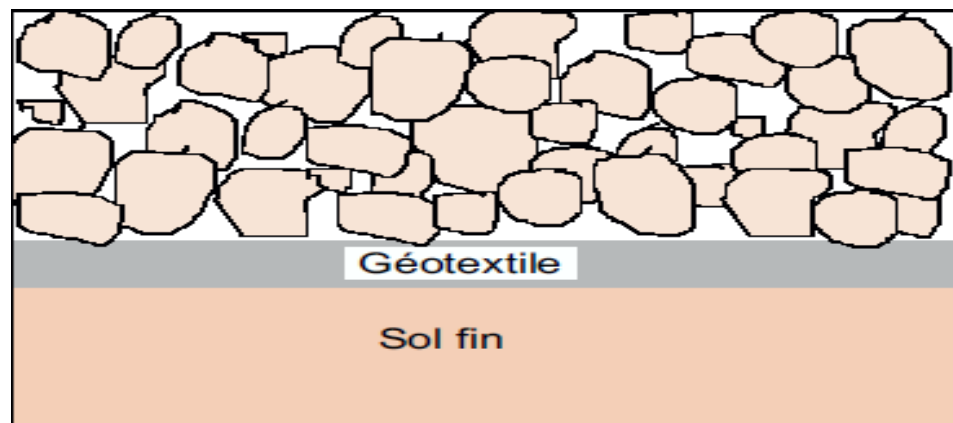


Figure II-5:Séparation des couches par un géotextile. (Mirech, Juin 2013)

II.6.2. La protection :

Le géotextile joue un rôle essentiel en tant que couche de protection, placée entre un élément sensible tel qu'une géo membrane, et des éléments potentiellement perforants tels que des matériaux grossiers. Il est en mesure de prévenir les dommages dus à des impacts dynamiques ou statiques. En agissant comme une barrière intermédiaire, le géotextile assure efficacement sa fonction de protection.. (Lambert, 2000)

Chapitre II : Introduction aux concepts de renforcement par géotextile et aux travaux ultérieurs.

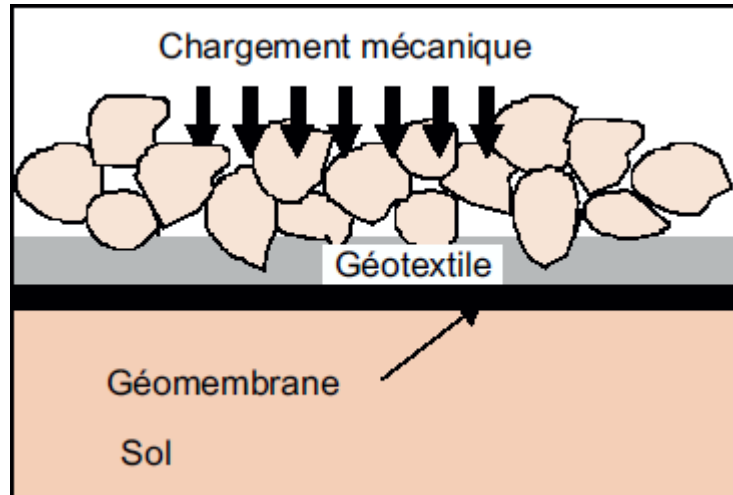


Figure II-6: Protection du géo membrane par un géotextile. (GUEFAIFIA & BENRDJEM, 2020)

II.6.3. La filtration :

Un géotextile jouant un rôle de filtre doit autoriser le passage d'eau perpendiculairement à son plan, mais pas celui des particules de sol. Le géotextile assurant cette fonction doit être plus perméable que le sol à filtrer. Ainsi, la filtration est un compromis entre l'érosion interne du sol par perte de fines particules et le colmatage du filtre qui peut causer une augmentation de pression interstitielle dommageable à l'ouvrage.

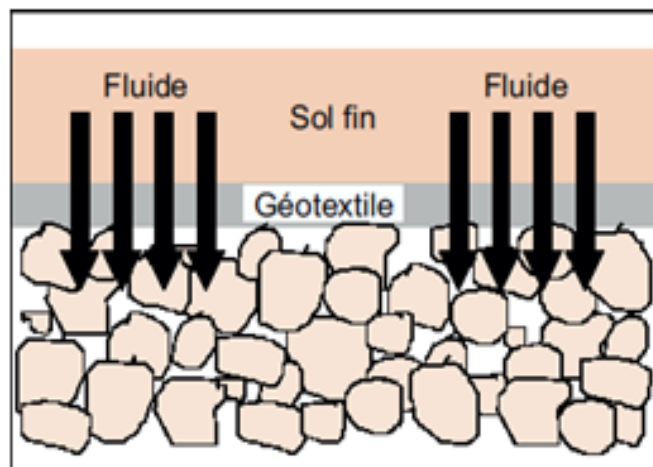


Figure II-7: Filtration des fluides par un géotextile. (GUEFAIFIA & BENRDJEM, 2020)

II.6.4. Le drainage :

Chapitre II : Introduction aux concepts de renforcement par géotextile et aux travaux ultérieurs.

Lorsqu'il est utilisé en tant que drain, un géo synthétique permet un écoulement dans son plan de pose. On assimile dans ce cas le géo synthétique à un drain capable de dissiper les pressions interstitielles, de collecter et de conduire les fluides vers un exutoire. Cette fonction suppose aussi l'existence d'un filtre, géotextile ou autre, limitant l'entraînement de particules de sol. Comme les géotextiles se présentent sous forme de nappes, la surface de contact avec les sols à drainer est grande et donc leur possibilité de captage d'eau est importante (Lambert, 2000)

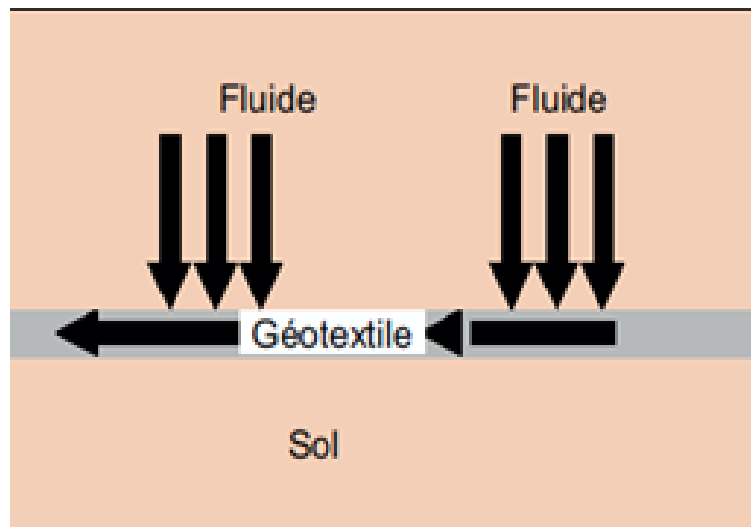


Figure II-8: Drainage de fluide par un géotextile. (Mirech, Juin 2013)

II.6.5. Le renforcement :

Lorsqu'il est utilisé pour le renforcement, le géotextile améliore la résistance mécanique d'un massif de sol dans lequel il est intégré. Il renforce à la fois la résistance à la traction du massif et sa capacité à se déformer avant de se rompre. Le renforcement peut également être nécessaire pour gérer les contraintes exercées sur un autre élément ou une interface fragile. Cela se produit, par exemple, lorsqu'une pente recouverte d'une géo membrane est recouverte d'une couche de sol ; il peut y avoir un risque de rupture de la géo membrane par traction ou de glissement de la couche de sol. Dans de tels cas, l'utilisation d'un géotextile entre la géo membrane et le sol permet de gérer ces contraintes..

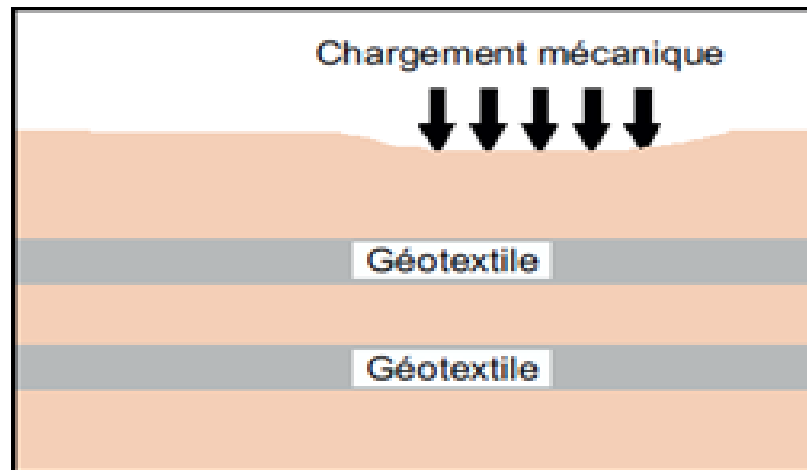


Figure II-9: Renforcement par un géo composite. (GUEFAIFIA & BENRDJEM, 2020)

II.6.6. Fonction anti-érosion :

Dans ce cas, le géotextile joue un rôle important en limitant les mouvements de particules de sol en surface, qui sont généralement causés par l'action de l'eau ou du vent. Différentes techniques sont utilisées pour lutter contre l'érosion des sols. Un géotextile relativement ouvert peut être utilisé pour maintenir une couche de sol en place sur une pente (une couche superficielle d'épaisseur variable), tandis qu'un géotextile plus dense agira comme un matelas de protection pour prévenir l'érosion.. (Lambert, 2000)

II.7. Synthèse des travaux d'étude du comportement mécanique de sols renforcés par géotextile :

Cette synthèse présente les travaux d'étude sur le comportement mécanique des sols renforcés par des géotextiles. Depuis les années 1970, de nombreuses recherches ont été menées, notamment des essais triaxiaux, de cisaillement direct et de déformation plane sur des sols renforcés. Voici un aperçu des principales conclusions des études citées :

Brows (1977) a montré que l'ajout de géotextiles réduisait la contrainte latérale des sables renforcés lors d'essais triaxiaux, et la résistance au pic augmentait avec la proximité des disques de géotextiles.

Gray et Al-Refeai (1986) ont réalisé des essais triaxiaux sur des sables renforcés par cinq types de géotextiles différents. Ils ont constaté que le renforcement augmentait la

Chapitre II : Introduction aux concepts de renforcement par géotextile et aux travaux ultérieurs.

résistance au pic, la contrainte axiale à la rupture, mais réduisait la résistance résiduelle. Pour de faibles déformations, le renforcement entraînait une perte de rigidité à la compression.

Athanasopoulos (1993) a étudié l'effet de la taille des particules sur le comportement mécanique des sables renforcés par des géotextiles. Il a constaté que le comportement dilatant dépendait du rapport d'ouverture du géotextile par rapport à la taille des particules. Les sables fins montraient une augmentation de la dilatance, tandis que les sables grossiers montraient l'effet inverse.

Krishna Swamy et Isaac (1995) ont mené des essais triaxiaux cycliques sur des sables de différentes tailles renforcés par des géotextiles tissés et non-tissés. Ils ont observé une grande résistance à la liquéfaction pour les échantillons de plus grande taille.

Haeri et al. (2000) ont réalisé 160 essais triaxiaux pour étudier l'influence de plusieurs paramètres, y compris la contrainte de confinement, le type de géotextiles, la taille des échantillons, le nombre de couches de géotextiles et l'arrangement des géotextiles. L'ajout de géotextiles a augmenté la résistance au pic et la déformation axiale à la rupture, réduisant la résistance résiduelle. La rigidité des sables renforcés a été affectée par les caractéristiques des géotextiles.

Rajagopal et al. (1999) ont étudié l'influence du confinement des géocellules sur le comportement mécanique des sables. Le renforcement des sables par les géocellules a augmenté la cohésion apparente, principalement au centre des échantillons renforcés.

Madhavi et al. (2007) ont analysé l'impact des types de géosynthétiques sur le comportement mécanique des sols granulaires. Le confinement par des parois rigides a amélioré la résistance du complexe sol-géotextile, en fonction du nombre et de la rigidité à la traction des géotextiles.

En résumé, ces études montrent que l'ajout de géotextiles améliore la résistance des sols, mais son impact peut varier en fonction de nombreux facteurs, notamment la taille des particules, le type de géotextiles et les conditions de confinement. (BOURABAH Maghnia Asmahane, 2012)

Étude menée par BOURABAH Maghnia Asmahane en 2012 a examiné l'impact de l'utilisation de géotextiles comme alternative au recours aux liants pour renforcer le sédiment

Chapitre II : Introduction aux concepts de renforcement par géotextile et aux travaux ultérieurs.

dragué. En préalablement améliorant la granulométrie du sédiment par l'ajout de matériaux granulaires, cette méthode a démontré une amélioration notable des caractéristiques mécaniques, en particulier en ce qui concerne l'angle de frottement.

En 2018, Zahi a examiné trois mélanges optimaux constitués de sable de dune, de sable et d'argile pour la région de Ghardaïa. L'étude incluait l'ajout de géotextile spécifiquement destiné aux essais routiers, tels que le CBR (California Bearing Ratio) et les essais de compression simple, sur les trois mélanges optimaux composés de 30% d'argile et de 70% de sable de dunes.

Les essais mécaniques routiers ont été effectués initialement sur les trois mélanges optimaux, puis avec l'introduction de deux types de géotextiles. Le Géotextile 1 de type non tissé GÉO A 300 provenant d'une entreprise espagnole, et le Géotextile 2 de type non tissé GÉO AS30 provenant de l'entreprise AFITEX ont été utilisés.

Deux types d'essais CBR ont été réalisés, à savoir le CBR immédiat et le CBR imbibé (à 4 heures et à 4 jours). Les résultats obtenus ont montré une similitude avec ceux découverts dans l'étude d'Azzouz en 2017..

Guiraa . A et Ziane y (2022) ont employé trois types de matériaux, à savoir le ciment (type CPJ 42,5), le géotextile, et le géotextile-ciment (02, 04, 06%). Ces matériaux ont été examinés pour évaluer leur impact sur les caractéristiques de deux mélanges optimaux constitués de 70% de sable de dune et 30% d'argile provenant de différentes sources telles que Bouhraoua, d'Oued Nechou, et le sable de dune de Sebseb dans la région de Ghardaïa.

Les deux types de géotextiles comprennent le Géotextile 1 de type non tissé GÉO A 300 de l'entreprise espagnole et le Géotextile 2 de type non tissé GÉO AS30 de l'entreprise AFITEX. Deux essais de CBR ont été réalisés : le CBR immédiat et le CBR imbibé (à 4 heures et à 4 jours).

Les résultats obtenus concordent avec ceux découverts dans les études antérieures d'Azzouz en 2016 et de Zahi en 2018 pour les trois mélanges optimaux, en introduisant le géotextile pour des essais routiers tels que le CBR (California Bearing Ratio) et les essais de compression simple.

Chapitre II : Introduction aux concepts de renforcement par géotextile et aux travaux ultérieurs.

II.8. Conclusions :

L'Industrie des géosynthétiques est relativement récente, se démarquant du vaste savoir-faire accumulé dans le génie civil sur des millénaires. Cependant, au cours des dernières décennies, cette industrie a connu une croissance significative et commence à affiner sa structure.

Malgré la diversité des techniques de renforcement des sols, il existe des similitudes tant dans le comportement local entre le sol et l'élément de renforcement que dans le comportement global de la structure. Les efforts de référencement et de normalisation entrepris par les professionnels jouent un rôle essentiel en fournissant une base cohérente pour la conception d'ouvrages de génie civil et de géotechnique.

Les normes, qu'elles soient établies par les experts de la géotechnique, les guides de sélection des produits, ou les études d'homologation, visent à adapter de manière optimale les produits aux besoins de plus en plus variés et exigeants des utilisateurs.

Il est essentiel de continuer à encourager l'expérimentation et l'innovation, car elles ouvrent la voie à de nouvelles solutions répondant de manière plus efficace aux exigences diverses des acteurs de ce domaine en constante évolution.

Chapitre III :

**Programme expérimentale des essais
physico- chimique des matériaux**

Utilisés

III.1.Introduction :

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

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

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

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

Zone d'Eude

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

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

-Latitude 30° 37' Nord.

-Longitude 3° 45' Est

-Altitude 480 m

La wilaya de Ghardaïa est limitée :

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200Km)
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300Km)
- A l'Est par la Wilaya d'Ouargla (200 Km)

Chapitre III: Programme expérimentale des essais physico- chimique des matériaux Utilisés

- Au Sud par la Wilaya de Ménea (270Km)
- A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh (350Km) (Chikhi, 2023).

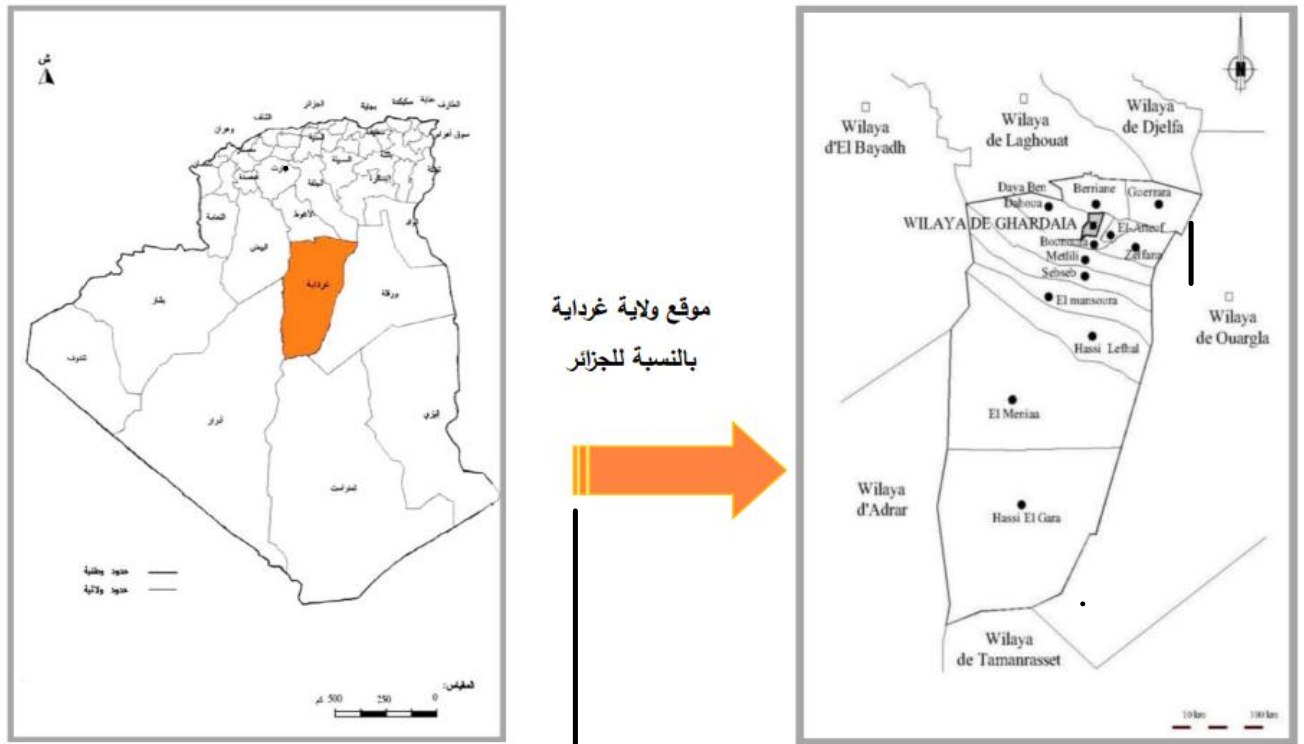


Figure 01 : Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa (Chikhi, 2023).

III.2. Localisation des sites de prélèvement des matériaux :

Le sable de dune

les échantillons ont été prélevés à une profondeur entre 1,00 et 1,50m. (Photo III-1)



Photo III-1:Sable de dune de Sebseb.



Photo III-2:Massifs du site Bouhraoua.

III.2.1. Sable de dune :

Le sable utilise est un sable de dune provient de Sebseb (65 km au Sud -est de la wilaya de Ghardaïa) (**Voir Photo III.1**)



Photo III-3:Photo Google Earth de localisation de sable dune.

III.2.2. Argile Bouhraoua :

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



Figure III-1:Google Earth de localisation de la carrière étudiée.

III.3.Programme des essais :

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

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

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

Chapitre III: Programme expérimentale des essais physico- chimique des matériaux Utilisés

.Le tableau suivant présente la nature des essais effectués.

Tableau III-1: Programmes des Essais pour l'Identification des Matériaux Utilisés
(AZZOUZ 2016)

Argile	Sable
<ul style="list-style-type: none"> • Analyse chimique • Analyse granulométrique. • Limites d'atteberg. • Teneur en CaCO_3. • Essai au bleu de méthylène. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analyse chimique • Analyse granulométrique. • Équivalent de sable • Essai au bleu de méthylène

III.3.1. Les essais sur Sable de dune. :

III.3.1.1. Analyse chimique :

Les mêmes analyses effectuées sur les argiles, ont été appliquées aux sables, et les résultats sont illustrés dans le **Tableau III-2**

Tableau III-2: Analyse chimique du sable de dune étudié. (AZZOUZ 2016)

Caractéristique	Symboles	Unité	Sable de dune
Résidu insoluble	$\text{SiO}_2 + \text{Silice}$	%	88.91
Sulfates	SO_3	%	3.09
Chlorures	Cl^-	%	0.023
Carbonate de Calcium	CaCO_3	%	03
Matières organiques	MO	%	-----

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

III.3.1.2. Analyse granulométrique : (NF P94-056 et NF P94-057)

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

III.3.1.3. Limite d'Atterberg :(NF P 94-051)

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

III.3.1.4. Equivalent de sable : (NFP 18-598)

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

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



Photo III-4:Machine d'agitation pour Équivalent de sable

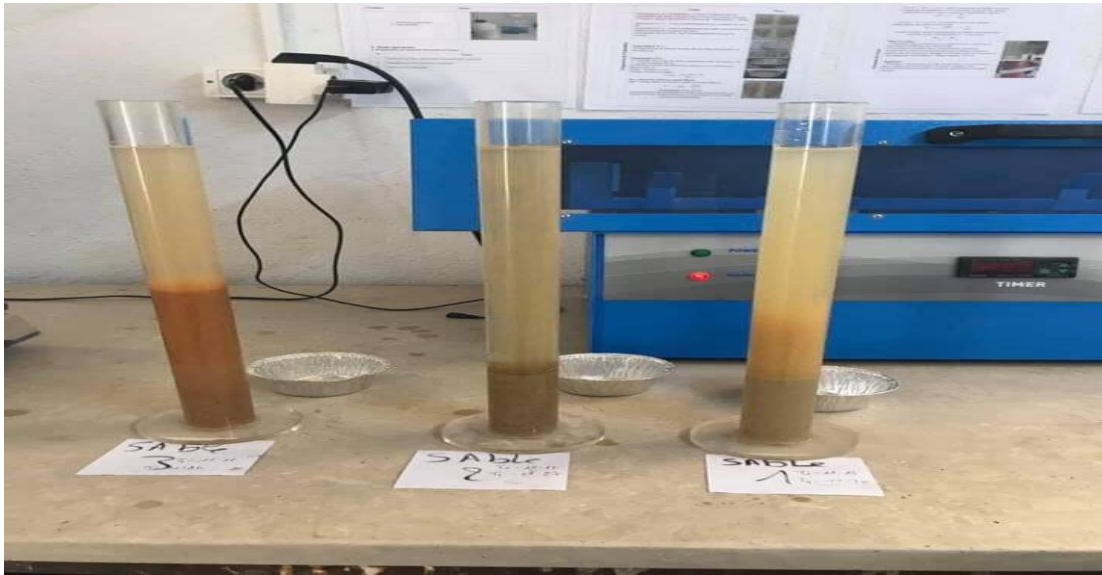


Photo III-5:Équivalent de sable.

Tableau III-3:tableau recapitaf des essais identificationsdu sable de dune. (AZZOUZ 2016)

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

Chapitre III: Programme expérimentale des essais physico- chimique des matériaux Utilisés

La courbe granulométrique du sable utilisé est représenté sur la **figure III-2** Cette granulométrie est uniforme caractérisée par un coefficient d'uniformité, inférieur à 2, un diamètre moyen $D_{50} = 0,6$ mm.

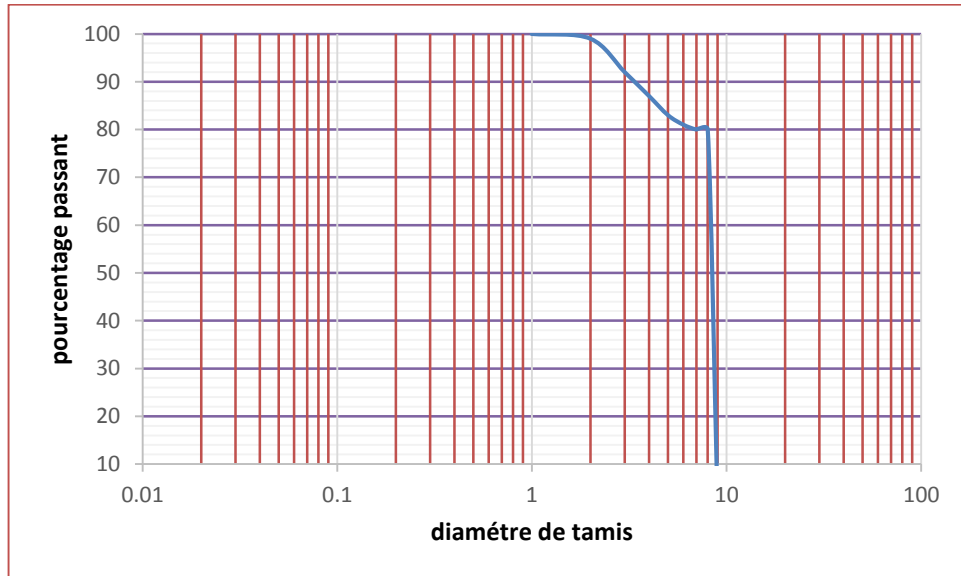


Figure III-2: courbe granulométrique de sable de dune.

Tableau III-4: Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique du sable de dune.

(AZZOUZ 2016)

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

III.3.2. Les essais sur l'argile de Bouhraoua :

III.3.2.1. Analyse chimique :

Les résultats de l'analyse chimique de l'argile étudié est résumé dans le tableau suivant :

Tableau III-5:Analyse chimique de l' argile étudiée (AZZOUZ 2016)

	Symboles	Unité	Bouhraoua
Résidu insoluble	SiO ₂ +Silice	%	30,494
Sulfates	SO ₃ ²⁻	%	5,28
Chlorates	Cl -	%	----
Carbonate de Calcium	CaCO ₃	%	09
Matières organiques	MO	%	----

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

III.3.2.2. Analyse granulométrique (NF P94 – 056):

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

Les résultats sont présentés graphiquement sur des courbes dites « courbes granulométriques », de ces courbes nous pouvons tirer certains paramètres et par la suite classer le sol. (Voir la **Figure III-3**) :

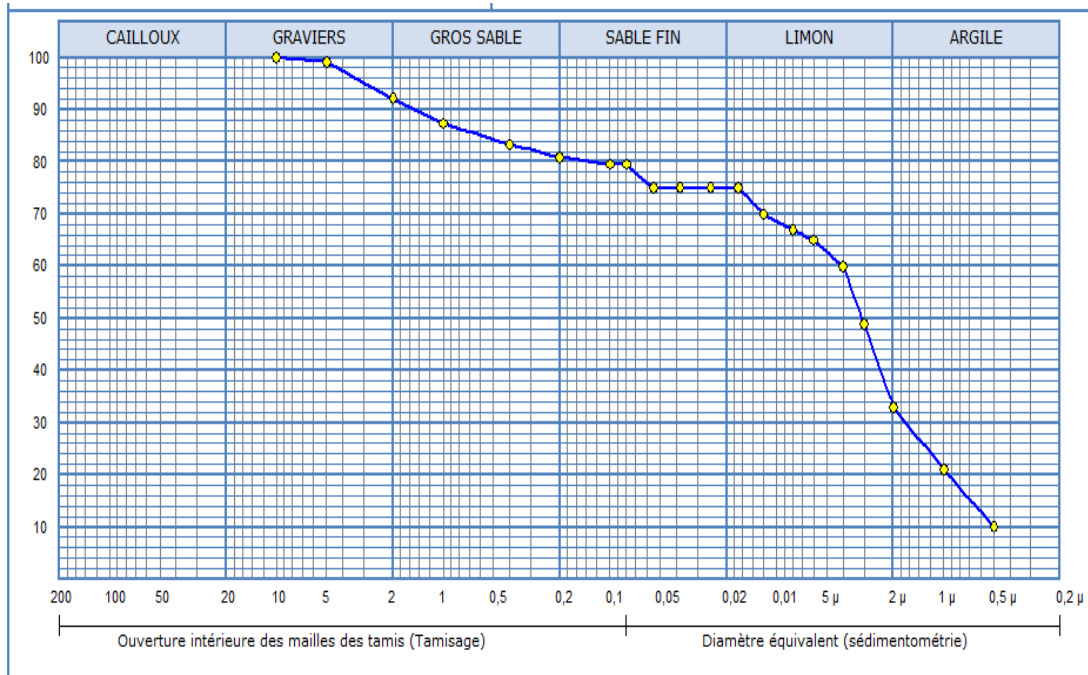


Figure III-3: Courbe granulométrique de l'argile de Bouhraoua

La distribution granulométrique pour l'argile obtenue nous montre que : pour Bouhraoua

- 1) Une présence de particule gravier est de (8%),
- 2) La particule sableuse (gros et fin) est de (17%),
- 3) Le pourcentage de particules limoneuses est de (42%)
- 4) Le pourcentage de particule argileuse est de (33%)

Selon la distribution granulométrique, on peut dire que la courbe présente d'un sol à prédominance limono- argileux.

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

III.3.2.3. Essai au Bleu de Méthylène :

Cet essai permet de mesurer la capacité des éléments fins du sol à adsorber du bleu de méthylène, cette capacité d'adsorption rend compte globalement de l'activité de surface des argiles (c à d de leur surfaces spécifiques) qu'il contient d'avantage d'argile. (**Voir Photo III-6**), celle –ci traduit le début d'excès de bleu dans la suspension et donc la saturation de la particule argileuse du sol.

Chapitre III: Programme expérimentale des essais physico- chimique des matériaux Utilisés

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

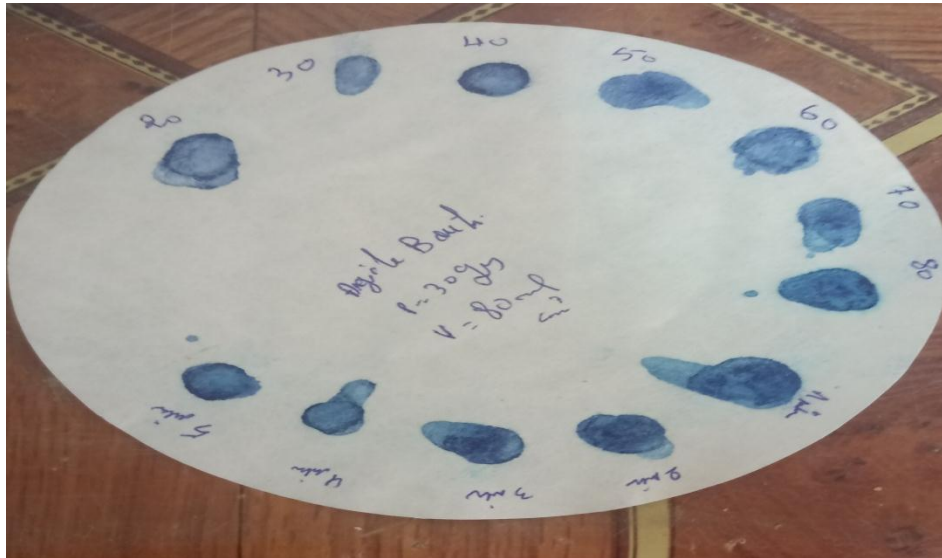


Photo III-6:Essai au Bleu de Méthylène

De cet essai, nous pouvons tirer :

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

V : étant le volume final de solution injectée en cm³

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

La surface spécifique totale :

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

Où

SST : surface spécifique (m²/g)

V_{cc} : volume de solution utilisé (cm³)

Ps : poids de matériaux sec (g)

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

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

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

Avec :

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

Les résultats obtenus sont repris dans le tableau :

Tableau III-6 : Résultats de l'essai au bleu à la tâche.

Paramètre	Bouhraoua
Valeur de bleu « VB » (%)	2.75
Surface spécifique totale (m2/g)	57.48

Tableau III-7: Valeur de bleu de quelques sols. (Guiraa, 2022)

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

D'après ce tableau au-dessus, notre l'argile classe comme un sol limoneux et sol argileux.

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

III.3.2.4. Teneur en carbonate de calcium del'argileétudie :

Chapitre III: Programme expérimentale des essais physico- chimique des matériaux Utilisés

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

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

Tableau III-8:La classification par CaCO3 de quelques sols (Azzouz 2016).

CaCO3(%)	Dénomination
0-10	Argile ou limon.
10-30	Argile calcaire.
30-70	Marne.
70-90	Calcaire argileuse.
90-100	Calcaire.

D'après ce tableau au-dessus, notre l'argile classe comme des Argile ou limon (9%)

III.3.2.5. LIMITES D'ATTERBERG :(NF P 94-051)

III.3.2.5.1 LIMITE DE LIQUIDITE WL :

Est calculée à partir de l'équation de la droite moyenne ajustée sur les couples de valeurs expérimentales (N, W). WL : est obtenue pour une valeur N égale à 25 coups exprimée en pourcentage (%). $WL = W (N/25)^{0,121}$ voir **Figure III-4**

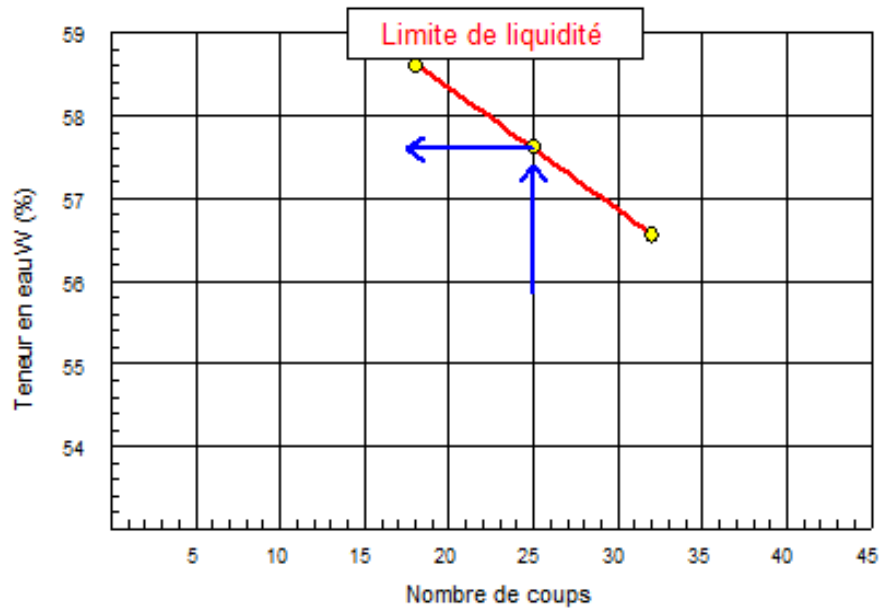


Figure III-4:Graphe Limite de liquidité.



Photo III-6:Détermination de la limite de liquidité.

III.3.2.5.2: LA LIMITE DE PLASTICITE WP :(NF P 94-051)

Est la moyenne arithmétique des teneurs en eau obtenus à partir de ces

Chapitre III: Programme expérimentale des essais physico- chimique des matériaux Utilisés

essais exprimée en pourcentage (%)(Voir photo III-7).



Photo III-7:La limite de plasticité WP.

III.3.2.5.3INDICE DE PLASTICITE DE LA VASE IP:(NF P 94-051)

L'indice de plasticité, noté I_p , est le paramètre le plus couramment utilisé pour caractériser l'argilo site des sols, Il s'exprime par la relation :

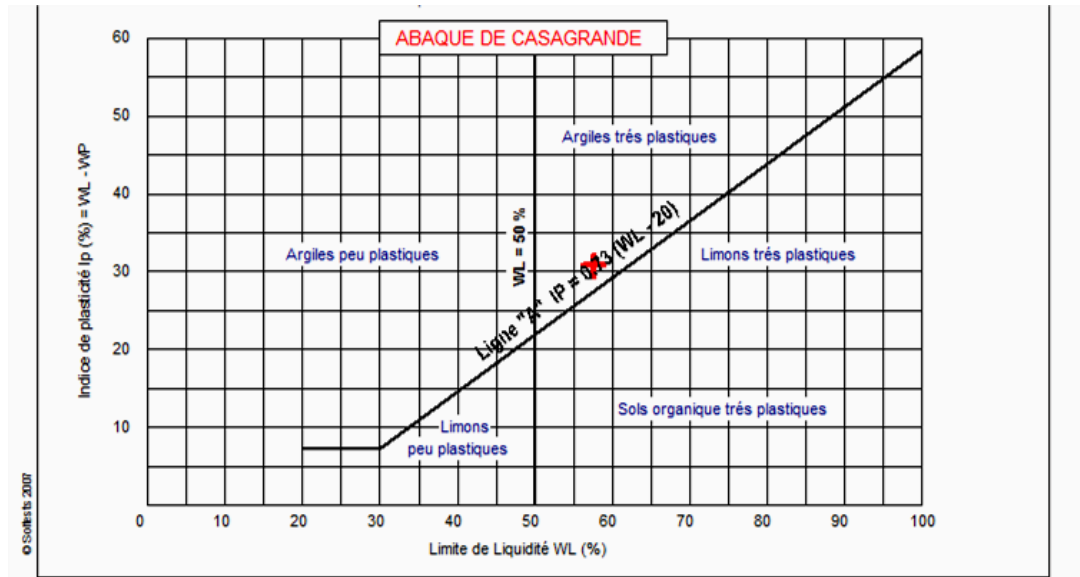
$$I_p = W_L - W_p$$

Il mesure l'étendue du domaine de plasticité, domaine pendant lequel on peut travailler le sol. Il a une grande importance dans tous les problèmes de géotechnique routière ; Il est préférable qu'il soit le plus grand possible.

III.3.2.5.4Résultats d'essais de limites d'atterberg :

Tableau III-9:Récapitulation des résultats d'essais de limites d'Atterberg d'argile étudié.

Limites D'Atterberg	Valeur(%)
	Argile de Bouhraoua
Limite de liquidité	57.60
Limite de plasticité	26.83
Indice de plasticité	30.77



FigureIII-5:Diagramme de Casa grande.

Selon le Diagramme de Casa grande le sol de Bouhraoua sont classe comme **Argileux très plastique**. Également, nous obtenons des résultats identiques à ceux que vous avez découverts dans l'étude d'Azzouz en 2016.

III.3.2.6. Caractérisation de l'argile utilisée

Tableau III-10:Caractérisation d'argile utilisée.

Paramètre des argiles	Argile de Bouhraoua
<i>WL</i>	57.60
<i>WP</i>	26.83
<i>Ip</i>	30.77
<i>AC</i>	
<i>Vb</i>	2.75
<i>Teneur en carbonate de calcium</i>	09

III.4. Classification du sol selon le GTR :

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

Le **GTR 92** (Guide des Terrassements Routiers, Réalisation des remblais et des couches de forme, **LCPC, SETRA**, 1992) et la norme quine découle **NF- P 11-300**(septembre 1992)

Chapitre III: Programme expérimentale des essais physico- chimique des matériaux Utilisés

proposent une classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.

Le premier critère d'identification des sols est la granulométrie. En effet, pour des raisons techniques telles que le malaxage, un seuil à 50 mm a été établi. Il permet de distinguer : les sols constitués de particules de diamètre inférieur ou égal à 50 mm ; il s'agit des sols de type A, B, D. Ces sols correspondent aux sols fins ; les sols constitués de particules de diamètre supérieur à 50 mm qui correspondent aux sols C, D.

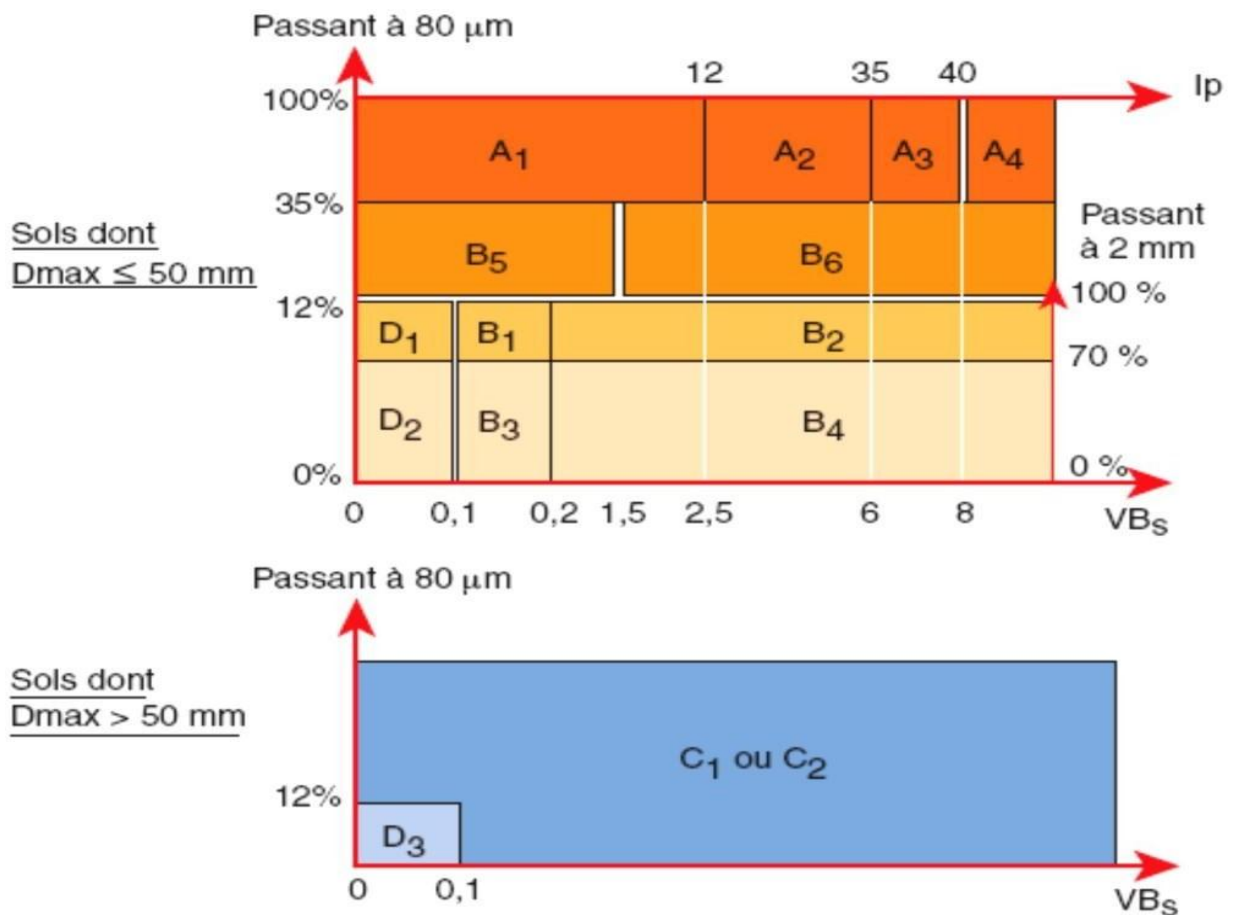


Figure III-6: Classification des sols fins selon GTR (Guiraa, 2022)

Tableau III-11:Classification GTR (SETRA-LCPC 1980).

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

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

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

Classification du sol étudiés de Ghardaïa selon classification GTR (cas des sols fins) :

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

- **Argile Bouhraoua**

$D_{max} < 50mm$;

Passant à 80µm =35% ;

Ip >12% ;

Donc selon ces valeurs des caractéristiques géotechniques la classification de notre matériau est **A3** sachant que la classe **A3** est « Sols fins » (**Figure III-7**).

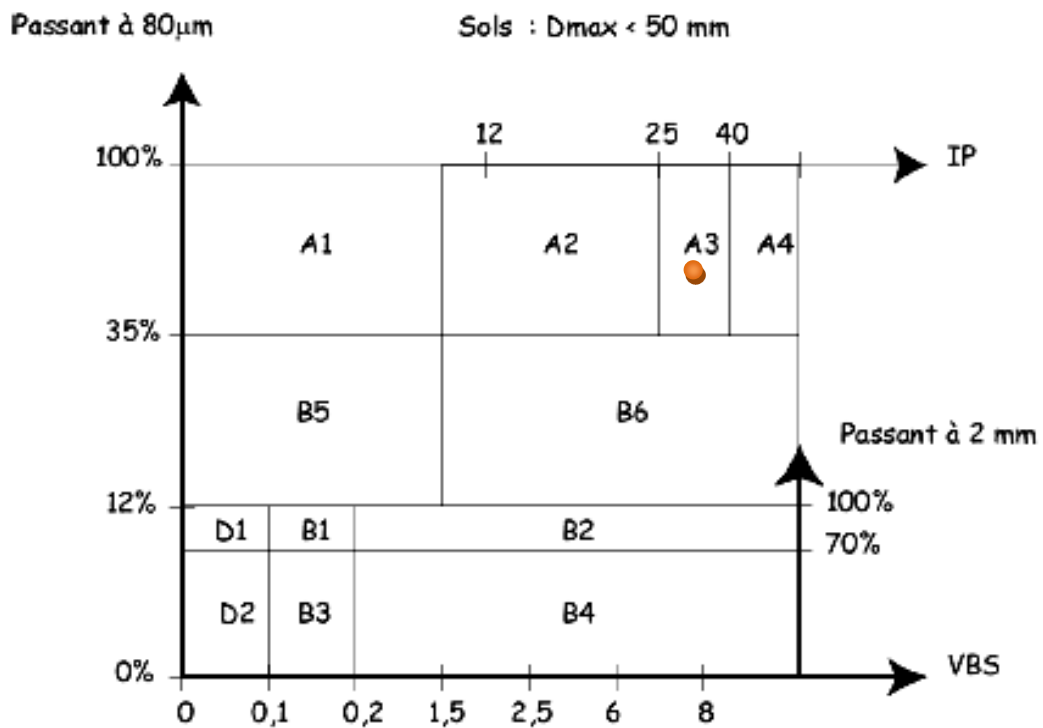


Figure III-7: Graphe Classification des sols fins selon GTR pour l'argile

De bouhraoua

III.5.Recapitulatif des eassis d'identification:

Tableau III-12:Caractéristique du sable de dune et de l'argile bouharoua

Matériaux		Spécifications		Remarques *
Argile bouharoua	Sable de dune Sebseb	TRS	GTR	

Chapitre III: Programme expérimentale des essais physico- chimique des matériaux Utilisés

<i>Analyse granulométrique</i>			-	< 50		OK
Dmax (mm)						
% < 0,425 mm			-		NO	
% < 80 µm			< 30	<35		
Cu		1.5	-			
Cc		1.04	-			
			-			
<i>Les limites d'Atterberg</i>						
LI (%)	57.6		-		-	
PI (%)	26.83		-		-	
Ip (%)	30.77		<13	<12	NO	
<i>Equivalent de sable</i>						
Es (%)		76	-			-
<i>Valeur de bleu VB</i>	2.75	0.84	-	< 1,5		NO
<i>Analyse Chimique</i>						
Insolubles (%)	65.5	88.91				
CaCO3(%)	9	3			NO	

III.6. Conclusion :

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

Chapitre III: Programme expérimentale des essais physico- chimique des matériaux Utilisés

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

Chapitre IV :

**Influence des trois géotextiles sur la portance
(CBR immédiat / imbibé) d'un mélange optimal
de d'argile Bouhraoua**

IV.1. Introduction :

Ce chapitre présente l'ensemble des résultats de l'essai réalisé sur le mélange optimal étudié et leur interprétation,

L'étude consiste en une caractérisation mécanique des interactions sol-géotextile. Il est organisé sous forme de deux parties :

Et à la base un mélange optimal qui trouve par (AZZOUZ 2016) Selon les travaux de doctorats, ce mélange optimal compose de 70% sable de dune et 30% argile de Bouhraoua de la wilaya de Ghardaïa.

La deuxième partie concernant des essais CBR avec un mélange optimal de **(70 % Sable et de 30 % d'argile Bouhraoua)** avec trois types de géotextiles :

On réalise des essais deux types CBR :

- **CBR immédiat**
- **CBR imbibé (à 04 heures et à 04 Jours)**

Les trois types de géotextiles sont :

- ✓ **Géotextile 1** : type non tissé GÉO A 300 entreprise de l'Espagne
- ✓ **Géotextile 2** : type non tissé GÉO AS30 entreprise de AFITEX
- ✓ **Géotextile 3** : GÉO 3 (type tissé type tricote entreprise de AFITEX)

IV.2. Préparation des échantillons pour essai Proctor Modifier :

La préparation des échantillons est faite pour la détermination concomitante des caractéristiques de compactage et l'indice CBR immédiat / imbibé (ξ_h) et imbibé ($\xi_j/72h$)

L'échantillon de sable et les argiles sont desséchés 5.5 Kg, 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.

IV.2.1. Essai Proctor modifié (Norme NF P 94-093) :

Il est fait suivant la norme NF P 94-093. Il consiste à compacter dans un volume donné (moule CBR) un certain nombre d'échantillons (la fraction de 0/20mm) à différentes teneurs en eau ω_i et à un même niveau d'énergie de compactage de 2472 kJ/m³.

- **But De L'essai :**

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



Photo IV-1: Appareil de Proctor modifié automatique au laboratoire LTPS.

IV.2.2. Résultats de l'essai Proctor Modifier :

Après avoir mené un essai PM, nous résumons les résultats dans le tableau suivant :

Tableau IV-1:Résultats PROCTOR MODIFIE.

Formulation optimale	Site de l'argile étudiée	w_p (%)	γ_d (g/cm³)
Formulation optimale(70% Sable de dune +30%Argile)	Bouhraoua	11.10	1.98

TableauIV-2 : Caractéristiques compactage de mélange optimale

Mélange optimal (70% Sable de dune +30% Argile)	Spécifications				Remarques*		
		TRS	CCT P	GT R			
Compactage γ _d (g/cm ³)	1.98	≥1.7	-	-	OK	-	-
W(%)	11.10						

Notre résultat indique que la valeur de densité sèche maximale correspond aux caractéristiques des sols fins, selon la classification GTR pour les sols fins.

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

IV.3. Les types du géotextile utilisé :

Les applications du géotextile dans le renforcement des chaussées routières sont multiples, ou ont utilisé trois types de géotextiles.

- **Géotextile 1 :A300**



PhotoIV-2:GéotextileA300(type non tissé)

- **Géotextile 2 :AS30 AFITEX**



Photo IV-3:GéotextileAS30(type non tissé)

- **Géotextile 3 :AS50 AFITEX**



Photo IV-4:Géotextile 3 AS50 (tissé et tricoté)

IV.4. Les caractéristiques physiques et mécaniques du géotextile utilisé :

Tableau IV-2:Les caractéristiques physiques et mécaniques du géotextile utilisé.

Caractéristiques physiques	Normes	Unités	GÉO A300	GÉO AS30	GÉO AS50
Masse spécifique	EN-ISO 9864	g/m ²	600	300	300
Épaisseur sous 2 kpa	EN-ISO 9865-1	Mm	2,6	1,7	1,7
Caractéristiques					

Mécaniques					
Resistance à la traction	EN-ISO 103-19	KN/m	42- 48	23-30	23-30
Resistance a le poinçonnement CBR	EN-ISO 122-36	KN	7,5	3,4	3,4
Caractéristiques Hydrauliques					
Perméabilité Normale au plan	EN-ISO 110-58	m/sec	0,007	0,04	0,04
Ouverture de Filtration	EN-ISO 129-56	µm	60	65	65

IV.5. Les essais CBR (California Bearing Ratio test) : Norme NF P 94-078

▪ BUT DE L'ESSAI :

L'essai **CBR** est un essai de portance (aptitude des matériaux à supporter les charges) des remblais et des couches de formes compactées des ouvrages routiers.

Il s'agit de déterminer expérimentalement des indices portants (**IPI**, **CBR**) qui permettent

- D'établir une classification des sols (**GTR**).
- D'évaluer la traficabilité des engins de terrassement (**IPI**).
- Déterminer l'épaisseur des chaussées (**CBR** augmente ⇒ épaisseur diminue).

▪ PRINCIPE DE L'ESSAI :

La charge apportée par le pneu sur la chaussée poinçonne le sol de fondation. Ce poinçonnement est d'autant plus petit que l'épaisseur de la chaussée est grande.

P : pression appliquée par le pneumatique sur le sol de fondation.

Chapitre IV : l'effet de trois types de géotextiles sur la Capacité Portante (CBR immédiat / imbibé) d'un mélange optimal de l'argile Bouhraoua

S : surcharge simulant l'action de la chaussée qui s'oppose au déplacement vertical du sol de fondation lors de l'action du pneu. On peut reproduire ce phénomène en compactant le matériau dans les conditions de l'essai Proctor dans un moule CBR puis en mesurant les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante dans une éprouvette de ce matériau.. **NF P 94-078**

IV.5.1. CBR Immédiat :

IV.5.1.1. Résultats de l'essai CBR Immédiat du mélange optimal (70 % Sable et de 30 %) d'argile Bouhraoua:

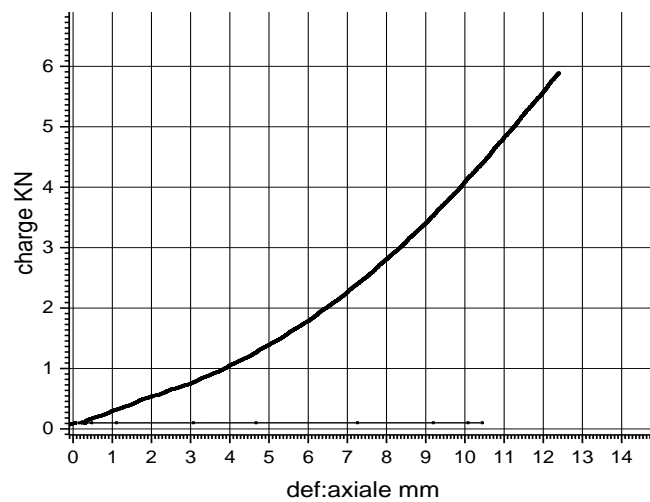
Tableau IV-3:CBR Immédiat du mélange utilise

S/A :	Bouhraoua
Valeur de pénétration n°1: S1 (mm)	7,00
Valeur de pénétration n°2 : S2 (mm)	9,50
Charge de pénétration n°1 : F1(%)	10,02
Charge de pénétration n°2 :F2 (%)	8,59
Index CBR : F (%)	10,02

Indice de CBR du mélange optimal d'argile Bouhraoua: est de 10,03 %

IV.5.1.2. Résultats de l'essai CBR Immédiat avec Géotextiles :

IV.5.1.2.1 Résultats GEO 1(A300) :



FigureIV-1:Diagramme CBR Immédiat A300.

Tableau IV-4:Résultats CBR Immédiat du mélange utilise avec géo1

S/A :	GÉO 1
Valeur de pénétration n°1: S1 (mm)	8,46
Valeur de pénétration n°2 : S2 (mm)	10,96
Charge de pénétration n°1 : F1(%)	1,49
Charge de pénétration n°2 :F2 (%)	24,11
Index CBR : F (%)	24,11

Indice de CBR du mélange optimal d'argile Bouhraouaavec géo 1 : est de 24,11 %

IV.5.1.2.2 Résultats géo 2(AS30)

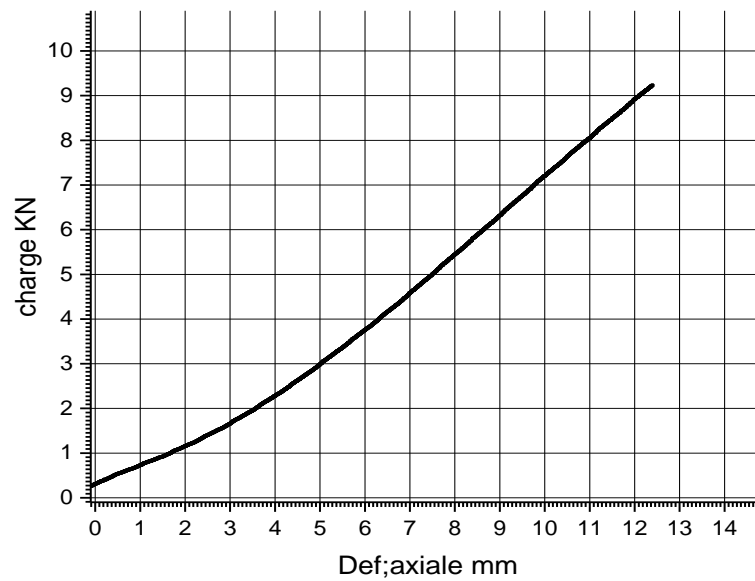


Figure IV-2:Diagramme CBR Immédiat GE02 (AS30).

Tableau IV-5:Résultats CBR Immédiat du mélange utilise avec géo2

S/A :	GÉO 2
Valeur de pénétration n°1: S1 (mm)	5,25
Valeur de pénétration n°2 : S2 (mm)	7,75
Charge de pénétration n°1 : F1(%)	24,06
Charge de pénétration n°2 :F2 (%)	26,18
Index CBR : F (%)	26,18

Indice de CBR du mélange optimal avec géo 2 d'argile Bouhraoua: est de 26,18%

IV.5.1.2.3.Résultats géo 3(AS 50) :

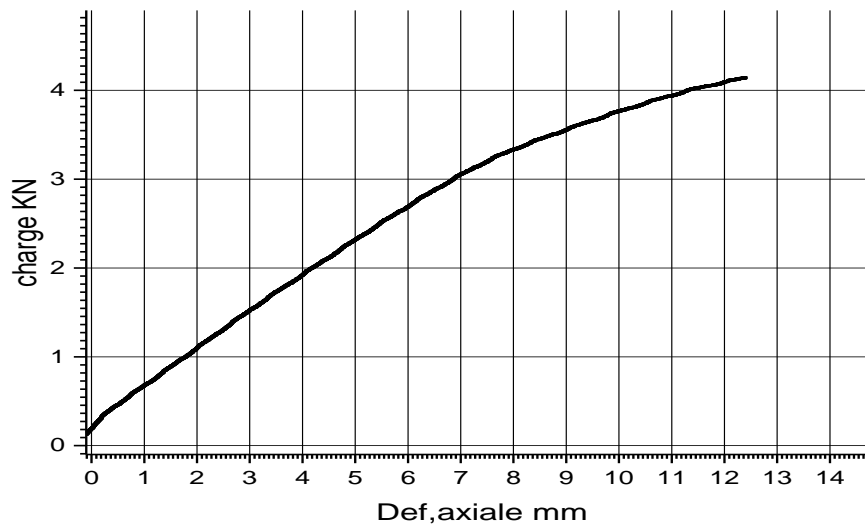


Figure IV-3: Diagramme CBR Immédiat GE03(AS30)

Tableau IV-6:Résultats CBR Immédiat du mélange utilise avec géo 3

S/A :	GÉO 3
Valeur de pénétration n°1: S1 (mm)	2,20
Valeur de pénétration n°2 : S2 (mm)	4,70
Charge de pénétration n°1 : F1(%)	9,34
Charge de pénétration n°2 :F2 (%)	11,27
Index CBR : F (%)	11,27

Indice de CBR du mélange optimal d'argile Bouhraoua avec géo 3 : est de 11,27 %

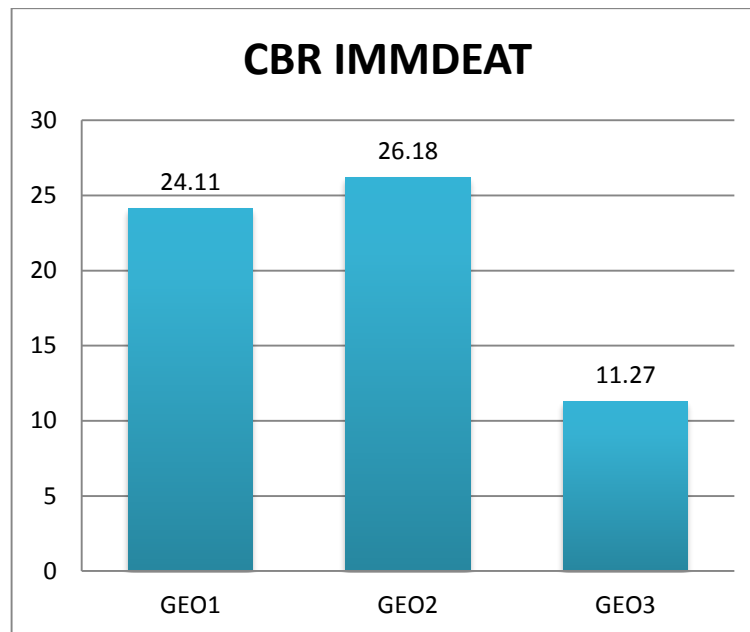


Figure IV-4: Comparaison entre Résultats CBR Immédiat du mélange utilise avec trois types des géotextiles

On a trouvé que les résultats CBR Immédiat du mélange utilisent avec trois types de géotextiles. Le géo2 donne une meilleure valeur de indice est de 26,20 %, puis le géo1 est de 24,12 % et a valeur moins de géo 3 est de 11,27 %.

Également, nous obtenons des résultats identiques à ceux que vous avez découverts dans l'étude de Zahi 2017 et Guerra A et ziani Y , 2022) pour les geo1 et geo3

IV.5.2. CBR Imbibé :

L'essai de portance est réalisé conformément à la norme **NFP 94-078** pour les différents mélanges optimaux. L'indice CBR imbibé est déterminé après 04 heures et 4 Jours d'immersion. (**Photo IV-5**).

On a mesuré le gonflement pendant la période d'immersion des essais CBR imbibé :



Photo IV-5: Essai CBR imbibé

IV.5.2.1. Résultats de l'essai CBR Imbibé du mélange optimal utilise :

Tableau IV-7:Résultats CBR Imbibé 4 heure du mélange optimal utilise.

S/A :	GÉO 1
Valeur de pénétration n°1: S1 (mm)	8,06
Valeur de pénétration n°2 : S2 (mm)	10,56
Charge de pénétration n°1 : F1(%)	10,32
Charge de pénétration n°2 :F2 (%)	9,41
Index CBR : F (%)	10, 32

Indice de CBR du mélange optimal (70 % Sable et de 30 %) d'argile Bouhraoua: est de 10,32 %

IV.5.2.2. Résultats de l'essai CBR Imbibé avec les Géotextiles :

IV.5.2.2.1 Résultats CBR Imbibé 04 Heures :

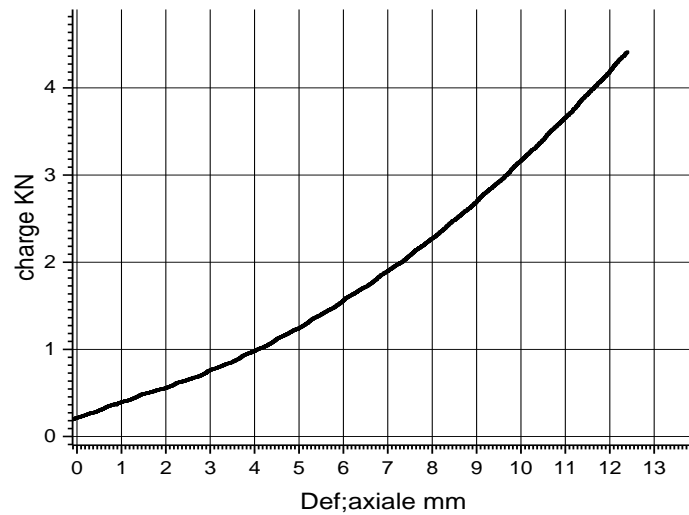
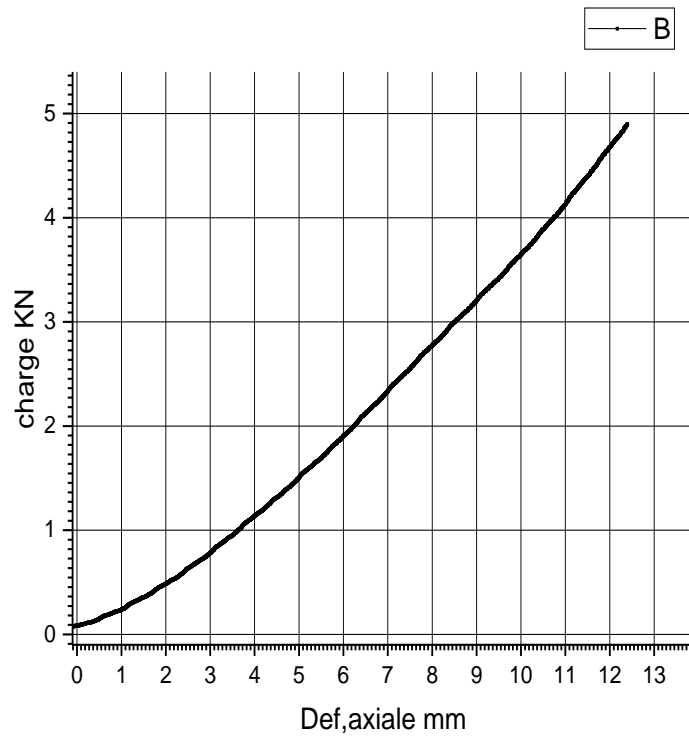


Figure IV-5:Diagramme CBR Imbibé 04 heure géo 1.

Tableau IV-8:Résultats CBR Imbibé 4 heure géo 1.

S/A :	GÉO 1
Valeur de pénétration n°1: S1 (mm)	8,06
Valeur de pénétration n°2 : S2 (mm)	10,56
Charge de pénétration n°1 : F1(%)	17,72
Charge de pénétration n°2 :F2 (%)	17,41
Index CBR : F (%)	17,72

Indice de CBR du mélange optimal (70 % Sable et de 30 %) d'argile Bouhraoua avec géo 1 : est de 17,72 %



FigureIV-6:Diagramme CBR Imbibé 04 heures géo 2.

Tableau IV-9:Résultats CBR04 heures géo 2.

S/A :	GÉO 2
Valeur de pénétration n°1: S1 (mm)	7,30
Valeur de pénétration n°2 : S2 (mm)	9,80
Charge de pénétration n°1 : F1(%)	18,96
Charge de pénétration n°2 :F2 (%)	18,05
Index CBR : F (%)	18,96

Indice de CBR du mélange optimal d'argile Bouhraoua avec géo 2 : est de 18,96 %

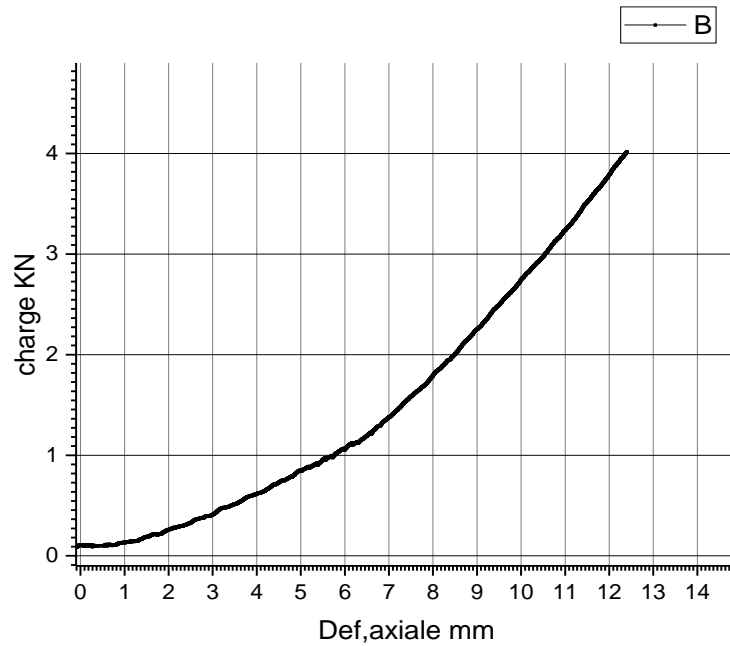


Figure IV-7: Diagramme CBR Imbibé 04 heures géo 3.

Tableau IV-10: Résultats CBR Imbibé 04 heures géo 3.

S/A :	GÉO 3
Valeur de pénétration n°1 : S1 (mm)	9,03
Valeur de pénétration n°2 : S2 (mm)	11,53
Charge de pénétration n°1 : F1(%)	17,44
Charge de pénétration n°2 : F2 (%)	17,93
Index CBR : F (%)	17,93

Indice de CBR du mélange optimal (70 % Sable et de 30 %) d'argile Bouhraoua avec géo 3 : est de 17,93 %

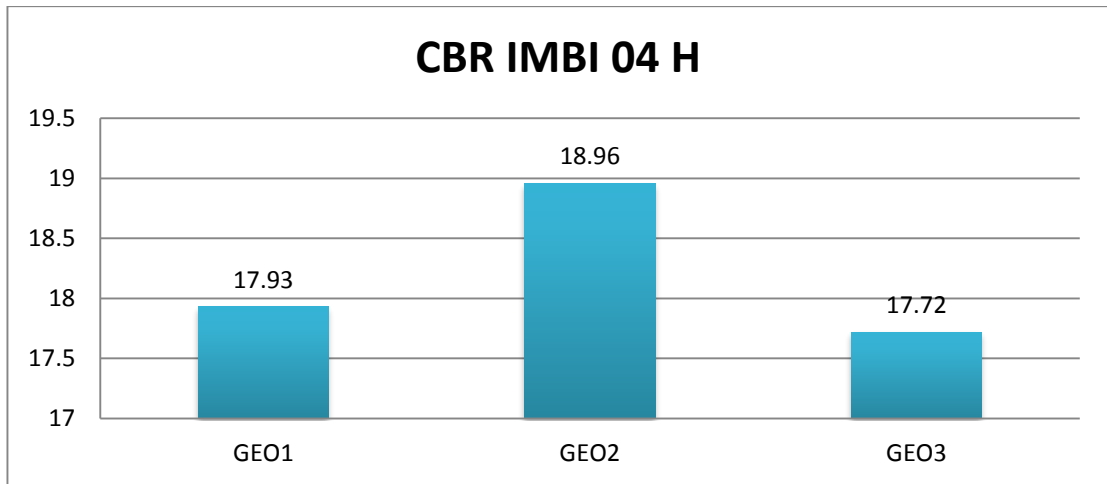


Figure IV-8: Comparaison entre les résultats CBR Imbibé des trois types de géotextiles.

On a trouvé que les résultats CBR Imbibé du mélange utilisent avec trois types de géotextiles. Le géo2 donne une meilleure valeur de indice est de 18,96 % puis le géo1 est de 17,93 % et a valeur moins de géo 3 est de 17,72 %

Également, nous obtenons des résultats identiques à ceux que vous avez découverts dans les études de Zahi 2017 et Guerra A et ZIANI Y 2022) pour les géo1 et géo3

IV.5.2.2.2 RÉSULTATS DES VALEURS DE GONFLEMENT 04 HEURES

:

Tableau IV-11: Les valeurs de gonflement du mélange utilise .

Matériaux	Valeurs de gonflement (mm)			
	Après 1 heures	Après 2 heures	Après 3 heures	Après 4 heures
Mélange optimal (70% Sable de dune 30% Argile Bouhraoua) +	0.00	0.01	0.03	0.04

La valeur de gonflement (mm) du mélange optimal de l'argile Bouhraoua : est de 0,04 mm

Tableau IV-12:Les valeurs de gonflement géo 1.

Site d'argile étudiée	Valeurs de gonflement (mm)			
	Après 1 heures	Après 2 heures	Après 3 heures	Après 4 heures
Mélange optimal (70%Sable de dune 30% Argile Bouhraoua)	0.00	0.01	0.03	0.04

La valeur de gonflement (mm) du mélange optimal (70 % Sable et de 30 %) d'argile Bouhraoua :est de 0,04 mm

Tableau IV-13:Les valeurs de gonflement géo 2.

Matériaux	Valeurs de gonflement (mm)			
	Après 1 heures	Après 2 heures	Après 3 heures	Après 4 heures
Mélange optimal (70%Sable de dune 30% Argile Bouhraoua)	0.00	0.00	0.01	0.01

La valeur de gonflement (mm) du mélange optimal de l'argile Bouhraoua est de 0,01 mm

Tableau IV-14:Les valeurs de gonflement géo 3.

Matériaux	Valeurs de gonflement (mm)			
	Après 1 heures	Après 2 heures	Après 3 heures	Après 4 heures
Mélange optimal (70%Sable de dune 30% Argile Bouhraoua)	0.01	0.03	0.04	0.04

La valeur de gonflement (mm) du mélange optimal (70 % Sable et de 30 %) d'argile Bouhraoua :est de 0,04 mm

On remarque que le géotextile a permis de réduire le gonflement des mélanges optimaux

Meilleure géotextile est un géotextile géo 2

IV.5.2.2.3. Comparaison entre les valeurs de gonflement géo 1 et géo 2 et géo 3 (4 heures) :

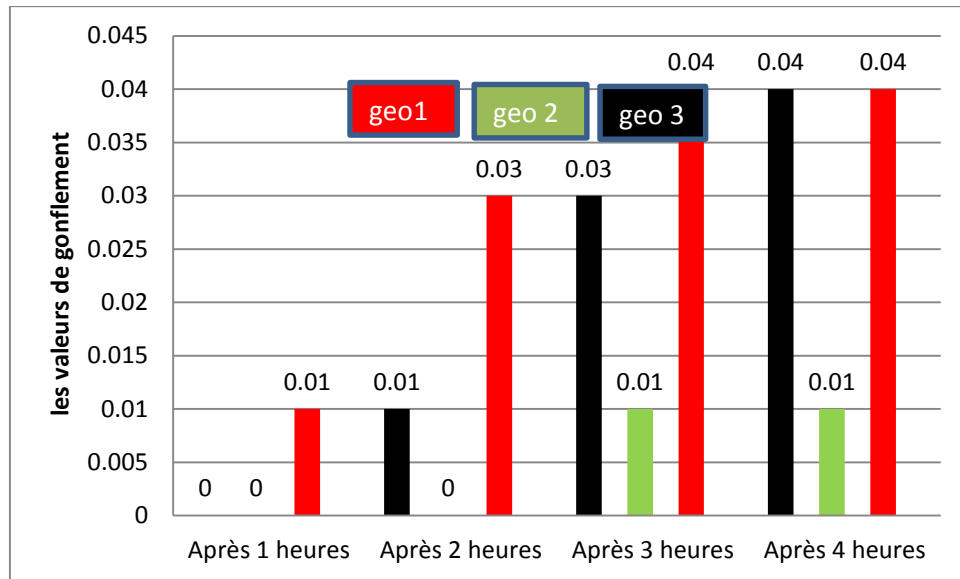
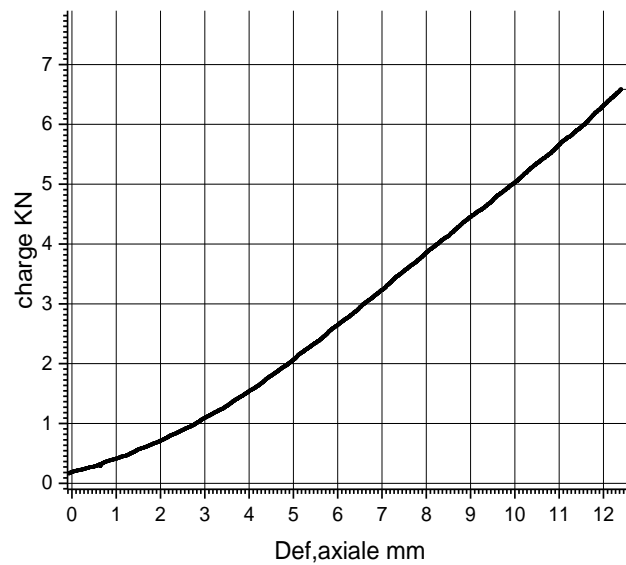


Figure IV-9: comparaison entre les valeurs de gonflement géo 1 et géo 2 et géo 3

Après avoir comparé les résultats de gonflement, nous remarquons que nous obtenons moins de gonflement lors de l'utilisation de géotextiles 2 de valeur 0.01 mm

IV.5.2.2.4 RESULTATS CBR imbibé 0 4 jours :



FigureIV-10:Diagramme CBR imbibé a 04 jours GE01.

Tableau IV-15:Résultats CBR Imbibé à4 jours géo 1.

S/A :	GÉO 1
Valeur de pénétration n°1: S1 (mm)	7,46
Valeur de pénétration n°2 : S2 (mm)	9,96
Charge de pénétration n°1 : F1(%)	26,93
Charge de pénétration n°2 :F2 (%)	25,38
Index CBR : F (%)	26,93

Indice de CBR du mélange optimal (70 % Sable et de 30 %) d'argile Bouhraoua avec géo 1 : est de 26,93%

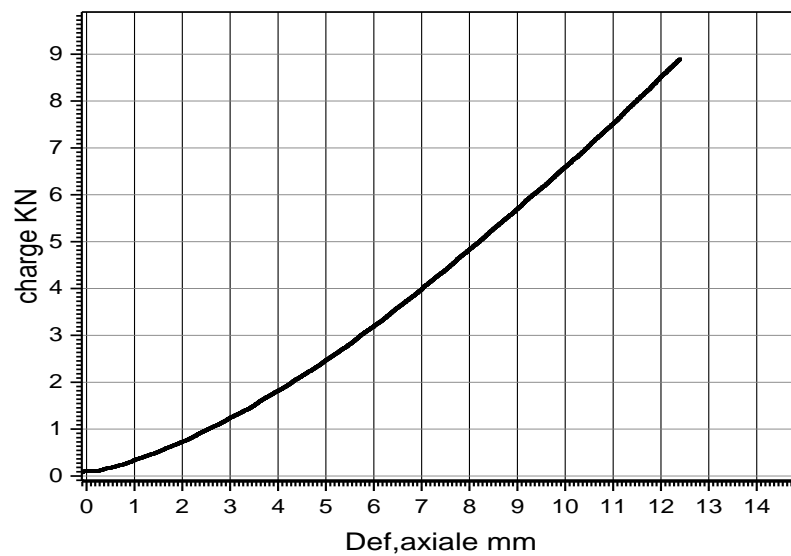


Figure IV-11:Diagramme CBR imbibé a 04 jours GE02.

Tableau IV-16:Résultats CBR Imbibé 04 jours géo 2.

S/A :	GÉO 2
Valeur de pénétration n°1: S1 (mm)	7,42
Valeur de pénétration n°2 : S2 (mm)	9,92
Charge de pénétration n°1 : F1(%)	32,66
Charge de pénétration n°2 :F2 (%)	32,65
Index CBR : F (%)	32,66

Indice de CBR du mélange optimal (70 % Sable et de 30 %) d'argile Bouhraoua avec géo 2 : est de 32,66%

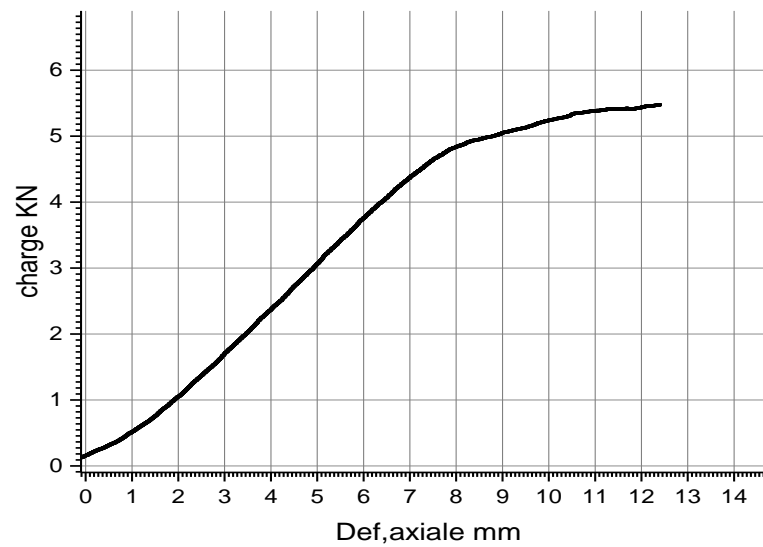


Figure IV-12:Diagramme CBR imbibé a 04 jours GE03.

Tableau IV-17:Résultats CBR Imbibé 04 jours géo 3.

S/A :	GÉO 3
Valeur de pénétration n°1: S1 (mm)	4,09
Valeur de pénétration n°2 : S2 (mm)	6,59
Charge de pénétration n°1 : F1(%)	18,46
Charge de pénétration n°2 :F2 (%)	20,81
Index CBR : F (%)	20,81

Indice de CBR du mélange optimal de l'argile Bouhraoua avec géo 3 : est de 20,81%

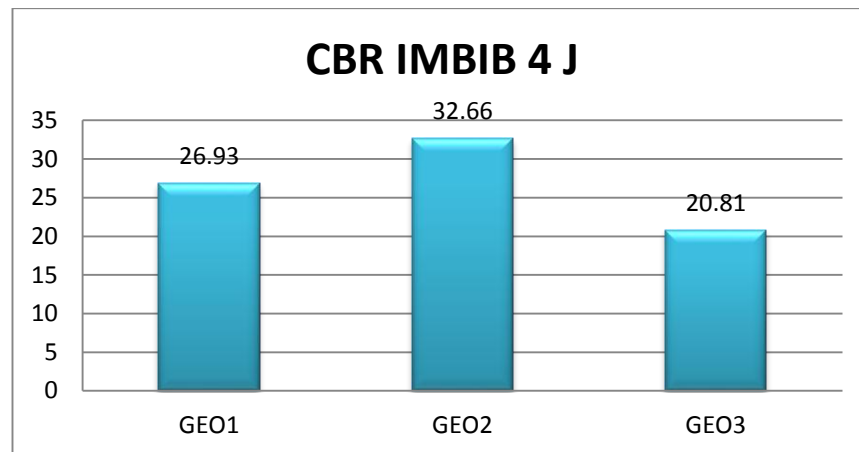


Figure IV-13: Comparaison entre les résultats CBR imbibé du mélange utilise avec trois types de géotextiles.

On a trouvé que les résultats CBR imbibé du mélange utilisent avec trois types de géotextiles. Le géo2 donne une meilleure valeur de indice est de 32,66% puis le géo 1 est de 26, 93% et a valeur moins de géo 3 est de 20,81%

IV.5.2.2.5. Résultats des valeurs de gonflement 04 jours :

Tableau IV-18: Les valeurs de gonflement du melange utilise .

Matériaux	Valeurs de gonflement (mm)			
	Après 1 Jours	Après 2 Jours	Après 3 Jours	Après 4 Jours
Mélange optimal (70% Sable de dune 30% Argile Bouhraoua)	0.00	0.01	0.03	0.04

La valeur de gonflement (mm) du mélange optimal (70 % Sable et de 30 %) d'argile Bouhraoua : est de 0,04 mm

Tableau IV-20: Les valeurs de gonflement géo 1.

Matériaux	Valeurs de gonflement (mm)			
	Après 1 Jours	Après 2 Jours	Après 3 Jours	Après 4 Jours
Mélange optimal (70% Sable de dune 30% Argile Bouhraoua)	0.01	0.01	0.01	0.02

La valeur de gonflement (mm) du mélange optimal (70 % Sable et de 30 %) d'argile Bouhraoua: est de 0,02 mm

Tableau IV-19: Les valeurs de gonflement géo 2.

Matériaux	Valeurs de gonflement (mm)			
	Après 1 Jours	Après 2 Jours	Après 3 Jours	Après 4 Jours
Mélange optimal (70% Sable de dune 30% Argile Bouhraoua) e	0.00	0.00	0.01	0.015

La valeur de gonflement (mm) du mélange optimal (70 % Sable et de 30 %) d'argile Bouhraoua: est de 0,015 mm

Tableau IV-20:Les valeurs de gonflement géo 3.

Matériaux	Valeurs de gonflement (mm)			
	Après 1 jour	Après 2 jours	Après 3 jours	Après 4 jours
Mélange optimal (70%Sable de dune 30% Argile Bouhraoua)	0.00	0.01	0.02	0.03

La valeur de gonflement (mm) du mélange optimal (70 % Sable et de 30 %) d'argile Bouhraoua :est de 0,03mm

On remarque que le géotextile a permis de réduire le gonflement des mélanges optimaux

Meilleure géotextile est un géotextile 2

IV.5.2.2.6 : Comparaison entre les valeurs de gonflement géo 1 géo 2 et géo 304jours :

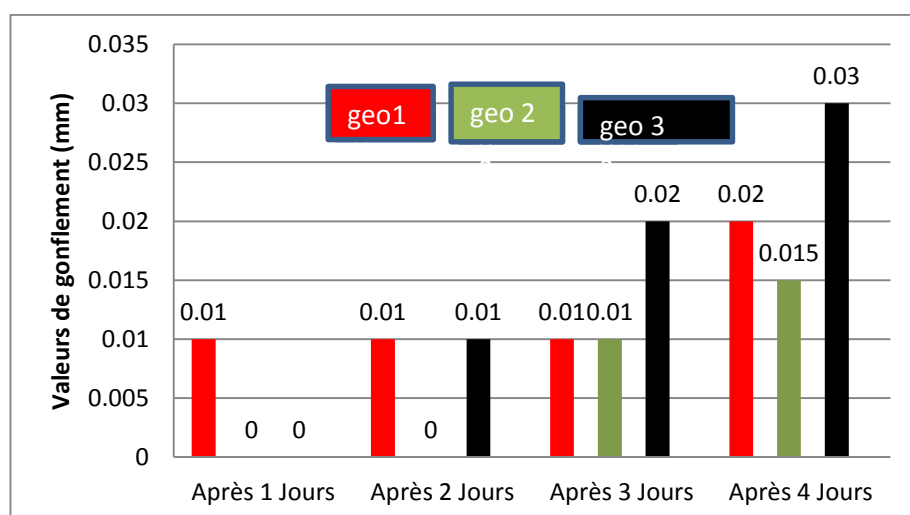


Figure IV-14:comparaisons entre les valeur de gonflement géo 1 et 2 et 3

Chapitre IV : l'effet de trois types de géotextiles sur la Capacité Portante (CBR immédiat / imbibé) d'un mélange optimal de l'argile Bouhraoua

Après avoir comparé les résultats de gonflement, nous remarquons que nous obtenons moins de gonflement lors de l'utilisation de géotextiles 2 de valeur 0.015mm .

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

IV.6. Caractéristique portance de mélange optimale :

Tableau IV-21:Caractéristique portance de melange optimale

	Spécifications				Remarques*		
	Mélange optimal	TRS	CCTP	GTR			
Portance							
CBR IMDEAT	26.18	≥ 40	-	-	NO	-	-
CBR IMBIBIE	32.66						
Compression	3.262	≥ 0.15	-	-	OK		

Également, nous obtenons des résultats identiques à ceux que vous avez découverts dans l'étude (mémoire de zahi en 2018)

IV.7.conclusion :

Le mélange optimal de 70% sable de dune et 30% argile de Bouhraoua de la wilaya de Ghardaïa Selon les travaux de doctorats (AZZOUZ 2015) et L'objectif base sur d'influence des trois types des géotextiles sur un mélange optimal sur la portance du sol (CBR immédiat et imbibé (04 heures / à' jours) et voir quel est le type de géotextiles qui donne un meilleur indice de CBR ?

Les trois Géotextile utilise sont :

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

Les essais préliminaires montrent que le mélange optimal satisfaisant l'exigence est un mélange pour utiliser comme matériaux maniant plastiques selon classification GTR. Ils ont également montré un gonflement faible, indiquant un changement de volume négligeable, ce qui constitue un comportement souhaitable en ce qui concerne les couches des formes de la chaussée dans les climats semi-arides et arides.

Les résultats des indices de CBR immédiat et CBR imbibé (après 4 heures et 4 jours) pour les trois géotextiles sont les suivants :

CBR immédiat :

- Mélange avec géotextile 1 : 24,12%.
- Mélange avec géotextile 2 : 26,20%.
- Mélange avec géotextile 3 : 11,27%.
-

CBR imbibé (après 4 jours) :

-
- Mélange avec géotextile 1 : 26,93%.
- Mélange avec géotextile 2 : 32,66%.
- Mélange avec géotextile 3 : 20,81%.

CBR imbibé (après 4 heures) :

- Mélange avec géotextile 1 : 17,93%.
- Mélange avec géotextile 2 : 18,96%.
- Mélange avec géotextile 3 : 17,72%.

Ces résultats montrent que l'ajout des géotextiles a un impact positif sur les valeurs de CBR, tant pour le CBR immédiat que pour le CBR imbibé après 4 heures et 4 jours. Le mélange avec le géotextile 2 montre généralement les valeurs les plus élevées, indiquant une meilleure résistance et capacité portante.

*CONCLUSION
GENERALE*

CONCLUSION GENERALE :

Une étude sur le comportement mécanique du mélange optimal de (70% de sable de dune et 30 % de l'argile Bouhraoua) dans le cadre de valorisation des matériaux locaux afin de généraliser leurs utilisation en techniques routières à différents trafics (moyen et fort), dans le but de réduire l'épaisseur des structures de chaussées proprement dites et éviter le recours à des transports onéreux et gênants, les deux contribuant de manière sensible à l'économie des projets routiers.

Les conclusions tirées des essais de CBR immédiat et CBR imbibé (après 4 heures et 4 jours), de perméabilité et de résistance à la compression, ainsi que du renforcement par trois types de géotextiles, sont les suivantes :

- L'utilisation des géotextiles a entraîné une augmentation de l'indice CBR. Cela signifie que la capacité portante des matériaux renforcés par les géotextiles est améliorée, ce qui les rend plus résistants à la déformation sous des charges de trafic.
- Une amélioration considérable de la cohésion a été observée. La présence des géotextiles renforce la cohésion entre les particules du matériau, ce qui contribue à une meilleure stabilité et résistance globale.
- Le gonflement du matériau est faible. Les géotextiles aident à contrôler l'expansion ou le gonflement excessif du matériau, ce qui est bénéfique pour la durabilité de la structure routière.

Selon les résultats obtenus, il a été constaté que le géotextile 2 (AS30) a montré la plus grande amélioration de l'indice CBR, avec un pourcentage de 32,66% en CBR imbibé et immédiat, par rapport aux géotextiles 1 et 3, lorsque les proportions de géotextile sont ajoutées. Cela indique que le géotextile 2 est le plus efficace parmi les trois types de géotextiles testés dans cette étude.

Conclusion générale

À la fin de cette étude, il est possible de conclure qu'un certain nombre de pistes ont été explorées, mais de nombreuses autres restent à explorer. En ce qui concerne les perspectives à court terme, les recommandations suivantes sont proposées :

Continuer les recherches dans cette direction afin d'améliorer la stabilité et la durabilité de la route. Il est important de poursuivre les investigations pour affiner les résultats et explorer de nouvelles possibilités d'amélioration des performances des matériaux routiers.

Effectuer une modélisation numérique du comportement d'un corps de chaussée constitué des mélanges traités selon les différentes formulations. Cela permettra d'obtenir des informations supplémentaires sur les performances attendues et d'affiner les recommandations de conception.

Évaluer l'effet de l'ajout d'un certain pourcentage de ciment ou de chaux dans les mélanges. L'utilisation de liants tels que le ciment ou la chaux peut améliorer les propriétés des matériaux, notamment en termes de résistance et de durabilité. Il est recommandé d'étudier l'impact de l'ajout de ces liants sur les performances globales des mélanges et d'évaluer leur pertinence dans le contexte des techniques routières.

Références Bibliographiques

Références bibliographies

Azzouz, F. Z. (2007) étude de la stabilisation chimique de quelques argiles gonflantes de la région de Tlemcen, mémoire de magister Université de Aboubekr bel kaid Tlemcen .
Tlemcen

Azzouz, F. Z. (2017). Caractérisation Physique Et Mécanique De Mélanges Argile-Sable De Dune Destinés La Réalisation Des Couches Compactées En Région Arides De l'Algérie.

Ben Dhia, M. (1983). Les Tufs Et Encroûtements Calcaires Dans La Construction Routière .Thèse De Docteur De 3eme Cycle De L'université De Paris VI.

BEN DHIA, M. H. (1998).Quelques Particularités De L'utilisation Du Sable De Dune Enconstruction Routière En Milieu Saharien. P 33-42.

Ben Ouakhir, A. H. (2015). Utilisation Du Sable De Dunes En Technique Routière Etude Bibliographique. Biskra:Université Khider Mohamed A.

BENRAHAL, K., &BOUHAMIDA, M. (2018). Influence De La Nature De L'eau Sur Certaines Caractéristiques Géotechnique Des Mélanges De La Région De Ghardaïa.

Boudjemaa, Y., &Djilani, S. (2018/2019). Micro-Béton A Base De Sable Mixte (Sable De Duneet Sable Concassées) Avec Poudre De Marbre Et Adjuvant . M'sila:Université Mohamed BOUDIAF.

Chenini, M. Z., &Bellahcene, T. (2021). Etude De Un Comportement Mécanique D'un Mélangé Sable De Dune –Argile De Wilaya Ghardaïa Renforcé Par Géotextile.

2009Etude Des Bétons A Base Des Sables De Dunebiskrathème De Magister Université Mohamed Khider

Frédéric, B. (2001). Prise En Compte Du Gonflement Des Terrains Pour Le Dimensionnement Des Revêtements Des Tunnels. Thèse Pour Obtenir Le Grade De Docteur De L'école Nationale Des Ponts Et Chaussées.

Goual, I. Amélioration Des Propriétés D'un Tuf Naturel Utilisé En Technique Routière Saharienne Par Ajout D'un Sable Calcaire. 16, 744–763.

GUEFAIFIA, L., &BENRDJEM, H. (2020). TRAITEMENT ET RENFORCEMENT D'UN SOL FIN PAR DIFFERENTES TECHNIQUES D'AMELIORATION :ETUDE EXPERIMENTALE ET NUMERIQUE.

GUENDOOUZ, M. Z. (2021). Etude De l'Adsorption De FER (Fe³⁺) En Solution Aqueuse Sur Kaolin. Université Larbi Ben M'hidi (OUM EL BOUAGHI).Mémoire.

GUERMITI, L. (2013). Contribution A L'amélioration De Certaines Caractéristiques Du Béton De Structure A Base De Sable De Dune Corrigé Et Renforcé Par Des Fibres Métalliques. Mémoirede MAGISTER, Université KasdiMerbah Ouargla.

Guiraa, A. (2022). COMPORTEMENT HYDRO-MECANIQUE TRAITEMENT DES MELANGES OPTIMAUX DES ARGILES-SABLE DE DUNE TRAITÉ AU CIMENT ET RENFORCER PAR AU GÉO TEXTILE.

HATTAB, M. Approche Multi-Echelle Et Multi-Physique Du Comportement Des Argiles. Master

Références bibliographies

Civil Parcours CMGS.

Khangaoui, S. (2013). Valorisation Du Sable De Dunes En Couche De Roulement Sable -Bitume. Géo - Matériaux. Thèse De Magister En Génie Civil.

KHEMISSA, M. Détermination Des Modules De Déformation D'une Argile Expansive Reconstituée A Faible Energie De Compactage. Université Mohamed Boudiaf - M'sila. Présenté Pour L'obtention D'un Diplôme De Master.

Lahreche, F. Z., &Souilem, M. (2022). Stabilisation Des Mélange Optimaux Sable De Dune Et Des Argiles Marne Par Ciment Et Géotextiles Sur Les Paramètres De Gonflement De Gonflement De La Région De Ghardaïa.

Laid, H. (2016). Etude De L'incorporation De Sable De Dune Dans Le Domaine De La Géotechnique Routière.

Lambert, S. (2000). Les Géotextiles : Fonctions,Caractéristiques Et Dimensionnement. 22, 17-26.

MEKKI, L. (2018). Comportement D'une Argile Expansive Fortement Sur Consolidée. Thèse Présentée Pour L'obtention Du Diplôme De Doctorat Ensciences.

Melle Djefal, L. (2008). Elimuiation Par Adsorption Sur Argil Locale, Desion Métalliques Contenus Dans Les Eaux De Rejet Industriel De La Région De Annaba. Mémoire Magister.

Mirech, A. (Juin 2013). UTILISATION DES GÉO SYNTHETIQUES EN GÉO TECHNIQUE ROUTIERE.

P, G. (Mars 2017). GUIDE TECHNIQUE DE CONCEPTION ET DE DIMENSIONNEMENT DES STRUCTURES DE CHAUSSEES METROPOLITAINES.

SAIDANE, I., &SOUAYB, A. E. (2021). AMÉLIORATION DES CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES DES SEDIMENTS DU BARRAGE DE K'Sob PAR UN TRAITEMENT A BASE DE SABLE DANS LEBUT DE LEUR UTILISATION DANS DES TRAVAUX ROUTIERS. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA, M'SILA.

Références bibliographiques

NORMES DES ESSAIS :

- ✓ NF P 11-300, septembre 1992 : Classification des matériaux utilisables dans la construction des Remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.
- ✓ NFP 94-068, Novembre 1993. Sols : reconnaissance et essai - Mesure de la quantité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux. Détermination de la valeur de bleu de Méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tache.
- ✓ NF P 94-050, septembre 1995. Sols : reconnaissance et essai - Détermination de la teneur en eau Pondérale des sols. Méthode par étuvage.
- ✓ NF P 94-054, octobre 1991. Sols : reconnaissance et essai - Détermination de la masse volumique des particules solides des sols. Méthode du pycnomètre à eau.
- ✓ NF P 94-056, mars 1996. Sols : reconnaissance et essai - Analyse granulométrique. Méthode par Tamisage à sec après lavage.
- ✓ NF P 94-093, Décembre 1993. Sols : reconnaissance et essai - Détermination des caractéristiques de compactage d'un sol : essai Proctor normal, essai Proctor modifié.
- ✓ NF P 94-071-1, août 1992. Sols : reconnaissance et essai - Essai de cisaillement rectiligne à la Boite : cisaillement direct.
- ✓ NF P 94-051, mars 1993. Sols : reconnaissance et essai – Détermination des limites d'AtteBerg – Limite de liquidité à la coupelle- limite de plasticité au rouleau.
- ✓ (NF P94-078), Essai CBR (California Bearing Ratio test)

Annexe

ANNEXE

ANNEXE1 : Méthylène sable de dune

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

Volume de bleu injecte dans la prise d'essai V = 05 cm³
 Valeur au bleu de la prise d'essai passant a :
 $V_b = V/M_s = 5 / 99.90 = 0.05$

ANNEXE 2 : Essai Equivalent de sable de dune

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

Annexe

ANNEXE3 : Essai volume et bleu de méthylène d'argile Bouhraoua

PRISE D'ESSAI $M_h = 30\text{grs}$				VOLUME DE BLEU INJECTE DANS LA PRISE				
CALCUL DE LA TENEUR EN EAU				D'ESSAI $V = 80 \text{ cm}^3$				
TARE N°	C		Z					
PH+T	122,21		116,6	VALEUR AU BLEU DE LA PRISE D'ESSAI				
PS+T	265,7		261,57	PASSANT A :				
PT	261,54		257,39					
Ps	139,33		140,79	$VB = \frac{V}{t} = \frac{80}{29.13} = 2.75$				
W (%)	2.99		2.97					
W _{moy} (%)	2.98							
CALCUL DE LA MASSE SECHE DE LA								
PRISE D'ESSAI Ms :				$VB_t = \frac{VB \times \% t}{100}$				
$W \% = \frac{Ph - Ps}{Ps} \cdot 100 = 2.98\%$								
$Ps = \frac{Ph \times 100}{100 + W\%} = 29.13 \text{ grs}$								

ANNEXE 4 : Limite d'Atterberg

LIMITE DE PLASTICITE

	1 ^{er} Essai		2 ^{ème} Essai		3 ^{ème} Essai	
N° de la tare	S3		F3		X10	
Poids total humide	36,44		36,7		36,96	
Poids total sec	36,17		36,44		36,65	
Poids de la tare	35,16		35,47		35,5	
Poids de l'eau	0,27		0,26		0,31	
Poids du sol sec	1,01		0,97		1,15	

Annexe

Teneur en eau (%)						
Moyenne	26.73		26.80		26.96	
LP = 26.83						

ANNEXE 5 : ANALYSE SEDIMENTOMETRIQUE

Température ° C	Temps	Durée de chute	$R' = R - 1000$ R : lecture au densimètre	Correction (C)	Lecture corrigée $R1 = R' + C$ Ou $R1 = R' - C$	Diamètre (D)	% des éléments (D) sur l'ensemble de l'échantillon
22C°	8h25	30 "	15	+0.380	15.380	0.075	80
22C°	8h26	01'	14	+0.380	14.380	0.055	75
22C°	8h27	02'	14	+0.380	14.380	0.038	75
22C°	8h30	05'	14	+0.380	14.380	0.025	75
22C°	8h35	10'	14	+0.380	14.380	0.017	75
22C°	8h45	20'	13	+0.380	13.380	0.012	70
22C°	9h05	40'	12.5	+0.380	12.880	0.008	67
22.6C°	9h45	80'	12	+0.500	12.500	0.006	65
22.6C°	11h05	160'	11	+0.500	11.500	0.004	60
22.6C°	13h45	320'	09	+0.500	9.500	0.003	49
21.80C°	24 h	1440'	06	+0.342	6.342	0.002	33
20C°	48h	-	04	0.000	4.000	0.001	21
20C°	72 h	-	02	0.000	2000	0.0005	10

Annexe

ANNEXE 6 : ANALYSE GRANULOMETRIQUE DESSABLES

Poids De	Tamis	Poids Refus	Poids refus	Poids refus	Complément	Tamisat
<i>L'Echantillon</i>	(mm)	Partiels	Cumulés	cumulés	à 100	(%)
(g)		(g)	(g)	(%)		
	200					
	100					
	80					
	50					
	31.5					
	20					
	10	0.00	0.00	0.00	100.00	100
500	5	4.20	4.20	0.84	99.16	99
	2	35.30	39.50	7.90	92.10	92
	1	23.63	63.13	12.63	87.37	87
	0.4	20.11	83.24	16.65	83.35	83
	0.2	12.05	95.29	19.06	80.94	81
	0.1	7.09	102.38	20.48	79.52	80
	0.063	0.00	102.38	20.48	79.52	80

Annexe



COPIE Certificat
Certificate

N° 2006/27117.3

AFNOR Certification certifie que le système de management mis en place par :
AFNOR Certification certifies that the management system implemented by:

AFITEX

pour les activités suivantes :
for the following activities:

CONCEPTION ET PRODUCTION DE GEOTEXTILES ET DE PRODUITS APPARENTES
(GEOCOMPOSITES) DE DRAINAGE DANS LES DOMAINES DU TP,
DU BATIMENT ET DES OUVRAGES HYDRAULIQUES ET ACTIVITES DE NEGOCE.

**DESIGN AND MANUFACTURING OF DRAINAGE GEOTEXTILES
AND RELATED PRODUCTS (GEOCOMPOSITES) IN THE PUBLIC WORKS,
CONSTRUCTION AND HYDRAULIC STRUCTURE SECTORS. TRADE ACTIVITIES.**

a été évalué et jugé conforme aux exigences requises par :
has been assessed and found to meet the requirements of:

ISO 9001 : 2008

et est déployé sur les sites suivants :
and is developed on the following locations:

13, rue Louis Blériot FR-28300 CHAMPHOL

Ce certificat est valable à compter du (année/mois/jour)
This certificate is valid from (year/month/day)

2012-06-27

Jusqu'au
until

2015-06-26

Directrice Générale d'AFNOR Certification
Managing Director of AFNOR Certification

F. MÉAUX

Le présent certificat est délivré en vertu de la norme AFNOR CERTIFICATION N° 11001. Il est valable à compter de la date de signature de l'organisme de certification. Les données relatives à ce certificat sont disponibles sur le site internet de l'organisme de certification. AFNOR Certification est un organisme de certification indépendant et impartial. AFNOR Certification est un organisme de certification accrédité par le Comité Français de Normalisation (CFCN) sous le numéro de référence CFCN 11001.

Annexe

Projet :	N° rapport :	Rév :
Endroit :		
Echantillon n° :	Endroit de prélèvement :	
Sondage n° :	Prélevé par :	
Profondeur :	Date prélèvement :	
Matériaux :	Reçu le :	Densité des grains : 2,65
Provenance :	Date essais :	Refus à 20mm (%) :

$\gamma_d \text{ max} = 1,98 \text{ (t/m}^3\text{)}$
 $W_{opm} = 11,1 \text{ (\%)}$

MOULE

Proctor

CBR

ENERGIE

Normal

Modifié

Densité des grains

Estimée

Mesurée

TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

W (%)	6,5	8,4	10,3	11,8	14,8			
Densité (T/m3)	1,83	1,93	1,97	1,98	1,88			