



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

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

كلية العلوم والتكنولوجيا

Faculté des Sciences et de la Technologie

قسم الري والهندسة المدنية

Département Hydraulique et Génie Civile

Mémoire

Pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine:ST

Filière: Génie Civile

Spécialité: Structures

Thème :

L'influence du trois types de géotextiles sur les paramètres de cisaillement sur un mélange sable de dunes-argile de Metlili El Jadida wilaya de Ghardaïa

Déposé le : 20/06/2023

Par :

BOUKRAA Salim et HARIZI Abdessalam

Évalué Par le jury composé de :

Melle Matallah. Z

M.A.A

Univ Ghardaia

Président

Mr Aziez. Med. N

M.C.B

Univ Ghardaia

Examineur

M^{me}AZZOUZ Fatima Zohra

M.A.A

Univ Ghardaia

Encadreur

Année universitaire : 2022/2023

Sommaire

Sommaire	I
Dedicase 1	VIII
Dedicase 2	IX
Remerciements	X
Résumé	XI
Summary	XII
المخلص	XIII
LISTE DES FIGURE	XIV
LISTE DES PHOTOS	XVII
LISTE DES TABLEAUX	XVIII
Liste des Abréviations	XX
INTRODUCTION GENERALE	2

Chapitre I

I.1. Les sables de dunes :	6
I.1.1 Définition :	6
I.1.2 Mécanismes de formation et de mouvement :	7
I.1.3 Physique des dunes :	7
I.1.4 Les vents :	7
I.1.5 Les formes de sable de dune :	8
I.1.5.1 Dune parabolique :	8
I.1.5.2 Dunes transversales :	8
I.1.5.3 Dunes linéaires :	9
I.1.5.4 Dunes étoilées :	9
I.1.5.5 Dunes de Barkha (Croissant de dunes) :	9
I.1.6 Classification supplémentaire des dunes de sable :	10
I.1.6.1 Dunes de dos de baleine :	10
I.1.6.2 Crêtes barchanoides :	10

I.1.6.3 Dunes de Seif :	10
I.1.6.4 Dunes du dôme :	10
I.1.6.5 Dunes inversées :	10
I.1.7 Propriétés des sables de dune :	11
I.1.8 Les aspects économiques :	13
I.1.9 Les intérêts techniques :	13
I.1.10 Utilisation du sable de dunes :	13
I.1.10.1 Utilisation du sable de dunes le domaine de génie civil :	13
I.1.10.1.1 : Construction de routes et de voies ferrées :	13
I.1.10.1.2 : Construction de bâtiments :	13
I.1.10.1.3 : Filtres de traitement d'eau :	13
I.1.10.1.4 : Sports et loisirs :	13
I.1.10.2 Utilisation du sable de dunes dans le béton :	14
I.1.10.3 Utilisation du sable de dunes dans le domaine routier :	14
I.1.10.4 Diverses utilisations :	15
I.2. Situation géographique de la plate - forme saharienne :	15
I.2.1 Situation Géographique de la wilaya :	17
I.2.2 Les coordonnées de la wilaya de Ghardaïa	17
I.2.3 Le climat de la wilaya :	17
I.2.4 Contexte Géologique :	17
I.3. Les sols fins :	19
I.3.1 Composition minéralogique des sols fins :	20
I.3.1.1 Les minéraux primaires :	20
I.3.1.2 Les minéraux secondaires :	20
I.3.2 Principaux Problèmes des Sols Fins :	21
I.3.2.1 Phénomène de Gonflement :	21
I.3.2.3 Glissements :	21
I.3.2.2 Tassements :	21
I.3.3 Conséquences Enregistrées	22
I.3.4 Cas des Chaussées :	22
I.4. Généralités sur les argiles :	22
I.4.1 Définition des argiles :	22

I.4.2 Formation des argiles :	23
I.4.3 Structures cristallines fondamentales des minéraux argileux :	23
I.4.3.1 La structure fondamentale tétraédrique :	24
I.4.3.2 La structure fondamentale octaédrique :	24
I.4.4 Structure moléculaire des argiles :	25
I.4.5 Les types de minéraux argileux :	25
I.4.5.1 La kaolinite :	26
I.4.5.1.1 Origine :	26
I.4.5.1.2 Groupe des kaolinites :	27
I.4.5.1.3 Propriétés :	27
I.4.5.1.4 Champ d'application du kaolin :	28
I.4.5.2 L'illite :	29
I.4.5.2.1 Origine :	29
I.4.5.2.2 Propriétés :	30
I.4.5.2.3 Champ d'application de de l'illite :	30
I.4.5.3 La montmorillonite :	31
I.4.5.3.1 Origine :	31
I.4.5.3.2 Propriétés	31
I.4.5.3.3 Champ d'application de la montmorillonite :	32
I.4.5.4 Les minéraux argileux et le système argile – eau :	33
I.4.5.5 Caractéristique physique des argiles :	33
I.4.5.5.1 Paramètres d'état :	33
I.4.5.5.2 Paramètres de nature :	34
I.4.5.6 Caractéristiques mécanique des argiles :	34
I.4.5.7 Caractéristique hydraulique des argiles :	34
I.4.5.8 Propriétés des argiles :	35
I.4.5.8.1 La capacité d'échange cationique :	35
I.4.5.8.2 La surface spécifique :	35
I.4.5.8.3 Propriété de gonflement :	36
I.4.5.8.3.1 Mécanismes de gonflement des argiles :	37
I.4.5.8.3.2 Les mesures de protection générales :	38
I.5. Cohésion du sol :	39
I.5.1 Différence entre les sols cohésifs et non cohésifs :	40

I .5.2 La relation entre l'argile et le degré de cohésion du sol:	41
I.5.3 Différences de cohérence :	42
I.5.4 les facteurs qui font évoluer la cohésion du sol	43
I.5.5 les avantages de rendre le sol cohérent :	43
I.5.6 Mesure de la cohésion du sol :	44
I.6. Essai de cisaillement direct :	45
I.6.1 Définition :	45
I.6.2 But de l'essai :	45
I.6.3 L'angle de frottement « ϕ » :	45
I.6.4 La cohésion « C » :	46
I.6.5 Appareil de cisaillement direct :	46
I.6.5.1 Types d'essais :	47
I.6.6 Relation entre la cohésion et la résistance au cisaillement :	47
I.6.7 L'effet des forces cohésives sur les études menées sur les routes:	48
I.6.7.1 Répartition de la forcé statique et dynamique sur la chaussée :	48
I.6.8 Appareillage :	49
I.7. Utilisation du mélange sable et argiles dans le domaine géotechnique :	50
I.7.1 Les avantages du mélange de sable et d'argile :	51
I.8. Classification des sols :	52
I.8.1 But de la classification :	52
I.8.2 Nombreuses classifications dans différents pays :	52
I.8.3 La classification L.C.P.C :	52
I.8.4 La Classification U.S.C.S :	54
I.8.5 Classification des sols selon la nomenclature GTR :	55
I.8.6 Autre type de classification :	57
I.8.6.1 La Technique Routière Saharienne (TRS) :	57
I.8.6.2 Le Contrôle Technique des Travaux Publics (CTTP) :	57
I.9. Etudes antérieurs :	58
I.10. Conclusion :	61

Chapitre II

II.1. Notion sur la terre renforcée :	63
II.1. Introduction sur géosynthétique :	64
II.2. Autre définition :	65
II.3. Les fonctions en général :	65
II 4. Les fonctions élémentaires des géotextiles bien détaillée :	66
II.4.1 La séparation :	66
II.4.2 La filtration :	67
II.4.3 Le drainage :	68
II.4.4 Le renforcement :	70
II.4.5 La protection :	71
II.4.6 La lutte contre l'érosion :	71
II.5. La structure des géotextiles :	73
II.5.1 Géotextiles tissés :	74
II.5.2 Géotextiles non – tissés :	74
II.5.3 Géotextiles tricoté :	75
II.6. Propriétés des géosynthétiques :	75
II.6.1 Les avantages des géosynthétiques y compris le géotextile :	76
II.6.2 Les facteurs affects sur les géosynthétiques y compris le géotextile :	76
II.7. Effet des géotextiles sur le sol par rapport à la cohésion :	77
II.8. Recommandations pour la mise en œuvre des géotextiles :	77
II.9. Études antérieures :	79
II.10. Conclusion :	82

Chapitre III

III.1. Localisation des sites:	84
III.2. Essais d'identification :	85
III.2.1 Identification et classification d'argile de Metlili El Jadida :	86
III.2.1.1 Analyse chimique :	86
III.2.1.2 Analyse granulométrique :	87
III.2.1.3 Limitesd'atterberg :	89

III.2.1.4 Activité des argiles :	90
III.2.1.5 Teneur en carbonate de calcium :	91
III.2.1.6 Essais Bleu Méthylène (NF P 94-068) :	92
III.2.2 Identification et classification de sable de Sebseb :	94
III.2.2.1 Analyse chimique :	94
III.2.2.2 Analyse granulométrique :	95
III.2.2.3 Equivalent de sable :	96
III.2.2.4 Essais Bleu Méthylène :	97
III.3. Classification final des sols :	97
III.4. Conclusion :	100

Chapitre IV

IV.1. Plan De Travail :	103
IV.2. Essai de Proctor :	104
IV.2.1 La procédure de l'essai de Proctor est la suivante :	105
IV.2.2 Proctor modifié PM :	105
IV.3. Géotextiles à utiliser :	107
IV.3.1 Le premier Géotextile :	107
IV.3.2 Le deuxième Géotextile :	107
IV.3.3 Le troisième Géotextile :	108
IV.4. Procédure expérimentale	109
IV.5. Préparation de l'essai :	109
IV.5.1 Préparation de l'échantillon :	109
IV.5.2 Mise en place de la boîte sur la machine de cisaillement :	111
IV.5.3 Calculs et résultats :	112
IV.5.4 Essai non consolidé- non drainé :	113
IV.5.5 Essai consolidé non drainé :	113
IV.6. Discussion et comparaison :	114
IV.6.1 Type 01 : Consolidé non drainé (CU) :	114
IV.6.1.1 (CU) avec géotextile 01 (Le géotextile renforcé par des fils) :	114
IV.6.1.2 (CU) avec géotextile 02 (GOE PP TC 300 non tissé) :	115

IV.6.1.3 (CU) avec géotextile 03 (AS30 non tissé) :	116
IV.6.1.4 (CU) sans géotextile :	117
IV.6.1.2 Type 02 : Non consolidé non drainé (UU) :	118
IV.6.2.1 (UU) avec géotextile 01 (Le géotextile renforcé par des fils) :	118
IV.6.2.2 (UU) avec géotextile 02 (GOE PP TC 300 non tissé) :	119
IV.6.2.3 (UU) avec géotextile 03 (AS30 non tissé) :	120
IV.6.2.4 (UU) sans géotextile :	121
IV.6.3 Comparaisons entre échantillons :	122
IV.6.4 Comparaisons avec des études antérieures :	125
IV.7. Facteurs affectant la validité des résultats :	131
IV .7 .1 : Une analyse approfondie basée sur des axiomes connus	132
IV .7 .1 .1 : Différenciation des diamètres des particules	132
IV .7 .1 .2 : Diminution des valeurs de cohésion ...	133
IV.8. Future aspirations	135
IV.9. Conclusion :	135
.. Conclusion général :	137
.. Références Bibliographiques :	140

A decorative border with intricate floral and scrollwork patterns in black ink, framing the entire page. The border is composed of repeating motifs of flowers, leaves, and scrolls, creating a classic and elegant frame.

DEDICASE

Je dédie ce modeste travail
A la mémoire de mon père

À toute ma grande famille, en particulier ma mère, mon frère
et mes sœurs.

Et spécialement pour ma petite famille, ma femme et mes
petites-filles
Et mes amis

Salim



DEDICASE

Je dédie ce modeste travail

À toute ma grande famille, en particulier mon père, ma mère,
mon frère et mes sœurs.

Et mes amis

Abdessalam

Remerciements

Il est primordial de remercier « **ALLAH EL KARIM** » de nous avoir donné le Courage, la patience et la santé qui nous ont été utiles tout au long de notre parcours pour réaliser ce modeste travail.

*Ne nous remercions notre encadreur Mme **AZZOUZ F. Z***

Sa bienveillance, sa patience et sa flexibilité ont été d'un grand secours pour nous permettre d'avancer dans le travail malgré les difficultés que nous avons rencontrées. Nous sommes également reconnaissants pour toutes les ressources qu'elle a mises à notre disposition ainsi que son temps précieux consacré aux discussions fructueuses qui ont enrichi nos connaissances sur le travail.

Nous tenons à exprimer notre plus profonde gratitude envers nos éminents professeurs du département de Génie Civil qui ont été des guides précieux tout au long de notre parcours universitaire.

Leur expérience et leur savoir-faire nous ont permis d'acquérir une solide base théorique, mais aussi pratique, nécessaire pour réaliser ce travail.

Ne nous remercions l'ensemble de personnel de LTPS pour leur soutien durant l'élaboration.

Enfin, nos pensées à tous ceux qui nous ont aidé de près ou de loin pour la réalisation de ce modeste travail.

Résumé

Ce travail fait partie de l'exploitation des matériaux locaux de la région de Ghardaïa (sud de l'Algérie) dans le but de les utiliser dans des projets d'ingénierie civile, en particulier pour les routes. Il est connu que la région regorge d'une quantité considérable de sable de dune et d'argile, ce qui nous pousse à chercher à les exploiter. Ensuite, une série d'essais préliminaires sur les matériaux utilisés et un ensemble d'essais directeurs ont été effectués pour déterminer les caractéristiques mécaniques du mélange sable-argile après leur mélange à 70 % de sable de dune et 30 % d'argile.

Pour obtenir plus cohésion, nous avons ajouté trois types de géotextile au mélange. Les résultats ont montré une augmentation significative des angles internes flottants rapprochés et une augmentation notable des valeurs adhésives pour un échantillon du sable de dune après son mélange avec l'argile. Par conséquent, il y a eu une augmentation résistance aux contraintes tangentiels générées par des charges externes ainsi qu'une variation dans les résultats des valeurs adhésives pour les échantillons additionnés avec différents types de géotextile au sol selon deux modèles expérimentaux le premier cisaillement consolidé non drainée CU .la deuxième non consolidé non drainée. UU

Enfin, nous avons vérifié l'efficacité du mélange des matériaux entre eux afin qu'ils se complètent mutuellement pour donner lieu à une alternative économique à d'autres matériaux ayant une utilisation principale, tout en ayant un impact similaire à celui-ci. Cela devrait être une priorité pour l'avenir.

Mots clés : sable, argile, mélange optimal, géotextiles, essais de cisaillements direct

Summary :

This work is part of the exploitation of local materials in the Ghardaia region (south of Algeria) with the aim of using them in civil engineering projects, particularly for roads. It is known that the region has a considerable amount of dune sand and clay, which motivates us to seek their exploitation. Then, a series of preliminary tests on the materials used and a set of leading tests were carried out to determine the mechanical characteristics of the sand-clay mixture after mixing it at 70% dune sand and 30% clay. To obtain more cohesion, we added three types of geotextile to the mixture. The results showed a significant increase in close internal floating angles and a notable increase in adhesive values for one sample from dune sand after mixing it with clay. Consequently, there was an increase in resistance to tangential stresses generated by external loads as well as variation in adhesive value results for samples added with different types of geotextiles on soil according to two experimental models: first consolidated undrained shear CU; second unconsolidated undrained UU. Finally, we checked the effectiveness of mixing materials together so that they complement each other to give rise to an economic alternative to other primary use materials while having similar impact. This should be a priority for future work.

Keywords: sand, clay, optimum mixing, geotextile, direct shear tests

الملخص :

هذا العمل هو جزء من استغلال المواد المحلية من منطقة غرداية (جنوب الجزائر) بهدف استخدامها في مشاريع الهندسة المدنية و بشكل خاص الطرقات حيث من المعلوم أن المنطقة تزخر بكمية هائلة من الرمل والطين مما يجعلنا نحاول إستغلالها . ثم القيام باجراء سلسلة من التجارب التمهيدية للمواد المستعملة ومجموعة من تجارب القص المباشر التي صبت في تحديد الخصائص الميكانيكية لمزيج الرمل والطين بعد خلطهما معا بنسبة 70 بالمائة رمل كثبان و 30 بالمائة طين . ومن أجل الحصول أكثر على تماسك قمنا بإضافة 3 أنواع من التكسية الأرضية

أظهرت النتائج زيادة تقارب شبه كبير في زوايا الإحتكاك الداخلي وزيادة ملحوظة في قيمة قوة التماسك لعينة من رمل الكثبان بعد مزجه بالطين بالتالي ارتفاع قوة المقاومة لإجهادات القص المتولدة من الأحمال الخارجية و تفاوت في نتائج قيم التماسك لعينات مضاف لها تكسية أرضية بأنواعها الثلاث على صعيد نمطين من تجربة القص .المضغوطة غير مصرفة. و .غير مضغوطة وغير مصرفة . و ثم تحصيل نتائج لدراسات سابقة على مواد من نفس المنطقة حيث تم بناء مقارنات و تحاليل مع النتائج المحصل عليها من تجاربنا

أخيرا ثم التأكد من فاعلية مزج المواد مع بعضها لتتكامل فيما بينها لتعطي بديلا لمواد أخرى ذات استعمال رئيسي لتكون ذات تكلفة اقتصادية أقل و تأثير مماثل لحد ما وهو ما يستحب التركيز عليه مستقبلا .

الكلمات المفتاحية : الرمل ، الطين ، الخليط الامثل ، التكسية الأرضية ، اختبار القص المباشر

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I.1 : la dune de Sahara algérienne [31].	6
Figure I.2 : la dune de Sahara [31].	6
Figure I.3 : Vitesse du vent provoquant le transport des sols en fonction de la taille des [03].	8
Figure I.4 : Approche géomorphologique [31].	11
Figure I.5 : Autre approche géomorphologique [31].	11
Figure I.6 : Images binoculaires de grains de sable de dunes [05].	12
Figure I.7 : des unités structurales d'Afrique du Nord [39].	16
Figure I.8 : Localisation de Ghardaïa Sur la carte algérienne [33].	17
Figure I.9 : Classification générale des minéraux argileux [39].	24
Figure I.10 : Structure cristallographique du chlorite [13].	25
Figure I.11 : Microstructure de La kaolinite [11].	26
Figure I.12 : Microstructure de L'illite [11].	26
Figure I.13 : Microstructure de La montmorillonite [12].	26
Figure I.14 : Courbe de gonflement en fonction du temps [35].	37
Figure I.15 : Le risque lié au phénomène retrait - gonflement des sols argileux [49].	38
Figure I.16 : Illustration des sols cohésifs et non cohésifs, avec classification [37].	40
Figure I.17 : Boite de cisaillement [25].	46
Figure I.18 : Boite de cisaillement deux formes [25].	46
Figure I.19: Répartition de la forcé statique et dynamique sur la chaussée [37].	49
Figure I.20 : Diverses pièces de l'appareil de cisaillement [31].	49

Chapitre II

Figure II.1 : Filières géosynthétiques [24].	64
Figure II.2 : Réalisation d'opérations de couverture géotextile [39].	65
Figure II.3 : Principales fonctions des géotextiles [27].	66
Figure II.4 : dessin approximatif pour la fonction de séparation [41].	67
Figure II.5 : dessin approximatif pour la fonction de filtration [41].	68
Figure II.6 : dessin approximatif pour la fonction de drainage [41].	69
Figure II.7 : dessin approximatif pour la fonction de renforcement [41].	70
Figure II.8 : dessin approximatif pour la fonction de protection [41].	71
Figure II.9 : dessin approximatif pour la fonction La lutte contre l'érosion [31].	72
Figure II.10 : différents structures des géotextiles [39].	74
Figure II.11 Au moment de décharger [39].	78
Figure II.12 Passage d'un compacteur le camion [39].	78

Chapitre III

Figure III.1 : massif du site Metlil el Jadida [44].	84
Figure III.2 : Sable de dune du site Sebseb [44].	84
Figure III.3 Courbe granulométrique de l'argile de Metlil el Jadida	88
Figure III.4 : classification suivant le diamètre des grains du sol [59].	88
Figure III.5 : Classification d'argile étudié selon l'abaque de Casagrande [44].	90
Figure III.6 : Le cas positif et négatif de l'essai de bleu de méthylène	93
Figure III.7 : courbe granulométrie de sable de dune	95
Figure III.8 : Expliquer le principe du calcul de l'équivalent de sable [37].	96
Figure III.9 : Classification des sols fins selon GTR [32].	99

Chapitre IV

Figure IV.1 : La courbe graphique de laissé Proctor modifier	106
Figure IV.2 : Clarification de la méthode de calcul et des types de cisaillements	112
Figure IV.3 : Graphe (CU) avec géotextile 01	114
Figure IV.4 : Graphe (CU) avec géotextile 02	115
Figure IV.5 : Graphe (CU) avec géotextile 03	116
Figure IV.6 : Graphe (CU) sans géotextile	117
Figure IV.7 : Graphe (UU) avec géotextile 01	118
Figure IV.8 : Graphe (UU) avec géotextile 02	119
Figure IV.9 : Graphe (UU) avec géotextile 03	120
Figure IV.10 : Graphe (UU) sans géotextile	121
Figure IV.11 : Les rapports des cohésions et les différences entre elles (UU)	122
Figure IV.12 : Les rapports des cohésions et les différences entre elles (CU)	123
Figure IV.13 : Les rapports des cohésions et les différences entre elles (CU vs UU)	123
Figure IV.14 : Différents niveaux de valeurs d'angle de frottement pour toutes les expériences	124
Figure IV.15 : Les variations des forces de cisaillement pour différentes expériences	125
Figure IV.16 : La localisation et La distance entre les deux régions	126
Figure IV.17 : Graphe (UU) sans géotextile - sable de dune 100%	127
Figure IV.18 : Les rapports des cohésions et les différences entre elles (UU)	127
Figure IV.19 : Les rapports des cohésions et les différences entre elles (CU) sans géotextile.	130
Figure IV.20 : Les rapports des cohésions et les différences entre elles (UU) sans géotextile.	130

LISTE DES PHOTOS

Chapitre III

Photo III.1 : Localisation de la carrière étudiée site Sebseb	85
Photo III.2 : Localisation de la carrière étudiée site Metlil El-Jadida	85
Photo III.3 : Travail sur l'expérience avec l'équipe du laboratoire	89
Photo III.4 : L'échantillon sur lequel l'expérience a échoué	100

Chapitre IV

Photo IV.1 : Le Mélange Optimum (Sable de dune + Argile)	102
Photo IV.2 : Une image montrant l'appareil Proctor utilisé et quelques autres outils	104
Photo IV.3 : Le géotextile renforcé par des fils	107
Photo IV.4 : GOE PP TC 300 non tissé	107
Photo IV.5 : Le géotextile AS30 non tissé	108
Photo IV.6 : Des Étapes pour préparer la boîte circulaire et l'échantillon	110
Photo IV.7 : L'appareil de cisaillement utilisé dans notre étude	110
Photo IV.8 : Échantillons extraits après la fin du processus	111
Photo IV.9 : la Différence notable dans les diamètres des composants du mélange	133
Photo IV.10 : les Possibilités d'entrée d'eau dans l'échantillon	134

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre I

Tableau I.1 : La coupe lithologique de forage	19
Tableau I.2 : Surface spécifique des particules argileuses	36
Tableau I.3 : Valeurs indicatives de la cohésion non drainée pour les argiles	42
Tableau I.4 : Classification des sols grenus (selon L.C.P.C)	53
Tableau I.5 : Classification des sols (selon U.S.C.S)	54
Tableau I.6 : Expériences mécaniques pour les sols et les roches	56
Tableau I.7 : Classification des sols Selon la nomenclature GTR	56

Chapitre II

Tableau II.1 : Propriétés des géotextiles	73
Tableau II.2 : Caractéristiques de quelques géosynthétiques	75

Chapitre III

Tableau III.1 : Types d'expériences travailler	86
Tableau III.2 : Les résultats de l'analyse chimique	87
Tableau III.3 : Résultats extraits de la Courbe granulométrique d'argile	88
Tableau III.4 : les valeurs de la limite Atterberg	89
Tableau III.5 : La classification par CaCO₃ de quelques sols	92
Tableau III.6 : La valeur de bleu de méthylène de quelques sols	94
Tableau III.7 : Valeur de bleu l'argile	94
Tableau III.8 : Analyse chimique du sable de dune étudié	94
Tableau III.9 : Résultats extraits de la Courbe granulométrique du sable	95
Tableau III.10 : résultat de l'équivalent de sable	96
Tableau III.11 : Valeur de bleu pour sable	97
Tableau III.12 : Les résultats des expériences pour les matériaux utilisés	98
Tableau III.13 : Classification USCS des sols grenus	98

Chapitre IV

Tableau IV.1 : Caractéristiques optimales de Proctor PM	106
Tableau IV.2 : Tableau avec des informations techniques (TC 300)	108
Tableau IV.3 : Tableau avec des informations techniques (AS 30)	109
Tableau IV.4 : Résultats de l'expérience (CU) avec géotextile 01	114
Tableau IV.5 : Résultats de l'expérience (CU) avec géotextile 02	115
Tableau IV.6 : Résultats de l'expérience (CU) avec géotextile 03	116
Tableau IV.7 : Résultats de l'expérience (CU) sans géotextile	117
Tableau IV.8 : Résultats de l'expérience (UU) avec géotextile	118
Tableau IV.9 : Résultats de l'expérience (UU) avec géotextile	119
Tableau IV.10 : Résultats de l'expérience (UU) avec géotextile	120
Tableau IV.11 : Résultats de l'expérience (UU) sans géotextile	121
Tableau IV.12 : Tableau rassemble toutes les données présidentes	122
Tableau IV.13 : Résultats de l'expérience (UU) sans géotextile	127
Tableau IV.14 : Tableau montrant des comparaisons de résultats	129

Liste des Abréviations

WL	Limite de liquidité.
WP	Limite de plasticité.
N	Number de coups
IP	Indice de plasticité.
ω	Teneur en eau initiale.
A₁	Activité d'argile .
V_B	Valeur de bleu.
SST	Surface spécifique totale.
CaCO₃	Teneur en carbonate de calcium.
ES	Equivalent de sable.
Cc	Coefficient de courbure.
Cu	Coefficient d'uniformité.
γ_d	Poids volumique sec.
γ_d max	Poids volumique maximal.
σ	Contrainte normal.
τ	Contrainte de cisellement.
ω_{OPM}	Teneur en eau optimal
T	La force de cisaillement
C₂	Tamis at à (2mm) %
Dmax	Diamètre maximal
N	Force de confinement (normal)
CU	consolidé - non drainé
UU	Non consolidé - non drainé
SB	Sable propre bien gradué selon classification LCPC
TRS	Technique routier saharienne
LCPC	Laboratoire central des ponts et chaussées.
GTR	Guide des terrassement routier
USCS	United soil classification system
CTTP	Control technique des travaux publics
LTPS	Laboratoire travaux public de sud
C_c	Indice de compression
e₀	indice de vide

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Le réseau routier est considéré comme l'un des éléments les plus importants du patrimoine public dans la plupart des pays. La construction de routes, d'autoroutes et de pistes d'aéroport est essentielle pour améliorer les échanges commerciaux et dynamiser les régions. Les administrations routières sont responsables de l'entretien, de l'amélioration et du remplacement des infrastructures existantes tout en gérant efficacement leurs ressources financières et humaines limitées. [37].

Les ingénieurs routiers sont confrontés à plusieurs problèmes lorsqu'ils conçoivent ces infrastructures, notamment la disponibilité limitée ou inadéquate de matériaux locaux appropriés pour la construction. Cela entraîne souvent une augmentation significative du coût global du projet car il faut soit importer un matériau adapté au site ou bien améliorer les matériaux locaux existants. La construction routière dans les environnements désertiques présente également ses propres défis particuliers qui nécessitent une attention accrue. En effet, ces zones ont historiquement été parmi les plus démunies au monde en raison des conditions climatiques difficiles et d'une absence quasi-totale de ressources naturelles disponibles en surface. Toutefois, grâce aux investissements récents dans cette région ainsi qu'à une meilleure compréhension des caractéristiques géologiques locales, nous avons commencé à explorer davantage ces zones afin d'y développer divers projets d'infrastructures indispensables pour le développement économique à long terme. [34].

Dans ce travail, nous cherchons à valoriser les matériaux locaux en explorant la possibilité d'utiliser le sable de dune de la zone de Sebseb avec l'ajout d'une quantité optimale de 30% d'argile provenant de la zone Metlili El-jadida

Nous allons également examiner l'utilisation des géotextiles dans notre étude car leur présence peut améliorer considérablement la résistance à la cohésion du sol. Nous avons sélectionné trois types différents de géotextiles qui sont disponibles dans la région afin que nos tests soient plus représentatifs des conditions locales. Et la problématique que nous avons ici est la suivante :

- Le mélange optimal peut-il remplacer les matériaux impliqués dans la formation des chaussées ?
- L'ajout de géotextiles au mélange améliore-t-il ses propriétés mécaniques ?
- Quelle est l'ampleur du changement dans l'amélioration des propriétés mécaniques du mélange lors de l'utilisation de différents types de géotextiles ?

Au cours des quatre chapitres successifs, nous décrirons en détail les résultats obtenus lors des différentes phases des expériences menées sur le mélange sable-argile-géotextile. Cette étude vise à fournir aux ingénieurs routiers une meilleure compréhension des propriétés mécaniques et structurales associées à ces matériaux locaux ainsi qu'à mieux comprendre comment ils peuvent être utilisés efficacement pour construire des routes durables et économiquement rentables tout en minimisant leur impact environnemental négatif.

L'étude présente quatre chapitres différents.

➤ **Le chapitre 1 :** donne une généralité sur les matériaux locaux, le sable des dunes avec un peu de détail, puis l'argile riche en informations, sans oublier les sols fins et ses caractéristiques, puis nous avons passé en revue les systèmes de classification utilisés dans la classification des sols, et enfin les études réalisées et utilisées pour les matériaux locaux avec le mélange optimal et sur tout ce qui concerne notre étude de l'information multi-sources des bibliothèques.

➤ **Le chapitre 2 :** dans ce chapitre, nous avons spécifiquement traité des informations relatives aux géotextiles, en partant des définitions, puis des caractéristiques, puis des types et des utilisations, à l'aide d'images et de tableaux

illustratifs, et enfin des études au niveau national liées au rôle effectif des géotextiles dans le domaine de la génie civil et travaux publics.

➤ **Le chapitre 3** : Dans ce chapitre, nous aborderons le côté pratique en menant des essais d'identification sur nos matériaux de sable et d'argile, en détaillant leurs propriétés physiques et chimiques, et en les classant dans les tableaux de classification approuvés localement.

➤ **Le chapitre 4** : Dans ce chapitre, nous allons mener des expériences de cisaillement de différents types pour différents échantillons, extraire les propriétés mécaniques, faire des comparaisons et dessiner des courbes graphiques et des tableaux, après nous tirerons des conclusions et des analyses basées sur des faits, des valeurs.

Chapitre I

SYNTHESE

BIBLIOGRAPHIQUE

Introduction :

Dans ce chapitre, nous fournirons une explication détaillée sur les sols fins, en nous concentrant sur le sable des dunes, l'argile et le mélange entre eux. Nous fournirons également une explication sur certaines propriétés mécaniques et physiques importantes pour notre étude, et nous mentionnerons la zone d'où l'on extrait les échantillons et leurs caractéristiques géographiques et géologiques.

Nous ferons également référence à l'expérience de cisaillement, qui est la base sur laquelle nous nous sommes appuyés pour extraire les résultats et les analyser plus tard dans le quatrième chapitre

I.1. Les sables de dunes :

I.1.1 Définition :

Une dune est une forme de relief ou un modelé constitué d'un amas de sable accumulé sur une largeur plus ou moins grande et une pente généralement assez élevée, sous l'action des vents (dune littorale, bordière ou côtière, d'une désertique ou continentale).

Le sable des dunes est le résultat d'une érosion et d'une sédimentation des différentes roches suivie d'un transport fluvial et parfois éolien. La plus grande partie des formations sableuses est généralement constituée de quartz. Il est caractérisé par une granulométrie fine. Dans une autre signification le sable de dune qui s'impose du fait de son abondance dans la nature (le désert), de son coût d'extraction presque nul, et de sa propriété apparente, constitue la solution au problème d'épuisement des ressources naturelles et se présente comme un matériau d'avenir.



Figure I.1 : la dune de Sahara algérienne ***Figure I.2 :*** la dune de Sahara [31].

I.1.2 Mécanismes de formation et de mouvement :

Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation (désert, plage, lit fluvial à l'étiage). Le sable est érodé et pris en charge par le vent (déflation). Il est transporté aux ras du sol par saltation, puis s'accumule quand la compétence du vent chute (versant sous le vent). Une dune peut se déplacer par érosion du versant au vent et accumulation sur le versant opposé. [01].

I.1.3 Physique des dunes:

Par des photos ou des images de télévision on peut voir que, les étendues majestueuses de dunes ressemblant à une mer de sable dans le désert. Leurs formes répétitives modelées par le vent couvrent d'immenses surfaces et leurs déplacements menacent aussi bien les zones de cultures que les routes ou même les villes. Malgré cela, le mouvement des dunes était encore très mal compris.

I.1.4 Les vents :

Sont souvent violents et permettent l'accélération de la désagrégation et le transport de ses produits. Ils provoquent ainsi « l'érosion », connue aussi sous l'appellation (d'érosion éolienne)

Le nombre de jours de vent de sable varie de 2 à 7 j/mois. Les vents les plus forts ont lieu au début du printemps (durant les mois de mars et avril). La période la plus calme se situe aux mois d'octobre et novembre. Les vents, selon leur vitesse, peuvent mettre en mouvement et transporter les sols. La *figure 1.3* montre la vitesse de transport de certains matériaux en fonction du diamètre des particules. Les particules les plus sensibles au déplacement par le vent sont celles ayant un diamètre de 0,08 à 0,2 mm Les particules les plus grosses sont lourdes et donc plus résistantes au mouvement et les plus fines présentent une certaine cohésion qui freine leur déplacement. [03].

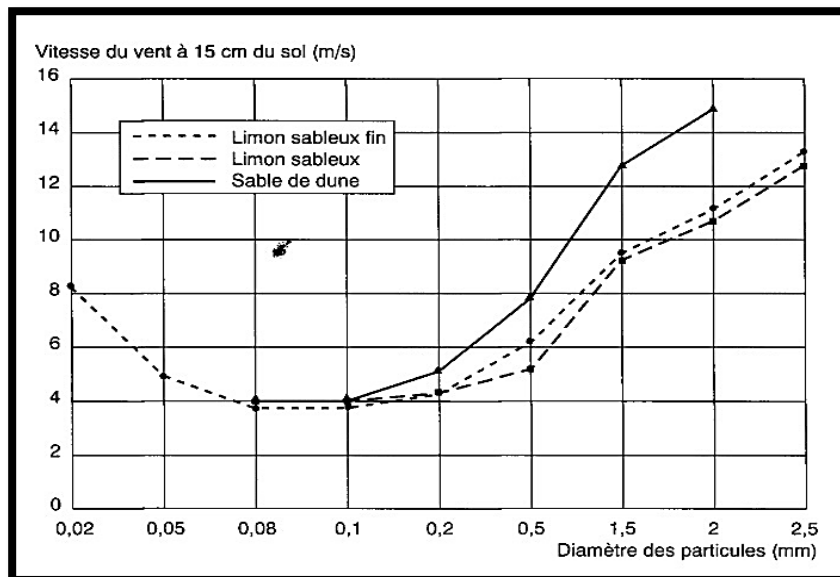


Figure I.3 : Vitesse du vent provoquant le transport des sols en fonction de la taille des particules [03].

I.1.5 Les formes de sable de dune:

Quand le vent souffle sur une surface de sable, des dunes se forment dès lors que les grains sont transportés. Les dunes, appelés aussi mers de sable, offrent un paysage similaire à une mer mouvementée. Cependant, l'analogie avec les vagues s'arrête là. Contrairement aux vagues, les dunes persistent quand le vent s'arrête de souffler

I.1.5.1 Dune parabolique :

Une dune parabolique ressemble à une barkhane en forme, pourtant c'est tout le contraire. Les pointes de la dune face au vent, tandis que le corps principal de la dune se déplace avec le vent, formant une dépression entre les pointes. Les dunes soufflantes sont parfois appelées dunes paraboliques en raison de cette structure.

Lorsque la végétation stabilise les sédiments et qu'une éruption en forme de U se forme entre les grappes de plantes, ces dunes surgissent. [32].

I.1.5.2 Dunes transversales :

Les dunes transversales sont longues, dunes asymétriques qui poussent perpendiculairement à la direction du vent. Ils se forment quand il y a beaucoup de sable et que les vents ne sont pas trop forts.

Ces dunes ont un seul, face de glissement fortement inclinée. A grande échelle, un groupe de dunes transversales ressemble à des ondulations de sable.

I.1.5.3 Dunes linéaires :

Un dune linéaire (ou dune longitudinale) se produit lorsqu'il y a beaucoup de sable et que de forts vents latéraux soufflent d'au moins deux directions, forcer le sable en longues lignes ou crêtes.

Les crêtes ou les sommets des dunes linéaires sont souvent droits ou légèrement incurvés, avec des faces antidérapantes des deux côtés. Les dunes linéaires peuvent être aussi hautes que 655 pieds (200 mètres) et tant que 62 milles (103 kilomètres). [32].

I.1.5.4 Dunes étoilées :

Trois ou plusieurs crêtes sinueuses rayonnent à partir d'un pic de sable central dans ce qui fait un pyramidal ou dune en étoile. Là où il y a assez de sable et de fortes brises de toutes les directions, une dune étoilée se forme.

Il y a trois faces de glissement ou plus sur cette dune. Il se développe vers le haut plutôt que de se déplacer le long du sol. Les dunes les plus grandes et les plus hautes sont les dunes étoilées.

I.1.5.5 Dunes de Barkha (Croissant de dunes) :

C'est la forme traditionnelle des dunes: vu d'en haut, Les dunes de Barkha ressemblent à des croissants de lune, avec convexe (vers l'extérieur) dos et raide, concave (vers l'intérieur) visages. Les pointes ou les ailes incurvées du croissant pointent sous le vent, renfermant partiellement une seule face coulissante.

Les barkhanes apparaissent lorsqu'il y a une quantité limitée de sable, terrain assez plat, et un flux de vent constant d'une direction. Une dune de barkhane peut atteindre la hauteur d'un gratte-ciel à plusieurs étages.

I.1.6 Classification supplémentaire des dunes de sable :

I.1.6.1 Dunes de dos de baleine :

Dunes lisses et étendues, ressemblant au dos d'une baleine, et sont générés par le passage d'une série de dunes longitudinales le long du même cours. Une digue de sable est un autre nom pour cela.

I.1.6.2 Crêtes barchanoïdes :

Une crête barchanoïde se compose de plusieurs dunes barchaniques jointes et ressemble à une rangée de croissants connectés.

Chacune des dunes barchaniques produit une vague dans la crête barchanoïde. Se produit lorsque l'apport de sable est plus important que dans les conditions qui créent une dune de barkhane.

I.1.6.3 Dunes de Seif :

Sous-type de dunes longitudinales plus courtes et présentant une crête plus sinueuse.

I.1.6.4 Dunes du dôme :

Formations de dunes de forme circulaire ou elliptique sans faces glissantes. Peut être formé par la modification de barkhanes stationnaires.

I.1.6.5 Dunes inversées :

Dunes qui se situent entre la forme d'une étoile et une dune transversale. Leur faitage est asymétrique et présente deux faces de glissement, causé par des vents qui inversent la direction.

Ces différentes formes de dunes de sable peuvent également être combinées pour créer des paysages plus complexes de dunes de sable, qui offrent des habitats uniques pour diverses espèces animales et végétales adaptées aux conditions arides et venteuses des déserts. [32].

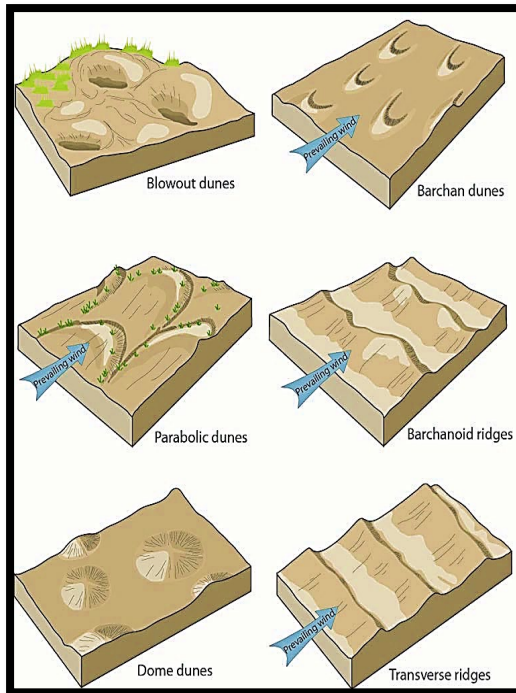


Figure 1.4: Approche géomorphologique géomorphologique [31].

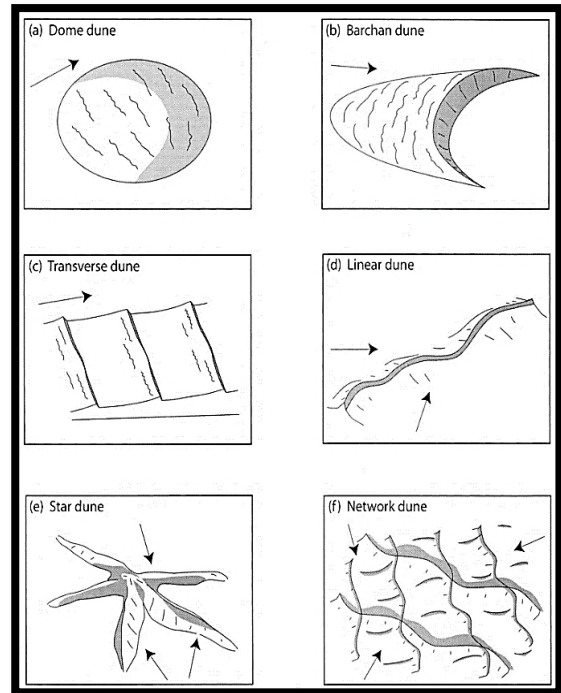


Figure 1.5: Autre approche pour Les formes de sable de dune [31].

I.1.7 Propriétés des sables de dune :

Le sable forme naturellement des pentes stables jusqu'à environ 30° , au-delà de cet angle, il s'écoule par avalanches successives pour retrouver cette pente stable. Cette propriété peut être exploitée pour étudier des formes parfaites générées par l'écoulement du sable sur des plaques de formes différentes.

Par exemple, en faisant couler du sable sur un socle de forme carrée, le sable va former une pyramide parfaite avec des pentes de 30° . [02].

Le sable est utilisé pour faire du béton et comme matière première du verre. Il peut être utilisé pour filtrer les liquides. Du fait de sa facilité de manipulation, il est également employé lorsque l'on a besoin d'acheminer de la matière (peu importe sa nature) dans un endroit, par exemple pour servir de lest ou pour protéger (sac de sable contre les éclats d'explosion et les balles).

Il est aussi utilisé comme abrasif dans des usines pour nettoyer des pièces métalliques. Le sable est également un élément important de l'industrie touristique, lorsqu'il est présent sur les plages et les dunes où il est également un élément indispensable à la protection de la côte.

Silice « quartz » La silice (quartz) est un composé chimique (dioxyde de silicium) et un minéral de formule SiO_2 . La silice pure se présente sous la forme d'un minéral dur et existe sous des formes variées dans la nature: [02].

Principal constituant des roches sédimentaires détritiques (sables, grès), elle représente 27% de la croûte terrestre ;

Fréquente dans les roches métamorphiques ; Fréquente dans les roches magmatiques et les roches magmatiques acides, cristallisé ou amorphe dans les roches volcaniques.

La silice se présente soit sous forme de cristaux non-moléculaires formés de motifs tétraédriques SiO_4 liés entre eux par les atomes d'oxygène de façon régulière, comme dans le quartz, soit sous forme amorphe, comme dans le verre.

La microstructure des grains de sable de dunes est également influencée par la composition chimique et minéralogique des grains de sable. Les grains de sable peuvent être composés de divers minéraux, tels que le quartz, le feldspath, le mica et la calcite. Les minéraux présents

Dans les grains de sable peuvent affecter leur résistance à l'usure et leur réactivité chimique.

En résumé, la microstructure des grains de sable de dunes est déterminée par leur forme, leur taille, leur agencement et leur composition chimique et minéralogique. Les dunes sont formées par le mouvement du vent, qui transporte des grains de sable qui s'accumulent ensuite pour former des dunes.

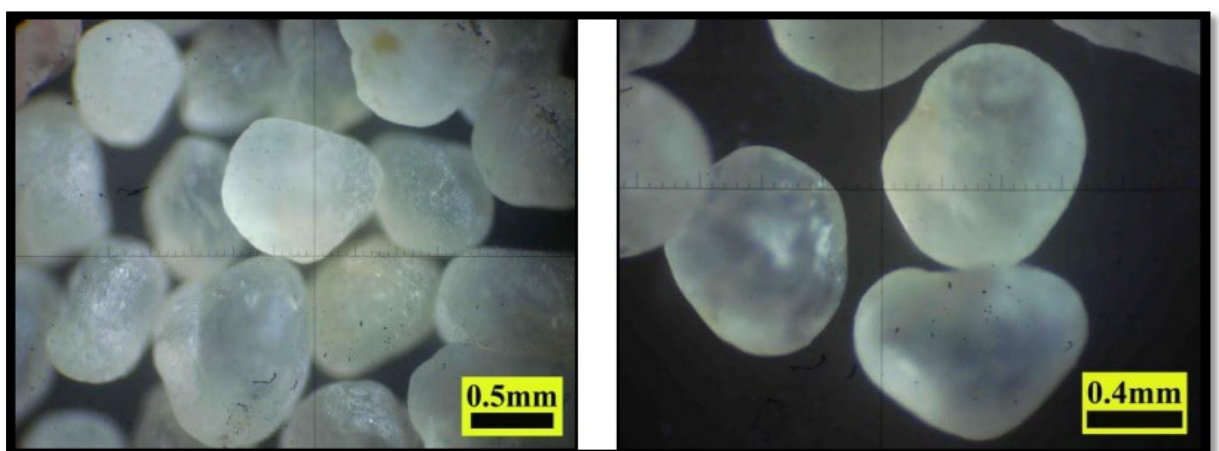


Figure I.6 : Images binoculaires de grains de sable de dunes

[05].

I.1.8 Les aspects économiques :

Sont évidents dans la mesure où l'utilisation du sable de dune permet une économie certaine dans le transport des matériaux, puisqu'il est partout disponible en quantités inépuisables. Par ailleurs, son extraction n'engendre pratiquement pas de frais supplémentaires et son mélange avec les autres matériaux sur chantier peut se faire facilement. [04].

I.1.9 Les intérêts techniques :

Sont de deux types :

- ✚ Le sable peut contribuer à la densification des matériaux. Ceci permet, par la même occasion, l'amélioration de leurs caractéristiques géotechniques en augmentant le frottement interne et en améliorant la portance ;
- ✚ Il peut être utilisé pour diminuer la plasticité des matériaux de base. [04].

I.1.10 Utilisation du sable de dunes:

I.1.10.1 Utilisation du sable de dunes le domaine de génie civil :

I.1.10.1.1. : Construction de routes et de voies ferrées : Le sable de dunes est souvent utilisé comme matériau de base pour la construction de routes et de voies ferrées en raison de sa stabilité et de sa capacité à drainer l'eau [42].

I.1.10.1.2 : Construction de bâtiments : Le sable de dunes peut être utilisé comme matériau de remplissage pour les fondations des bâtiments. Il peut également être utilisé pour la construction de murs de soutènement et de murs antibruit. [52].

I.1.10.1.3 : Filtres de traitement d'eau : Le sable de dunes est souvent utilisé comme matériau filtrant dans les systèmes de traitement d'eau pour éliminer les impuretés et les contaminants.

I.1.10.1.4 : Sports et loisirs : Le sable de dunes est souvent utilisé dans la construction de terrains de golf, de terrains de beach-volley et de parcours de motocross. [39].

Il est important de noter que l'utilisation du sable de dunes doit être effectuée de manière responsable et durable pour protéger l'environnement et préserver les écosystèmes fragiles de ces zones.

I.1.10.2 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. 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 [05].

I.1.10.3 Utilisation du sable de dunes dans le domaine routier :

Les routes subissent des déformations excessives au niveau de leurs différentes couches. Cela implique le recours à des travaux de maintenance souvent très coûteux. La recherche d'économie dans les projets, ainsi que la nécessité de bien exploiter les ressources naturelles conduit à chercher à tirer le meilleur parti de toutes les matériels disponibles sur place. En Algérie le sable des dunes constitue un énorme gisement près de 60% du territoire de l'Algérie.

Des études antérieures réalisées à ce sujet ont montré que les matériaux utilisés doivent avoir certaines spécifications en termes de capacité portante et de teneur en matières fines.

Les ingénieurs avaient recours à l'utilisation du sable mélangé à un liant hydrocarboné en particulier pour les couches de roulement

Beaucoup d'études et des réalisations ont été faites et un guide pratique d'utilisation routière de sables [65].

Cependant, les sables de dunes constituent un cas particulier pour lequel les directives et recommandations ne peuvent pas être appliquées sans études spécifiques. L'utilisation du sable de dune seul ne peut être envisagée malgré la facilité qu'il présente au reprofilage, car sa stabilité de surface est souvent

incertaine, ce qui augmente la résistance au roulement et provoque parfois des enlissements [45].

I.1.10.4 Diverses utilisations :

Les sables sont un élément essentiel du processus sédimentaire et représentent une ressource très importante du point de vue économique : remblais, granulats pour béton, matériaux de construction, sables siliceux pour l'industrie. Ces derniers (appelés autrefois sables industriels) constituent l'essentiel de la matière première de l'industrie du verre, des moules, des noyaux de fonderie ; ils entrent aussi dans la fabrication des céramiques et des mortiers spéciaux. 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. [42].

I.2. Situation géographique de la plate-forme saharienne :

La plate-forme saharienne, qui est située au sud de l'Algérie alpine et appartient au craton Nord-Africain. Elle comprend un socle précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire, structurée au Paléozoïque en plusieurs bassins séparés par des zones hautes. On distingue d'ouest en est:

- ✚ -Les bassins de Tindouf et de Reggane situés sur les bordures nord et nord-est du bouclier Reguibat. La couverture sédimentaire atteindrait 8 000 m dans le bassin de Tindouf et 6 500 m dans celui de Reggane. Dans cette zone peu explorée, les formations paléozoïques pourraient se révéler à hydrocarbures liquides et gazeux
- ✚ -Le bassin de Béchar limité au nord par le Haut Atlas, au sud et à l'ouest par la chaîne d'Ougarta. Sa couverture sédimentaire atteindrait 8 000 m. Les réservoirs se trouvent dans le détritique paléozoïque inférieur et les récifs carbonifères
- ✚ -Le bassin d'Ahnet-Timimoun limité au nord par le haut fond d'Oued Namous, à l'ouest par la chaîne d'Ougarta, au sud par le bouclier Touareg

et à l'est par la dorsale d'Idjerane-Mzab. La couverture serait en moyenne de 4 000 m. Dans le Sud, les réservoirs ordoviciens et dévoniens inférieurs sont gazéifères. Au nord, dans la cuvette de Sbaa, de l'huile a été découverte dans la totalité du Paléozoïque [58].

- ✚ -Les bassins du Mouydir et de l'Aguemour-Oued Mya sont limités à l'ouest par la dorsale d'Idjerane-Mzab et à l'est par la dorsale Amguid-El Biod. Au sud, les sédiments paléozoïques affleurent dans le Mouydir. Au nord, dans la dépression d'Aguemour-Oued Mya, comblée par une puissante série paléozoïque et méso-cénozoïque (5 000 m à Oued Mya), d'importants gisements ont été mis en évidence dans le Cambrien (Hassi Messaoud) et le Trias (Hassi Rmel)
- ✚ -La synéclyse d'Illizi-Ghadamès est limitée à l'ouest par la dorsale d'Amguid-El Biod et à l'est par le môle de Tihemboka et les confins tuniso-libyens. Dans le bassin de Ghadamès, la couverture sédimentaire (supérieure à 6 000 m), renferme des gisements d'hydrocarbures dans le Paléozoïque et le Trias.
- ✚ Se situe au Sud de la flexure sud atlasique et s'étend sur une superficie de 8.000.000 km² dans la partie septentrionale du continent africain. Elle correspond à l'une des plus grandes plateformes précambriennes au monde et se caractérise par la juxtaposition de bassins sédimentaires intracratoniques , séparés par des môles de même orientation (**Fabre, 1976 et 2005**) [39].

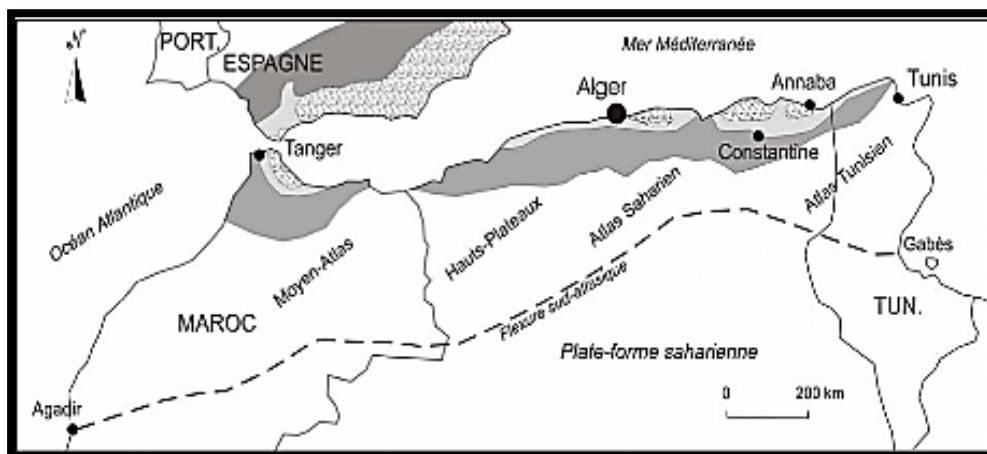


Figure I.7 : des unités structurales d'Afrique du Nord
(modifié d'après Durand Delga et Fontboté, 1960) [39].

I .2.1 Situation Géographique de la wilaya :

La Wilaya de Ghardaïa se situe au centre de la partie Nord du Sahara algérien. A environ 600 Km au sud de la capitale du pays, Alger.

Ghardaïa est délimitée par : au nord : la wilaya de Djelfa et la wilaya de Laghouat, au sud : la wilaya de Menea, à l'est : la wilaya de Ouargla, à l'ouest : la wilaya d'El Bayadh

I .2.2 Les coordonnées de wilaya de Ghardaïa en degrés et minutes décimales :

Latitude : 32°29.4564' Nord

Longitude : 3°40.4082' Est

GPS de Ghardaïa : 32° 29' 24.809" N 3° 40' 25.828" E

Altitude 480 m

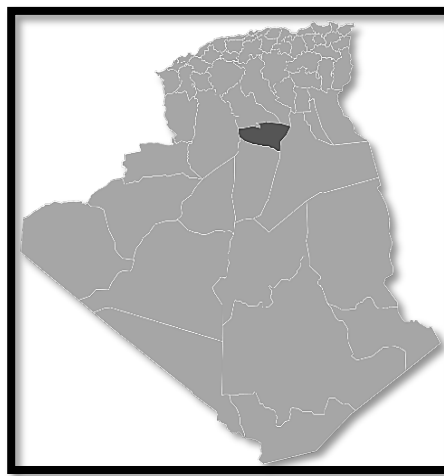


Figure I.8 : Localisation de Ghardaïa Sur la carte algérienne [33].

I .2.3 Le climat de la wilaya :

Est de type désertique chaud ; il se caractérise par un été torride, long et un hiver doux, court aux journées chaudes et aux nuits froides. La pluie est rarissime et tombe généralement en automne et en hiver. Le climat reste dominé par la chaleur, la sécheresse et les grands écarts thermiques diurnes et annuels. [58].

I .2.4 Contexte Géologique :

Les formations du sous-sol à Ghardaïa sont principalement constituées de sables fins, de graviers et d'alluvions. Les formations de sable se trouvent

généralement dans les parties basses de la ville, tandis que les formations de gravier et d'alluvions se trouvent dans les parties plus élevées.

En termes de risques géotechniques, Ghardaïa est exposée à plusieurs phénomènes naturels, tels que les inondations, les glissements de terrain et les affaissements de terrain. Ces risques sont principalement liés à la topographie de la région, qui est caractérisée par des pentes abruptes et des variations importantes de l'altitude

Pour prévenir ces risques, il est important de réaliser des études géotechniques approfondies pour comprendre les caractéristiques du sol et du sous-sol de la région. Ces études peuvent aider à déterminer les zones à risque et à élaborer des mesures de prévention et de protection appropriées.

Au niveau géologique, la région du M'zab est dominée par une série de formations rocheuses sédimentaires datant du Jurassique et du Crétacé. Ces formations comprennent des grès, des calcaires et des argiles.

La ville de Ghardaïa elle-même est construite sur une colline de grès qui domine la vallée environnante. Cette formation rocheuse a été sculptée par l'érosion pour former les célèbres maisons troglodytes de la ville, qui sont construites dans les falaises de grès.

La forme géologique de la région se compose de :

- ✚ -**Les ergs** : (massif de dunes)
- ✚ -**Les regs** : (plaines caillouteuse), [06].

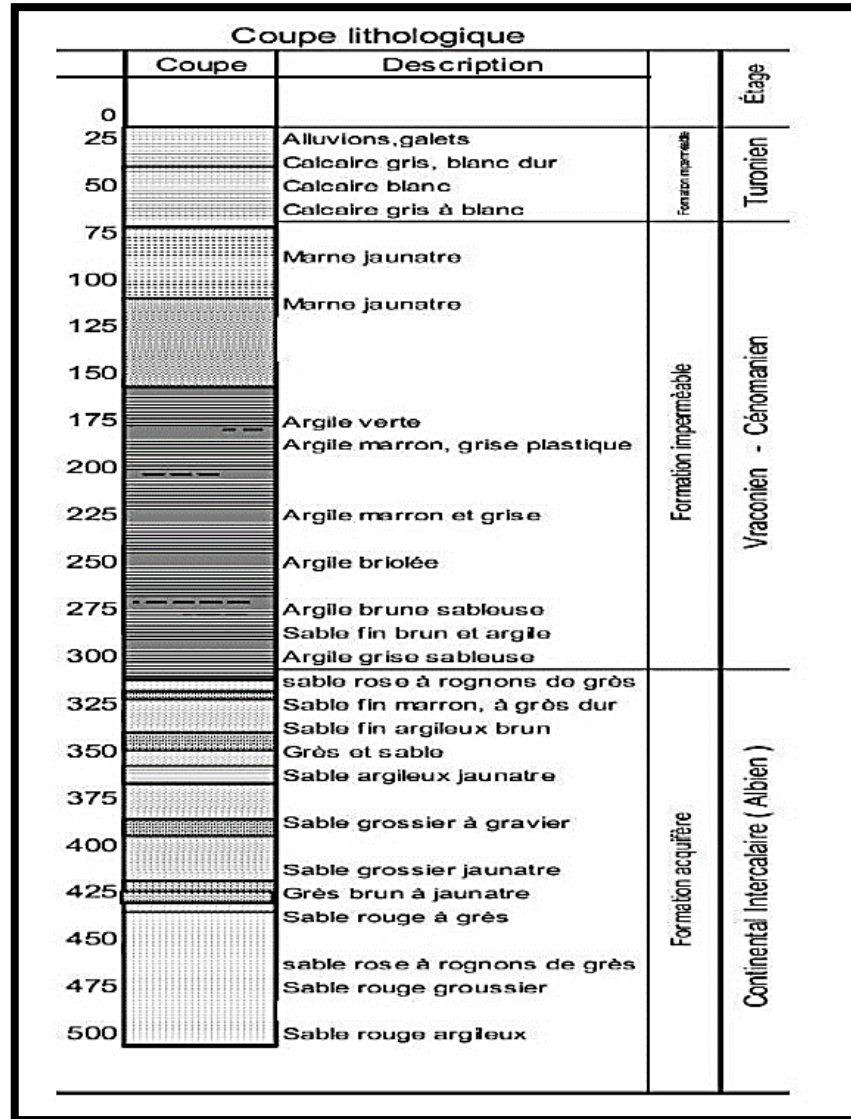
Pour bien préciser La wilaya de Ghardaïa est située sur les bordures occidentales du bassin sédimentaire secondaire du Bas - Sahara. Les terrains affleurant sont en grande partie attribués au Crétacé supérieur. Composés principalement par des dépôts calcaires turoniens dolomitiques ; qui forment un plateau subhorizontal appelé couramment "la dorsale du M'Zab".

Du point de vue lithologique. Les affleurements sont de type ;

- ✚ **Argiles verdâtres et bariolées** à l'Ouest et le Sud-ouest attribués au Cénomaniens. En grande partie il est couvert par les dunes du grand erg occidental.
- ✚ **Calcaires massifs durs** ; blanc grisâtre au centre. Attribués au Turonien
- ✚ **Calcaires marneux et argiles gypseuses** à l'Est. Attribués au Sénonien.

- ✚ Sables rougeâtre consolidés à Est et au Nord-est attribués au Mio-pliocène.
- ✚ Alluvions quaternaires tapissant le fond des vallées des oueds. [08].

Tableau I.1 : La coupe lithologique de forage CNAS – MOUDJAHIDINE Commune de Ghardaïa ;(ANRH 2010) [39].



I.3. Les sols fins :

En mécanique des sols, on attache une grande importance à la rigueur dans la définition des caractéristiques des sols car elles serviront par la suite à décrire les propriétés mécaniques et hydrauliques ou expliquer certains de leurs comportements comme le tassement. Certains de ces caractéristiques se mesurent aisément sur le terrain ou en laboratoire, d'autres sont déduites des premières à l'aide de relations mathématiques. [34].

Les sols fins excavés dans les opérations de déblaiement sont souvent exclus d'utilisation dans les remblais routiers à cause des difficultés de mise en œuvre de ce type de matériau tel que le compactage, ouvrabilité, portance à l'état humide, ces matériaux sont aussi évités d'utilisation à cause des nombreux désordres qui peuvent apparaître après la mise en service de la route.

I.3.1 Composition minéralogique des sols fins :

Le vocable sols fins désigne en général les argiles et les limons. Ces sols fins sont généralement le résidu de l'altération de différents types de substrats rocheux ou meubles, leur composition minéralogique dépend donc directement de celle de la roche mère. Ils sont souvent classés en quatre catégories (minéraux primaires, minéraux secondaires, sels et matières organiques) suivant leur composition, leur mode de formation et leur cause de formation.

I.3.1.1 Les minéraux primaires :

Ce sont les minéraux résiduels qui ont échappé à l'altération, ils sont stables (ils conservent alors la signature minéralogique et géochimique des matériaux source), ou instables (n'ayant pas subi suffisamment les effets de l'altération). Le quartz, les feldspaths et les micas qui se retrouvent dans diverses fractions granulométriques sont les minéraux primaires les plus abondants dans les sols. Ils peuvent résulter d'une simple érosion des substrats avec tri granulométrique au cours du transport, surtout par l'eau, et au cours de la sédimentation. Cette catégorie de minéraux se retrouve souvent dans les sols grenus (sables grossiers, graviers, etc.) [34].

I.3.1.2 Les minéraux secondaires :

Ils résultent de la transformation (ou dégradation) géochimique des minéraux primaires, ce qui implique donc un changement de statut minéralogique accompagné d'une réduction de taille. Ils comprennent divers types de minéraux argileux (simples ou inter stratifiés), ainsi que des hydroxydes ou oxydes généralement de fer, parfois de Manganèse ou d'aluminium. Les minéraux argileux se cantonnent dans une gamme granulométrique comprise entre le micron et quatre microns.

I .3.2 Principaux Problèmes des Sols Fins :

Les sols fins, contiennent des proportions notables d'argiles et de limons, qui influent sur ses propriétés géotechniques intrinsèques. Ils gonflent et deviennent plastiques en présence d'eau, se rétractent avec la sécheresse, et foisonnent sous l'effet du gel. Alors, ces sols sont considérés comme mauvais ou médiocres. Dans de nombreux pays du monde, le gonflement est à l'origine de fréquents désordres des ouvrages légers. En Algérie l'urbanisation de certains quartiers des villes et la construction des routes se heurtent aux problèmes que posent les phénomènes de gonflement, tassement, et de glissement.

I .3.2.1 Phénomène de Gonflement :

Le retrait-gonflement des argiles est lié aux variations de teneur en eau des terrains argileux : ils gonflent avec l'humidité et se rétractent avec la sécheresse. Ces variations de volume induisent des tassements plus ou moins uniformes et dont l'amplitude varie suivant la configuration et l'ampleur du phénomène. Sous une habitation, le sol est protégé de l'évapotranspiration, et sa teneur en eau varie peu dans l'année. De fortes différences de teneur en eau vont donc apparaître dans le sol au droit des façades. [35].

I .3.2.2 Tassements :

Le tassement du sol est sa déformation verticale due à l'application des contraintes extérieures telles que les remblais, les fondations ou son propre poids. Les tassements peuvent être uniformes ou différents d'un point à l'autre selon la nature du sol en place.

I .3.2.3 Glissements :

Un glissement de terrain correspond à un déplacement généralement lent (de quelques mètres par an à quelques millimètres par jour) sur une pente, le long d'une surface de rupture dite surface de cisaillement, d'une masse de terrain cohérente, de volume et d'épaisseur variables : quelques mètres cubes dans le cas du simple glissement de talus ponctuel à quelques millions de mètres cubes

dans le cas d'un mouvement de grande ampleur pouvant concerner l'ensemble d'un versant.

I.3.3 Conséquences Enregistrées :

Les désordres provoqués par le gonflement affectent généralement les constructions apportant de faible contrainte sur le sol support. La pathologie dépend du type d'ouvrage. Les phénomènes de retrait et de gonflement de certains sols argileux ont été observés depuis longtemps dans les pays à climat aride et semi-aride où ils sont à l'origine de nombreux dégâts causés tant aux bâtiments qu'aux réseaux et voiries. Pour le cas des bâtiments : Pour les structures de génie civil on peut observer les désordres suivants : Fissuration des structures, Distorsion des ouvertures, Rupture des canalisations et Décollement des bâtiments.

I.3.4 Cas des Chaussées :

Le gonflement peut provoquer des désordres importants à la structure de la chaussée. Le désordre subi par la chaussée se résume généralement à des fissures qui apparaissent à la fin de la saison sèche sur ses accotements. En saison de pluie ces fissures permettent à l'eau de s'infiltrer plus facilement entraînant la saturation de ces zones et par conséquent leur gonflement, engendrant ainsi l'apparition de déformation à la surface de la chaussée, puis l'apparition de fissures longitudinales qui peuvent être assimilées à la chute de la portance dans les zones latérales de la chaussée entraînant l'affaissement des bords. Ces phénomènes sont accélérés par le flux routier. Ces désordres s'amplifient avec le début de la saison sèche. [09].

I.4. Généralités sur les argiles :

I.4.1 Définition des argiles :

D'une manière générale, lorsque la proportion de particules argileuses dépasse 30% le sol est considéré comme une argile. Les particules d'argile présentent la fraction minérale inférieure à $2\mu\text{m}$. L'argile étant pratiquement imperméable, elle est souvent employée comme matériaux d'étanchéité dans les noyaux de

barrage en terre ou de digues. Toutefois, sa compressibilité est élevée, et en générale, les charges qu'elle peut supporter sont de loin inférieures à celles que supportent les graviers et les sables. Les particules d'argile, contrairement à celles des autres types de sol, sont attirées les unes vers les autres et se regroupent. Cette attraction qui porte le nom de cohésion, est à l'origine de la consistance. Dans des conditions d'humidité favorables, la consistance est telle que l'argile devient plastique et qu'il est possible de façonner, une opération pratiquement irréalisable avec le gravier ou le sable. En général des silicates d'aluminium plus ou moins hydratés présentant une structure feuilletée (phyllosilicates) expliquant leur plasticité, ou fibreuse expliquant leur qualité d'absorption [66]

I .4.2 Formation des argiles :

Les argiles proviennent de la désagrégation de roches silicatées : du granite (mica et feldspath), du gneiss ou encore des schistes. Ces particules sont transportées par le vent ou l'eau sous forme de limon ou de vase. Les fleuves véhiculent des argiles qui finissent par se déposer en alluvions, dans le cours d'eau lui-même, à son embouchure, dans un lac ou dans la mer. Les dépôts peuvent alors sédimenter et former une roche argileuse. [10].

I .4.3 Structures cristallines fondamentales des minéraux argileux :

Les feuillets sont l'unité de base des minéraux argileux, ils ont une apparence similaire à celle d'une lame ou d'une feuille extrêmement mince. Ils sont constitués d'unités cristallines que l'on appelle structures fondamentales. Celles-ci se juxtaposent dans un seul plan, et c'est pourquoi les feuillets ont une surface très grande par rapport à l'épaisseur. On évalue l'épaisseur des feuillets et des structures fondamentales à environ 0,5 nm (5×10^{-7} mm). Il existe deux structures fondamentales : La structure fondamentale tétraédrique et la structure fondamentale octaédrique.

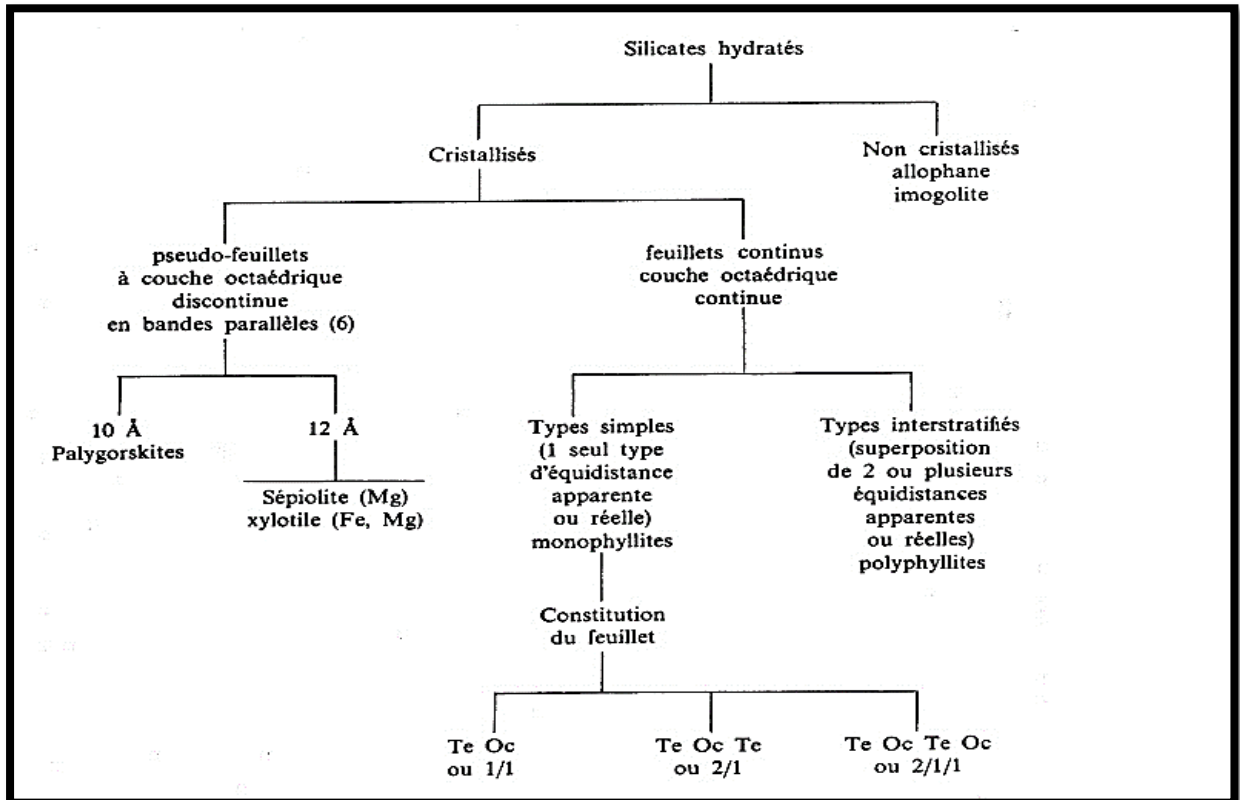


Figure I.9 : Classification générale des minéraux argileux . [39].

I .4.3.1 La structure fondamentale tétraédrique :

Est composée de quatre atomes d'oxygène (O) formant un tétraèdre avec en son centre un atome de silicium (SiO_4). Un feuillet tétraédrique simple résulte d'un arrangement des structures fondamentales tétraédriques. Ces tétraèdres se combinent entre eux pour former des couches tétraédriques

I .4.3.2 La structure fondamentale octaédrique :

Est une combinaison de six atomes d'oxygène (O) ou molécule d'hydroxyle (OH), placés au sommet d'un octaèdre qui renferme un atome métallique l'aluminium (Al) ou de magnésium (Mg). Chacun de ces deux atomes peut être remplacé par un atome métallique de fer (Fe), de titane (Ti), de nickel (Ni), de chrome (Cr) ou de lithium (Li). Un feuillet octaédrique se forme par l'arrangement de structures fondamentales octaédriques. Lorsque les deux tiers des atomes métalliques sont des atomes d'aluminium, la structure octaédrique porte le nom de gibbsite. Si ce sont pour la plupart des atomes de magnésium, la structure portera le nom de bruite. [07].

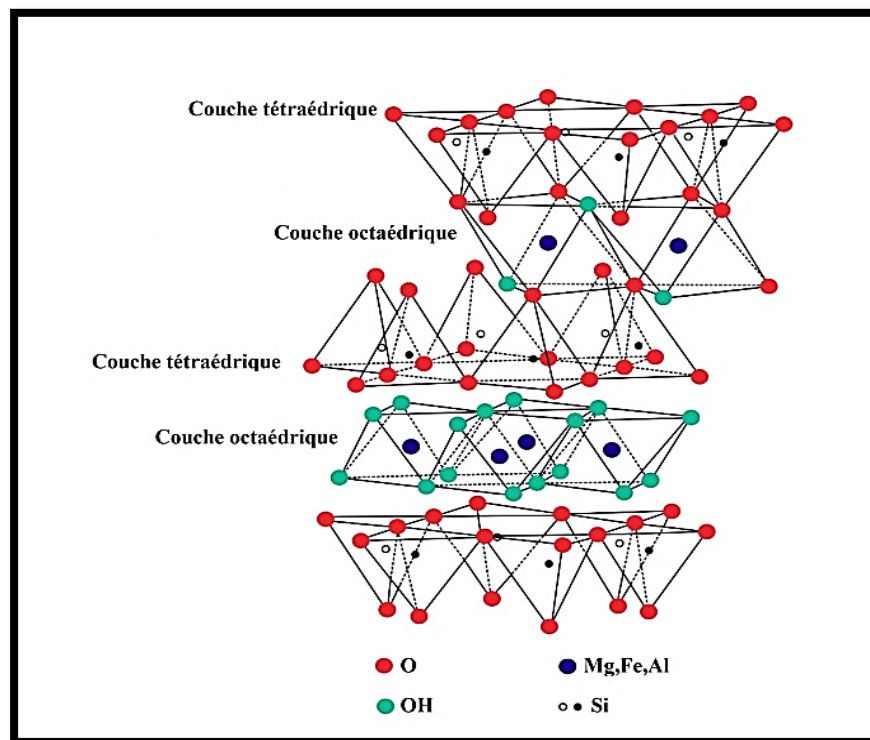


Figure I.10 : Structure cristallographique du chlorite [13].

I .4.4 Structure moléculaire des argiles :

Les minéraux argileux sont tous constitués à partir d'un empilement de feuillets tétraédriques et octaédriques entrecoupés par un espace appelé espace inter foliaire. La structure formée en liant une couche tétraédrique à une couche octaédrique est appelée feuillet

- dont l'épaisseur est d'environ 0,7 nm. En liant une couche tétraédrique de chaque côté d'une couche octaédrique, on forme un feuillet

- dont l'épaisseur est d'environ 0,9 nm. Les liens de covalence et les liaisons ioniques assurent la structure rigide du feuillet élémentaire; des liaisons moins fortes mais essentielles assurent l'assemblage des feuillets élémentaires pour former la particule d'argile. [67].

I .4.5 Les types de minéraux argileux :

Les trois familles les plus connues de minéraux argileux sont la kaolinite, la montmorillonite et l'illite.

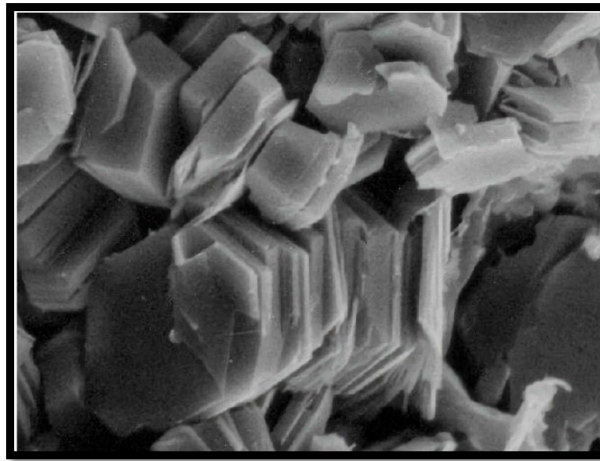


Figure I.11 : Microstructure de La kaolinite [11].

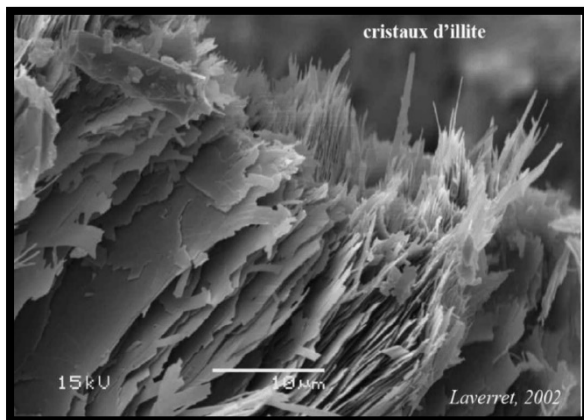


Figure I.12 : Microstructure de L'illite [11].

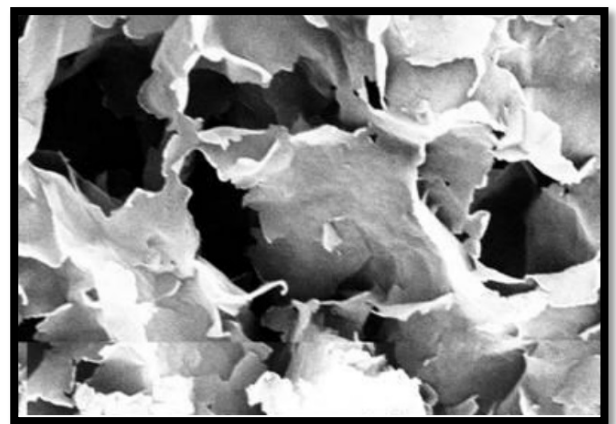


Figure I.13 : Microstructure de La montmorillonite [12].

I.4.5.1 La kaolinite :

I.4.5.1.1 Origine :

La kaolinite doit son nom à sa localité type, Kao-Ling, une montagne de la province du Jiangxi en Chine où ce minéral était bien connu depuis les premiers temps. Le terme Kaolinite décrit le nom d'un groupe de minéraux argileux étroitement liés, ainsi que d'un minéral membre individuel du groupe.

La kaolinite est un minéral argileux de formule chimique $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$ qui a une structure de couche di octaédrique non chargée 1 :1 où chaque couche se compose d'une seule feuille tétraédrique de silice et d'une seule feuille octaédrique d'alumine. [32].

Elle se forme à partir de l'altération chimique du feldspath ou d'autres minéraux de silicate d'aluminium. La kaolinite a une faible capacité de retrait-

gonflement et une faible capacité d'échange de cations, ce qui la rend idéale pour de nombreuses applications industrielles.

Elle est importante pour la production de céramique et de porcelaine. Il est également utilisé comme charge pour la peinture, le caoutchouc et les plastiques car il est relativement inerte et de longue durée. [37].

I.4.5.1.2 Groupe des kaolinites:

La kaolinite est un minéral phyllo silicaté commun. Il donne son nom au groupe Kaolinite, dont les membres appartiennent également au groupe général plus large connu sous le nom d'argiles. La structure de la kaolinite est composée de feuilles de silicate (Si_2O_5) liées à des couches d'oxyde/hydroxyde d'aluminium ($\text{Al}_2(\text{OH})_4$) appelées couches de gibbsite. La gibbsite est un minéral d'oxyde d'aluminium qui a la même structure que ces couches d'aluminium dans la kaolinite. Les couches de silicate et de gibbsite sont étroitement liées entre elles, seule une faible liaison existe entre ces couches appariées de silicate/gibbsite. Les liaisons faibles entre ces couches provoquent le clivage et la douceur de ce minéral. La structure est très similaire au Groupe Serpentine et parfois les deux groupes sont combinés en un Groupe Kaolinite-serpentine. [32].

I.4.5.1.3 Propriétés :

La kaolinite partage la même chimie que les minéraux halloysite, connard et nacrite. Les quatre minéraux sont polymorphes; ce qui signifie qu'ils ont la même chimie, mais des structures différentes. Les quatre minéraux se forment à partir de l'altération (principalement de l'altération) de minéraux de silicate riches en aluminium tels que les feldspaths. La kaolinite est de loin la plus courante et la plupart des gisements d'argile contiennent au moins un peu de kaolinite. En fait, les dépôts d'argile seront souvent presque 100 % purs de kaolinite.

La kaolinite est un minéral argileux, avec une consistance douce et une texture terreuse. Il se brise facilement et peut être moulé ou façonné, surtout lorsqu'il est mouillé. La kaolinite est un minéral terne et sans intérêt en soi, mais elle forme parfois des pseudo morphes intéressants, surtout après le feldspath.

Elle est le plus souvent sous forme de masses compactes non façonnées. Les cristaux sont microcristallins sous forme de minuscules grains et plaques. Les cristaux sont rarement visibles à l'œil nu.

La kaolinite est très friable, et peut être coupée et moulée, surtout lorsqu'elle est mouillée. Elle peut également proposer une odeur d'argile lorsqu'elle est mouillée ou inhalée. [32].

I.4.5.1.4 Champ d'application du kaolin :

En 2013, 48 % du kaolin a été utilisé dans la production de papier et 52 % a été utilisé pour la céramique, les ampoules électriques, la peinture, le caoutchouc, les adhésifs, les pipes, le badigeon de la maçonnerie, les absorbants et le savon. Les utilisations de la kaolinite ont lieu dans la production de céramique, comme charge pour la peinture, le caoutchouc et les plastiques et la plus grande utilisation est dans l'industrie du papier pour produire un papier brillant comme celui utilisé dans la plupart des magazines.

Dans le cadre de l'agriculture biologique, la kaolinite est utilisée comme une forme de lutte antiparasitaire. C'est un ingrédient actif dans les médicaments contre la diarrhée, les nausées et d'autres problèmes digestifs.

Des nombreuses applications industrielles, dont les principales sont :

- ✚ La fabrication du papier comme charge et pour le couchage.
- ✚ Le kaolin est utilisé essentiellement en céramique fine, pour sa blancheur.
- ✚ Le kaolin qui entre dans la fabrication des caoutchoucs améliore la résistance mécanique, la résistance à l'abrasion et la rigidité des produits. 4.

Le kaolin est très utilisé comme charge dans les plastiques pour sa couleur ; il permet de plus obtenir des surfaces plus lisses, une meilleure stabilité dimensionnelle et une meilleure résistance aux acides [16].

I.4.5.2 L'illite :

Est un minéral argileux micacé commun de nombreux sols et substrat, produit de dégradation de la muscovite en montmorillonite. Une illite est une argile non expansive et un phyllo silicate ou un silicate stratifié. C'est un silicate de classe 9 (classification de Strunz), du groupe des micas.

Les illites sont principalement formées à partir de smectites (minéraux argileux gonflants) par l'incorporation de potassium entre les couches pendant la diagenèse des sédiments. [11].

I.4.5.2.1 Origine:

Structurellement l'illite est assez similaire à la muscovite ou à la séricite avec un peu plus de silicium, de magnésium, de fer et d'eau; et un peu moins d'aluminium tétraédrique et de potassium inter laminaire. Sa structure est un sandwich de :

- ✚ couches de tétraèdres de silice (T)
- ✚ alumine octaèdre (O)
- ✚ silice tétraédrique (T).

L'espace entre cette séquence de couches TOT est occupé par des cations potassium faiblement hydratés qui sont responsables de l'absence de gonflement.

La formule chimique est $(K, H_3O)(Al, Mg, Fe)_2(Si, Al)_4O_{10}[(OH)_2, (H_2O)]$, mais il y a aussi une substitution ionique considérable (isomorphe). Il est produit sous la forme d'agrégats de petits cristaux monocliniques gris à blanc. En raison de sa petite taille, une identification précise nécessite habituellement une analyse par diffraction des rayons X.

L'illite est un produit de l'altération ou de l'altération de la muscovite et du feldspath dans un environnement d'altération hydrique et thermique (hydrothermale). Elle peut être un composant de la séricite.

Elle est commune dans les sédiments, les sols et les roches sédimentaires argileuses (telles que les schistes et les grès) ainsi que dans certaines roches métamorphiques de faible qualité. Le membre riche en fer du groupe illite, la glauconite, dans les sédiments peut être différencié par analyse aux rayons X.

La cristallinité de l'illite a été utilisée comme indicateur de la qualité métamorphique dans les roches argileuses métamorphosées dans des conditions entre la diagenèse et le métamorphisme de bas degré. Avec l'augmentation de la température, on croit que l'illite subit une transformation en muscovite. Les changements dans le réseau cristallin avec des températures et des pressions croissantes sont utilisés pour estimer la profondeur d'enfouissement des roches sédimentaires, ce qu'on appelle la cristallinité de l'illite. [51].

I .4.5.2.2 Propriétés :

Structure cristalline : l'illite a une structure cristalline en feuillets, qui lui confère une grande surface spécifique. Cela lui permet d'absorber les ions et les molécules de petite taille, ce qui en fait un matériau intéressant pour la purification de l'eau et la dépollution des sols.

Plasticité : l'illite est une argile plastique, ce qui signifie qu'elle peut être modelée et façonnée lorsqu'elle est humidifiée. Cette propriété en fait un matériau couramment utilisé dans la fabrication de céramiques et de briques.

Faible réactivité : l'illite est peu réactive chimiquement, ce qui signifie qu'elle est résistante à la dégradation par les acides et les bases. Cette propriété en fait un matériau stable et durable dans le temps.

Rétention d'eau : l'illite a la capacité de retenir l'eau dans sa structure cristalline, ce qui lui permet d'être utilisée comme agent de rétention d'eau dans les sols et les matériaux de construction.

Faible expansion : l'illite a une faible expansion thermique, ce qui signifie qu'elle ne se dilate pas beaucoup lorsqu'elle est soumise à des changements de température. Cette propriété en fait un matériau stable et résistant aux variations thermiques. [36].

I .4.5.2.3 Champ d'application de de l'illite :

Dans l'industrie pétrolière, l'illite est considérée comme un minéral argileux très agaçant. En raison de la structure fibreuse fine, elle a la propriété de "sceller" partiellement ou complètement les pores d'une roche réservoir. En conséquence, un réservoir ayant initialement une bonne porosité devient un réservoir complètement inutile en raison de la réduction drastique de la

perméabilité résultant de la conversion d'autres minéraux (argileux) en illite. En particulier dans les réservoirs de la mer du Nord, l'illite est considérée comme une limitation majeure pour la production de pétrole et de gaz.

La capacité d'échange de cations (CEC) de l'illite est plus petite que celle de la smectite mais supérieure à celle de la kaolinite, typiquement de l'ordre de 20 à 30 meq/100 g. La densité moyenne est de 2,75 et la dureté est de 1 à 2. Le système cristallin est monoclinique et la radioactivité du minéral est à peine mesurable. La valeur de rayons gamma est de 87,5. [38].

I.4.5.3 La montmorillonite :

I.4.5.3.1 Origine :

La montmorillonite (Smectites) $(OH)_4 Si_8 (Al^{3+}_{10/3}, Mg^{2+}_{2/3}) O_{20}, n H_2O$. Le feuillet élémentaire est composé, comme pour l'illite, d'une couche d'alumine comprise entre deux couches de silice. Un ion Al^{3+} est remplacé par un ion Mg^{2+} dans les couches d'alumine. Le déficit de charge qui en résulte est compensé par des ions Ca^{2+} (montmorillonite calcique) ou par des ions Na^+ (montmorillonite sodique). La valence des ions sodium étant plus faible que celles des ions calcium, c'est la montmorillonite sodique qui aura la plus grande surface spécifique. Les liaisons entre feuillets étant très faibles, ces argiles sont très sensibles à la teneur en eau et ont un fort potentiel de gonflement. L'épaisseur d'une particule de montmorillonite peut- être très faible puisque, contrairement aux autres argiles, on peut isoler un feuillet élémentaire. La montmorillonite fait partie de la famille générale des smectites définies comme argiles gonflantes [36].

I.4.5.3.2 Propriétés :

Une des propriétés les plus remarquables des montmorillonites est leur capacité de gonflement résultant de l'entrée d'eau dans l'espace entre les feuillets. Une montmorillonite dispersée dans l'eau donne très facilement une suspension colloïdale stable.

Leurs propriétés de plasticité et d'imperméabilité sont également très recherchées dans l'industrie.

Cette aptitude au gonflement, et inversement au retrait (collapsus des feuillets argileux, lors de la dessiccation) pose des problèmes notables sur le plan de la géotechnique, en provoquant des déplacements parfois importants aux fondations au gré des variations d'humidité du sous-sol.

En présence de sels (comme du chlorure de sodium ou des sels de calcium), la montmorillonite ne présente pas de propriétés de gonflement. D'autre part, une suspension colloïdale de montmorillonite qui a obtenu son gonflement par préparation dans de l'eau douce perd ses propriétés et flocule en cas de contamination par du sel. [47].

I.4.5.3.3 Champ d'application de la montmorillonite :

La montmorillonite possède des propriétés importantes. Pour cela, elle connaît un champ

d'application très varié :

- ✚ Dans l'industrie chimique, elles activent certaines réactions (Alkylation de phénols, dimérisation et oligomérisation d'alcène, synthèse d'aldéhyde, des formation d'esters [13])
- ✚ Les montmorillonites possèdent des capacités d'adsorption très poussées, elles servent à clarifier les eaux souillées, dégraisser les laines par piégeage des impuretés, dégrader des composés organiques polluants ou les transformer en des produits moins nocifs.
- ✚ Utilisées comme source de silice et d'alumine, les montmorillonites forment les minéraux de base de l'industrie des matériaux de construction, des réfractaires, des isolants...
- ✚ Exploitée comme charge minérale, l'argile joue un rôle important dans la papeterie et l'industrie du caoutchouc
- ✚ Dans les industries pharmaceutiques et médicales, elle constitue la base des pansements stomacaux et intestinaux. Ces propriétés absorbantes permettent la fabrication de médicaments à effets

retardés. Les smectites en particulier interviennent dans la fabrication de nombreux cosmétiques : savons et shampoings, pommades, crèmes dentifrice où elles remplacent les matières grasses.

✚ En chromatographie comme phase stationnaire [13].

I.4.5.4 Les minéraux argileux et le système « argile – eau » :

Il est important de prendre en compte la nature physico-chimique des argiles, du fait que leur comportement rhéologique est gouverné par les interactions entre les feuillets argileux. Cette nature physico-chimique ne peut se définir sans une caractérisation minéralogique des différents niveaux d'organisation qui constituent les argiles. Cette partie décrit également les interactions qui se produisent entre la phase solide et la phase liquide, liées à la nature minéralogique des argiles, à la nature chimique du fluide interstitiel et à la taille des espaces poreux.

I.4.5.5 Caractéristique physique des argiles :

L'argile en particulier a fait l'objet de nombreux travaux de recherche sur sa nature minéralogique La différenciation entre les différents types d'argile se fait essentiellement par un certain nombre d'essais en laboratoire ou in situ, qui permettent de déterminer les paramètres d'état et de nature du matériau, ainsi que son comportement mécanique et hydraulique. [18].

I.4.5.5.1 Paramètres d'état :

L'eau joue un rôle très important sur les propriétés physiques des sols fins, deux variables sont nécessaires pour décrire l'état d'un sol : - La teneur en eau, w exprimée en % (NF P94-050) - Le poids volumique sec et/ou humide γ exprimé en KN/m³. (NF P94-053) Certains paramètres d'état, nécessaires à la

caractérisation du matériau naturel, font appel aux limites d'Atterberg. Les études de (Baver 1930 ; Comdeau et Quantin, 1963) ont montré que les limites d'Atterberg dépendent étroitement de la granulométrie de l'échantillon. Les valeurs des limites de liquidité et de plasticité ainsi que celle de l'indice de plasticité augmentent régulièrement avec le taux des éléments fins dans le sol. [18].

I.4.5.5.2 Paramètres de nature :

Ces paramètres se composent de la granulométrie, de l'argilosité et de la minéralogie.

- ✚ La granulométrie, de l'argile, est effectuée suivant les normes NF P94-056 et NF P 94-051. La répartition des tailles des grains de sol est prise en compte jusqu'à $80\mu\text{m}$. C'est-à-dire que la fraction granulaire d'argile reste inférieure à $80\mu\text{m}$. il est défini également la notion de (teneur en argile) qui est le pourcentage d'éléments inférieure à $2\mu\text{m}$.
- ✚ L'argilosité, est déterminée par l'indice de plasticité IP suivant la norme NF P94-051. L'indice de plasticité dépend de la nature du sol et la quantité des minéraux argileux qu'il contient
- ✚ La minéralogie, consiste en la détermination de la composition chimique. [18].

I.4.5.6 Caractéristiques mécanique des argiles :

Le comportement mécanique des matériaux est caractérisé par des paramètres qui permettent d'estimer les tassements, la compressibilité ou la consolidation, et la résistance au cisaillement des sols. Ces paramètres sont obtenus à partir des essais géotechniques en laboratoire, notamment :

- ✚ Essai de compactage Proctor
- ✚ Essai de cisaillement direct à la boîte
- ✚ Essai œdométrique [44].

I.4.5.7 Caractéristique hydraulique des argiles :

Les sols fins en générale et les argiles en particuliers sont connus par leur faible perméabilité. Cette caractéristique est d'une importance capitale dans le cas de

certaines ouvrages en terres tels que les barrages. Les barrières étanches...etc. L'argile est un milieu poreux dit "imperméable ». Son coefficient de perméabilité k varie de 10^{-10} à 10^{-13} m/s. et peut-être plus faible parfois. Soit Q le débit d'eau s'écoulant à travers une éprouvette d'argile de section S . en divisant ce débit par S . sera obtenue la vitesse fictive de l'eau à la sortie du massif, comme si toute la section de l'échantillon était soumise à l'écoulement. Cette vitesse V , est appelée vitesse de filtration. [44].

I.4.5.8 Propriétés des argiles :

I.4.5.8.1 La capacité d'échange cationique :

La capacité d'échange cationique (C.E.C) est définie comme le nombre de cations monovalents à substituer aux cations compensateurs pour annuler la charge électrique de 100g d'argile sèche. Elle dépend à la fois du rayon des cations hydratés, de leur charge et de leur masse atomique. Elle s'exprime généralement en milliéquivalents pour 100 grammes (meq/100g). Il existe différentes méthodes de mesure de la CEC. En général, on introduit une montmorillonite naturelle dans une solution contenant un excès de cations, puis on réalise une analyse élémentaire afin d'évaluer la quantité de cations échangés entre l'argile et la solution. Cette mesure se fait généralement avec NH_4 , ou Ba. Le dosage par microanalyse élémentaire des ions présents dans l'argile après substitution permet de déterminer la CEC. Pour une kaolinite idéale la valeur de la CEC à un pH donné va dépendre uniquement du degré de dissociation des différents sites amphotères situés sur les faces latérales. [37].

I.4.5.8.2 La surface spécifique :

La fine taille des argiles leur confère une surface importante par rapport au volume des particules. La surface relative augmente avec la diminution du diamètre.

Les propriétés des argiles sont principalement contrôlées par leur surface interne et externe. La surface totale comprend la surface externe, comprise entre les particules argileuses, et la surface interne, correspondant à l'espace interfoliaire. [51].

Les montmorillonites possèdent une surface spécifique très importante couplée à une très grande anisotropie. Ceci implique la modification chimique de la montmorillonite afin de changer son caractère hydrophile en caractère organophile. Cette modification est facilitée par l'aptitude au gonflement des montmorillonites.

Clay	Surface Area (m ² /g)		
	Internal	External	Total
Smectite	750	50	800
Vermiculite	750	<1	750
Chlorite	0	15	15
Kaolinite	0	15	15
Illite	5	25	30
Calcium montmorillonite	800		
Illite	150		
Kaolinite	50		
Other silicate minerals	<5		

(from Moorlock and Highley, 1991)

Tableau I.2 : Surface spécifique des particules argileuses (Eslinger & Peaver, 1988). [51].

I.4.5.8.3 Propriété de gonflement :

La propriété de gonfler en présence d'eau varie d'une famille argileuse à une autre. Les minéraux argileux T-0 n'ont pas normalement de charges présentes sur la surface. La couche tétraédrique est totalement occupée par Sel⁺ et la couche octaédrique, quant à elle, est totalement occupée par Al³⁺ ou Mg²⁺. S'il y a une substitution au sein d'une couche, il y aura toujours une compensation par la substitution dans d'autres couches. Ainsi, la neutralité est toujours maintenue [30]. Cette propriété particulière rend les argiles T-0 stable et leur structure, notamment la distance entre les feuillets, n'est pas affectée par la présence d'eau. Elles n'ont aucune capacité à gonfler. Dans le cas des minéraux argileux T-O-T: la nature des cations compensateurs joue un rôle important sur le gonflement. Plus les cations compensateurs sont petits et peu chargés, plus le gonflement est important. Le gonflement croît dans l'ordre des cations suivant : K⁺ < Fe²⁺ < Ca²⁺ < Na⁺ < Li⁺ [4]. La propriété de gonflement a un lien direct avec la CEC. Le gonflement passe tout d'abord par la présence

des cations compensateurs, donc une valeur de CEC non nulle. Une valeur de CEC trop importante se traduit par une forte force d'attraction électrostatique qui limite le gonflement. C'est pour cette raison que les montmorillonites, ayant une CEC modérée, sont les argiles possédant les meilleures propriétés de gonflement [31].

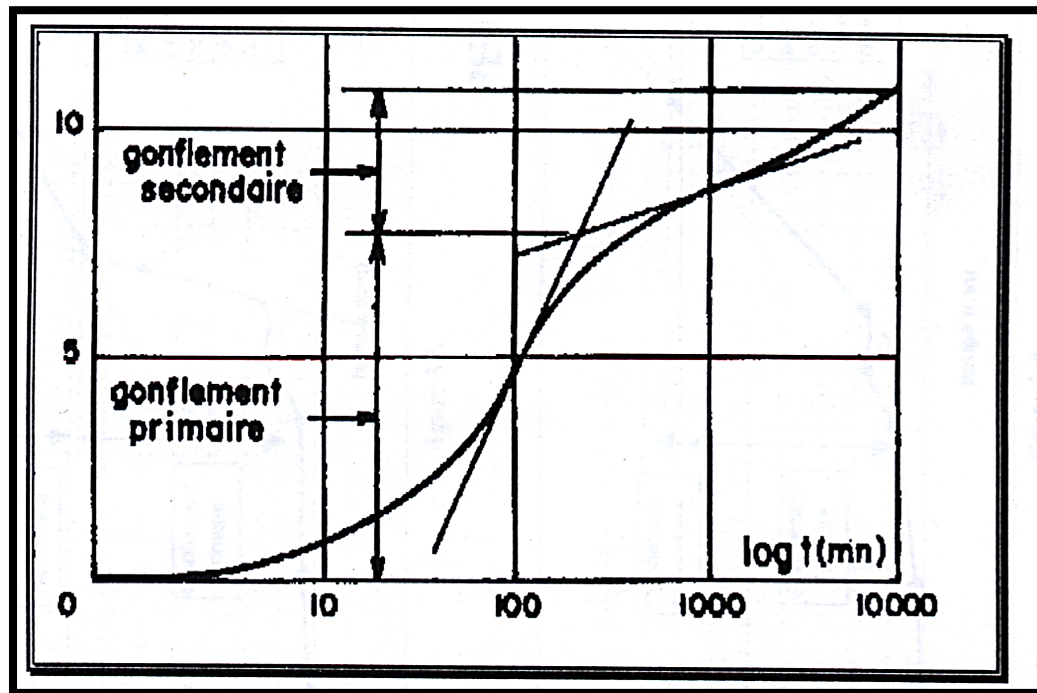


Figure I.14 : Courbe de gonflement en fonction du temps [35].

I.4.5.8.3.1 Mécanismes de gonflement des argiles :

Mécanismes de gonflement peuvent avoir des implications importantes dans la construction et l'ingénierie des sols, car le gonflement des argiles peut causer des problèmes tels que des mouvements de sol, des fissures dans les structures et des déformations.

Le processus de gonflement met en jeu séparément ou de façon combinée des phénomènes physico-chimiques et mécaniques variés

A - Gonflements au sens physico-chimique :

Il est bien connu qu'au contact de l'eau, l'argile est un matériau qui a la faculté de gonfler. D'après Morel (1996) Le phénomène de gonflement paraît relever de deux causes

- ✚ l'hydratation des espaces interfoliaires entraînant un accroissement de leurs dimensions (augmentation de la porosité interfoliaire) : gonflement cristallin
- ✚ la répulsion entre les particules (augmentation de la porosité interfoliaire et interparticulaire) : gonflement osmotique. [49].

B - Gonflements au sens mécanique :

Le phénomène de gonflement, de même que le tassement, peuvent provenir d'une modification de l'état de contraintes dans le sol en présence d'eau.

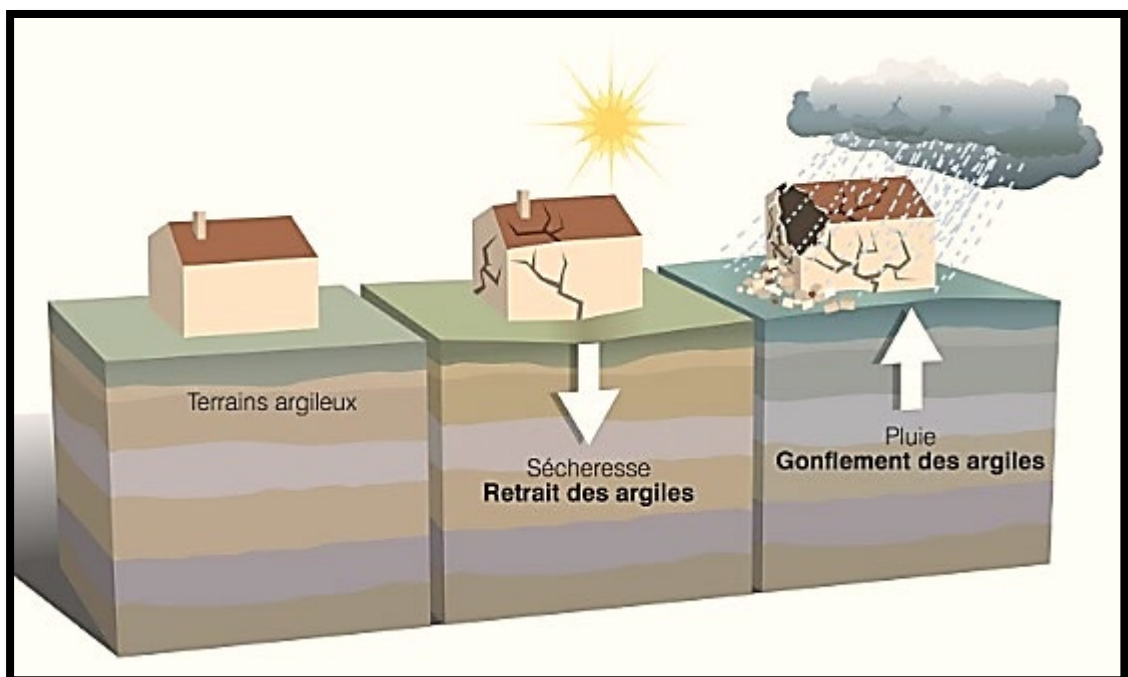


Figure I.15 : Le risque lié au phénomène retrait-gonflement des sols argileux [49].

I .4.5.8.3.2 Les mesures de protection générales :

La prévention du risque lié au retrait-gonflement des sols argileux n'interdit pas la constructibilité d'un terrain mais implique des règles de construction à adapter en fonction de la nature du sol rencontré:

- ✚ -L'adoption de règles de construction simples et efficaces pour le bâti neuf (fondations adaptées, rigidité de la structure, désolidarisation des bâtiments accolés...);

- ✚ -La gestion de l'eau autour du bâti (récupération des eaux pluviales, réseaux de canalisations d'eaux usées et d'eaux pluviales étanches, drainage à l'écart des fondations du bâti...);
- ✚ -La gestion des arbres autour du bâti (éloignement des plantations, grillage adapté pour éviter la proximité des racines par rapport au bâti, choix préférentiel de certaines essences...).[38].

I.5. Cohésion du sol :

La cohésion du sol est une mesure de la force d'attraction entre les particules de sol qui maintient sa forme et sa stabilité. Cette force est due à la présence d'argile et de limon dans le sol, qui ont des charges électriques opposées et qui s'attirent, formant ainsi des liaisons physiques entre les particules de sol. La cohésion est une propriété importante du sol car elle influence sa résistance à l'érosion, aux glissements de terrain et aux affaissement.

La teneur en eau du sol est l'un des principaux facteurs qui influencent la cohésion. Lorsque le sol est sec, les particules de sol sont plus fermement liées les unes aux autres, ce qui augmente la cohésion. Cependant, lorsqu'il y a trop d'eau dans le sol, la cohésion diminue car l'eau agit comme un lubrifiant entre les particules de sol, les faisant glisser les unes par rapport aux autres.

Plus le sol est dense, plus les particules de sol sont en contact les unes avec les autres, ce qui augmente la cohésion. La texture et la composition du sol sont également importantes pour la cohésion. Les sols argileux ont une cohésion plus élevée que les sols sableux en raison des charges électriques opposées des particules d'argile

Les sols ayant une structure bien développée, telle que la structure en flocons, a une cohésion plus élevée que les sols ayant une structure désorganisée et non développée. [37].

La cohésion peut être mesurée à l'aide de divers tests, tels que le test de cisaillement triaxial et le test de pénétration au cône. Les résultats de ces tests peuvent être utilisés pour évaluer la stabilité des structures construites sur ou dans le sol, telles que les fondations de bâtiments, les routes et les ponts.

Alors, la cohésion du sol est une propriété importante qui influence sa stabilité et sa capacité à résister à l'érosion, aux glissements de terrain et aux

affaissements. La teneur en eau, la densité, la texture, la composition et la structure du sol sont tous des facteurs qui contribuent à la cohésion du sol

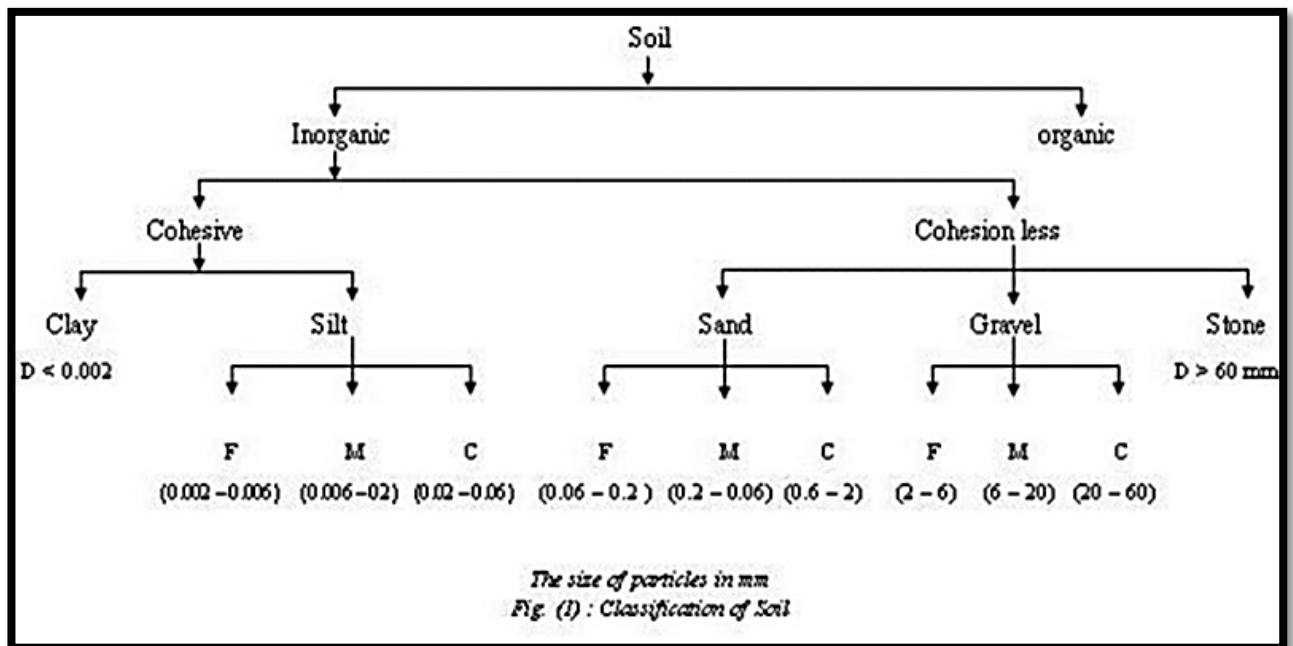


Figure I.16 : Illustration des sols cohésifs et non cohésifs, avec classification selon le degré de cohésion [37].

I.5.1 Différence entre les sols cohésifs et non cohésifs :

La cohésion d'un sol est sa capacité à s'opposer au glissement des grains qui le composent afin de résister à un effort de cisaillement. Sa mesure limite le danger d'éboulement du terrain.

Une partie du processus de construction d'un bâtiment ou d'une route implique l'analyse du sol sur lequel le bâtiment sera construit. Les environnements de sol fournissent la base physique sur laquelle un bâtiment ou une route peut se tenir pendant des années. Les aspects techniques de la composition du sol examinent les différences de texture, de résistance et de consistance qui distinguent les sols cohésifs des environnements non cohésifs.

La mécanique des sols, également appelée ingénierie géotechnique, implique l'utilisation des sols comme matériaux d'ingénierie. Cette ligne d'études permet aux ingénieurs d'identifier les sols appropriés pour la construction. La capacité

d'un sol à se compacter et à conserver sa consistance sous pression détermine si elle fournira une base appropriée pour la construction. En effet, les ingénieurs examinent les caractéristiques physiques d'un environnement de sol dans le cadre du processus de planification préalable lié aux projets de construction. En conséquence, les différences entre les sols cohésifs et non cohésifs jouent un rôle important dans la détermination de la conformité d'un secteur particulier avec le plan d'un bâtiment. [37].

I.5.2 La relation entre l'argile et le degré de cohésion du sol:

Les différences de texture dans les sols résultent des types de roche qui constituent une zone particulière. Avec le temps, les effets du temps et de l'érosion hydrique décomposent les roches préexistantes en particules de sol. Des différences de texture apparaissent dans les formes, les tailles et la disposition des particules qui composent le sol. La présence ou l'absence d'argile ou de particules fines détermine les qualités de cohésion trouvées dans un environnement de sol. En effet, l'argile et les particules fines agissent comme des liants qui maintiennent la terre ensemble. Ainsi, les sols non cohésifs contiennent peu ou pas d'argile ou de fines particules, tandis que les sols cohésifs contiennent de grandes quantités d'argile et de fines particules. La capacité de compactage d'un sol dépend de la taille de ses particules et de la quantité d'argile présente dans l'échantillon. En tant que matériau, l'argile a tendance à absorber facilement l'eau par rapport à un matériau de type sable. Ce facteur d'absorption augmente la capacité d'un sol à se compacter dans un moule. Les ingénieurs géotechniciens peuvent analyser un échantillon de sol pour en évaluer la plasticité ou la qualité de moulage. Ainsi, les différences entre les sols cohésifs et non cohésifs apparaissent comme des propriétés de plasticité élevée par rapport à une plasticité faible, les sols cohésifs ayant des scores plus élevés. En effet, plus les propriétés de plasticité d'un sol sont élevées, plus il est probable que celui-ci conservera sa forme s'il est soumis à un poids ou à une pression supplémentaire. Cependant, la présence excessive d'argile peut également causer des problèmes. Lorsque le sol est saturé d'eau, l'argile peut se transformer en une substance

collante et glissante, ce qui peut réduire considérablement la cohésion du sol et entraîner des glissements de terrain ou des affaissements. En outre, une teneur élevée en argile peut faire en sorte que le sol soit plus difficile à travailler, ce qui peut avoir des conséquences négatives pour l'agriculture et la construction

En somme, bien que l'argile puisse jouer un rôle important dans la formation des agrégats de sol et la cohésion du sol, il est important de comprendre les limites de sa présence et de prendre en compte d'autres facteurs tels que la densité, la structure et la composition du sol pour évaluer la stabilité et la cohérence du sol.

Tableau I.3 : Valeurs indicatives de la cohésion non drainée pour les argiles [22].

Consistance	c_u (kPa)
Très molle	$c_u < 10$
Molle	$10 < c_u < 25$
Moyennement consistante	$25 < c_u < 50$
Consistante	$50 < c_u < 75$
Raide	$75 < c_u$

I.5.3 Différences de cohérence :

Les sols non cohésifs sont constitués de particules de sol volumineuses ou de taille irrégulière contenant peu ou pas d'argile. En conséquence, ces sols ont tendance à changer ou à changer de consistance dans différentes conditions environnementales. Les conditions de pluie et de vent entraînent l'entrée et la sortie de matériaux dans l'eau et l'air. Ces conditions créent des espaces entre les particules de sol. Dans le cas de l'absorption d'eau, les grosses particules de sol ayant de faibles propriétés de cohésion ont tendance à changer de forme et de consistance à mesure que l'eau s'évapore. Avec des sols cohésifs, l'argile et des matériaux particuliers fins conservent une certaine capacité de liaison qui permet de conserver la forme et la consistance d'un sol. [37].

I .5.4 les facteurs qui font évoluer la cohésion du sol :

Il s'agit des cinq facteurs suivants :

- ✚ Les conditions atmosphériques, notamment en cas de pluie abondante, lors d'une sécheresse ou à cause d'un vent asséchant. En période de gel, l'eau gonfle en se transformant en glace, ce qui augmente le volume des terrains et écarte des éléments constitutifs du sol.
- ✚ Les modifications du régime hydraulique qui provoquent des infiltrations d'eau, des drainages ou des variations de niveau de la nappe phréatique, préjudiciables à la tenue des terrains.
- ✚ Les surcharges en bord de fouille. Même une petite quantité de dépôt (déblais ou matériaux) peut augmenter les contraintes dans le sol et en perturber l'équilibre.
- ✚ Les vibrations engendrées par la circulation des engins ou le fonctionnement des matériels de chantier, tels que compresseurs, marteaux-piqueurs, compacteurs, ont un impact sur l'altération de la cohésion du sol.
- ✚ La présence d'ouvrages enterrés, de cavités souterraines ou de zones de fontis modifient l'homogénéité du terrain et donc sa compacité. [21].

I .5.5 les avantages de rendre le sol cohérent :

- ✚ Stabilité des structures: La cohésion du sol est essentielle pour assurer la stabilité des structures construites sur ou dans le sol. Des sols cohérents peuvent mieux résister aux forces de cisaillement et offrent une meilleure capacité portante, ce qui est important pour les fondations des bâtiments, les routes, les ponts et autres infrastructures.
- ✚ Résistance à l'érosion: Les sols cohérents ont une meilleure résistance à l'érosion que les sols non cohérents. Les particules de sol sont mieux maintenues ensemble, ce qui réduit l'effet des forces

érosives telles que les pluies torrentielles, les vents forts et les courants d'eau.

- ✚ Réduction des risques de glissement de terrain: Les sols cohérents offrent une meilleure résistance aux glissements de terrain, ce qui est important pour les zones présentant un risque élevé de glissements de terrain. Les sols cohérents peuvent mieux résister aux forces de cisaillement et offrir une meilleure stabilité.
- ✚ Meilleure qualité du sol: Les sols cohérents ont généralement une meilleure qualité que les sols non cohérents. Ils offrent une meilleure capacité de rétention d'eau et de nutriments, ce qui est important pour la croissance des plantes et des cultures.

I .5.6 Mesure de la cohésion du sol :

L'appareil de cisaillement est un instrument utilisé en géotechnique pour mesurer la résistance au cisaillement des sols. Il est composé d'une boîte contenant le sol à tester, qui est soumise à une force de cisaillement horizontale à l'aide de deux plaques parallèles. Les mesures fournies par l'appareil de cisaillement sont utilisées pour déterminer les paramètres de résistance au cisaillement des sols, tels que l'angle de frottement interne et la cohésion.

Il existe plusieurs types d'essais de cisaillement pour mesurer la cohésion du sol, notamment :

- ✚ **-L'essai de cisaillement direct (ou essai de boîte) :** il consiste à appliquer une force horizontale sur un échantillon de sol placé dans une boîte. Cette force est augmentée progressivement jusqu'à ce que l'échantillon se rompe. La cohésion est alors calculée à partir de la force nécessaire pour rompre l'échantillon et de sa surface de rupture. [50].
- ✚ **-L'essai de cisaillement triaxial :** il s'agit d'un essai plus sophistiqué dans lequel l'échantillon de sol est placé dans une cellule triaxiale. Cette cellule permet de contrôler la pression de confinement du sol et la force axiale appliquée sur l'échantillon. La cohésion est alors calculée à partir de la courbe contrainte-déformation obtenue lors de l'essai.
- ✚ **-L'essai de torsion :** il consiste à appliquer une force de torsion sur un échantillon de sol placé entre deux plaques circulaires. La cohésion est

alors calculée à partir de la force de torsion nécessaire pour rompre l'échantillon et de sa géométrie.

- ✚ Ces différents types d'essais de cisaillement permettent de mesurer la cohésion du sol selon différentes conditions de contraintes et de déformations.

I.6. Essai de cisaillement direct :

I.6.1 Définition :

La résistance au cisaillement d'un sol est la contrainte de cisaillement dans le plan de rupture, au moment de la rupture. Lorsqu'un système de force est appliqué à un volume déterminé d'un sol, il se développe en général des contraintes de cisaillement qui entraînent des déformations du sol. Celles-ci peuvent être importantes le long de surfaces de glissement ou de rupture. [26].

I.6.2 But de l'essai :

Il permet d'évaluer les caractéristiques mécaniques d'un sol (naturel reconstitué ou artificiel), qui sont la cohésion « C » et l'angle de frottement interne « ϕ ». Cet essai permet d'étudier la stabilité des fondations superficielles ou profondes, des ouvrages de soutènement, des talus naturels ou des déblais ou des remblais et de tracer la courbe intrinsèque du sol [26].

I.6.3 L'angle de frottement « ϕ » :

L'angle de frottement dans les sols est une mesure de la résistance à la friction entre les particules du sol. Il est défini comme l'angle entre le plan horizontal et la surface du sol au point où le sol commence à glisser sous l'effet d'une force appliquée. Cette mesure dépend de la nature des particules du sol, de leur taille, de leur forme, de leur rugosité, de leur densité et de leur humidité. Il est utilisé pour déterminer la stabilité des pentes, des talus et des fondations dans les constructions. [50].

I.6.4 La cohésion « C »:

Comme nous l'avons vu précédemment la forces de cohésion est la résistance au cisaillement d'un sol sous une contrainte normale nulle. Les matériaux "normaux" résistent aussi à la traction et ont une certaine cohésion.

Cette cohésion est liée à la présence, à la surface des particules d'argile, de charges électriques qui engendrent des forces d'attraction entre les particules par l'intermédiaire des impuretés contenues dans l'eau qui sature souvent les sols cohérents. Certaines de ces impuretés

On considère qu'un sol est cohérent lorsqu'il comprend plus de 50 % de particules d'argiles. A l'opposé, les sols pulvérulents totalement dépourvus d'argile n'offrent aucune cohésion ; il est d'ailleurs impossible de les façonner.

Il faut cependant souligner qu'un sable partiellement saturé peut manifester une cohésion dite apparente, créée entre autres par la tension. [33].

I.6.5 Appareil de cisaillement direct :

L'essai consiste à soumettre le sol à un cisaillement direct, rectiligne, suivant un plan imposé. L'échantillon de sols, de forme carrée, est placé entre 2 demi-bottes mobiles l'une par rapport à l'autre : on applique à l'échantillon un effort de compression normale N à l'aide de poids et un effort horizontal de traction T en déplaçant les 2 demi-bottes l'une par rapport à l'autre Un capteur de déplacements permet de déterminer le déplacement relatif des deux demi-bottes.

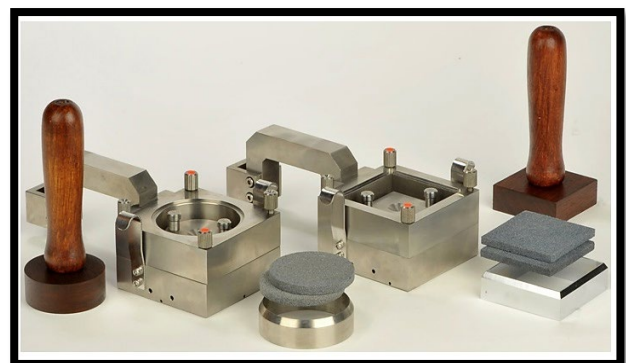
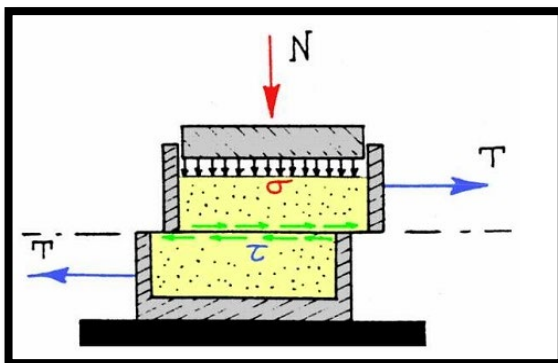


Figure I.17 : Boite de cisaillement **Figure I.18 :** Boite de cisaillement deux formes [25].

I.6.5.1 Types d'essais:

On distingue les principaux types d'essais suivants :

A - essais non consolidés-non drainés (UU) :

L'essai UU consiste à appliquer une charge axiale constante sur un échantillon non confiné, ce qui entraîne une déformation latérale. Cela permet de mesurer la force nécessaire pour atteindre la rupture du matériau. Dans cette expérience, l'échantillon n'est pas autorisé à se consolider ou se drainer pendant l'application de la charge axiale. De plus, il est généralement maintenu humide pendant toute la durée du test afin que les propriétés mécaniques soient conservées et que tout effet lié au séchage soit réduit [39].

B - essais consolidés-non drainés (CU) :

L'essai CU consiste à appliquer une charge axiale constante sur un échantillon confiné, ce qui entraîne également une déformation latérale. Cela permet de mesurer la force nécessaire pour atteindre la rupture du matériau. Contrairement aux essais UU, l'échantillon est autorisé à se consolider [32].

I.6.6 Relation entre la cohésion et la résistance au cisaillement :

En général, plus un sol a une forte cohésion, plus il aura également une forte résistance au cisaillement. Cela s'explique par le fait que des particules bien agglomérées grâce à leur adhérence mutuelle permettent au matériau en question de mieux résister aux forces extérieures qui tendent à le déformer ou l'arracher. [47].

Cependant, il y a des exceptions où un matériau peut avoir une faible cohésion mais tout de même avoir une forte résistance au cisaillement due à d'autres facteurs tels que sa densité ou sa granulométrie. De même, certains matériaux peuvent avoir une grande cohésion mais être facilement déformables sous l'action d'une charge due notamment à leur porosité.

En somme, si la force interne exercée entre les particules composant un sol est élevée (cohésion), cela contribuera généralement aussi à augmenter sa capacité globale à supporter des charges extérieures (résistance). Toutefois cette

relation n'est pas toujours linéaire ni systématique et doit être appréciée cas par cas pour chaque type spécifique de sol.

I.6.7 L'effet des forces cohésives sur les études menées sur les routes:

Les forces cohésives jouent un rôle important lors des études menées sur les routes. Ces forces décrivent la capacité des matériaux de la chaussée à rester liés ensemble et à résister aux contraintes mécaniques, telles que la circulation des véhicules, les variations de température et les mouvements du sol. Voici quelques effets des forces cohésives dans les études sur les routes:

1 .Renforcement de la structure de la chaussée : Les forces cohésives aident à maintenir les différents matériaux de la chaussée ensemble, formant ainsi une structure solide et durable. Elles réduisent les fissures, les déformations et les dégradations causées par les contraintes externes. [39].

2 .Amélioration de la résistance à l'eau : Les forces cohésives aident à minimiser la pénétration de l'eau dans la chaussée. En agissant comme un liant, elles réduisent la perméabilité et préviennent la détérioration due à l'humidité, telle que l'érosion et l'affaissement du sol.

3 .Augmentation de l'adhérence : Les forces cohésives améliorent l'adhérence entre les pneus des véhicules et la surface de la chaussée, ce qui permet une meilleure traction et réduit les risques d'accidents liés au glissement.

4 .Résistance aux cycles gel-dégel : Les forces cohésives aident à prévenir les dommages causés par les cycles répétés de gel et de dégel. Elles réduisent la possibilité de formation de fissures et de déformations induites par les changements de température, assurant ainsi une meilleure durabilité de la chaussée.

Lors des études sur les routes, il est essentiel de prendre en compte les forces cohésives pour s'assurer de la qualité, de la sécurité et de la durabilité de l'infrastructure routière. Les ingénieurs et les chercheurs utilisent différentes méthodes et techniques pour évaluer et améliorer ces forces, comme les essais de laboratoire, les modèles de prévision et les matériaux de construction appropriés. [32].

I.6.7.1 Répartition de la forcé statique et dynamique sur la chaussée :

- Le poids statique est bien réparti sur la chaussée lorsque les roues sont en contact avec le sol et ne glissent pas

- La force dynamique sur la chaussée, en revanche, est générée par les mouvements du véhicule, notamment les accélérations, les décélérations, les virages et les freinages brusques

Il est important de tenir compte à la fois de la force statique et dynamique lors de la conception et de l'entretien de la chaussée que Les ingénieurs doivent estimer avec précision les charges statiques et dynamiques générées par les véhicules pour dimensionner correctement les couches de la chaussée et les renforcer

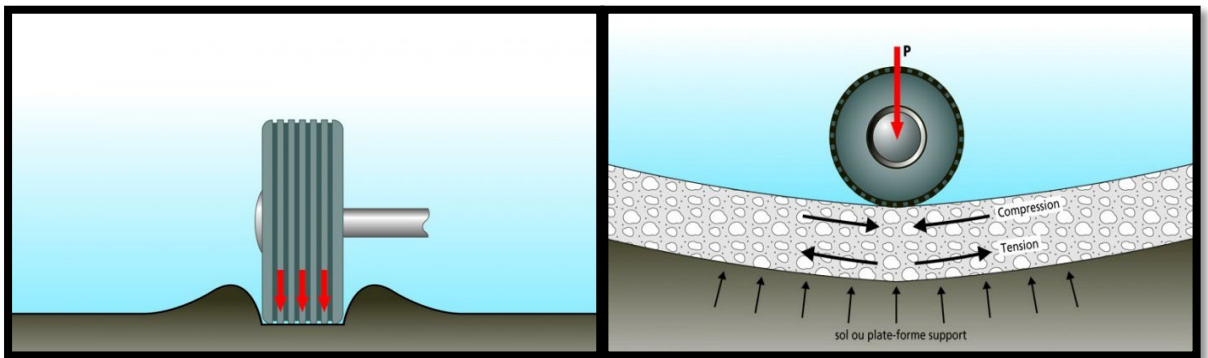


Figure 1.19: Répartition de la force statique et dynamique sur la chaussée [37].

I.6.8 Appareillage :

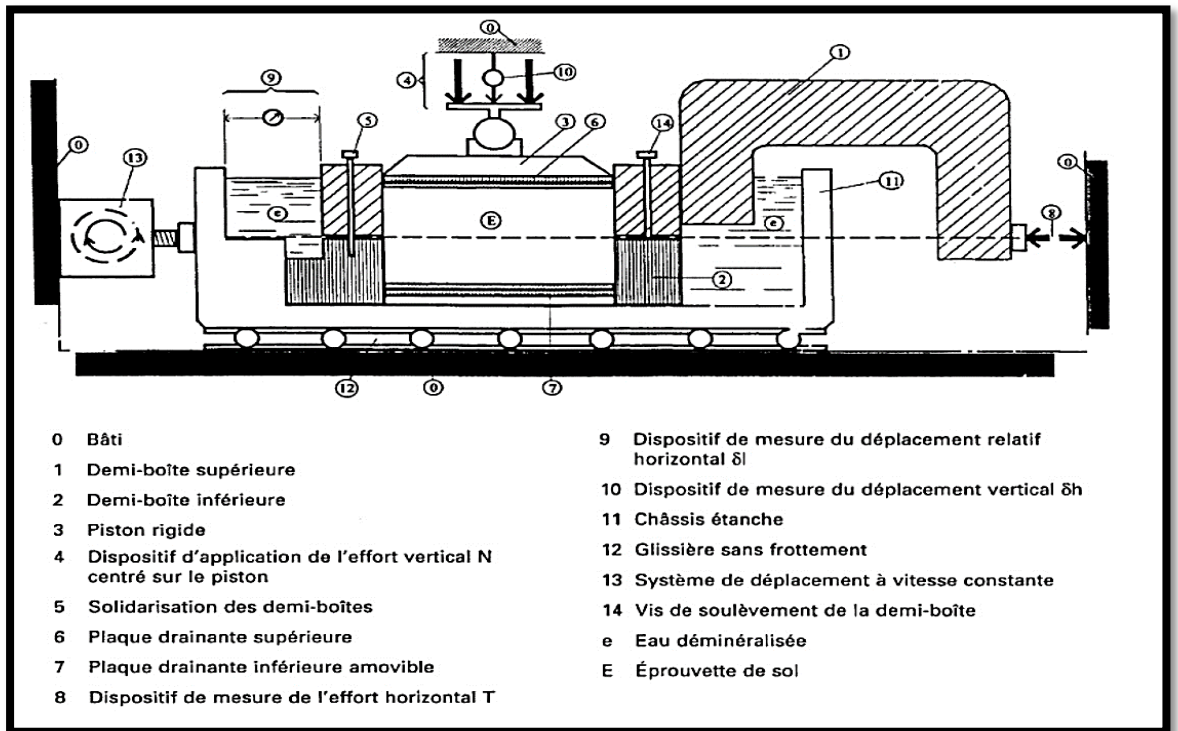


Figure 1.20 : Diverses pièces de l'appareil de cisaillement [31].

I.7. Utilisation du mélange sable et argiles dans le domaine géotechnique :

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

Alberta Environnement 1985 recommande l'utilisation de bentonites à forte teneur en montmorillonite ayant principalement du sodium comme cations échangeables. D'après ce document, les bentonites avec du calcium auraient un potentiel de gonflement plus faible et nécessiteraient des pourcentages de bentonite plus élevés pour atteindre les mêmes objectifs de conductivité hydraulique. Le sable doit aussi posséder des caractéristiques granulométriques telles que la stabilité hydraulique du mélange sera assurée et que la bentonite demeurera à l'intérieur du squelette formé par le sable. [54].

Les données de Marcotte et al. 1993 recueillies dans le cadre de l'étude géotechnique réalisée pour les étangs de Trois-Rivières, montrent que le risque de les sivages augmente lorsque les pourcentages de particules fines et de bentonite sont faibles. On peut y remédier en augmentant le pourcentage de particules fines. Bien sûr, les conditions conduisant à un les sivages varient avec le sol étudié, la nature de la bentonite utilisée et peut-être les caractéristiques d'essais. On doit donc vérifier que le mélange sable-bentonite est stable, en réalisant des essais de perméabilité sous des gradients hydrauliques au moins aussi élevés que dans les conditions de terrain, sans papier-filtre qui pourrait arrêter la bentonite, et en suivant l'évolution dans le temps de la conductivité hydraulique et de l'apparence de l'eau percolée. Pour de faibles pourcentages de bentonite

Le comportement mécanique est contrôlé par le sol pulvérulent. Si par contre le pourcentage en bentonite devenait excessif, les particules de sable ne seraient plus en contact les unes avec les autres et le comportement mécanique serait alors contrôlé par la bentonite et son faible angle de frottement. En ce sens, trop de sécurité sur le pourcentage de bentonite pour atteindre une performance hydraulique peut conduire à un problème de stabilité mécanique des mélanges sur les talus. [67].

Les résultats Aïd Nouri.2009, sur les Comportement mécanique d'un sable renforcé par des nappes de polyéthylène, réaliser sur les essais de compactage,

les essais de cisaillement direct ainsi que des essais de conductivité hydraulique de ces mélanges sont présentés. L'étude a montré qu'un mélange sable- bentonite à 10% assure une imperméabilisation adéquate des centres d'enfouissement technique.

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

Le mélange de sable et d'argile est couramment utilisé dans la construction de routes, de bâtiments et d'infrastructures. Ce mélange est souvent appelé « sol stabilisé » et est obtenu en ajoutant du sable à de l'argile pour améliorer ses propriétés mécaniques.

I.7.1 Les avantages du mélange de sable et d'argile :

- ✚ -L'amélioration de la résistance à la compression et à la traction du sol, ce qui le rend plus stable et plus résistant aux charges.
- ✚ -L'amélioration de la perméabilité du sol, ce qui permet à l'eau de s'infiltrer plus facilement et réduit ainsi les risques d'inondation.
- ✚ -L'amélioration de la résistance aux cycles de gel-dégel, ce qui permet au sol de rester stable et de ne pas se fissurer.

Cependant, il est important de noter que le mélange de sable et d'argile doit être réalisé avec soin et selon des proportions précises pour éviter des problèmes de stabilité et de cohésion du sol. En effet, un excès de sable peut rendre le sol trop perméable, tandis qu'un excès d'argile peut rendre le sol trop instable et sujet à des mouvements de terrain.

I.8. Classification des sols :

I.8.1 But de la classification :

Pour résoudre les problèmes de mécanique des sols, il est important de caractériser un sol mais aussi de les classer, c'est à dire de les mettre dans un groupe ayant des comportements similaires .

Il existe de nombreuses classifications. En général, la simple identification visuelle permet de donner un nom au matériau : marne bleue, argile jaune, sable fin, ...

Les renseignements nous permettent d'identifier les sols et par conséquent de se faire une idée sur leurs comportements.

La classification du sol permet également d'estimer comment un type particulier de terre réagira à différentes forces telles que celles exercées par un bâtiment ou une structure routière. Cette information peut aider à prédire comment va se comporter le terrain dans certaines situations afin notamment d'éviter tout dommage potentiel aux personnes et aux biens. Alors il existe plusieurs systèmes de classification des sols. [21].

I.8.2 Nombreuses classifications dans différents pays :

- ✚ *Classification L.C.P.C (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées) identique à la classification U.S.C.S'*
- ✚ *Classification U.S.C.S (Unified Soil Classification System) établie par Casagrande'*
- ✚ *Classification A.A.S.H.O (American Association State Highways Officials)'*
- ✚ *Classification G.T.R (Guide des terrassements routier).*

I.8.3 La classification L.C.P.C (Laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées) :

Classer un sol consiste à l'identifier grâce à des mesures quantitatives et à lui donner un nom afin

de le rattacher à un groupe de sols de caractéristiques semblables.

Classification LPC Sol à partir des résultats fournis par

- La granulométrie
- Les caractéristiques de plasticité de la fraction fine (Atterberg)

Les sols sont désignés par le nom de la portion granulométrique prédominante qualifiée par un adjectif relatif aux portions secondaires. [61].

On distingue trois grands types de sols :

- ✓ Les sols grenus : plus de 50 % des éléments en poids > 80 µm,
- ✓ les sols fins : plus de 50 % des éléments en poids < 80 µm,
- ✓ Les sols organiques dont la teneur en matière organique est > à 10 %.
- *Sols grenus* La classification des sols grenus se fait par la granulométrie et les limites d'Atterberg.
- *Sols fins* La classification des sols fins utilise les critères de plasticité liés aux limites d'Atterberg. Elle est précisée dans le chapitre 3

Selon la position dans le diagramme du point représentatif ayant pour abscisse la limite de liquidité et pour ordonnée l'indice de plasticité, on définit quatre grandes catégories principales :

- ✓ les limons très plastiques
- ✓ les limons peu plastiques
- ✓ les argiles très plastiques
- ✓ les argiles peu plastiques

Tableau I.4 : Classification des sols grenus (selon L.C.P.C). [21].

Définitions		Symboles	Conditions	Désignation géotechnique
GRAVES	Plus de 50 % des éléments > 0,08 mm ont un diamètre > 2 mm	moins de 5 % d'éléments < 0,08 mm	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ (*) et $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ compris entre 1 et 3	grave propre bien graduée
		plus de 12 % d'éléments < 0,08 mm	Une des conditions de Gb non satisfaite	grave propre mal graduée
	Plus de 50 % des éléments > 0,08 mm ont un diamètre < 2 mm	moins de 5 % d'éléments < 0,08 mm	Limite d'Atterberg au-dessous de la ligne A (fig. 2)	grave limoneuse
		plus de 12 % d'éléments < 0,08 mm	Limite d'Atterberg au-dessus de la ligne A	grave argileuse
SABLES	Plus de 50 % des éléments > 0,08 mm ont un diamètre < 2 mm	moins de 5 % d'éléments < 0,08 mm	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ et $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ compris entre 1 et 3	sable propre bien gradué
		plus de 12 % d'éléments < 0,08 mm	Une des conditions de Sb non satisfaite	sable propre mal gradué
	Plus de 50 % des éléments > 0,08 mm ont un diamètre < 2 mm	moins de 5 % d'éléments < 0,08 mm	Limite d'Atterberg au-dessous de la ligne A	sable limoneux
		plus de 12 % d'éléments < 0,08 mm	Limite d'Atterberg au-dessus de la ligne A	sable argileux

Lorsque 5 % < % inférieur à 0,08 mm < 12 % → on utilise un double symbole.

I.8.4 La Classification U.S.C.S (Unified Soil Classification System) :

La Classification U.S.C.S (Unified Soil Classification System) est un système utilisé pour classer les sols en fonction de leurs propriétés physiques et mécaniques. Ce système a été développé par le United States Bureau of Reclamation et est largement utilisé dans l'industrie du génie civil.

Le système de classification U.S.C.S divise les sols en deux catégories principales : les sols grossiers et les sols fins. Les sols grossiers sont ceux dont plus de la moitié des particules ont une taille supérieure à 0,075 mm tandis que les sols fins sont ceux dont plus de la moitié des particules ont une taille inférieure à 0,075 mm

En outre, chaque catégorie principale est ensuite subdivisée en fonction d'autres caractéristiques telles que la plasticité, l'humidité ou encore leur comportement face aux vibrations.

Cette classification permet ainsi aux ingénieurs civils d'estimer rapidement certaines propriétés importantes des différents types de sol, ce qui peut être utile pour déterminer le type approprié pour différentes applications. Par exemple, elle permettra notamment d'évaluer si un type particulier de matériau conviendra mieux pour constituer le support d'une route ou celui d'un bâtiment. [38].

Tableau I.5 : Classification des sols (selon U.S.C.S) [32].

CLASSIFICATION DES SOLS GRENUS (plus de 50% des éléments > 0,08 mm)					
Définitions			Symb	Critères	Appellation
GRAVES	Plus de 50% des éléments > 0,08 mm ont un diamètre > 2 mm (Tamis ASTM N° 7)	Moins de 5% d'éléments < 0,08 mm	Gb (GW)	$C_u > 4$ et $1 < C_c < 3$	Grave propre bien graduée
			Gm (GP)	Une des conditions Gb non satisfaites	Grave propre mal graduée
	Plus de 12% d'éléments < 0,08 mm	GL (GM)	Limites d'Atterberg au dessous de la ligne A (Voir figure 2.3)	Grave limoneuse	
		GA (GC)	Limites d'Atterberg au dessus de A	Grave argileuse	
SABLES	Plus de 50% des éléments > 0,08 mm ont un diamètre < 2 mm	Moins de 5% d'éléments < 0,08 mm	Sb (SW)	$C_u > 6$ et $1 < C_c < 3$	Sable propre bien graduée
			Sm (SP)	Une des conditions Sb non satisfaites	Sable propre mal graduée
	Plus de 12% d'éléments < 0,08 mm	SL (SM)	Limites d'Atterberg au dessous de la ligne A (Voir figure 2.3)	Sable limoneux	
		SA (SC)	Limites d'Atterberg au dessus de la ligne A (Voir figure 2.3)	Sable argileux	
Lorsque : $5\% < \% \text{ d'éléments inférieurs à } 0,08 \text{ mm} < 12\% \Rightarrow$ on utilise un double symbole					

I.8.5 Classification des sols selon la nomenclature GTR (Guide des Terrassements Routiers) (norme NF P 11 300) :

On distingue 3 familles :

- Les sols de classe : A, B, C et D
- Les matériaux rocheux de classe : R
- Les sols organiques et sous-produits industriels de classe : F

Les 4 classes de sols (famille 1) : Classe A : sols fins Classe B : sols sableux et graveleux avec fines Classe C : sols comportant des fines et des gros éléments Classe D : sols insensibles à l'eau.

Identification des sols (famille 1):

Les paramètres retenus pour l'identification des sols sont:

Les paramètres de nature, dont les caractéristiques sont :

- *Granularité*
- *Argilosité [60].*

Les paramètres de comportement mécanique, dont les caractéristiques sont :

- *résistance à la fragmentation*
- *résistance à l'usure*
- *friabilité*

Les paramètres d'état hydrique :

- *état hydrique*

Chaque caractéristique sera déterminée à l'aide des essais de laboratoire...

Essais de laboratoire Principaux essais de laboratoire Paramètres de nature :

Granularité qui permet de déterminer la distribution des tailles de particules:

a. *Analyse granulométrique*

Argilosité qui permet d'identifier la fraction argileuse:

- a. *Limites d'Atterberg*
- b. *Equivalent de sable*
- c. *Essai au bleu [62].*

Paramètres de comportement mécanique :

Les expériences mécaniques sont présentées dans le tableau suivant pour le sable et les roches [38].

Tableau I.6 : *Expériences mécaniques pour les sols et les roches*

Sols	Roches
<ul style="list-style-type: none"> Résistance à la fragmentation <ul style="list-style-type: none"> a. Los Angeles (LA) Résistance à l'usure <ul style="list-style-type: none"> a. Micro Deval en présence d'Eau (MDE) Friabilité : <ul style="list-style-type: none"> a. Friabilité des Sables (FS) 	<ul style="list-style-type: none"> Résistance à la fragmentation <ul style="list-style-type: none"> a. Fragmentabilité Résistance à l'usure : <ul style="list-style-type: none"> a. Dégradabilité Autres essais utilisés <ul style="list-style-type: none"> a. Los Angeles (LA) b. Micro Deval en présence d'Eau (MDE) c. Friabilité des Sables (FS)

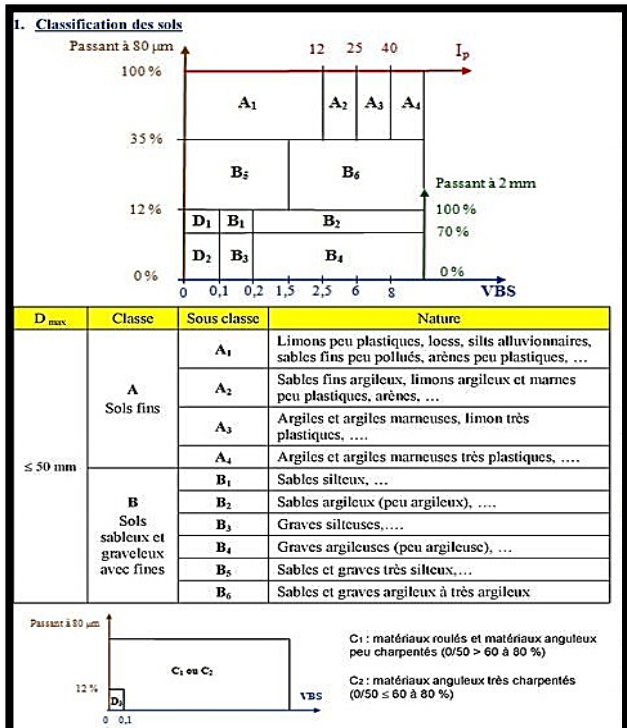
Paramètres d'état hydrique :

Etat hydrique :

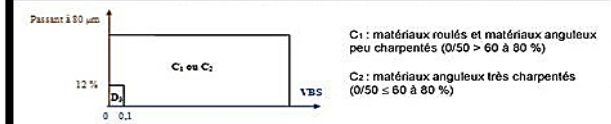
- a. Teneur en eau
- b. Essai Proctor
- c. Poinçonnement IPI

Tableau I.7 : *Classification des sols Selon la nomenclature GTR (norme NF P 11 300)*

[39].



D _{max}	Classe	Sous classe	Nature
≤ 50 mm	A Sols fins	A ₁	Limons peu plastiques, loess, silts alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques, ...
		A ₂	Sables fins argileux, limons argileux et marnes peu plastiques, arènes, ...
		A ₃	Argiles et argiles marnieuses, limon très plastiques, ...
		A ₄	Argiles et argiles marnieuses très plastiques, ...
	B Sols sableux et graveleux avec fines	B ₁	Sables silteux, ...
		B ₂	Sables argileux (peu argileux), ...
		B ₃	Graves silteuses, ...
		B ₄	Graves argileuses (peu argileuse), ...
		B ₅	Sables et graves très silteux, ...
		B ₆	Sables et graves argileux à très argileux



D _{max}	Classe	Sous classe	Nature
> 50 mm	C Sols comportant des fines et des gros éléments	C ₁ A ₁	Argiles à silex, argiles à meulrières, éboulis, moraines, alluvions grossières, ...
		C ₁ B ₁	
		C ₂ A ₁	Argiles à silex, argiles à meulrières, éboulis, moraines, biefs à silex, ...
		C ₂ B ₁	
≤ 50 mm	D Sols insensibles à l'eau	D ₁	Sables alluvionnaires propres, sables de dune, ...
D ₂		Graves alluvionnaires propres, sables, ...	
> 50 mm		D ₃	Graves alluvionnaires propres, ...

I.8.6 Autre type de classification :

I.8.6.1 La Technique Routière Saharienne (TRS) :

Est une méthode de construction routière adaptée aux conditions spécifiques des zones arides et semi-arides du désert. Cette technique a été développée par l'armée française dans les années 1960 pour faciliter la circulation des convois militaires sur le territoire algérien.

La TRS se caractérise par l'utilisation de matériaux locaux, tels que le sable et les pierres, pour construire une chaussée qui résiste aux fortes tempêtes de sable et aux conditions climatiques extrêmes du désert. Les routes TRS sont conçues avec un profil en travers convexe qui permet d'évacuer rapidement les eaux pluviales vers les bas-côtés, réduisant ainsi leur impact sur la chaussée. [32].

Les techniques utilisées dans la construction des routes TRS comprennent également l'utilisation d'un treillis métallique recouvert d'une couche de béton projeté pour renforcer la surface de roulement contre l'érosion éolienne et améliorer sa stabilité sous les charges roulantes.

Bien que la TRS soit initialement destinée à un usage militaire, elle a depuis été adoptée par plusieurs pays comme solution économique et durable pour construire des routes dans des régions arides ou difficiles d'accès où il peut être difficile voire impossible d'utiliser des matériaux traditionnels tels que le bitume ou le béton armé. [32].

I.8.6.2 Le Contrôle Technique des Travaux Publics (CTTP) :

Est une procédure qui vise à vérifier la conformité des travaux publics, y compris les routes, aux règles de l'art et aux normes en vigueur. Le CTTP permet également d'assurer la qualité de la construction et le respect du cahier des charges.

Dans le cas spécifique de la Technique Routière Saharienne (TRS), le CTTP peut jouer un rôle important pour garantir que cette technique est mise en œuvre correctement et avec les matériaux appropriés. En effet, comme toute autre méthode de construction routière, il est essentiel que les travaux TRS soient réalisés selon les normes techniques établies afin d'assurer leur durabilité et leur sécurité. [39].

Le CTTTP peut donc effectuer des contrôles sur différents aspects liés à la mise en place d'une route TRS tels que:

- La qualité des matériaux utilisés pour construire la chaussée
- La résistance du treillis métallique recouvert d'une couche de béton projeté
- Le profil transversal convexe qui permet l'évacuation rapide des eaux pluviales vers les bas-côtés
- L'aménagement adéquat du système de drainage

En somme, le CTTTP peut aider à s'assurer que toutes les étapes nécessaires sont suivies lorsqu'on utilise la Technique Routière Saharienne dans un projet donné. [62].

I.9. Etudes antérieures :

Il existe des études antérieures et similaires dans le domaine du mélange optimal entre le sable et l'argile Et puis mener des expériences et discuter des résultats pour chacun des travaux, et notre travail était basé sur certaines de ces études, et nous allons les présenter maintenant dans l'ordre chronologique. [43].

I.9.1 Azzouz Fatima Zohra, Gueddouda M. Kamel et Lamara Mohammed, (2017):

Caractérisation physique et mécanique de mélanges argile-sable de dune destinés la réalisation des couches compactées en région arides de l'Algérie.

Cette étude entre dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux pour la réalisation des couches compactées à base d'argile et de sable de dune. Elle a des retombées essentiellement un matériau moins cher, économique et efficace dans le domaine routier. Ce travail a permis d'étudier expérimentalement la caractérisation physico-mécanique des mélanges argile /sable de dune et basé sur la variation de la densité sèche maximale de différents de sable de dune (10%,20%,30%,40%, et 50%). Les résultats des essais de compactage montrent que les densités sèches maximales augmentent avec la quantité du sable y ajouté et pour la teneur optimale correspondantes diminué avec le pourcentage de sable y ajouté. Aucun mélange optimal n'a trouvé parce que les densités sèches maximales augmentent avec la quantité du sable de dune y ajouté de

(10%,20%,30%,40%, et 50%) dans le cas de Proctor modifier. Les résultats de Proctor normale et Modifié des argiles étudiées sans ajout de sable de dune, montrent que la densité sèche augmente avec énergie de compactage. Cet article basé sur voir les paramètres de Proctor Normale pour le mélange argile/sable de dune avec des pourcentages varie de (10%, 20%, 30%,40% et 50%) de sable de dune. Le même mélange avec les mêmes pourcentages sera réalisé pour Proctor Modifié sans ajout de géotextile et avec l'utilisation du géotextile dans la suite de notre recherche.

I.9.2 Djihad ZAHI, (2018):

Etude expérimentale des mélanges sable de dune/argile avec l'ajout le géotextile dans le domaine géotechnique routière

La mémoire étudier trois mélanges optimaux sable dune de sable avec l'argile pour la région de Ghardaïa avec l'ajout du Géotextile destiné pour les essais routiers (Proctor Modifier, CBR, et essais de compression simple), L'objectif étant de sélectionner l'amélioration des caractéristiques mécaniques des trois mélanges optimaux avec deux types de Géotextiles.

Les mots clés : L'argile, sable de dune, Géotextile, essais routier ... [48].

I.9.3 Chenini Mohammed Zouhir et Bellahcen Taher, (2021):

Etude d'un comportement mécanique d'un mélange sable de dune-argile de wilaya de Ghardaïa renforcé par géotextile.

La mémoire concerne une étude de comportement de mélange Sable-Argile sont utilisées dans le domaine géotechnique ; Dans la pratique, on cherche à obtenir le mélange le moins coûteux qui satisfait les conditions mécaniques. Ce travail, présente des résultats mélange Sable-Argile vis-à-vis l'évolution des paramètres mécaniques de cisaillement et odomètre.

Sur de mélanges différents de sol de wilaya Ghardaïa Par la suite, une étude de renforcement par géotextile est mise en évidence par les différents auteurs insistent sur l'intérêt économique de cette solution vis-à-vis d'autres solutions plus lourdes. Dans les domaines de la géotechnique et du génie civil. Les géotextiles sont les plus utilisés dans les domaines tels que la construction routière, les travaux hydrauliques, les chemins de fer, les

terrains d'aviation, etc. Utilisation de géotextile donne un bon résultat sur les paramètres de cisaillement à résistance afin de transformer le comportement fragile du sable en un comportement plus ductile, mais pour les paramètres oedométriques pas des résultats exacts il faut à étudier une autre fois Les mots clés : L'argile, sable de dune, Géotextile, un comportement mécanique, les essais mécaniques, marne...etc.

I.9.4 Rachdi Hadja & Bedoui Saadia (2022) :

Etude expérimentale sur comportement des mélanges optimaux sable dune-argiles au Cisaillement directe traité au ciment et renforcer au géotextile

Ce mémoire étudier est consacré à l'étude de l'amélioration des propriétés mécaniques à partir des mélanges optimaux sont de proposer des solutions pour le traitement des matériaux comme le tuf en vue de les utiliser comme constituant dans les couches d'assise de structures routières (couche de base et de fondation). L'objectif de ce travail de recherche est de proposer des solutions pour le traitement des deux mélanges optimaux (sable de dune –argile en vue de les utiliser comme constituant dans les couches d'assise de structures routières.

Les mots clés : sable, argile, géotextile. Essai de cisaillement, mélange optimal.

I.9.5 Guiraa abd elkarim & Ziane youcef (2022) :

Comportement mécanique et traitement des mélanges optimaux des argiles-sable de dune traite au ciment et renforcées de géotextiles.

Le travail est consacré à l'étude de l'amélioration des propriétés mécaniques à partir des mélanges optimaux sont de proposer des solutions pour le traitement des matériaux comme le tuf en vue de les utiliser comme constituant dans les couches d'assise de structures routières (couche de base et de fondation). L'objectif de ce travail de mécanique et portance du sol (CBR immédiat et imbibé, compression simple) Trois types de matériaux ont été utilisés à savoir : ciment (type (CPJ 42,5), Géotextile et Géotextile - ciment (ciment de 02 ,04 ou 06 %), pour étudier les caractéristiques des deux mélanges optimaux composé de 70% sable de dune de Sebseb (région de

Ghardaïa). + 30% argile pour trois zone (Bouhraoua, d'Oued Nechou et de Metlili).

I.9.6 LAHRECHE Fatima Zahra & SOUILEM Maroua (2022) :

Stabilisation des mélanges optimaux sable de dune et des argiles marne par ciment et géotextiles sur les paramètres de gonflement de la région de Ghardaïa

Ce travail est consacré à l'étude de l'amélioration des propriétés mécaniques à partir des mélanges optimaux de (70 % Sable et de 30 % d'argile), de (70 % Sable et de 30 % d'argile), pour trois argiles/marne (Bouhraoua, d'Oued Nechou, Metlili) et de sable de dune de sabseb (région de Ghardaïa). Pour être utilisée dans la construction, une première partie concernant le sol non traité et non renforcé, qui comporte les essais pour de stabilisation par la méthode de gonflement libre pour un seul paramètre pression de gonflement sur trois mélanges optimaux.

Une deuxième partie portant sur le sol traité et renforcé a différent ajouts des matériaux, ciment (type (CPJ 32, 5) a différentes proportions de ciment portland dans des teneurs allant de (02, 04, 06 %.) a chaque mélange optimal, puis ces trois mélanges optimaux renforcé par Géotextile (type non tissé GEO AS30) d'acheté à l'entreprise de AFITEX, et finale les trois mélanges optimaux traité et renforcé par le ciment – Géotextile (02, 04, 06 %.)

I.10 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous sommes familiarisés avec les différents matériaux pertinents pour notre étude, leurs relations les uns avec les autres, leurs avantages et la manière dont ils peuvent être mis à profit. L'examen des détails de ces matériaux inspirerait l'enthousiasme et la détermination à faire le meilleur de les utiliser dans les meilleures conditions, et nul doute que la suite des chapitres ultérieurs contribuera à une meilleure compréhension et prise de conscience de ces matériaux.

Chapitre II

Les géotextiles

INTRODUCTION

Nous présenterons dans ce chapitre une analyse synthétique les caractéristiques des géotextiles et ses utilisations des géotextiles synthétique dans le génie civil

L'utilisation du géotextile de sol est l'une des réalisations les plus modernes et les plus importantes dans le domaine de la construction. Les ingénieurs civils l'utilisent pour renforcer et stabiliser les structures du sol, y compris les routes, autoroutes, ponts et murs de soutènement.

Le géotextile est un matériau synthétique qui ressemble à un tissu très fin et qui peut être fabriqué à partir d'une variété de polymères différents. Il est conçu pour être placé entre deux couches ou plus de matériaux granulaires afin d'augmenter leur résistance aux forces exercées sur eux. [54].

II .1. Notion sur la terre renforcée

Dans le domaine du génie civil et dans le but de renforcer la terre et d'améliorer ses performances et les performances de l'une quelconque de ses couches puis d'inventer ce qu'on appelle le géotextile il s'agit de produits employés principalement dans le domaine de la géotechnique et sont constitués de fibres textiles. Aux états unis, l'application d'un géotextile (tissé en coton) remonte à 1930. La première application d'un géotextile de fibres synthétiques date de, et était destinée à éviter l'érosion. En Europe, l'application des géotextiles tissés pour protéger contre l'érosion remonte à 1960 en Hollande. Pendant les grands travaux de rénovation et reconstruction des digues détruites au cours de l'hiver 1952-1953. La première application de géotextiles non-tissés en France a été faite en juin 1969. L'objet de cette application était l'amélioration des conditions d'épandage sur un sol mou d'une couche drainante en sable, dans le but d'éviter la pollution de cette couche, et de faciliter sa mise en place. Au début de 1971, Puig et Al ont expérimenté pour la première fois l'utilisation de géotextiles non-tissés comme renforcement d'un remblai. Depuis lors, de nouvelles applications des géotextiles ont été proposées et l'industrie textile, en plein essor, a su proposer une très grande variété de produits qui ont obtenu des succès tout aussi impressionnants. On compte, de nos jours, au moins une

centaine de fabricants de ces produits et le nombre des différents types de géotextiles et produits apparentés doivent dépasser plusieurs centaines. [23].

Ceci a ainsi conduit à une situation à la fois stimulante et dangereuse, car les chercheurs ne réussissaient pas à développer spécifications concernant les méthodes de dimensionnement et le mode d'emploi de ces produits à la vitesse ou « envahissaient » le marché... C'est seulement en Avril 1977 qu'a été organisé en France le premier colloque international des géotextiles. Cette date marque de la part des administrations, des concepteurs et maîtres d'œuvre une reconnaissance du « phénomène géotextiles » et le début de la recherche programmée dans ce domaine par la création de groupes de travail, de comité, d'associations qui cherchent à normaliser et à définir des géotextiles. [23].

II .1. Introduction sur géosynthétique :

Un géosynthétique est un produit à base de polymères synthétiques ou naturel, qui se présente sous forme de nappe, de bande ou de structure tridimensionnelle. Il est utilisé en contact avec le sol ou avec d'autres matériaux dans les domaines de la géotechnique, du génie civil et de l'environnement.

Ils se divisent en :

- ✚ Les géotextiles (non tissés, tricotés ou tissés);
- ✚ Les produits apparentés aux géotextile
- ✚ Les géomembranes et les géosynthétiques bentonitiques [24].

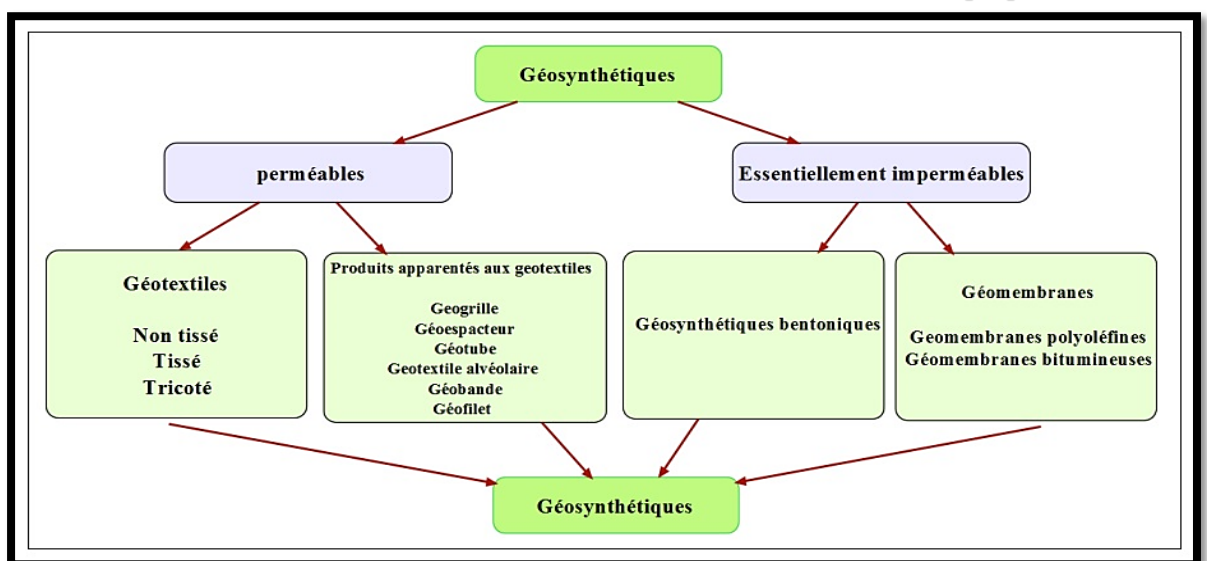


Figure II.1 : Filières géosynthétiques [24].

II .2 Autre définition

Les géotextiles sont des matériaux en tissu synthétique qui sont utilisés pour renforcer les sols et les structures en génie civil. Ils sont conçus pour résister aux contraintes mécaniques et chimiques auxquelles ils sont soumis, tout en permettant le passage de l'eau et des gaz. Les géotextiles sont souvent utilisés pour prévenir l'érosion du sol, protéger les structures contre les dommages causés par les racines des arbres et les fluctuations de température, et pour filtrer les particules de sol et les contaminants. Ils sont également utilisés dans la construction de routes, de pistes cyclables, de terrains de sport et d'autres infrastructures pour renforcer les sols et améliorer leur stabilité. Les géotextiles sont disponibles dans une grande variété de types et de grades pour répondre aux besoins spécifiques de chaque projet [53].



Figure II.2 : Réalisation d'opérations de couverture géotextile [39].

II .3. Les fonctions en général

Les géotextiles et produits apparentés peuvent remplir, dans les domaines de la géotechnique et du génie civil où ils sont utilisés, différentes fonctions

- ✚ **La séparation** : prévention du mélange de deux sols ou de matériaux de remblais adjacents de natures différentes;
- ✚ **La filtration** : rétention du sol, ou d'autres particules soumises à des forces hydrodynamiques, tout en permettant le passage de fluides à travers ou dans un géotextile, ou un produit apparenté aux géotextiles. Le géotextile permet de créer une auto filtre dans le sol en amont;
- ✚ **Le drainage** : collecte et transport des eaux, souterraines et/ou d'autres fluides dans le plan d'un géotextile ou d'un produit apparenté aux géotextiles [27].

- ✚ **Le renforcement** : utilisation du comportement en traction-déformation d'un géotextile ou d'un produit apparenté, afin d'améliorer les propriétés mécaniques du sol ou d'autres matériaux de construction;
- ✚ **La protection** : prévention ou limitation des endommagements localisés d'un élément ou d'un matériau donné, en utilisant un géotextile ou un produit apparenté ;
- ✚ **La lutte contre l'érosion de surface** : utilisation d'un géotextile ou d'un produit apparenté aux géotextiles, afin d'éviter ou délimiter les mouvements du sol ou d'autres particules à la surface. [54].

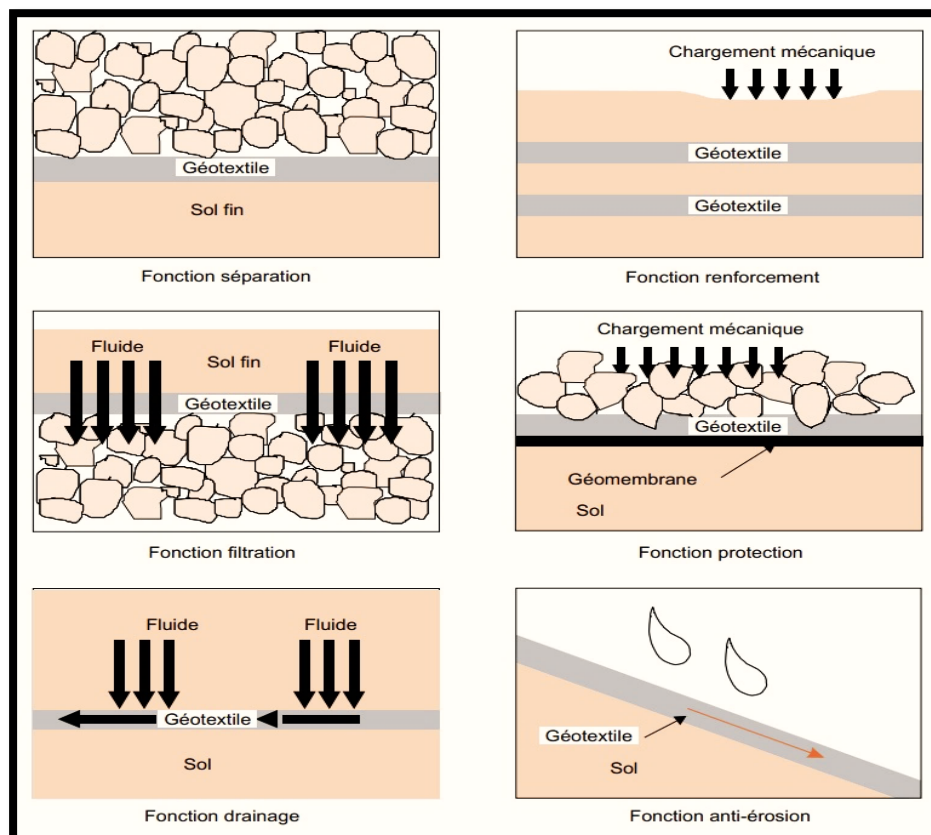


Figure II.3 : Principales fonctions des géotextiles. [27].

II .4. Les fonctions élémentaires des géotextiles bien détaillée

II .4.1 La séparation

La séparation est la fonction principale des géotextiles et elle est largement utilisée dans la construction de routes et de voies ferrées. Selon les normes EN ISO, la fonction de séparation est définie comme étant « la prévention du mélange de sols différents adjacents et/ou de matériaux de remblai par l'utilisation d'un géotextile ». Le géotextile, lorsqu'il assure une fonction de

séparation, est placé entre deux sols très dissemblables par leur granulométrie, l'un fin et l'autre plus grossier, et a pour vocation de conserver l'intégrité et les performances de chacun des matériaux. Il empêche l'interpénétration des deux milieux, sans être un obstacle à la circulation des fluides. [15].

Fonction de séparation, donne les avantages suivants :

- ✚ Empêche la perte d'agrégats par pénétration
- ✚ Préviend la remontée des particules fines dans la fondation granulaire (effet de pompage)
- ✚ Conserve l'homogénéité des matériaux de fondation
- ✚ Préserve les matériaux naturels
- ✚ Réduit les volumes d'excavation



Figure II.4 : dessin approximatif pour la fonction de séparation [41]

Applications : routes et autoroutes, voies ferrées, pistes forestières...

II .4.2 La filtration

Les géotextiles sont largement utilisés pour assurer la filtration dans la construction de routes et de voies ferrées ainsi que dans la protection des côtes. La fonction de filtration d'un géotextile a le même but que la fonction de séparation, mais dans d'autres circonstances.

Selon les normes EN ISO, la fonction de filtration est définie comme étant « la retenue de sol ou d'autres particules soumises à des forces hydrodynamiques tout en permettant le passage des fluides dans ou à travers un géotextile ». [24].

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. Cette fonction est principalement recherchée pour protéger les drains contre le colmatage, qu'ils soient de nature granulaire, tubulaire ou géotextile. Des géotextiles ont ainsi été utilisés dès 1970 dans des barrages en terre. Cette fonction peut aussi être recherchée pour la protection des berges contre le battillage dans ce cas le géotextile est placé sous un enrochement. [53].

Cette fonction de filtration, donne les avantages suivants :

- ✚ Remplace un filtre inversé de matériaux granulaires ;
- ✚ Facile à installer ;
- ✚ Réduit les volumes d'excavation.

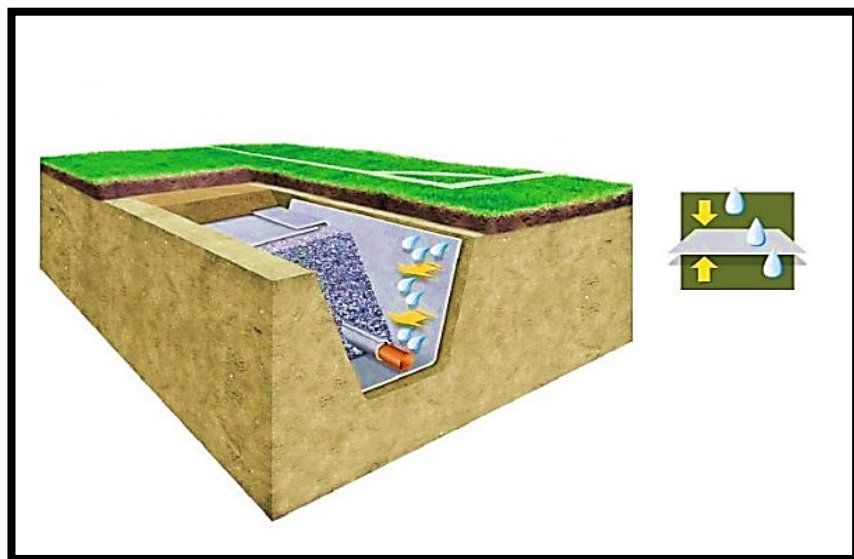


Figure II.5 : dessin approximatif pour la fonction de filtration [41]

Applications : routes, voies ferrées, barrages, tranchées drainantes, protection de rivages et de berges...

II .4.3 Le drainage

Les géotextiles sont largement utilisés pour assurer le drainage dans les travaux de terrassement et de construction. Selon les normes EN ISO, la fonction de drainage est définie comme étant « la collecte et le transport des eaux pluviales, souterraines et/ou d'autres fluides dans le plan du géotextile ». En d'autres

termes, c'est la capacité du géotextile à drainer seul les fluides, ce qui veut dire qu'il n'est pas associé à un système drainant mais qu'il est le système drainant lui-même. [41].

La fonction de drainage est souvent confondue avec la fonction de filtration. Lorsqu'un géotextile fait partie d'un système drainant dans lequel il est utilisé dans le but de séparer un sol et la couche drainante constituée de matériaux grossiers, la fonction qu'il assure est une fonction de filtration.

Lorsqu'il est utilisé en tant que drain, un géotextile permet un écoulement dans son plan de pose. On assimile dans ce cas le géotextile 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. Cette utilisation peut en particulier concerner le drainage sous fondations, sous remblai (sur sol compressible), dans le corps de barrages en terre, entre un sol et un ouvrage tel que mur vertical ou tunnel ou en association avec une géomembrane. [28].

Cette fonction de filtration, donne les avantages suivants :

- ✚ Permet un plan de drainage continu
- ✚ Assure une capacité drainante à long terme
- ✚ Réduit les volumes d'excavation
- ✚ Permet une économie de matériaux granulaires

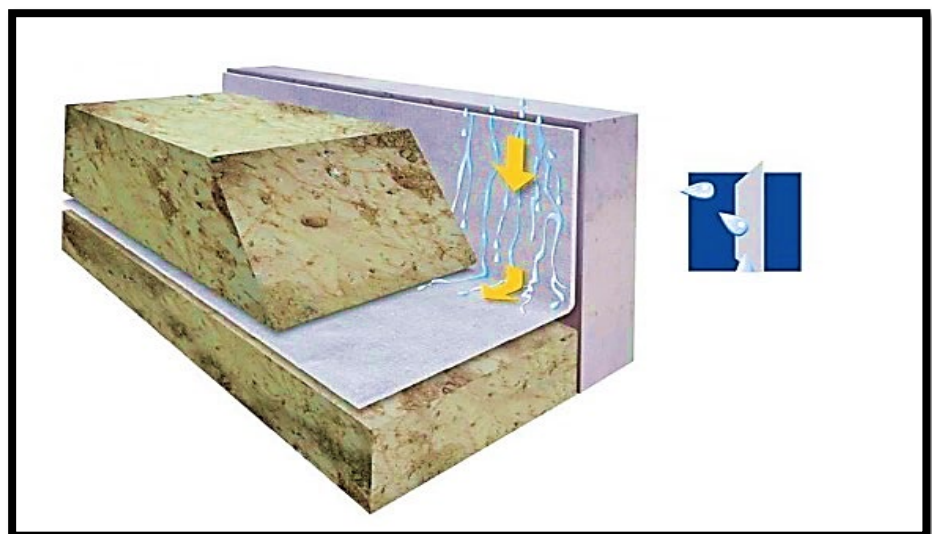


Figure II.6 : dessin approximatif pour la fonction de drainage [41]

Applications : drainage sous dallage, drainage sous remblai.

II .4.4 Le renforcement

Le géotextile utilisé en renforcement améliore la résistance mécanique d'un massif de sol dans lequel il est inclus. Le géotextile améliore à la fois la résistance à la traction du massif et sa capacité à se déformer avant la rupture. Le renforcement peut aussi concerner la reprise de sollicitations sur un autre élément ou sur une interface faible. C'est le cas lorsque l'on recouvre une géomembrane posée sur pente avec une couche de sol ; il peut y avoir ruine soit par rupture en traction de la géomembrane, soit par glissement de la couche de sol. Dans ce cas, un géotextile placé entre la géomembrane et le sol permet la reprise des sollicitations. [28].

L'utilisation des géotextiles en renforcement a pris de l'importance au milieu des années quatre-vingt pour des ouvrages tels que les murs de renforcement à talus vertical ou quasi-vertical, les remblais de géométrie traditionnelle avec des sols peu résistants, les radiers sous chaussée ou fondations, sur sols compressibles ou karstiques.

Cette fonction de filtration, donne les avantages suivants :

- ✚ Redistribue les charges plus efficacement sur une plus grande surface
- ✚ Augmente la résistance au cisaillement de l'assise
- ✚ Augmente la capacité portante.

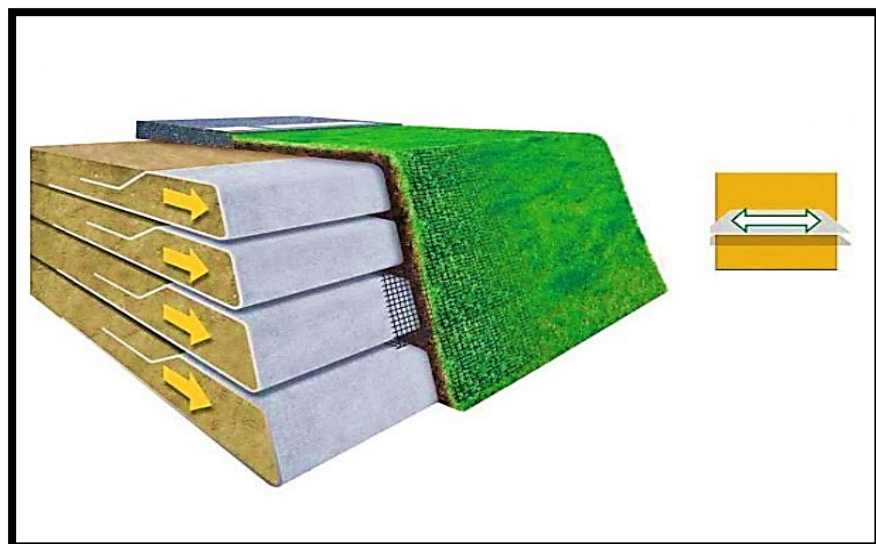


Figure II.7 : dessin approximatif pour la fonction de renforcement [41]

Applications : remblai sur sols compressibles, murs de soutènement, raidissement de talus, ...

II .4.5 La protection

Le terme de protection se définit de la manière suivante « Fonction consistant à empêcher ou à limiter les endommagements localisés concernant un élément ou un matériau donné en utilisant un géotextile ou un produit apparenté aux géotextiles ». Un élément sensible, comme une géomembrane, est susceptible d'être endommagé par des éléments poinçonnant (matériaux grossiers), par effet dynamique ou statique. Interposé entre un élément sensible et des éléments poinçonnant, le géotextile assure une fonction de protection. [28].

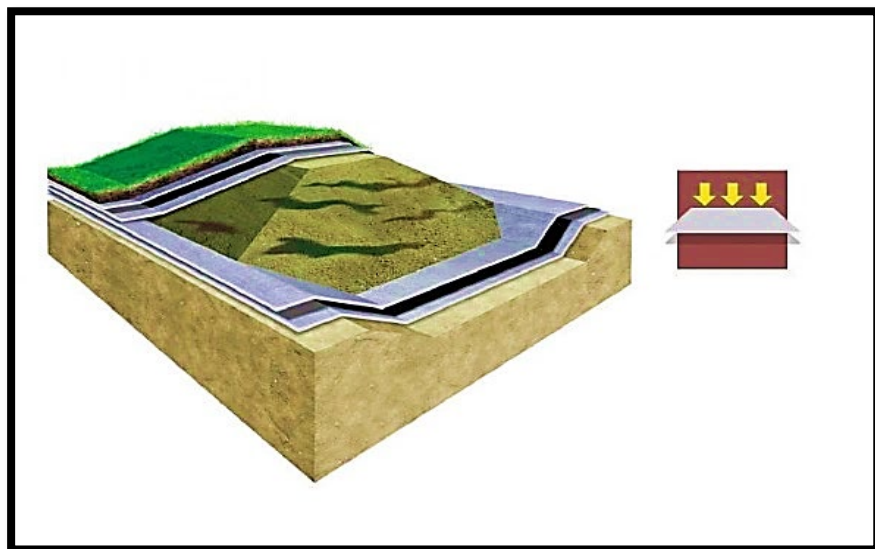


Figure II.8 : dessin approximatif pour la fonction de protection [41]

Applications : protection des géomembranes dans les diverses applications.

II .4.6 La lutte contre l'érosion

La lutte contre l'érosion se définit comme suit : « l'utilisation d'un géotextile ou d'un produit de nature similaire pour empêcher les mouvements du sol ou d'autres particules à la surface, par exemple, d'une pente »

Le géotextile limite dans ce cas les mouvements de particules de sol en surface, mouvements causés par l'eau ou le vent. Plusieurs techniques sont employées pour la lutte contre l'érosion. Un géotextile relativement ouvert maintiendra une couche de sol sur la pente (couche superficielle à épaisse), un géotextile fermé agira comme un matelas de protection. La lutte contre l'érosion par géotextiles est en général compatible avec des objectifs de végétalisation. Ces

deux techniques sont souvent associées. La protection est alors principalement assurée par des produits apparentés (fibres végétales, ...) et concerne :

- ✚ les berges de canaux ou voies navigables soumises à l'érosion fluviale (batillage) ;
- ✚ les torrents ou ouvrages hydrauliques particuliers soumis à un écoulement turbulent ;
- ✚ les côtes soumises à l'érosion maritime et éolienne ;
- ✚ les pentes, talus ou plates-formes exposés à l'érosion pluviale. [24].

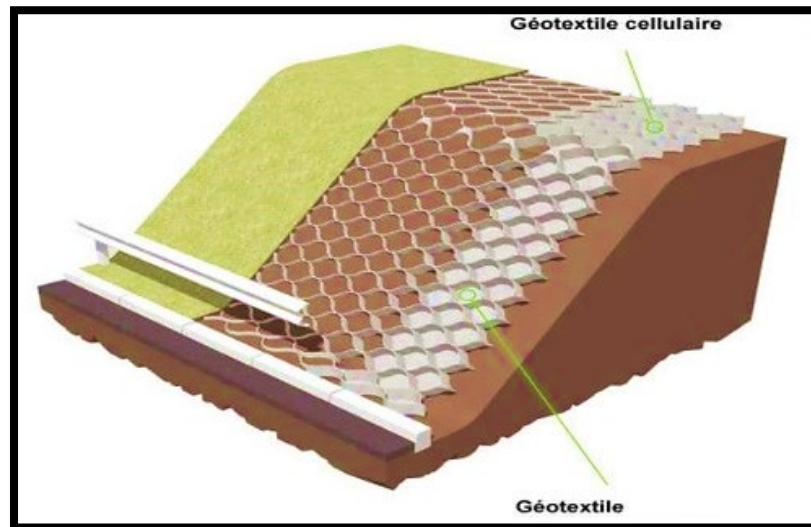


Figure II.9 : dessin approximatif pour la fonction La lutte contre l'érosion [31]

Applications : talus de déblai ; pente naturelles, ...

Le plus souvent, outre sa fonction principale, le géotextile doit aussi rencontrer une ou plusieurs fonctions secondaires.

Pour une fonction principale et des fonctions secondaires données, le concepteur établit des propriétés et performances que doit rencontrer le géotextile en se fondant sur les contraintes auxquelles il sera soumis lors de son installation et de son usage. [54].

En règle générale, si l'on considère les fonctions énumérées préalablement, un certain nombre de propriétés principales de conception et sélection du géotextile sont retenues. Elles sont récapitulées au tableau suivant :

Tableau II.1 : Propriétés des géotextiles [28].

Propriétés	Fonction	Filtration	Séparation	Drainage	Renforcement	Protection	Contrôle de l'érosion
Physiques							
	Comportement en friction				+++	++	
	Épaisseur	++		+++		++	
	Masse surfacique	++					+
	Résistance à la chaleur	DA		DA		DA	DA
	Résistance à l'abrasion				++		+
	Résistance aux UV	DA					DA
	Résistance chimique	DA	DA	DA	DA	DA	DA
Mécaniques							
	Résistance en traction		++	++	+++	+	
	Résistance à l'éclatement	+	++		++		+
	Résistance à la déchirure		++		++	+++	++
	Résistance à l'arrachage	+	+++		++	++	++
	Résistance au poinçonnement		++		+++	+++	+
	Résistance en compression	++		++		++	
	Comportement en fluage		+		+++		
Hydrauliques							
	Perméabilité à l'eau	+++	++	++			++
	Transmissivité à l'eau			+++			
	Ouverture des pores	+++	+++	++			+++
	Mouillabilité	++		++			++
	Comportement en filtration	+++					

Légende :

+ moyennement important

++ important

+++ très important

DA Dépendant de l'application

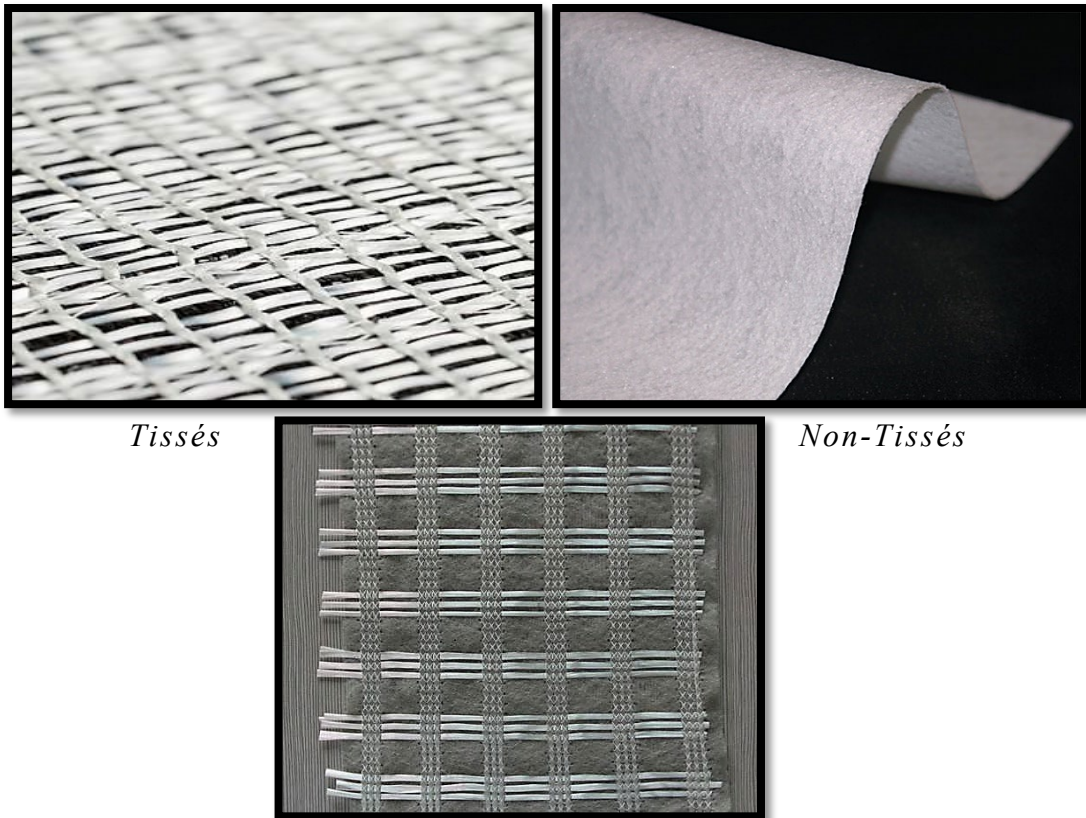
II .5. La structure des géotextiles :

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 : tissés, non-tissés, tricoté. [39].

Le polypropylène présente plusieurs avantages qui en font un matériau de choix pour les géotextiles

Résistance : Le polypropylène est connu pour sa grande résistance aux produits chimiques, à l'abrasion et à la dégradation due aux rayons UV

Légèreté : Le polypropylène est un matériau léger, ce qui facilite son installation et son transport. *La Perméabilité et la résistance à la déchirure*



Géotextile tricoté en chaîne Avec des fils de renfort

Figure II.10 : différents structures des géotextiles [39].

II .5.1 Géotextiles tissés

Ils sont des produits à partir de fils monofilaments, de fils multifilaments, ou de bandelettes ; qui ont une déformabilité varie de 10 à 25 % (la déformabilité est le pourcentage d'allongement à la rupture), 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. [33].

II .5.2 Géotextiles non-tissés

Ils peuvent être aiguilletés ou thermoliés, ou bien encore tricotés; qui ont une déformabilité de l'ordre de 60 %. Les fibres ou filaments sont répartis directionnellement ou de façon désordonnée par deux types de nappage. Le nappage mécanique est réalisé par des outils qui peignent les fils et les orientent de manière unidirectionnelle. Notamment utilisés en renforcement, drainage, protection des berges, et lutte anti-érosion. [37].

- ✚ 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).
- ✚ la liaison chimique : est réalisée soit à l'aide de résines soit d'émulsions qui appartiennent à des décomposées proches des caoutchoucs naturels.
- ✚ 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).

II .5.3 Géotextiles tricoté

Ils sont fabriqués à partir de fils synthétiques ou naturels qui sont tricotés ensemble pour former une structure en maille, Ils peuvent également être utilisés pour filtrer l'eau et pour améliorer la qualité du sol en favorisant la croissance des plantes. Les géotextiles tricotés sont généralement durables et résistants aux intempéries, ce qui les rend adaptés aux environnements difficiles. [31].

II .6. Propriétés des géosynthétiques

Les géosynthétiques sont définis par des caractéristiques physiques, mécaniques et hydrauliques selon des essais normalisés, identifiés pour l'essentiel par des normes internationales de type ISO ou européennes de type EN. Le tableau suivant présente quelques caractéristiques de trois types des géosynthétiques :

Tableau II.2 : Caractéristiques de quelques géosynthétiques [40].

Caractéristiques	unité	Géomembrane		Géotextile		Géogrille	
		min	max	min	max	min	max
Epaisseur	mm	1,5	1,59	0,7	1,6	0,6	0,9
Masse surfacique	g/m ²	1380	1463	150	380	125	380
Masse volumique	g/m ³	0,939	0,953	-	-	-	-
Taux de noire de carbone	%	2	3	-	> 2	2	4
Résistance à la traction	kN/m	-	-	8,1	30,1	12	19
Déformation à l'effort parallèle	%	16,7	18,5	50	55	24	28
Résistance au seuil d'écoulement	kN/m	13	15	0,67	1,5	-	-
Déformation au seuil d'écoulement	kN/m	10	11,8	0,4	1,4	-	-
Perméabilité normal au plan	mm/s	impermeable			80	105	250
Ouverture de filtration	µm	-	-	70	90	400	540

II .6.1 Les avantages des géosynthétiques y compris le géotextile

Les expériences et les essais réalisés au laboratoire montré que l'utilisation des produits

géosynthétiques a plusieurs avantages:

- ✚ Empêcher la perte d'agrégats par pénétration.
- ✚ Préviend la remonte des particules fines dans la fondation granulaire (effet de pompage).
- ✚ Conserve l'homogénéité des matériaux de fondation.
- ✚ Préserve les matériaux naturels.
- ✚ Réduit les volumes d'excavation.
- ✚ Redistribue les charges plus efficacement sur une plus grande surface
- ✚ Augmente la résistance au cisaillement de l'assise.
- ✚ Permet un plan de drainage continu.
- ✚ Assure une capacité drainant à long terme.
- ✚ Remplace un filtre inverse de matériaux granulaires. Facile à installer.
- ✚ Remplace une couche d'argile d'épaisseur variable.
- ✚ Remplace les matériaux naturels dégradables
- ✚ Offre une meilleure conductivité hydraulique.
- ✚ Présente une tarification et une disponibilité homogène dans le temps.

[37].

II .6.2 Les facteurs affectés sur les géosynthétiques y compris le géotextile

- ✚ L'exposition à la lumière du soleil dégrade les propriétés des polymères.
- ✚ Les matériaux de polymère deviennent fragiles dans les températures très froides
- ✚ Les produits chimiques dans les eaux souterraines peuvent régir avec les polymères.
- ✚ Tous les polymères gagnent l'eau avec du temps si l'eau est présente.
- ✚ Les eaux de haute PH peuvent être dures sur les polyester tandis que les eaux de basse PH

Tous ces facteurs devraient être considérés en choisissant ou en indiquant les matériaux

géosynthétiques acceptables. [29].

II .7. Effet des géotextiles sur le sol par rapport à la cohésion

Les géotextiles peuvent améliorer la cohésion du sol en augmentant la friction entre les particules de sol. Cela se produit parce que les géotextiles agissent comme une barrière physique qui empêche les particules de sol de se déplacer les unes par rapport aux autres.

En conséquence, les géotextiles peuvent augmenter la résistance au cisaillement du sol, ce qui peut être bénéfique dans les applications de génie civil telles que les routes, les murs de soutènement et les barrages.

Cependant, il est important de noter que l'effet des géotextiles sur la cohésion du sol dépend du type de géotextile utilisé, de la densité du sol et de la méthode d'installation des géotextiles. Les géotextiles peuvent également avoir des effets négatifs sur la cohésion du sol s'ils sont mal installés ou s'ils ne sont pas compatibles avec les caractéristiques du sol. Par conséquent, il est important de considérer tous ces facteurs lors de la conception et de l'installation des géotextiles dans un projet de génie civil.

II .8. Recommandations pour la mise en œuvre des géotextiles

La mise en œuvre des géotextiles se fait souvent manuellement, il faut veiller au respect du recouvrement des bandes. On leste avec des matériaux pour éviter les problèmes liés au vent.

Les plates-formes recevant les nappes doivent être compactées, nivelées et débarrassé de tout élément susceptible d'endommager le géotextile. Les nappes sont étalées sur la plateforme par déroulement des rouleaux, ou découpées à la longueur voulu. Le raccordement entre deux nappes parallèles peut se faire soit par couture (plus rare) ou par recouvrement d'une nappe sur l'autre sur au moins 50 cm. (voir le dessin ci-dessus) [30].



Figure II.11 Au moment de décharger le camion **Figure II.12** Passage d'un compacteur lisse [39].

Voici quelques recommandations pour la mise en œuvre des géotextiles :

- 1.Préparation du sol :** Le sol doit être préparé de manière adéquate avant la pose du géotextile. Il doit être nivelé et compacté pour éviter les poches d'air et les irrégularités. [54].
- 2.Choix du géotextile :** Le choix du géotextile dépend de la nature du sol, de la charge à supporter et des contraintes environnementales. Il est important de choisir un géotextile qui convient à l'usage prévu. [54].
- 3.Pose du géotextile :** Le géotextile doit être posé sur le sol de manière à recouvrir toute la surface à protéger. Il doit être maintenu en place à l'aide de piquets ou de poids pour éviter qu'il ne se soulève ou ne se déplace pendant la pose des autres éléments.
- 4.Recouvrement des joints :** Les joints entre les rouleaux de géotextile doivent être recouverts d'au moins 30 cm pour éviter les fuites et les infiltrations.
- 5.Protection du géotextile :** Le géotextile doit être protégé des rayons UV, des intempéries et des dommages mécaniques pendant la pose des autres éléments. [54].

II .9. Études antérieures concernant l'utilisation de géotextiles dans des projets à l'intérieur du pays

9.1 Rabah ARAB1, Moulay ZERHOUNI2, Messaoud ZERMANI3 ; Zahir DJIDJELI4, Saïd TABTI5 Novembre 2007

Retours d'expériences sur l'utilisation de la géophysique en Algérie dans les travaux publics

L'important programme d'investissement lancé par l'Algérie dans le secteur des travaux publics illustre la volonté politique soutenue par des actions concrètes à travers des projets de très grande envergure, à l'image de l'autoroute Est- Ouest (1216km : 2x3 voies). Les projets de construction sont réalisés selon les normes en vigueur et les règles de l'art, et ils tiennent compte de l'environnement et du développement durable. L'innovation et l'introduction de technologies et de procédés nouveaux occupent également une réelle place dans ce contexte. Comme les ressources naturelles en granulats ne sont pas inépuisables, les géotextiles et les géocomposites sont largement présents dans les divers domaines de la construction depuis plus de trois décennies et contribuent à la préservation de cette ressource. Dans les chantiers de travaux publics, les géosynthétiques sont utilisés dans les applications de renforcement des sols (stabilité de talus, confortement de glissement, lutte contre les remontées de fissures, etc.), de drainage et filtration en remplacement des techniques traditionnelles, etc. L'esprit de cet article est de montrer le retour d'expérience très riche d'enseignement dans un pays qui n'a pas hésité à intégrer les résultats prouvés de la recherche appliquée. Nous verrons particulièrement un cas où la solution stabilité de talus en géosynthétiques a donné en des délais record des résultats probants. [39].

9.2 Brahim Aek1, Arab Ahmed1, M. Belkhatir1 Université Hassiba Ben Bouali de Chlef (2000)

Récemment, l'amélioration des sols par l'utilisation des géosynthétiques est largement utilisée en génie civil spécialement dans la stabilisation des sols (stabilité des pentes, remblais, route, filtre et drain). L'effet avantageux du matériau géosynthétique est largement due à la forme qu'il peut prendre quand il est utilisé comme renforcement. Nous savons que les sols cohérents et non

cohérents présentent des limites concernant la stabilité de leurs structures quand ils sont sujets à de très grandes conditions de chargement. Plusieurs travaux de recherches et théories ont été menés dans plusieurs laboratoires sur le renforcement des sols granulaires et cohésifs avec du géotextile. La littérature reporte que le sol peut être renforcé avec des couches géosynthétiques, fibres et géocelles[32].

9.3 MOUDJAHED Nouredine Ingénieur GC, Chef Dpt Etudes LTPSUD Ouargla

Le patrimoine aéroportuaire représente un enjeu hautement stratégique dans le développement durable. L'étendue du territoire et la dépendance de l'économie des régions sud par rapport au Nord confèrent au transport aérien un rôle déterminant dans l'intégration socio-économique du pays. Le patrimoine se compose de 55 aérodromes dont 19 se situent au sud, il s'agit de Ghardaia, El Golea, Hassi R'mel, Ouargla, Hassi Messaoud, Touggourt, El Oued, Biskra, In Salah, Tamenrasset, In Guezzam, Adrar, Bordj Badji Mokhtar, Timimoun, Bechar, Tindouf, In amenas, Illizi et Djanet. Chaque année un programme de travaux de renforcement est lancé par le secteur des travaux publics basé sur les facteurs suivant : 1. L'état de surface de la chaussée (calcul du niveau de service, l'uni, et adhérence) ; 2. La portance résiduelle du corps de chaussée (estimation de la durée de vie résiduelle). Le corps de chaussée de l'ensemble de ces aérodromes est composé par une structure semi-rigide, dont la majorité des cas présentent des dégradations précoces dès le jeune âge qui se traduit par l'apparition de fissures en surface de chaussée qui, dans un premier temps, ne perturbent pas nécessairement le fonctionnement de la structure. Mais il est bien évident que sous l'action de différents paramètres l'état structurel va se dégrader dans le temps sans même avoir reçu le nombre de mouvement prévu dans l'étude de dimensionnement. Donc la durabilité de ces structures est essentiellement liée au temps de remontée des fissures de retrait des couches sous-jacentes constituées à base de matériaux locaux. La mise au point de solutions limitant le phénomène de remontée en l'occurrence l'utilisation des géotextiles, constituent donc des enjeux majeurs. Dans l'optique de cette démarche technique, la direction des travaux publics de la wilaya d'ILLIZI a entrepris la première expérience en Algérie on introduisant une nappe en géogrille entre le béton bitumineux et la grave bitume après remontée de

fissures sur cette dernière juste après sa mise en œuvre. Cette présente communication résume l'historique de cette expérience et présente la synthèse des résultats du suivi de comportement de cette technique après cinq ans de la mise en service de la piste traitée par la géogrille.

9.4 Saïd Nouri , Ammar Nechnech , Belkacem Lamri Faculté de Génie Civil, Université des Sciences technologiques Houari Boumediene, Alger, Département de Génie Civil, Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur, Université Hassiba Benbouali, Chlef

L'amélioration des caractéristiques mécaniques du sol, support de tout ouvrage en terre de génie civil, est une préoccupation des géotechniciens. Une technique de renforcement des sols consiste à améliorer la résistance initiale et les caractéristiques mécaniques du sol par des inclusions résistantes. Parmi les méthodes les plus utilisées pour l'amélioration du comportement des sols on peut citer le renforcement des sols par des nappes géosynthétiques (géotextiles et plastiques). L'utilisation de matières plastiques dans le domaine de génie civil et travaux publics n'est pas un événement vraiment nouveau. Un certain nombre d'études et d'expérimentation a été réalisé. Coulet et al. 1988, ont proposé un procédé de renforcement géotechnique basé sur l'addition de déchets de matières plastiques (films agricoles, sacs d'emballage, etc.), dans les sols qui permet d'améliorer les caractéristiques mécaniques de ces derniers. Les études aussi bien expérimentales que théoriques menées sur des essais en laboratoire et en vraie grandeur montrent que la résistance augmente en fonction de la quantité de matières plastiques tandis que l'angle de frottement interne varie très peu. Rakotondramanitra et al. 1988; Dali et al. 1989 ont constaté que la cohésion anisotrope chute à la rupture des nappes, tandis que l'angle de frottement interne varie faiblement. Ainsi que Messas (1999) et à partir des essais à la boîte de cisaillement à plan vertical sur des échantillons renforcés par l'inclusion de nappes plastiques souples discontinues, a indiqué que l'augmentation de la résistance au cisaillement par les nappes de plastiques se traduit par l'apparition d'une pseudo cohésion, tandis que l'angle de frottement reste constant. La conclusion commune de ces études a montré que l'ajout d'un pourcentage minimal de ces inclusions en forme de nappes au sable augmente nettement la résistance ultime de ce dernier, et améliore ses caractéristiques mécaniques. De plus, les échantillons renforcés ont présenté

un effet de contractante typique en petites déformations axiales, par contre la dilatance est observée en grandes déformations.

Enfin, sans oublier les études et recherches menées sur les géotextiles au niveau universitaire, nous en avons évoqué quelques-unes à la fin du premier chapitre, et elles peuvent également être considérées comme une source similaire à celles que nous avons mentionnées ci-dessus.

II .10 Conclusion :

Les techniques de renforcement de sols par géotextiles soient très diverses, elles possèdent un certain nombre de points communs, aussi bien au niveau du comportement local entre le sol et l'élément de renforcement qu'au niveau global du comportement de la structure.

Le renforcement de sols par géotextiles amélioré leurs résistances mécaniques par une augmentation de leurs cohésions apparentes, mais ne modifie pas leurs résistances en frottement. L'amélioration de cette résistance mécaniques est affectée de façon significative par les caractéristiques mécaniques du matériau formant le géotextile ainsi que le nombre de géotextiles interconnectés.

Chapitre III

Les essais d'identification

Sur les matériaux de base

Introduction

Nous sommes intéressés dans ce chapitre à l'étude les essais d'identifications des matériaux utilisés (sable de dune de site Sebseb et de l'argile de Metlil el Jadida tous sur la région de Ghardaïa) au niveau du laboratoire des travaux publics du sud à Ghardaïa (LTPS).

Avant de procéder à des expériences de cisaillement avec différents types de géotextiles, des expériences d'identification physico-chimique doivent d'abord être réalisées pour les échantillons prélevés.

III .1. Localisation des sites :

Le site a subi des travaux de terrassement pour une éventuelle reconstitution de sol cette opération de terrassement nous a permis de faire un prélèvement Sur place, les échantillons ont été prélevés à une profondeur entre 30cm et 50cm.



Figure III.1 : massif du site

Metlil El-Jadida [44].



Figure III.2 : Sable de dune du site

Sebseb [44].

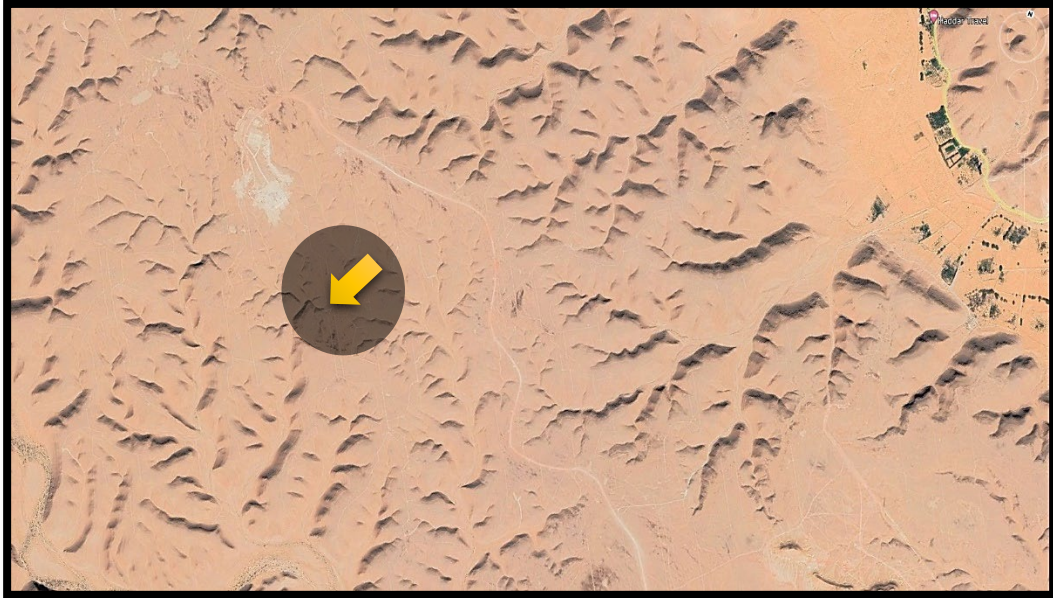


Photo III.1 Localisation de la carrière étudiée site Sebseb **Source : l'auteur**



Photo III.2 : Localisation de la carrière étudiée site Metlil El-Jadida

Source : l'auteur

III .2. Essais d'identification :

Les essais d'identification dans le domaine du génie civil, qui peuvent être utilisés pour caractériser les propriétés physiques, mécaniques et chimiques des matériaux de construction et du sol. Le but de mener ces expériences est de connaître toutes les caractéristiques liées aux échantillons en notre possession et de les classer selon la classification applicable Avant de procéder au mélange de l'argile avec du sable [38].

Tous essais d'identification jouent un rôle crucial dans la garantie qualité et sécurité des bâtiments construits en assurant une utilisation efficace et durable des ressources naturelles tout en offrant une protection maximale aux occupants contre divers risques liés au bâtiment lui-même Sans oublier les projets du secteur des travaux publics et de l'aménagement du territoire. Le tableau suivant illustre la nature des essais effectués [38].

Tableau III.1 : Types d'expériences à travailler

ARGILE	SABLE
• Analyse chimique	• Analyse chimique
• Analyse granulométrique.	• Analyse granulométrique.
• Limites d'atterberg.	• Équivalent de sable
• Teneur en CaCO ₃ .	• Essai au bleu de méthylène.
• Essai au bleu de méthylène.	

III .2.1 Identification et classification d'argile de Metlili El Jadadida :

III .2.1.1 Analyse chimique :

L'analyse chimique des sols est également importante pour comprendre les propriétés des sols et leur comportement sous différentes conditions. Elle peut être utilisée pour déterminer la composition des sols, leur capacité portante, leur perméabilité, leur compressibilité, leur résistance à la rupture, leur gonflement, leur retrait, leur potentiel de liquéfaction, leur potentiel de corrosion, leur potentiel de réaction alcali-silice, etc. Ces informations sont essentielles pour la conception et la construction de fondations, de routes, de ponts, de barrages, de tunnels, de canalisations, de remblais, de digues, etc. L'analyse chimique des sols peut également être utilisée pour évaluer la qualité des sols contaminés et pour déterminer les mesures de réhabilitation nécessaires.

Tableau III.2 : Les résultats de l'analyse chimique

	Symboles	Unité	Metlil El-Jadida
Residue insoluble	SiO₂+Silice	%	65.50
Sulfate de Calcium	CaSO₄	%	9.4
chlorures	Cl -	%	-----
Carbonate de Calcium	CaCO₃	%	7
Matières organiques	MO	%	-----

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

III .2.1.2 Analyse granulométrique :

L'analyse granulométrique est une méthode utilisée pour déterminer la distribution des tailles de particules dans un échantillon de sol, de sable, de gravier ou d'autres matériaux granulaires. Cette analyse est importante car elle permet de comprendre les propriétés physiques et mécaniques des matériaux granulaires, telles que la perméabilité, la porosité, la résistance à la compression, la capacité de rétention d'eau, etc. Elle est utilisée dans de nombreux domaines, tels que la construction, l'agriculture, l'industrie minière, la géologie, etc. [59].

Elle se fait par tamisage par voie sèche après lavage pour l'argile 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 la courbe dit que « courbe granulométrique », donc nous pouvons tirer certains paramètres et par la suite classer l'argile. Voir le *figure III.3*

III .2.1.3 Limites d'Atterberg :

Les essais permettant la détermination des limites d'Atterberg ont été réalisés conformément à la norme **NF P 94-051**.

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



Photo III.3 : Travail sur l'expérience avec l'équipe du laboratoire

Source : l'auteur

La limite de plasticité WP :

Est la moyenne arithmétique des teneurs en eau obtenus à partir de ces essais exprimés en pourcentage (%)

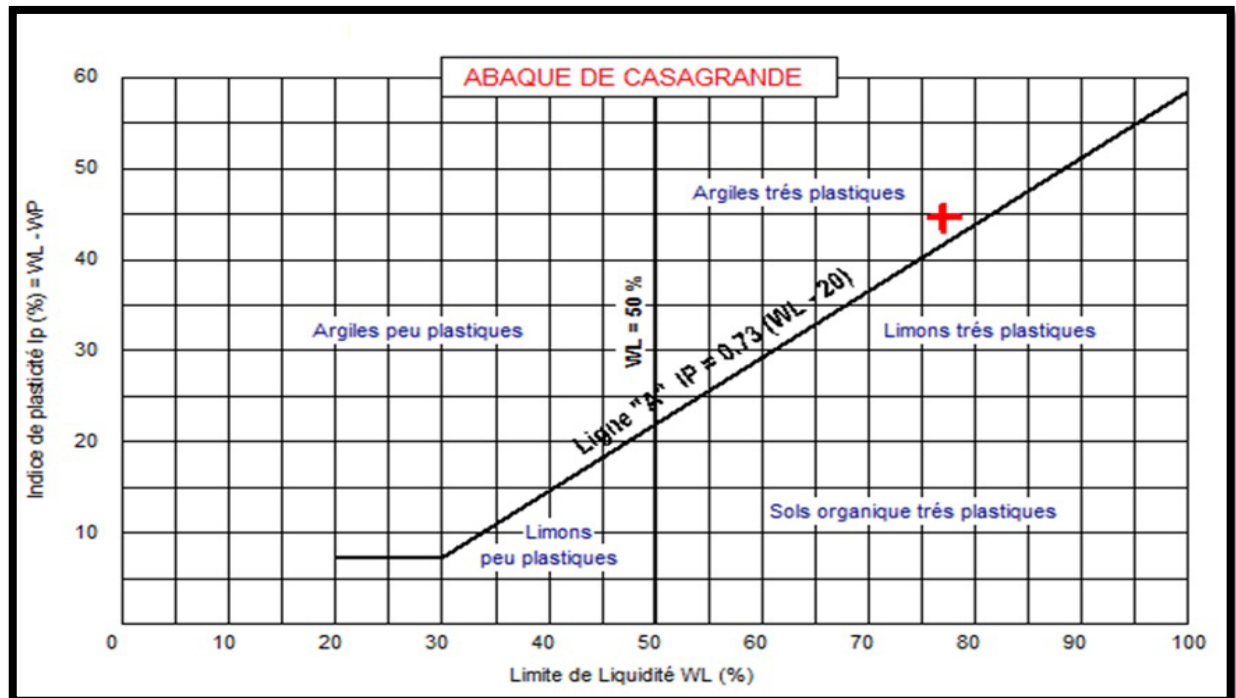
L'indice de plasticité IP :

C'est la différence entre les valeurs de WL et WP il est déterminé les résultats sont récapitulés dans le tableau suivant :

Tableau III.4 : les valeurs de limite Atterberg

Argile	Limite de liquidité WL(%)	Limite de plasticité WP(%)	Indice de plasticité IP (%)
Metlili El-Jadida	77.12	32.5	44.62

Pour les sols fins, il est d'usage de reporter les valeurs de « IP » et « WL » sur un diagramme ayant « IP » en ordonnée et « WL » en abscisse. Ce diagramme est appelé « diagramme de Casagrande » Voir *figure III.5*



✘ : Argile Metlili El-Jadida est très plastique

Figure III.5: Classification d'argile étudié selon l'abaque de Casagrande

III .2.1.4 Activité des argiles :

Skempton 1953 [51] a considéré que les valeurs des limites d'Atterberg sont liées à la quantité d'eau retenue à la surface des particules et donc à la quantité d'argile présente dans le sol. Cet auteur a défini l'activité d'une argile par le rapport de l'indice de plasticité (IP) et du pourcentage des éléments inférieurs à deux microns ($C_2 < 2\mu m$) ($A_1 = IP/C_2$)

Skempton a proposé la nomenclature suivante:

- Argile inactives : les argiles qui ont une activité inférieure à 0.75. Ces argiles sont à base de Kaolinite, ou des argiles contenant peu de minéraux argileux.
- Argile normale : qui a une activité comprise entre 0.75 et 1.25.
- Argile active : qui a une activité comprise entre 1.25 et 2.
- Argile très actives : qui a une activité supérieure à 2. [51].

Nous avons : Tamis at à (2mm) % = 99.5% voire *tableau III.3* donc $C_2 = 99.5\%$

Notre IP = 44.62% voire *tableau III.4* Alors : $A_1 = 44.62/99.5 = 0.45$

Argile inactives: les argiles qui ont une activité inférieure à 0.75 ; Ces argiles sont à base de **Kaolinite**, ou des argiles contenant peu de minéraux argileux.

L'argile de Metlili El-Jadida est une argile inactive à base de kaolinite.

III .2.1.5 Teneur en carbonate de calcium :

En génie civil, la détermination de la teneur en carbonate de calcium dans les sols peut être importante pour plusieurs raisons. Tout d'abord, la présence de carbonate de calcium peut affecter la stabilité des fondations et des structures construites sur ces sols. Les sols riches en carbonate de calcium peuvent être plus résistants et plus stables, tandis que les sols avec une teneur plus faible peuvent être plus sujets à l'affaissement et à la déformation.

En outre, la teneur en carbonate de calcium peut être utilisée pour évaluer la qualité des sols pour la construction. Les sols riches en carbonate de calcium peuvent être plus adaptés pour certaines techniques de construction, comme les fondations profondes, tandis que d'autres techniques peuvent être plus adaptées pour les sols avec une teneur plus faible en carbonate de calcium. [60].

Enfin, la détermination de la teneur en carbonate de calcium peut être utile pour la caractérisation géologique des sols dans le cadre de projets de génie civil. Les sols riches en carbonate de calcium peuvent être associés à des formations géologiques spécifiques, ce qui peut aider à comprendre les propriétés et les caractéristiques des sols dans une région donnée.

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

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

D'après les résultats obtenus de l'essai, la teneur en carbonate de Calcium est de 7% pour l'argile de Metlil El-Jadida,

Le **tableau III.5** donne la valeur de la teneur en Carbonate de calcium CaCO_3 de quelques sols, et en se basant sur cette classification, nos L'argile de Metlili El-Jadida appartient à la classe d'argile ou limon.

Tableau III.5: La classification par CaCO_3 de quelques sols [44].

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

III .2.1.6 Essais Bleu Méthylène (NF P 94-068) :

Le bleu de méthylène est une molécule organique de forme brute. Il est utilisé dans divers domaines, il sert d'indicateur coloré redox. VBS est une grandeur qui exprime globalement la quantité et l'activité de l'argile qui se trouve dans un matériau étudié

VBS. (Valeur de bleu de méthylène d'un sol) : Le VBS est une grandeur qui exprime

Globalement la quantité et l'activité de l'argile qui se trouve dans un matériau étudié.

✚ Principe :

Consiste à mesurer par dosage la quantité de bleu de méthylène pouvant être adsorbée par le matériau mis en suspension dans l'eau. La valeur de bleu du sol est directement liée à la surface spécifique des particules constituant le sol ou le matériau.

✚ But de l'essai :

Mesure la capacité d'adsorption d'un sol, déterminer l'argilosité d'un sable, d'un granulat et plus généralement d'un sol.

✚ Mode opératoire :

Verser un échantillon de 30 gr de sol sec dans le Bécher et ajouter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge. Agiter sans arrêt le mélange à l'aide de l'agitateur.

- Ajouter 10 ml de bleu de méthylène dans le Bécher.
- Prélever une goutte de mélange et la placer sur papier filtre.
- Si la tache est entourée d'une auréole humide incolore, le test est négatif. Dans ce cas, on ajoute du bleu de méthylène par prises de 10 ml jusqu'à ce que le test soit positif. On répète l'essai à l'identique, cinq fois à intervalle d'une minute pour le confirmer.
- Si la tache centrale est entourée d'une auréole bleu turquoise, le test est positif. Dans ce cas l'essai est terminé, les particules argileuses sont alors saturées en Bleu de Méthylène.

On recommence l'essai à l'identique, cinq fois à intervalle d'une minute pour le confirmer. (Voir *figure III.6*).

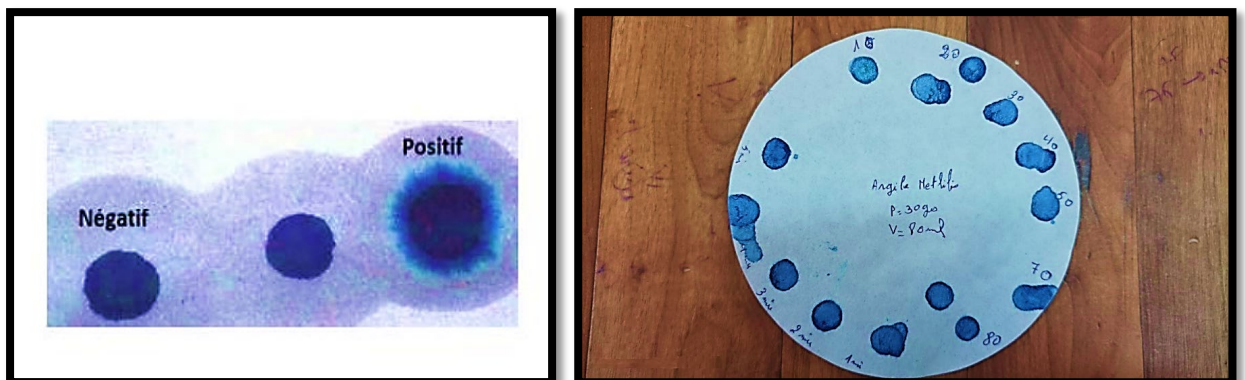


Figure III.6 : Le cas positif et négatif de l'essai de bleu de méthylène

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

De cet essai, nous pouvons tirer :

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

V : étant le volume final de solution injectée en cm^3

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

$$\text{Où SST : surface spécifique total (m}^2/\text{g)} \quad SST = 20,93 \times V_{cc} \times \frac{1}{P_s}$$

V_{cc} : volume de solution utilisé (cm^3)

P_s : poids de matériaux sec (g)

20,93 : surface correspondant à 1 cm^3 de bleu de méthylène.

Le résultat obtenu est repris dans le **tableau (III.6)**. Ce tableau s'appuyait sur sa classification sur la référence dans le tableau suivant

Tableau III.6: Représente la valeur de bleu de méthylène de quelques sols (Hang1984) [39].

Valeur de bleu de méthylène (V_B)	Catégorie de sol
$V_B < 0,1$	sol insensible à l'eau
$0,2 \leq V_B < 1,5$	sol sablo limoneux, sensible à l'eau
$1,5 \leq V_B < 2,5$	sol sablo argileux, peu plastiques
$2,5 \leq V_B < 6$	sol limoneux de plasticité moyenne
$6 \leq V_B < 8$	sol argileux.
$V_B > 8$	sol très argileux.

Tableau III.7 : Valeur de bleu pour l'argile

Paramètre	Metlil El-Jadida
Valeur de bleu « V_B » (%).	2.67
Surface spécifique totale « SST » (m^2/g).	55.81

III .2.2 Identification et classification de sable de Sebseb :

III .2.2.1 Analyse chimique :

Les mêmes analyses effectuées sur l'argile de Metlili El-Jadida, ont été appliquées aux sol de Sebseb, et les résultats sont illustrés dans le **tableau (III.9)**: (AZZOUZ 2017).

Tableau III.8 : Analyse chimique du sable de dune étudié

Caractéristique	Symboles	Unité	Sable de dune
Résidu insoluble	$SiO_2 + \text{Silice}$	%	88.91
Sulfates de Calcium	$CaSO_4$	%	3.09
Chlorures	Cl -	%	0.023
Carbonate de Calcium	$CaCO_3$	%	3
Matières organiques	MO	%	-----

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

III .2.2.2 Analyse granulométrique :

La courbe granulométrique du sable utilisé est représentée sur la *figure III.7*. Cette granulométrie est uniforme caractérisée par un coefficient d'uniformité, inférieur à 2 mm, un diamètre moyen $D_{50} = 0,6$ mm

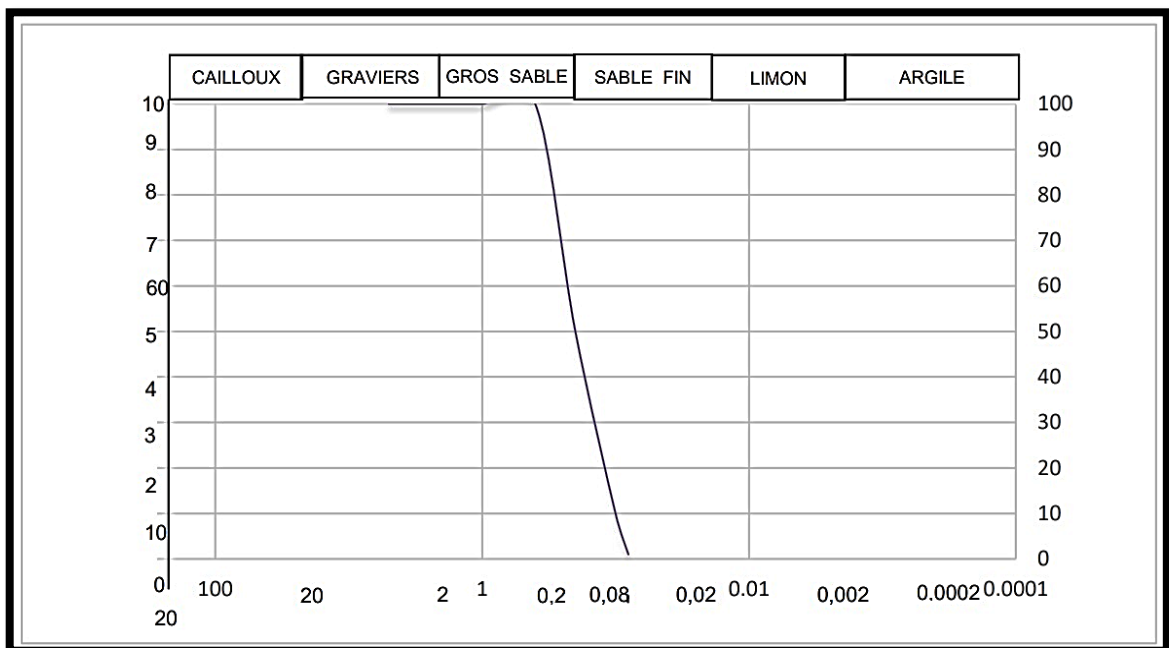


Figure III.7 : courbe granulométrie de sable de dune. [44].

Résultats récapitulatif de l'analyse granulométrique du sable de dune

Tableau III.9 : Résultats extraits de la Courbe granulométrique du sable [44].

	Sable de dune
$C_u = D_{60}/D_{10}$	1.5
$C_c = (D_{30})^2/D_{10}D_{60}$	1.04
LCPC	SB

III .2.2.3 Équivalent de sable :

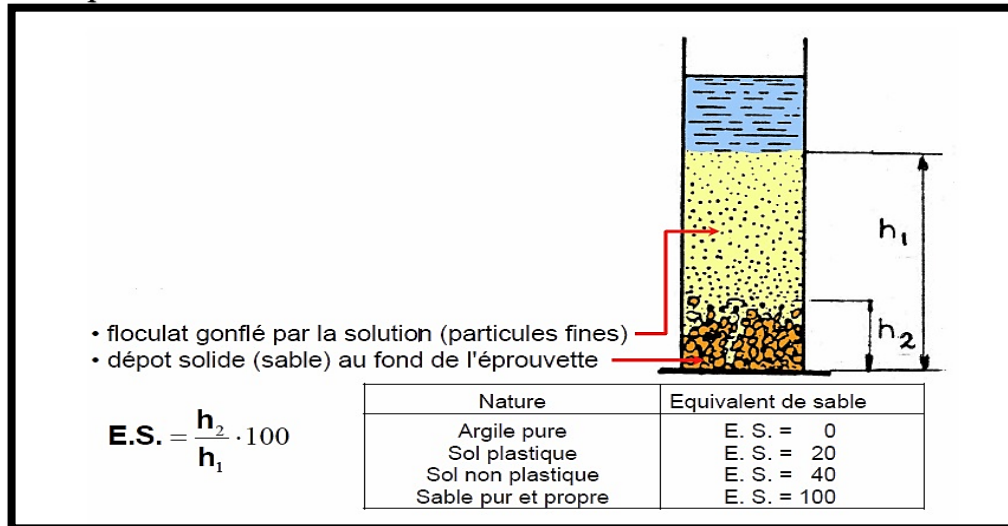


Figure III.8 : Expliquer le principe du calcul de l'équivalent de sable [37].

L'équivalent de sable est une mesure utilisée pour évaluer la qualité des agrégats fins tels que le sable dans les mélanges de béton et d'asphalte. Cette mesure permet d'estimer la proportion relative de particules fines (taille inférieure à 0,075 mm) présentes dans un échantillon donné.

Le test consiste à comparer le taux de passage d'une suspension contenant l'agrégat fin à tester avec celui d'un tamis standard lors du filtrage. Plus précisément, on mesure le temps nécessaire pour qu'une quantité déterminée de matière passe à travers un filtre spécifique en comparaison avec celle qui passerait si seulement du sable pur était utilisé.

En pratique, l'équivalent de sable permet aux ingénieurs civils et aux professionnels chargés des travaux publics, de mieux sélectionner les matériaux appropriés pour leurs projets. En effet, il aide notamment à identifier rapidement quel type d'agrégats sera le plus adapté selon leur nature et leur granulométrie.

Le sable de dune étudiée est propre à pur, ce qui est en concordance avec la classification LCPC. (D'après le tableau récapitulatif des résultats d'identification par [44]. Voir le *tableau III.10* :

Tableau III.10 : résultat de l'équivalent de sable

Équivalent de sable	
ES(%) =76 Degré de propreté donc	:Propre

III .2.2.4 Essais Bleu Méthylène :

La même procédure utilisée pour l'argile a été appliquée au sable de dune et d'après le tableau récapitulatif des résultats d'identification par Azzouz 2017 nous avons : Voir *tableau III.11* :

Tableau III.11 : *Valeur de bleu pour le sable*

Essai au bleu de méthylène	
Valeur de bleu « VB » (%) = 0.84 donc :	Elément non argileux

III .3 Classification final des sols :

Avant de procéder à la classification des échantillons, il est nécessaire de parler du **l'essai œdométrique**. Donc avec la théorie de consolidation unidimensionnelle de Terzaghi (1925), l'essai œdométrique est devenu l'essai de référence dans toutes les études géotechniques de sols compressibles peu perméables. Cet essai, utilisé tant par les praticiens que par les chercheurs, permet de déterminer les caractéristiques de compressibilité et de perméabilité ainsi que les caractéristiques de consolidation et de fluage des sols fins notamment des argiles molles. A la base de l'étude [44].

Et le tableau de Classification selon le rapport $Cc / (1 + e_0)$. l'argile de Metlili El-Jadida appartient aux sols très compressibles. Et à partir du notre résultat de la limite de liquidité et l'indice de plasticité et d'après O'neil et Poormoayed, 1980 sur leur tableau le taux de gonflement de notre argile est élevé. Revenant aux expériences précédentes sur des échantillons de sable et d'argile provenant des zones d'où nous avons spécifiquement prélevé nos échantillons, des expériences de Azzouz 2017 Nous extrayons le mécanisme du sable en réduisant considérablement les propriétés de gonflement de l'argile et, par conséquent, 70% de le sable est présent dans l'argile, ce qui indique la stabilité du mélange et la réduction profonde du problème de gonflement qui lui arrivera à l'avenir [49]., il est donc prêt à étudier les comportements mécaniques restants dans le chapitre 4. Nous allons classer le sol après avoir rempli toutes les données nécessaires pour cela, puis l'organiser dans le tableau suivant :

Tableau III.12 : Les résultats des expériences pour les matériaux utilisés

Source : l'auteur	Matériaux	
	Argile Metlil El-Jadida	Sable de dune Sebseb
<i>Analyse granulométrique</i>		
D max (mm)	2	0.2
% < 2 mm	99.5	--
% < 0,425 mm	99	--
% < 80 µm	98	17
Cu	2.67	1.5
Cc	1.5	1.04
<i>Les limites d'Atterberg</i>		
Wl (%)	77.12	--
Wp (%)	32.50	--
IP (%)	44.62	--
<i>Equivalent de sable</i>		
Es (%)	--	76
<i>Valeur de bleu VB</i>		
	2.67	0.84
<i>Analyse Chimique</i>		
Insolubles (%)	65.5	88.91
CaCO ₃ (%)	7	3
CaSO ₄ ; 2H ₂ O (%)	9.4	3.09

Tableau III.13 : Classification USCS des sols grenus

Définitions		Symbole	Conditions	Appellations	
Graves	Plus de 50% des éléments > 0,08 mm ont un diamètre > 2mm	moins de 5% d'éléments < 0,08 mm	Gb (GW)	Cu = D ₆₀ /D ₁₀ > 4 et 1 < Cc = (D ₃₀) ² /D ₁₀ D ₆₀ < 3	Grave propre bien graduée
		plus de 12% d'éléments < 0,08 mm	Gm (GP)	Une des conditions de Gb n'est pas satisfaite	Grave propre mal graduée
			GL (GM)	Limites d'Atterberg au-dessous de la ligne A	Grave limoneuse
		GA (GC)	Limites d'Atterberg au-dessus de la ligne A	Grave Argileuse	
Sable	Plus de 50% des éléments > 0,08 mm ont un diamètre < 2mm	moins de 5% d'éléments < 0,08 mm	Sb (SW)	Cu = D ₆₀ /D ₁₀ > 6 et 1 < Cc = (D ₃₀) ² /D ₁₀ D ₆₀ < 3	Sable propre bien gradué
		plus de 12% d'éléments < 0,08 mm	Sm (SP)	Une des conditions de Sb n'est pas satisfaite	Sable propre mal gradué
			SL (SM)	Limites d'Atterberg au-dessous de la ligne A	Sable limoneux
		SA (SC)	Limites d'Atterberg au-dessus de la ligne A	Grave Argileux	

En regardant le **tableau III.13** Sur la base des résultats du **tableau III.12**

La classification de l'argile de la région de Metlil El-Jadida est considérée sable limoneux .

Classification selon GTR des matériaux utilisés :

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

✚ **Pour l'argile :**

$D_{max} = 2\text{mm} < 50\text{ mm}$

Passant à 80µm = 98% > 35%

IP= 44.62 > 12%

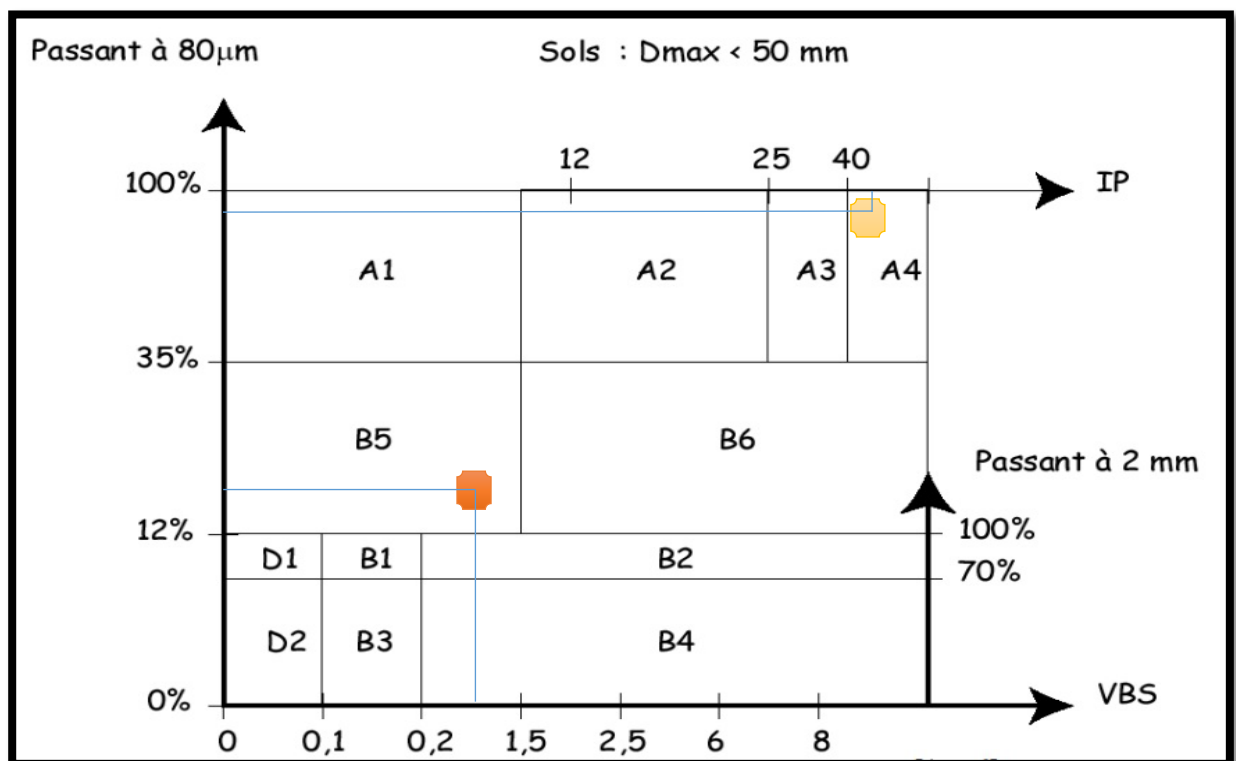
$V_B = 2.67 > 2,5\ %$

✚ **Pour le sable de dune :**

$D_{max} = 0.2\text{mm} < 50\text{ mm}$

Passant à 80µm = 17% < 35%

$V_B = 0.84 < 1.5\ %$



■ Sable de dune... **B5**(sable et graves très siliceux...)

■ Argile... **A4** (argile et argiles marneuses très plastique...)

Figure III.9 : Classification des sols fins selon GTR Basé sur le **tableau I.7**

Du premier chapitre. [32].

III .4. Obstacles pendant le travail

En faisant les expérimentations, il y a eu quelques petits problèmes dont la plupart étaient liés au côté pratique lié aux machines et à leur rareté et à l'accumulation d'expérimentations sur celles-ci, ce qui entraîne parfois une attente et une perte de temps qui n'était pas en notre faveur exemple en est l'expérience de **La résistance à la traction (essai de brésilien)**, que nous n'avons pas eu la chance de faire par manque de temps, mais dans son intégralité elle nous donnera des valeurs approximatives en raison du manque de cohésion de l'échantillon car il ne contient pas de substance adhésive telle que du ciment par exemple. Dès qu'une force axiale est appliquée, l'échantillon est brisé, puis cela est observé en essayant de faire une expérience de **La résistance à la compression non confinée (NF P 98-230-2)** Comme le montre la *photo III.4* nous avons fait quelques tentatives, mais l'expérience a échoué parce que l'échantillon a été détruit, comme nous l'avons mentionné plus tôt, et nous n'avons pas trouvé assez de temps pour le répéter à nouveau.

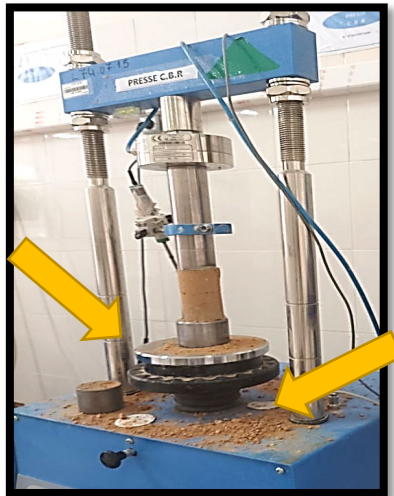


Photo III.4 : L'échantillon sur lequel l'expérience a échoué **Source : l'auteur**

III .5. Conclusion :

Après avoir terminé les expériences, nous avons extrait des informations détaillées sur le sol, à partir des propriétés physiques et chimiques et des principaux composants, et nous avons classé selon ce qui est en vigueur dans la région et selon la nécessité de l'exploitation à faire concernant ces matériaux, et nous devons nous concentrer sur l'importance de les classer car cela sera très important Dans le chapitre suivant

Chapitre IV

L'influence de 3 types de géotextiles

Sur le mélange optimal

À travers l'expérience de cisaillement direct

Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons mener une expérience de cisaillement direct sur des échantillons de sol après les avoir mélangés avec le mélange optimal, qui a ensuite été prouvé par des expériences et des études précédentes, puis sur des échantillons de sable et d'argile de sable de dunes, où ils ont conclu le résultat de 70 pour cent de sable de dunes. Avec un ajout de 30% d'argile, ce que nous avons fait en utilisant du sable de dunes de La zone de Sebseb et d'argile de la zone de Metlili El-Jadida.

La formule optimale choisie d'après les essais de Proctor modifier réalisés par les Travaux de thèse de doctorat Azzouz 2017 du: « 70% sable de dunes + 30% argile ». Voir *Photo IV.1*

Préparation de l'échantillon à étudier (70% sable de dune + 30% argile)

Nous avons mélangé le sable des dunes et l'argile dans le pourcentage optimal et pesé de nombreux échantillons dans le but de poursuivre le reste des expériences que nous verrons dans ce chapitre et l'image suivante le montre.

Après cela, à la lumière des résultats que nous obtiendrons avec les différents types d'expériences et de géotextiles que nous utiliserons, nous ferons des comparaisons et tirerons des conclusions. Nous apporterons des études antérieures et nous les comparerons également selon des schémas similaires à les expériences qui ont ensuite été menées et achevées.

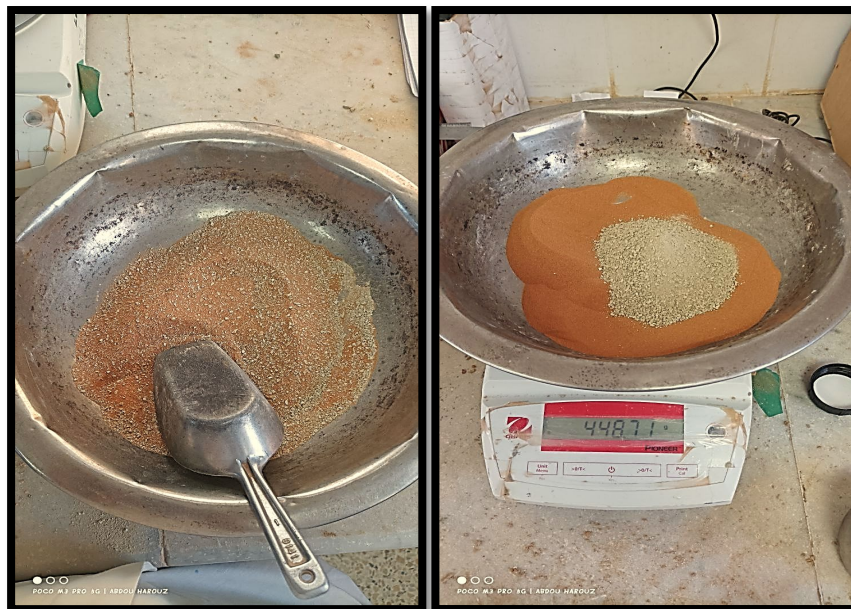
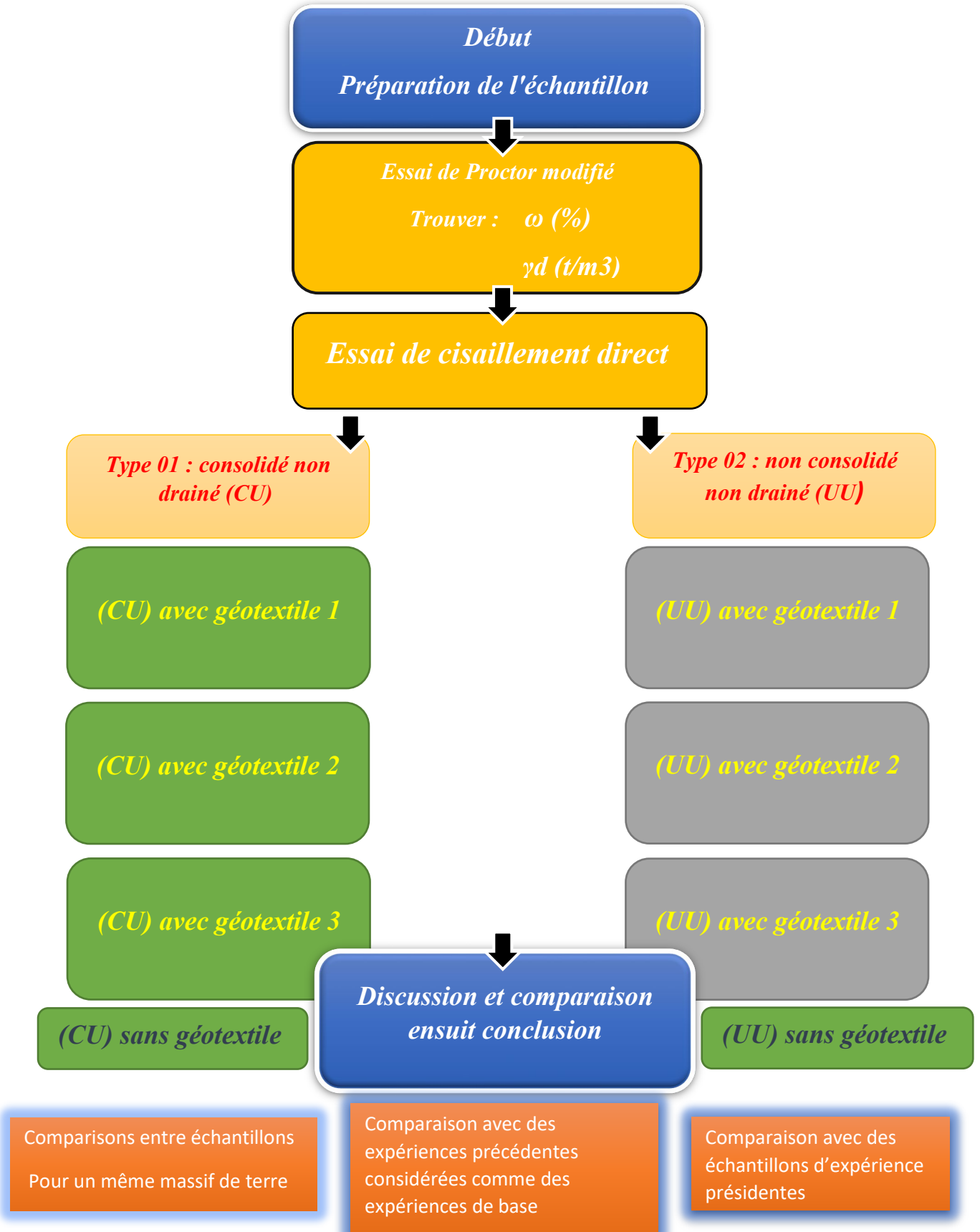


Photo IV.1 : Le Mélange Optimum (Sable de dune + Argile)

Source : l'auteur

Le plan de travail et les étapes, dans l'ordre, nous mettons ici afin d'organiser le travail et l'harmonie des idées

IV .1 Plan De Travail :



Avant de procéder aux expériences de cisaillement direct, nous devons obtenir la valeur de la teneur en eau optimale ω pour nos échantillons du mélange, que nous extrayons de l'expérience Proctor.

IV .2 Essai de Proctor :

L'essai Proctor est une méthode utilisée pour déterminer la densité sèche maximale d'un sol et le contenu en eau optimal pour la compaction des sols granulaires et cohérents. L'essai a été développé par R.R. Proctor en 1933 et est normalement utilisé pour les sols utilisés dans la construction de routes, de digues, de pistes d'atterrissage et d'autres structures similaires.

L'essai de Proctor implique la compaction d'un échantillon de sol à différentes teneurs en eau. La densité sèche du sol est mesurée pour chaque teneur en eau et les résultats sont tracés sur un graphique. Les courbes de densité et d'humidité résultantes sont utilisées pour déterminer la densité maximale et la teneur en eau optimale pour la compaction du sol.



Photo IV.2 : Une image montrant l'appareil Proctor utilisé et quelques autres outils. **Source :** l'auteur

IV .2.1 La procédure de l'essai de Proctor est la suivante :

1. Préparation de l'échantillon de sol : Un échantillon de sol représentatif est prélevé sur le chantier ou la zone d'intérêt. L'échantillon est séché et tamisé pour éliminer les grains de grosseur excessive et les gros agrégats. Cela garantit que l'échantillon est uniforme et que la taille des grains tombe dans la plage appropriée.

2. Détermination de la masse volumique sèche initiale : La masse volumique sèche initiale (peut être appelée densité apparente initiale) du sol est mesurée en prenant la masse du sol et en la divisant par le volume occupé.

3. Préparation des échantillons d'essai : Des échantillons de sol sont préparés en utilisant des proportions et des quantités spécifiques de sol et d'eau. La quantité de sol et l'eau à utiliser pour chaque échantillon sont calculées en utilisant une méthode empirique basée sur la teneur en eau naturelle du sol initial.

4. Compaction de l'échantillon : Chaque échantillon est compacté à l'aide d'un marteau de précision à une cadence et à une hauteur spécifique jusqu'à l'obtention d'une densité uniforme. La méthode de compactage utilisée peut varier selon l'équipement et les besoins spécifiques.

5. Détermination de la masse volumique sèche : La masse volumique sèche de chaque échantillon est mesurée par pesée et division par le volume occupé.

6. Traçage de la courbe densité-teneur en eau : Les données de densité sèche et de teneur en eau sont tracées sur un graphique pour identifier le contenu en eau optimal pour la densité sèche maximale.

Le résultat de l'essai Proctor peut être utilisé pour choisir la méthode de compactage, la densité cible et la teneur en eau optimale pour le sol. La méthode de compactage choisie variera en fonction de la nature du sol, des équipements disponibles et des besoins du projet.

IV .2.2 Proctor modifié PM :

L'essai de Proctor modifié est similaire à l'essai de Proctor standard, mais implique l'utilisation de marteaux plus lourds et des hauteurs de chute plus élevées pour la compaction. Ceci peut permettre d'atteindre des densités plus élevées pour des sols plus cohérents.

Notre essai 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 et à un même niveau d'énergie de compactage

L'essai permet de déterminer la teneur en eau optimale ω_{opte} donnant la densité sèche maximale $\gamma_d \max$ Et nous l'avons adopté dans notre expérience dans laboratoire et trouve ces résultats indiqués dans *le tableau IV.1.*

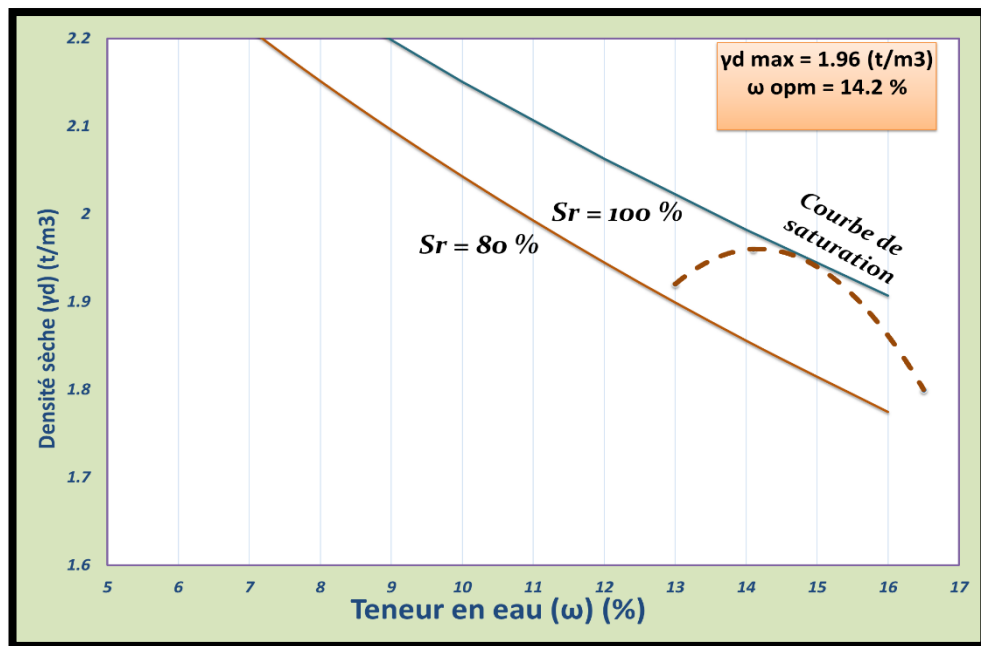


Figure IV.1 : La courbe graphique de laissé Proctor modifiée

Tableau IV.1 Caractéristiques optimales de Proctor PM

Teneur en eau optimale ω_{opte} (%)	14.2
Poids volumique sec maximal (t/m^3)	1.96

A travers le tableau, nous avons tracé la courbe graphique ci-dessous, donc elle représente la relation entre la masse volumique sèche et la teneur en eau. Le mélange sable de dune/argile Metlili El-Jadida présente une densité sèche maximale de l'ordre de $1.96 t/m^3$ correspondant à une teneur en eau optimale de l'ordre de $14,20\%$.

IV .3 Géotextiles à utiliser:

IV .3.1 Le premier Géotextile :

Est le géotextile tissé tricoté renforcé par des fils à haute liaison (ténacité élevée) dans deux directions orthogonales Utilisé notamment dans les revêtements routiers en asphalte, il se caractérise par une forte adhérence entre ses parties grâce aux fils croisés qui lui sont ajoutés, qui le renforcent.



Photo IV.3 : *Le géotextile renforcé par des fils* Source : l'auteur

IV .3.2 Le deuxième Géotextile :

Le deuxième Les applications du géotextile non tissé dans le renforcement des chaussées routières sont multiples, ou ont utilisé trois types de géotextiles Le premier GOE PP TC 300 non tissé produit avec fibres en polypropylène résistant aux UV aiguilleté et thermo calandré pour les applications routières et autre circulation exporte d'Espagne par l'entreprise de SINTEF à Sidi bel abbesse.



Photo IV.4 : *GOE PP TC 300 non tissé* Source : l'auteur

Tableau IV.2: Tableau avec des informations techniques (TC300)

PRODUCT RANGE			TC 100	TC 120	TC 140	TC 150	TC 160	TC 180	TC 200	TC 220	TC 250	TC 280	TC 300	TC 330	TC 350	TC 400	TC 500	TC 700
Standard	Unit																	
Physical Properties																		
Unit weight	EN ISO 9864	g/m ²	100	120	140	150	160	180	200	220	250	280	300	330	350	400	500	700
Thickness at 2 kPa	EN ISO 9863-1	mm	0,65	0,65	0,75	0,8	0,90	0,95	1,0	1,1	1,2	1,25	1,45	1,5	1,6	1,9	2,1	3,0
Mechanical Properties																		
Tensile strength MD	EN ISO 10319	kN/m	6,0	7,5	9,5	10,0	11,0	13,0	14,0	16,0	19,0	21,0	22,0	24,0	26,0	29,0	34,0	45,0
Tensile strength CMD	EN ISO 10319	kN/m	6,0	7,5	9,5	10,0	11,0	13,0	14,0	16,0	19,0	21,0	22,0	24,0	26,0	29,0	39,0	50,0
Elongation MD	EN ISO 10319	%	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
Elongation CMD	EN ISO 10319	%	60	70	65	65	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	50
Static puncture (CBR test)	EN ISO 12236	N	1100	1300	1600	1650	2000	2250	2600	2900	3300	3500	3700	4300	4500	5300	6000	8400
Dynamic perforation (Cone drop)	EN 918	mm	33	31	29	28	27	26	23	22	20	17	15	14	13	10	7	0
Hydraulic Properties																		
Velocity index	EN ISO 11058	m/s	0,086	0,075	0,070	0,065	0,060	0,050	0,040	0,040	0,035	0,027	0,025	0,015	0,015	0,014	0,010	0,005
Permeability normal to the plane	EN ISO 11058	l/(s m ²)	86	75	70	65	60	50	40	40	35	27	25	15	15	14	10	5
Permittivity	EN ISO 11058	s ⁻¹	1,72	1,50	1,40	1,30	1,20	1,00	0,80	0,80	0,70	0,54	0,50	0,30	0,30	0,28	0,20	0,10
Transmissivity under 20 kPa	EN ISO 12958	m ² /s x 10 ⁻⁶	0,45	0,50	0,85	1,0	1,2	1,2	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,4	1,5	1,6	1,6	1,7
Water flow in the plane (20 kpa, i=1)	EN ISO 12958	l/(m h)	1,8	1,8	3,2	3,6	4,3	4,3	4,3	4,3	4,7	5,0	5,0	5,0	5,4	5,8	5,8	6,1
Characteristic opening size O90	EN ISO 12956	micron	90	80	75	70	70	70	70	70	70	70	65	65	65	60	60	50

IV .3.3 Le troisième Géotextile :

Est le géotextile AS30 non tissé produit avec fibres courtes haute ténacité 100% en polypropylène assurer par l'entreprise AFITEX Algérie. Pour application routière.



Photo IV.5 : Le géotextile AS30 non tissé Source : l'auteur

Tableau IV.3: Tableau avec des informations techniques (AS30)

Caractéristiques	Normes	Unités	AS10	AS15	AS20	AS25	AS30	AS35	AS40
Caractéristiques physiques									
Masse surfacique	ISO 9864	g/m ²	100	150	200	250	300	350	400
Epaisseur sous 2 kPa	ISO 9863-1	mm	0,50	0,80	1,00	1,25	1,60	1,70	2,20
Caractéristiques mécaniques									
Résistance à la traction SP*	ISO 10319	kN/m	6	10	13	16	20	23	27
Résistance à la traction ST*	ISO 10319	kN/m	7	12	16	20	25	30	33
Déformation à la force maximale SP*	ISO 10319	%	70	70	70	75	75	80	80
Déformation à la force maximale ST*	ISO 10319	%	90	90	90	95	100	100	105
Perforation dynamique	ISO 13433	mm	30	25	17	15	11	10	9
Résistance au poinçonnement statique CBR	ISO 12236	kN	1,00	1,70	2,10	2,90	3,40	4,00	4,40
Résistance au poinçonnement pyramidal	EN 14574	kN	0,70	1,00	1,20	1,50	1,80	1,90	2,30
Caractéristiques hydrauliques									
Perméabilité normale au plan	ISO 11058	m/sec	0,080	0,065	0,050	0,045	0,040	0,020	0,020
Ouverture de filtration	ISO 12956	µm	90	90	70	70	65	60	55
Caractéristiques du rouleau									
Largeur		m	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80
Longueur		m	300	250	200	160	140	120	100
Surface		m ²	1 740	1 450	1 160	928	812	696	580
Poids		kg	174	218	232	232	244	244	232

IV .4 Procédure expérimentale

La procédure expérimentale est importante car elle est susceptible d'avoir une influence sur les résultats obtenus le cisaillement est alors initié.

IV .5 Préparation de l'essai

IV .5.1 Préparation de l'échantillon

L'éprouvette est taillée dans des carottes soigneusement prélevées sur le site à l'aide d'une meule huilée ayant les mêmes dimensions que la boîte de cisaillement. Dans la boîte, les pierres poreuses ou plaques drainantes sont saturées avec l'eau, Plus précisément, lors d'un essai de cisaillement direct à la boîte, un échantillon cylindrique et Lorsque des pierres poreuses sont utilisées dans cet essai, elles sont placées autour de l'échantillon afin d'assurer une distribution uniforme des forces exercées sur lui. Cela garantit ainsi que les résultats obtenus reflètent véritablement les propriétés mécaniques intrinsèques du matériau étudié sans être faussés par une répartition inégale des contraintes. L'éprouvette est encadrée par deux papiers filtre empêchant les particules fines de migrer vers les pores des pierres poreuses voire *photo IV.6*



Photo IV.6 : Des Étapes pour préparer la boîte circulaire et l'échantillon

Source : l'auteur. Afin de réaliser le processus de cisaillement pour les échantillons de mélange avec différents types de cisaillement, les mêmes étapes sont répétées entre les échantillons, qui sont les suivantes

- 1- Choisissez la boîte de cisaillement de la forme circulaire montrée dans la **photo IV.6**
 - 2- Mélanger l'échantillon sable de dune + argile montré sur la **photo IV.1**
 - 3- Choisissez le poids de l'échantillon sur lequel travailler, et la valeur choisie était de 457,05 Gramme, avec une quantité interne d'eau, ce qui signifie que l'échantillon était Humide, et le poids de l'eau interne était de 64,87 gramme
- De cet échantillon que nous avons, nous extrayons trois autres échantillons, où chaque échantillon nous appliquons une contrainte normale différente sur une base croissante.



Photo IV.7 : L'appareil de cisaillement utilisé dans notre étude (NF P94-071-1)

Source : l'auteur

IV .5.2 Mise en place de la boîte sur la machine de cisaillement (NF P94-071-1)

1- Placer l'étrier de charge sur le piston de la boîte;

2- Placer le capteur vertical et le mettre à zéro;

3- Monter l'anneau dynamométrique sur la machine, le relier à la boîte.

Mettant l'anneau légèrement en traction et en ramenant lentement le capteur de l'anneau au zéro

4- Appliquer sur l'éprouvette la charge désirée: 100 - 200 - 300 (kPa);

Pour applique cette charge normale, placer sans choc des poids convenables sur le plateau de

La machine et s'assurer que le bras de levier est horizontal à l'aide du niveau prévu à cet effet

- ✓ Désolidariser les deux demi-bottes en enlevant les goupilles;
- ✓ Mettre l'essai en route à la vitesse désirée.
- ✓ Enlever les poids du plateau de charge;
- ✓ Débloquer l'anneau dynamométrique;
- ✓ Enlever la boîte du chariot de la machine;
- ✓ Sortir l'éprouvette de la boîte
- ✓ Mesurer le poids spécifique final;
- ✓ Examiner les plans de rupture. Noter les particularités.
- ✓ Nettoyer soigneusement les pierres poreuses;
- ✓ Nettoyer les boîtes de cisaillement.

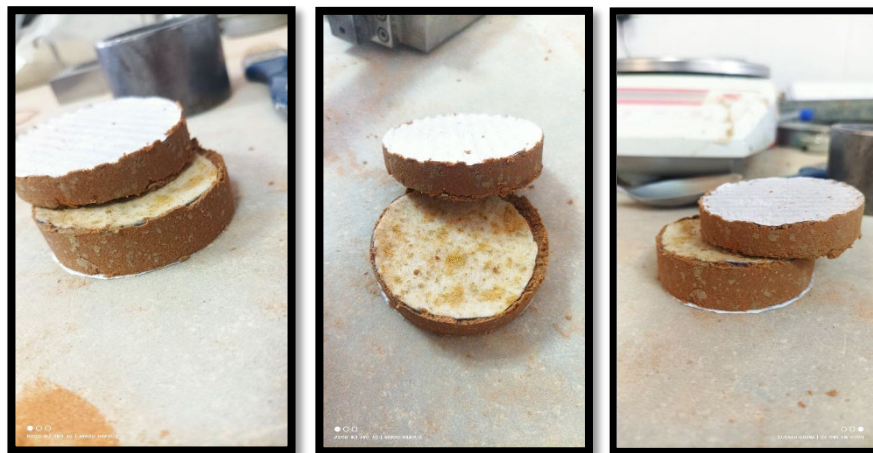


Photo IV.8 : Échantillons extraits après la fin du processus

Source : l'auteur

IV .5.3 Calculs et résultats

Contrainte de cisaillement

On détermine la contrainte de cisaillement : $\tau = T/A$

τ : Contrainte de cisaillement on (kpa)

T : La force de cisaillement on (kn)

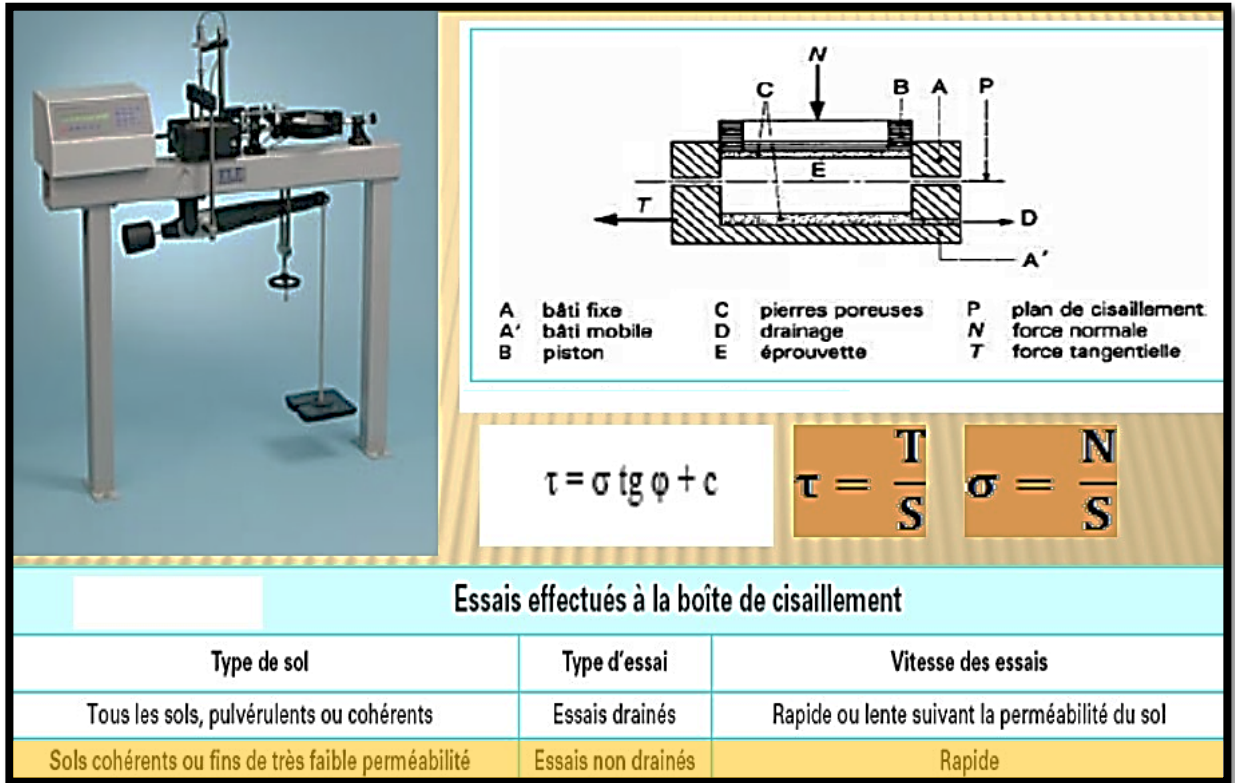


Figure IV.2 : Clarification de la méthode de calcul et des types de cisaillements selon la nature de l'échantillon

On trace ensuite, pour chaque essai, les courbes de contraintes en fonction des déplacements et on détermine la valeur de la contrainte de cisaillement maximale.

On reporte ensuite chaque point sur un graphique ayant pour abscisse La Contrainte normale σ et pour ordonnée la contrainte de cisaillement τ . Tracer la courbe intrinsèque du sol étudié.

Après cela, nous transférons les données résultant de chaque expérience de l'assistant de laboratoire sur des feuilles de calcul sur Microsoft Excel a été développé par des ingénieurs expérimentés prêts à l'emploi qui dessinent des courbes graphiques et calculent les valeurs de cohésion, d'angle de frottement et de contrainte de cisaillement.

Comme il était possible d'obtenir les courbes prêtes par le laboratoire, mais nous avons vu qu'il est plus précis et préférable pour nous de les calculer de manière simple à l'aide de lois et incorporées dans une feuille de calcul Excel.

Avant de parler des résultats obtenus, nous avons vu qu'il est nécessaire d'élaborer un peu sur les types de cisaillement et de clarifier les différences entre eux et leur impact sur les résultats. En conséquence, puisque nous avons un sol fin constitué d'un mélange aussi fin et relativement cohésif par rapport au sol classé dans le grand diamètre, nous avons adopté deux types d'expérience, à savoir CU. UU. Ou alors la vitesse a été fixée à un taux constant de *1,20 millimètres par minute*, et le motif est rapide comme indiqué dans la *figure IV.2*.

IV .5.4 Essai non consolidé - non drainé (Unconsolidated-undrained)

Dans le cas d'une argile saturée, la courbe intrinsèque obtenue est une droite parallèle à l'axe des contraintes normales. Elle est caractérisée par son ordonnée à l'origine **C**. [64].

Mais dans le cas que l'on a du mélange sur lequel on a mené les essais, on ne s'attend pas à une valeur négligeable pour l'angle de frottement interne car on a affaire à un mélange 70% du sable dans lequel une grande quantité de sable des dunes soulève la valeur de l'angle de frottement interne.

Avec tous les types de géotextiles que nous avons utilisés dans l'expérience. Sur la base que nous les avons ajoutés afin de renforcer et d'augmenter la force de cohésion.

IV .5.5 Essai consolidé non drainé (Consolidated-undrained)

La courbe intrinsèque est approximativement une droite inclinée sur l'axe des contraintes normales. On la caractérise par son ordonnée à l'origine **C** et par son angle avec l'axe des abscisses ϕ

C'est le résultat standard qui devrait être, et nous nous attendons à ce que dans nos résultats que nous verrons plus tard. Avec tous les types de géotextiles que nous avons utilisés Comme nous l'avons indiqué précédemment.

IV .6 Discussion et comparaison

IV .6.1 Type 01 : Consolidé non drainé (CU)

IV .6.1.1 (CU) avec géotextile 01 (Le géotextile renforcé par des fils)

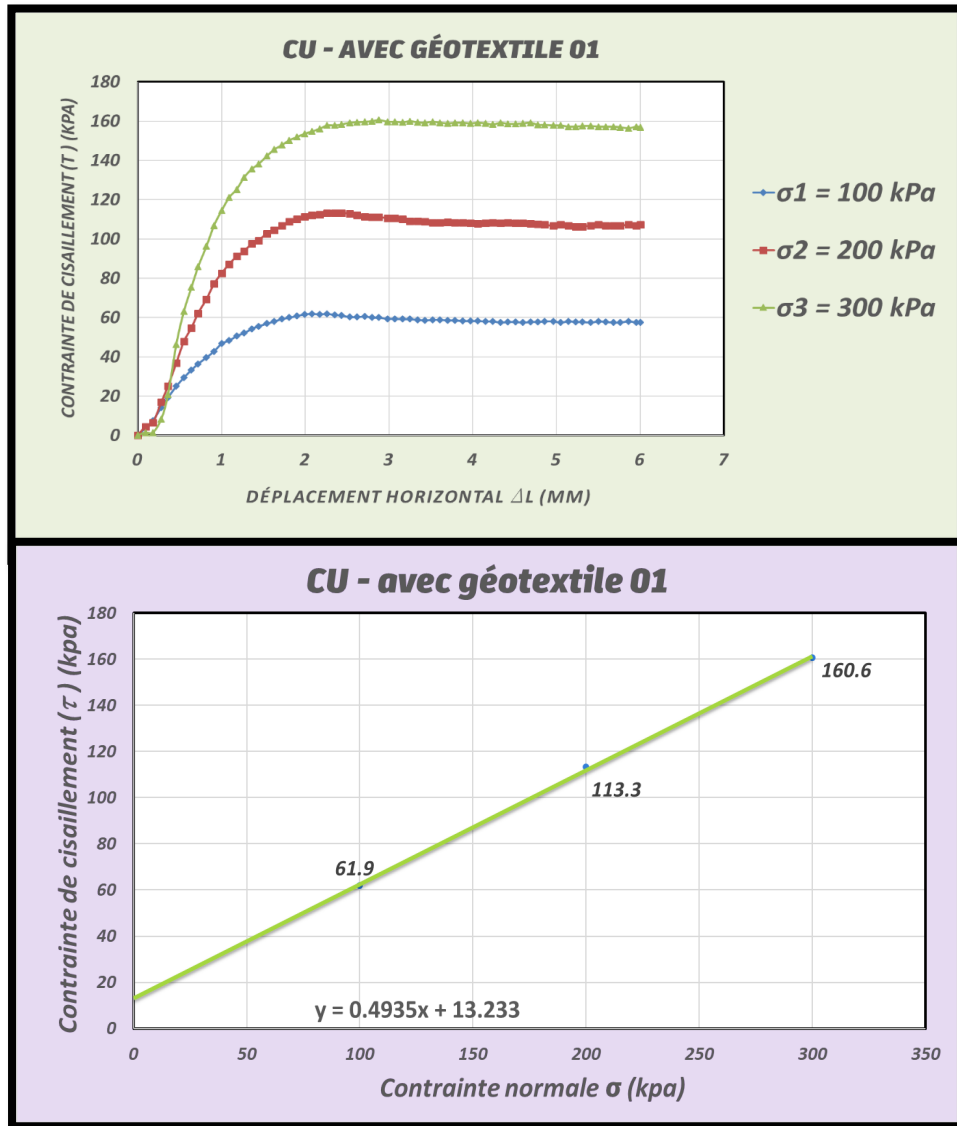


Figure IV.3 : Graphe(CU) avec géotextile 01

Tableau IV.4: Résultats de l'expérience (CU) avec géotextile 01

Notre mélange (70% sable de dune et 30 % argile)				
La cohésion C(kpa)	L'angle de frottement ϕ (dégrée)	La contraint de cisaillement de rupture τ_r (kpa) correspondant à chacune des contraintes utilisées		
13.233	26.255	$\sigma_1=100$	$\sigma_2=200$	$\sigma_3=300$
		61.9	113.3	160.6

IV .6.1.2 (CU) avec géotextile 02 (GOE PP TC 300 non tissé)

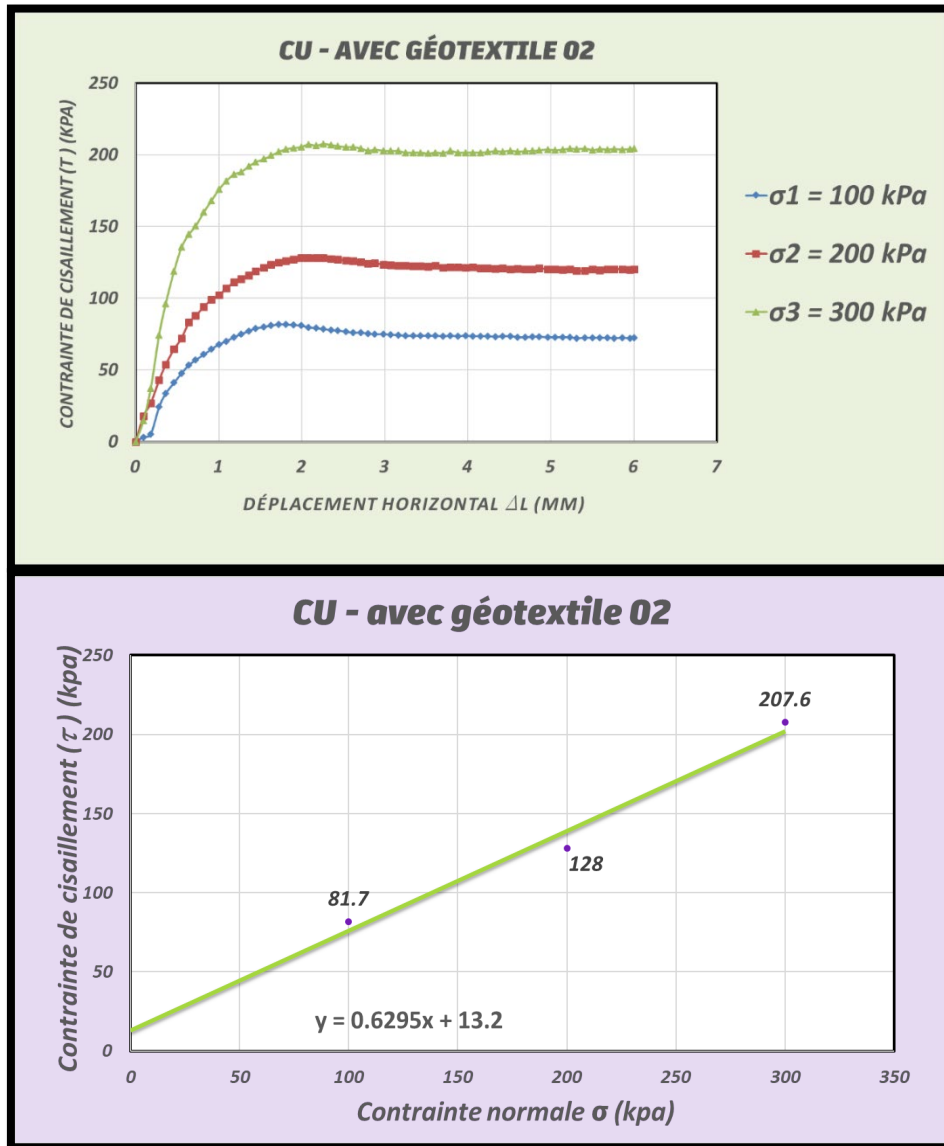


Figure IV.4 : Graphe(CU) avec géotextile 02

Tableau IV.5: Résultats de l'expérience (CU) avec géotextile 02

Notre mélange (70% sable de dune et 30 % argile)				
La cohésion C(kpa)	L'angle de frottement φ (dégrée)	La contraint de cisaillement de rupture τr (kpa) correspondant à chacune des contraintes utilisées		
13.2	32.177	σ1=100	σ2=200	σ3=300
		81.7	128	207.6



IV .6.1.3 (CU) avec géotextile 03 (AS30 non tissé)

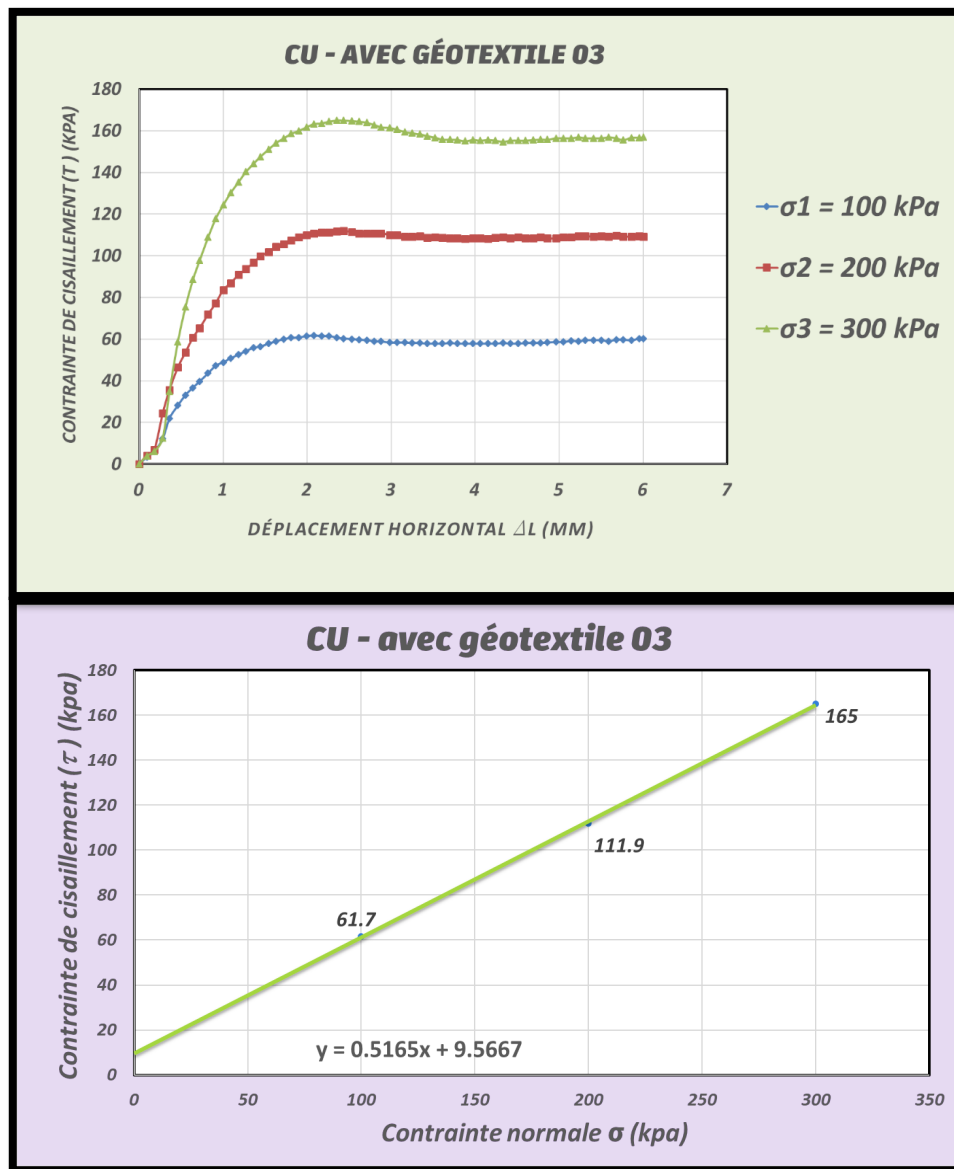


Figure IV.5 : Graphe(CU) avec géotextile 03

Tableau IV.6: Résultats de l'expérience (CU) avec géotextile 03

Notre mélange (70% sable de dune et 30 % argile)				
La cohésion C(kpa)	L'angle de frottement ϕ (dégrée)	La contraint de cisaillement de rupture τ_r (kpa) correspondant à chacune des contraintes utilisées		
9.56	27.305	$\sigma_1=100$	$\sigma_2=200$	$\sigma_3=300$
		61.7	111.9	168

IV .6.1.4 (CU) sans géotextile

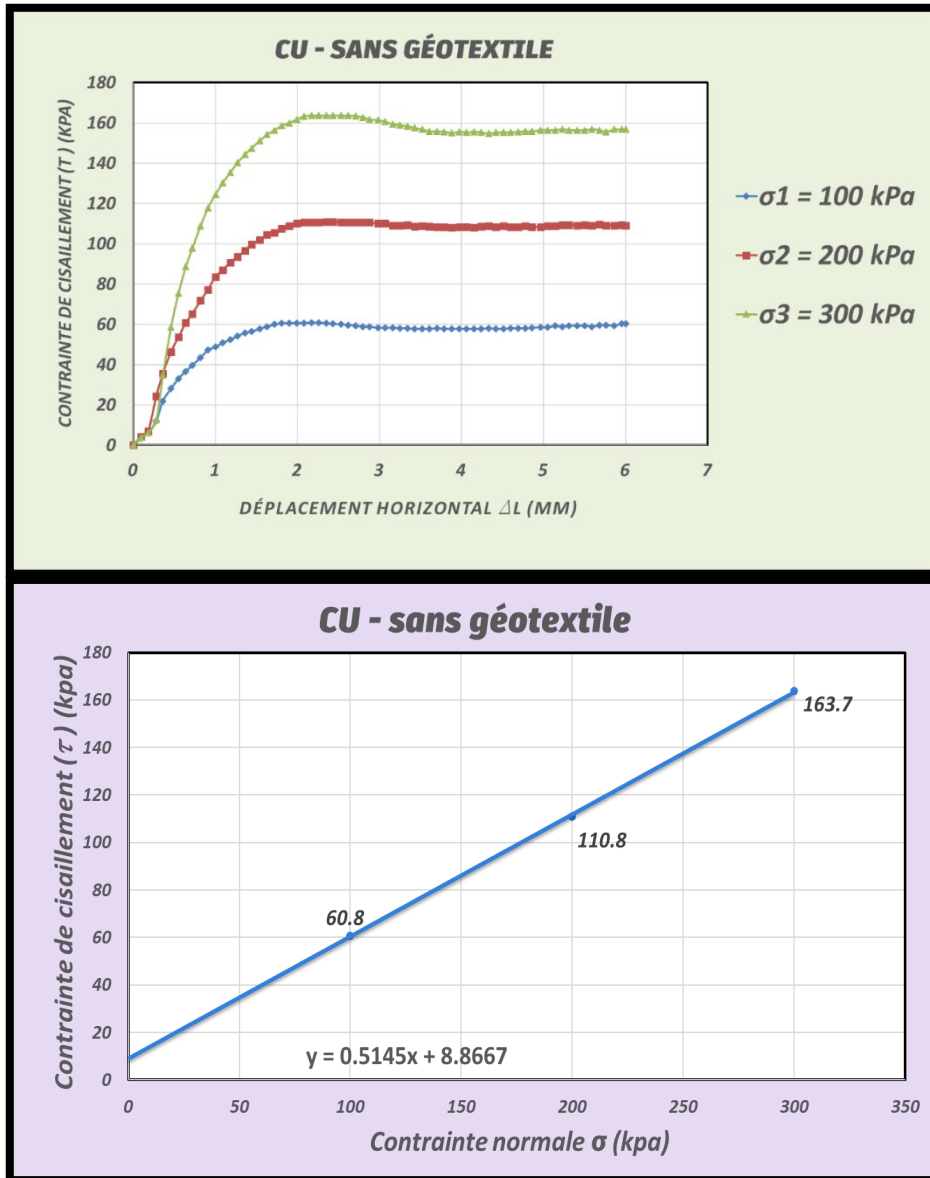


Figure IV.6 : Graphe(CU) sans géotextile

Tableau IV.7: Résultats de l'expérience (CU) sans géotextile

Notre mélange (70% sable de dune et 30 % argile)				
La cohésion C(kpa)	L'angle de frottement ϕ (dégrée)	La contraint de cisaillement de rupture τ_r (kpa) correspondant à chacune des contraintes utilisées		
8.86	29.46	$\sigma_1=100$	$\sigma_2=200$	$\sigma_3=300$
		60.8	110.8	163.7

IV .6.1.2 Type 02 : Non consolidé non drainé (UU)

IV .6.2.1 (UU) avec géotextile 01 (Le géotextile renforcé par des fils)

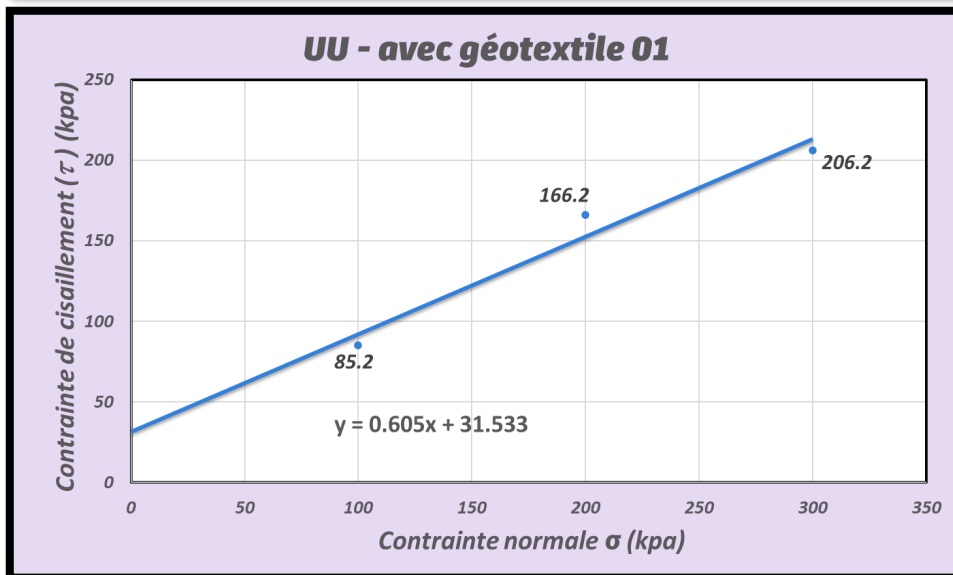
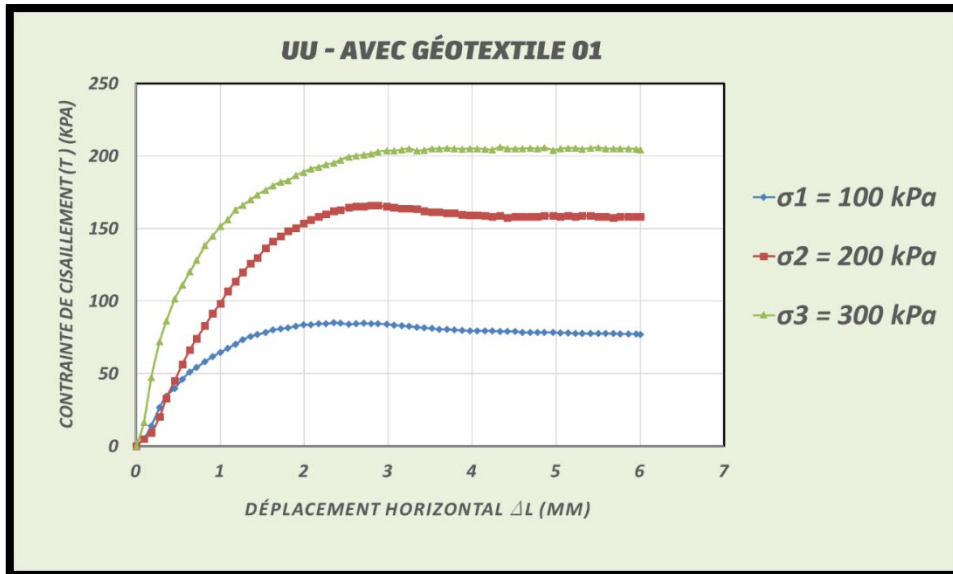


Figure IV.7 : Graphe(UU) avec géotextile 01

Tableau IV.8: Résultats de l'expérience (UU) avec géotextile 01

Notre mélange (70% sable de dune et 30 % argile)				
La cohésion C(kpa)	L'angle de frottement φ (dégrée)	La contraint de cisaillement de rupture τr (kpa) correspondant à chacune des contraintes utilisées		
31.533	31.16	σ1=100	σ2=200	σ3=300
		85.2	166.2	206.2

IV .6.2.2 (UU) avec géotextile 02 (GOE PP TC 300 non tissé)

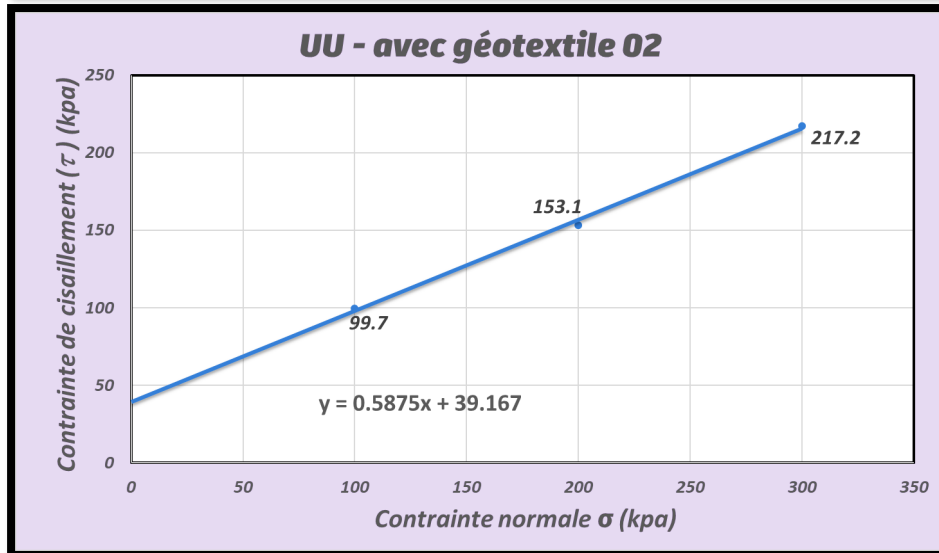
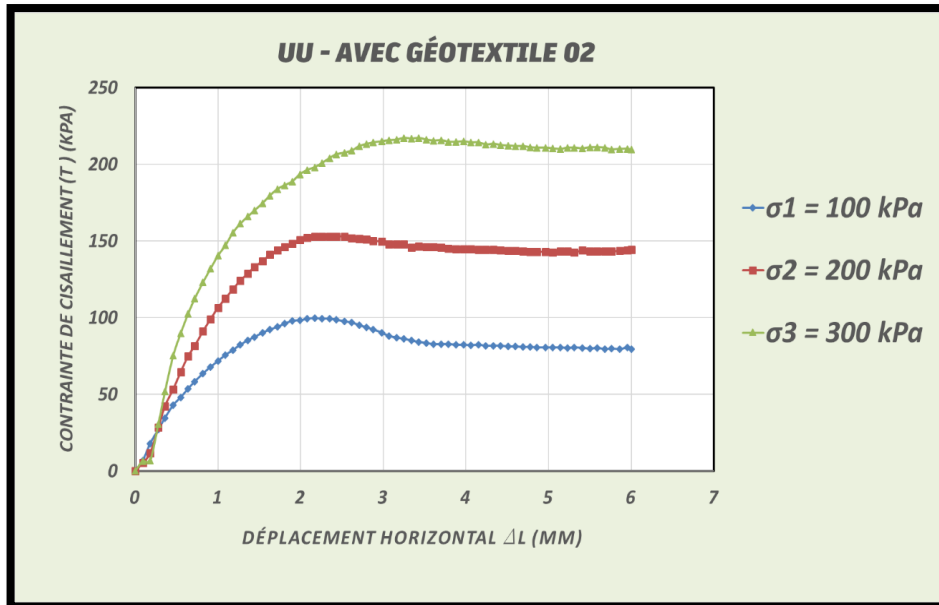


Figure IV.8 : Graphe (UU) avec géotextile 02

Tableau IV.9: Résultats de l'expérience (UU) avec géotextile 02

Notre mélange (70% sable de dune et 30 % argile)				
La cohésion C(kpa)	L'angle de frottement φ (dégrée)	La contraint de cisaillement de rupture τr (kpa) correspondant à chacune des contraintes utilisées		
39.167	30.42	σ1=100	σ2=200	σ3=300
		99.7	153.1	217.2

IV .6.2.3 (UU) avec géotextile 03 (AS30 non tissé)

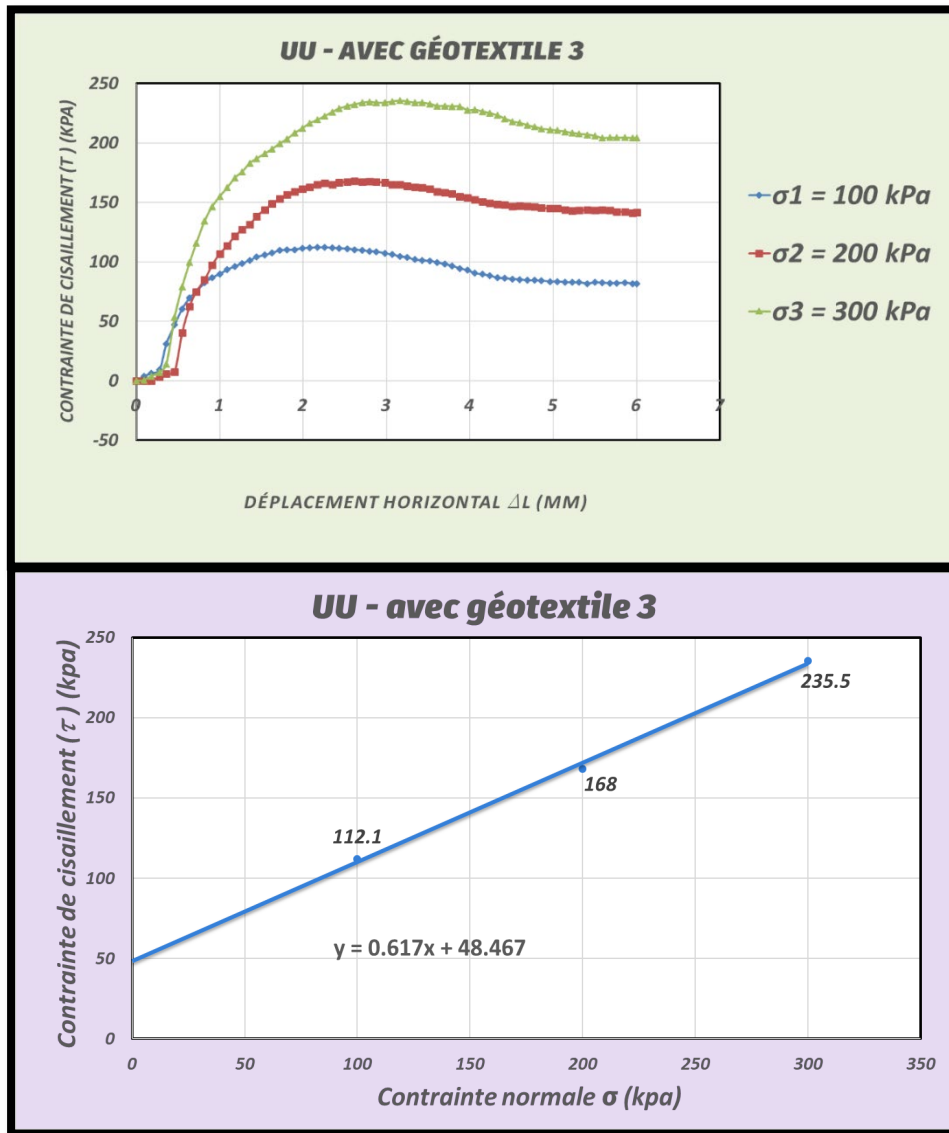


Figure IV.9 : Graphe (UU) avec géotextile 03

Tableau IV.10: Résultats de l'expérience (UU) avec géotextile 03

Notre mélange (70% sable de dune et 30 % argile)				
La cohésion C(kpa)	L'angle de frottement φ (dégrée)	La constraint de cisaillement de rupture τ_r (kpa) correspondant à chacune des contraintes utilisées		
48.467	31.66	$\sigma_1=100$	$\sigma_2=200$	$\sigma_3=300$
		112.1	168	235.5

IV .6.2.4 (UU) sans géotextile

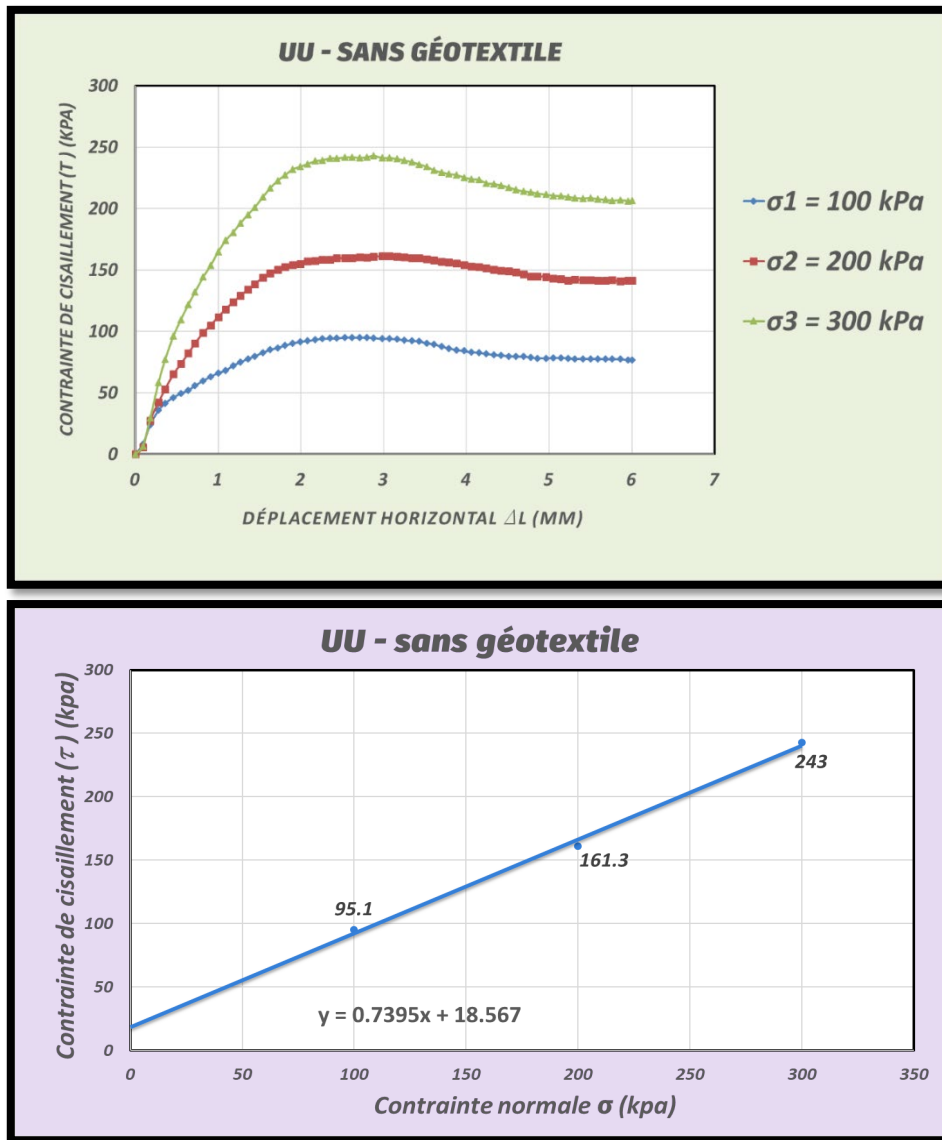


Figure IV.10 : Graphe (UU) sans géotextile

Tableau IV.11: Résultats de l'expérience (UU) sans géotextile

Notre mélange (70% sable de dune et 30 % argile)				
La cohésion C(kpa)	L'angle de frottement ϕ (dégrée)	La contraint de cisaillement de rupture τ_r (kpa) correspondant à chacune des contraintes utilisées		
18.567	36.46	$\sigma_1=100$	$\sigma_2=200$	$\sigma_3=300$
		95.1	161.3	243

Tableau IV.12: Tableau rassemble toutes les données présidentes *Source :*
l'auteur

	La cohésion C(kpa)	L'angle de frottement ϕ (dégrée)	$\sigma_1=100$	$\sigma_2=200$	$\sigma_3=300$
<i>CU avec Géotextile 1</i>	13.233	26.255	61.9	113.3	160.6
<i>CU avec Géotextile 2</i>	13.2	32.177	81.7	128	207.6
<i>CU avec Géotextile 3</i>	9.56	27.305	61.7	111.9	168
<i>CU sans Géotextile</i>	8.86	29.46	60.8	110.8	163.7
<i>UU avec Géotextile 1</i>	31.533	31.16	85.2	166.2	206.2
<i>UU avec Géotextile 2</i>	39.167	30.42	99.7	153.1	217.2
<i>UU avec Géotextile 3</i>	48.467	31.66	112.1	168	235.5
<i>UU sans Géotextile</i>	18.567	36.46	95.1	161.3	243

À la lumière du *tableau* n ° *IV.12*, nous allons dessiner un ensemble de graphiques pour la comparaison, l'observation et l'analyse des résultats

IV .6.3 Comparaisons entre échantillons :

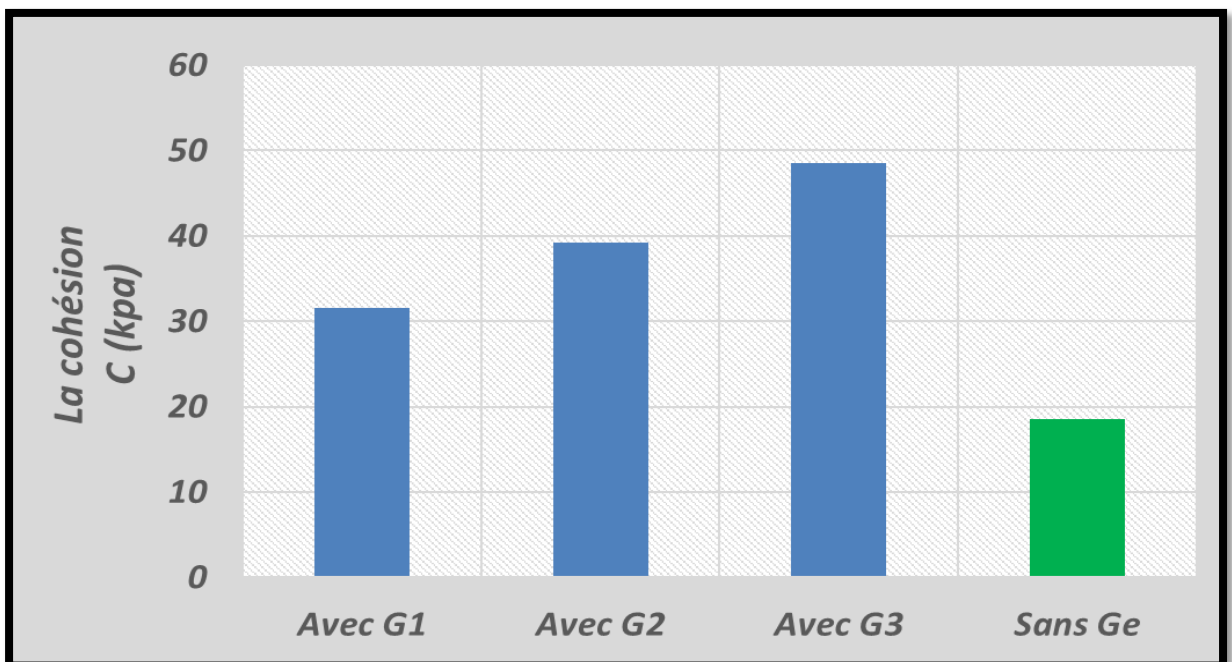


Figure IV.11 : Les rapports des cohésions et les différences entre elles (UU)

On remarque à travers le graphique que la force de cohésion est la plus grande au niveau du géotextile n° 3, suivi après le n° 2, puis au dernier n° 1, et l'expérience qui a ensuite été menée sans géotextile a montré que l'amélioration était attendu, donc son résultat était le dernier dans l'ordre

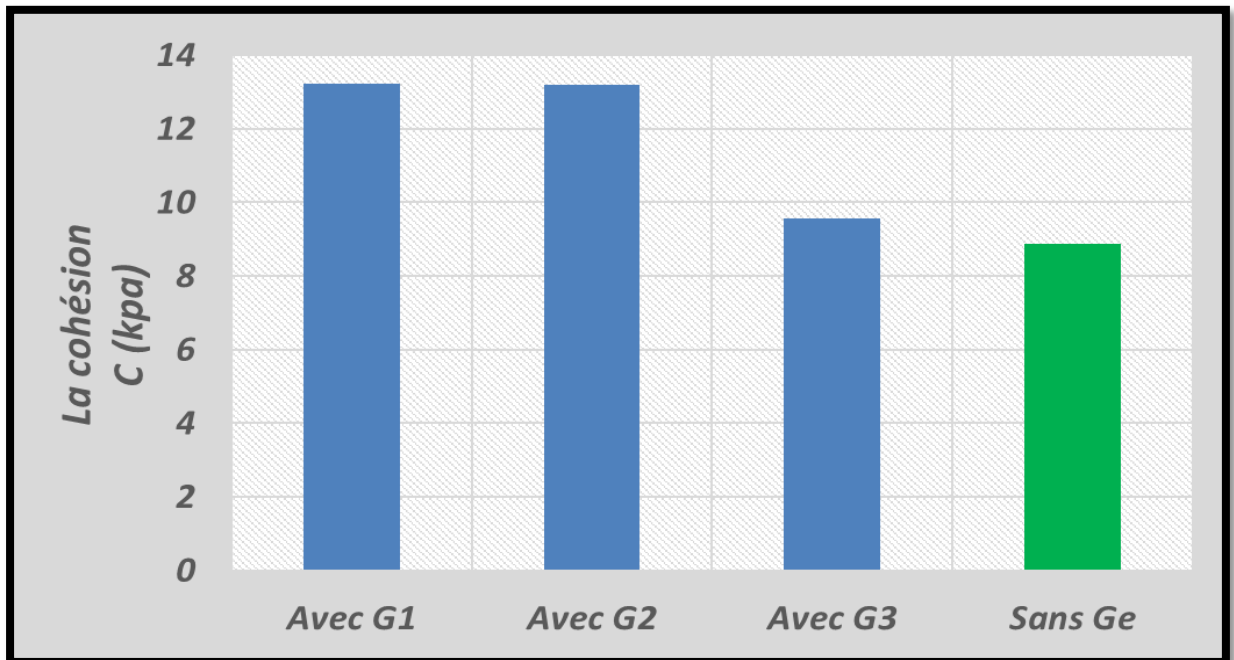


Figure IV.12 : Les rapports des cohésions et les différences entre elles (CU)

On remarque à travers le graphique que la force de cohésion est la plus grande au niveau du géotextile n° 1, suivi après le n° 2, puis au dernier n° 3, et l'expérience qui a ensuite été menée sans géotextile a montré que l'amélioration était attendu, donc son résultat était le dernier dans l'ordre comme nous l'avons mentionné plus tôt

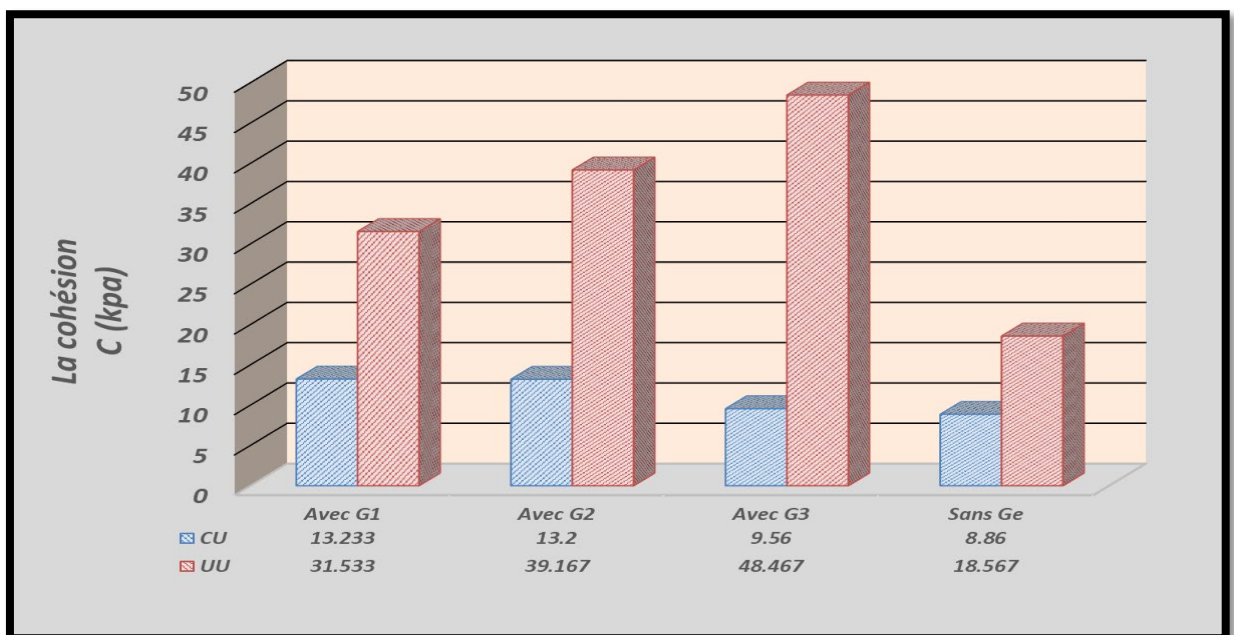


Figure IV.13 : Les rapports des cohésions et les différences entre elles (CU vs UU)

Grâce à un graphique en trois dimensions *figure IV.13* qui montre en détail les changements dans la cohésion du mélange entre deux types d'expérience différents CU et UU On remarque que la cohérence est significativement plus élevée dans le type UU et faible en CU

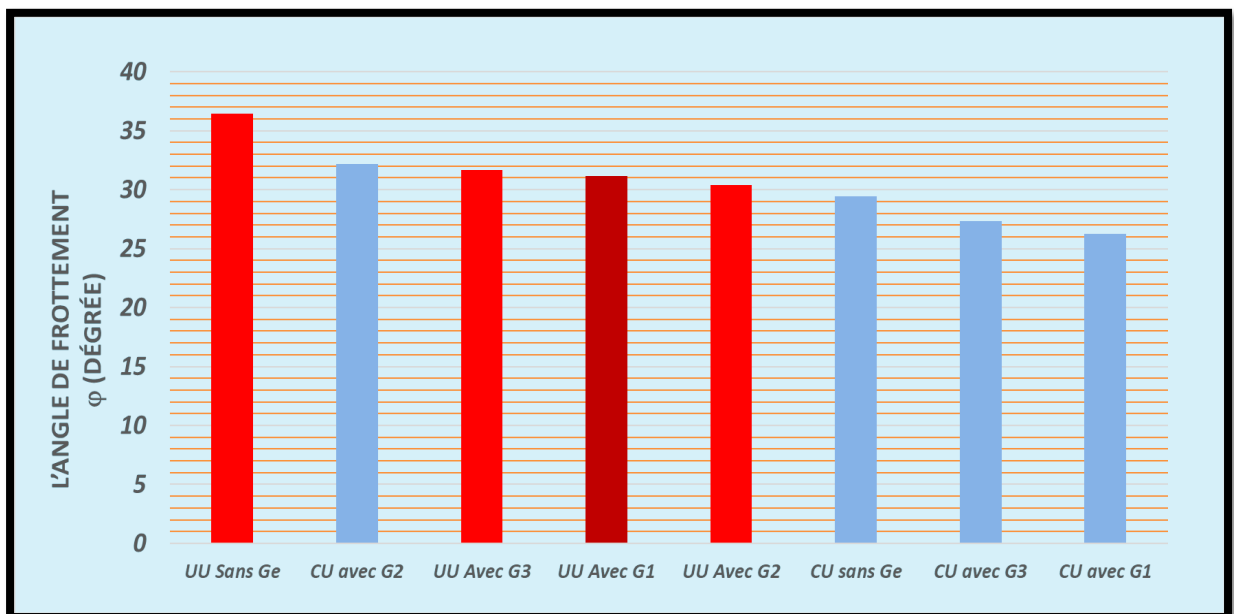


Figure IV.14 : Différents niveaux de valeurs d'angle de frottement pour toutes les expériences

Il est connu de nous, et grâce aux résultats joints au *figure* ci-dessus, *IV.14* qu'il est prévu que la différence entre la valeur la plus élevée de l'angle de frottement avec la valeur la plus faible d'un autre angle soit très petite, car elle est égale à 10 degrés, et donc l'effet du géotextiles n'est pas très important en ce qui concerne l'angle interne, et nous savons que l'élément qui a à voir avec l'augmentation de la valeur de l'angle dans le mélange est le sable en raison de la forme de ses granules par rapport à la forme des granules d'argile ajoutés qui ne présentent pas de modification de l'angle de frottement, et nous n'avons pas non plus modifié les proportions des composants du mélange sur tous dans les expériences, le rapport était toujours de soixante-dix pour cent de sable avec trente pour cent argile

En général, plus l'angle de frottement interne est élevé, plus le sol sera capable de résister aux forces exercées sur lui. Par conséquent, cette propriété mécanique a un impact significatif sur les propriétés globales du sol telles que sa portance et son comportement en termes de déformation et d'affaissement.

Plus précisément, l'augmentation de l'angle de frottement interne peut conduire à une augmentation significative des valeurs maximales des contraintes admises pour un niveau donné d'affaissement ou encore réduire les tassements différentiels entre deux zones adjacentes.

De plus, cette caractéristique joue également un rôle important dans la stabilité des pentes naturelles ainsi que dans celle des structures souterraines comme les tunnels et les barrages. En effet, elle permettra notamment d'estimer quelle serait la pression latérale pouvant être supportée sans risque par ces structures.

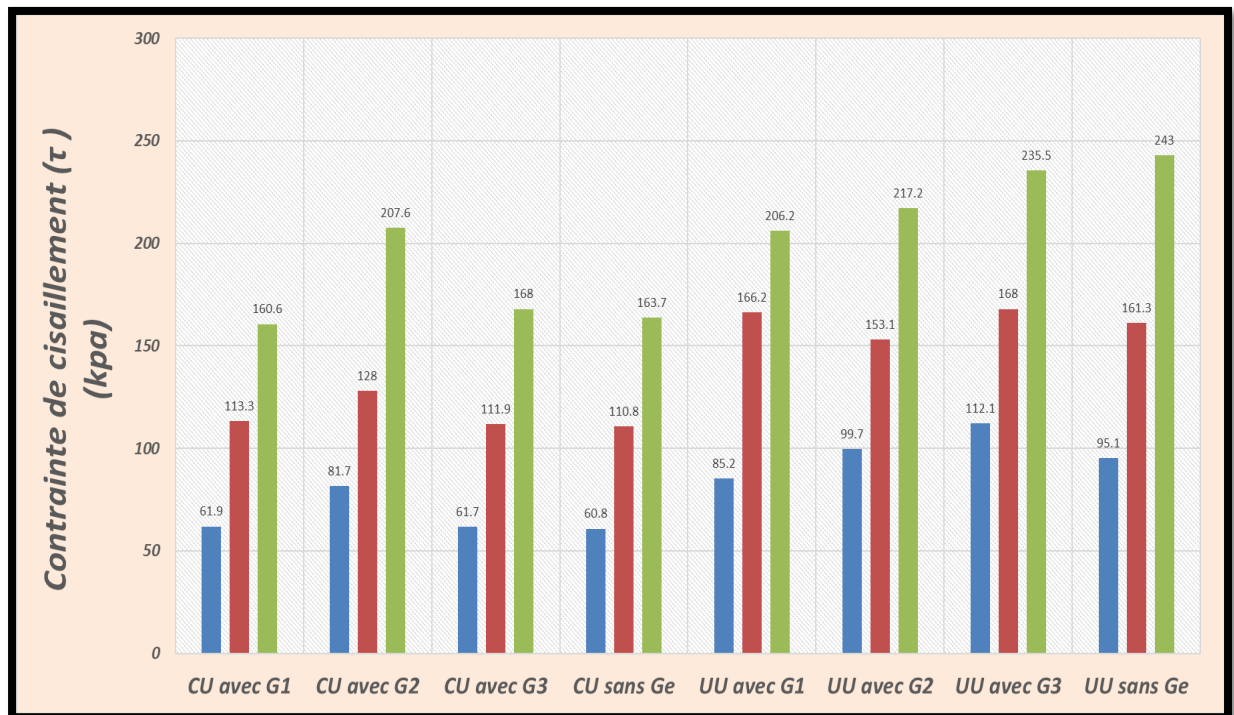


Figure IV.15 : Les variations des forces de cisaillement pour différentes expériences

La résistance des sols au cisaillement varie considérablement en raison de nombreux facteurs, dont les géotextiles, car il correspond à une cohésion. Il y a harmonie entre eux, il existe une relation directe entre la force de cisaillement et la cohésion du sol. En effet, plus le sol a une grande cohésion, plus sa résistance au cisaillement sera élevée. Cela signifie que si un matériau est fortement cohérent, il aura besoin d'une force importante pour qu'il se déforme ou se rompe en deux parties. Bien sûr, la cohésion est ce qui augmente la résistance des sols au cisaillement. Notez (UU avec g3).

IV .6.4 Comparaisons avec des études antérieures :

Le but de faire des comparaisons entre les résultats des travaux de laboratoire et les résultats antérieurs est d'obtenir une meilleure compréhension du phénomène étudié. En effet, la science repose sur le principe selon lequel il est possible de répéter une expérience pour obtenir des résultats similaires à chaque fois. Si un résultat similaire est obtenu plusieurs fois, on peut alors commencer à établir que ce résultat reflète véritablement la réalité.

De plus, comparer les résultats aux données antérieures permet également d'évaluer la validité externe des travaux en question. Cela signifie qu'on cherche à savoir dans quelle mesure leurs conclusions peuvent être généralisées au-delà du contexte spécifique dans lequel elles ont été obtenues.

En somme, faire des comparaisons entre les résultats des travaux de laboratoire et ceux obtenus précédemment contribue grandement à améliorer notre compréhension globale du phénomène étudié ainsi que sa validité scientifique.

Nous comparons les résultats avec la mémoire de *Rachdi Hadja & Bedoui Saadia (2022)* et la mémoire de *Chenini Mohammed Zouhir et Bellahcen Taher, (2021)* Où leurs résultats étaient les suivants

Et nous avons adopté l'argile de la région de Bouhraoua En raison de la similitude des propriétés chimiques Où le grand pourcentage était pour le gypse pour les deux argiles et de la distance rapprochée entre les deux zones, comme indiqué sur l'image, où la distance est d'environ 23 km

Et nous avons vu que puisque la distance est assez proche, la croûte terrestre d'un point de vue géologique sera très proche l'une de l'autre, et nous l'avons déjà constaté en termes de composition analytique chimique et minérale des deux argiles ensemble. Puisque nous avons trouvé une valeur de A_1 pour notre argile utilisée, ainsi que l'argile utilisée dans nos comparaisons, sous la valeur de 0,75. D'après ce que nous avons vu dans le troisième chapitre, ces types d'argile sont inclus dans la kaolinite. Dans nos comparaisons, nous nous limitons à un seul type de géotextile qui est le type *AS30*. Parce que c'est le seul utilisé dans les études qui nous ont précédés Nous comparerons également les résultats de nos expériences de cisaillement sur l'échantillon de base, qui est composé à 100% de sable de Sabsab sans ajout d'argile, pour noter l'effet de l'argile ajoutée sur les résultats, bien sûr, avec le mélange optimal, qui a ensuite été adopté dans notre étude basée sur des expériences antérieures (*AZZOUZ 2017*).

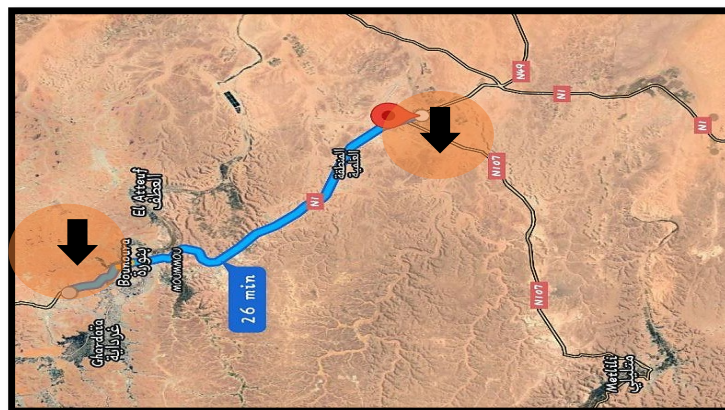


Figure IV.16 : La localisation et La distance entre les deux régions

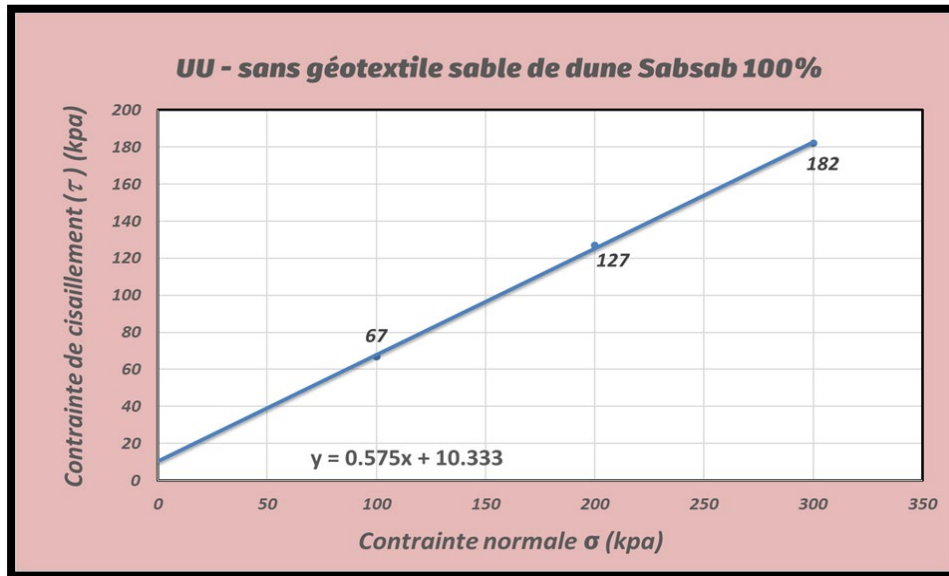


Figure IV.17 : Graphe (UU) sans géotextile sable de dune 100%

Tableau IV.13: Résultats de l'expérience (UU) sans géotextile [44].

(100% sable de dune et 0 % argile)				
La cohésion C(kpa)	L'angle de frottement φ (dégrée)	La contraint de cisaillement de rupture τ_r (kpa) correspondant à chacune des contraintes utilisées		
10.33	29.88	$\sigma_1=100$	$\sigma_2=200$	$\sigma_3=300$
		67	127	182

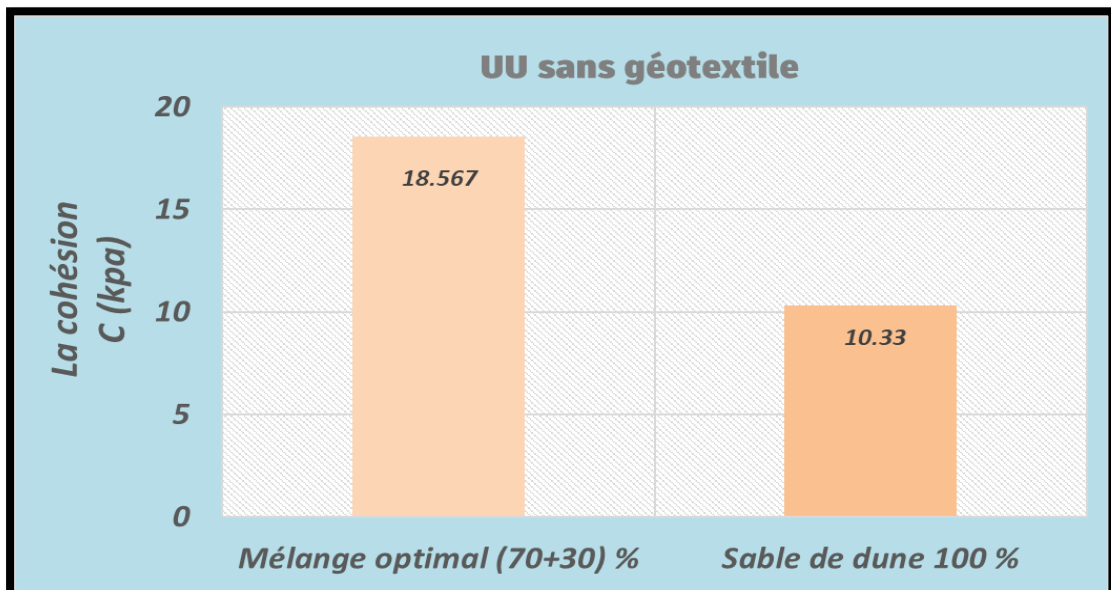


Figure IV.18 : Les rapports des cohésions et les différences entre elles (UU) sans géotextile

✚ **La comparaison entre les deux échantillons (UU) sans géotextile :**

A la lumière du *tableau n ° IV.11*. Qui présente les résultats de l'échantillon de mélange sans géotextiles avec un type UU En plus du *tableau n ° IV.13*, qui présente les résultats d'une précédente expérience sur le sable des dunes pour la région de Sebeab, nous avons tracé l'histogramme montré dans la *figure IV.18* qui affiche des comparaisons pour savoir l'effet de l'ajout de trente pour cent de l'argile à l'échantillon de la région de sebseb. Il nous apparaît clairement le contenu de l'ajout de cette quantité d'argile au sable, à mesure que le pourcentage de cohésion du sable (ou du mélange) augmentait sous une nouvelle forme, ce qui a été prouvé par des expériences précédentes, mais nous avons décidé de re-comparer un échantillon différent de la même zone, qui est Metlili El-Jadida, et le pourcentage d'augmentation du degré de cohésion est égal 79.9%. Par conséquent, l'amélioration a été plus que prévu, En regardant le *tableau I.3* dans le premier chapitre, les deux argiles peuvent être classées ensemble des argiles *molles* alors les résultats est encourageant pour aller de l'avant dans reformuler notre vision des matériaux locaux dans la région de Ghardaïa et ses environs pour une exploitation réussie et un budget économique équilibré et raisonnable.

✚ **La comparaison entre les deux échantillons (UU) avec géotextile :**

Sans avoir besoin de comparaisons supplémentaires, il est logique que les variables soient constantes et le seul changement est l'ajout de géotextiles, et il nous a été prouvé lors d'expériences passées l'efficacité des géotextiles pour améliorer le comportement mécanique du sol en général, et donc, lors de l'ajout de géotextiles et de l'exécution des résultats, l'augmentation de la cohésion Il augmentera dans des proportions égales pour les deux échantillons ensemble, et ainsi l'échantillon de mélange successif dépasse l'échantillon de sol qui ne contient que du sable

En somme, bien qu'il soit encore nécessaire d'approfondir nos connaissances sur les propriétés de ce mélange sable-argile en tant que substitut du sol dans la formation des couches routières, cette technique est considérée comme une solution économique et efficace pour répondre aux besoins croissants d'infrastructures modernes tout en limitant notre impact environnemental.

De ce qui précède, et à l'instar de l'utilisation du mélange optimal dans les mélanges de couches de revêtement pour les routes, il est possible de bénéficier du mélange dans de nombreux projets de génie civil et urbains, et nous y avons fait référence précédemment dans le premier chapitre. D'expérience soit considérée comme inévitable en cas de poursuite dans cette voie dans l'avenir.

Tableau IV.14: Tableau montrant des comparaisons de résultats

Mélange optimal sable de dune Sabsab + différentes argiles	L'analyse chimique (Pour les différentes argile)	Type d'argile (Selon l'Activité des argiles : Par Skempton	La cohésion (kpa) avec géotextile 3.AS30		L'angle de frottement ϕ (degré)	
			CU	UU	CU	UU
Notre région Metlili El Jadida	Argile gypseuse	Kaolinite	9.56	48.467	27.305	31.66
Région de Metlili El Jadida - Chenini Mohammed Zouhir et Bellahcen Taher (2021)			--	33	--	25.48
Région de Bouhraoua - Chenini Mohammed Zouhir et Bellahcen Taher (2021)			--	23	--	26.01
Région de Bouhraoua - Rachdi Hadja & Bedoui Saadia (2022)			19.07	--	34.9	--

A la lumière des résultats du *tableau IV.14*, Nous allons dessiner les histogrammes suivants pour plus d'explications

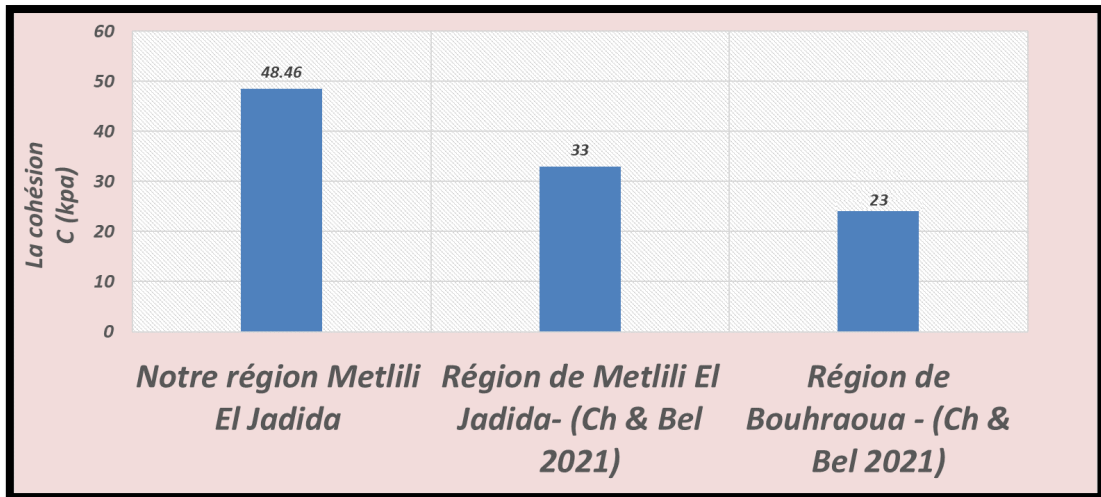


Figure IV.19 : Les rapports des cohésions et les différences entre elles (UU) sans géotextile. Notre échantillon comparé à l'échantillon des autres

En contemplant l'histogramme devant nous de type CU, et dans le cas où l'on déciderait que la l'argile de la région de BOUHRAOUA est la référence, alors le taux de cohésion s'améliorera par rapport à celle-ci pour la région de Metlili El Jadida. Pour l'étude qui a été mise en 2021, il y a une amélioration de 23% Par rapport à l'argile de la même zone dont nous avons étudié le comportement mécanique, nous notons une amélioration significative de quatre-vingt-six pour cent,86 % et en conséquence nous concluons que l'argile de la zone Metlili El Jadida en termes de cohésion est meilleure par rapport à la zone de BOUHRAOUA. Mais dans le cadre du type d'expérience consolidé non drainé.

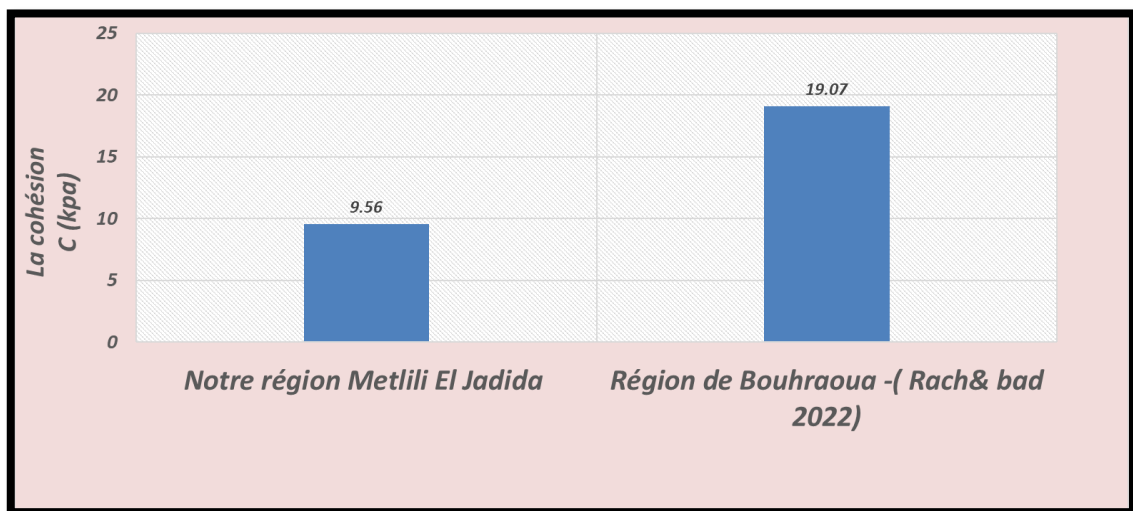


Figure IV.20 : Les rapports des cohésions et les différences entre elles (CU) sans géotextile. Notre échantillon comparé à l'échantillon des autres

En contemplant l'histogramme devant nous de type CU dans ce type d'expérience, la cohésion n'a pas augmenté, mais au contraire, elle a diminué d'environ 50% par rapport à notre expérience sur la l'argile de Metlili El Jadida Donc, changer de type d'expérience a un effet sur la cohésion, et cela c'est ce que les résultats nous donnent.

Retour au *tableau IV.14* concernant l'angle de frottement interne

Nous remarquons une légère différence entre les valeurs des angles de frottement, ce qui confirme ce que nous avons évoqué précédemment à savoir que l'angle de frottement a une grande relation avec les grains de l'échantillon. Pour la valeur de cohésion, on remarque une convergence entre les valeurs.

IV .7 Facteurs affectant la validité des résultats :

Il existe plusieurs facteurs qui peuvent affecter la validité des résultats des essais de laboratoire géotechnique Et nous avons peut-être été exposés à certains d'entre eux pendant que nous faisons le travail tout au long de la période de stage appliqué. Ces facteurs seront les suivants:

- ✚ La qualité et la représentativité de l'échantillon: L'exactitude des résultats dépend en grande partie de la qualité et du caractère représentatif de l'échantillon prélevé sur le terrain. Si l'échantillon est mal préparé, contaminé ou altéré, les résultats obtenus lors des tests en laboratoire seront biaisés.
- ✚ Les conditions d'essai: Les conditions environnementales pendant les essais (température, humidité) doivent être contrôlées pour minimiser leur impact sur les propriétés mécaniques mesurées.
- ✚ L'appareillage utilisé : Le type d'appareil utilisé pour effectuer un test peut également avoir une influence importante sur les résultats obtenus. Il est important que l'instrumentation soit calibrée correctement avant chaque utilisation afin que les mesures soient précises.
- ✚ La compétence technique : Un personnel qualifié et formé à réaliser ces analyses doit être mobilisé car leur expertise dans le domaine permettra une manipulation adroite des échantillons ainsi qu'une interprétation appropriée des données recueillies.
- ✚ La variabilité naturelle du sol : Enfin, il faut reconnaître que même avec tous ces éléments sous contrôle, le sol reste un matériau complexe et hétérogène ce qui introduit une certaine imprécision incontournable dans tout processus expérimental.

- ✚ Le facteur temps est très important. Beaucoup d'expériences que nous avons répétées pour vérifier les résultats et éviter de faire des erreurs techniques. Malgré cela, il n'y avait pas assez de temps pour un examen plus approfondi, et donc certains résultats peuvent être quelque peu irrationnels. Ainsi que le problème de la panne de la machine plusieurs jours de suite
- ✚ En ce qui concerne nos échantillons, nous avons ajouté des géotextiles de divers types, il a fallu faire attention à l'emplacement du géotextile à l'intérieur de la boîte, car l'endroit approprié pour qu'il soit préférable d'être au milieu, et pour des raisons pratiques, le revêtement à l'intérieur de la boîte peut augmenter ou diminuer d'une certaine quantité, ce qui affectera inévitablement la validité des résultats
- ✚ La vitesse de cisaillement : pour l'expérience de cisaillement direct sur un échantillon de sol est utilisée pour déterminer les propriétés mécaniques du sol, en effectuant une coupure sur la surface d'un échantillon dans un système bidirectionnel. La vitesse de cisaillement peut avoir un impact important sur les résultats des tests.
En effet, la vitesse de cisaillement est l'une des variables qui affectent le comportement des matériaux lorsqu'ils sont soumis à une contrainte ou une force. Si la vitesse de cisaillement est augmentée, cela entraîne généralement une augmentation des déformations et donc potentiellement une diminution de la résistance au cisaillement.
Par conséquent, l'utilisation de vitesses différentes en testant l'échantillon permet d'explorer l'effet que ces vitesses ont sur les propriétés mécaniques du sol .

IV .7 .1 : Une analyse approfondie basée sur des axiomes connus

IV .7 .1 .1 : Différenciation des diamètres des particules

Il y a une différence notable dans les diamètres du sable utilisé avec l'argile utilisée, où en regardant les deux courbes graphiques de chaque échantillon par rapport à l'expérience d'analyse granulaire, nous constatons une différence notable dans les diamètres, même la classification a une différence entre eux, et donc il nous est connu que la différence de taille des particules de sol d'un même échantillon peut affecter les résultats de ses tests. En effet, la taille des particules de sol affecte leurs propriétés mécaniques et physiques et, par conséquent, les tests effectués sur des particules de sol de différentes tailles donneront des résultats différents

Par conséquent, lors du test d'échantillons, ils doivent être de la même granulométrie, et pas seulement du même type. C'est ce qu'on appelle le traitement standard des échantillons, et cela se fait en triant l'échantillon et en séparant les granulés en fonction de leur taille, ou en utilisant des machines spéciales pour séparer les granulés en fonction de leur taille.

En conséquence, dans les prochaines expériences qui seront menées sur le mélange, il convient de faire attention à unifier les diamètres des échantillons des matériaux mélangés ensemble, puis de faire attention au pourcentage idéal de les combiner ensemble afin de confirmer l'effet ou non de la différence de diamètre sur les résultats.



Photo IV.9 : la Différence notable dans les diamètres des composants du mélange

Source : l'auteur

IV .7 .1 .2 : Diminution des valeurs de cohésion dans les expériences de type CU par rapport au type UU dans les expériences de notre mélange par rapport aux autres :

À travers les résultats que nous avons trouvés en comparant toutes les expériences de type CU avec le type UU et malgré le fait que l'expérience CU diffère de l'expérience UU avec un changement dans la l'étendue du renforcement des échantillons du mélange CU par rapport à les expériences de le type UU en raison de la période de temps différente entre elles, qui est excessive en type CU pendant environ 24 heures, le principe est que la cohésion augmente en raison de l'inclusion des granules du mélange les uns aux autres à la suite de se renforçant avec le temps, mais l'inverse s'est produit dans les résultats qui étaient en faveur des deux

types d'expériences et cela peut être dû aux raisons suivantes, selon notre supposition

Après avoir mis les échantillons d'une sorte de renfort pendant 24 heures et qu'ils sont entourés d'eau, une quantité d'eau fuit de l'extérieur de la boîte vers l'échantillon, ce qui provoque une augmentation du degré de saturation et une pénétration de la valeur de l'idéal teneur en eau, qui a ensuite été calculée par l'expérience Proctor, dont nous avons présenté les résultats au début de ce chapitre, on sait donc que l'augmentation du pourcentage d'eau dans le sol augmente généralement la valeur de la force de cohésion, car l'augmentation de l'humidité entraîne une augmentation de la force d'adhérence entre les particules de sol et la réduction des espaces vides entre elles, ce qui augmente la force de cohésion. Cependant, si la teneur en eau est augmentée à des niveaux excessifs, cela peut entraîner une diminution de la force de cohésion car une trop grande humidité peut entraîner la séparation des particules les unes des autres et réduire la force de cohésion entre elles. Ainsi, l'augmentation du pourcentage d'eau dans le sol pendant de longues périodes peut entraîner la destruction de ses structures

Il est possible pour cette raison d'expliquer les faibles valeurs de cohésion dans les expériences du type CU et quand on a ouvert une boîte pour extraire l'échantillon, on l'a trouvé humide par rapport à la première boîte, qui était alors placée dans le box, contrairement aux expériences de type UU qui en maintiennent la teneur en eau optimal.

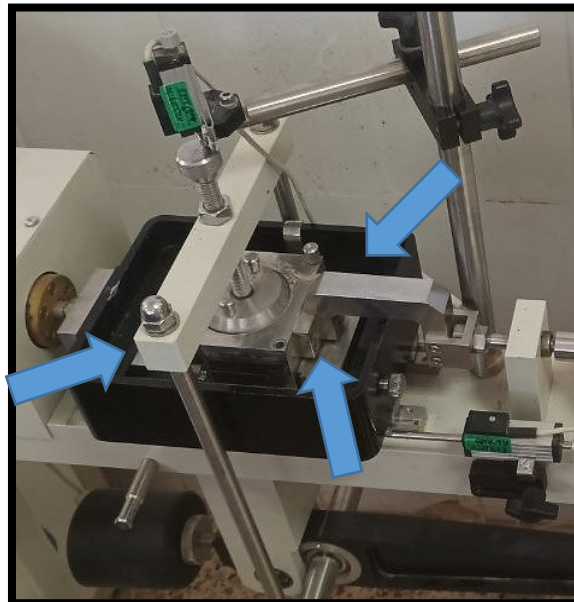


Photo IV.10 : les Possibilités d'entrée d'eau dans l'échantillon Source : l'auteur

IV .8 Future aspirations :

- Il convient de prêter attention au gradient granulaire des échantillons sur lesquels sont effectués les essais de mélange optimal, et d'essayer d'uniformiser (normaliser) les diamètres des granulés pour les différents matériaux qui composent le mélange.
- Passer de l'expérience de cisaillement direct à l'expérience de cisaillement à trois axes pour une représentation plus réaliste de ce qui pourrait réellement se passer en termes de stimulation dans toutes les directions au lieu de seulement deux directions, et pour étudier le comportement résultant dans une image plus précise et plus claire.
- Le contrôle de l'efficacité des appareils utilisés dans les expériences, la mesure de leur précision et une maintenance périodique sont nécessaires pour éviter les défauts de mesure et les erreurs dans les résultats.

IV .9 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons traité une comparaison entre les différents types de géotextile pour le même mélange optimal de Metlili et sable dune de Sebseb, et nous avons constaté que la géotextile (*AS30*) fournit des performances plus élevées, suivies d'un géotextile (*GOE PP TC 300*). Ensuite Le géotextile (*renforcé par des fils*) qui vient en dernier dans le type (Essai non consolidé - non drainé)

Inversement nous avons constaté que la géotextile (*renforcé par des fils*) fournit des performances plus élevées, suivies d'un géotextile (*GOE PP TC 300*). Ensuite Le géotextile (*AS30*) qui vient en dernier dans le type (Essai consolidé - non drainé).

Enfin, il est normal que les forces de cohésion soient élevées dans le mélange par rapport aux résultats des études précédentes, ou légèrement proches, à cause du fait des propriétés de l'argile Metlili El Jadida, qui possède une propriété de plasticité élevée.

Il est important de noter que l'essai de cisaillement direct à la boîte ne fournit qu'une mesure de la résistance au cisaillement à un point spécifique dans le sol. Pour obtenir une évaluation complète de la résistance au cisaillement il est souvent nécessaire de réaliser plusieurs essais à différents endroits et profondeurs. En conclusion, ce chapitre met en évidence l'importance des matières premières et des ressources naturelles de notre région. Nous avons vu que ces ressources sont essentielles pour soutenir le développement économique et social à long terme.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE:

Notre recherche s'inscrit dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux. Nous avons mené une étude expérimentale au Laboratoire des Travaux Publics du Sud (LTPS) pour déterminer si l'on peut améliorer les propriétés mécaniques du sable de dune de la région Sebseb en y incorporant de l'argile provenant de la région Metlili El-Jadida. Malgré les contraintes liées aux limites temporelles, nous avons pu aboutir à certaines conclusions sur ce sujet.

Les essais d'identification géotechnique réalisés sur nos matériaux, nous ont permis de constater que :

L'argile sur laquelle des expériences d'identifications ont ensuite été menées est considérée comme de l'argile de gypse en raison du pourcentage élevé de CaSO_4 dans sa composition, qui est égal à 9.5%

Pour l'analyse granulaire, la courbe formée donne une image claire de la distribution des diamètres des particules à l'intérieur de l'argile, donc la fraction $0/80\mu\text{m}$ est de l'ordre de 98 %. et le $D_{\text{max}} = 2\text{mm}$

En conséquence, nous avons trouvé l'argile classer avec les sables grossiers

Pour la plasticité de l'argile, les résultats de l'expérience limite d'atterberg ont donné des valeurs qui classeraient l'argile sur la base de l'argile à haute plasticité, où la valeur de I_p égale 44.62% et en projetant sur la courbe de Casagrand II a donné le résultat susmentionné.

Concernant la composition minérale de l'argile, Nous avons trouvé que l'argile était de la kaolinite.

En ce qui concerne le sable utilisé comme matière première sur laquelle le mélange est basé plus tard en préparation des expériences du quatrième chapitre, les résultats ont été les suivants :

Les résultats de nos expériences en laboratoire sur un échantillon de sable ont révélé que la composition chimique du matériau était principalement constituée de dioxyde de silicium (SiO_2), ainsi que d'autres composants tels que la silice. En effet, le pourcentage total combiné des deux substances est

Égal à 88,9%. De plus, l'analyse granulaire a montré une belle qualité au sable étudié. Ces conclusions sont importantes car elles permettent à nous d'avoir une meilleure compréhension des propriétés physiques et chimiques du sol, ce qui peut être utilisé pour optimiser leur utilisation dans les projets futurs.

Notre sable de dunes extrait de la zone Sebseb et ajoutant 30 pour cent de l'argile extraite de la zone Metlili El-Jadida, en plus de l'expérience d'ajout de 3 types de géotextiles et en soumettant l'échantillon dans divers cas à l'expérience de cisaillement direct et en observant les résultats obtenus et en les présentant dans un modèle scientifique expérimental et en comparant les expériences précédentes avec eux pour ajouter plus de vérification et de certitude des résultats. Nous avons atteint pour ce groupe la conclusion basée sur l'analyse de différents tableaux et courbes, qui sont les suivantes :

Nous avons mené une comparaison entre différents types de géotextiles pour le même mélange optimal de Metlili El-Jadida et sable dune de Sebseb, et avons constaté que la géotextile (AS30) fournissait les performances les plus élevées, suivie par un géotextile (GOE PP TC 300) sur le type (non consolidé - non drainé) en suit Le géotextile (renforcé par des fils). En revanche, nous avons observé que le géotextile (renforcé par des fils) offrait des performances supérieures à celles du (GOE PP TC 300) et le géotextile (AS30) sur le type (Essai consolidé - non drainé)., il est normal que les forces de cohésion soient élevées dans ce mélange en raison des propriétés plastiques élevées de l'argile Metlili El Jadida.

En ce qui concerne le mélange, il nous a été prouvé le rôle de l'argile dans l'amélioration des propriétés mécaniques et l'augmentation de la résistance de sable de dune au cisaillement

Après avoir effectué la comparaison avec les résultats précédents d'études menées sur des échantillons provenant de zones proches, l'analyse des résultats que nous avons évoqués en détail dans le quatrième chapitre. Il convient de noter l'ampleur de l'impact de la qualité de l'expérience.

Cisaillement direct utilisé entre (UU et CU)

Références

Bibliographiques

Références Bibliographiques

A

- [55]. AFNOR « Norme française sol: reconnaissance et essais »: NFP 94- 041: Analyse
- [58]. AMIEUR. I. (2016). « Influence de la nature de l'eau sur certaines caractéristiques géotechnique d'un sol de la région de Ghardaïa » (Université des Sciences et de la Technologie .Ghardaïa)
- [44]. Azzouz F. Z , Gueddouda M. K , Lamara Md 2016; « Caractérisation physique et Mécanique de mélanges argile-sable de dune destinés la réalisation des couches compactées en région arides de l'Algérie» à Hammamet – Tunisie
- [02]. AZZOUZ Hocine THEME Etude des bétons à base des sables de dune 2009
- [01]. A. FOUCAULT et J.-F. RAOULT, Dictionnaire de géologie, Masson, 3em éd., 1988
Antoine Da Lage et Georges Métaillé, Dictionnaire de Biogéographie végétale, SNRSE, .éditions, 2015, p 143-144
.granulométrie, méthode de tamisage par voie humide
- [43]. Azzouz F. Z , Mémoire Magister 2007, « Étude de la stabilisation chimique de quelques argiles gonflantes de la région de Tlemcen » » université Aboubekr bel kaid

B

- [49]. Bouchra Siradj et Samira Hamza, 2017 ; Mémoire Master hydraulique Urbain « étude de la stabilisation au gonflement d'un sol argileux par l'ajout de sable de dune » Université de Ghardaïa
- [63]. Bourabeh Maghnia Asmahane : 2012-COMPORTEMENT MECANIQUE DES SOLS FINS Application a la valorisation des sediments de barrages en technique routiere UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCEN

C

- [07]. Caractérisation de la stabilisation par des plastiques recyclés des sols argileux eaux essais de cisaillement Melle : AIT AMRANE Tilelli
- [03]. CHAKROU N ML. (1989), La protection des routes contre l'ensablement, Ministère de l'agriculture de Tunisie

[10]. CHAMI I. effet d'ajout de stabilisant (ciment. Chaux et sable) sur le retrait et sur la résistance mécanique des argiles : Université Mouloud Mamerie de Tizi-Ouzou, 2016

[65]. Chauvin (1987) (M.H.BEN DHIA

[21]. Classification des sols universités Virtuelle de Tunis

[23]. Comportement Dynamique d'un Talus Renforcé par des Géotextiles (Zeghina hakim 2007)

[67]. Coussy et Dir, 2002 Bibliographie de l'Université de Paris

D

[06]. Doctorat: KHELIFA Ali Le Partage Des Eaux De Crues Dans Les Ksour De Ghardaïa Et De Berriane- Etude Hydraulique

[48]. Djihad ZAHI 2018 ; Mémoire Master hydraulique Urbain « Étude expérimentale des mélanges sable de dune/argile avec l'ajout le géotextile dans le domaine géotechnique routière Université de Ghardaïa

[64]. (Dr. Lakhdar MEKKI.) Université Mohamed Boudiaf - M'sila 2021

E

[11]. E. Laverret, Évolutions spatiales et temporelles des altérations argileuses des gisements d'uranium associés à des discordances protérozoïques, Partie Ouest du bassin de l'Athabasca, Canada, PhD thesis, Université de Poitiers, 2002, 192

[57]. Edil.T. B, et Alanazy.A.S.(1992). « Lateral swelling pressure ». Seventh Conference on

[24]. Etude des géomatériaux de carrière .Expansive Soils. Dattas U.S. A, Vol 1. Pp 227-323 pour digues de barrage Qualité et mise en place Cas du barrage de Souk N'Tleta (Tizi-Ouzou) HALICHE Tiziri .201

[66]. Etude Expérimentale (Chami,2016)

[29]. Etude Expérimentale, Analytique Et Numérique De La Capacité Portante De Fondations Superficielles Reposantes Sur Un Sol Renforcé Par géotextile. Kadir. Soltan .2015

[08]. Etude Hydrogéologique de l'ensemble aquifère ancien de la région de METLILI (Wilaya de Ghardaia) Ahmed Hamel Said Hanichi

- [33]. Extrait du site <https://dumas.ccsd.cnrs.fr> 15 03 2023
- [34]. Extrait du site <https://hal.science/search/index?q=soil> 16 03 2023
- [36]. Extrait du site https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=gonflement+des+argiles&src=ics
16 03 2023
- [31]. Extrait du site <https://pixabay.com> 13 03 2023
- [37]. Extrait du site <https://scholar.google.fr/>
- [32]. Extrait du site https://scholar.google.fr/schhp?hl=en&as_sdt=0,5 19 03 2023
- [35]. Extrait du site <https://www.ecologie.gouv.fr> 17 03 2023
- [41]. Extrait du site <https://www.fibertex.com/fr/domaines-dactivite/genie-civil/fonctions> 21 03 2023
- [39]. Extrait du site <https://www.scribd.com/> 25 03 2023
- [38]. Extrait du site <https://www.scribd.com/search?query=classification%20des%20sols> 20 03 2023
- [40]. Extrait du site https://www.theses-algerie.com/?q=geotextile&size=n_10_n 04 03 2023

F

- [62]. FENZY. E. (1966) : « particularité de la technique routière au Sahara », Rapport
.technique du laboratoire central des travaux publics, Alger, sep.1980
- [28]. Fibertex France SARL. « Guide de dimensionnement des géotextiles Fibertex
- [25]. Fiche produit VJT/2760 & VJT/2760A MACHINE DE CISAILLEMENT.
SHEARTEST

G

- [16]. G. MIQUEL., « Rapport sur les Effets des Métaux Lourds sur l'Environnement et la
.Santé. » Assemblée Nationale Française, N°2979, Paris, p 366, 2001
- [18]. GUEDDOUDA Mohamed Kamel, (2011)."Comportement hydro-mécanique des sols
compactés : Application à la conception d'une barrière ouvragée « sable de dune – bentonite
»" thèse de doctorat d'Université Aboubakr Belkaid – Tlemcen, Algérie

H

[13]. H.Dahai, et al., The Laboratory-Based HySpex Features of Chlorite as the Exploration Tool for High-Grade Iron Ore in Anshan-Benxi Area, Liaoning Province, Northeast China, Applied Sciences, 10 21, 2020, 7444

[12]. Hammad T, Hattab M, Fleureau J-M, European Journal of Environmental and Civil (2013) Engineering

[42]. HAFSI Abdellatif, 2010; «Les Tufs Gypseux et Calcaires en Zones Arides Essais et Critères de Sélection Université KASDI MERBAH Ouargla

[56]. Hang.S. (1984). « Identification of expansive soils by specific surface area values ». Fifth International Conference on Expansive soils, Adelaide, South Australia, May 21-25

[46]. HIBA Laid, 2016 ; Mémoire Master hydraulique Urbain « étude l'incorporation de sable de dune dans le domaine de la géotechnique routière » université de Ghardaïa

I

[45]. Idriss GoualA, Mohamed Sayeh Goual, A, SaïdTaïbi B andNabilAbou-Bekr ; 2012, « Amélioration des propriétés d'un tuf naturel utilisé en technique routière saharienne parajout d'un sable calcaire, Vol.16,No.6,P 744–763. ‘ (article Al Gaoual)

J

[52]. Jennings J.E., et Evans G.A., (1962), “Practical procedures for building in expansive soil .areas”, South Africa Builder

[05]. Journal of Science, 2017, Vol. 58, No.4A pp: 1874-1897

L

[68]. Laine DL, Miklas MP, Parr CH (1989) Loading point puncturability analysis of geosynthetic liner materials

[30]. Les Géotextiles (cfatp) Bibliothèque internationale pour la recherche sur le Web

[27]. Les géotextiles : fonctions, caractéristiques et dimensionnement Stéphane Lamber
Bibliothèque internationale pour la recherche sur le Web

M

[19]. M EL GONNOUNI Course de mécanique des sols

[17]. Melle CHEHEB Ferroudja Thème : Etude expérimentale et analytique de la perméabilité des argiles stratifiées

[53]. Mémoire de Magister : Etude du comportement physicochimique et mécanique d'un remblai routier marneux amélioré par la chaux éteinte Cas de l'autoroute Est-Ouest tronçon 'Oued Fodda Khemis Miliana 'Présenté par : Melle. Mellal Fatima

[54]. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de MASTER : thème Etude expérimentale des mélanges sable de dune/argile avec l'ajout le géotextile dans le domaine géotechnique routière

[22]. Mirech Amina Thème : UTILISATION DES GEOSYNTHETIQUES EN GEOTECHNIQUE ROUTIERE.2013

[50]. MOTASEM AHMED TOS et HADJADJ TAYEB, 2019, « Caractérisation d'une argile expansive traitée par différents types de ciment et reconstituée à forte énergie de compactage » UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

[15]. Mr. BENDAHO Boudjemaâ Amélioration de la capacité des sols par les géotextiles ..2011

[59]. Myondo-Ondoa.J. (1979). « Rôle de la granularité sur la compactibilité et la résistance au cycle en géologie de l'ingénieur. Ecole National Supérieur ème cisaillement

[04]. Mohamed Habib BEN DHIA Docteur en mécanique appliquée à la construction (Université Pierre et Marie Curie Paris VI) Maître assistant École Supérieure des Sciences et Techniques de Tunis

S

[47]. S. KOULOUGHLI, M. BENCHEIKH Étude des mélanges sable-bentonite utilisés dans la construction de barrières de confinement de déchets solides, Sciences et Technologie, Algérie

[61]. Serratrice. J.F, Soyez. B, (1996) ; « Les essais de gentlemen. Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées ». N°204. Juillet –Août 1996-réf .4082, pp 65-85

[51]. Skempton.A.W. (1953). « The collaidal activity of clays ». Proceedings of the Third .International Conférence on Soil Mechanics and Foundations Engineering. Vol.1, pp 57-61

[09]. STABILISATION DES SOLS FIN PAR AJOUT DE SABLE BOUDJABI. Issam

T

[20]. The influence of individual clay minerals on formation damage of reservoir sandstones:
A critical review with some new insights

[14]. The influence of individual clay minerals on formation damage of reservoir sandstones:
A critical review with some new insights

[60]. Thèse de Doctorat 3 des Mines de Paris. Millot G. (1964), Géologie des argiles. Edition
Masson Paris

U

[26]. Université de M'sila 3eme année génie civil Tp Mds Essai Cisaillement

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 Boîte cisaillement direct.
- ❖ **NF P 94-051**, mars 1993. Sols : reconnaissance et essai – Détermination des limites d'Atte Berg – Limite de liquidité à la coupelle- limite de plasticité au rouleau.
- ❖ **(Norme XP-P-94-090-1)**. Essai Oedométrique
- ❖ **(Afnor NF P94-057)** Analyse Sédimentométrique

Annexe

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

ESSAI AU BLEU DE METHYLENE
NF P 94-068 Novembre 1993

Structure : U/G.

Lieu de travail : S^{CE}; ID

N° Dossier interne : **PROJET FIN D'ETUDE**

Date : 13.03.2023

Echantillon : **ARGIL METLILI**

Opérateur : /

Équipements utilisés : BALANCE/ETUVE

N° D'inventaire : L21.09.15/L49.02.15

GRANULOMETRIE (PASSANTS A)				LIMITES D'ATTERBERG		ES	VB	VB _t
05 mm	02 mm	0.4 mm	0.08 mm	WL	IP			
PRISE D'ESSAI M _h = 30grs				VOLUME DE BLEU INJECTE DANS LA PRISE				
CALCUL DE LA TENEUR EN EAU				D'ESSAI V = 80 cm ³				
TARE N°	A		X7	VALEUR AU BLEU DE LA PRISE D'ESSAI PASSANT A : VB = $\frac{V}{t} = \frac{80}{29.27} = 2.73$				
PH+T	125		117,3					
PS+T	289		275,46					
PT	285		271,64					
Ps	160		154,34					
W (%)	2.50		2.47					
W _{moy} (%)	2.49			CALCUL DE LA MASSE SECHE DE LA PRISE D'ESSAI Ms : $W \% = \frac{Ph - Ps}{Ps} \cdot 100 = 2.49\%$ $Ps = \frac{Ph \times 100}{100 + W\%} = 29.27 \text{ grs}$				
CALCUL DE LA MASSE SECHE DE LA								
PRISE D'ESSAI Ms : $W \% = \frac{Ph - Ps}{Ps} \cdot 100 = 2.49\%$ $Ps = \frac{Ph \times 100}{100 + W\%} = 29.27 \text{ grs}$								
VB _t = $\frac{VB \times \% t}{100}$ 100								

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

LIMITES D'ATTERBERG

N° D'INVENTAIRE : L21.09.15/L49.01.91

Structure :U/G.....

Lieu de Travail :S^{CE} ID....

Date : **12.03.2023**

N° Dossier interne **PROJET FIN D'ETUDE**

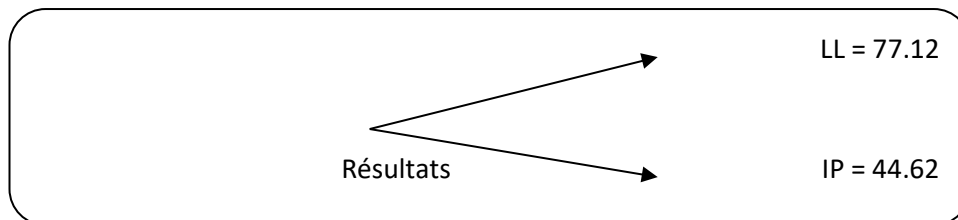
Température de Séchage : ...**50C°**...

Opérateur : /

Echantillon : **ARGIL-METLILI**

Équipements utilisés :
BALANCE/ETUVE

N°D'inventaire :
L21.09.15/L49.01.91



LIMITE DE PLASTICITE

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

LP = 32.50

RAPPORT D'ESSAI
Limites d'Atterberg
 NF P 94 - 51

Client :
 Projet : **PROJET FIN D'ETUDE**
 Endroit :

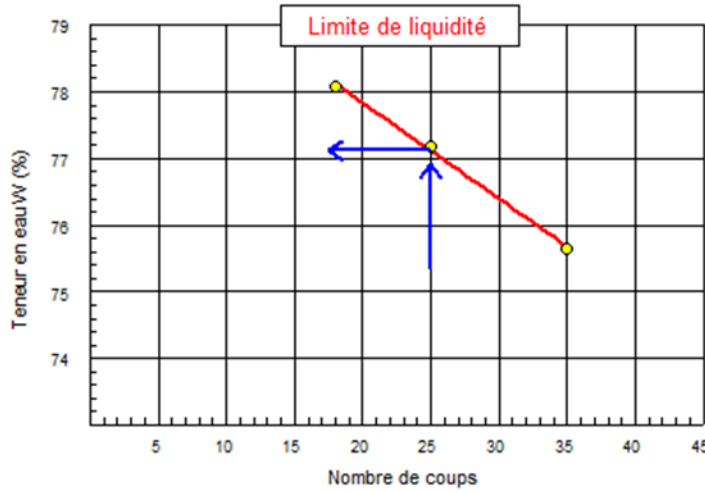
N° Projet :
 Réf. Client :
 N° rapport : Rév :

Echantillon n° :
 Sondage n° : ARGIL -METLILI
 Profondeur :
 Matériaux :

Provenance :
 Endroit de prélèvement :
 Prélevé par :
 Date prélèvement :
 Reçu le :
 Date essais : 12 . 03 . 2023

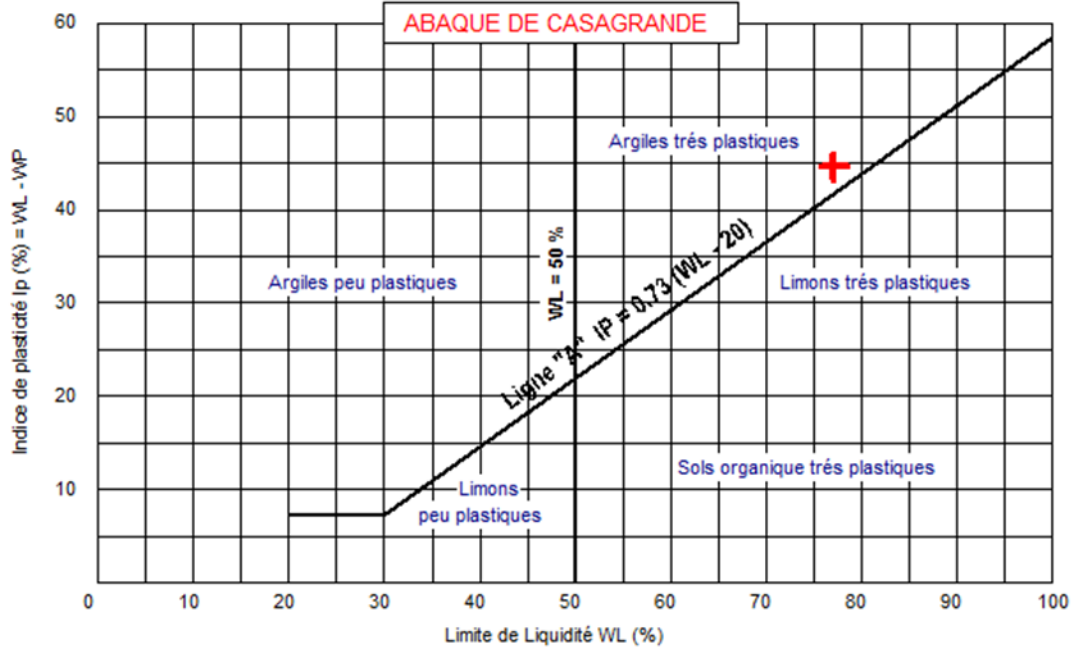
Limite de Liquidité (%) : WL = 77,12
 Limite de Plasticité (%) : WP = 32,50
 Indice de Plasticité (%) : IP = 44,62

Teneur en eau naturelle (%) : Weau =



Limite de plasticité

Ech N°	W (%)
1	32,22
2	32,93
3	32,35



© Soils'is 2007

Remarque :

Préparé par :

Date :

Approuvé par :

Date :

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

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

Structure : **U/G**

Lieu de travail : **S^{CE} ID**

N° Dossier interne : **PROJET FIN D'ETUDE**

Date /

Échantillon : **ARGIL METLILI**

Opérateur : /

Équipements utilisés : **BALANCE/ETUVE**

N° D'inventaire: **L21.09.15/L49.01.91**

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	99
22C°	8h26	01'	14.5	+0.380	14.880	0.055	96
22C°	8h27	02'	14	+0.380	14.380	0.038	90
22C°	8h30	05'	14	+0.380	14.380	0.025	90
22C°	8h35	10'	13	+0.380	13.380	0.017	86
22C°	8h45	20'	12	+0.380	12.380	0.012	80
22C°	9h05	40'	11	+0.380	11.880	0.008	76
22.6C°	9h45	80'	10	+0.500	10.500	0.006	68
22.6C°	11h05	160'	09	+0.500	9.500	0.004	61
22.6C°	13h45	320'	08	+0.500	8.500	0.003	55
21.80C°	24 h	1440'	07	+0.342	7.342	0.002	47
20C°	48h	-	06	0.000	6.000	0.001	39
20C°	72 h	-	04	0.000	4.000	0.0005	26

Remarque :

$$p' = \frac{y}{100} \times p \quad \text{avec } y = \% \text{ du passant à } 0.080 \text{ mm} = \mathbf{99\%}$$

$$R1 = R' + C \quad \text{Si } T^\circ > \text{à } 20^\circ \text{ C}$$

$$R1 = R' - C \quad \text{Si } T^\circ < \text{à } 20^\circ \text{ C}$$

**RAPPORT D'ESSAI
ESSAI PROCTOR**
NF P94-093

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

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

TABLEAU DE RESULTATS DES MESURES

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

MOULE
Proctor
CBR

ENERGIE
Normal
Modifié

Densité des grains
Estimée
Mesurée

Remarque

Préparé par : _____ Date : _____ Approuvé par : _____ Date : _____

C | ABDU HAROUZ

LABORATOIRE DES TRAVAUX PUBLICS DU SUD

NORMAL

ESSAI PROCTOR

MODIFIÉ

NF P 94-093 Septembre 1997

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

Lieu de travail: SERVICE CONTROLE
Température de séchage: 55°C
Teneur en eau Opm:
Densité sèche Max:
Date:
Opérateur:
Équipements utilisés: balance - etuve -
N° D'inventaire: L022/15/S026 L49/07/86

Poids d'eau ajoutée :	10%	12%	14%	16%		
Poids total humide :	8238	8425	8595	8217,7		
Poids du moule :	3800	3866	3892	3800		
Poids du sol humide :	4438	4559	4703	4418		
Poids du sol sec :	4000	4036	4121	3793		
Volume du moule :	2104	2104	2104	2104		
Densité sèche :	1,90	1,92	1,96	1,80		
N° de la tare :	R2	563	564	548	F24	548
Poids total humid :	144	168	181	152	122,1	125,5
Poids total sec :	132	153	162	137	109,2	112,1
Poids de la tare :	19	20	18	19	18	19
Poids de l'eau :	12	15	19	15	13	13
Poids du sol sec :	113	133	144	118	96,1	98
Teneur en eau :	10,62	11,28	13,19	12,71	14,27	13,97
Moyenne :	10,95		12,95		14,12	16,50

L'opérateur _____ Visa du responsable _____

F-5-5q-0.



DATA SHEET

No. 1023/CE Revision 03 dated 20/6/2011
Mut. 03 PGG S.A. 21 Rev. 01 del 03/08/2007



0799-CPD

GEO PP TC 300

Geotex 2000 S.p.A., Via XXV Aprile 3, I-36020 San Nazario (VI) - ITALY
Product to be used see 10100-A and 10106-A

0799 - CPD - 15

Non woven Geotextile manufactured from UV stabilised polypropylene staple fiber, needlepunched and thermocalendered suitable for the following applications:

<input checked="" type="checkbox"/>		EN 12248-2000+A1:2005 : Characteristics required for use in the construction of roads and other trafficked areas	<input checked="" type="checkbox"/>		EN 12258-2000+A1:2005 : Characteristics required for use in the construction of railways
<input checked="" type="checkbox"/>		EN 12257-2000+A1:2005 : Characteristics required for use in earthworks, excavations and retaining structures	<input checked="" type="checkbox"/>		EN 12252-2000+A1:2005 : Characteristics required for use in drainage systems
<input checked="" type="checkbox"/>		EN 12253-2000+A1:2005 : Characteristics required for use in erosion control works (soil protection, bank reinforcement)	<input checked="" type="checkbox"/>		EN 12234-2000+A1:2005 : Characteristics required for use in the construction of reservoirs and dams
<input checked="" type="checkbox"/>		EN 12275-2000+A1:2005 : Characteristics required for use in the construction of canals	<input checked="" type="checkbox"/>		EN 12236-2000+A1:2005 : Characteristics required for use in the construction of boreholes and underground structures
<input checked="" type="checkbox"/>		EN 12277-2000+A1:2005 : Characteristics required for use in solid waste disposal	<input checked="" type="checkbox"/>		EN 12265-2000+A1:2005 : Characteristics required for use in liquid waste containment projects

Functions: F - D - R - F+D - F+R+D - F+R+D - F+S - R+S - F+R

Characteristic	Reference	Unit	Minimum Value	Tolerance
Mass per unit area	EN ISO 9964	mm g/m ²	300	± 10%
Thickness	EN ISO 9965-1	mm	1.45	± 0.05
Wide-Width Tensile Strength	EN ISO 10319	MD	22,00	-2,00
		CMD	22,00	-2,00
Elongation	EN ISO 10319	MD	50	± 15
		CMD	60	± 20
Static Puncture Resistance	EN ISO 12236	N	3700	+3,00
Dynamic Puncture Resistance	EN ISO 13433	mm	15,00	± 21
Dynamic Perforation Test	EN ISO 12656	mm	65	± 0,05
Characteristic Opening Size	EN ISO 11058	MD	NR	NR
		CMD	NR	NR
Long Term Protection Efficiency	EN 13719	300 kPa	NR	NR
		600 kPa	NR	NR
Water Flow Capacity in the Plane	EN ISO 12958	1200 kPa	1,40E-06	-4,20E-07
		20 kPa - m ¹	8,30E-07	-2,49E-07
		100 kPa - m ¹	7,80E-07	-3,34E-07
		200 kPa - m ¹	7,80E-07	-3,34E-07
Durability Prediction	To be covered within 1 month after installation. Predicted to be durable for more than 80 years in natural soils with 4-6pH ⁹ and soil temperature < 15 °C (Test Report 1.1/18166/07/33.0.1-2010c)			
Oxidation Resistance	EN ISO 13438	Residual Strength	MD	>90%
Chemical Resistance	EN 14930	Residual Strength	CMD	>90%
			MD	>90%
Microbiological Resistance	EN 12225	Residual Strength	MD	100%
			CMD	100%

MD : Machine Direction - CMD : Cross Machine Direction - NR : Not Required for application
TOLERANCE ON ROLL WIDTH ± 3 cm, TOLERANCE ON ROLL LENGTH ± 2% IF LENGTH ≤ 200 m, ± 3% IF LENGTH > 200 m
STANDARD CORES: PAPER DIAMETER INNER EYES: 12/175 mm ± 5%, TOLERANCE ON UNCOILED WEIGHT ± 5%
TECHNICAL DATA BASED ON STATISTICAL ANALYSIS ON 95% CONFIDENCE LIMIT. PRESENT DATA SHEET CAN BE MODIFIED WITHOUT PRIOR NOTICE

Date	Revised	Drawn	Checked	Date	Revised	Drawn	Checked
20/6/2011				20/6/2011		Robe Bove	



GeoTex 2000 S.p.A., Via XXV Aprile 3, I-36020 San Nazario (VI) - ITALY
Tel. +39 (0)424 98330 - Fax: +39 (0)424 98593
www.geotex2000.com - info@geotex2000.com





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

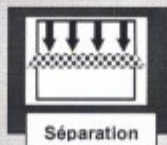
Directrice Générale d'AFNOR Certification
Managing Director of AFNOR Certification

F. MÉAUX

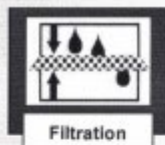
0114 2012

FICHE TECHNIQUE

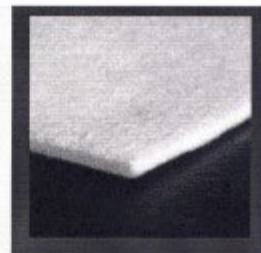
Géotextile non-tissé aiguilleté en fibres courtes haute ténacité 100% polypropylène.



Séparation



Filtration



Caractéristiques	Normes	Unités	AS10	AS15	AS20	AS25	AS30	AS35	AS40	
Caractéristiques Physiques										
Masse Surfacique	EN ISO 9864	g/m ²	100	150	200	250	300	350	400	
Epaisseur sous 2 kPa	EN ISO 9863-1	mm	0,5	0,8	1,0	1,25	1,60	1,70	2,2	
Caractéristiques Mécaniques										
Résistance à la Traction	SP*	EN ISO 10319	kN/m	6	10	13	16	20	23	27
	ST*			7	12	16	20	25	30	33
Déformation à l'Effort de Traction Maximale	SP*	EN ISO 10319	%	70	70	70	75	75	80	90
	ST*			90	90	90	95	100	100	105
Perforation Dynamique	EN ISO 13433	mm	30	25	17	15	11	10	9	
Résistance au Poinçonnement CBR	EN ISO 12236	kN	1,00	1,70	2,10	2,90	3,40	4,00	4,4	
Resistance au Poinçonnement pyramidal	EN 14574	kN	0,70	1,00	1,20	1,50	1,80	1,90	2,30	
Caractéristique Hydrauliques										
Perméabilité Normale au Plan	EN ISO 11068	m/sec	0,080	0,065	0,050	0,045	0,040	0,020	0,020	
Ouverture de Filtration	EN ISO 12956	µm	90	90	70	70	65	60	55	
Conditionnement										
Rouleau Standard										
Largeur		m	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	5,80	
Longueur		m	300	250	200	160	140	120	100	
Surface par Rouleau		m ²	1 740	1 450	1 160	928	812	696	580	
Poids du Rouleau		kg	174	218	232	232	244	244	232	

SP* : Sens Production, ST* : Sens Travers

Attention! Les valeurs ci-dessus sont celles en vigueur à la date d'édition de la présente fiche et sont susceptibles d'être modifiées à tout moment. Vérifiez que vous disposez bien de la dernière édition.

10/2013

SPECIFICATIONS

Caractéristiques Mécaniques	Normes	Référence
Masse surfacique	NF EN 9864	Masse surfacique totale
Epaisseur	NF EN 9893-1	Sous 2 kPa Sous 20 kPa
Résistance à la traction et allongement à la rupture	NF EN ISO 10319	Sens longitudinal
		Sens transversal
Perforation dynamique (chute de cône)	NF EN ISO 13433	...
Résistance au poinçonnement CBR	NF EN ISO 12236	
Poinçonnement Pyramidal	EN 14 574	
Caractéristiques Hydrauliques	Normes	Référence
Ouverture de filtration OF (filtre)	NF EN ISO 12956	Sous traités
Perméabilité normale au plan	NF EN ISO 11058	Sous traités
Capacité de débit dans le plan	NF EN ISO 12958	Gradient $i = 0,1$ Sous 20 kPa Sous 100 kPa Sous 200 kPa
		Gradient $i = 0,3$ Sous 20 kPa Sous 100 kPa Sous 200 kPa
		Gradient $i = 1$ Sous 20 kPa Sous 100 kPa Sous 200 kPa
Conditionnement	Rouleau standard	Longueur
		Largeur
		Masse surfacique
		Poids du rouleau



Principe :

Un plan de contrôle, sur lequel figurent les contrôles à effectuer et leur fréquence, est attribué à chaque famille de produit. Il est disponible au laboratoire de contrôle.

Les contrôles à effectuer sur les produits finis sont spécifiques selon la nature de ceux-ci et sont précisés dans les fiches techniques (ex : masse surfacique, épaisseur, résistance aux poinçonnements...).

Une fiche suiveuse permet à la production de transmettre les informations, concernant le rouleau à contrôler au laboratoire (n°OF, désignation du produit, quantité fabriquée, n° rouleau, matières premières utilisées et date).

Fréquence :

Les fréquences sont différentes selon les produits et les essais à réaliser comme indiqué sur les plans de contrôles visibles au laboratoire. En général un contrôle chaque **20 000 m²** produit .

Enregistrements et résultat :

L'enregistrement des quantités se fait sur un tableau Excel défini par le technicien de laboratoire. Ainsi, il pourra exercer tous les contrôles qui sont à réaliser après une certaine quantité définie dans le plan de contrôle.

La fiche de contrôle est une annexe du plan de contrôle qui nous permet d'enregistrer les résultats des contrôles.

Contrôle	Quantité	Matériel	Résultat
Masse surfacique (NF EN 9864)	6 éprouvettes 200 mm x 250 mm	Balance à affichage digital à précision : 0,1g	Après pesée, la mesure est multipliée par 20 pour obtenir une masse surfacique en g/m ² .
Epaisseur sous 2 kPa (NF EN 9863-1)	6 éprouvettes 200 mm x 200 mm	Micromètre d'épaisseur	Mesure en mm
Résistance à la Traction (NF EN ISO 10319)	3 éprouvettes dans le sens de production 3 éprouvettes dans le sens transversal	Dynamomètre à jauge de contrainte (25 kN)	La mesure est multipliée par 5 pour obtenir une résistance en kN/m.
Déformation à l'effort (NF EN ISO 10319)	3 éprouvettes dans le sens de production 3 éprouvettes dans le sens transversal	Dynamomètre à jauge de contrainte (25 kN)	Mesure en %