République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة الشهيد الشيخ العربي التبسي – تبسة –

Université Echahid Cheikh Larbi Tébessi - Tébessa -

Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie Civil

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master Académique

En: genie civil

Spécialité: Géotechnique

Par: KHETTABI Mohammed

Sujet:

Amélioration et renforcement des remblais routiers par fibres plastiques

Présenté et soutenu publiquement, le 10 / 06 / 2025 , devant le jury composé de:

Mr. ROUILI Ahmed	**Grade: Prof**	**Président**
Mr. FARES Abdelhafid	**Grade: MAA**	**Rapporteur**
Mr. LAOUAR Med salah	**Grade: Prof**	**Examinateur 1**

Promotion : 2024/2025

Remerciements

Je tien à exprimer ma profonde gratitude envers DIEU de m'avoir aidé dans la réalisation de ce modeste travail.
Je tien à remercier mon cher encadreur Mr.FARES Abdelhafid pour le suivi, le soutien, les conseils et les encouragements qu'il m'a attribué pendant la préparation de ce travail.
J'adresse mes remerciements à tous les enseignants de département génie civil.

Merci!

Dédicace

Je dédie ce travail à ma petite famille ma chère femme et mes chers enfants, mes fréres et ma sœur pour l'encouragement.

Sans oublier mes collègues durant cette formation.

Résumé

Suite aux problèmes rencontrés par les ingénieurs dans le domaine de genie civil en général et les routes surtout, leur obligent de chercher par les expérimentations et les études à valoriser le traitement des sols et résoudre ainsi les problèmes environnementaux liés par exemple aux énormes dépôts de plastique.

Le but de ce travail est d'étudier l'effet des fibres plastiques sur les caractéristiques mécanique et physique du sol telles que la densité sèche, la portance (IPI), les indices CBR (immédiat et après immersion) et la résistance au cisaillement.

Les résultats de cette étude à travers les éssais réalisés au niveau de laboratoire de génie civil de l'université de cheikh Larbi Tebessi–tebessa- (Proctor normal,CBR immédiat et après immersion et le cisaillement à la boite) ont montré qu'il est possible d'améliorer un remblai routier par les fibres plastiques et d'adapter cette méthode en éxécution des prochains projets.

Mots clés : *Amélioration ; renforcement : remblai routier ; fibres plastiques.*

ملخص

نظرًا للمشاكل التي يواجهها المهندسون في مجال الهندسة المدنية عمومًا، وفي مجال الطرق على وجه الخصوص، فإنهم يضطرون إلى البحث، من خلال التجارب والدراسات، عن طرق لتحسين معالجة التربة، وبالتالي حل المشكلات البيئية المرتبطة، على سبيل المثال، برواسب البلاستيك الضخمة.

يهدف هذا العمل إلى دراسة تأثير الألياف البلاستيكية على الخصائص الميكانيكية والفيزيائية للتربة، مثل الكثافة الجافة، وقوة التحمل(IPI) ، *ومؤشرات* CBR *(الغمر الفوري والبعدي)، ومقاومة القص.*

أظهرت نتائج هذه الدراسة، من خلال الاختبارات التي أُجريت في مختبر الهندسة المدنية بجامعة الشيخ العربي التبسي– تبسة– (*بروكتور العادي، و* CBR *الغمر الفوري والبعدي، والقص الصندوقي)، إمكانية تحسين سدود الطرق باستخدام الألياف البلاستيكية، وتكييف هذه الطريقة لمشاريع مستقبلية.*

الكلمات المفتاحية: *التحسين، التعزيز، رصيف الطريق، الألياف البلاستيكية,*

Abstract

Following the problems encountered by engineers in the field of civil engineering in general, and particularly in roads, they are forced to seek, through experiments and studies, to enhance soil treatment and thus resolve environmental problems related, for example, to huge plastic deposits.
The aim of this work is to study the effect of plastic fibers on the mechanical and physical characteristics of soils, such as dry density, bearing capacity (IPI), CBR indices (immediate and after immersion), and shear strength.
The results of this study, through tests conducted at the Civil Engineering Laboratory of Sheikh Larbi Tebessi University -Tebessa-(Proctor normal, CBR immediate and after immersion, and box shear), have shown that it is possible to improve road embankments using plastic fibers and to adapt this method for future projects.

Keywords: *Improvement; renforcement; road embankment; plastic fibers.*

Sommaire

Chapitre I : Introduction Générale	
I.1. Introduction	*2*
I.2. Problématique	*2*
I.3. Objectif	*2*
I.4. Structure de Mémoire	*2*
Chapitre II : Etude bibliographique	
II.1 Introduction	*4*
II.2 Les constituants de chaussée	*4*
II.3. Les remblais routiers	
II.3.1. Définition	*5*
II.3.2. Les types de remblais routiers	*5*
II.3.2.1.Remblai de grande hauteur	*5*
II.3.2.2. Remblai courant	*6*
II.3.2.3. Remblai contigus aux ouvrages	*6*
II.3.3. Matériaux de remblai	*7*
I.3.3.1. Le sol	*7*
II.3.3.2. Le matériau rocheux	*7*
II.3.3.3 Les sous-produits industriels	*7*
II.3.4. Les constituants d'un remblai routier	*8*
II.3.5.Problèmes liés au remblai	*9-10*
II.4. Matériau apte à améliorer	*11*
II.4.1. Identification du sol	*11*
II.4.2.Caractéristiques du sol	*11*
II.4.3. Structure des sols	*11*
II.5. Amélioration des sols	*12*
II.5.1 . Méthodes et techniques d'amélioration et de traitement des sols	*13*
II.5.1.1. Méthodes mécaniques	*13*
5.1.1.1. Compactage de surface	*13*
5.1.1.2. Compactage dynamique	*13*
5.1.1.3. Vibrocompactage	*13*
II.5.1.2. Méthodes hydromécaniques	*14*
5.1.2.1. Amélioration des conditions de drainage	*14*
5.1.2.2. Amélioration par Inclusions de géosynthétiques	*14*
5.1.2.3. Amélioration par inclusion de fibres et mailles géosynthétiques	*15*
II.5.1.3. Méthodes thermiques	*15*
5.1.3.1. Déshydratation	*15*
5.1.3.2. Amélioration temporaire par congélation	*15*
II.5.1.4. Méthodes chimiqueS	*16*
5.1.4.1. Amélioration des sols par injection	*16*
5.1.4.1.1. Jet-Grouting	*16*
5.1.4.1.2. Amélioration par injection (rigides et souples)	*16*
5.1.4.1.3. Amélioration des sols par addition d'ajout minéraux	*16*
5.1.4.1.3.1. Utilisation de la chaux	*16*
5.1.4.1.3.2. Utilisation du ciment	*17*
Chapitre III Matériaux et éssais réalisés	
III. Les matériaux utilisés	*19*
III.1.1. Le matériau à traiter (sol utilisé)	*19*
III.1.1.1.Granulométrie du sol	*19*
III.1.2. Le matériau de traitement	*21*
III.1.2.1. Utilisations de plastique	*21*
III.1.2.2 : Avantages et inconvénients du plastique	*21*
➢ *Les avantages du plastique*	*21*
➢ *Les inconvénients du plastique*	*22*
III.1.2.3. Obtention des fibres	*22*
III.2.Essais réalisés	*23*
III.2.1. Essai proctor normal (NF P94-093)	*23*
➢ *Objectif*	*23*
➢ *But d'essai*	*23*
➢ *Matériel utilisé*	*23*

➢ *Principe de la méthode*	*24*
III.2.2. Essais CBR (CBR immédiat et CBR après immersion)(NF P94-078)	*25*
➢ *But d'essai*	*25*
➢ *Matériel utilisé*	*25*
➢ *Principe de l'essai*	*26*
➢ *Mode opératoire*	*26*
➢ *Portance du sol*	*27*
➢ *Interprétation des Résultats CBR*	*27*
III.2.3 : Essai de cisaillement à la boite de Casagrande (NF P94-071-1)	*27*
➢ *Domaine d'application*	*27*
➢ *But d'essai*	*28*
➢ *Matériel utilisé*	*28*
➢ *Paramètre à déterminer*	*29*
➢ *Principe d'essai*	*29*
➢ *Mode opératoire*	*30*
➢ *Interprétation des résultats*	*30*
Chapitre IV. Résultats et interprétations	
IV.1 . Introduction	*32*
IV.2.Essai Proctor normal	*32*
➢ *Interprétation des résultats*	*33*
IV.3.Essai CBR (Californian Bearing Ratio) .	*33*
IV.3.1.Essai de Portance Immédiat	*34*
IV.3.1.1. Calcul d'Indice de portance immédiat	*34*
a. *Sol non traité*	*34*
b. *Sol traité*	*34*
➢ *interprétation des résultats*	*35*
IV.3.2. Essai CBR Immédiat	*35*
IV.3.2.1. Calcul d'Indice CBR immédiat	*35*
a. *Sol non traité*	*35*
b. *Sol traité*	*36*
➢ *interprétation des résultats*	*36*
IV.3.3. Essai CBR après immersion	*36*
IV.3.3.1. Calcul d'Indice CBR après immersion	*37*
a. *Sol non traité*	*37*
b. *Sol traité*	*37*
➢ *interprétation des résultats*	*38*
IV.3.4.Synthése des résultats	*38*
IV.3.5.Conclusion	*38*
IV.4.Essai de Cisaillement	*38*
IV.2.Courbes et interprétations	*38*
IV.4.1.1.Courbes contrainte de cisaillement / déplacement horizontal	*40*
➢ *Interprétation des courbes*	*40*
➢ *Comparaison des courbes*	*41*
IV.4.1.2.Courbes tassement / déplacement horizontal	*43*
➢ *Interprétation des courbes*	*43*
➢ *Résultats obtenus*	*44*
➢ *interprétation des resultats*	*44*
➢ *conclusion*	
Conclusion générale	*50*

Liste des figures

Chapitre II:

Figure 2.1. Coupe verticale d'une chaussée ……..4

Figure 2.2. Remblai de grande hauteur . ……5

Figure 2.3. Remblai courant ……6

Figure 2.4. Remblai contigus aux ouvrages……6

Figure 2.5. fissuration longitudinale de chaussée ……9

Figure 2.6. affaissement……9

Figure 2.7. déformation des talus……10

Figure 2.8. glissement des talus……10

Figure 2.9.modification des dévers……10

Figure 2.10. Schéma simplifié des trois phases du sol. ……11

Figure 2.11 L'échelle granulométrique. ……12

Figure 2.12 compactage de surface. ……13

Figure 2.13. compactage dynamique…… ……13

Figure 2.14. vibrocompactage……14

Figure 2.15. Amélioration des conditions de drainage……14

Figure 2.16. Inclusions de géosynthétiques …… 14

Figure 2.17. fibres et mailles géosynthétiques…… ……15

Figure 2.18. congélation temporaire ……15

Figure 2.19. jet gouting ……16

Figure 2.20. traitement à la chaux…… 16

Figure 2.21. traitement au ciment……17

Chapitre III:

Figure 3.1 : courbe granulométrique ……20

Figure 3.2 : appareil de découpage des fibres……22

Figure 3.3: méthode de compactage…… ;……23

Figure 3.4: matériel utilisé dans l'éssai proctor normal……24

Figure 3.5. principe d'éssai proctor normal ……25

Figure 3.6. matériel utilisé dans l'éssai CBR ……26

Figure 3.7. bâti……28

Figure 3.8. boite de cisaillement……..……28

Figure 3.9. systéme de chargement ……..……28

Figure 3.10. systéme de mésure de l'effort de cisaillement……..……29

Figure 3.11. principe de méthode de cisaillement……..……30

Chapitre IV:

Figure 4.1.comparaison des courbes densité sèche/teneur en eau ……..33

Figure 4.2 : comparaison des courbes force de pénétration./ enfoncement.. …… ……34

Figure 4.3 : comparaison des courbes force de pénétration./ enfoncement.s…… ;……35

Figure 4.4: comparaison des courbes force de pénétration./ enfoncement.. ……..36

Figure 4.5. comparaison des courbes contrainte de cisaillement/déplacement horizontal (σ_n=50KPa) ;……39

Figure 4.6. comparaison des courbes contrainte de cisaillement/déplacement horizontal (σ_n=100KPa) ;……39

Figure 4.7. comparaison des courbes contrainte de cisaillement/déplacement horizontal (σ_n=200KPa.……..40

Figure 4.8. comparaison des courbes tassement/déplacement horizontal (σ_n=50KPa).……..41

Figure 4.9. comparaison des courbes tassement /déplacement horizontal (σ_n=50KPa) ……42

Figure 4.10. comparaison des courbes tassement /déplacement horizontal (σ_n=50KPa) ……42

Figure 4.11: droite intrinsèque. ……..44

Liste des tableaux

Chapitre II:

Tableau 2.1. Domaines d'application des différentes techniques d'amélioration……..18

Chapitre III:

Tableau 3.1.Granulométrie du sol……19

Tableau 3.2. différentes utilisations de plastique. ……..21

Tableau 3.3. fourchette adaptée pour CBR……27

Chapitre IV:

Tableau 4.1. résultats d'éssai proctor normal ……32

Tableau 4.2. résultats d'éssai proctor modifié. ……34

Tableau 4.3. résultats d'éssai CBR Immédiat. ……35

Tableau 4.4. résultats d'éssai CBR après Immersion. ……36

Tableau 4.5. résumé des résultats des éssais IPI ,CBR Immédiat et CBR après Immersion……38

Tableau 4.6.résultats au pic d'essai de cisaillement. ……43

Tableau 4.7.résultats des paramètres mécaniques d'essai de cisaillement……44

CHAPITRE I:

Introduction générale

I.1 : Introduction:

Le traitement des sols a connu une vaste gamme des techniques et méthodes dont le but est d'améliorer leur caractéristiques , notre travail est une technique a pour but d'améliorer un remblai routier (la couche de forme d'une route) par l'utilisation des fibres plastiques qui portent un grand danger sur l'environnement des êtres vivants.

Le matériau à utiliser est des fibres plastiques (PET) obtenus notamment par la récupération des bouteilles (coupées en forme des fibres dont une longueur ≤ 20 mm et une largeur ≤ 3 mm).

I.2 : Problématique:

Ce travail porte sur l'amélioration d'un remblai routier.

I.3 : Objectif:

L'objectif de ce travil est d'étudier l'éfficacité des fibres plastiques dans l'amélioration des caractéristiques physique et mécanique d'un remblai routier par l'ajout d'un taux de 1 %.

I.4 :Structure de Mémoire:

Le manuscrit comportant une partie bibliographique sur les chaussées, les sols et les déchets de plastique et une autre partie expérimentale,qui comporte des essais de caractérisation du sol: le proctor normal et modifié; les essais de CBR (Californian-Bearing-Ratio) immédiat , CBR après immersion et éssai de cisaillement éfféctués sur des éprouvettes du sol avant et après traitement.
Notre mémoire comporte 4 chapitres:

Le chapitre I: s'intéresse a une introduction générale, la problématique et l'objectif visé.
Le chapitre II: une synthèse bibliographique concernant l'identification des chaussées, le remblai routier et les dégradations qui sont dues à plusieurs facteurs
Le chapitre III: s'intéresse au sol à traiter ,les déchets de plastique et leur avantages, inconvénients et utilisations et différents éssais qu'on a réalisé au niveau de laboratoire.
Le chapitre VI: englobe et analyse les résultats qu'on a obtenu lors des essais de caractérisation et les essais mécaniques éfféctués sur des éprouvettes du sol normal et sol traité par les fibres plastiques.
Enfin comme tout travail expérimental,ce travail nous permet de faire tirer des conclusions à partir des résultats obtenus sur l'amélioration de sol traité par les déchets de plastique.

Chapitre II:

Etude bibliographique

II.1. Introduction:

Pour la réalisation des fondations des projets linéaires durables , il est nécéssaire de fournir des quantités de remblai qui doivent ètre satisfaites à des conditions spécifiques et bien déterminées de qualité. Les matériaux dont une bonne qualité ne sont pas disponibles tout moment sur site du chantiers, dés fois les sols disponibles sur site ne sont pas conformes aux normes de construction qui obligent les ingénieurs lors de la réalisation à chercher des solutions immédiates.
Certains sol sur lequel les ouvrages construits sont montre des signes de fatigue et de dégradation en général sous forme d'apparition des fissures au niveau de la superstructure.Ces dégradations peuvent conduire à la perte totale des ouvrages.
Afin d'éviter ces inaptitudes, les ingénieurs et les constructeurs ont réfléchit à une des solutons suivantes:

- Amélioration sur place par compactage les propriétés de matériau puis l'utilisation des caractéristiques modifiées dans le calcul et la conception des ouvrages.
- Remplacer les matériaux sur place par l'mportation des matériaux appropriés d'un autre site d'emprunt proche.
- Intégration d'autres types de matériaux afin d'améliorer les propriétés de matériau existant insitu.

Le coté économique est généralement une parmi des considérations sur lesquel basé le choix de la méthode à utiliser, par exemple la stabilisation d' un sol sur site en utilisant des additifs est moins cher que le creusement et l'excavation d'un matériau inadéquat puis le remplacer par un autre de bonne qualité importé.

II.2. les constituants de la chaussée:

Les routes sont construites pour permettre le déplacement des personnes et des biens entre deux destinations, c'est-à-dire pour fournir l'accès et la mobilité.

La chaussée est une structure multicouche composée de :

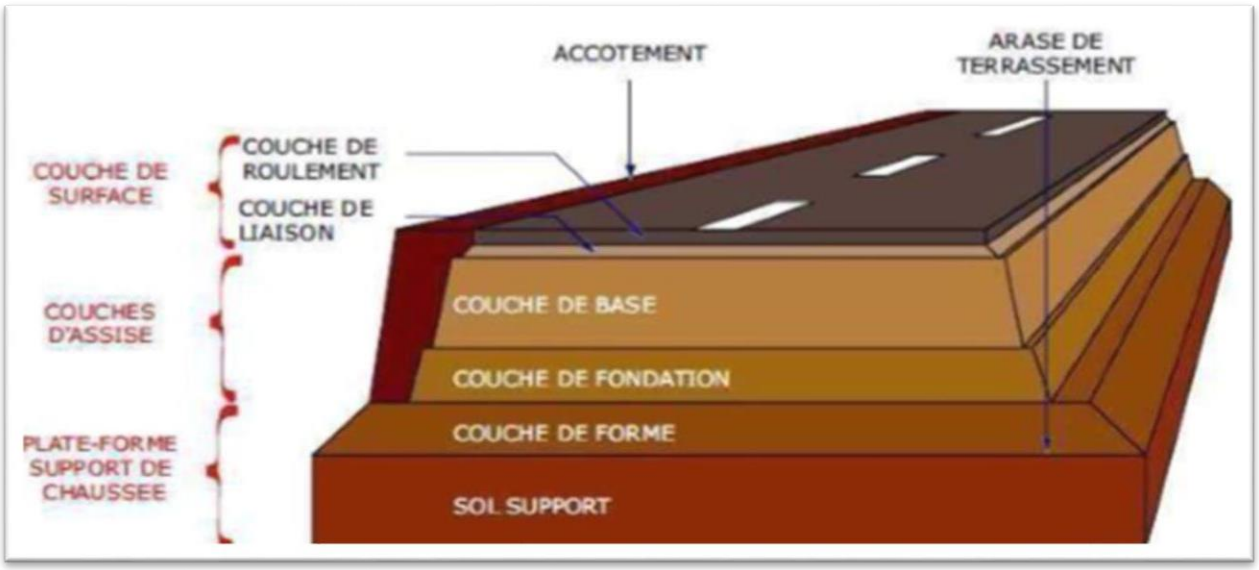


Figure 2.1.Coupe verticale d'une chaussée.

- Partie supérieure des terrassements (PST): désigne la zone supérieure des terrains en place ou rapportés et fait environ 1m d‘épaisseur. La plate forme de la PST est l‘arase de terrassement dit AR.

- Couche de forme (CDF): ne fait pas partie intégrante de la chaussée mais bien de son sol support.Son rôle à court terme est d‘assurer la traficabilité et à long terme de garantir un certain niveau de portance.Elle constitue la plate forme support de chaussée appelée PF.

- Couches d‘assises: sont la couche de fondation et la couche de base. Elles apportent à la chaussée la résistance mécanique aux charges verticales induites par le trafic.Elles répartissent les pressions sur le support afin de maintenir les déformations à ce niveau dans les limites admissibles.

- Couche de surface est constituée d‘une couche de roulement sur laquelle s‘exercent directement les agressions du trafic et du climat, et d‘une couche de liaison permettantl‘accrochage aux couches d‘assise. La couche de surface doit garantir le confort et la sécuritédes usagers grâce à l‘uni, l‘adhérence et l‘évacuation des eaux de ruissellement.Elle maintient l‘intégrité de la structure et protège les autres couches des infiltrations d‘eau par son étanchéité.

II.3. Les remblais routiers

II.3.1. Définition:

Les remblais sont des ouvrages en terre qui proviennent de la mise en place de matériaux pour rehausser ou niveler le terrain naturel. Ils doivent pouvoir supporter les sollicitations ultérieures (trafic routier ou ferroviaire, bâtiments, super- structures...) sans déformation préjudiciable (tassement, glissement...)
La qualité de remblai dépend de la nature des matériaux qui le compose et de leur mise en oeuvre. Les matériaux, issus des déblais (Consiste à abaisser le niveau du terrain par enlèvement des terres du site ou d’un emprunt, doivent être mis en place à une teneur en eau correcte (pour assurer une portance suffisante) et compactés (pour garantir leur stabilité).

II.3.2. Les types de remblais routiers

II.3.2.1. Remblai de grande hauteur:

Le grand remblai est plus qu’un empilement de couches bien compactées. Leurs déformations peuvent être importantes et évoluer au cours du temps. Il est le plus souvent hétérogène parfois constitué de matériaux évolutifs. Il comporte des ouvrages transversaux et longitudinaux (Les réseaux d’assainissement des eaux). Le remblai de grande hauteur (*Fig 2.2*) peut également être construit avec des matériaux de caractéristiques moins sécuritaires (sol fin argileux notamment).



Figure 2.2.Remblai de grande hauteur .

Les pentes de talus des remblais de hauteur moyenne à grande hauteur peuvent être fixées a priori en fonction de la hauteur du remblai et de la nature des matériaux.

II.3.2.2. Remblai courant:

Le remblai courant a pour fonction essentielle de garantir la géométrie des projets conformément aux exigences du projeteur routier et de supporter la structure de la chaussée. Leur évolution doit être limitée afin de garantir un niveau de service correct sur la voirie (*Fig 2.3*). La conception et la mise en oeuvre de ce remblai se fait suivant les recommandation du GTR et du guide a conception et réalisation des terrassement qui garantissent théoriquement à l'ouvrage en terre une tenue à long terme



Figure 2.3.Remblai courant

II.3.2.3. Remblai contigus aux ouvrages

Le remblai contigus, appelé aussi remblai technique ou bloc technique, est une partie intégrante des ouvrages. Il contribue à la stabilité de l'ouvrage et assure la transition entre les structures rigides, souvent en béton, et le déblai ou le remblai courant, Leur rôle est souvent sous-estimé,voire méconnu, alors qu'il est parfois le coeur, donc la clé de la réussite de certains ouvrages.

Le remblai contigus aux ouvrages (*Fig 2.4*) a pour fonction essentielle d'assurer la transition entre la section courante et les ouvrages d'art (rigide) et d'epauler l'ensemble des ouvrages inferieurs de franchissement (buse hydraulique, traversées pour faune,etc) .



Figure 2.4. Remblai contigus aux ouvrages

II.3.3. Matériaux de remblai

La qualité d'un remblai dépend de la nature des matériaux qui le compose et de leur mise en oeuvre. Les matériaux, issus des déblais du site ou d'un autre lieu d'emprunt, doivent être mis en place à une teneur en eau correcte pour garantir un bon compactage avec une portance suffisante et assure en conséquence leur stabilité. Ces matériaux se répartissent en trois catégories:les sols,les matériaux rocheux et les sous-produits industriels.

II.3.3.1. Sol:

Le sol est un matériau naturel provenant de la destruction mécanique et / ou physico-chimique des roches. Il est constitué de grains de dimensions très variables, de quelques micromètres à quelques décimètres, pouvant être séparés aisément par simple trituration ou éventuellement sous l'action d'un courant d'eau. Le sol est de nature et d'origines géologiques très diverses : alluvions, matériaux meubles sédimentaires, ébouais dépentes.

II.3.3.2. Matériaux rocheux:

Dans cette catégorie nous pouvons distinguer deux types de matériaux: les matériaux sains, qui se caractérisent par le fait que leur granulat peut être considérée comme définitive une fois l'extraction est réalisée, et les matériaux rocheux évolutifs. La qualité évolutive du matériau est caractérisée par le changement de structure sous l'effet des engins au cours des travaux ou au cours de la vie de l'ouvrage. Comme matériaux rocheux non évolutifs, on trouve le granite et le basalte, et comme matériaux évolutifs, nous pouvons citer les marnes et la craie.

II.3.3.3 Sous-produits industriels:

Ce sont des matériaux particuliers dont l'emploi en remblai peut –dans certains cas- se révéler intéressant du point de vue technique et économique, à condition de ne pas nuire à l'environnement.
Les principaux sous-produits industriels utilisés dans la construction des remblais routiers en France [GTR, septembre 1992] sont les cendres volantes, les schistes houliers, les mâchefers d'incinération des ordures ménagères...etc.
Cependant, il n'est pas possible de déplacer les sols utilisés en remblai sur de grandes distances et qu'il faut donc s'accommoder des matériaux disponibles.Cela doit inciter les projeteurs à adapter très tôtle tracé,pour éviter d'avoir ensuite à prendre des risques excessifs sur la qualité des matériaux employés.

II.3.4. Les constituants de remblai routier:

Le remblai routier est constitué de plusieurs parties comme montre la figure ci-dessous:

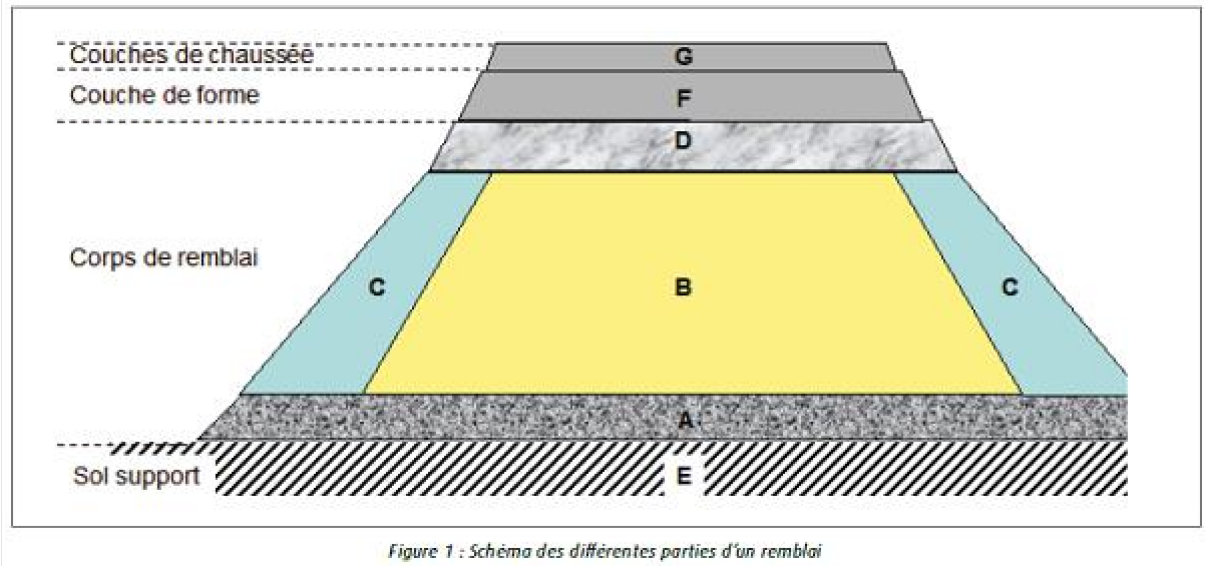


Figure 1 : Schéma des différentes parties d'un remblai

1-Le corps de remblai : est constitué de plusieurs sous-parties:

a.la base de remblai: elle correspond à la zone de transition entre le sol support(E) et le cœur remblai (B).Cette base assure la stabilité de l'ouvrage en terre,surtout dans le cas des ouvrages de grande hauteur et en cas de remontées d'eau libre ou d'eau capillaire provenant du sol support(zone humide, nappe sub-affleurante) ou d'arrivées d'eau latérales dans les zones inondables,

b.le noyau du remblai: il correspond à la zone située entre la base du remblai(A) et la partie supérieure des terrassements (D). Cette zone est peu sollicitée par les contraintes extérieures (trafic, météo, etc.),

c.la zone latérale du remblai: elle correspond à la partie de remblai en talus,et selon les cas à l'encagement et / ou l'épaulement; cette zone doit assurer la stabilité de la pente de talus définie par le concepteur, le confinement de certains matériaux, et,s'il y a lieu, la protection du noyau du remblai vis-à-vis des conditions extérieures (météo, cycles humidification/séchage, gel/dégel, fouisseurs, etc.),

d.la partie supérieure des terrassements :cette zone d'environ 1m d'épaisseur est située entre le coeur du remblai et la couche de forme (F). Elle entre dans le dimensionnement de l'infrastructure qui surmonte le remblai et assure une fonction mécanique à long terme.

La base, le noyau, les zones latérales et la partie supérieure du remblai peuvent être constitués du même matériau. On parlealors deremblai homogène. La base, le noyau, les zones latérales et lapartiesupérieuredu remblai peuvent être aussi réalisés avec des matériaux et ou des techniques de mises en œuvre différentes. On parle alors de remblai hétérogène.

• La zone d'influence:selon la norme NF P94-500, la zone d'influence est définie comme le volume de terre au sein duquel il y a interaction entre d'une part l'ouvrage ou l'aménagement
de terrain et d'autre part l'environnement (sols, ouvrages, aménagementsde terrainsou biens environnants). En pratique,la zone d'influence comprend le solsupport (E) environnant.Elle s'étend conventionnellement de part et d'autre du remblai sur une distance égale à trois fois sa hauteur. Néanmoins, son extension peut être plus importante si les besoins du site le justifient (remblai sur pente par exemple) ;

• les éléments surmontant le remblai:
- la couche de forme (F),
- les couches de chaussée, les accotements, les terre-pleins et les équipements (G).

• les dispositifs d'assainissement et de drainage:
- les ouvrages traversant (buse,etc.),
- les dispositifs de drainage sous remblai et les fossés de pied de remblai,
- l'assainissement et le drainage de la chaussée.

La hauteur des remblais routiers est un sujet qui est traité dans le GTR et dans le Guide de Conception des Terrassements de manière plutôt simple. Pour mémoire, les hauteurs sont les suivantes :

• les remblais de faible hauteur (<5m) ;
• les remblais de moyenne hauteur (5 m>h<15m) ;
• les remblais de grande hauteur (>15m).

Aujourd'hui, nous savons que la hauteur n'est pas le seul critère permettant de définir la conception d'un ouvrage en terre.Les pathologies qui surviennent sur ces ouvrages montrent en effet qu'un remblai peut être affecté par des désordres, quelle qu'en soit sa hauteur.

Les facteurs à prendre en compte dans l'analyse de la pathologie (et pour améliorer la conception) sont:

• l'environnement naturel et théosophique:pentes, cavités,sols supports, nappes, circulations d'eau,etc.;
• la nature du matériau que l'on va mettre en œuvre pour réaliser l'ouvrage (sensibilité à l'eau, nature évolutive, etc.)
• les techniques de réalisation de cet ouvrage:épaulement encagement etc. ;
• la hauteur pour vérifier la stabilité du sol support, la stabilité interne et«externe»

II.3.5. Problèmes liés au remblai:

Les phénomènes constatés sont de plusieurs types:

- Fissuration longitudinale des chaussées, généralement au voisinage du contact BAU – chaussée, mais qui peut affecter pour les remblais de très grandes hauteurs, toute la largeur de la plateforme. C'est l'aspect le plus visible des désordres.



Figure 2.5. fissuration longitudinale de chaussée.

- Affaissements au contact des ouvrages hydrauliques.



Figure 2.6. affaissement

- Déformation des talus, pouvant démanteler les dispositifs d'assainissement (descentes d'eau).



Figure 2.7. déformation des talus.

- Glissement des talus:c'est la phase finale des déformations,qui constituent un réel danger pour la circulation, si la surface de glissement débouche sur la plateforme.



Figure 2.8. glissement des talus

- Modification des dévers suffisamment significative pour induire un risque d'aquaplaning en période humide.



Figure 2.9. modification des dévers

- Perte de portance de la chaussée par suite d'unediminution du module des remblais.

II.4. Matériau apte à améliorer*:*

II.4.1. Identification du sol:

Les études géotechniques permettant la classification des matériaux et leur réutilisation s'appuient sur une reconnaissance générale des sols destinés à être traités et sur la formulation des mélanges. L'étude de qualification des matériaux comprend l'identification à partir des paramètres de sol, leur localisation dans le profil géotechnique, et l'estimation de leur quantité.
Les éléments considérés pour définir le contenu d'une étude detraitement pour la couche de forme par exemple sont: la collecte des données (cartes géologiques, sondages de reconnaissance..), le recueil d'expertise locale (notamment la présence d'éléments perturbateurs), la caractérisation du gisement et la constitution d'échantillons représentatifs (mélanges), l'identification du produit de traitement, et enfin, le cas échéant, l'organisation et la conduite d'un chantier expérimental.

La caractérisation du gisement a pour objectif de fournir un échantillon représentatif du matériau.Un zonage (repérage) de chaque formation est défini sur le profil géotechnique ainsi que les plages de variation des Paramètres de nature et d'état des sols.
La dispersion des caractéristiques du matériau de chaque zone donne une indication de l'hétérogénéité des sols de la zone

Notre matériau à améliorer est un tuf prélevé d'un gisement situé au lieu dit **ARGOUB EDHBOUAA** Commune de **B'HIR CHERGUI** Wilaya:**OUMEL BOUAGHI**

II.4.2. Caractéristiques du sol

Le sol est un matériau hétérogène et anisotrope comportant des minéraux et des matériaux organiques. La présence de l'air et de l'eau font du sol un matériau complexe à effet du temps. Son comportement est non linéaireet irréversible d'où la nécessité de combiner essais en laboratoire et en place, analyse théorique et modélisation, expérience cumulée et bon jugement pour la réussite d'une étude géotechnique.
Nous schématiserons les sols comme étant composés de trois phases. Une phase solide composée de particules minéralessolides setorganiques.Une phase liquide sous différentes formes appelées: eau libre, eau interstitielle et pour finir une phase gazeuse.

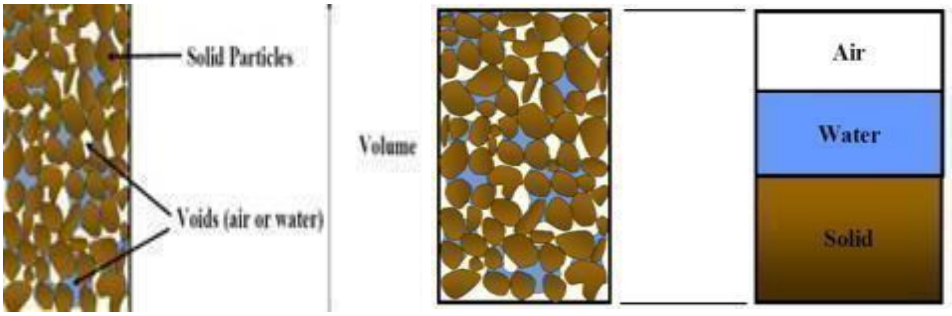


Figure 2.10. Schéma simplifié des trois phases du sol.

II.4.3. Structure des sols

Ils sont constitué des particules dont des dimensions peuvent être uniformes ou variées allant des cailloux de 10cm et s'étendant jusqu'aux des fines de moins du micron. Autre que la grosseur des grains, les particules posées dont d'autres caractéristiques telles que leur structure élémentaire, leur texture et leur forme.

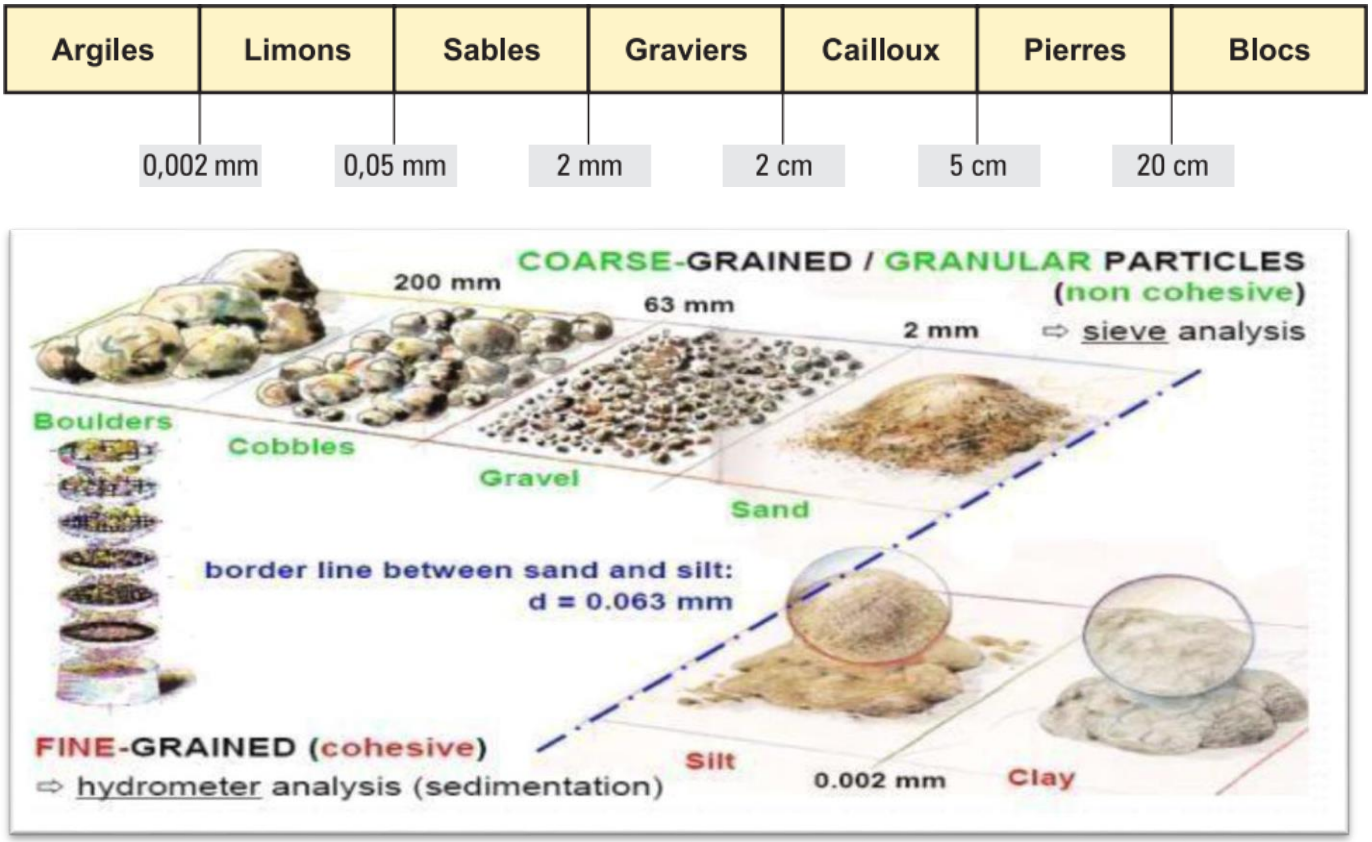


Figure 2.11. L'échelle granulométrique.

II.5. Amélioration du sol:

L'amélioration du sol est souvent opérée pour augmenter leur résistance, pour réduire ou augmenter leur perméabilité ainsi que diminuer leur compressibilité et la sensibilité du sol aux variations de la teneur en eau comme dans le cas des sols expansifs.

Les techniques d'amélioration des sols consistent à modifier les caractéristiques d'un sol par une action physique (compactage par exemple ou vibrations, …) ou par l'inclusion dans le sol d'un matériau plus résistant (colonnes ballastées par exemple) ou par traitement avec un liant (chaux comme exemple) dans le but de :

- L'augmentation de la capacité portante et/ou la résistance au cisaillement,
- La diminution des tassements , tant absolus que différentiels, et le cas échéant les accélérer,
- La diminution ou élimination du risque de liquéfaction en cas de tremblement de terre ou de vibrations importantes.

Le traitement du sol est une technique économique qui permet de rendre apte à l'usage des matériaux qui ne l'étaient pas. La technique s'inscrit ainsi dans la démarche environnementale du développement durable en préservant les ressources naturelles des produits de carrières, et en valorisant les matériaux du site par leur réutilisation. Pas de transport de matériaux, ni de dépôt, donc diminution du cout.
En effet la technique du traitement est une solution aux problèmes de dépôts et d'emprunts, et participe à l'optimisation du mouvement des terres.

II.5.1 .Les méthodes et les techniques d'amélioration et de traitement des sols:

Les méthodes les plus courantes pour l'amélioration des sols en ingénierie géotechnique incluent le compactage mécanique, la stabilisation par ajout de liants (comme la chaux ou le ciment), le drainage pour réduire la teneur en eau, et le renforcement par géotextiles ou inclusions rigides.

On va citer quelques exemples de ces méthodes:

II.5.1.1. Méthodes mécaniques

5.1.1.1. Compactage de surface:

Le compactage ou le tassement des sols est l'augmentation de leur densité apparente résultant de l'application d'une charge sur ces derniers.



Figure 2.12. compactage de surface.

5.1.1.2. Compactage dynamique:

Le compactage dynamique permet de densifier les sols à grande profondeur sous l'effet d'impacts de forte énergie obtenus par la chute d'une masse en surface. Le principe de base consiste à transmettre des chocs de forte énergie à la surface d'un sol initialement compressible et de faible portance afin d'en améliorer en profondeur les caractéristiques mécaniques



Figure 2.13. compactage dynamique.

5.1.1.3. Vibro -compactage

Il consiste à pénéter un vibreur dans le sol jusqu'à la profondeur souhaitée sous l'effet des vibrations et du lançage à l'eau ou à l'air.



Figure 2.14. vibro-compactage

II.5.1.2. Méthodes hydromécaniques

5.1.2.1. Amélioration des conditions de drainage

La méthode consiste à placer des drains verticaux dans la couche sujette à la liquéfaction. Le plan d'implantation, le nombre et le diamètre de ces drains seront déterminés de façon qu'ils puissent être capables à dissiper la surpression dans les limites du temps de passage du séisme.
Les graviers sont généralement utilisés comme des matériaux de drainage, mais actuellement ils vont être remplacés par des grilles recouvertes par des géotextiles.

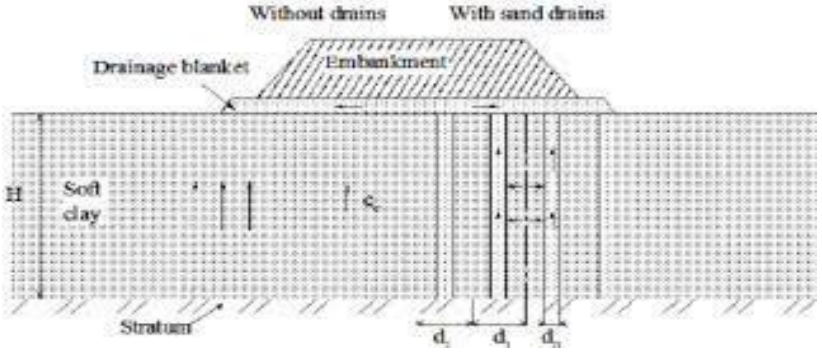


Figure 2.15. Amélioration des conditions de drainage

5.1.2.2. Amélioration par Inclusions de géosynthétiques

Plusieurs auteurs ont montré que l'apport du géosynthétiques a un effet significatif sur la résistance à la liquéfaction.



Figure 2.16. Inclusions de géosynthétiques.

5.1.2.3. Amélioration par inclusion de fibres et mailles géosynthétiques

La technique d'inclusion des fibres synthétiques aléatoirement est utilisé dans les structures de soutènement, digues etc, pour le renforcement des sols.



Figure 2.17. fibres et mailles géosynthétiques

II.5.1.3. Méthodes thermiques

5.1.3.1. Déshydratation

La déshydratation éffectuée par la chaleur est une autre technique rarement utilisée en géotechnique, elle permet le durcissement de certaines argiles par exemple. En pratique, la technique consiste à brûler un carburant dans un forage voisin d'un autre en communication et servant une cheminée de tirage.

5.1.3.2. Amélioration temporaire par congélation

La technique est un procédé ancien qui consiste à congéler les terrains aquifères instables par l'azote liquide ou à la saumure, à caractère provisoire afin d'atteindre une consolidation et un étanchement temporaire des sols pour permettre d'excaver des terrains dans des sols saturés en eau (soit sous rivière ou fleuve, ou mème dans une nappe aquifère),

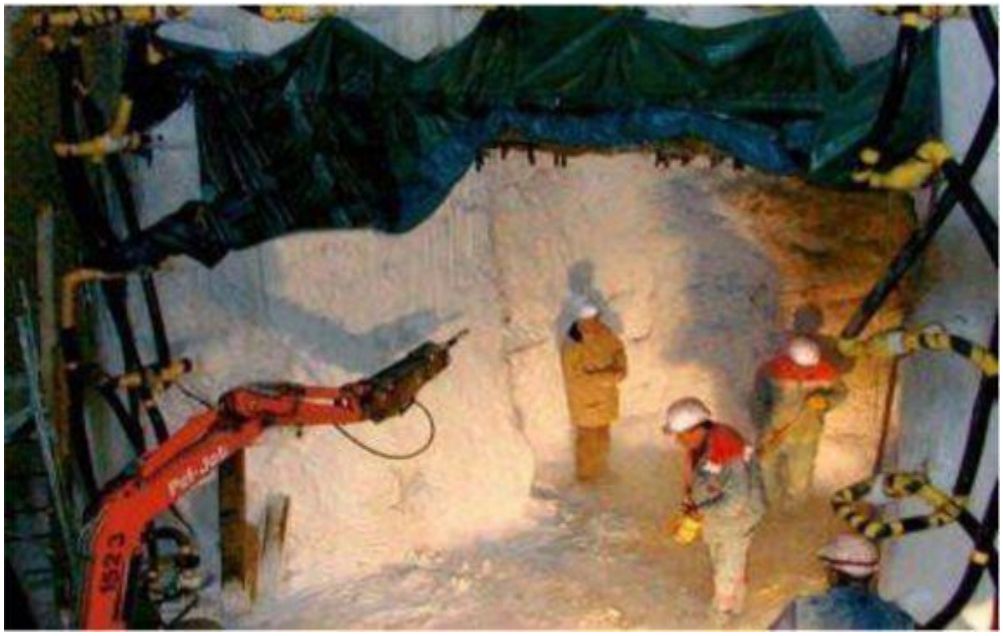


Figure 2.18. congélation temporaire

II.5.1.4. Méthodes chimiques

5.1.4.1. Amélioration des sols par injection

5.1.4.1.1. Jet-Grouting:

Le procédé Jet-Grouting (figure 2.19) s'applique aux terrains difficilement injectables par les procédés classiques. Il correspond à un traitement de sol dans la masse par mise en œuvre sous haute pression d'un jet de coulis à base de ciment réalisant in-situ un mélange sol-ciment.

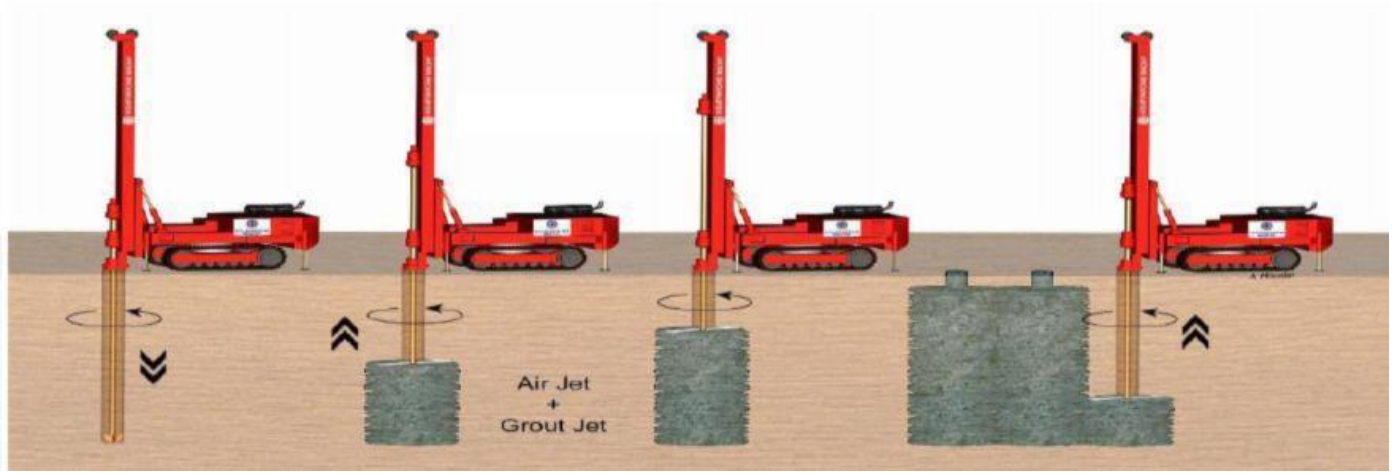


Figure 2.19. jet- gouting

5.1.4.1.2. Amélioration par injection (rigides et souples)

La technique est utilisée pour le traitement des différents terrains ; sableux, limoneux ou argileux, humides ou saturés, elle consiste à injecter un mortier très visqueux sous pression suivant un quadrillage spécifique bien déterminé en fonction de la nature de structure du terrain.
Technique économique et souple permet en outre de réduire le potentiel de liquéfaction en cas de séisme.
Elle peut être aussi utilisée sous des constructions déjà existantes.

5.1.4.1.3. Amélioration des sols par addition d'ajout minéraux

Le traitement d' un sol par addition d'ajout minéraux consiste à mélanger ses éléments avec une certaine quantité d'addition afin de provoquer une modification physico-chimique qui intervient dans la stabilisation du sol.

5.1.4.1.3.1. Utilisation de la chaux

Est une solution souvent préconisée pour rendre les terrassements réalisables et stabiliser les sols par le traitement à la chaux des sols trop humides et/ou trop plastiques, tels que l'argile ou limon.



Figure 2.20. traitement à la chaux

5.1.4.1.3.2. Utilisation du ciment:

Pour stabiliser certaines catégories des sols utilisés pour les revêtements de pistes d'aérodrome et les routes, le ciment portland est un autre produit envisageable pour cette opération.



Figure 2.21. traitement au ciment

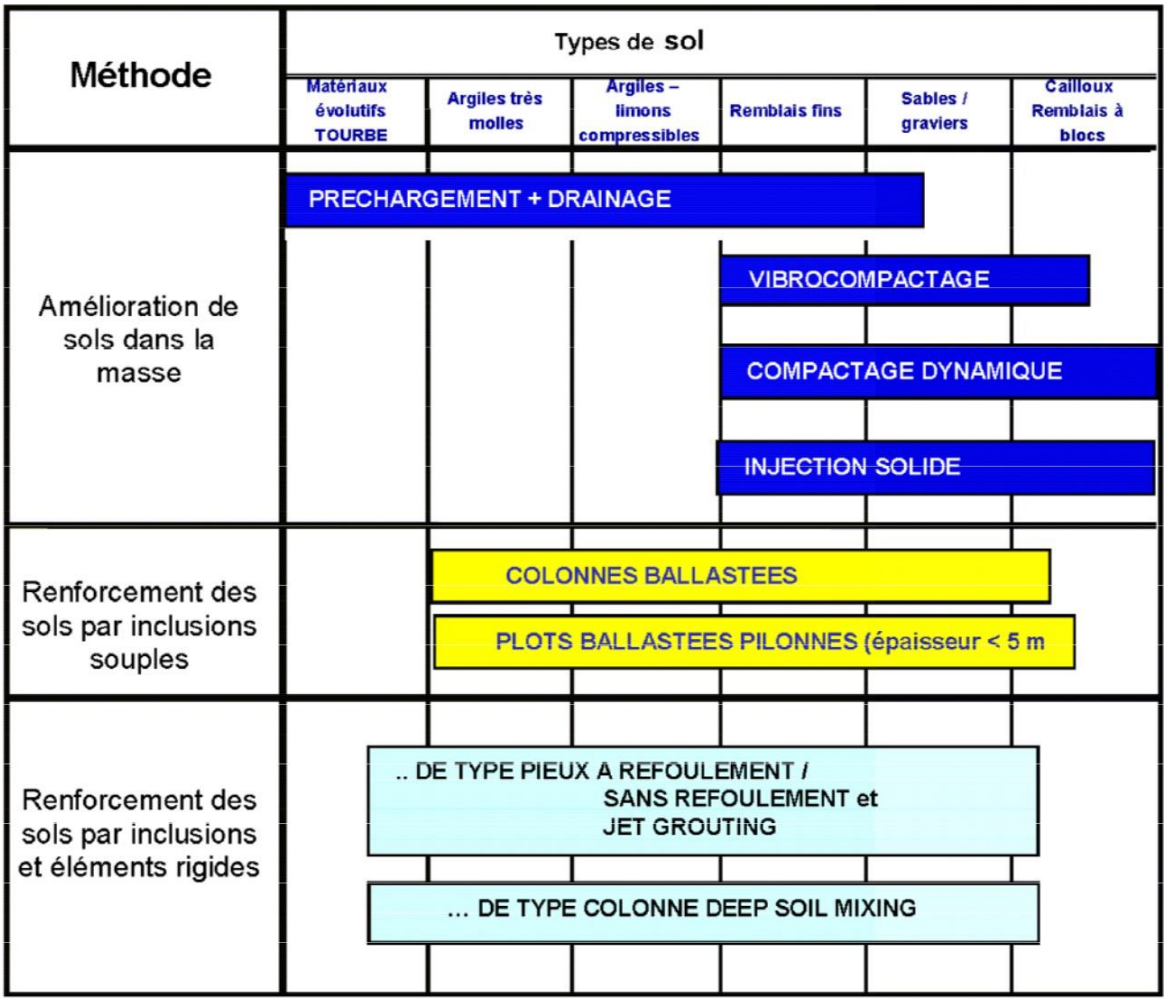


Tableau 2.1.Domaines d'application des différentes techniques d'amélioration

Chapitre III:

Matériaux et Essais réalisés

III. Les matériaux utilisés:

III.1.1. Le matériau à traiter (solutilisé):

Notre matériau à améliorer est un tuf prélevé d'un gisement situé au lieu dit ARGOUB EDHBOUAA Commune de B'HIR CHERGUI Wilaya: OUM EL BOUAGHI. Se caractérise par:

- % < 80µm est 17%
- Limite d'atterberg:
  - WL = 33.78%
  - IP = 13.17% (réf:rapport identification de matériau tuf-Labo BTP .OEB)

IP = WL – WP

Selon le GTR:

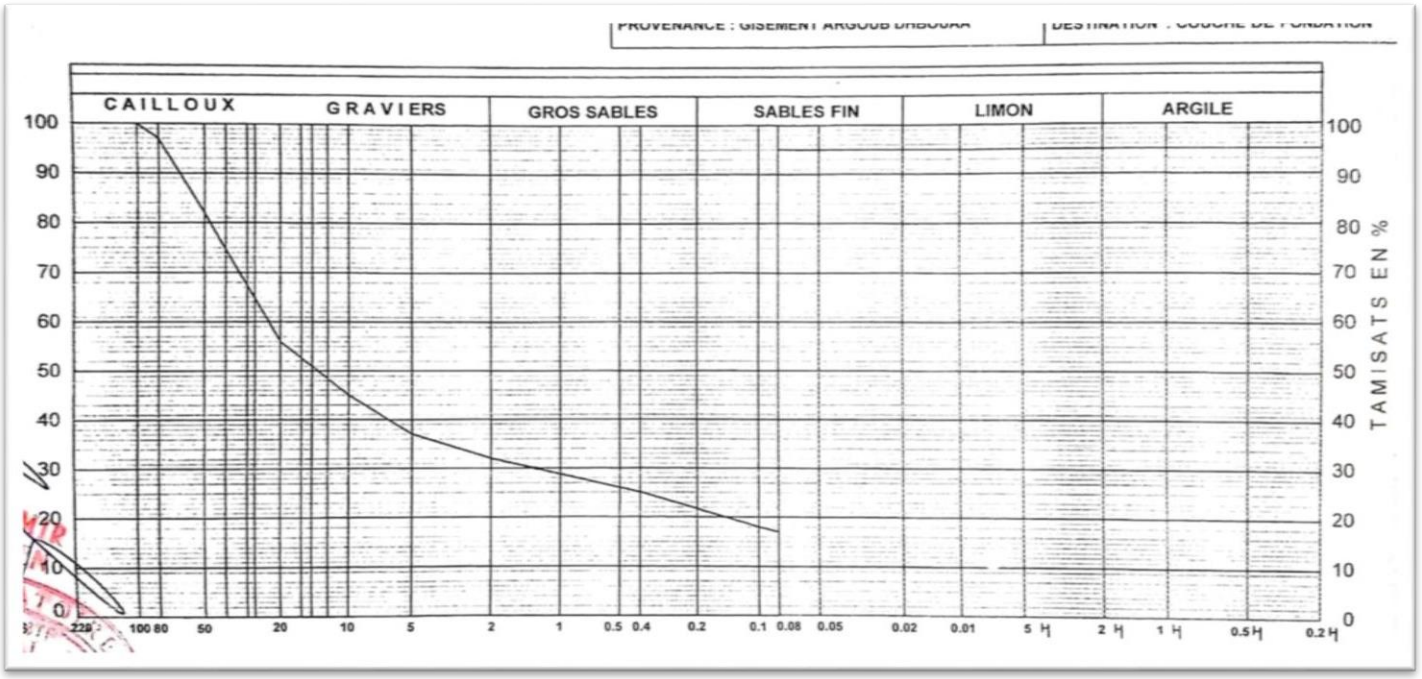
- 12%: est la limite des sols faiblement argileux,
- 25%: est la limite des sols moyennement argileux,
- 40%: est la limite entre sols argileux et très argileux.

Donc c'est un tuf moyennement argileux.

III.1.1.1. Granulométrie du sol (réf: rapport identification de matériau tuf-Labo BTP.OEB)

Tamis (mm)	Passant (%)
< 100	100
< 80	97
< 50	82
< 20	56
< 10	45
< 5	37
< 2	32
< 0.5	26
< 0.2	21
< 0.1	18
< 0.08	17

Tableau 3.1. Granulométrie du sol.



FigureI 3.1. courbe granulométrique du sol (tuf).

La granulométrie d'un sol peut ètre caractérisée par:

*Un coefficient d'uniformité ou coefficient de Hazen ;est un indicateur qui caractérise la répartition des tailles de grains dans un matériau, notamment dans les sols et les sables. Il se calcule en divisant le diamètre des grains qui correspondent à **60%** du passant cumulé **(D_{60})** par le diamètre des grains qui correspondent à **10%** du passant cumulé **(D_{10})**.

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

Un coefficient d'uniformité élevé ($C_u > 2$) indique une granulométrie étalée, c'est-à-dire une présence de grains de différentes tailles, tandis qu'un coefficient faible ($C_u < 2$)indique une granulométrie plus uniforme, avec des grains de tailles plus similaires.

$$C_u = 22/0.05 = 440 > 2 \rightarrow \textit{granulométrie étalée}$$

*Un coefficient de courbure, aussi appelé coefficient de continuité, caractérise encomplément du coefficient d'uniformité, la répartition en taille des éléments qui composent un matériau de type sol. Il se calcule de la façon suivante : $C_c = d_{30}^2/(d_{10} \times d_{60})$.**

Lorsque certaines conditions sur C_u et C_c sont satisfaites ,le sol est dit **bien gradué** c'est-à-dire que sa granulométrie est **bin étalée sans prédominance** d'une fraction particuliére, quand sa granulométrie est **discontinue** avec **prédominance** d'une fraction particuliére, il est dit **mal gradué.**

$$C_c = (1.5)^2/(0.05 \times 22) = 1.36$$ ***selon LPC est un tuf bien gradué.***

Les sols bien gradués constituent des dépots naturellement denses avec une capacité portante élevée, ils peuvent ètre aisément compactés en remblais et forment des pentes stables .

III.1.2. Le matériau de traitement:

En notre travail on va essayer d'améliorer notre matériau par l'utilisation des fibres plastiques.

Le plastique est un matériau très utile pour les entreprises, il est durable résistant, ce qui le rend utile dans de nombreux domaines, surtout, il est économique et peut étre à grande échelle pour de moindre couts.

Pourtant, sa production consomme beaucoup d'energie, la plupart du temps fossile avec l'utilisation de pétrole, c'est aussi un matériau très difficile à décomposer pour son recyclage.

Le plastique est thermoplastique, qui peut ètre fondu et moulé plusieurs fois, ou thermodurcissable , qui se durcissente de façon permanente lorsqu'il est chauffé.

III.1.2.1. Utilisations de plastique:

On retrouve différentes formes de plastique plus adaptées que d'autres pour certains produits.

Type de plastique	Exemples
PET (polyéthylène téréphtalate)	Bouteilles pour les sodas, eau, huiles, etc. Boites d'œufs
PE-HD (polyéthylène haute densité)	Bouteilles pour savon, lait ou jus
PVC (polychlorure de vinyle)	Cadres de fenêtre, jouets, cosmétiques
PE-LD (polyéthylène basse densité)	Emballages alimentaires
PP (polypropylène)	Films d'emballage et contenant pour yaourts et crème
PS (polystyrène)	Emballages de protection, boîtes isolantes, Barquette alimentaires
O (autres variétés de résines et matériaux composites)	Gourdes, poêles, tétines

Tableau 3.2. différentes utilisations de plastique.

III.1.2.2 : Avantages et inconvénients du plastique:

Le plastique comme tous les matériaux présente des avantages et des inconvénients:

➢ Les avantages du plastique:

- **Léger**: un matériau très léger ***(densité faible = 946kg/m^3)*** qui permet le transport et la manipulation facilement.
- **Résistant**: il résiste à des charges très lourdes, lui permettant d'étre utilisé pour des produits qui nécessitent une grande durabilité.
- **Polyvalent**: il peut ètre fabriqué dans une grande variété de couleurs, de formes et de textures.
- **Peu couteux**: le plastique est souvent moins cher à produire que d'autres matériaux.
- **Facile d'entretien**: c'est un matériau facile à entretenir et à nettoyer.
- **Isolant**: il est utilisé comme un isolant pour les batiments, les tuyaux et les appareils électroménagers.
- **Etanche**: sa composition est utile pour la création de produits étanches tels que les emballages alimentaires ou encore les bouteilles d'eau.

- **Les inconvénients du plastique:**

- **Non biodégradable**: Certains types de plastique ne se décomposent pas naturellement.Ils peuvent rester des centaines voire des milliers d'années dans la nature.
- **Problèmes de recyclage** :difficulté du recyclage des certains types de plastique. Cela peut entraîner l'accumulation de déchets plastiques dans les décharges.
- **Utilisation de combustibles fossiles**: la nécéssité des quantités importantes de pétrole et de gaz naturel pour la production de plastique, qui sont des ressources non renouvelables. L'utilisation excessive de plastique entraîne donc une diminution de ces ressources.
- **Produits chimiques nocifs** : la décomposition ou l'exposition à la chaleur de certains types de plastique libèrent des produits chimiques nocifs. Cela provoque des risques pour la santé humaine.
- **Un fort impact sur l'environnement** : les déchets plastiques impactent directement la planète à cause de leur décomposition quasi-inexistante. Les plastiques mal évacués causent de la pollution terrestre et de la pollution marine créent aussi des émissions de gaz à effet de serre, provoquent la dégradation des sols, ou encore force l'épuisement des ressources naturelles. Aussi, des animaux peuvent ingérer des déchets plastiques. Selon une étude de PLOS One, **il y aurait environ 170 000 milliards de morceaux de plastique flottant à la surface des océans, soit un poids estimé à 2,3 millions de tonnes**

III.1.2.3. Obtention des fibres:

Pour obtenir les fibres plastiques on a découpé des bouteilles par un appareil, déstiné pour la production des pattes alimentaires, en morceaux de longueur ≤ 20mm et largeur ≤ 3mm.

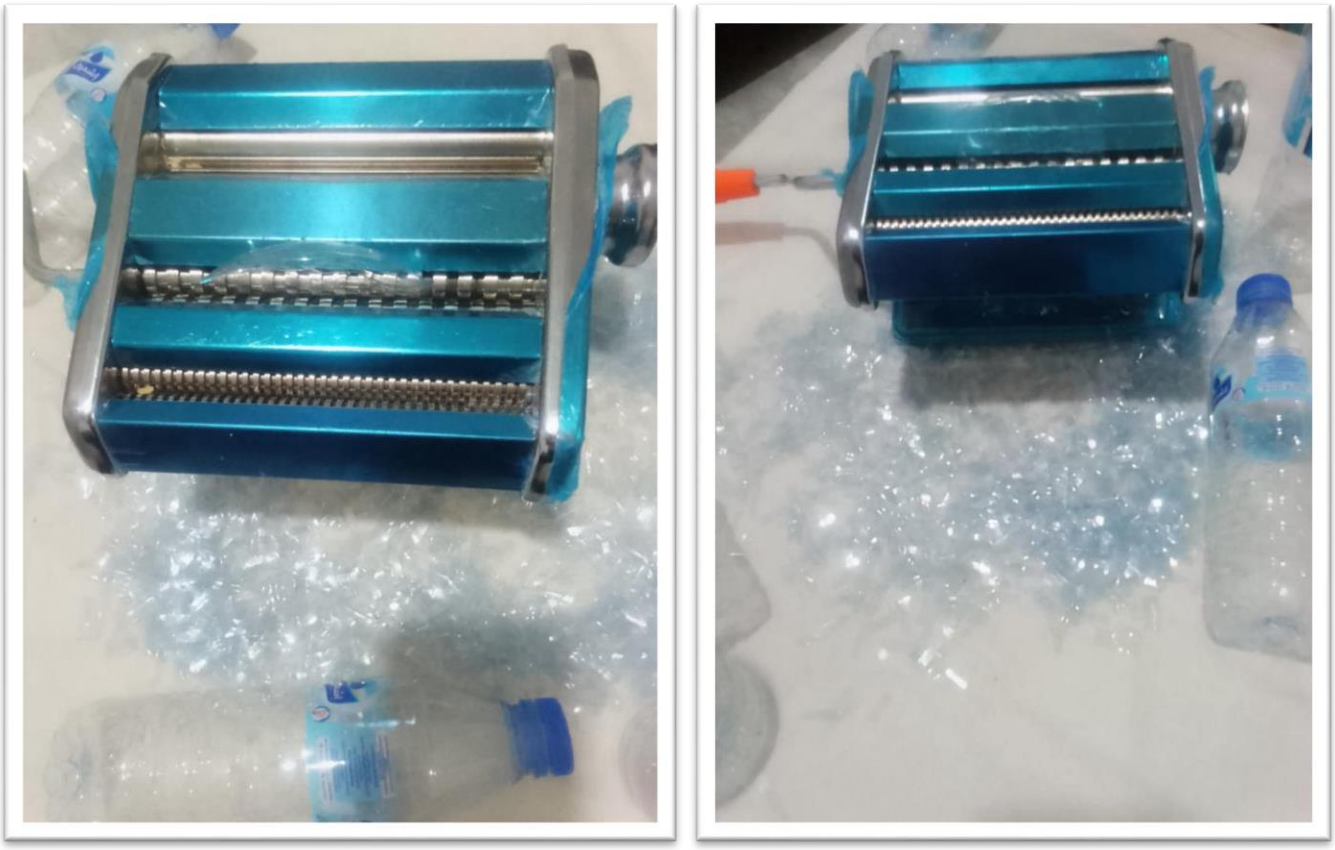


Figure 3.2. appareil de découpage des fibres

III.2. Essais réalisés

III.2.1. Essai proctor normal (NF P94-093)

Le compactage du sol permet d'utiliser ce dernier comme un matériau pour la construction des ouvrages en terre (remblais, couches de formes et d'assise pour les chaussées). Il rend -comme il est bien connu- sa résistance plus forte et sa déformabilité plus faible que les grains de ce sol soient serrés et rapprochés. Afin de détenir des remblais de bonne qualité -plus résistant et moins déformable-. Le compactage du sol est l'opération qui consiste à augmenter sa densité en place par des moyens mécaniques appropriés. Le compactage du sol permet d' augmente sa compacité, resserrer la texture des grains, diminue sa déformabilité et augmenter sa résistance. L'expérience montre que pour un sol donné, la compacité obtenue lors d'un compactage varie avec la teneur en eau et avec l'énergie de compactage.

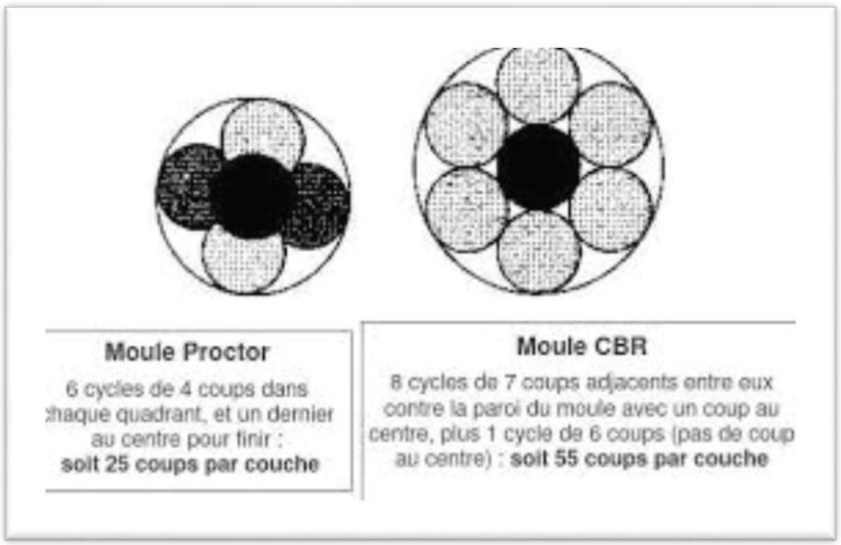


Figure 3.3:méthode de compactage.

➢ Objectif

Le compactage est fonction de quatre principales variables :

- Masse volumique du sol sec,
- Teneur en eau.
- Energie de compactage.
- Type du sol (étalement granulométrique, présence de minéraux argileux,etc)

➢ But d'essai

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

➢ Matériel utilisé

- Bacs d'homogénéisation pour préparation du matériau,
- Moules Proctor,
- Dame,
- Règle à araser,
- Disque d'espacement,
- Tamis 5 et 20mm (contrôle et écrêtagele cas échéant de l'échantillon),

- Etuve 105°C ,
- Spatule, pinceau, truelle, etc…
- Extracteur,
- Disques de papier filtre,
- Eprouvette graduée,
- Tare (mesures des teneurs en eau),
- Balance portée 20kg,
- Balance de précision,
- Burette à huile.



Figure 3.4:matériel utilisé dans l'éssai proctor normal.

➢ **Principe de la méthode**

Il consiste à compacter un échantillon du sol mis dans un moule normalisé à l'aide d'une dame normalisée, selon un processus bien défini pour bien déterminer la teneur en eau et le poids volumique sec après le compactage, l'essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à différentes teneurs en eau jusqu'à obtenir la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale. On définit ainsi plusieurs points d'une courbe (γ_d ; ω), on trace la courbe dont l'abscisse est la teneur en eau et la densité sèche en ordonnée.

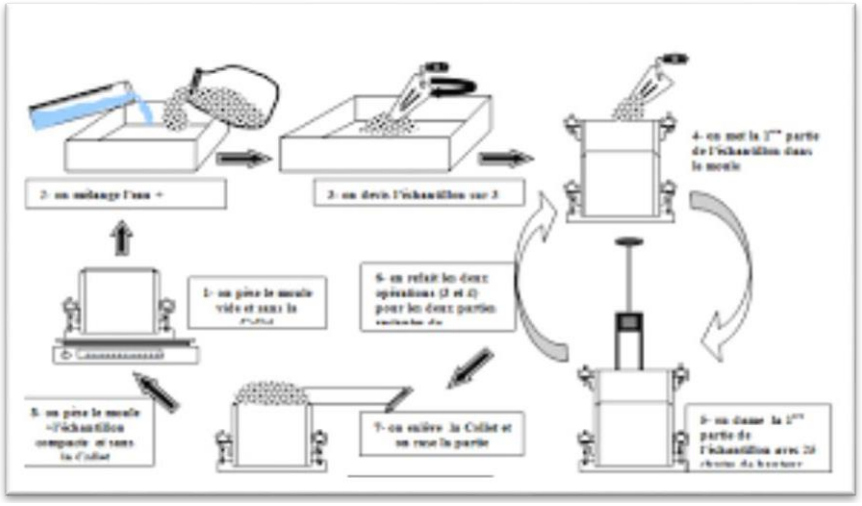


Figure 3.5. principe d'éssai proctor normal.

-

III.2.2. Essais CBR (CBR immédiat et CBR après immersion)(NF P94-078)

Il s'agit d'un essai totalement empirique et qui n'est pas relié aux caractéristiques intrinsèques (ϕ, c) du matériau étudié. Cet essai caractérise la portance d'un sol du point de vue routier. Un échantillon du sol à étudier est compacté dans un moule CBR (dont Ø=15,2cm et H=15,2cm) après avoir été amené à une teneur en eau bien définie (optimale).
Ensuite, il est poinçonné et on déduit la pression nécessaire à ce poinçonnement -les modalités du poinçonnement sont normalisées- la qualité routière du matériau est caractérisée par un indice appelé indice de portance dans les conditions de compacité et de teneur en eau de l'essai.

- **But de l'essai**

L'essai CBR est un essai de portance (aptitude du matériau à supporter les charges) des remblais et des couches de formes compactées des ouvrages routiers.Ils'agit de déterminer expérimentalement des indices portants (CBR) qui permettent: d'
- Etablir une classification des sols (GTR)
- Evaluer la traficabilité des engins de terrassement
- Déterminer l'épaisseur des chaussées (CBR augmente ⇨ épaisseur diminue)

L'essai CBR Immédiat mesure la capacité portante d'un sol en comparant sa résistance à la pénétration avec celle d'un matériau de référence. Le résultat -exprimé en pourcentage- indique la qualité du sol testé par rapport à un matériau standard.
L'essai CBR après Immersion est utilisé pour vérifier la conformité des matériaux livrés sur chantier, contrôler la qualité de la mise en œuvre des couches de chaussée.

- **Matériel utilisé**

- Moules standard CBR,
- Disques d'espacement de 151mm de diamètre et 25,5mm d'épaisseur,
- Dame Proctor modifié constitué par un mouton de 4,530kg et la hauteur de chute de 457mm actionnée manuellement ou mécaniquement,
- Disques de surcharge annulaire en plomb de 2,265kg en deux parties de diamètre extérieur de 150mm de diamètre inférieur de 27mm,
- Appareils de mesure de gonflement comprenant un trépied pouvant s'adapter sur la face supérieure de moule comparateur à 0,01mm et de 25 mm de course ;
- * un disque plat et perforé,

de diamètre légèrement inférieur àcelui du moule et muni en son centre une tige à touche réglable.
- Piston cylindrique ayant une section de19,6cm^2 et approximativement 200 mm de long.
- Presse hydraulique de 60KN pouvant assurer une vitesse de poinçonnement de1,27 mm / minute.

- Bacs de contenance de 35kg environ,
- Pelle à main, truelles, mains métalliques, pinceau,
- Disques de papier filtre correspondant aux côtés moule CBR,
- Couteau maillet, burin, marteau, règle à araser.



Figure 3.6. matériel utilisé dans l'éssai CBR

➢ **Principe d'essai**

Le principe consiste à mésurer les forces appliquées pour faire pénétrer un poinçon cylindrique à une vitesse constante :1,27 mm / min dans une éprouvette de matériau.

➢ **Mode opératoire**

- Peser l'ensemble du moule vide+embase (soit Pm)
- Prendre 5Kg de sol sec passé au tamis 5mm
- Ajouter W_{opt} de l'essai de Proctor.
- Introduire la 1ère couche de sol etcompacter en 56 coups.scarifier lasurface compactée.
- Procéder de manière identique pour les couches suivantes.

- Placer l'ensemble dans la machine et lire la force et déplacement.
- Enlever l'embase et prélever deux prises sur l'échantillon, l'une en haut et l'autre en bas, et on détermine la teneur en eau (On prendra la moyenne des deux valeurs)

Pour l'éssai CBR après immersion :L'Indice CBR aprés immersion (I. CBRi) est mesuré après 4 jours d'immersion dans l'eau.Dans ce cas, l'éprouvette est recouverte de surcharges permettant de fretter la surface de l'échantillon et l'on mesure le gonflement linéaire de l'éprouvette. L'indice recherché est la plus élevée des deux valeurs.

- **Portance du sol**

La capacité du sol à supporter les charges qui lui sont appliquées est caractéristisépar sa portance. Cette portance dépend de la nature du sol, de l'énergie de compactage et de la teneur en eau. Quelque soit le sol, sa résistance mécanique augmente avec sa densité en faisant passer plusieurs fois des engins lourds qui assurent le compactage. L'essai Proctor détermine la portance du sol et sa teneur en eau optimale. Les paramètres de portance obtenus, suite à l'essai de poinçonnement immédiat et après immersion durant quatre jours, sont déterminés comme suit:

$$I_1 = \frac{\text{Effort de penetration a 2.5 (KN)}}{13.35\ KN} \times 100$$

$$I_2 = \frac{\text{Effort de penetyration a 5 mm (KN)}}{19.93\ KN} \times 100$$

$$I_{CBR} = \max (I_{CBR\ 2.5} ; I_{CBR\ 5})$$

- **Interprétation des Résultats essai CBR:**

CBR(%)	Etat du sol	Remarque
3%<CBR<7%	Sol faible	Nécessitant une amélioration
7%<CBR<20%	Sol moyen	Acceptable pour certaines applications
20%<CBR<50%	Bon sol	Adapté à la plupart des applications
CBR>50%	Excellent sol	Idéal pour les fondations

Tableau 3.3.fourchette adaptée pour CBR.

III.2.3. Essai de cisaillement à la boite de Casagrande (NF P94-071-1)

- **Domaine d'application**

La norme NF P94-071-1 concernant les essais de cisaillement rectiligne réalisés à la boite de Casagrande, dans des conditions consolidées drainées (CD) sur tous les types de sols naturels, artificiels ou reconstitués dont la dimension maximale des grains varie entre 5 et 8 mm. Elle permet la détermination des paramètres de résistance au cisaillement effectifs des sols. La méthode d'essai consiste à placer l'éprouvette du sol dans l'appareil de cisaillement direct, puis à la soumettre à une phase de consolidation sous une contrainte normale. Les boîtes horizontales qui contiennent l'éprouvette sont ensuite désolidarisées et un déplacement à vitesse de déformation constante est imposé à l'une des deux demi-boîtes. Le déplacement horizontal et l'effort de cisaillement engendrés sont mesurés pendant le cisaillement de l'éprouvette.

- **But d'essai**

L'essai de cisaillement à la boite de Casagrande vise à déterminer les paramètres de résistance au cisaillement des sols et principalement la cohésion (c) et l'angle de frottement (φ) dans le cas d'essai consolidé drainé (CD) .

- **Matériel nécéssaire**

- Un bâti



Figure 3.7.bâti

- Une boite de cisaillement constituée de:
  - Deux demi-boites inférieure et supérieure
  - Fond et couvercle
  - Deux pierres Poreuses , deux plaques striées (drainantes ou non)
  - Vis de montage des demi-boites



Figure 3.8.boite de cisaillement

- Le système de mesure de la force verticale (Consolidation):
- Le système de mise en charge, tel que:



Figure 3.9.systéme de chargement

Si on place une charge de 7kg sur le plateau, la charge sur la boite est de 70kg.

Le ystème de mesure de l'effort de cisaillement



Figure 3.10.systéme de mésure de l'effort de cisaillement.

Il s'agit d'un anneau dynamométrique dont le tableau d'étalonnage est fourni
La vitesse de déplacement de la demi-boite inférieure est assurée par une boite de vitesses. La vitesse choisie pources essais est de 2 mm/min.

- **Paramètres à déterminer**

Angle de frottement interne effectif **φ'** au pic et résiduel

Cohésion effective **c'** au pic et résiduelle

- **Principe de la méthode**

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans une boite de cisaillement constituée de deux demi-boites supérieure et inférieure indépendantes séparées par un plan constitue le plan de glissement correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette.
L'essai consiste à:
* L'pplication d'un effort vertical (N) sur la face supérieure de l'éprouvette maintenu constant pendant la durée d'essai.
* Produire sous l'effort N un cisaillement dans l'éprouvette selon le plan de séparation des deux demi-boites en imposant un déplacement relatif à une vitesse constante, ceci est après la consolidation de l'éprouvette.
* L'effort T de cisaillement correspondant doit ètre mesuré**.**

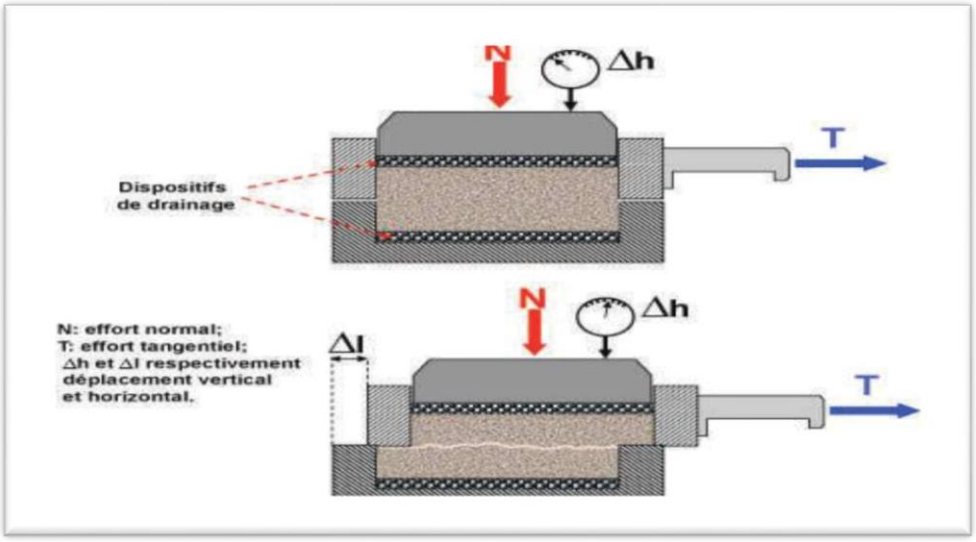


Figure 3.11.principe de méthode de cisaillement.

- **Mode opératoire**

- Désserrer les vis de fixation de l'anneau dynamométrique**.**
- Puis assembler les deux demi-boites en plaçant le fond, la pierre drainante et la plaque striée.
- Prélever à l'aide de la trousse coupante un échantillon du sol puis le peser. Cette pesée peut servir à calculer la masse volumique du sol ultérieurement.
- Placer l'échantillon dans la boite
- Tasser avec prudence l'échantillon à l'aide d'un pilon (cette opération sera effectuée si le sol a été prélevé en profondeur)
- Compléter le montage de la boite , la plaque striée supérieure, la pierre poreuse et le couvercle.
- La boite est placée dans le bâti, la demi-boite supérieure étant solidaire de l'anneau dynamométrique de mesure de l'effort de cisaillement **T.**
- Assurer le contact de doigt de mise en charge avec le couvercle en amenant le système de mise en charge verticale au droit de la boite.
- Placer une charge sur le plateau
- Libérer la charge en abaissant le plateau, alors on commence la consolidation du sol.
- Combler les jeux en serrant les vis de fixation de l'anneau dynamométrique.
- Désserrer et retirer les vis d'assemblage de la boite (celles marquées d'un point rouge).
- L'essai commence.

Les valeurs indiquées par l'anneau dynamométrique sont en général relevées chaque durée déterminée précédemment.

- Enfin l'essai peut s'arrêter automatiquement.

- **Interprétation des résultats**

Après obtenir les résultats de chaque essai,

On trace tout d'abord le graphe déplacement horizontal de la boite en abscisse /contrainte de cisaillement (τ**=T/A)** en ordonnée.

A partir des points de mésure (σ_1, τ_1- σ_2,τ_2 - ....) on trace la droite intrinsèque du sol en déduisant les paramétres: la cohésion (**c**) et l'angle de frottement **(φ)**.

Chapitre IV: Résultats et interprétations

IV.1. Introduction:

Le présent chapitre présente et interprète les différents résultats obtenus lors des essais réalisés en laboratoire et éffectués sur des échantillons du sol normal et traité (taux des fibres 1% du poids du sol), comme suit:

IV.2. Essai Proctor normal:

Après réalisation des éssais de proctor normal afin de la détermination des valeurs optimale et maximale respectivement qui concernent la teneur en eau et le poids volumique sec (densité sèche),pour le sol normal et le sol traité, on a obtenu les résultats suivants:

		γ_d (g/cm^3)	
Essai N°	**W (%)**	**Sol normal**	**Sol traité**
01	14	1.407	1.454
02	15	1.422	1.521
03	16	1.434	1.538
04	18	1.449	1.491
05	19	1.441	1.465
06	20	1.420	/
07	22	1.375	/

Tableau 4.1.résultats d'éssai Proctor normal pour sol normal et sol traité;

On trace les courbes teneur en eau/densité sèche pour les sols normal et traité

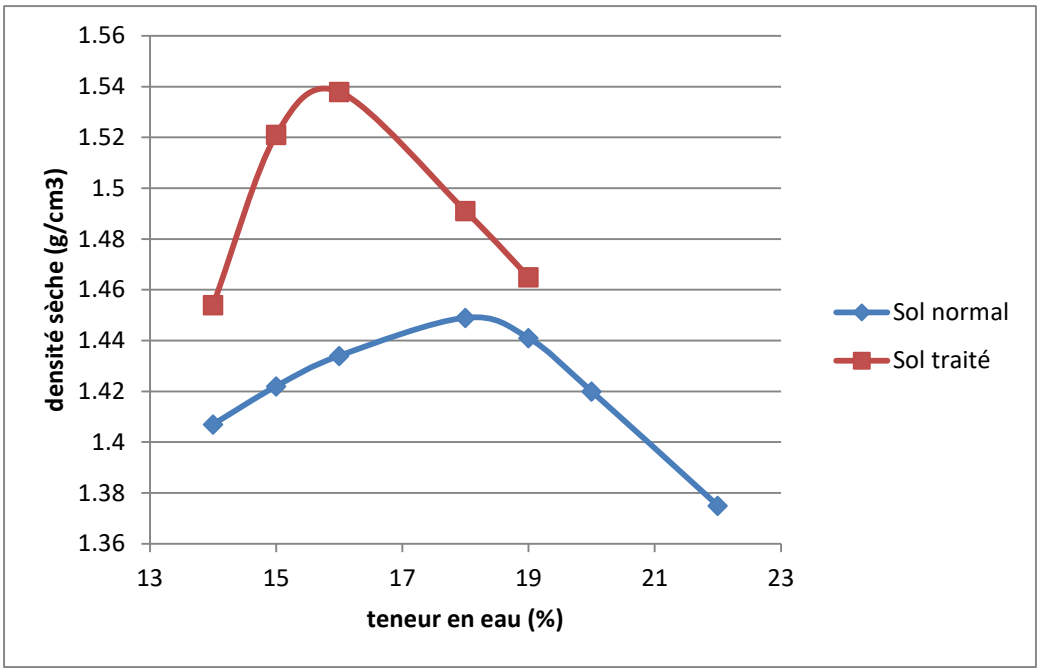


Figure 4.1.comparaison des courbes densité sèche /teneur en eau.

D'après les résultats et les courbes on constate que:

Pour le sol normal:

- La densité sèche maximale est:1.449 g/cm^3
- la teneur en eau optimale est:18%

Pour le sol traité :

- la densité sèche maximale est:1.538 g/cm^3
- la teneur en eau optimale est:16%

➢ **Interprétation des résultats:**

D'après les résultats obtenus et les courbes tracées on observe qu'il y'a une augmentation ***(6.142%)*** de la densité sèche et une diminution ***(11.111%)*** de la teneur en eau pour le sol traité par rapport au sol non traité qui signifie qu'il y'a une influence positive de poucentage des fibres plastiques ajouté.

IV.3. Essai CBR(Californian Bearing Ratio)

Les essais éffféctués sur des échantillons des sols normal et traité nous a donné les resultats ci-aprés comme suit:

IV.3.1. Essai de Portance Immédiat:

On a obtenu les resultats représentés dans le tableau suivant:

Enf(mm)	Force(KN)S.N.T	Force(KN)S.N.T
1.25	0.1041	1.1533
2.00	2.2499	3.1003
2.50	3.3333	4.3301
5.00	8.7982	9.7192
7.50	12.8389	14.2483
10.00	15.8683	17.4369

Tableau 4.2:résultats d'éssai de portance immédiat.

On trace les courbes enfoncement/force de pénétration pour les sols normal et traité

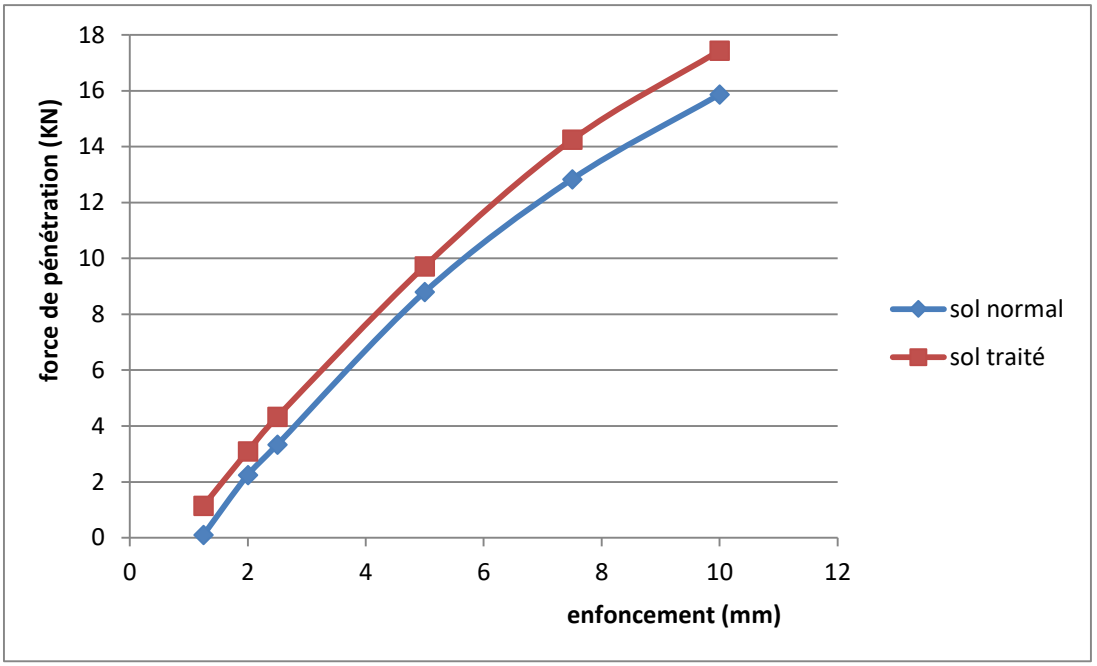


Figure 4.2:comparaison des courbes force de pénétration./ enfoncement.

IV.3.1.1. Calcul d'Indice de portance immédiat:

a. Sol non traité:

$$IPI_{2.5}=(3.3333/13.35)*100=24.96\%$$

$$IPI_{5}=(8.7982/19.93)*100=44.15\%$$

Donc IPI= 44.15%

b. Sol traité:

$$IPI_{2.5}=(4.3301/13.35)*100=32.44\%$$

$$IPI_{5}=(9.7192/19.93)*100=48.76\%$$ Donc IPI= 48.76%

➢ **Interprétation des résultats:**

D'après les résultats obtenus et les courbes tracées on observe qu'il y'a une augmentation ***(10.442%)*** d'IPI pour le sol traité par rapport au sol non traité qui signifie qu'il y'a une influence positive de poucentage des fibres plastiques ajouté.

IV.3.2. Essai CBR Immédiat

Les resultats sont représentés dans le tableau suivant

Enf(mm)	Force(KN)S.N.T	Force(KN)S.N.T
1.25	0.2706	1.7065
2.00	2.6457	4.4197
2.50	4.6666	6.1961
5.00	11.4115	12.4319
7.50	16.6905	17.9730
10.00	19.1054	21.2413

Tableau 4.3:résultats d'éssai CBR Immédiat.

On trace les courbes enfoncement/force de pénétration pour les sols normal et traité

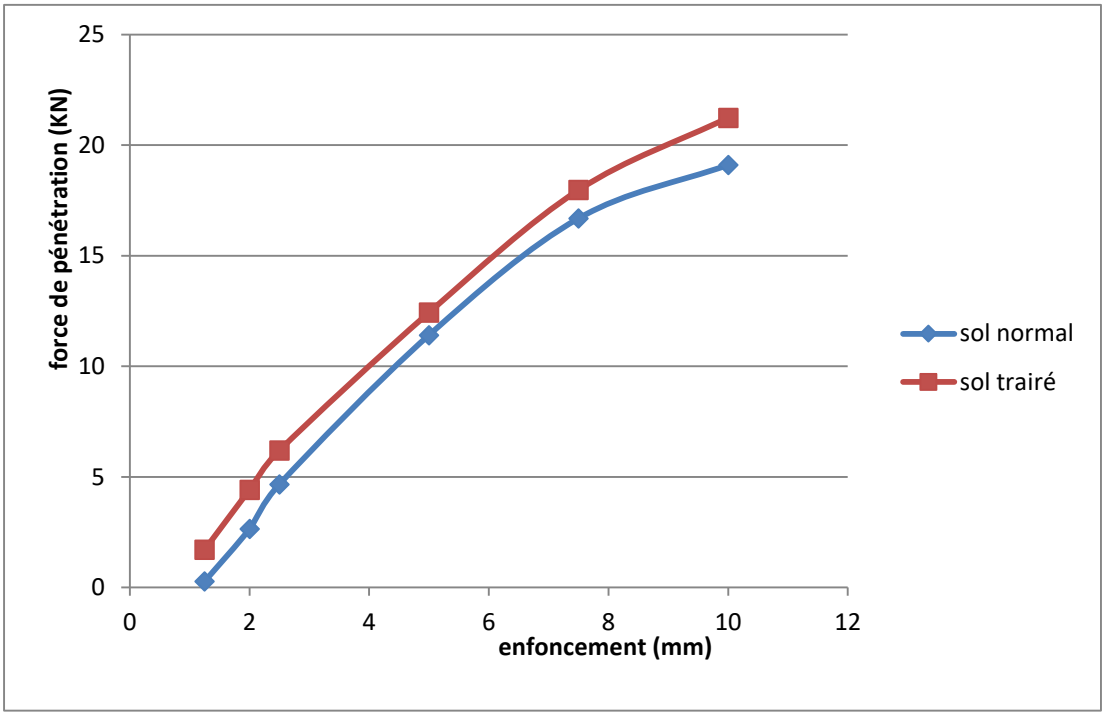


Figure 4.3:comparaison des courbes force de pénétration./ enfoncement.

IV.3.2.1. Calcul d'Indice CBR immédiat:

a. Sol non traité:

$$ICBRI_{2.5}=(4.6666/13.35)*100=34.95\%$$
$$ICBRI_{5}=(11.4115/19.93)*100=57.25\%$$

Donc ICBR immédiat= 57.25%

b. Sol traité:

$ICBRI_{2.5}=(6.1961/13.35)*100=46.41\%$

$ICBRI_{5}=(12.4319/19.93)*100=62.38\%$

Donc ICBR immédiat= 62.38%

➢ **Interprétation des résultats:**

D'après les résultats obtenus et les courbes tracées on observe qu'il y'a une augmentation ***(8.943%)*** d'Indice CBR Immédiat pour le sol traité par rapport au sol non traité qui signifie qu'il y'a une influence positive de poucentage des fibres plastiques ajouté.

IV.3.3. Essai CBR aprés immersion

Les resultats sont représentés dans le tableau suivant:

Enf (mm)	Force (KN) S.N.T	Force (KN) S.N.T
1.25	1.9475	3.4374
2	5.0945	6.5084
2.5	6.5326	7.9179
5	12.7856	14.4374
7.5	16.5508	19.4809
10	19.1533	23.2103

Tableau 4.4:résultats d'éssai CBR après Immersion

On trace les courbes enfoncement/force de pénetration

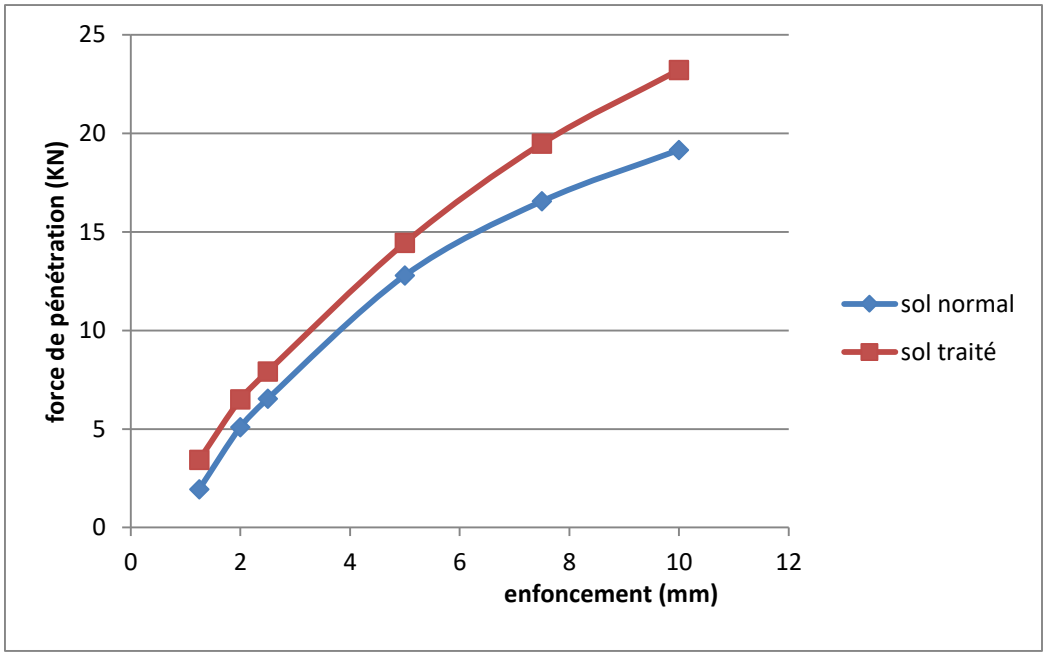


Figure 4.4: comparaison des courbes force de pénétration./ enfoncement.

IV.3.3.1. Calcul d'Indice CBR après immersion:

a. Sol non traité:

$ICBR_{2.5}=(6.5326/13.35)*100=48.93\%$

$ICBR_{5}=(12.7856/19.93)*100=64$

Donc ICBR après immersion = 64.15%

b. Sol traité:

$ICBR_{2.5}=(7.9179/13.35)*100=59.31\%$ donc

$ICBR_5$=(14.4374/19.93)*100=72.44%

Donc ICBR après immersion=72.44%

- **Interprétation des résultats:**

D'après les résultats obtenus et les courbes tracées on observe qu'il y'a une augmentation ***(12.94%)*** d'Indice CBR après Immersion pour le sol traité par rapport au sol non traité qui signifie qu'il y'a une influence positive de poucentage des fibres plastiques ajouté.

IV.3.4. Synthése des résultats:

sol	Non traité	Traité
IPI	44.15 %	48.76 %
ICBR immédiat	57.25 %	62.37 %
ICBR après immersion	64.15 %	72.44 %

Tableau 4.5:résumé des résultats des éssais IPI,CBR Immédiat et CBR après Immersion.

IV.3.5. Conclusion:

L'ajout du pourcentage des fibres plastiques a influé positivement sur les caractéristiques du sol.

IV.4. Essai de Cisaillement:

IV.4.1. Courbes et interprétations:

D'après les résultats obtenus, on peut tracer les diagrammes suivants:

- Courbes: contrainte de cisaillement (KPa) / déplacement horizontal (mm),
- Courbes: tassement (mm) / déplacement horizontal (mm).

IV.4.1.1. Courbes contrainte de cisaillement / déplacement horizontal:

La courbe contrainte de cisaillement / déplacement horizontal permet d'interpréter le comportement d'un matériau sous l'action de forces de cisaillement. Enobservant la forme de la courbe, on peut déterminer différentes caractéristiques du matériau, notamment sa résistance au cisaillement, son comportement élastique ou plastique, et son potentiel de rupture

σ_n=*50KPa*

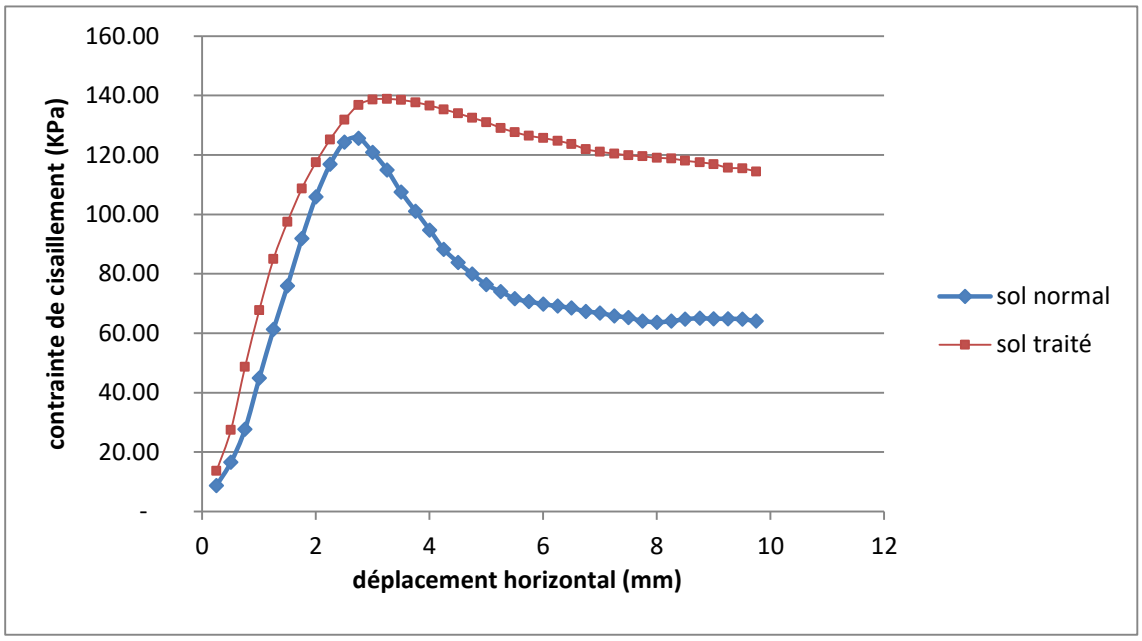


Figure 4.5. comparaison des courbes contrainte de cisaillement/déplacement horizontal.

σ_n=100KPa

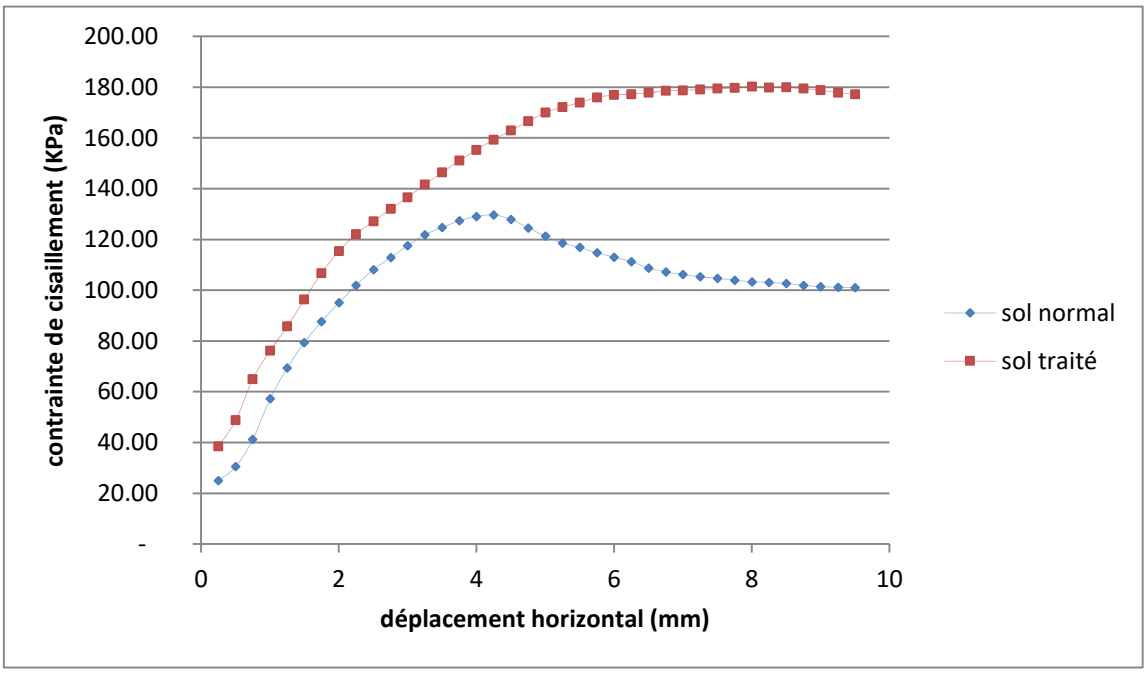


Figure 4.6. comparaison des courbes contrainte de cisaillement/déplacement horizontal.

σ_n=200KPa

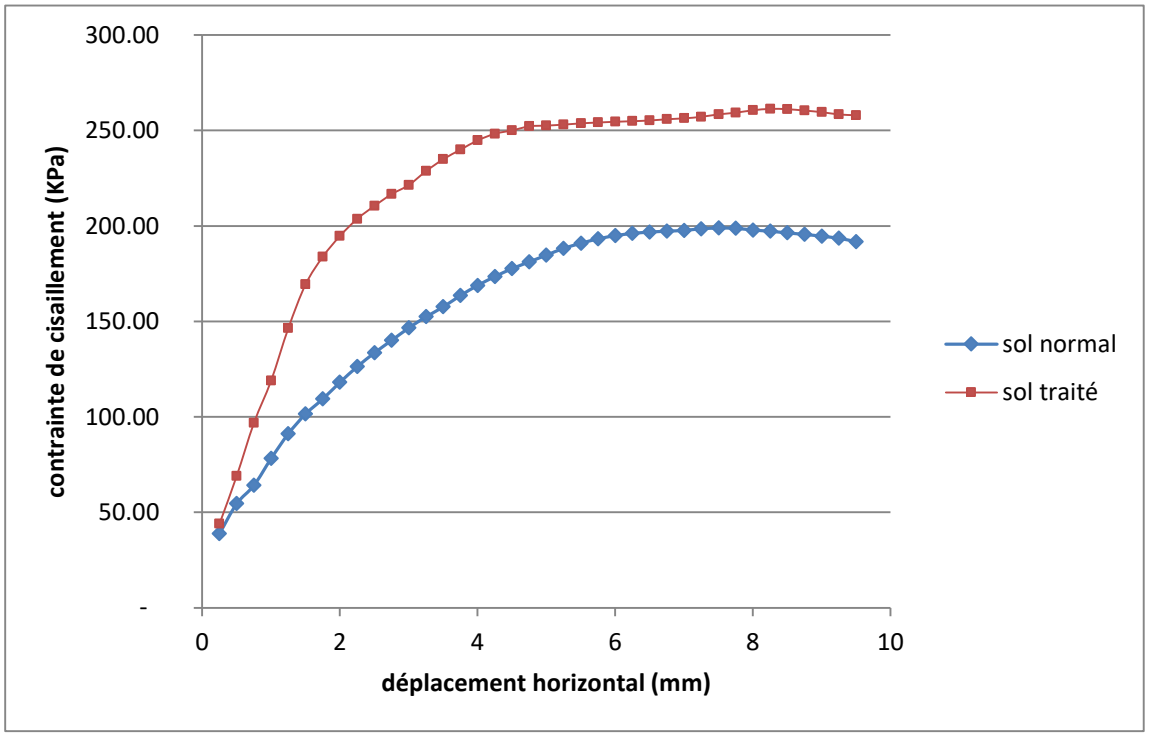


Figure 4.7. comparaison des courbes contrainte de cisaillement/déplacement horizontal.

➢ **Interprétation des courbes:**

- Phase élastique (segment linéaire):

La contrainte de cisaillement augmente linéairement avec le déplacement horizontal.Cela indique que le matériau subit une déformation élastique, c'est-à-dire qu'il retournera à sa forme originale une fois la contrainte supprimée. La pente de ce segment linéaire permet de déterminer le module de cisaillement du matériau.

- Phase de transition (segment non linéaire):

La contrainte de cisaillement continue d'augmenter avec le déplacement, mais plus lentement que dans la phase élastique. Cela peut indiquer le début d'une déformation plastique ou l'apparition de micro-cracks.

- Phase de rupture (point de rupture):

La contrainte de cisaillement atteint son maximum et commence à diminuer avec l'augmentation du déplacement.Cela indique que le matériau a atteint sa limite de résistance au cisaillement et qu'une rupture peut se produire. Le point de rupture permet de déterminer la contrainte de cisaillement maximale que le matériau peut supporter.

- Phase post-rupture (décroissance de la contrainte):

Après la rupture, la contrainte de cisaillement diminue avec l'augmentation du déplacement.Cela peut indiquer la propagation d'une fissure ou la création de nouvelles fissures.

➢ **Comparaison des courbes:**

D'après l'observation en comparant les courbes, on peut observer une augmentation de la résistance au cisaillement et une réduction des déformations pour le sol traité par rapport au sol normal. Ceci indique une amélioration des propriétés mécaniques dusol suite au traitement éffectué.

IV.4.1.2. Les courbes tassement / déplacement horizontal:

Les courbes tassement/déplacement horizontal d'un essai de cisaillement nous conduisent à mieux comprendre le comportement du sol lors de la déformation. En obtenant les informations sur sa résistance au cisaillement, sa rupture et son comportement à différentes phases de déformation.

σ_n=50KPa

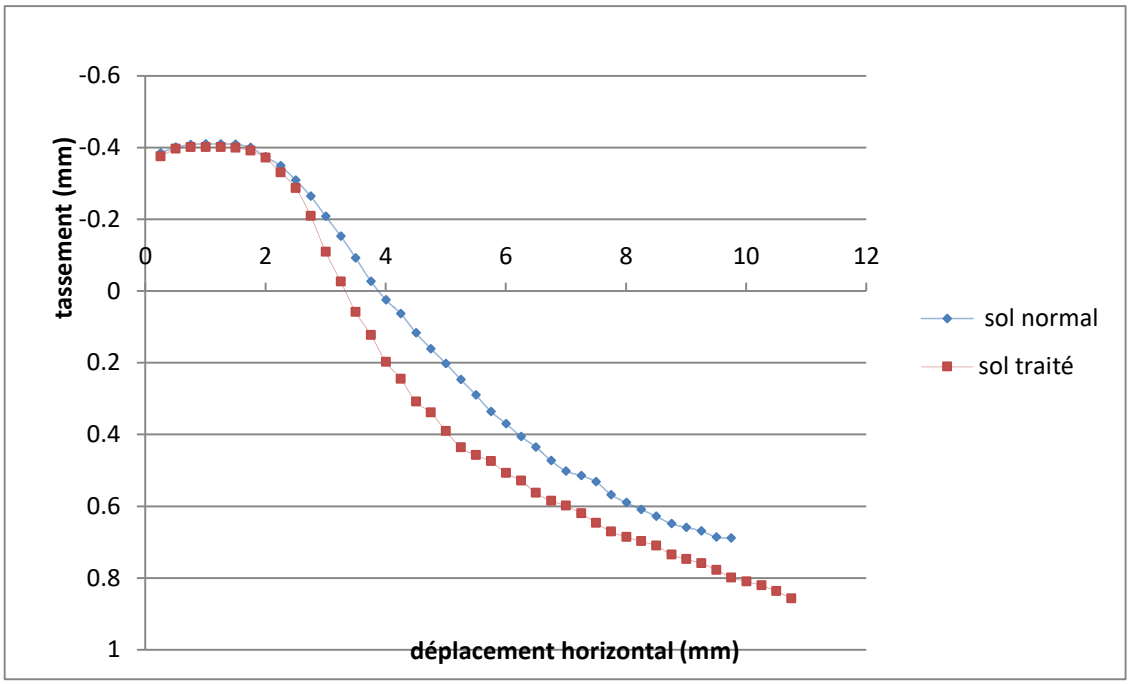


Figure 4.8. comparaison des courbes tassement/déplacement horizontal.

σ_n=100KPa

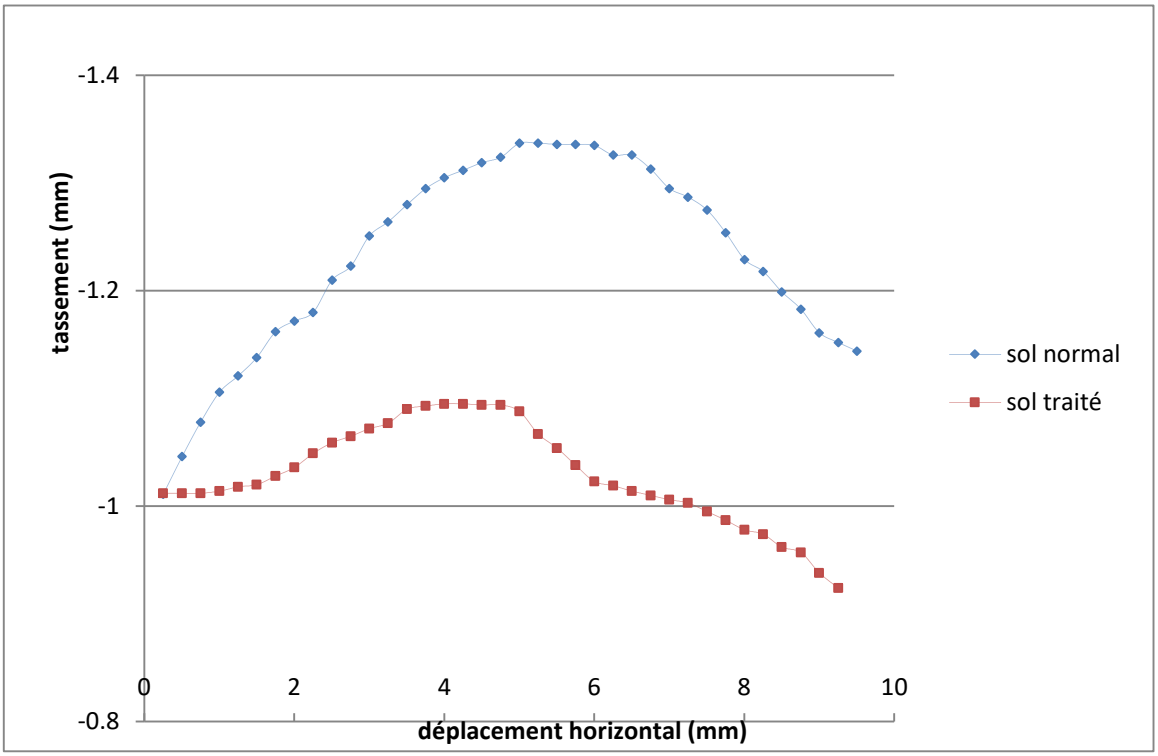


Figure 4.9. comparaison des courbes tassement/déplacement horizontal.

σ_n=200KPa

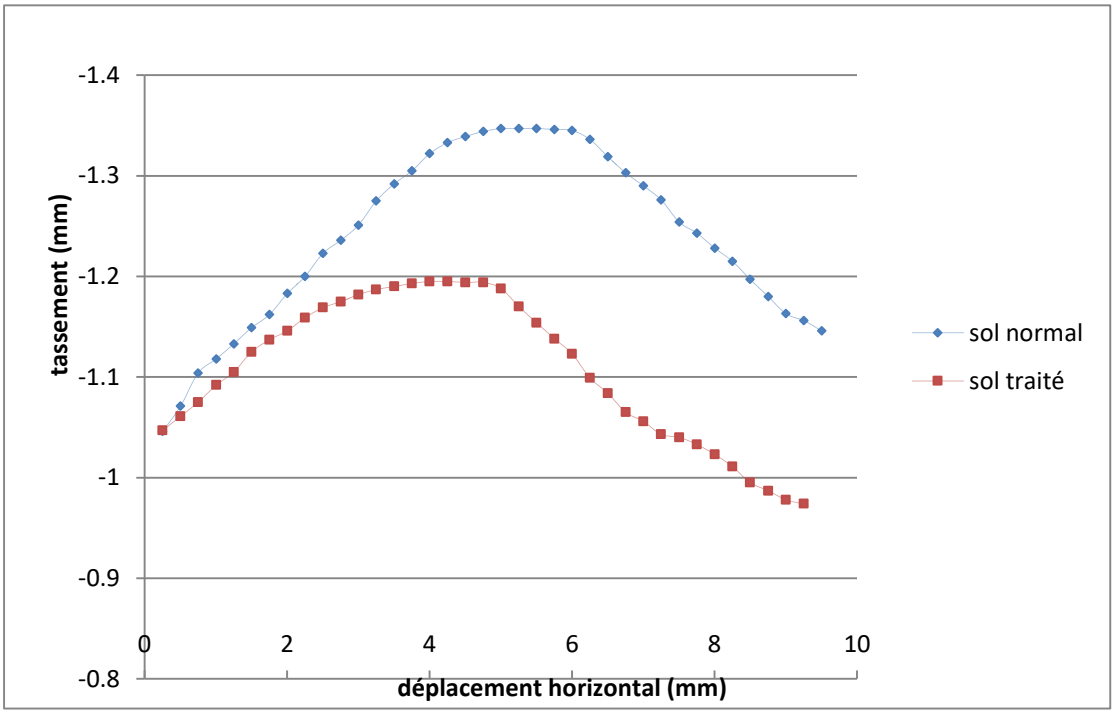


Figure 4.10. comparaison des courbes tassement/déplacement horizontal.

- **Interprétation des courbes:**

- La phase élastique:

La courbe est quasi linéaire, les tassements sont proportionnels aux déplacements.

- La phase plastique:

La courbe devient non linéaire, indiquant que le sol commence à se déformer de manière permanente.

- La rupture:

La contrainte de cisaillement atteint un pic, suivi d'une diminution, indiquant la rupture du sol. Le déplacement horizontal est alors maximal.

- Le déplacement horizontal:

Le déplacement horizontal (ou déformation) permet de déterminer la largeur du plan de rupture et le niveau de déformation avant la rupture.

- Le tassement:

Le tassement vertical (ou compression) indique la déformation du sol en direction de la contrainte normale.

- **Résultats obtenus:**

D'après les *figures 4.5* à *4.10* on déduit les résultats suivants:

Résultats au pic	Sol non traité			Sol traité		
Contrainte normale (KPa)	*49*	*98*	*196*	*49*	*98*	*196*
Contrainte cisaillement (KPa)	*126*	*130*	*199*	*139*	*180*	*261*
Déplacement horizontal (mm)	*2.75*	*4.25*	*7.50*	*3.25*	*8.00*	8.25
Tassement (mm)	*-0.264*	*-1.312*	*-1.254*	*-0.026*	*-0.978*	*-1.011*

Tableau 4.6. résultats au pic d'essai de cisaillement.

D'après ***le tableau 4.6*** on trace la droite intrinsèque (courbe contrainte de cisaillement/contrainte normale) pour les deux sols

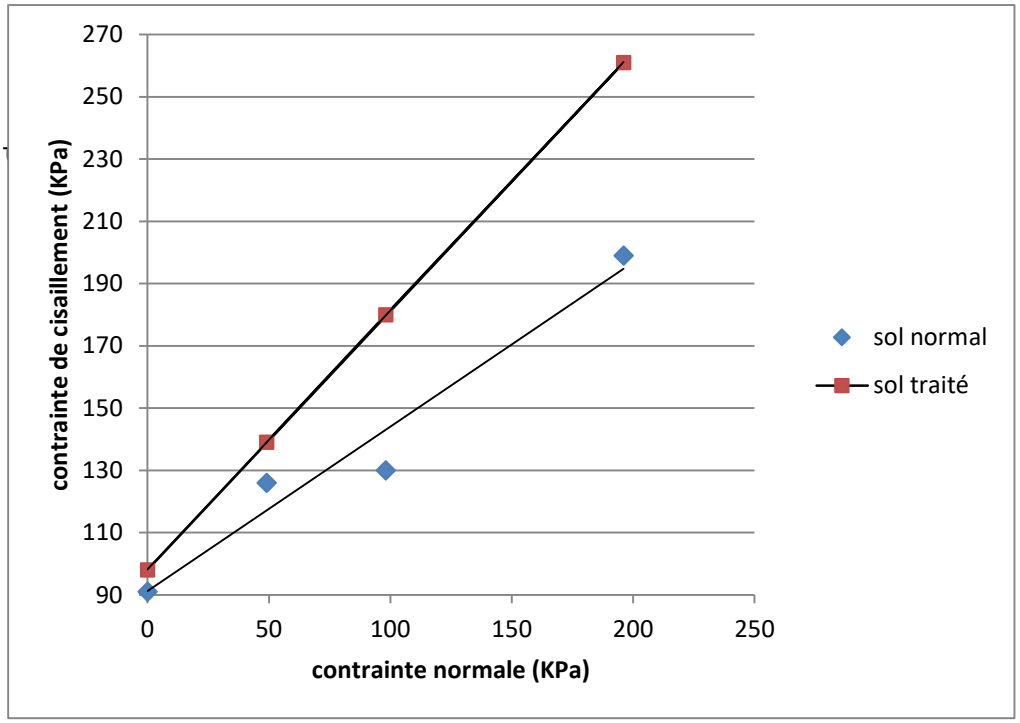


Figure 4.11.droite intrinsèque.

D'après ***la figure IV.11*** on peut déduire les résultats suivants:

Désignation	Sol non traité	Sol traité
Cohésion (KPa)	*91.0*	*98.0*
Angle de frottement (°)	*27.8*	*39.8*

Tableau 4.7 .résultats des paramètres mécaniques d'essai de cisaillement.

➢ Interprétation des résultats:

D'après les résultats déduits on constate qu'ily'a une augmentation ***(7.692%)*** pour la cohésion et une augmentation ***(43.165%)*** de l'angle de frottement pour le sol traité par rapport au sol normal.

➢ conclusion:

L'ajout du pourcentage des fibres plastiques a modifié les valeurs des paramétres du sol. Ceci indique une amélioration des propriétés mécaniques du sol suite au traitement éffectué.

Conclusion générale

La protection d'environnement est une résponsabilité cruciale dont la participation de tout le monde pour les futures générations, pour atteindre cet objectif il faut incluire tous les domaines et les secteurs sans exception.

Les déchets plastiques (bouteilles d'eau, jus, …, les différents emballages, ... etc) jetés partout parmi les facteurs qui ont une importante influence sur l'environnement des ètre vivants.

Notre travail consiste à valoriser l'utilisation des fibres plastiques dans le traitement des sols et tester leurs influences sur les caractéristiques et les propriétés de ce dernier afin d'adapter cette technique comme une solution pour la lutte contre les dépots énormes des déchets plastiques.

Par l'ajout d'un taux de 1% des fibres plastiques de poids du sol on a arrivé à apporter les conclusions suivantes :

» Proctor normal

- Une densité séche maximale supérieure à celle du sol témoin allant
- Une teneur en eau optimale inférieure à celle du sol témoin.

» Essai de portance immédiat

- Augmentation d'indice de portance immédiat par rapport à celui du sol témoin,

» Essai CBR immédiat

- Augmentation d'indice CBR immédiat par rapport à celui du sol témoin,

» Essai CBR après immersion

- Augmentation d'indice CBR après immersion par rapport à celui du sol témoin,

» Essai de cisaillement à la boite de casagrande

- Déminution de tassement par rapport à celui du sol témoin,
- Augmentation des caractéristiques mécaniques (φ et C) par rapport à celles du sol témoin.

Enfin d'après les résultas obtenus suite aux éssais réalisés on constate que les fibres plastiques ont démontré leur efficacité et pour cela on peut les adapter comme un matériau de traitement pour l'amélioration des caractéristiques physique et mécanique du sol.

Références bibliographiques

1- Étude de la stabilité d'un remblai routier de sol fin,

2- Amélioration des sols - Université Badji Mokhtar-Annaba,

3- Recommandations pour le diagnostic et le suivi des remblais,

4- Mémoire de Master - université 8 Mai 1945 Guelma,

5- Différents méthodes de traitement et d'amélioration des sols,

6- Thème: Mémoire le traitement des sols pour la couche de forme- Université Badji Mokhtar –Annaba,

7- Mémoire de Master - université 8 Mai 1945 Guelma,

8- Amélioration des propriétés géotechniques d'un sol argileux,

9- Stabilisation mécanique des talus routiers,

10- Cours géotechnique routière élaboré par Dr: BOUFARH Rafik – univ Tebessa –

11- Cours rhéologie des sols élaboré par Prof: ROUILI Ahmed - univ Tebessa –

12- Essai proctor – Free,

13- Cisaillement d'un sol - Boite de Casagrande,

14- Mémoire de Master Traitement et renforcement d'un sol fin par différentes techniques d'amélioration.

15- Traitement et renforcement d'un sol fin par différentes techniques d'amélioration.

16- Comportement mécanique d'un mur de soutènement ancré remblayé,

17- Amélioration d'un sol argileux par le laitier de haut fourneau,

18- Mécanique des sols I - Université Ahmed Draia-Adrar,

19- Plastique : matériau utile mais dangereux – Urbyn,

20- Analyse numérique de la stabilité des pentes sous charge,

21- Amélioration des sols,

22- Guide des terrassements des remblais et des couches de forme,

23- Traitement chimique d'un mélange tuf/déchet de brique broyés.

24- Stabilisation des sols problématiques à l'aide d'additifs,

25- Rôle de la compacité dans les couches de chaussée -UMMTO-