

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 جيلالي بونعامة خميس مليانة
Université Djilali Bounaama De Khemis Miliana
كلية علوم الطبيعة و الحياة و علوم الأرض
Faculte des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre
قسم علوم الأرض
DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA TERRE



Mémoire

MASTER PROFESSIONNEL

Filière : SCINCES DE LA TERRE

Spécialité : GEOTECHNIQUE

Thème

Etude de l'impact du renforcement de la couche de forme dans
les chaussées par des biomatériaux – fibre de Dattier

Présenté par :

Mlle ZAMOUM Loubna

Soutenu publiquement le : 24/ 07 / 2019 devant le jury composé de :

| | | | |
|-----------------|-----|-------|---------------|
| Mme FILALI. M | MAA | UKM | Présidente |
| Mr Gadouri. H | MAB | UKM | Examineur |
| Mme Debiache | MCB | USTHB | Examinatrice |
| Mme Chouchane K | MCB | UKM | Promotrice |
| Mme Belhadj F/Z | MAA | UKM | Co-promotrice |

Année Universitaire : 2018 / 2019

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على اشرف الانبياء والمرسلين نبينا محمد وعلى آله وصحبه وسلم

قال الله تعالى :

(قُلْ إِنَّ صَلَاتِي وَنُسُكِي وَمَحْيَايَ وَمَمَاتِي لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ * لَا شَرِيكَ لَهُ وَبِذَلِكَ أُمِرْتُ وَأَنَا أَوَّلُ الْمُسْلِمِينَ)

[الأنعام: 162، 163].

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

A Celle qui m'a donné la vie et l'envie de vivre, à celle qui m'a entouré de sa tendresse, à celle qui a attendu avec patience les fruits de sa bonne éducation, à ma très chère mère Nacéra.

A l'âme de mon père Ahmed décidé trop tôt « 29 Mai 1997 », cet humble geste est une preuve de reconnaissance de la part de sa fille qui a toujours prié pour que le dieu l'accueil dans son vaste paradis.

A mon frère Ghani, et sa femme Saadia et ses enfants Rytedj et Anes.

A ma Sœur Amel, et son mari Djamel et ses enfants Abdou et Adem.

A tous mes amis (es) Bessma, Emylie, Imen, Amel, samia, Hadjer.

A tout mes cousins et cousines sans exception en particulier Amina et Wiwi, et a toute la famille Zamoum.

Loubna ZAMOUM



Remerciement

Je voudrais exprimer ma gratitude à Mme Chouchane Karima et Mme Belhadj F/Z mes promotrices de thèse, pour m'avoir confié ce travail. Je leur suis très reconnaissante pour la qualité des nombreux conseils, leur attention, et bien évidemment pour les connaissances et leur expérience de la recherche qu'ils ont su me transmettre, et qui j'en suis sûre me seront bénéfiques dans les années futures.

Un grand merci également à Mr le directeur du Laboratoire Central des travaux publics unité de Bouira et le Directeur de laboratoire National de l'habitat et de la Construction unité oued Semar wilaya d'Alger pour m'avoir permis d'utiliser le matériel du laboratoire.

Ce travail n'aurait pas pu se faire sans l'aide de toutes les personnes qui ont pris de leur temps pour analyser mes échantillons. Je remercie donc tous les techniciens et les ingénieurs du LCTP Bouira et LNHC Oued semar Alger notamment : EL Hadj, Omar, ILYes, Redouane, Yamina, Rabah, Djamel en particulier Mr Machani Kamel et Mr Djeribia Moussa Amine.

J'adresse ma reconnaissance à tous les membres du jury pour m'avoir fait l'honneur d'accepter d'évaluer ce travail : Mme Filali Mira la présidente, Mme Debiache et Mr Gadouri hamid pour avoir été les examinateurs.

Enfin, je remercie tous ceux qui m'ont permis de traverser cette longue période.

ملخص

من أجل المساهمة في خفض تكاليف البناء ، والحفاظ على البيئة وضمان الاستدامة الجيدة لمشاريع الطرق ، فكرة إعادة استخدام التربة المتواضعة لتحقيق طبقات سطح الطريق يصبح ضرورة ، من ناحية أخرى ، فإن تقوية التربة بالمواد البيئية ذات الأصل المحلي هو الحل الأمثل. تم استخدام ألياف نبات النخيل لتحسين الخصائص الميكانيكية لهذا النوع من التربة.

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة تأثير محتوى ألياف النخيل بنسب مئوية مختلفة (3%، 5%، 7%) على الخصائص الميكانيكية تربة مأخوذة من بلدية تجلابين بولاية بومرداس. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن السلوك الميكانيكي يتحسن في كل مرة تزداد فيها نسبة إضافة الألياف لجميع الاختبارات التي أجريت.

الكلمات المفتاحية : تثمين ، الطبقة العليا، الطرق، شجرة النخيل، التحسين

Résumé

Afin de contribuer à la réduction des coûts de construction, à la préservation de l'environnement et l'assurance d'une bonne durabilité des projets routiers, l'idée de la réutilisation des sols médiocres pour la réalisation des couches de formes des chaussées routières devient une nécessité, d'autre part le renforcement des sols par des matériaux écologiques d'origine locale est une solution optimale. Des fibres de feuilles de Palmier (Dattier) ont été utilisées pour l'amélioration des caractéristiques mécaniques de ce type de sols.

L'objectif principal de ce travail est l'étude de l'effet de la teneur en fibres de palmier (Dattier) additionnées avec différents pourcentages (3%, 5%, 7%) sur les caractéristiques mécaniques d'un sol prélevé à partir de la commune de Tidjellabine wilaya de Boumerdes.

Les résultats obtenus montrent que le comportement mécanique améliore à chaque fois qu'on augmente le pourcentage de l'ajout de fibre pour tous les essais réalisés.

Mots clés : valorisation, couche de forme, chaussées routières, Palmier (Dattier), amélioration.

Abstract

In order to contribute to the reduction of construction costs, the preservation of the environment and the assurance of a good sustainability of road projects, the idea of the reuse of mediocre soils for the realization of road surface layers becomes a necessity, on the other hand the strengthening of the soil by ecological materials of local origin is an optimal solution. Palm leaf fibers (Dattier) have been used to improve the mechanical characteristics of this type of soil.

The main objective of this work is the study of the effect of the Dattier palm fiber content at different percentages (3%, 5%, and 7%) on the mechanical characteristics of a soil sample taken from a tree. site located in the municipality of Tidjellabine wilaya de Boumerdes.

The results obtained show that the mechanical behavior improves each time the percentage of the addition of fiber is increased for all the tests carried out.

Key words: valorization, top layer, road pavements, Palm (Dattier), improvement.

Table des matières

Dédicace

Remerciement

Résumé

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des annexes

Liste des notations

| | |
|--|----|
| Introduction Générale | 1 |
| SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE..... | 3 |
| CHAPITRE I LES CHAUSSEES ET DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE DE FORME..... | 4 |
| I.1 Introduction..... | 5 |
| I.2 Définition de la chaussée | 5 |
| I.3 Les constituants de la chaussée et rôle des couches | 5 |
| I.4 Les paramètres géotechniques des sols et le compactage..... | 6 |
| I.4.1 Classification GTR et norme NF P 11-300..... | 6 |
| I.4.1.1 Les paramètres de nature | 7 |
| I.4.1.2 Les paramètres de comportement mécanique..... | 9 |
| I.4.1.3 les paramètres d'état | 9 |
| I.4.1.4 Compactage | 10 |
| I.5 La couche de forme et son dimensionnement..... | 11 |
| I.5.1 Définition et nature de la couche de forme..... | 11 |
| I.5.1.1 Les objectifs et conception de la couche de forme | 12 |
| I.5.1.2 Matériaux de couche de forme | 12 |
| I.5.1.3 Techniques de préparation et de protection des matériaux pour emploi en couche de forme..... | 12 |
| I.6.1 Classement des plates-formes pour le dimensionnement des structures de chaussée | 14 |
| I.6.1.1 Portance à long terme de la plate-forme | 14 |
| I.6.1.2 Règles de sur classement de portance des plates-formes..... | 15 |
| I.6.1.3 Classement mécanique de la CDF traitée | 16 |
| I.7 Problèmes rencontrés lors de la réalisation des couches de forme | 17 |
| I.8 Conclusion | 17 |

| | |
|--|----|
| CHAPITRE II GENERALITES SUR LES FIBRES | 18 |
| II.1 Introduction | 19 |
| II.2 Définition des matériaux Composites | 19 |
| II.3 Les différents Types de Fibres Industrielles Utilisées Dans Le Renforcement de la construction .. | 20 |
| II.3.1 Les Fibres D’amiante | 20 |
| II.3.2 Les Fibres De Verre | 20 |
| II.3.3 Les Fibres De Carbone | 21 |
| II.3.4 Les Fibres Polymères | 21 |
| II.3.5 Les Fibres D’acier | 22 |
| II.4 Les fibres végétales | 22 |
| II.4.1 Définition..... | 22 |
| II.4.2 Origine Des Fibres Végétales..... | 22 |
| II.4.3 Classification des fibres végétales..... | 23 |
| II.4.4 Propriétés chimiques, physiques et mécaniques des fibres végétales | 24 |
| II.4.5 Utilisation Des Fibres Dans La Construction..... | 26 |
| II.5 Le palmier Dattier | 27 |
| II.5.1 Présentation générale..... | 27 |
| II.5.2 Nomenclature et classification Botanique..... | 27 |
| II.5.3 Répartition géographique | 28 |
| II.5.4 Etude Botanique | 29 |
| II.5.5 Les Différentes utilisation de Palmier Dattier | 30 |
| II.6 Conclusion..... | 31 |
| ETUDE EXPERIMENTALE | 32 |
| CHAPITRE III IDENTIFICATION DU SOL ET PREPARATION DE LA FIBRE..... | 34 |
| III.1 Introduction..... | 34 |
| III.2 Présentation et localisation du site | 34 |
| III.3 Programme des essais de laboratoire | 35 |
| III.4 Identification des essais | 35 |
| III.4.1 Les essais d’identification..... | 35 |
| III.4.1.1 Granulométrie | 35 |
| III.4.1.2 L’argilosité :..... | 39 |

| | |
|--|----|
| III.4.2 Les paramètres de comportement mécanique | 44 |
| III.4.2.1 Essai Proctor | 44 |
| III.4.2.2 Essai CBR: (Californian-Bearing-Ratio) (Norme NF P 94-078)..... | 47 |
| III.4.2.3 Essai de cisaillement direct (Norme NF P94-071-1) [23]..... | 49 |
| III.5 Résultats des essais de laboratoire | 51 |
| III.6 Le traitement chimique de la fibre naturelle du dattier | 56 |
| III.6.1 Traitement chimique et extraction de la fibre du dattier | 56 |
| III.6.2 Protocole chimique du traitement de la fibre du Dattier [24] | 56 |
| III.7 Conclusion | 58 |
| | |
| Chapitre IV EFFET DES FIBRES DE DATTIER SUR LE COMPORTEMENT MECANIQUE DU SOL ETUDIE..... | 60 |
| IV.1 Introduction..... | 60 |
| IV.2 Les essais sur le sol traité..... | 60 |
| IV.2.1 Les essais pré-mécaniques (énergétique)..... | 60 |
| IV.2.1.1 L'essai Proctor du sol traité avec la fibre du Dattier | 60 |
| Cas N°1 : sol + 3% de fibre du Dattier | 60 |
| Cas N°2 : sol + 5% de fibre du Dattier | 61 |
| Cas N°3 : Sol + 7% de fibre du Dattier | 61 |
| IV.2.1.2 L'essai CBR du sol traité avec la fibre du Dattier | 62 |
| Cas N°1 : sol + 3% de fibre du Dattier | 62 |
| Cas N°2 : Sol + 5% de fibre du Dattier | 64 |
| Cas N°3 : sol + 7 % de fibre du Dattier | 66 |
| IV.2.2 Les essais mécaniques | 68 |
| IV.2.2.1 L'essai de cisaillement a la boîte de casagrande (CD) consolidé drainé | 68 |
| Cas N° 1 : cisaillement (CD) sol + 3% de fibre du Dattier | 68 |
| Cas N°2 : Cisaillement (CD) sol + 5% de fibre du Dattier | 70 |
| Cas N° 3 : cisaillement (CD) sol +7% de fibre du Dattier | 71 |
| IV.3 Résultats récapitulatifs des essais de laboratoire | 72 |
| | |
| Conclusions et perspectives | 73 |
| | |
| Références bibliographiques | 75 |
| | |
| ANNEXE | 77 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|-----------|
| CHAPITRE I LES CHAUSSEES ET DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE DE FORME ... | 4 |
| Tableau I.1 : classes principales dans le GTR | 6 |
| Tableau I.2 : tableau récapitulatif des techniques de préparation des matériaux pour emploi de couche de forme | 13 |
| Tableau I.3 : Définissant les classes de plate-forme PF (Tableau X, Fascicule 1 de GTR, Pa 67) | 14 |
| Tableau I.4 : des modules de calcul descriptifs du sol support – (tableau XI, fascicule 1 de GTR) | 15 |
| Tableau I.5 : des modules de calcul descriptifs de la plate-forme support de chaussée (tableau XII, fascicule 1 de GTR, p 69) | 15 |
| Tableau I.6 : Classe de PF en fonction du cas de CDF | 15 |
| Tableau I.7 : Classe mécanique du matériau traité GTS | 16 |
| Tableau I.8: classe de PF selon la classe d'AR, la classe du matériau et l'épaisseur de la CDF-GTS | 17 |
| CHAPITRE II GENERALITES SUR LES FIBRES | 18 |
| Tableau II.1 : Caractéristiques mécaniques des fibres d'amiante | 20 |
| Tableau II.2 : Caractéristiques mécaniques des fibres de verre | 20 |
| Tableau II.3 : Propriétés mécaniques des fibres de carbone | 21 |
| Tableau II.4 : Propriétés mécaniques de différentes fibres naturelles | 26 |
| Tableau II.5 : Les caractéristiques physiques des fibres végétales les plus utilisées | 25 |
| Tableau II.6 : Compositions chimiques de différentes fibres naturelles | 26 |
| Tableau II.7 : Application des divers renforcements de fibres dans les produits à base de ciment | 27 |
| CHAPITRE III IDENTIFICATION DE SOL ET PREPARATION DE LA FIBRE | 34 |
| Tableau III.1 : La différence entre Proctor Normal et Proctor Modifié | 48 |
| Tableau III.2 : résultats des essais de laboratoire | 52 |
| Tableau III.3 : extrait de l'annexe 2, du tableau des conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme à appliquer a la sous classe a2 | 56 |
| Chapitre IV EFFET DES FIBRES DE DATTIER SUR LE COMPORTEMENT MECANIQUE DU SOL ETUDIE | 60 |
| Tableau IV.1 : résultats récapitulatifs des essais de laboratoire | 73 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|--|----|
| CHAPITRE I LES CHAUSSEES ET DIMENSIONNEMENT DE LA COUCHE DE FORME | 4 |
| Figure I.1 : Constitution d'une structure de chaussée type | 5 |
| Figure I.2 : Définition des différents termes | 11 |
| Figure I.3 : zone de classe mécanique de CDF selon R_t et E | 16 |
| CHAPITRE II GENERALITES SUR LES FIBRES | 18 |
| Figure II.1 : schéma d'un matériau composite..... | 19 |
| Figure II.2 : Structure et composition d'une paroi végétale..... | 22 |
| Figure II.3 : Classification des fibres végétales selon l'origine..... | 23 |
| Figure II.4 : Modèle descriptif de la rigidité de la fibre végétale (a) couches S2 dans une vue en 3D, (b) couches S2 projeté dans une vue 2D. | 24 |
| Figure II.5 : Palmier du Dattier | 29 |
| Figure II.6 : morphologie du Palmier Dattier..... | 30 |
| CHAPITRE III IDENTIFICATION DE SOL ET PREPARATION DE LA FIBRE | 34 |
| Figure III.1 : Localisation de site d'étude, coordonné Google Earth : $36^{\circ}44'23.72''N$; $3^{\circ}28'59.20''E$ | 33 |
| Figure III.2 : zone de stockage de matériau..... | 34 |
| Figure III.3 : Essai de L'analyse Granulométrie..... | 35 |
| Figure III.4 : Méthode d'exécution d'essai analyse granulométrie | 35 |
| Figure III.5 : Criblage | 36 |
| Figure III.6 : Courbe Granulométrie..... | 37 |
| Figure III.7 : Appareillage pour l'essai de sédimentométrie | 38 |
| Figure III.8 : Essai de limite de liquidité | 40 |
| Figure III.9 : Essai de limite de plasticité | 40 |
| Figure III.10 : Les appareils pour l'essai de valeur au bleu de méthylène du sol..... | 41 |
| Figure III.11 : pesage de m_s et M_s | 42 |
| Figure III.12 : Préparation de la solution | 42 |
| Figure III.13 : vérification par tache d'essai de valeur au bleu de méthylène | 43 |
| Figure III.14 : Matériel pour l'essai Proctor | 44 |
| Figure III.15 : Courbe de Proctor..... | 44 |
| Figure III.16 : Démonstration pour essais Proctor Normal..... | 45 |
| Figure III.17 : Démonstration pour essais Proctor modifié | 46 |

| | |
|---|----|
| Figure III.18 : Les appareilles pour essai CBR..... | 47 |
| Figure III.19 : Appareil pour l'essai de cisaillement. | 48 |
| Figure III.20 : La courbe granulométrique | 50 |
| Figure III.21 : L'abaque de Casagrande. | 51 |
| Figure III.22 : Courbe Proctor. | 51 |
| Figure III.23 : Courbe CBR à 95 % de l'OPM. | 52 |
| Figure III.24 : courbe contrainte – déformation de l'essai cisaillement du sol témoin..... | 52 |
| Figure III.25 : courbe intrinsèque du sol témoin | 53 |
| Figure III.26 : La fibre du dattier..... | 55 |
| Figure III.27 : Protocole complet du traitement de la fibre du Dattier | 56 |
| | |
| CHAPITRE IV EFFET DES FIBRES DE DATTIER SUR LE COMPORTEMENT MECANIQUE DU SOL ETUDIE | 60 |
| | |
| Figure IV.1 : courbe Proctor (sol+3% de fibre de Dattier). | 59 |
| Figure IV.2 : courbe Proctor (sol + 5% de fibre de Dattier). | 60 |
| Figure IV.3 : courbe Proctor (sol + 7% de fibre de Dattier). | 61 |
| Figure IV.4 : courbe de l'essai CBR (pour une énergie de compactage de 10 coups)..... | 61 |
| Figure IV.5 : courbe de l'essai CBR (pour une énergie de compactage de 25 coups). | 62 |
| Figure IV.6 : courbe de l'essai CBR (avec une énergie de compactage de 56 coups). | 62 |
| Figure IV.7 : courbe d'indice CBR à 95 % de l'OPM (sol + 3% de fibre). | 63 |
| Figure IV.8 : courbe de l'essai CBR (avec une énergie de compactage de 10 coups). | 63 |
| Figure IV.9 : courbe de l'essai CBR (avec une énergie de compactage de 25 coups). | 64 |
| Figure IV.10 : courbe de l'essai CBR (56 coups). | 64 |
| Figure IV.11 : courbe d'indice CBR à 95 % de l'OPM (sol + 5% de fibre). | 65 |
| Figure IV.12 : la courbe CBR (avec une énergie de compactage de 10 coups). | 65 |
| Figure IV.13 : la courbe CBR (avec une énergie de compactage de 25 coups). | 66 |
| Figure IV.14 : la courbe CBR (avec une énergie de compactage de 56 coups). | 66 |
| Figure IV.15 : courbe d'indice CBR à 95 % de l'OPM (sol+ 7% de fibre). | 66 |
| Figure IV .16 : courbe contrainte – déformation de l'essai cisaillement (sol + 3 % de fibre). | 67 |
| Figure IV.17 : courbe intrinsèque de l'essai cisaillement (sol + 3 % de fibre). | 68 |
| Figure IV .18 : courbe contrainte – déformation de l'essai cisaillement (sol + 5% de fibre). | 69 |
| Figure IV.19 : courbe intrinsèque de l'essai cisaillement (sol + 5 % de fibre). | 69 |
| Figure IV .20 : courbe contrainte – déformation de l'essai cisaillement (sol + 7 % de fibre). | 70 |
| Figure IV.21 : courbe intrinsèque de l'essai cisaillement (sol + 7 % de fibre). | 70 |

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE "A" TABLEAUX

| | |
|--|--|
| Tableau des resultats de l'analyse granulometrique. | |
| Tableau des resultats de la limite de liquidite (Wl). | |
| Tableau des resultats de limite de plasticite. | |
| Tableau determination d'essai proctor modifie. | |
| Tableau des resultats de l'essai proctor modifie. | |
| Tableau determination d'essai proctor modifie (sol + 3% de fibre)..... | |
| Tableau des resultats de l'essai proctor modifie (sol+ 3% de fibre)..... | |
| Tableau determination d'essai proctor modifie (sol + 5% de fibre)..... | |
| Tableau des resultats de l'essai proctor modifie (sol+ 5% de fibre)..... | |
| Tableau determination d'essai proctor modifie (sol + 7% de fibre)..... | |
| Tableau des resultats de l'essai proctor modifie (sol+ 7% de fibre)..... | |
| Resultats de l'essai CBR immediat du sol témoin (10coups/couche) | |
| Resultats de l'essai CBR immediat du sol témoin (25coups/couche) | |
| Resultats de l'essai CBR immediat du sol témoin (56coups/couche) | |
| Indice cbr a 95% de l'OPM (sol témoin)..... | |
| Resultats de l'essai CBR immediat (sol+3% de fibre) (10coups/couche)..... | |
| Resultats de l'essai CBR immediat (sol+ 3% de fibre) (25coups/couche)..... | |
| Resultats de l'essai CBR immediat (sol+3% de fibre) (56coups/couche)..... | |
| Indice cbr a 95% de l'OPM (sol +3% de fibre)..... | |
| Resultats de l'essai CBR immediat (sol+5% de fibre) (10coups/couche)..... | |
| Resultats de l'essai CBR immediat (sol+5% de fibre) (25coups/couche)..... | |

Resultats de l'essai CBR immediat (sol+5% de fibre) (56coups/couche).....

Indice CBR a 95% de l'OPM (sol +5% de fibre).....

Resultats de l'essai CBR immediat (sol+7% de fibre) (10coups/couche).....

Resultats de l'essai CBR immediat (sol+7% de fibre) (25coups/couche).....

Resultats de l'essai CBR immediat (sol+7% de fibre) (56coups/couche).....

Indice cbr a 95% de l'OPM (sol +7% de fibre).....

Resultats de l'essai de cisaillement CD a blanc.....

Resultats de l'essai de cisaillement CD (sol+ 3% de fibre).....

Resultats de l'essai de cisaillement CD (sol+ 5% de fibre).....

Resultats de l'essai de cisaillement CD (sol+ 7% de fibre).....

ANNEXE "B" FIGURES

Essai granulometrique par tamisage et par sedimentometrie

Essai des limites d'atterberg avec la coupelle de casagrande

Essai de VBS

Essai proctor modifie.....

Essai CBR immediat.....

Essai de cisaillement CD.....

Traitement chimique de la fibre.....

Preparation de sol + la fibre de dattier.....

Teneur en eau

Liste des notations

SETRA : Service d'études sur les transports, les routes et leurs aménagements

LCPC : laboratoire centrale des ponts et chaussées

GTR : Guide technique pour la réalisation des remblais et couches de formes

GTS : Guide technique du traitement de sol des remblais et couches de formes

LNHC : Laboratoire National de L'habitat et de La Construction

LCTP : Laboratoire Central Des Travaux Publics

PST : Partie supérieure des terrassements

CDF : Couche de forme, plate-forme de PST

AR : Arase de terrassement

PF : Plate-forme support de chaussée

HR : Les fibres hautement résistant (H.R.)

IM : Les fibres à module intermédiaire (I.M.)

HM : Les fibres à hauts modules (H.M.)

PVC : Polychlorure de vinyle

PP : Polypropylène

IP : indice de plasticité

IC : indice de consistance

IPI : indice portant immédiat

OPM : Optimum Proctor Modifié

CBR : indice portant californien (California Bearing Ratio)

Wnat : teneur en eau naturelle du sol

WP : teneur en eau à la limite de plasticité du sol

WL : teneur eau à la limite de liquidité du sol

VBF : valeur de bleu des fillers

VBS : valeur au bleu de méthylène

ES : équivalent de sable

LA : coefficient de Los Angeles

MDE : coefficient micro Deval en présence d'eau

FS : coefficient de friabilité des sables

FR : coefficient de fragmentabilité

DG : coefficient de dégradabilité

Φ : angle de frottement du sol (conditions drainées)

C : cohésion

UU : non consolidé, non drainé

CU : consolidé, non drainé

CD : consolidé drainé

EV_1 : module de déformation au premier chargement

EV_2 : module de déformation réversible mesuré avec l'essai de plaque

ρ_d : masse volumique sèche

γ_d : poids volumique sec

R_t : résistance en traction directe

E : module séant

Introduction Générale

La géologie des terrains, la mise en œuvre, les efforts induits par les différents chargements du trafic et les conditions climatiques, sont les principales causes de la dégradation des chaussées routières.

Ces limitations pourraient être surmontées par l'amélioration des propriétés géotechniques des sols en employant différentes méthodes mécaniques ou chimiques.

Le choix de l'une de ces méthodes dépend de plusieurs paramètres tels que, les considérations économiques, la nature du sol à traiter et la durée de l'opération, la disponibilité des matériaux utilisés ainsi que les conditions d'environnement.

Ces méthodes de traitements des sols s'appliquent à 3 niveaux différents des couches constituant la chaussée : la partie supérieure des terrassements (PST), la couche de forme (CDF) et les assises (couche de fondation et couche de base).

Dans le but d'essayer de développer les techniques des traitements des sols et la valorisation des fibres naturelles, nous avons proposé un traitement de matériau de couche de forme de la chaussée routière de la région de « Tidjellabine wilaya de boumerdes » à base des biomatériaux « fibre de palmier dattier », tout ça dans le but d'obtenir un matériau de couche de forme à la fois résistant, de bonne portance et économique sans oublier la préservation de l'environnement.

L'Algérie est un pays, qui dispose d'extraordinaires ressources en fibre végétales (fibre de palmier dattier, fibre d'Alfa, Abaca, chanvre...), malheureusement, leur valorisation dans les domaines pratiques, entre autres, dans les matériaux de construction est encore peu exploitée.

Ce travail est avant tout, une étude exploratoire qui s'inscrit dans le cadre de domaine de la recherche, qui consiste à étudier les caractéristiques mécaniques de matériau de couche de forme renforcé par des fibres de palmier dattier, afin de déterminer l'évolution des caractéristiques de ce dernier par rapport à un matériau de couche de forme à blanc (sans fibre).

Ce travail de recherche s'inscrit dans ce contexte et le manuscrit qui en résulte est composé de quatre chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à l'étude de la chaussée et ses différents constituants, ainsi que la couche de forme, sa structure et son dimensionnement et les paramètres géotechniques utilisés pour étudier les caractéristiques de cette dernière.
- Le deuxième chapitre est une représentation de matériau composite et aussi les différents types et les différentes caractéristiques de fibre.

- Le troisième chapitre est consiste à présenter le site et les caractéristique physico-chimiques du sol et le traitement chimique de la fibre de dattier.
- Le quatrième chapitre c'est l'étude des propriétés mécanique (cohésion et angle de frottement et pré mécanique énergétique (indice portant CBR) de sol renforcé à base de fibre de dattier.

Enfin, ce travail se termine par une conclusion générale qui synthétise le travail expérimental effectué sur le renforcement à base de fibre de dattier sur un sol d'une capacité portante faible.

SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I
LES CHAUSSEES ET DIMENSIONNEMENT DE
LA COUCHE DE FORME

I.1 Introduction

La route est une voie de communication destinée à la circulation des véhicules notamment les véhicules lourds. La structure doit être étudiée de façon à assurer un meilleur niveau de service.

Les chaussées souples constituent l'immense majorité des routes actuelles en Algérie ; formées par des couches superposées des matériaux non susceptibles de résistance notable à la traction, les couches supérieures sont généralement plus résistantes et moins déformables que les couches inférieures.

Pour une assurance parfaite et un confort idéal, la chaussée exige généralement pour sa construction, plusieurs couches exécutées en matériaux différents, d'une épaisseur bien déterminée, ayant chacune un rôle aussi bien défini.

I.2 Définition de la chaussée

Au sens géométrique : c'est la surface aménagée de la route sur laquelle circulent les véhicules.

Au sens structurel : c'est l'ensemble des couches de matériaux superposées de façon à permettre la reprise des charges [1].

I.3 Les constituants de la chaussée et rôle des couches

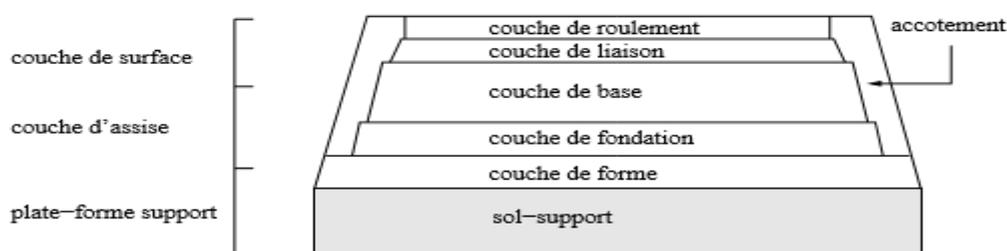


Figure I.1 : Constitution d'une structure de chaussée type [1].

Une chaussée est une structure multicouche constituée de trois parties principales qui ont chacune un rôle bien défini

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

Son rôle est:

- **Rôle de couche de roulement** encaisser les efforts de cisaillement provoqués par la circulation, imperméabiliser la surface de la chaussée, et assurer la sécurité (adhérence) et le confort (bruit et uni.)
- **Rôle de couche de liaison** assurer une transition avec les couches inférieures plus rigides.

Couche de base : elle reprend les efforts verticaux et repartit les contraintes normales qui en résultent sur les couches sous-jacentes.

Couche de fondation : elle a le même rôle que celui de la couche de base.

Couche de forme : elle est généralement prévue pour répondre à certains objectifs en fonction de la nature du sol support :

- Sur un sol rocheux : elle joue le rôle de nivellement afin d'aplanir la surface ;
- Sur un sol peu portant (argileux à teneur en eau élevée) : Elle assure une portance suffisante à court terme permettant aux engins de chantier de circuler librement. [1]

I.4 Les paramètres géotechniques des sols et le compactage

I.4.1 Classification GTR et norme NF P 11-300

Les sols sont des matériaux naturels, constitués des grains qui peuvent être de dimensions très variable : des argiles aux blocs. Les sols sont de nature et d'origine géologique diverses : alluvions, matériaux simple sédimentaire, dépôts glacières, sols résiduels

L'utilisation des sols est liée à leur classification et à leur comportement lors de leur mise en place. [2]

Le GTR édition 2000 (Guide des Terrassements Routiers, Réalisation des remblais et des couches de forme, LCPC, SETRA, 2000) et la norme qui en découle NF- P 11-300 proposent une classification des matériaux utilisables dans la construction des remblais et des couches de forme d'infrastructures routières.

Tableau I.1 : classes principales dans le GTR [3]

| Classe | Définition | Caractéristique | Sous-classe |
|---------------|--|--|---|
| A | Sols fins | $D_{max} \leq 50 \text{ mm}$ passant à $80\mu\text{m} > 35\%$ | A1 à A4 selon VBS ou IP |
| B | Sols sableux et graveleux avec fines | $D_{max} \leq 50 \text{ mm}$ passant à $80\mu\text{m} > 35\%$ | B1 à B6 selon VBS ou IP et tamisât |
| C | Sols comportant des fines et des gros éléments | $D_{max} > 50 \text{ mm}$ passant à $80\mu\text{m} > 12\%$ ou passant à $80\mu\text{m} \leq 12\% + \text{VBS} > 0$. | sous-classes selon VBS ou IP et tamisât à 50 mm |
| D | Sols insensible à l'eau avec fines | $\text{VBS} \leq 0.1$ passant à $80\mu\text{m} \leq 12\%$ | D1 à D3 |
| E | Matériaux rocheux | Nature pétrographique (norme NF P 11-300) | |
| F | Sols organiques et sous-produits industriels | Teneur en éléments chimiques (norme NFP 11-300) | |

Ils permettent de définir la classe du matériau on basant sur trois types de paramètres :

- Les paramètres de nature ;
- Les paramètres d'état ;
- Les paramètres de comportement mécanique.

I.4.1.1 Les paramètres de nature [2]

Les paramètres de nature sont des paramètres qui définissent les caractéristiques intrinsèques des sols

➤ La granulométrie (normes N P 94-056 et 057)

La granulométrie est un paramètre qui permet de distinguer les sols grâce à la dimension de leurs grains.

- **Le D_{max}** c'est la dimension maximale des plus gros éléments contenus dans le sol, ce paramètre est déterminant pour préjuger des ateliers de terrassement utilisables et notamment pour évaluer l'épaisseur des couches élémentaire et les conditions de malaxage éventuel avec un liant.

Le seuil retenu est 50mm c'est la valeur proposée pour distinguer les sols fins, sableux et graveleux et sols blocailleux, c'est aussi une valeur limite couramment admise actuellement pour distinguer les sols pouvant être malaxés intimement avec un liant pour constituer des couches de forme de qualité.

- **Le tamisât à 80 µm** ce paramètre permet de distinguer les sols riches des sols fins et dans une large mesure, d'évaluer leur sensibilité à l'eau.

Les seuils retenus :

- 35% seuil au-delà duquel le comportement du sol peut être considéré comme régi par celui de la fraction fine.
- 12 % seuil conventionnel permettant d'établir une distinction entre les matériaux sableux et graveleux pauvres ou riches en fibre.
- **Le tamisât à 2 mm** ce paramètre permet d'établir une distinction entre les sols sableux et les sols graveleux

Le seuil retenu :

- > 70 % : sol tendance sableuse
- < 70 % : sol tendance graveleuse

➤ L'argilosité (norme NF P94-051)

L'indice de plasticité IP c'est le paramètre le plus couramment utilisé pour caractériser l'argilosité des sols, son interprétation est d'autant plus fiable que la proportion pondérale de la fraction 0/400µm

(fraction servant à l'essai) contenue dans le sol étudié est importante et que l'argilosité de cette fraction est grande.

Au-delà d'une proportion de 50 % de cette fraction et d'une valeur de 12, l'interprétation de l'IP est simple mais elle devient quasiment impossible lorsque cette proportion tombe en dessous de 35 % et la valeur de l'IP en dessous de 7.

Seuils retenus :

- **12** limites supérieures des sols faiblement argileux ;
- **25** limites supérieures des sols moyennement argileux ;
- **40** limites entre les sols argileux et très argileux.

➤ **La valeur de bleu de méthylène VBS (norme NF P 94-068)**

C'est un paramètre qui représente la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur les surfaces externes et internes des particules du sol, ou autrement dit une grandeur directement liée à la surface spécifique du sol.

On détermine la VBS à partir de l'essai au bleu de méthylène à la tache sur la fraction 0/2 mm. La valeur trouvée est alors rapportée à la fraction 0/50 par une règle de proportionnalité.

Seuils retenus :

- **0,1** seuil en dessous duquel on peut considérer que le sol est insensible à l'eau.
- **0,2** seuil au dessus duquel apparaît à coup sûr la sensibilité à l'eau.
- **1,5** Seuil distinguant les sols sablo-limoneux des sols sablo-argileux.
- **2,5** Seuil distinguant les sols limoneux peu plastique des sols limoneux de plasticité moyenne.
- **6** seuils distinguant les sols limoneux des sols argileux.
- **8** seuils distinguant les sols argileux des sols très argileux.

➤ **Equivalent de sable (norme NF P18-598)**

Cet essai permet de déterminer la composition en éléments fins et grenus des sols ou granulats.

Une fraction du sol passée au tamis d'ouverture 2 mm est lavée avec une solution de chlorure de calcium, les éléments fins flocculent (en suspension) alors que les éléments sableux se décantent. On compare le volume des éléments sableux au volume apparent total : sable et éléments flocculés. [4]

$$ES = (H1/H2)*100$$

- **ES =0** Argile pure
- **ES =20** sol plastique
- **ES=40** sol non plastique
- **ES =100** sable pure et propre

I.4.1.2 Les paramètres de comportement mécanique

Ils distinguent les matériaux dont la fraction granulaire est susceptible de résister au trafic et sont donc utilisables en CDF, et les matériaux qui risquent de se fragmenter et nécessiteront des dispositions particulières de traitement. Les paramètres suivants sont retenus pour la classification des matériaux rocheux :

- Coefficient de Los Angeles LA (norme P 18-573)
- Coefficient micro Deval en présence d'eau MDE (norme P 18-572) LA et MDE concernent les roches dures comme le granit, le gneiss, le calcaire et le grès et leur possibilité de réemploi en CDF ou couche de chaussée
- Coefficient de friabilité des sables FS (norme P 18-576)

Seuils retenus par le GTR pour la classification géotechnique des sols :

- **45** pour les valeurs LA et MDE
- **60** pour la valeur FS

Par ailleurs les paramètres suivants sont utiles pour le traitement de sol car ils permettent de définir les conditions de malaxage :

- Coefficient de fragmentabilité FR (éléments grossiers >50mm) (norme NF P 94 066)
- Coefficient de dégradabilité DG (abrasivité fraction grenu >0,08mm) (norme XP P 18-579) DG concerne surtout les remblais en matériaux issus de roches argileuses (marnes, schistes..). [5]

I.4.1.3 les paramètres d'état

Il s'agit des paramètres qui ne sont pas propres au sol, mais fonction de l'environnement dans lequel il se trouve.

Pour les sols meubles sensibles à l'eau, le seul paramètre d'état considéré dans la classification est l'état hydrique

On distingue 5 états hydriques différents :

- Très humide (**th**)
- Humide (**h**)
- Humidité moyenne (**hm**)
- Sec (**s**)
- Très sec (**ts**)

Les Paramètres utilisés pour caractériser l'état hydrique sont :

➤ Teneur en eau naturelle

Teneur en eau naturelle $\omega_{\text{Nat}} = \frac{m_w}{m_s} * 100$

➤ L'indice de consistance

Teneur en eau naturelle ω_{Nat} par rapport aux limites d'atterberg (**W_l**, **W_p**)

$$I_c = W_l - \omega_{\text{Nat}} / I_p$$

➤ L'indice portant immédiat (IPI)

IL exprime la valeur du **poissonnement CBR** mesurée sans surcharge ni immersion d'une éprouvette de sol compacté a l'énergie **Proctor normal** [2]

I.4.1.4 Compactage

Compacter un sol consiste à faire diminuer son volume par l'application d'un procédé mécanique. Cette diminution du volume ne se produit que par l'élimination des vides remplis d'air qui existe dans le sol à son état initial.

Le compactage sert à supprimer les déformations ultérieures (les tassements du remblai, déformations de chaussée...), l'augmentation des caractéristiques mécaniques (augmenter la portance, permettre aux matériaux de résister au trafic routier), et sert aussi à assurer l'imperméabilité car le compactage est la première des protections contre l'agression de l'eau. [6]

➤ Portance

La capacité portante d'un sol se caractérise par sa résistance au tassement en fonction de la cohésion et des frottements internes. La mesure de cette portance déterminée par l'indice **CBR** ou **IPI** ou par le module **EV2** de l'essai de plaque. [5]

➤ L'indice CBR (norme NF P 94-078)

L'essai CBR (Californian Bearing Ratio) est effectué aussi bien sur le sol de fondation d'une structure de chaussée que sur les matériaux qui la constituent.

A partir de cet essai on définit un indice empirique dit « indice de portance californien », pour deux états : indice CBR immergé (= ICBR après 4 jours d'immersion) et indice CBR immédiat. Cet indice sert pour le dimensionnement d'une structure de chaussée, se calculent ainsi par le rapport entre la pression d'enfoncement du sol et celle d'un matériau type référencé (en %) :

- Pression à 2.5 mm d'enfoncement / 0.7
- Pression a 5.0 mm d'enfoncement / 1.05

Le plus grade des 2 valeurs qui est retenus

L'indice **CBR immergé** se distingue de l'**IPI** par l'immersion du moule pendant 4 jours [4]

➤ Le module EV2

Cet essai est destiné à la mesure de la déformabilité de la plate-forme de terrassement constitué par des matériaux dont les plus gros éléments ne dépassent pas 200 mm.

L'essai consiste à mesurer à l'aide d'un appareillage défini, le déplacement vertical du point de la surface du sol situé à l'aplomb du centre de gravité d'une plaque rigide chargée, ce déplacement est appelé déflexion (W), cette mesure donne la portance du support et indique si le compactage est correct et permet de vérifier si les objectifs de performance mécanique prévus sont atteints.

Les charges définies conventionnellement par le LCPC sont de 20 kN pour le 1er chargement et 25 kN pour le 2^{ème} chargement

EV2 est le module de déformation du sol à la plaque au second cycle de chargement, **EV1** est le module de déformation du sol au premier chargement.

K= EV2/ EV1 est le rapport des modules à la plaque des deux chargements successifs pour déterminer si le compactage est suffisant, on parle d'un meilleur compactage lorsque on a un rapport K faible. [5]

I.5 La couche de forme et son dimensionnement

I.5.1 Définition et nature de la couche de forme

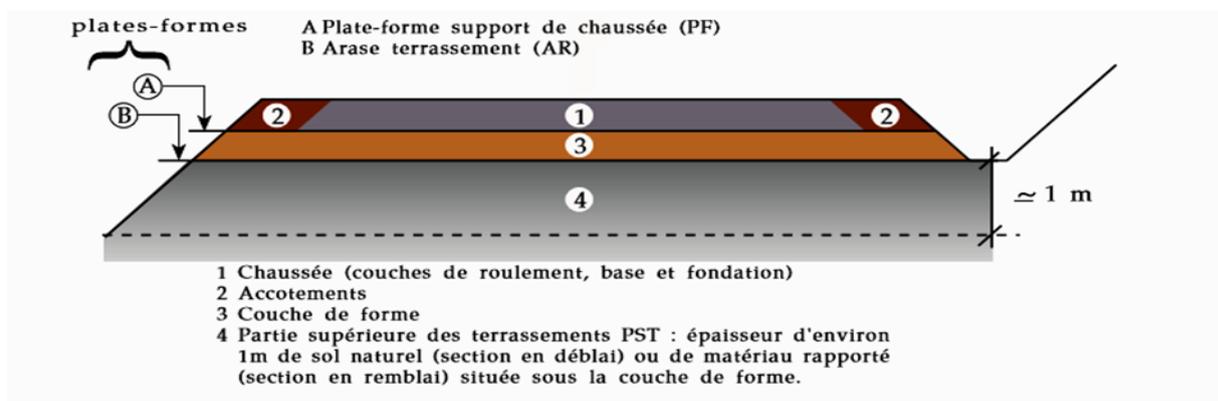


Figure I.2 : Définition des différents termes

La couche de forme permet d'adapter les caractéristiques du terrain en place ou des matériaux de remblai constituant la PST aux caractéristiques mécaniques, géométriques du projet, hydrogéologiques et thermiques du site prises comme connaitre pour la conception de la chaussée, elle doit répondre à la fois à des objectifs de court terme (permettre la construction du corps de chaussée) et de long terme (garantir la pérennité de l'ouvrage par le biais d'une bonne portance a long terme, elle doit permettre également par l'homogénéité de sa portance, de réaliser un corps de chaussée d'épaisseur constante sur toute la longueur du chantier). [7]

I.5.1.1 Les objectifs et conception de la couche de forme

La couche de forme doit répondre à des objectifs à court et à long terme, autrement dit au cours de la réalisation de la chaussée et lorsque l'ouvrage est en service. Selon le cas de chantier on cherche à assurer avec cette couche de forme certaines fonctions.

- **A court terme**

- Assurer la circulation dans les meilleures conditions des engins approvisionne les matériaux de la couche de fondation.
- Satisfaire les exigences de nivellement de la plate forme support de la chaussée
- Permettre le compactage efficace de la couche de fondation.
- Assurer la protection de l'arasement vis-à-vis des agents climatiques dans l'attente de la réalisation de la chaussée. [2]

- **A long terme**

- Homogénéiser les caractéristiques de la plate forme et garantir à long terme sa portance.
- Assure, le cas échéant une fonction de drainage (couche de forme granulaire).
- Protection thermique des sols supports gélifs.
- Une amélioration de la portance de la plate forme pour optimiser le coût de l'ensemble couche de forme –structure de chaussée. [2]

I.5.1.2 Matériaux de couche de forme

Pour qu'un matériau puisse être employé en couche de forme il faut qu'il satisfasse aux critères définis ci-après. [2]

Les critères à prendre en considération concernent :

- L'insensibilité à l'eau.
- La dimension des plus gros éléments.
- La résistance sous circulation des engins de chantier.
- L'insensibilité au gel, le cas échéant.

I.5.1.3 Techniques de préparation et de protection des matériaux pour emploi en couche de forme

Les techniques de préparation et de protection des matériaux de couche de forme se rangent en 4 rubriques :

- **Rubrique G : Action sur la granularité** (l'élimination de la fraction fine sensible à l'eau, l'élimination de la fraction grossière, Ajout d'un correcteur granulométrique)

- **Rubrique W : Action sur l'état hydrique** (Arrosage pour maintenir la teneur en eau durant le malaxage et le compactage, traitement, Une humidification de la masse de matériau)
- **Rubrique T : Traitement** (assurer de la pérennité des liaisons engendrées par le traitement, selon la nature et l'état de matériau qu'on choisit le traitement)
- **Rubrique S : protection superficielle** (une enduit de cure gravillonné ou éventuellement clouté, une couche de fin réglage)

Tableau I.2 : tableau récapitulatif des techniques de préparation des matériaux pour emploi de couche de forme [2].

| Rubrique | Code | Technique de préparation des matériaux |
|-------------------------------------|------|--|
| G action sur la granularité | 0 | Pas de condition particulière à recommander |
| | 1 | Elimination de la fraction 0/d sensible à l'eau |
| | 2 | Elimination de la fraction grossière empêchant un malaxage correct du sol |
| | 3 | Elimination de la fraction grossière empêchant un malaxage de la plate-forme |
| | 4 | Elimination de la fraction 0/d sensible à l'eau de la fraction grossière empêchant un malaxage correct de la plate-forme |
| | 5 | Fragmentation de la fraction grossière pour obtenue d'éléments plus fins |
| W action sur l'état hydrique | 0 | Pas de condition particulière à recommander |
| | 1 | Arrosage pour maintien de l'état hydrique |
| | 2 | Humidification pour changer d'état hydrique |
| T traitement | 0 | Pas de condition particulière à recommander |
| | 1 | Traitement avec un liant hydraulique |
| | 2 | Traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux |
| | 3 | Traitement mixte : chaux + liant hydraulique |
| | 4 | Traitement a la chaux seule |
| | 5 | Traitement avec un liant hydraulique et éventuellement correcteur granulométrique |
| | 6 | Traitement avec un correcteur granulométrique |
| S protection superficielle | 0 | Pas de condition particulière à recommander |
| | 1 | Enduit de crue éventuellement gravillonné |
| | 2 | Enduit de crue gravillonné éventuellement cloué |
| | 3 | Couche de fin réglage |

I.6 Dimensionnement de la couche de forme

➤ **Démarche pour fixer l'épaisseur**

La classification géotechnique des sols et les conditions hydriques intéressant le mètre supérieur supportant la couche de forme, zone appelée partie supérieure des terrassements PST, permettent de distinguer 7 cas.

Pour chaque cas de PST et pour les différents matériaux de couche de forme, il est alors préconisé une épaisseur de couche de forme.

➤ **Les différents cas de Partie Supérieure des Terrassements (PST)**

Les classes de portance de l'arase de terrassement introduites pour chaque cas de PST sont associées aux caractéristiques du sol support dites à long terme, c'est-à-dire représentative des conditions hydriques défavorable que pourra connaître la plate forme, pendant la durée de service de la chaussée.

➤ **Epaisseur préconisée pour la couche de forme**

Cette épaisseur dépend du cas de PST et de la portance à long terme au niveau de l'arase des terrassements et les caractéristiques du matériau constituant la couche de forme. [2]

I.6.1 Classement des plates-formes pour le dimensionnement des structures de chaussée

I.6.1.1 Portance à long terme de la plate-forme

Pour le dimensionnement des structures de chaussée, la portance à long terme de la plateforme support de chaussée est déterminée à partir du couple PST - couche de forme.

On distingue 4 classes de portance des plates-formes définies par des plages de valeur de module de déformation réversible.

Tableau I.3 : Définissant les classes de plate-forme PF (Tableau X, Fascicule 1 de GTR, Pa 67).

| | 20 | 50 | 120 | 200 |
|------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Module(MPa) | | | | |
| Classe de plate-forme | PF1 | PF2 | PF3 | PF4 |

Tableau I.4 : des modules de calcul descriptifs du sol support – (tableau XI, fascicule 1 de GTR).

| | | | | |
|---------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Module de calcul (MPa) | 20 | 50 | 120 | 200 |
| Classe de l'arase Terrassement | AR1 | AR2 | AR3 | AR4 |

Tableau I.5 : des modules de calcul descriptifs de la plate-forme support de chaussée (tableau XII, fascicule 1 de GTR, p 69)

| | | | | |
|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Module de calcul (MPa) | 20 | 50 | 120 | 200 |
| Classe de plate-forme | PF1 | PF2 | PF3 | PF4 |

I.6.1.2 Règles de sur classement de portance des plates-formes

C'est une mesure de simplification pour couvrir les situations courantes de chaussées souples et semi-rigides. Il y a 3 cas de CDF considérés auxquels doit correspondre une classe de PF de portance définie.

Tableau I.6 : Classe de PF en fonction du cas de CDF. [8]

| Cas de CDF (matériaux) | Classe de PF |
|---|---------------------|
| Matériaux granulaires non traités | PF3 |
| Sols argileux et limoneux traités en place à la chaux seule, chaux + ciment ou ciment seul | PF3 |
| Matériaux traités au liant hydraulique MTLH | PF3/PF4 |

L'objectif du sur classement est l'optimisation du dimensionnement de l'ensemble couche de forme-chaussée.

Donc L'augmentation de la classe de PF permet de réduire l'épaisseur des couches de chaussée.

I.6.1.3 Classement mécanique de la CDF traitée

Quel que soit le niveau de plateforme envisagée, il est nécessaire de caractériser une CDF traitée par son classement mécanique. Le classement se base sur le module élastique E (module sécant, pris à 1/3 de la charge de rupture lors de l'essai de traction directe) et la résistance en traction directe R_t à 90 jours.

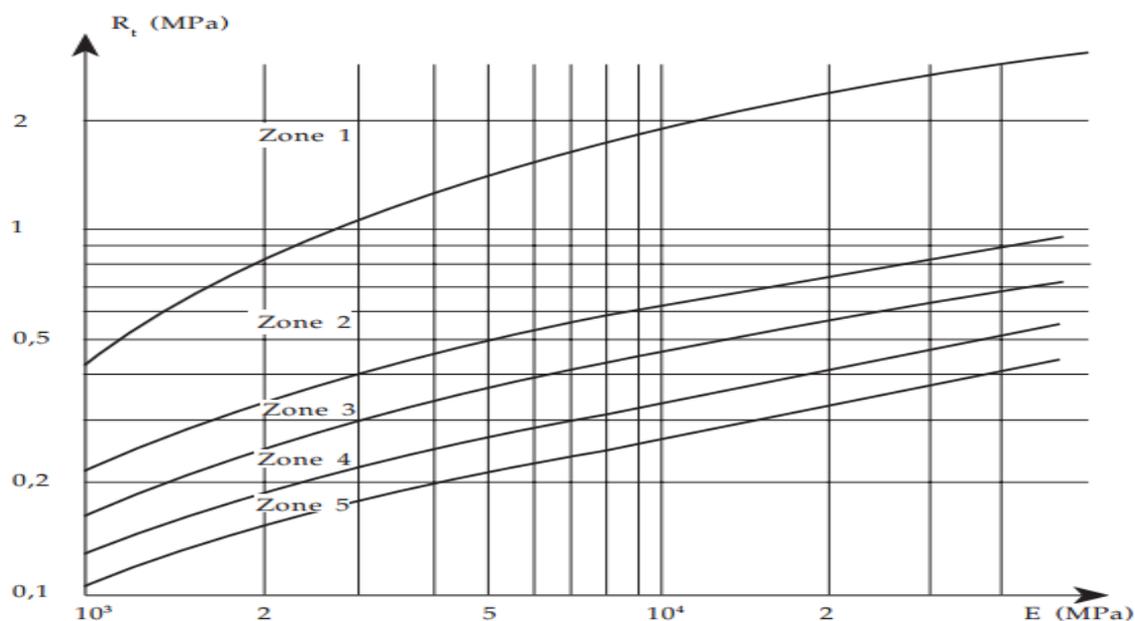


Figure I.3 : zone de classe mécanique de CDF selon R_t et E [8].

La caractérisation de la zone sert à distinguer le mode de fabrication du matériau traité, à savoir en centrale ou en place car la qualité obtenue en est différente.

Tableau I.7: Classe mécanique du matériau traité GTS [8].

| Classe mécanique | Traitement en centrale | Traitement en place |
|------------------|------------------------|---------------------|
| 1 | Zone 1 | |
| 2 | Zone 2 | Zone 1 |
| 3 | Zone 3 | Zone 2 |
| 4 | Zone 4 | Zone 3 |
| 5 | Zone 5 | Zone 4 |

La classe mécanique et la couche de forme permettent de définir une classe PF à partir de la classe d'AR.

Tableau I.8: classe de PF selon la classe d'AR, la classe du matériau et l'épaisseur de la CDF-GTS[8]

| Classe mécanique du matériau de CDF | Epaisseur de la CDF (en cm) | | | | |
|-------------------------------------|-----------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | AR1 | | | AR2 | |
| Classe 3 | | 30 | 40 | 25 | 30 |
| Classe 4 | 30 | 35 | 45 | 30 | 35 |
| Classe 5 | 35 | 50 | 55 | 35 | 45 |
| Classe de PF obtenue | PF2 | PF3 | PF4 | PF3 | PF4 |

I.7 Problèmes rencontrés lors de la réalisation des couches de forme

Parmi les problèmes rencontrés lors de la réalisation des couches de PST et couche de forme en cite :

- La construction routière nécessite de très grandes quantités de matériaux pour réaliser non seulement les couches de chaussées mais surtout les remblais et les couches de forme.
- La raréfaction et parfois manque des ressources en granulats et sols noble pour la construction des couches avec des matériaux sélectionné
- La nécessité des moyens matériels (nombre de camion important) pour, d'une part, mettre à la décharge les sols excédentaires et, d'autre part, acheminer sur le chantier des granulats en grande quantité.
- La non disponibilité des décharges pour la mise en dépôt des déblais;
- Les nuisances et les dégradations des routes causées par les transports;
- Des effets sur l'environnement (utilisation des explosive, pollution,...).

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre on a donné un aperçu sur les différents constituants de la chaussée ainsi que la couche de forme, sa structure et son dimensionnement, et les paramètres géotechniques utilisés pour étudier les caractéristiques de cette dernière.

Il est donc nécessaire d'avoir des connaissances sur les différentes méthodes pour bien choisir la bonne structure de chaussée et même sur l'amélioration des sols médiocres avec une méthode de renforcement qui convient c'est pour cela nous allons voir dans le chapitre suivant les différents fibres qu'on peut utilisés pour le renforcement dans le domaine de la construction.

CHAPITRE II
GENERALITES SUR LES FIBRES

II.1 Introduction

Pourquoi utilise-t-on les fibres végétales ?

Actuellement, dans le cadre du développement durable, des efforts considérables sont fournis par les chercheurs afin de développer des matériaux de construction qui respectent l'environnement "éco-friendly". Parmi ces matériaux écologiques, les fibres végétales provenant du secteur forestier ou agricole sont considérées aujourd'hui comme une alternative intéressante aux fibres classiques (amiante, verre, carbone et aramide). L'utilisation des fibres végétales continue d'augmenter en raison de leurs avantages : faible densité par rapport aux fibres de verre, renouvelables, faible coût, propriétés mécaniques élevées (résistance à la traction). De plus, la disponibilité des plantes à fibres dans les pays sous-développés lui permet de produire les fibres végétales avec peu de technologie et une faible quantité d'énergie grise. De plus, les fibres végétales ont une structure poreuse, ce qui conduit à une bonne isolation thermique et acoustique. D'autre part, en raison de leur flexibilité, la manipulation des fibres végétales est très facile notamment si le pourcentage de fibres mélangé à la matrice est élevé contrairement aux autres types de fibres à l'exemple des fibres en acier. Les fibres naturelles font par conséquent partie de la nouvelle génération de renforts qui respecte l'environnement et peuvent être incorporés dans diverses matrices pour en faire des matériaux écologiques, légers et à faible coût.

II.2 Définition des matériaux composites

Un matériau composite est constitué généralement d'une ou de plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. Dans le cas de plusieurs phases discontinues de natures différentes le composite est dit hybride. La phase discontinue est habituellement plus dure et avec des propriétés mécaniques en traction supérieures à celle de la phase continue.

La phase continue est appelée matrice, la phase discontinue est appelée renfort. [10]

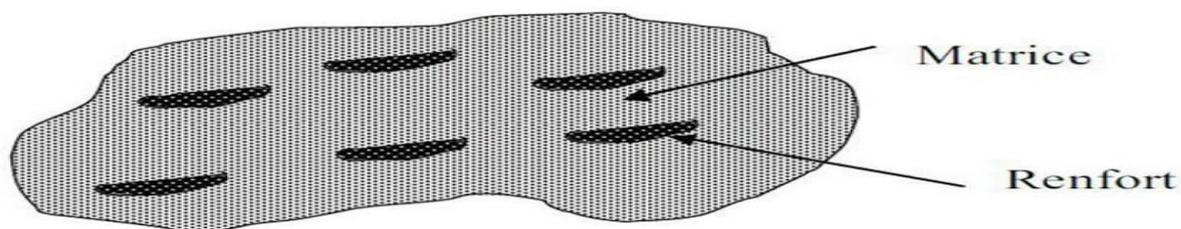


Figure II.1 : schéma d'un matériau composite

II.3 Les différents Types de Fibres Industrielles Utilisées Dans Le Renforcement de la construction

II.3.1 Les Fibres D'amiante

Elles possèdent une bonne résistance a la traction et un module d'élasticité élevé .Ce sont des fibres très commercialisées. En plus, leur utilisation dans le renforcement des ciments sont de plus en plus délaissés et même interdite par le règlement dans beaucoup d'application à cause du danger qu'elle représente pour la santé humaine.

Tableau II.1 : Caractéristiques mécaniques des fibres d'amiante [11].

| Type de fibre | Amiante |
|--------------------------------------|----------------|
| Diamètre D (mm) | 0.0002 - 0.002 |
| Longueur (mm) | 5 |
| Masse Volumique (g/cm ³) | 2.6 – 3 |
| Résistance à la rupture (MPA) | 100 – 300 |
| Module de Young E (GPA) | 80 – 150 |

II.3.2 Les Fibres De Verre

Les caractéristiques mécaniques des bétons de fibres de verre diminuent avec le temps à cause de l'action corrosive des alcalis contenus dans le ciment sur les fibres, qui provoque l'apparition des microfissurations.

Cependant, des recherches ont pu mettre en évidence une dernière génération de fibre de verre (type S) ayant une bonne résistance aux alcalins.

Tableau II.2: Caractéristiques mécaniques des fibres de verre [11]

| Type de verre | E | R | S |
|--------------------------------------|------|------|------|
| Résistance à la rupture s f u (MPA) | 3400 | 4400 | 4900 |
| Module De Young E (GPA) | 73 | 86 | 87 |
| Masse Volumique (g/cm ³) | 2.54 | 2.55 | 2.54 |

II.3.3 Les Fibres De Carbone

Suivant les conditions de fabrication, il existe toute une variété de fibres de carbone mais actuellement trois types de fibres sont commercialisés :

- Les fibres hautement résistant (H.R);
- Les fibres à module intermédiaire (M.I);
- Les fibres à hauts modules (H.M).

Les fibres de carbone sont très fragiles ce qui rend l'opération de malaxage du béton de ces fibres très difficile. Pour cela, elles sont ajoutées par la suite au béton par projection.

Par ailleurs, le béton de ces fibres présente des caractéristiques de durabilité très intéressantes

Tableau II.3 : Propriétés mécaniques des fibres de carbone [11].

| Type de carbone | H.R | H.M |
|--|-----------|------|
| Diamètre D (mm) | 8 | 8 |
| Masse Volumique (g/cm ³) | 1.75 | 1.81 |
| Résistance à la rupture σ_f (MPa) | 3000-5000 | 2800 |
| Module d'Young E (GPa) | 220 | 400 |

II.3.4 Les Fibres Polymères

Les fibres de polymères sont d'origine plastique, on distingue trois familles principales de ces fibres :

- **Le polyamide 6.6 (PA6.6)**, qui représente la famille la plus importante de plastiques par leur tonnage. Le PA6.6 résiste mal aux acides minéraux.
- **Le polychlorure de vinyle (PVC)**, est une matière thermoplastique obtenue par polymérisation du chlorure de vinyle. Le PVC résiste bien aux acides et aux alcalins.
- **Le polypropylène (PP)**, est un thermoplastique formé de chaîne linéaire constitué de motifs propylène dans le cas d'un homopolymère d'une altération contrôlée de motifs propylène et éthylène dans les copolymères. Le PP résiste bien aux acides et aux alcalins.

Le module de Young de ces fibres est de même ordre de grandeur que celui du béton. [11]

II.3.5 Les Fibres D'acier

Les fibres d'acier restent parmi les fibres les plus utilisés dans le renforcement des bétons ou mortiers. En effet, ces fibres présentent une bonne résistance à la traction et un module d'élasticité très élevé parmi les fibres d'acier les plus utilisées nous citons :

- Les Fibres Euro-Steel
- Les Fibres Bekaert De Chez Dramix
- Les Fibres Harex
- Les Fibres Ruban En Fonte Amorphe De Pont-à-Mousson
- Les Fibres A Tête D'encrage En Acier Trfile
- Les Fibres De Beki –Shield [11]

II.4 Les fibres végétales

II.4.1 Définition

Les fibres végétales peuvent être considérées comme composites naturels constituées essentiellement de fibrilles de cellulose, maintenues ensemble par une matrice composée principalement de lignine et d'hémicellulose. Les fibrilles de cellulose sont orientées en hélice suivant un angle nommé angle micro fibrillaire. Les conditions climatiques, l'âge et le processus de digestion influe non seulement sur la structure des fibres, mais aussi la composition chimique.

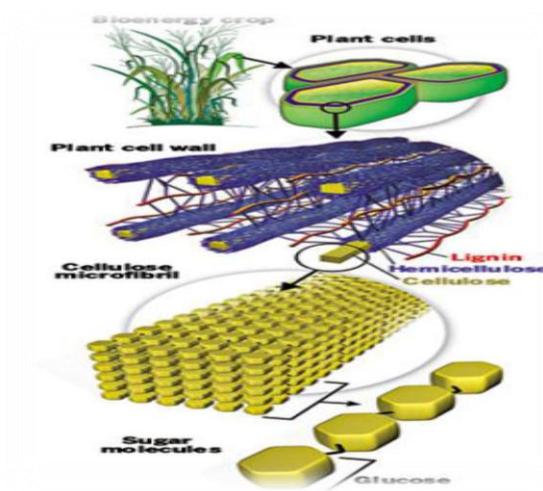


Figure II.2 : Structure et composition d'une paroi végétale [9]

II.4.2 Origine Des Fibres Végétales

Les fibres végétales peuvent être issues de différentes parties de la plante : des graines (poils, séminaux) de la tige ou du tronc (fibres libériennes) des fruits (enveloppe) ou des feuilles de bois.

Le bois est un cas particulier (composition, structure, etc.) qui doit être traité séparément.

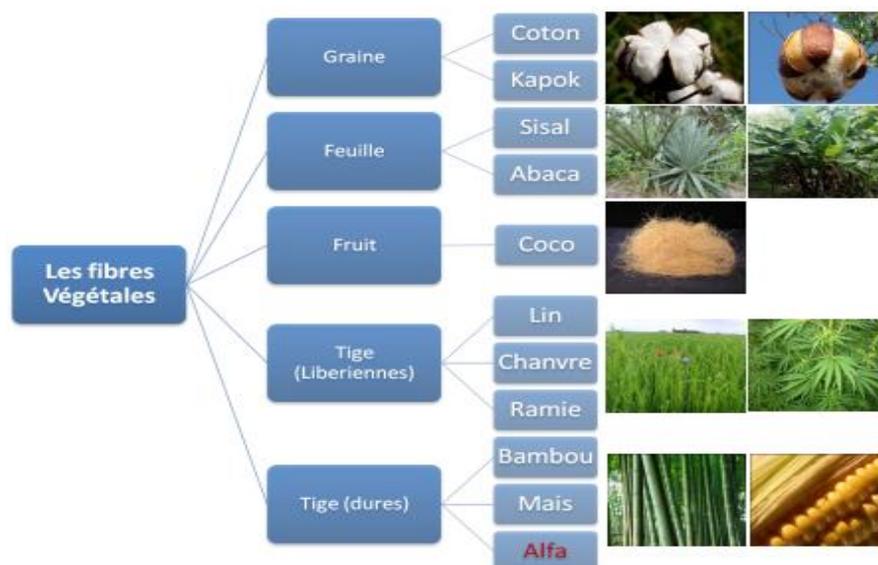


Figure II.3 : Classification des fibres végétales selon l'origine [5].

II.4.3 Classification des fibres végétales

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance : les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface. [11]

➤ Les Fibres de Feuilles

Ces fibres sont obtenues grâce au rejet des plantes monocotylédones. Les fibres sont fabriquées par chevauchement de paquet qui entoure le long des feuilles pour les renforcer ces fibres sont dures et rigides.

Les types de fibres de feuilles les plus cultivées sont la fibre de sisal, de Henequen et d'abaca.

➤ Les Fibres de Tiges

Les fibres de tige sont obtenues dans les tiges des plantes dicotylédones, elles ont pour rôle de donner une bonne rigidité aux tiges de plantes.

Les fibres de tige sont commercialisées sous forme de paquet de cor et en toute longueur. Elles sont par la suite séparées individuellement par un processus de défilage. Les fibres, une fois séparées, sont utilisées dans la fabrication des cordes ou de textile ou bien dans le renforcement du ciment et béton.

Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, de lin, de ramie de sunn, de kennaf, d'urena et de chanvre.

➤ Les Fibres de Bois

Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux, elles sont généralement courtes. Plusieurs chercheurs ont montré l'efficacité de ces fibres dans le renforcement des ciments.

➤ Les Fibres de Surface

Les fibres de surface entourent en général la surface de la tige, de fruits ou de grains, les fibres de surface des grains constituent le groupe le plus important dans cette famille de fibres. Nous citons entre autre le coton et la noix de coco, les fibres de coco ont donnés de bons résultats pour la résistance à la flexion du ciment de fibre

Il est à noter que, les fibres de palmier, qui entourent son tronc, appartiennent à cette famille de fibres.

II.4.4 Propriétés chimiques, physiques et mécaniques des fibres végétales

Les propriétés physiques des fibres naturelles sont principalement déterminées par la composition chimique et physique telle que la structure des fibres, teneur en cellulose, l'angle micro-fibrillaire, la section et le degré de polymérisation. De plus, la résistance et la rigidité des fibres augmentent avec l'augmentation de la teneur en cellulose et avec la diminution de l'angle micro-fibrillaire. Par exemple, les fibres naturelles ayant une teneur élevée en cellulose et un faible angle micro-fibrillaire ont montré des résistances à la traction plus élevées que celle ayant une faible teneur en cellulose et un grand angle spiral, par contre, les fibres végétales à grand angle micro-fibrillaire sont plus allongeable que les fibres à faible angle micro-fibrillaire. Dans une autre étude, John et Thomas en Inde ont constaté que si les micro-fibrilles ont une orientation spirale vers l'axe de la fibre, les fibres végétales sont plus ductiles, tandis que si les micro-fibrilles sont orientées parallèlement à l'axe de la fibre, les fibres végétales seront rigides et présentent une résistance à la traction élevée.

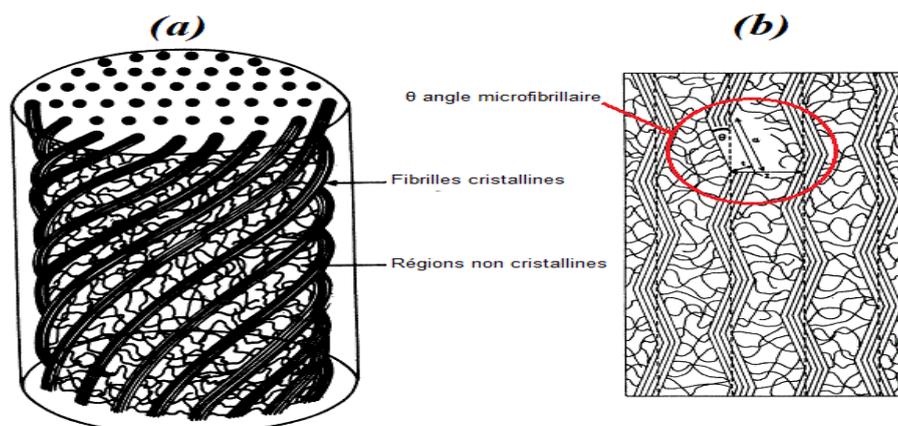


Figure II.4 : Modèle descriptif de la rigidité de la fibre végétale (a) couches S2 dans une vue en 3D, (b) couches S2 projeté dans une vue 2D [9].

Les propriétés chimiques, physiques et mécaniques des fibres végétales sont consignées dans les tableaux suivants :

Tableau II.4 : Propriétés mécaniques de différentes fibres naturelles [9].

| Type de fibre | Densité (g/cm ³) | Longueur (mm) | Résistance à la traction (Mpa) | Module d'élasticité (Gpa) | Allongement (%) |
|-----------------|------------------------------|---------------|--------------------------------|---------------------------|-----------------|
| Abaca | 1.5 | - | 400-980 | 6.2-20 | 1.0-10 |
| Alfaa | 0,89 | - | 35 | 22 | 5.8 |
| Bagasse | 1.25 | 10-300 | 222-290 | 17-27.1 | 1.1 |
| Bambou | 0.6-1.1 | 1.5-4 | 140-800 | 11-32 | 2.5-3.7 |
| Banane | 1.35 | 300-900 | 500 | 12 | 1.5-9 |
| Coir | 1.15-1.46 | 20-150 | 95-230 | 2.8-6 | 15-51.4 |
| Coton | 1.5-1.6 | 10-60 | 287-800 | 5.5-12.6 | 3-10 |
| Ananas | 1.4 | 35 | 87-1150 | 11.8-96 | 1.3-4.9 |
| Lin | 1.4-1.5 | 5-900 | 343-2000 | 27.6-103 | 1.2-3.3 |
| Chanvre | 1.4-1.5 | 5-55 | 270-900 | 23.5-90 | 1-3.5 |
| Agave | 1.2 | - | 430-570 | 10.1-16.3 | 3.7-5.9 |
| Isora | 1.2-1.3 | - | 500-600 | - | 5-6 |
| Jute | 1.3-1.49 | 1.5-120 | 320-800 | 8-78 | 1-1.8 |
| Kénaf | 1.4 | - | 650 | 38 | 1.7 |
| Ortie | - | - | 650 | 38 | 1.7 |
| Palmier a huile | 0.7-1.55 | - | 80-248 | 0.5-3.2 | 17-25 |
| Ramie | 1.0-1.55 | 900-1200 | 400-1000 | 24.5-128 | 1.2-4.0 |
| Sisal | 1.33-1.5 | 900 | 363-700 | 9.0-38 | 2.0-7.0 |

Tableau II.5 : Les caractéristiques physiques des fibres végétales les plus utilisées [5].

| Fibre | Diamètre | Densité (g/cm ³) | Teneur en eau à l'état naturel (%) | Absorption d'eau après 5 min (%) | Absorption d'eau à la saturation (%) |
|--------------|-----------|------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|
| Sisal | - | 1.5 | - | - | - |
| | - | 1.37 | - | 89.30 | 92 |
| | 0.08-0.30 | 0.75-1.07 | 10.97-14.44 | 67-92 | 190-250 |
| Noix de coco | - | 1.2 | - | - | - |
| | - | 1.17 | - | 43.20 | 80.40 |
| | 0.11-0.53 | 0.67-1.00 | 11.44-15.85 | 22-28 | 85-135 |

Tableau II.6 : Compositions chimiques de différentes fibres naturelles [9].

| Type de fibre | Cellulose (%) | Hémicellulose (%) | Lignine (%) | Pectine (%) | Cires (%) | Angle microfibrillaire |
|-----------------|---------------|-------------------|-------------|-------------|-----------|------------------------|
| Abaca | 56-63 | 20-25 | 7-13 | 1 | 3 | - |
| Alfa | 45.4 | 38.5 | 14.9 | - | 2 | - |
| Bagasse | 32-55.2 | 16.8 | 19-25.3 | - | - | - |
| Bambou | 26-65 | 30 | 5-31 | - | - | - |
| Banane | 63-67.6 | 10-19 | 5 | - | - | - |
| Coir | 32-43.8 | 0.15-20 | 40-45 | 3-4 | - | 30-49 |
| Coton | 82.7-90 | 5.7 | < 2 | 0-1 | 0.6 | - |
| Ananas | 70.7-73.6 | 9.9 | 7.5-11.1 | - | - | - |
| Lin | 62-72 | 18.6-20.6 | 2-5 | 2.3 | 1.5-1.7 | 5-10 |
| Chanvre | 68-74.4 | 15-22.4 | 3.7-10 | 0.9 | 0.8 | 2-6.2 |
| Agave | 60-77.6 | 4-28 | 8-13.1 | - | 0.5 | - |
| Isora | 74 | - | 23 | - | 1.09 | - |
| Jute | 59-71.5 | 13.6-20.4 | 11.8-13 | 0.2-0.4 | 0.5 | 8.0 |
| Kénaf | 31-72 | 20.3-21.5 | 8-19 | 3-5 | - | - |
| Ortie | 86 | 10 | - | - | 4 | - |
| Palmier à huile | 60-65 | - | 11-29 | - | - | 42-46 |
| Ramie | 68.6-85 | 13-16.7 | 0.5-0.7 | 1.9 | 0.3 | 7.5 |
| Sisal | 60-78 | 10.0-14.2 | 8.0-14 | 10.0 | 2.0 | 10-22 |

II.4.5 Utilisation Des Fibres Dans La Construction

Le renforcement par les fibres végétales est relativement nouveau par rapport à celui des fibres d'amiante ou d'aciers. La caractérisation de ce nouveau matériau composite nécessite alors, la multiplication des recherches et des essais, ainsi que le développement de nouveaux procédés d'expérimentation.

Le renforcement par les fibres végétales à un avenir promoteur et leur a ouvert une large gamme dans le domaine de la construction spécialement pour les pays de tiers-monde, qui possèdent d'énorme quantité de ces fibres [10] [11].

Le tableau suivant résume les divers applications des fibres dans les produits cimentaires :

Tableau II.7 : Application des divers renforcements de fibres dans les produits à base de ciment [11]

| Type de fibre | Application |
|------------------------|--|
| Verre | Panneaux préfabriqués, murs, rideaux, tuyaux d'égout, toiture en Voile (Mince, enduit) |
| Acier | Elément de toitures en béton cellulaire, linteau, revêtement de chaussée, tabliers de pont, produit réfractaire, tuyaux en béton, piste d'atterrissage, réservoirs sous pression, travaux de restauration bâtiments. |
| Polypropylène Nylon | Pieux de fondation, pieux précontraints, panneaux de revêtement, élément flottant de débarquement et amarres pour les marinas, réparation des routes, tuyau sous-marin, travaux de restauration bâtiments. |
| Amiante | Voiles, tuyau, panneaux matériaux d'isolation thermique, tuyaux d'égouts plaques de toitures plates et ondulées, revêtement des murs. |
| Carbone | Elément ondulé pour la construction des planchers, membrane simple ou double courbure, coques, planché d'échafaudage. |
| Particules de Mica | Panneaux, tuyaux, travaux de restauration. |
| Végétale | Dalles, tuiles. |

II.5 Le palmier Dattier

II.5.1 Présentation générale

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) est l'un des palmiers les plus cultivés pour ses fruits dans les régions arides et semi-arides du monde. Selon les naturalistes, ce palmier est d'origine de la région du Golfe arabe. Il a toujours joué un rôle important dans la vie économique et sociale des habitants des régions désertiques chaudes de l'Inde jusqu'au Sahara occidental et aussi dans la région aride du sud des États-Unis (Californie et Arizona). Le palmier dattier peut atteindre un âge qui dépasse le siècle [9].

II.5.2 Nomenclature et classification Botanique

Le Dattier a été nommé (*Phoenix dactylifera* L.), par Linné en 1753 (BOUNA 2002). *Phoenix* dérivé de *Phoenice* est le nom du dattier chez les Grecs antiques qui l'ont considéré comme l'arbre des Phéniciens (du grec « phoen » rouge sang. Caractéristique de la couleur de leur peau) ou Phéniciens

« Dactylifera » vient du latin « doctylus » dérivant du grec « dactylos » signifiant doigt en raison de la forme de fruit du dattier [12].

Classification [13] :

| | |
|----------|---------------------|
| Règne | Plantae |
| Division | Magnoliophyta |
| Classe | Liliopsida |
| Ordre | Arecales |
| Famille | Arecaceae |
| Genre | Phoenix |
| Espèce | Dactylifera L, 1753 |

II.5.3 Répartition géographique

➤ **Europe**

Sur les rivages européens de la Méditerranée, ainsi que celui du secteur méridional de la Péninsule Ibérique, le dattier est surtout cultivé comme arbre ornemental, bien qu'il le soit aussi pour la production de ses fruits dans quelques provinces d'Espagne [12].

➤ **Asie**

Arabie Saoudite : Principales région de culture du dattier : El-Haza (Hofhouf), Chamar (Hail), région de Riad, El-Hisma (Tebrouk).

Iraq : L'Iraq est l'un des pays les plus importants producteurs de dattes du monde ; les palmeraies irakiennes représentent 37 % des peuplements de dattiers du globe. [12]

➤ **Amérique**

Etats- Unis : Le dattier a été introduit au XVIIIe siècle en Floride, par des missionnaires espagnols, mais sa culture ne débuta que vers 1900 en Californie, avec des variétés introduites d'Algérie et l'Iraq. Les principaux centres de production sont actuellement en Californie méridionale. [12]

➤ **Australie**

Les premières introductions ont été effectuées en 1880 avec des noyaux. Par la suite, les rejets ont été importés d'Algérie, des U.S.A. et d'Iraq ; les deux principaux centres de production sont la Queensland et la Northern Australia. [12]

➤ **En Algérie**

L'Algérie possède deux millions de Km² de Sahara regroupant des oasis dont l'espèce type est le palmier dattier, on compte 14.506.030 d'espèces couvrant superficie de 128.800 ha, avec 9.641.680 dattiers représentant le potentiel productif soit 66 %

Selon des statistiques de 1996 l'Algérie est classée à la cinquième place des pays producteurs de dattes avec 120 milles tonnes et 9 millions de palmiers soit 10 % du patrimoine mondiale dont 6.666.000 espèces productives occupant une superficie de 85.000 ha, et il faut signaler que l'Algérie occupe le premier rang le point de vue qualité triomphé par la variété « Deglet Nour » [12]



Figure II.5 : Palmier du Dattier [12]

II.5.4 Etude Botanique

Le palmier dattier, comme le précise son nom, appartient à une grande famille arbres à palmes et produit des dattes, le palmier dattier est aussi date palm en anglais, nakhil ou tamr en arabe, en afar et en somali, mais, dans tous les pays, il porte le même nom latin, *Phoenix dactylifera*. **Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera*).**

Le palmier dattier a été dénommé *phœnix dactylifera* par LINNE en 1734, *phœnix* dérive de *Phoinix*, nom du dattier chez les Grecs de l'antiquité, qui le considéraient comme l'arbre des phéniciens ; *Dactylifera* vient du latin *dactylus* dérivant du grec *daktulos*, signifiant doigt, en raison de la forme du fruit

Le dattier est une monocotylédone de la famille des palmiers, sous famille ou tribu des Coryphinées, dans la classification de Martius et Blume.

C'est Linné, en 1734, qui a repris le nom de *Phoenix dactylifera* et qui en a fait la description complète. Du dessin des contours à la description des organes, l'étude morphologique du palmier est une première étape

Le palmier est une monocotylédone arborescente, qu'il faut classer dans le règne végétal à côté des herbes, ou herbacées. Il en découle quatre caractéristiques à ne jamais oublier lorsqu'on cultive cette herbe géante :

- Le palmier dattier possède un bourgeon terminal, ou apex, qui assure sa croissance en longueur. Ce bourgeon terminal est unique, et il convient donc de le protéger. Il est cependant flanqué de bourgeons axillaires qui parfois le remplacent en cas de dommage localisé.
- Le diamètre du tronc du palmier, ou stipe, évolue en fonction du climat et des conditions de culture. Cette caractéristique est importante dans les premières années de vie du jeune arbre car le tissu de prolifération, qui détermine le diamètre du tronc, s'arrête rapidement de fonctionner. Le tronc atteint alors son diamètre maximal.
- Chaque palme est reliée par un faisceau libéro-ligneux à une racine ou à un groupe de racines.
- Chaque année, le palmier dattier produit un certain nombre de Palme à partir de l'apex et perd un nombre similaire de palmes par dessèchement. Le nombre moyen de palmes est fonction du caractère variétal, mais aussi des conditions agro-climatiques. [12]

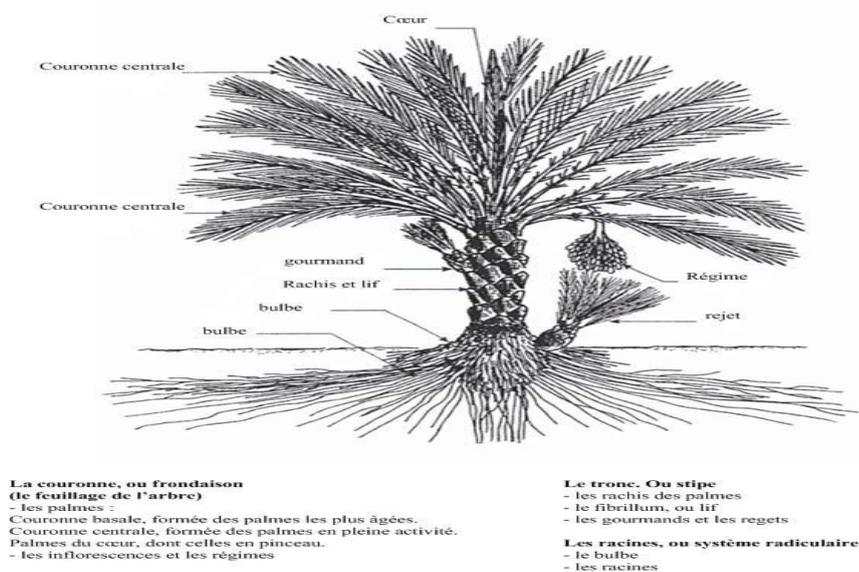


Figure II.6 : morphologie du Palmier Dattier [12]

II.5.5 Les Différentes utilisation de Palmier Dattier

- Le tronc d'arbre, utilisées dans l'ébénisterie traditionnelle, comme bois de chauffage et charpentes de bâtiments.
- Les palmes sèches, utilisées comme clôtures, brises vent ou dans la confection de couffins, de chapeau, de paniers ...
- Le lif pour la confection des semelles de sandales, des cordes, des filets...
- Renforcement de certains matériaux de construction comme les mortiers et les bétons. [12]

II.6 Conclusion

L'utilisation des fibres de toutes natures dans plusieurs domaines en particulier dans la construction est de plus en plus pratiquée, cela revient à leur disponibilité dans les pays de tiers monde et leur caractérisation par des propriétés mécanique et physique importantes et même les problèmes de santé que présente les autres type de fibre

Vu que l'Algérie, est un pays riche en fibre naturelle il est temps d'orienter les axes de recherches vers la valorisation des fibres naturelles dans la construction car l'avenir en termes de renforcement sera attribué aux fibres naturelles.

ETUDE
EXPERIMENTALE

CHAPITRE III
IDENTIFICATION DU SOL ET
PREPARATION DE LA FIBRE

III.1 Introduction

La conception, la réalisation et la maintenance d'ouvrages complexes (bâtiments, routes...) nécessitent une bonne connaissance du sol, de sa nature et son comportement.

L'étude géotechnique permet de définir les caractéristique du terrain, mesurer les déformations et les résistances, afin d'optimiser les ouvrages et proposer des solutions dans le cas d'un problème.

Dans ce chapitre nous allons présenter le site de prélèvement des échantillons, puis une série des essais physique et mécanique sur ces derniers et aussi un protocole sur le traitement chimique de la fibre du dattier.

III.2 Présentation et localisation du site

Le sol utilisé dans notre recherche provient de déblai extrait dans le cadre du projet : Evitement de la ville de Boumerdès, il à été prélevé de la région de Tdjelabine, il à été choisi pour voir la possibilité de so réutilisation pour l'édification des couches de remblai et CDF.

Tidjelabine est une ville algérienne située dans la wilaya de Boumerdès, Daïra de Boumerdès, à 45 km à l'est d'Alger, elle est à 4 km de la ville de Boumerdès.



Figure III.1 : Localisation de site d'étude, coordonné Google Earth : 36°44'23.72"N ; 3°28'59.20"E.



Figure III.2 : zone de stockage de matériau

III.3 Programme des essais de laboratoire

Afin d'identifier le sol et connaître ces caractéristiques géotechnique, nous avons programmé des essais qui portent essentiellement sur :

- Essais physiques et identifications.
- Essais mécaniques.

La détermination des paramètres physiques et mécaniques a été effectuée au niveau de :

- Laboratoire central des travaux publics, unité de Bouira
- Laboratoire national de l'habitat et de la construction (LNHC) unité oued semmar, wilaya d'Alger.

III.4 Identification des essais

III.4.1 Les essais d'identification

III.4.1.1 Granulométrie

La granulométrie est un paramètre permettant de classer les sols naturels d'après la dimension des éléments qu'ils contiennent et déterminer la répartition des grains de sol suivant leur dimension dans un échantillon [17].

Les deux méthodes qui existent pour effectuer une analyse granulométrique :

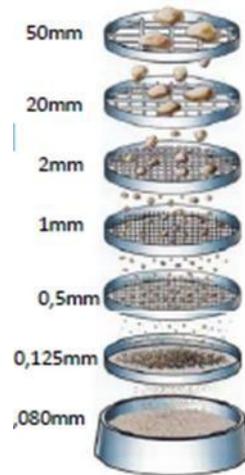
- Analyse granulométrique par tamisage : Pour les graviers et les sables.
- Analyse granulométrique par Sédimentation : Pour les sols à grains fins

III.4.1.1.1 Analyse granulométrique par tamisage (Norme NF P 94-056)

Pour cette méthode il faut faire une représentation de la masse des particules en fonction de leur dimension.

✚ Mode Opérateur:

1. Echantillonnage
2. Lavage
3. Etuvage
4. Criblage de la Fraction 80 μ m/50mm

**Figure III.5 : Criblage**

5. Pesage
6. Courbe Granulométrique

A la fin de l'essai on trace une courbe qui s'appelle « La Courbe Granulométrique » et on résume les résultats dans un tableau pour avoir la nature de chaque élément passant dans le tamis, la figure suivante nous montre un exemple sur cette courbe :

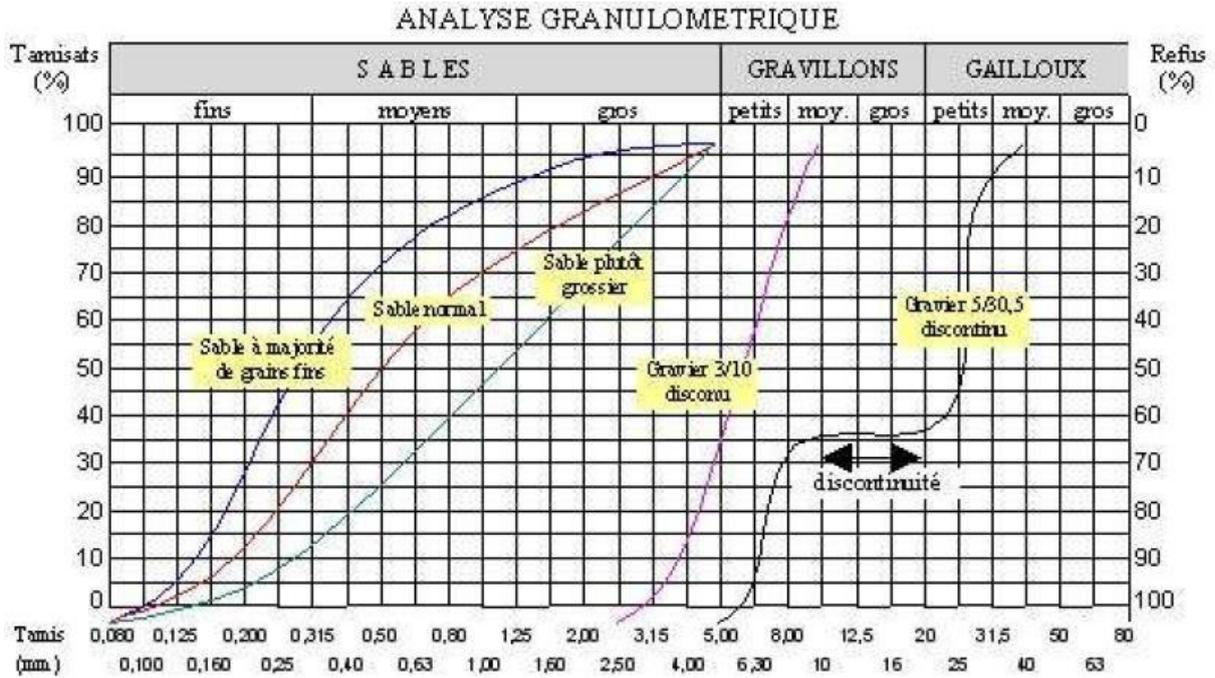


Figure III.6 : Courbe Granulométrique.

Grâce à cette courbe on peut déterminer deux coefficients qui sont :

➤ **Coefficient d'uniformité Cu :**

Ce coefficient permet de caractériser de façon quantitative l'étalement de la courbe granulométrique.

Ce coefficient est déterminé avec la formule suivante : [11]

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

➤ **Coefficient de Courbure Cc :**

Ce coefficient nous permet de décrire la forme de la courbe granulométrique entre D_{10} et D_{60} , et on le détermine avec la formule suivante :

$$Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

III.4.1.1.2 Analyse granulométrique par Sédimentation (Norme NF P94-057)

La sédimentométrie est un essai qui complète l'analyse granulométrique par tamisage des sols. [18]

✚ But de l'essai :

Le but de cet essai est de déterminer le pourcentage de particules argileuses dans un matériau. Dans l'étude des sols, on désigne par argile la fraction de matériau comprenant des éléments de diamètres

inférieurs à 0,002mm, et séparés au cours de l'analyse mécanique ; pour cela on utilise toujours des méthodes indirecte parmi ces méthode on fait appel à la sédimentométrie.



Figure III.7 : Appareillage pour l'essai de sédimentométrie.

✚ Principe de l'essai :

Le principe de la sédimentométrie est basé sur la loi de Stokes qui mesure la vitesse (v) de décantation des particules sphériques, et la fonction de la viscosité du milieu, ainsi mesure de la masse volumique du liquide avec un densimètre à : 0.5, 2, 5, 10, 20, 40, 80 minutes, 4 et 23 heures.

☞ Remarque :

La loi de Stokes qui mesure la vitesse est donnée par la relation suivante : [16]

$$v = \frac{\rho - \rho_0}{18 \eta} \times g \times D^2$$

ρ : Poids spécifique de la particule en centimètre.

ρ_0 : Poids spécifique de l'eau en g/cm^3 .

η : Viscosité du liquide en poises.

g : Accélération de la pesanteur.

D : Diamètre de la particule en centimètre.

V : Vitesse de décantation de la particule en cm/s .

III.4.1.2 L'argilosité :

Pour caractériser l'argilosité des sols on utilise deux paramètres :

- L'indice de plasticité (I_p),
- La valeur au bleu de méthylène du sol (VBS).

III.4.1.2.1 Les limites d'Atterberg (Norme NF P 94-051)

a) L'indice de plasticité I_p :

C'est la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité.

L'indice de plasticité mesure l'étendue du domaine de plasticité du sol. Il s'exprime donc par la relation : [19]

$$I_p = W_L - W_P$$

But d'essai :

Il s'agit de déterminer les limites d'Atterberg sur les sols dont les éléments passent à travers le tamis de dimension 400 μm et déterminé l'indice de plasticité.

Principe de l'essai :

Pour les sols comportant un pourcentage de fines (80 μm) > 35%, l'essai s'effectue sur la fraction 0/400 μm en 2 phases : [14]

- Détermination de la teneur en eau W_L à la limite de liquidité.
- Détermination de la teneur en eau W_P à la limite de plasticité.

b) La limite de plasticité (W_P) :

Est définie comme la teneur en eau d'un sol qui a perdu sa plasticité et se fissure en se déformant lorsqu'il est soumis à de faibles charges. Cette limite sépare l'état plastique de l'état semi-solide. En générale elle ne dépasse pas 40%.

c) La limite de liquidité (W_L) :

Est la teneur en eau qui sépare l'état liquide de l'état plastique.

Ces limites (limite de plasticité et limite de liquidité) sont désignées sous le nom de limites d'Atterberg.

Mode Opératoire :

1. Echantillonnage
2. Etuvage
3. Criblage de la Fraction 400 μm
4. Pesage
5. Modification de la Teneur en eau.
6. Réalisation de la rainure W_L .



Figure III.8 : Essai de limite de liquidité

Avec :

$$W_L = \omega \times (N/25)^{0,121}$$

D'où :

ω : teneur en eau au moment de l'essai donnant n coups

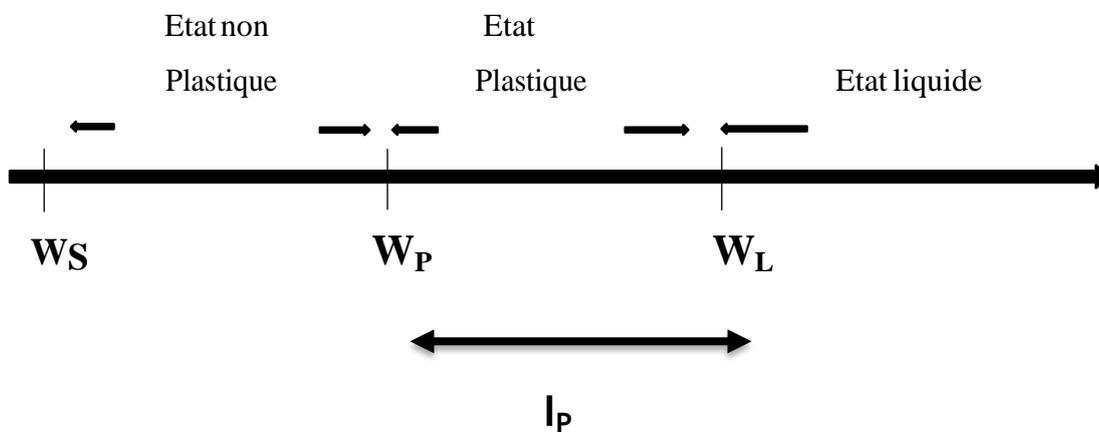
N : nombre de coups par l'appareil de Casagrande.

7. Réalisation du rouleau de sol W_P



Figure III.9 : Essai de limite de plasticité

8. Interprétation des résultats :



Un sol, dont l'indice de plasticité I_p est grand, est très sensible aux conditions atmosphériques, car plus I_p est grand plus le gonflement par humidification de la terre et son retrait par dessiccation seront importants.

I_p : précise donc aussi les risques de déformation du matériau.

➤ **Indice de consistance I_c :**

La comparaison de la teneur en eau naturel w d'un sol et des limites d'Atterberg permet de se faire une idée de l'état d'une argile qu'on peut caractériser par son indice de consistance : [19]

$$I_c = \frac{Wl - W}{Wl - Wp}$$

Donc:

$$I_c = \frac{Wl - W}{I_p}$$

III.4.1.2.2 La valeur au bleu de méthylène du sol (VBS) (Norme NF P 94-068)

L'essai au bleu de méthylène, également appelé « essai au bleu », est un essai utilisé en géotechnique pour déterminer l'argilosité d'un sol.

Cette valeur est déterminée par l'essai au bleu de méthylène, elle est mesurée sur la fraction 0/5mm et exprime en grammes de bleu par cent grammes de la fraction 0/50 mm du sol sec étudié, elle est notée valeur au bleu de méthylène du sol « VBS ».

Cet essai est applicable pour tous sols ainsi pour certains matériaux rocheux, toutefois pour les matériaux les plus argileux on privilégiera les essais des limites d'Atterberg « I_p : Indice de plasticité ». particulièrement [15]



Figure III.10 : Les appareils pour l'essai de valeur au bleu de méthylène du sol

✚ But de l'essai :

L'objectif principal de cet essai c'est de mesurer la richesse en argile d'un sol en mesurant sa capacité d'adsorption de molécules de bleu de méthylène.

✚ Principe de l'essai :

L'essai au bleu de méthylène consiste à doser la quantité de bleu méthylène adsorbée par la fraction 0/5mm du matériau mise en suspension dans l'eau. Cette quantité est rapportée à la fraction 0/50mm du matériau.

☞ Remarque :

On appelle valeur de bleu « VB » d'un sable la quantité en grammes de bleu de méthylène adsorbée par 1 kg de fraction 0/2 mm du sable.

On appelle valeur de bleu des fillers « VBF » la quantité en grammes de bleu de méthylène adsorbée par 1 kg de fraction 0 / 0,125 mm d'un granulat (fillers, sable fillerisé, tout venant gravillon).

On appelle valeur de bleu de sols « VBS » la quantité en grammes de bleu de méthylène adsorbée par 100 g de fraction 0/50 mm d'un sol. Pour cet essai on travaille sur la fraction 0/5 mm du matériau.

✚ Mode Opératoire :

1. Echantillonnage
2. Criblage de la Fraction 0/5mm
3. Pesage

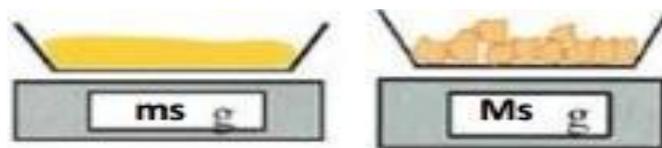


Figure III.11 : pesage de ms et Ms

Avec :

$$C = \frac{ms}{Ms}$$

4. Préparation de la Solution



Figure III.12 : Préparation de la solution

5. Ajout du BM par goutte à goutte, avec :

$$B = \text{nombre de goutte} \times 5\text{ml} \times 10\text{g} / 1000\text{ml}$$

6. Vérification par la tache

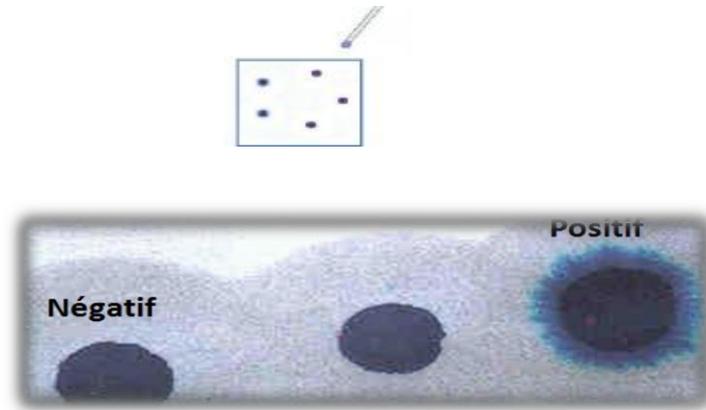


Figure III.13 : vérification par tache d'essai de valeur au bleu de méthylène

Avec :

$$VBS = \frac{B}{ms} \times C \times 100$$

D'où :

B : Masse de bleu introduit dans le bécher en gramme = $V * 0,01$.

Ms : Masse sèche de la prise d'essai en gramme.

C : Proportion de 0/5mm soumis.

VBS : de valeur au bleu de méthylène du sol.

III.4.2 Les paramètres de comportement mécanique

III.4.2.1 Essai Proctor

L'essai Proctor, mis au point par l'ingénieur Ralph R. Proctor (1933), est un essai géotechnique qui permet de déterminer la teneur en eau nécessaire pour obtenir la densité sèche maximale d'un sol granulaire (ou non) par compactage à une énergie fixée.

Les caractéristiques de compactage Proctor sont des paramètres très utilisés pour identifier les matériaux et pour définir les spécifications de compactage qui leur sont applicables lorsqu'ils sont utilisés dans la construction des remblais, des couches de forme et des assises de chaussées. [20]

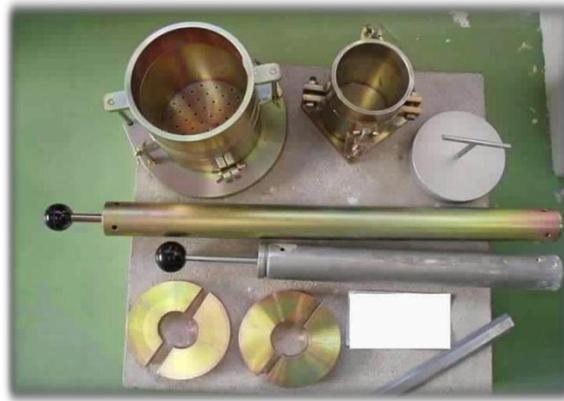


Figure III.14 : Matériel pour l'essai Proctor

✚ But de l'essai :

Son but c'est la détermination de la teneur en eau optimale et la densité sèche maximale, selon des conditions de compactage précises.

✚ Principe de l'essai :

L'essai consiste à compacter dans un moule normalisé, à l'aide d'une dame normalisée, selon un processus bien défini, l'échantillon de sol à étudier et à mesurer sa teneur en eau et son poids spécifique sec après compactage.

L'essai est répété plusieurs fois de suite sur des échantillons portés à différents teneurs en eau et aussi on définit plusieurs points d'une courbe (γ_d, ω) ; on trace cette courbe qui, représente un maximum dont l'abscisse est la teneur en eau optimale et l'ordonnée la densité sèche optimale. [17]

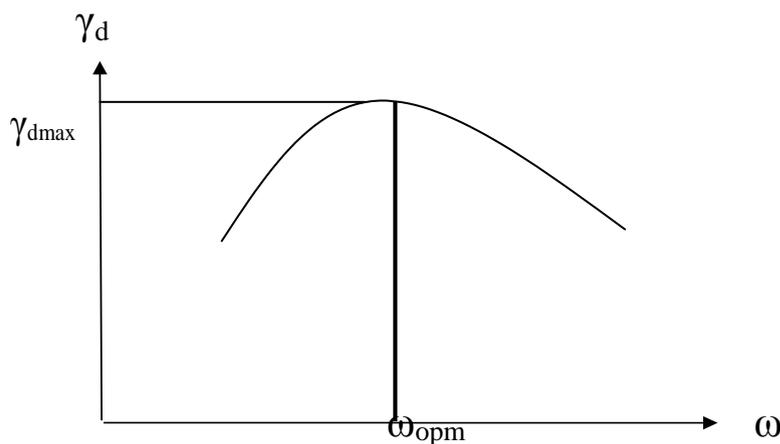


Figure III.15 : Courbe de Proctor

Le choix de l'intensité de compactage est fait en fonction de la surcharge que va subir l'ouvrage au cours de sa durée de vie :

- Essai Proctor normal : Résistance souhaitée relativement faible, du type remblai non ou peu chargé.
- Essai Proctor modifié : Forte résistance souhaitée, du type chaussée autoroutière.

III.4.2.1.1 Essai Proctor Normal (Norme NF P 94-093)

Le compactage n'est que moyennement poussé. Il est généralement utilisé pour les études de remblais en terre (barrages et digues).

Il s'effectue en trois couches avec « la dame Proctor normal », l'énergie de compactage est de :

- 55 coups de dame par couche dans le moule C.B.R.
- 25 coups par couche dans le moule Proctor normal.

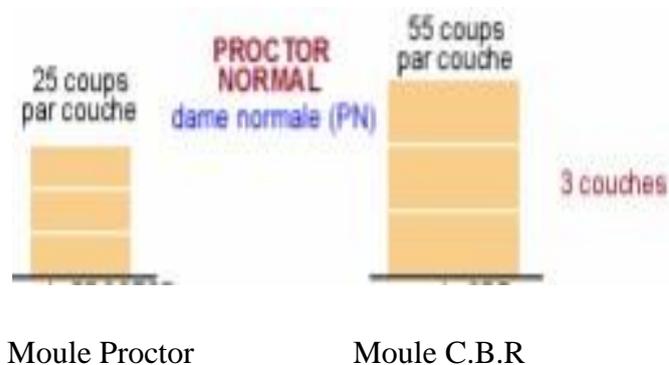


Figure III.16 : Démonstration pour essais Proctor Normal

III.4.2.1.2 Essai Proctor modifié (Norme NF P 94-093)

Le compactage est beaucoup plus intense ; il correspond en principe au compactage maximum que l'on peut obtenir sur chantier avec les rouleaux à pieds de mouton ou les rouleaux à pneus lourds modernes.

Le compactage dans ce cas-là s'effectue en cinq couches successives avec « la dame Proctor modifié » l'énergie de compactage est de :

- 55 coups de dame par couche dans le moule C.B.R.
- 25 coups par couche dans le moule Proctor.

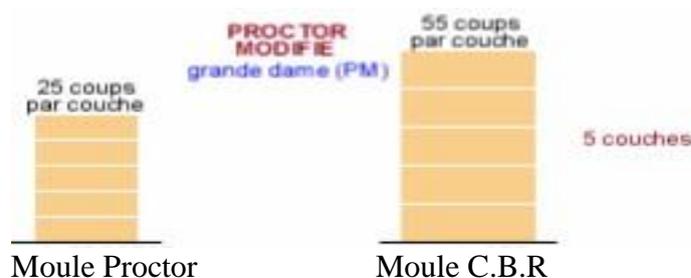


Figure III.17 : Démonstration pour essais Proctor modifié

III.4.2.1.3 Différence Entre Proctor Normal et Proctor Modifié

On peut résumer la différence entre essais de Proctor normal et l'essai de Proctor modifié dans le tableau suivant :

Tableau III.1 : La différence entre Proctor Normal et Proctor Modifié

| Type | Nombre total de coup | Hauteur de Chute (cm) | Masse Dame (Kg) | Diamètre du Moule (cm) | Hauteur du moule (cm) | Energie de compactage KN.M/m ³ |
|-----------------|----------------------|-----------------------|-----------------|------------------------|-----------------------|---|
| Proctor Normal | 75 | 30,5 | 2,490 | 10,15 | 11,65 | 593 |
| Proctor Modifié | 280 | 45,7 | 4,535 | 15,20 | 11,60 | 2700 |

 **Remarque :**

- Si le refus est $\leq 25\%$, l'essai doit être réalisé dans le moule CBR (Californian-Bearing-Ratio), mais sans intégrer le refus (l'échantillon écrêté à 20 mm).
- Si le refus est $> 25\%$, l'essai PROCTOR ne doit pas être réalisé (compactage hasardeux).

III.4.2.2 Essai CBR: (Californian-Bearing-Ratio) (Norme NF P 94-078)

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

Il s'agit de déterminer l'Indice Portant Immédiat, Indice CBR (Californian-Bearing-Ratio) Immédiat ou Imbibé, d'un sol ou d'un matériau granulaire utilisé dans la construction des ouvrages en terre ou des assises de chaussées. C'est un essai de poinçonnement à l'aide d'une presse standard (presse CBR) à vitesse constante (1,27 tr/mn) et le diamètre du piston 19,6 cm. [17]



Figure III.18 : Les appareils pour essai CBR

But de L'essai :

L'objectif principal de cet essai c'est de connaître les caractérisations mécaniques des sols naturels et de sols compactés dans des remblais et des couches de forme, de fondations et de sous-fondations de routes et aéroports. Donc c'est un essai qui a pour but de déterminer : [21]

- D'établir une classification des sols (GTR) « Guide des Terrassements Routières ».
- D'évaluer la traficabilité des engins de terrassement (IPI) « Indice de Portance Immédiat)
- Déterminer l'épaisseur des chaussées CBR (Californian-Bearing-Ratio) augmente \Rightarrow épaisseur diminue).

Principe de l'essai :

Il mesure la résistance à l'effort tranchant d'un sol et le gonflement du sol, il nous permet de calculer la portance du sol, en estimant sa résistance au poinçonnement, il est applicable aux sols fins, ainsi qu'aux sols grenus dont la teneur en éléments de plus de 20 mm de dimension maximale ne dépasse pas 25%. [22]

Remarque :

L'essai CBR nous permet de mesurer 03 types d'indices en fonction des buts fixés :

- **L'indice Portant immédiat (IPI) :** Il caractérise l'aptitude du sol à permettre la circulation des engins de chantier directement sur sa surface lors des travaux ($H = 0 \Rightarrow$ pas de surcharges S)
- **L'indice C.B.R. immédiat :** Il caractérise l'évolution de la portance d'un sol support (ou constituant de chaussée) compacté à différentes teneurs en eau.
- **L'indice C.B.R. après immersion :** Il caractérise l'évolution de la portance d'un sol support (ou constituant de chaussée) compacté à différentes teneurs en eau et soumis à des variations de régime hydrique.

Mode Opérateur :

1. On prend 3 échantillons chacun environ 7 kg doit être compacté jusqu'à ou on obtient la densité compactés varient entre 95% à 100% en général avec 10, 25 et 56 coups.
2. Peser de moule vide.
3. Ajouter de l'eau pour le premier échantillon (compacté en cinq couches en donnant 10 coups par couche).
4. Après compactage, retirer le collier et niveler la surface.
5. Prélevez un échantillon pour déterminer la teneur en humidité.
6. On mesure le poids de l'échantillon moule compactés.

7. Placer le moule dans la cuve de trempage pendant quatre jours (ignorer cette étape en cas de non trempé CBR (Californian-Bearing-Ratio)).
8. Prenez d'autres échantillons et appliquer différents coups et répétez le processus.
9. Au bout de quatre jours, mesurer la lecture de la houle et trouver % houle d'âge.
10. Retirer le moule de la cuve et permettre à l'eau de vidange.
11. Ensuite, placer l'échantillon sous le piston de pénétration et placer la charge.
12. Appliquer la charge et notez les valeurs de charge de pénétration.
13. Dessiner les graphiques entre la pénétration (en) et la charge de pénétration (en) et de trouver la valeur de CBR (Californian-Bearing-Ratio).

III.4.2.3 Essai de cisaillement direct (Norme NF P94-071-1) [23]

But de L'essai :

L'essai a pour objet de mesurer les caractéristiques de rupture d'un échantillon de sol fin saturé soumis à un cisaillement direct selon un plan imposé, à une vitesse constante. En vitesse lente et conditions drainées peuvent être déduites les valeurs de l'angle de frottement effectif f' et la cohésion effective c' , paramètres utilisés pour le dimensionnement de fondations, les calculs de vérification des coefficients de sécurité à la rupture de talus et pour la détermination des actions de poussée et de butée sur les ouvrages de soutènement.

Principe de l'essai :

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans un bâti de cisaillement constitué de deux demi-boîtes indépendantes. Le plan de séparation des deux demi-boîtes constitue un plan de glissement préférentiel correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette.

L'essai consiste à :

- Consolider l'éprouvette de section s dans une première phase en appliquant sur la face supérieure un effort vertical constant maintenu pendant tout l'essai (contrainte $\sigma = N/s$)
- La phase de consolidation permet de calculer la vitesse à laquelle doit être cisailé l'échantillon.
- Cisailier ensuite le long du plan de séparation des 2 demi-boîtes en leur imposant un déplacement relatif à vitesse constante.
- L'effort de cisaillement horizontal (T) est mesuré et la contrainte $\tau = T/s$ est calculée.



Figure III.19 : Appareil pour l'essai de cisaillement.

L'essai est réalisé sur au minimum 3 éprouvettes en augmentant à chaque fois la contrainte normale appliquée.

On obtient ainsi les courbes de cisaillement effort déformation et l'on peut en déduire les droites ($t ; s_n$) pour les valeurs à la rupture et à l'état critique.

Il est alors simple de déterminer l'angle de frottement f' et la cohésion c' , respectivement la pente et l'ordonnée à l'origine de ces droites.

On distingue trois types d'essais :

- non consolidé - non drainé : essai UU,
- consolidé - non drainé : essai CU,
- consolidé - drainé : essai CD.

III.5 Résultats des essais de laboratoire

Les résultats trouvés sont résumés dans le tableau suivant

Tableau III.2 : résultats des essais de laboratoire

| Nature apparente de sol | Granulométrie | | | Limites d'atterberg | | | VBS | Classification GTR |
|---------------------------------------|---------------|------------|---------------|---------------------|--------------------|--------------------|-----|--------------------|
| | D max (mm) | ≤ 2 mm (%) | ≤ 0.08 mm (%) | W _L (%) | W _P (%) | I _P (%) | | |
| Argile limoneuse graveleuse, jaunâtre | 31,5 | 71,28 | 44,47 | 40,07 | 20,10 | 19,97 | 3,5 | A2 |

| Proctor modifié | | INDICE CBR à 95% de l'OPM | CD | |
|-----------------|--|---------------------------|----------|----------|
| W OPM (%) | γ _d max (t/m ³) | | C' (Kpa) | φ' (Deg) |
| 10,3 | 1,87 | 11,78 | 6,93 | 29,3 |

Commentaires des résultats

Granulométrie

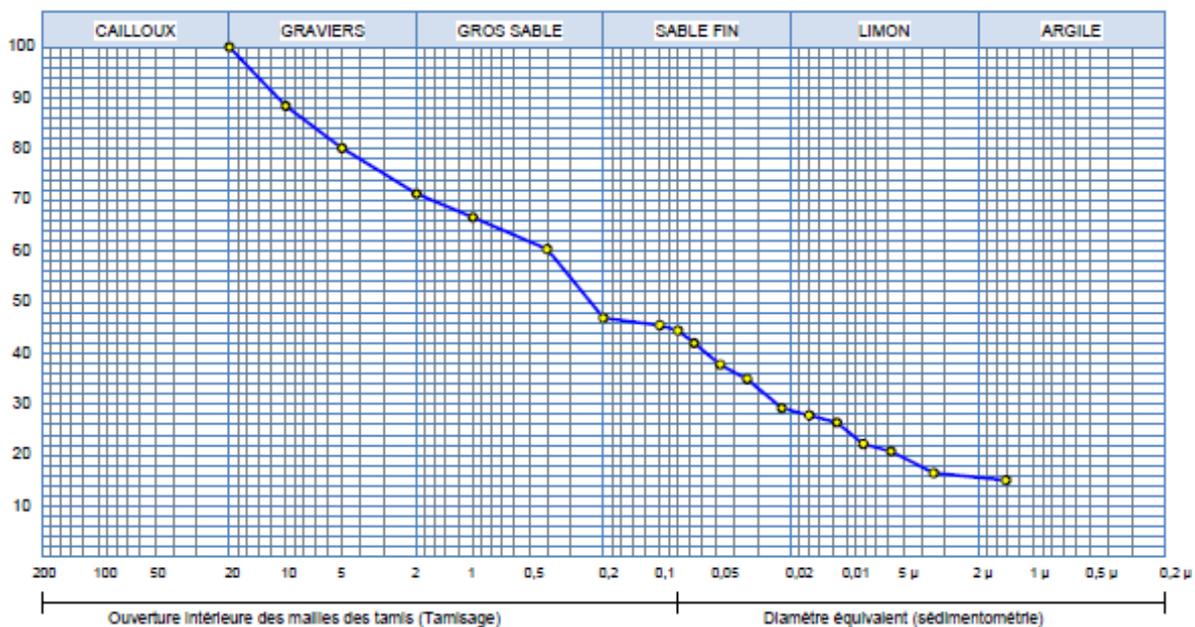


Figure III.20 : La courbe granulométrique

Compte tenu de D_{max} qui est inférieur à 50 mm et du pourcentage des éléments inférieurs à 80μ qui dépassent les 35%, le matériau peut être classé comme sol fin selon le GTR.

Limites d'Atterberg

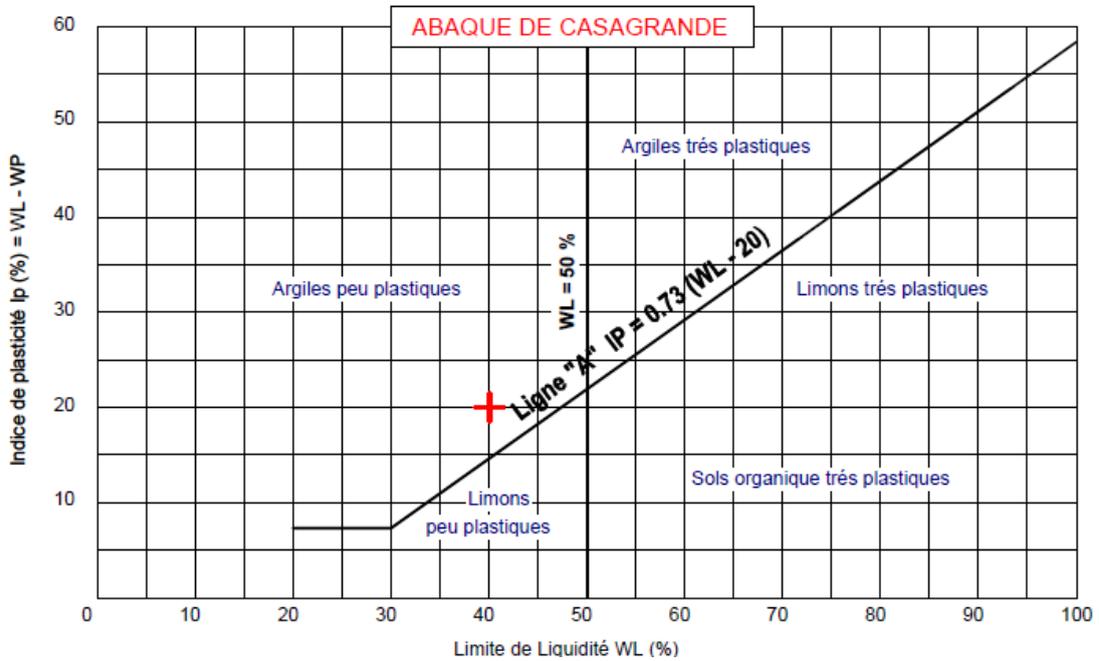


Figure III.21 : L'abaque de Casagrande.

Le résultat obtenu de cet essai montre que le sol analysé correspond à un sol argileux limoneux peu plastique

Optimum Proctor modifié

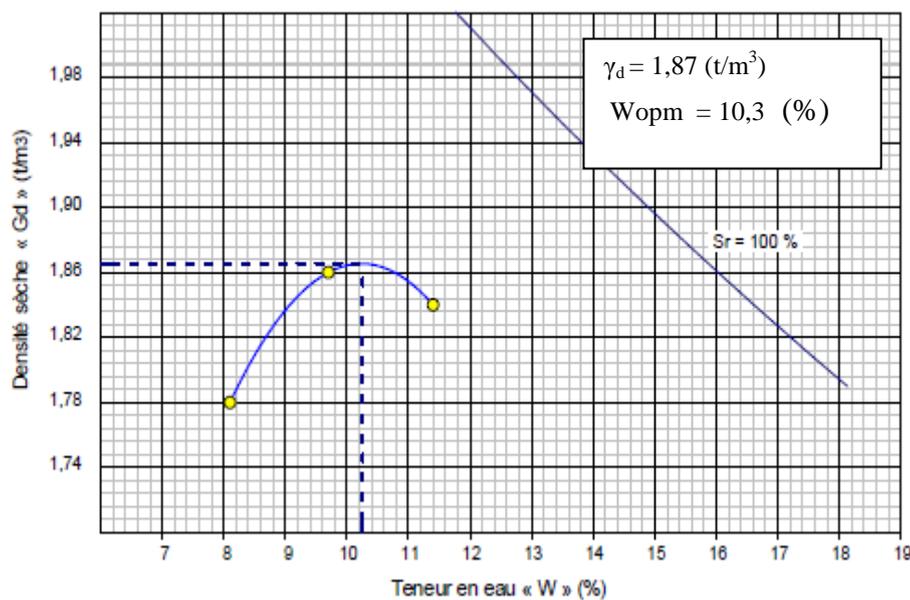


Figure III.22 : Courbe Proctor.

La densité optimum de ce matériau est de 1,87 t/m, pour une teneur en eau de l'ordre de 10,3 %, ce qui correspond à un sol dense.

Essai CBR

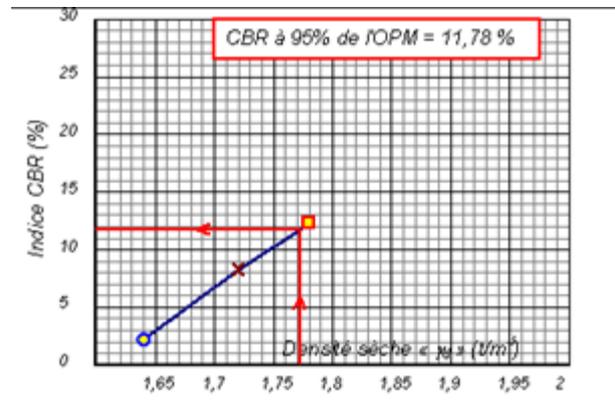


Figure III.23 : Courbe CBR à 95 % de l'OPM.

La valeur de l'indice CBR immédiat du sol est de 11.78 %, le sol est classé en S2 selon le catalogue de dimensionnement de chaussée neuves CTTT.

Essai cisaillement CD

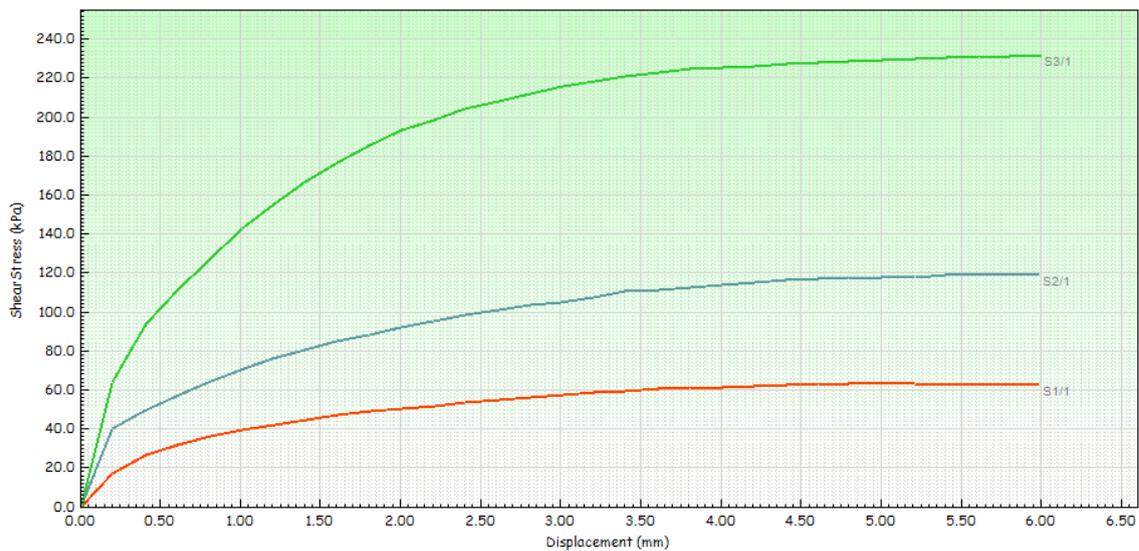


Figure III.24 : courbe contrainte – déformation de l'essai cisaillement du sol témoin

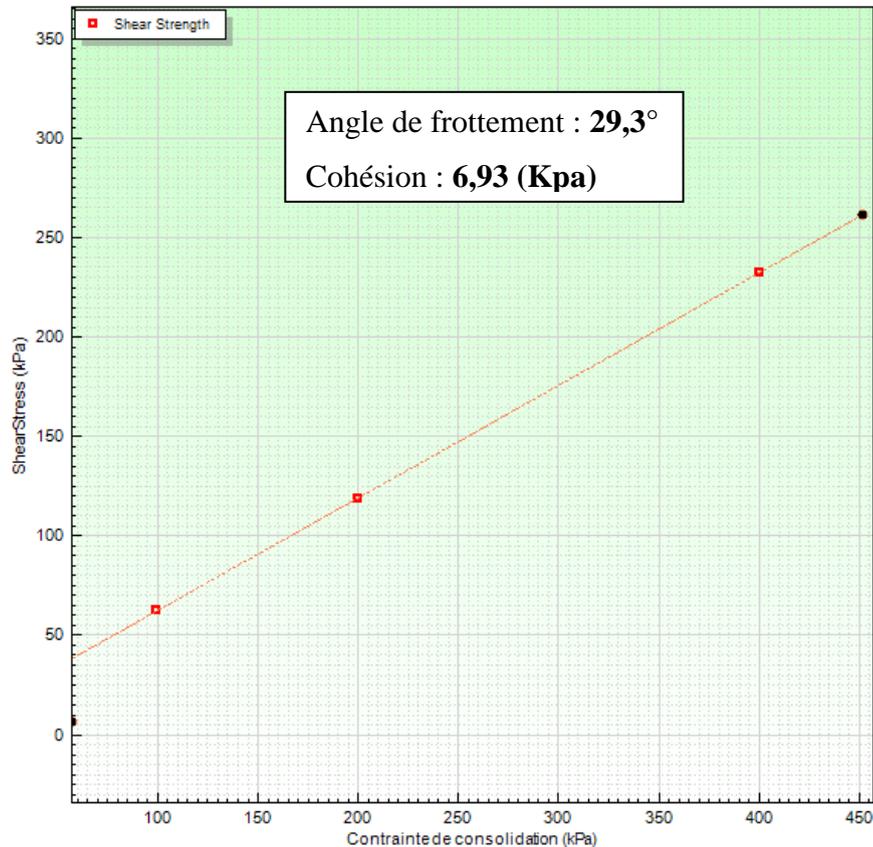


Figure III.25 : courbe intrinsèque du sol témoin

Les valeurs obtenues à partir l'essai de cisaillement rectiligne de type (consolidé drainé à la boîte de casagrande) sont : la cohésion drainée est de 6,93 kPa et l'angle de frottement interne est de 29,3°.

En conclusion, selon la NF P 11 300, l'échantillon de sol analysé correspond à un sol fins, de classe Ai. La plasticité mesurée puis confirmée après identification par l'essai au bleu de méthylène VB indique un sol peu plastique A2. Il s'agit d'un sol argileux et limoneux avec fines moyennement humide.

Les conditions d'utilisations des matériaux de classe A2 pour l'édification des couches de formes sont données par le guide des terrassements routiers GTR fascicule II. A noter que, les sols A2 sont très sensibles aux conditions météorologiques qui peuvent très rapidement interrompre le chantier à cause d'un excès de teneur en eau ou au contraire conduire à un matériau très difficile à compacter ce qui implique de les traiter.

EXTRAIT DE L'ANNEXE 2, DU TABLEAU DES CONDITIONS D'UTILISATION DES MATERIAUX EN COUCHE DE FORME A APPLIQUER A LA SOUS CLASSE A2

Tableau III.3 : extrait de l'annexe 2, du tableau des conditions d'utilisation des matériaux en couche de forme à appliquer à la sous classe a2

| Sol | Observations générales | Situation météorologique | | Conditions d'utilisation en couche de forme |
|-----|---|--------------------------|-------------------------|--|
| A2h | <p>La sensibilité à l'eau des sols de cette classe implique de les traiter le plus souvent en associant chaux + liant hydraulique étant donné l'importance de la fraction argileuse qu'ils peuvent contenir.</p> <p>L'association avec de la chaux peut par ailleurs s'imposer pour ajuster leur état hydrique lors qu'ils sont trop humides.</p> <p>Lorsqu'ils sont dans un état sec, il est nécessaire de les humidifier pour les ramener à l'état moyen et dans ce cas la chaux peut avantageusement être introduite sous forme de lait de chaux dont la concentration doit être adaptée au cas de chantier considéré.</p> | + | pluie faible | Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant (s) |
| | | = | ni pluie ni évaporation | T : traitement mixte : chaux + liant hydraulique S : application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté |
| | | - | évaporation importante | T : traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté |
| A2m | <p>Ces sols traitent presque toujours en place pour la phase de prétraitement à la chaux et éventuellement en centrale pour la phase traitement au ciment.</p> | + | pluie faible | Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant (s) |
| | | = ou - | pas de pluie | W : arrosage pour maintien de l'état hydrique T : traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté |
| | | + | pluie faible | Situation météorologique ne garantissant pas une maîtrise suffisante de l'état hydrique du mélange sol + liant (s) |
| A2s | | = ou - | pas de pluie | W : humidification pour changer l'état hydrique T : traitement avec un liant hydraulique éventuellement associé à la chaux S : application d'un enduit de cure gravillonné éventuellement clouté |

III.6 Le traitement chimique de la fibre naturelle du dattier

III.6.1 Traitement chimique et extraction de la fibre du dattier

Les fibres végétales testées sont issues des feuilles des palmiers dattiers .ces fibres sont d'un cout négligeable car elles sont en abondance en Algérie du fait qu'elle possède plus de 18.5 millions de palmier dattier.

Ces feuilles sont jetées ou brulées chaque année après la récolte des palmiers. Cette ressource naturelle et renouvelable mérite ainsi d'être valorisée après un simple traitement chimique a base de Na OH car un traitement complexe rendre la fibre plus chère et moins compétitive sur le marché et le but de notre travail c'est de trouvé un matériau écologique avec des bonnes caractéristiques mécaniques.



Figure III.26 : La fibre du dattier

III.6.2 Protocole chimique du traitement de la fibre du Dattier [24]

1. Couper les fibres du Dattier en petit morceaux de (0.5 à 1cm)
2. Lavage par l'eau permet d'éliminer les poussières
3. Préparation de la solution de Na OH avec une concentration de 2% (20g /1L)

4. Mettre une masse de la fibre du Dattier dans un bicher et on ajoute la solution du Na OH qu'on a préparé, on laisse la fibre dans cette solution pendant 72 heure a la température ambiante
5. lavage de fibre avec l'eau.
6. Mettre la fibre dans une solution de l'acide sulfurique à 1% de concentration (10g /1L) pendant 5 min ;
7. Lavage encore une fois avec l'eau douce ;
8. Émerger dans l'eau distillée pendant 15 min pour avoir un PH neutre ;
9. Enfin sécher l'échantillon dans l'étuve a une température de 70° pendant 05 heures

| | |
|---|--|
|  |  |
| Etapes : 1 et 2 | Etape 6 |
|  |  |
| Etape 3 | Etapes : 6 et 7 |
|  |  |
| Etapes : 4 et 5 | Etapes : 8 et 9 |

Figure III.27 : Protocole complet du traitement de la fibre du Dattier

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différents essais nécessaires pour l'identification d'un sol, ces essais après avoir les exécuter il faut qu'ils respectent les normes en vigueur pour la réalisation des couches de forme.

L'étude des caractéristiques des constituants de ce matériau à montrer que l'échantillon dans la classe A2 implique un traitement pour qu'il puisse être utilisé pour l'édification des couches de forme.

Ce traitement sera faire par la fibre de dattier naturelle, on a présenté à la fin de ce chapitre un mode de traitement chimique de cette dernière, dans le chapitre suivant nous allons étudier le comportement mécanique du sol après l'ajout de différents pourcentages de fibres de Dattier.

Chapitre IV

EFFET DES FIBRES DE DATTIER SUR LE COMPORTEMENT MECANIQUE DU SOL ETUDIE

IV.1 Introduction

D'après les résultats obtenus des essais sur le sol témoin, nous avons constaté que le matériau analysé nécessite un traitement pour son réutilisation pour l'édification des couches de formes, le guide des terrassements routiers GTR recommande un traitement en associant la chaux avec un liant hydraulique. Dans notre recherche nous avons essayé d'étudier une nouvelle méthode de traitement à base des biomatériaux « fibre du Palmier Dattier ».

Dans ce quatrième chapitre, nous avons essayé d'étudier le comportement mécanique du sol avec des pourcentages différents de fibre du Dattier

On commence par une série d'essai pré-mécanique (énergétique) Proctor et CBR, puis on passe aux essais mécaniques cisaillement après la reconstitution des éprouvettes du sol remanié.

IV.2 Les essais sur le sol traité

Une série d'essai pré-mécanique (énergétique) et mécanique ont été effectués sur le sol avec différents pourcentages (3%, 5%, 7%) de fibre du Dattier, afin d'évaluer l'influence de cette dernière sur le comportement du sol.

IV.2.1 Les essais pré-mécaniques (énergétique)

- Essai Proctor
- Essai CBR

IV.2.1.1 L'essai Proctor du sol traité avec la fibre du Dattier

➤ Cas N°1 : sol + 3% de fibre du Dattier

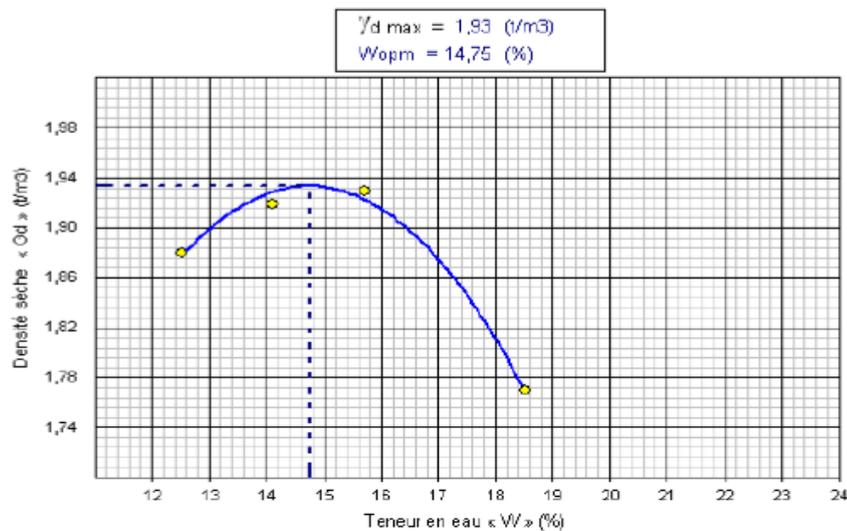


Figure IV.1 : courbe Proctor (sol+3% de fibre de Dattier).

La densité optimum de ce mélange est de 1,93 t/m, pour une teneur en eau de l'ordre de 14,75 %, correspond à un sol dense.

❖ Interprétation des résultats

Les résultats de l'essai Proctor modifié réalisé sur le sol avec ajout de 3% de fibre montrent une amélioration de la densité sèche qui de 1,93 (t/m³) pour une teneur en eau optimale de 14,75 % - par rapport à l'échantillon témoin-, c.-à-d que le sol devient plus dense.

➤ Cas N°2 : sol + 5% de fibre du Dattier

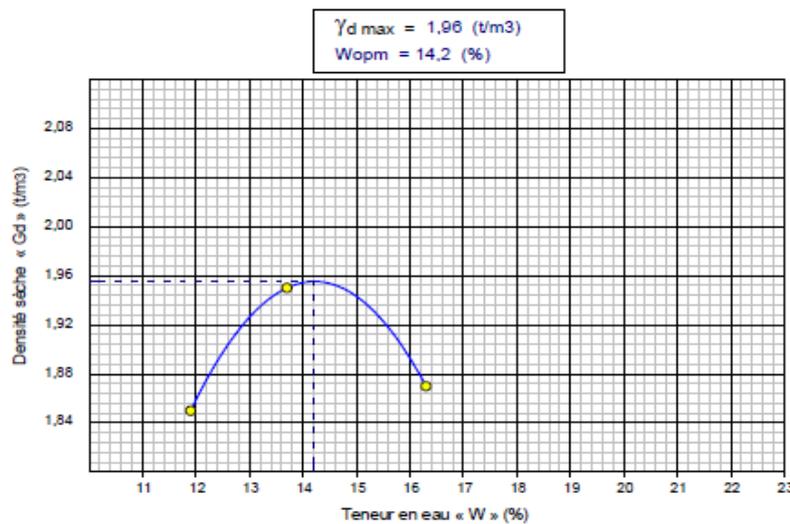


Figure IV.2 : courbe Proctor (sol + 5% de fibre de Dattier).

La densité optimum de ce mélange est de 1,96 t/m, pour une teneur en eau de l'ordre de 14,2 %, correspond à un sol dense.

❖ Interprétation des résultats

Les résultats trouvés de l'essai Proctor réalisé sur l'échantillon sol + 5% de fibre, sont encore amélioré, avec une densité sèche maximale qui est de 1,96 (t/m³) pour une teneur en eau optimale de 14,2 %.

➤ Cas N°3 : Sol + 7% de fibre du Dattier

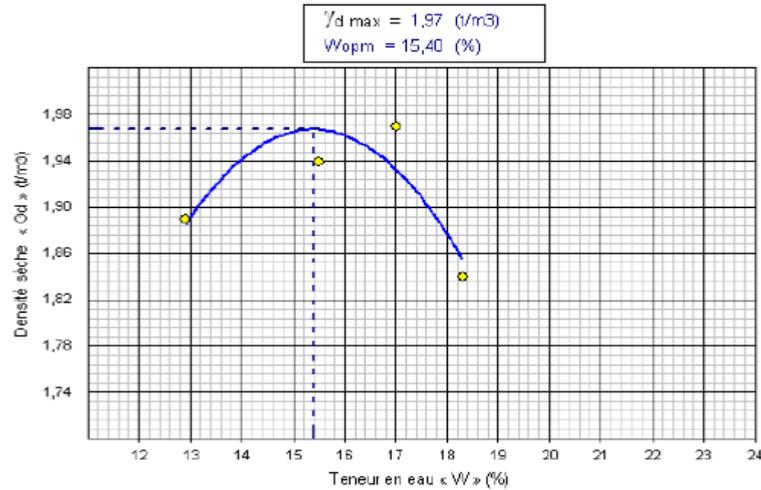


Figure IV.3 : courbe Proctor (sol + 7% de fibre de Dattier).

La densité optimum de ce mélange est de 1,97 t/m, pour une teneur en eau de l'ordre de 15,40 %, correspond à un sol dense.

❖ **Interprétation des résultats**

Les résultats trouvés de l'essai Proctor modifié sur le sol avec 7 % de fibre montrent une légère augmentation de la densité sèche qui de 1,97 (t/m³) pour une teneur en eau a de l'ordre 15,40% par rapport au sol + 5 % de fibre.

IV.2.1.2 L'essai CBR du sol traité avec la fibre du Dattier

➤ **Cas N°1 : sol + 3% de fibre du Dattier**

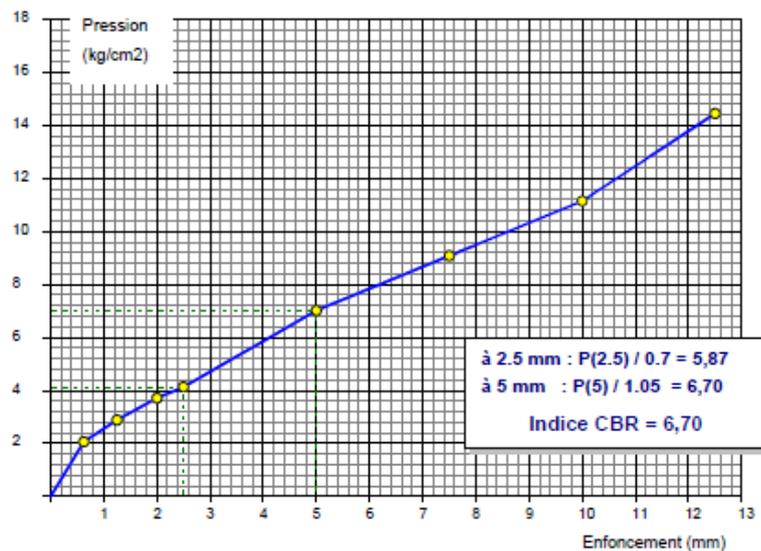


Figure IV.4 : courbe de l'essai CBR (pour une énergie de compactage de 10 coups).

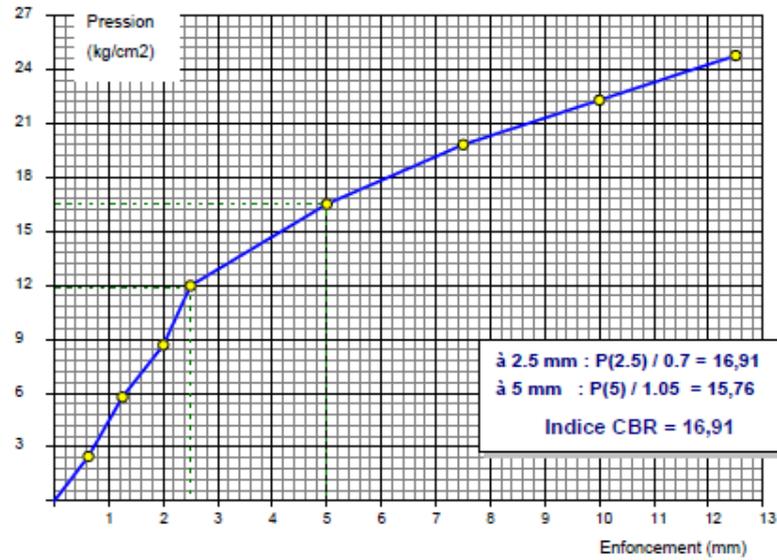


Figure IV.5 : courbe de l'essai CBR (pour une énergie de compactage de 25 coups).

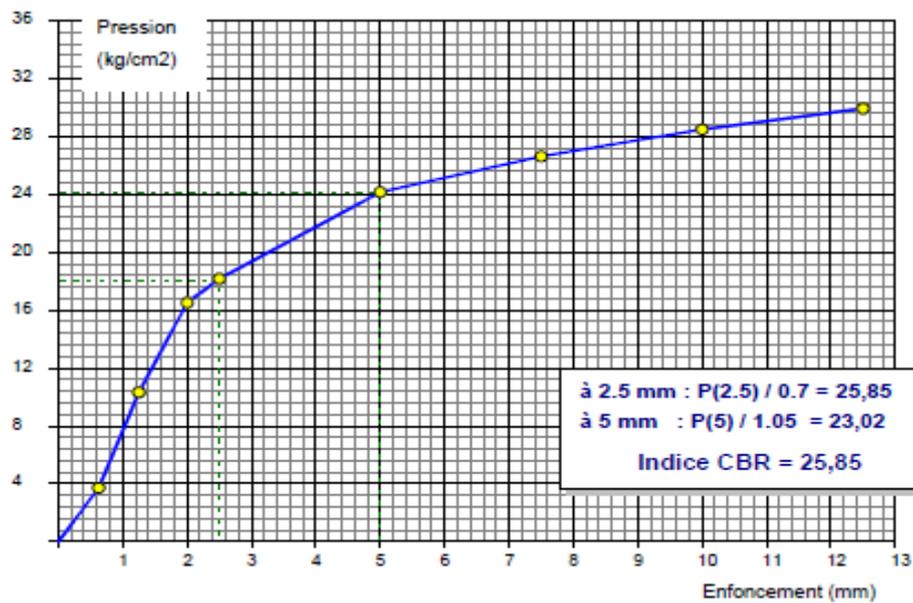


Figure IV.6 : courbe de l'essai CBR (pour une énergie de compactage de 56 coups).

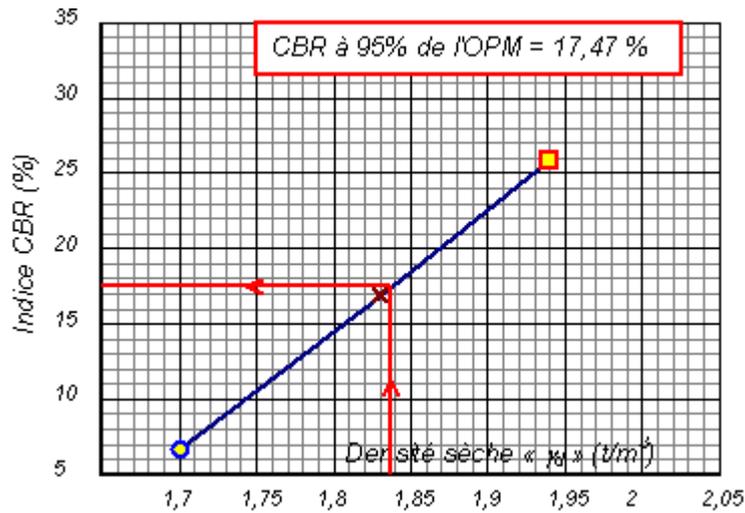


Figure IV.7 : courbe d'indice CBR à 95 % de l'OPM (sol + 3% de fibre).

❖ **Interprétation des résultats**

La valeur de l'indice CBR à 95% de l'OPM est de 17,47 % : on remarque que l'ajout de 3 % de fibre améliore la portance de sol qui passe de 11,78 % (sol témoin) à 17,47 % (sol+3% de fibre).

➤ **Cas N°2 : Sol + 5% de fibre du Dattier**

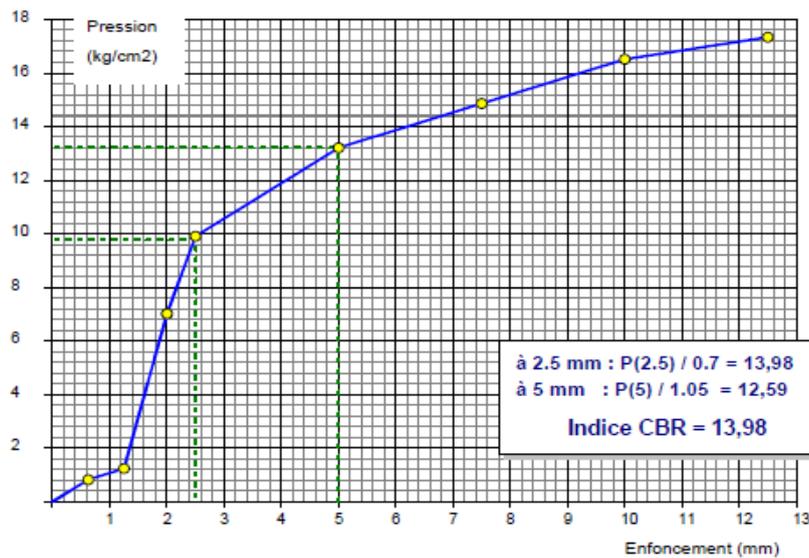


Figure IV.8 : courbe de l'essai CBR (pour une énergie de compactage de 10 coups).

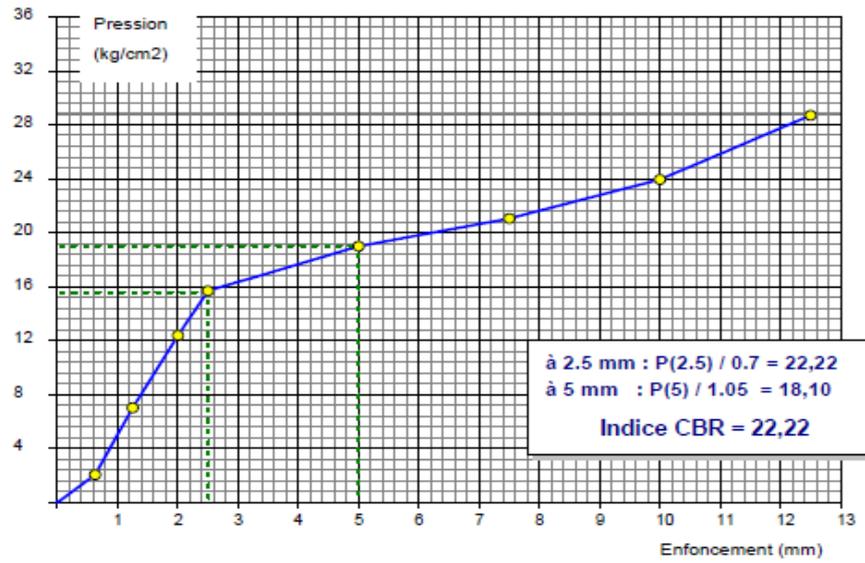


Figure IV.9 : courbe de l'essai CBR (pour une énergie de compactage de 25 coups).

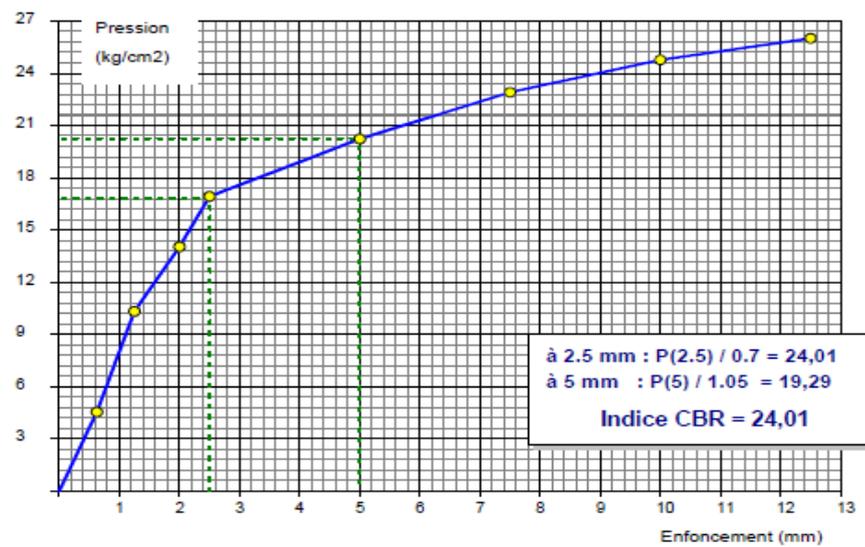


Figure IV.10 : courbe de l'essai CBR (pour une énergie de compactage de 56 coups).

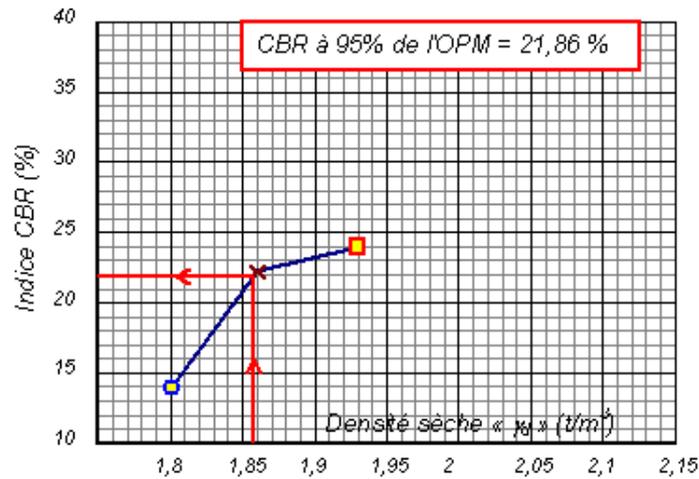


Figure IV.11 : courbe d'indice CBR à 95 % de l'OPM (sol + 5% de fibre).

❖ **Interprétation des résultats**

La valeur de l'indice CBR à 95% de l'OPM est de 21,86 % : l'ajout de 5% de fibre donne un indice CBR à 95 % de l'OPM meilleure que l'indice CBR du sol témoin et de sol+3% de la fibre.

➤ **Cas N°3 : sol + 7 % de fibre du Dattier**

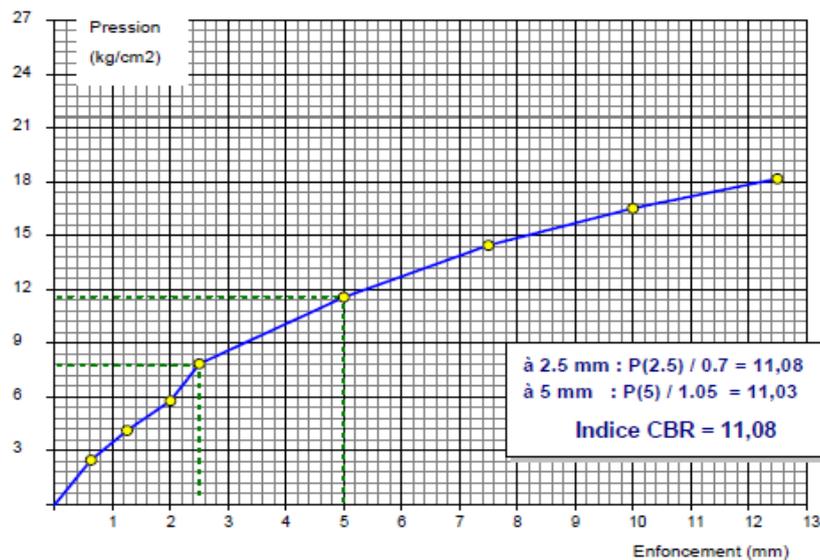


Figure IV.12 : la courbe CBR (pour une énergie de compactage de 10 coups).

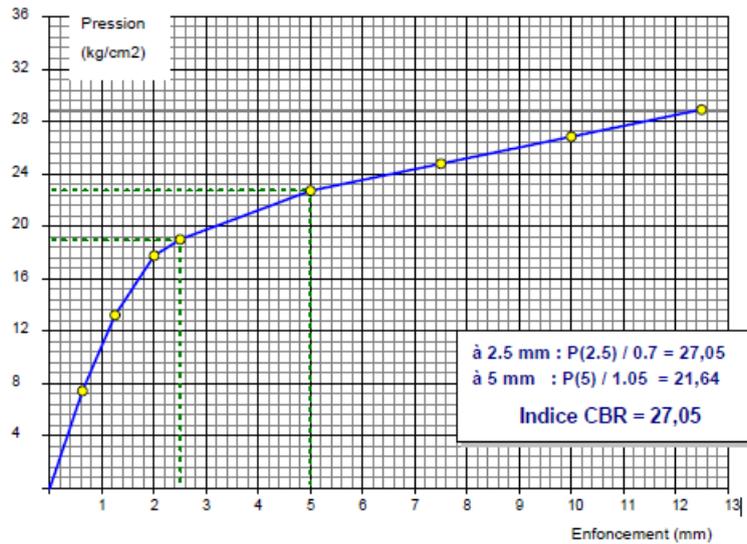


Figure IV.13 : la courbe CBR (pour une énergie de compactage de 25 coups).

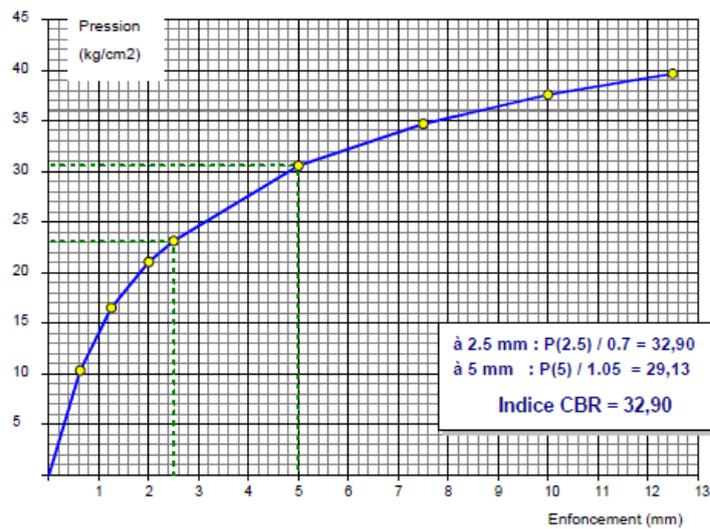


Figure IV.14 : la courbe CBR (pour une énergie de compactage de 56 coups).

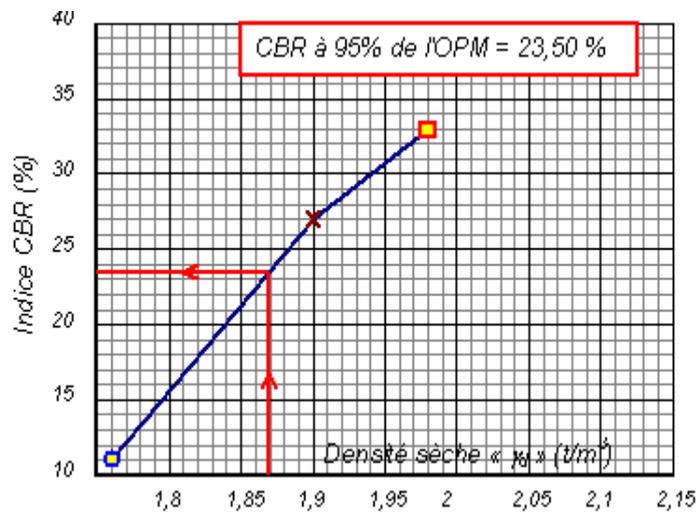


Figure IV.15 : courbe d'indice CBR à 95 % de l'OPM (sol+ 7% de fibre).

❖ Interprétation des résultats

La valeur de l'indice CBR à 95% de l'OPM du sol+7% de fibre est de 23,50 % : ce qui montre une amélioration de la portance de sol par rapport au sol témoin et le sol + 3 et 5 % de la fibre.

En conclusion on constate que la valeur de l'indice CBR à 95 % de l'OPM s'améliore avec l'ajout de la fibre de Dattier, et chaque fois en augmente le pourcentage de l'ajout (fibre de Dattier), l'indice CBR augmente.

IV.2.2 Les essais mécaniques

IV.2.2.1 L'essai de cisaillement a la boite de casagrande (CD) consolidé drainé

L'essai de cisaillement à la boite de casagrande de type (CD) consolidé et drainé a été effectué sur trois (03) échantillons du sol avec des pourcentages différents (3%, 5% et 7%) de fibre du Dattier.

Sur chaque échantillon on conserve 03 cellules de matériau, sur les quelles on applique des contraintes de 1 bar ,2 bar, 4 bars respectivement.

➤ Cas N° 1 : cisaillement (CD) sol + 3% de fibre du Dattier

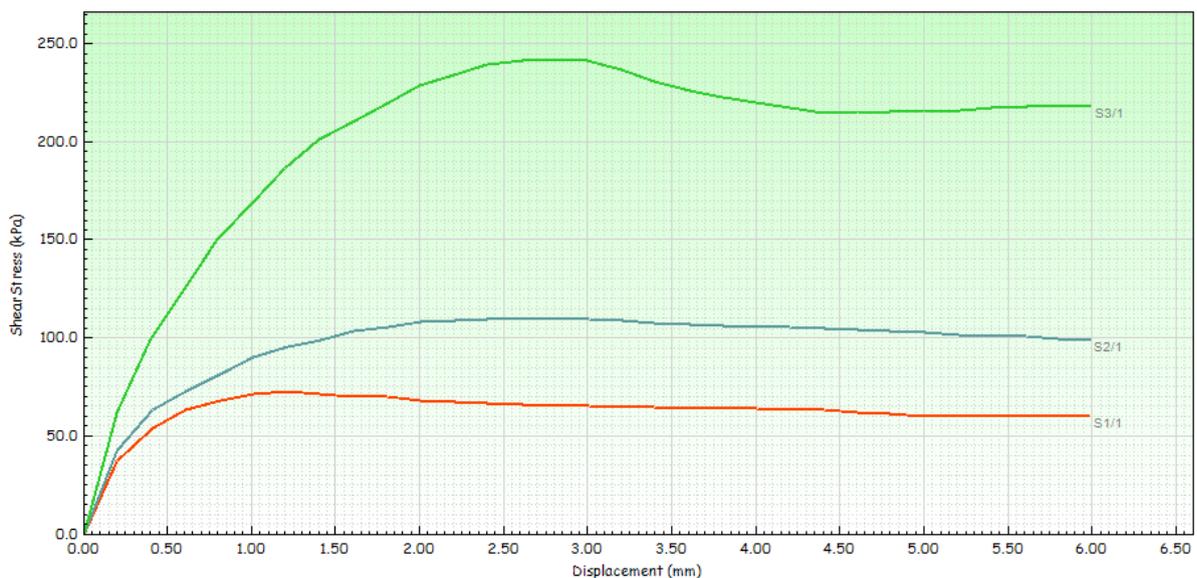


Figure IV .16 : courbe contrainte – déformation de l'essai cisaillement (sol + 3 % de fibre).

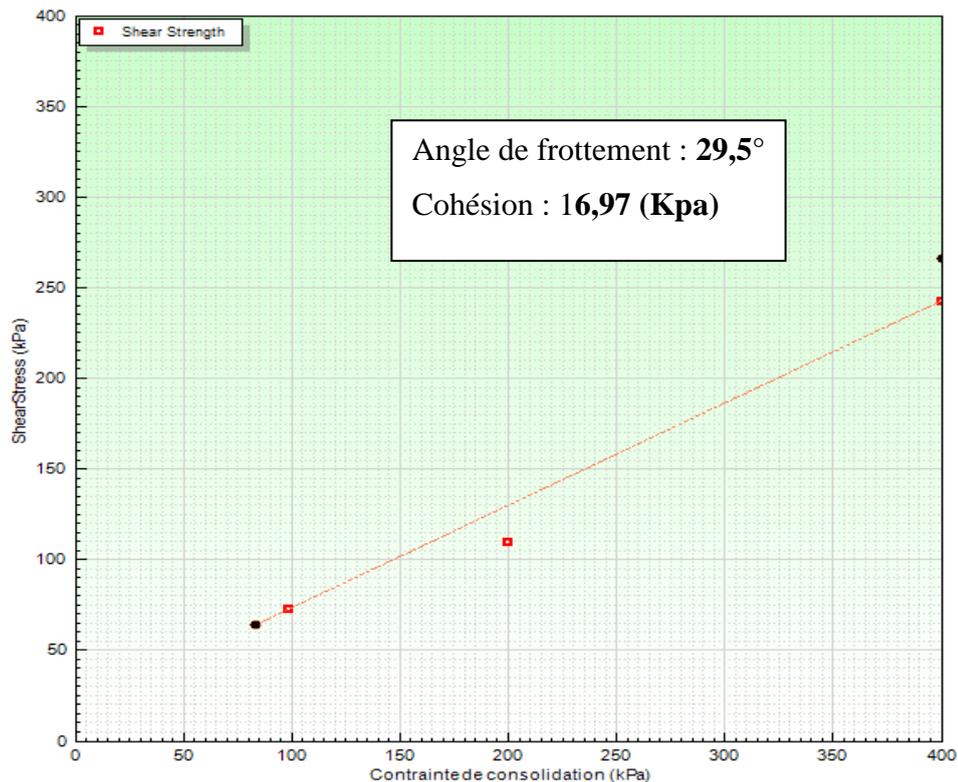


Figure IV.17 : courbe intrinsèque de l'essai cisaillement (sol + 3 % de fibre).

❖ Interprétation des résultats

Les valeurs obtenues à partir l'essai de cisaillement CD sont : la cohésion drainée est de **16,97 kPa** et l'angle de frottement interne est de **29,5°**.

On remarque que l'ajout de 3 % de fibre améliore les paramètres mécaniques de sol, en effet la valeur de la cohésion drainée passe de 6,93 kPa à 16,97 KPa et la valeur l'angle de frottement interne passe de 29,3° à 29,5°.

➤ Cas N°2 : Cisaillement (CD) sol + 5% de fibre du Dattier

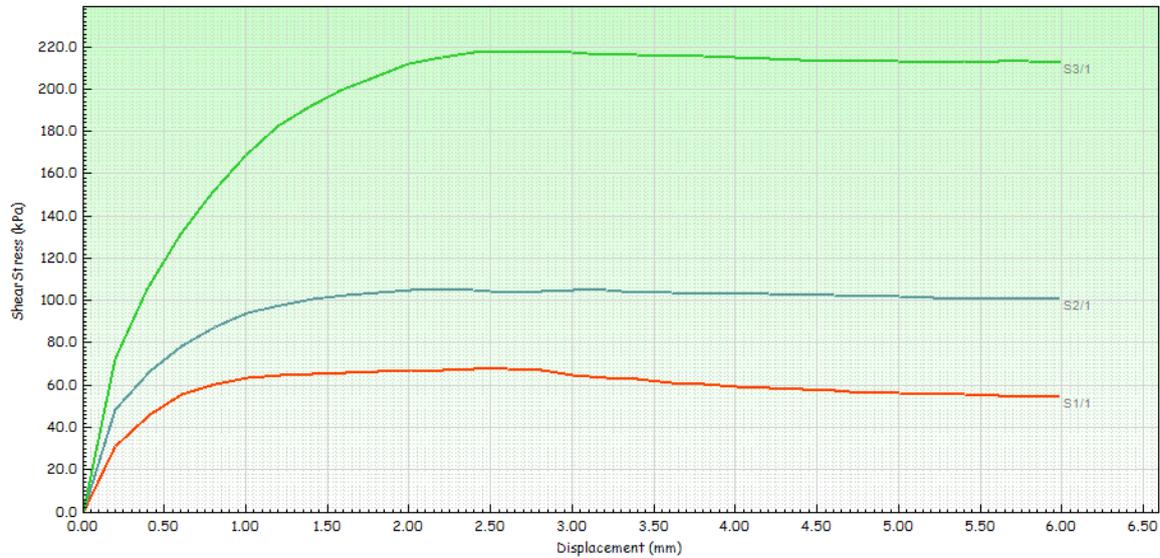


Figure IV .18 : courbe contrainte – déformation de l’essai cisaillement (sol + 5% de fibre).

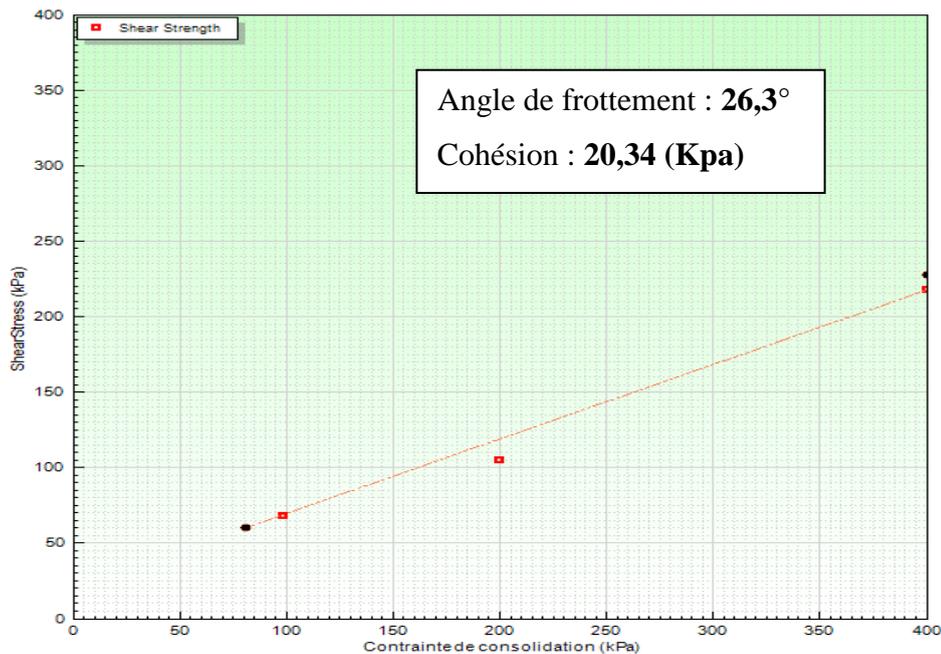


Figure IV.19 : courbe intrinsèque de l’essai cisaillement (sol + 5 % de fibre).

❖ Interprétation des résultats

Les valeurs obtenues à partir l’essai de cisaillement CD sont : la cohésion drainée est de **20,34 kPa** et l’angle de frottement interne est de **26,3°**.

On remarque que l’ajout de 5 % de fibre améliore la cohésion de sol (**20,34 KPa**) par rapport aux échantillons sol témoin (**6,97 kPa**) et sol +3% de fibre (**16,97 KPa**), par contre la valeur de l’angle de

frottement interne ($26,3^\circ$) diminue par rapport à les valeurs obtenues sur les échantillons sol témoin ($29,3^\circ$) et sol +3% ($29,5^\circ$) de fibre.

➤ Cas N° 3 : cisaillement (CD) sol +7% de fibre du Dattier

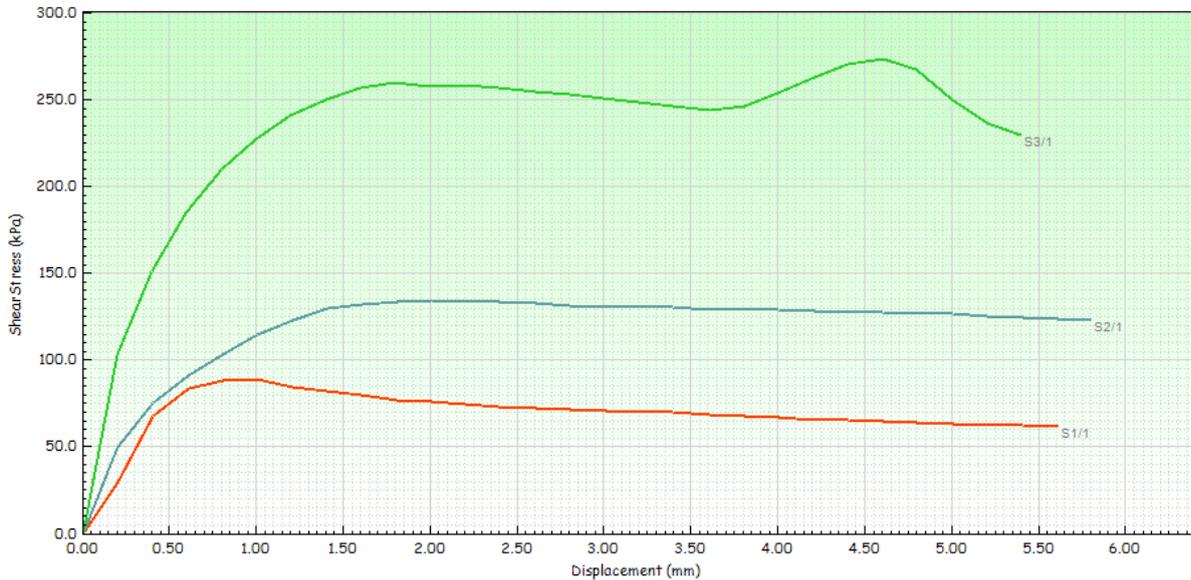


Figure IV .20 : courbe contrainte – déformation de l’essai cisaillement (sol + 7 % de fibre).

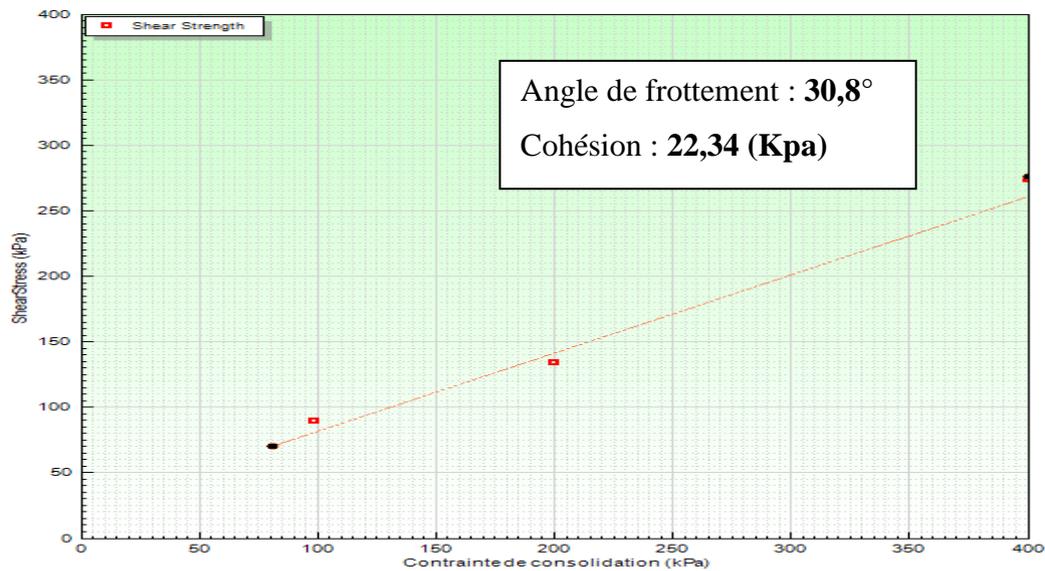


Figure IV.21 : courbe intrinsèque de l’essai cisaillement (sol + 7 % de fibre).

❖ Interprétation des résultats

L’essai de cisaillement de type consolidé drainé CD avec un mélange composé du sol + 7% de fibre de Dattier a donné des caractéristiques mécaniques meilleures et plus élevées par rapport aux échantillons : sol témoin, sol+3% de fibre, sol+5% de fibre.

Les caractéristiques mécaniques tirées de cet essai sont : une cohésion drainée de **22.28 KPa** et un angle de frottement interne de **30.8 °**.

IV.3 Résultats récapitulatifs des essais de laboratoire

Tableau IV.1 : résultats récapitulatifs des essais de laboratoire

| nature de sol | | Sol à blanc | Sol + 3 % de fibre | Sol + 5 % de fibre | Sol + 7 % de fibre |
|--|------------------------------------|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| essais | | | | | |
| Granulométrie | D max (mm) | 31,5 | - | - | - |
| | ≤ 2 mm (%) | 71,28 | - | - | - |
| | ≤ 0.08 mm (%) | 44,47 | - | - | - |
| Limites d'atterberg | WL (%) | 40,07 | - | - | - |
| | WP (%) | 20,10 | - | - | - |
| | IP (%) | 19,97 | - | - | - |
| VBS | | 3,5 | - | - | - |
| Proctor modifié | W OPM (%) | 10,3 | 14,75 | 14,2 | 15,4 |
| | γ_d max (t/m ³) | 1,87 | 1,93 | 1,96 | 1,97 |
| INDICE CBR Immédiat CBR à 95% de l'OPM (%) | | 11,78 | 17,47 | 21,86 | 23,50 |
| Cisaillement CD | C' (Kpa) | 6,93 | 16,97 | 20,34 | 22,34 |
| | ϕ' (Deg) | 29,3 | 29,5 | 26,3 | 30,8 |

IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différentes caractéristiques mécaniques des mélanges de sol traité avec ajout de fibre de Dattier à des pourcentages différents (3%, 5% et 7%) constituants.

Ces caractéristiques (mécaniques), nous permettant de conclure l'influence de l'ajout de la fibre de Dattier sur un sol qui nécessite un traitement pour son réutilisation.

L'utilisation de la fibre de Dattier, comme ajout avec le sol étudié influence d'une façon positive sur les caractéristiques mécaniques de sol, en effet on a remarqué l'amélioration de ces caractéristiques en utilisant un sol avec ajout de fibre de Dattier par rapport à le sol seul (sol témoin).

Aussi nous avons constaté que les caractéristiques analysées sont amélioré d'une façon progressive et positive avec l'augmentation des pourcentages de la fibre de Dattier.

Conclusions et perspectives

Cette recherche s'inscrit dans le cadre d'une contribution à l'étude de traitement des sols médiocre (à des faibles caractéristiques) sous conditions locales.

Les éléments bibliographiques, nous ont permis de définir les notions chaussée, couche de forme et fibres végétales naturelles, et de mettre en évidence les paramètres qui rentrent dans la classification des sols. Il s'agit notamment :

- Les paramètres de nature,
- Les paramètres d'état,

Dans cette étude, nous avons présenté en première étape les caractéristiques de sol sélectionné pour nos essais : argile limoneuse extrait de déblais dans le cadre du projet « évitement de la ville de Boumerdès », par la suite en deuxième étape nous avons présenté un mode de traitement chimique de la fibre de Dattier. En troisième étape, les programmes expérimentaux, concernant à l'étude de traitement de sol avec l'utilisation de la fibre de Dattier comme ajout à des pourcentages différents (3%, 5%, 7%).

Concernant le sol à blanc, ces caractéristiques ont été validées selon une série d'essais définis par le guide des terrassements routiers GTR, ces essais nous ont permis de classer le sol et de trancher sur la possibilité de son réutilisation pour l'édification de la couche de forme.

Les essais effectués sur le sol traité avec ajout de la fibre de Dattier nous ont permis de déterminer les caractéristiques énergétiques et mécaniques pour chaque pourcentage.

L'influence de l'incorporation d'ajout (fibre de Dattier) s'est traduite selon nos essais par une amélioration des caractéristiques de sol étudié, en d'autres termes amélioration de sa portance et son comportement mécanique.

Les résultats obtenus sur le sol traité sont prometteurs qui encouragent l'utilisation des techniques de traitement des sols en place en Algérie, en réduisant le coût de réalisation des projets par l'utilisation de la fibre de Dattier qui est disponible dans notre pays et pas chère au lieu d'aller chercher des matériaux sélectionnés et cherchés des décharges pour le dépôt des sols médiocres.

L'exploitation des résultats expérimentaux obtenus dans ce modeste travail nous permet de mettre en évidence deux avantages majeurs de notre contribution :

- Grâce à l'utilisation des ajouts naturels (fibre de Dattier), nous avons pu obtenir des caractéristiques mécaniques assez élevées.

- Comme on a pu montrer dans ce mémoire, il est possible de traiter les sols médiocres avec les fibres naturelles. Il sera donc très intéressant d'étudier la possibilité de traiter les sols à des faibles caractéristiques à partir des matériaux locaux qui existent en Algérie pour pouvoir par la suite réaliser une étude technico-économique.

Ces études nous permettront de définir avec exactitude les avantages d'utilisation des sols traités dans le domaine de la construction routière en Algérie.

Références bibliographiques

- [1] Abdenour, Chaachoua, and Rahmi Omrane. "Dimensionnement et modélisation d'un tançon routier Cas du dédoublement de la RN1 entre Chiffa et Berrouaghia du PK48-100 au PK48-300." (2017).
- [2] Setra, L. C. P. C. "Réalisation des remblais et des couches de forme." Guide technique (2000).
- [3] SETRA, LCPC. "Guide des Terrassements Routiers-Réalisation des Semblais et des Couches de Forme." (2000).
- [4] Bouassida, Mounir, and Samia Boussetta. Manuel de travaux pratiques de mécanique des sols. 2007.
- [5] Nawel, Behar, and Chouli Chahra. "Valorisation des fibres naturelles dans le renforcement des chaussées «A Ouled Fares-Chelif»." (2018).
- [6] Mokhtar, MEKHELLET Ahmed, and H. A. S. S. A. N. I. Moussab. "COMPORTEMENT MECANIQUE DES SOLS GRANULAIRES AMELIORES PAR LES FIBRES DE POLYPROPYLENE (SABLES DE LA REGION DE CHLLEF)." (2018).
- [7] Babilotte, C. "Dimensionnement des structures de chaussées communautaires du Grand LYON: Guide technique communautaire." Parution initiale en (1994).
- [8] Brabet, Isis. "Le traitement des sols pour la couche de forme, plateforme de chaussée : application à des projets de terrassement dans le département de l'Hérault". (2012).
- [9] ACHOUR, Abderraouf. Etude des performances des mortiers renforcés de fibres naturelles: valorisation des plantes locales. Diss. 2017.
- [10] Nabil, Gossa. "Elaboration et caractérisation expérimentale du comportement mécanique du béton à base de fibres de palmier dattier". (2013).
- [11] Abdessamed, M. O. K. H. T. A. R. I. "Influence des ajouts de fines minérales sur les Performances Mécaniques des Bétons Renforcés de Fibres Végétales de Palmier Dattier." université Ouargla, thèse de magister (2006).
- [12] Baali, Messaoud. "Contribution à la caractérisation et à l'exploration de la microstructure et des propriétés des constituants du palmier". Diss. Université Mohamed Khider-Biskra. (2012).
- [13] Fredo, BEZATO Tsaranofy Zita. "LES PALMIERS DATTIERS «Phoenix dactylifera» À TOLIARA: ÉTUDE DE LA FILIÈRE, UTILISATION ET DIVERSITÉ VARIÉTALE."

-
- [14] KONATE, Idris Katié. "Terrassement et Certification de matériaux pour la couche de forme-Prolongement de l'Autoroute du Nord Lot 3-2. KADJOKRO- YAMOOUSSOUKRO". (31 Août – 23 Octobre 2009).
- [15] FRED, PORTET et OLIVIER NOËL. "Conditions d'utilisation des matériaux en remblai et en couche de forme". (2011).
- [16] Michel, Ruban. " Contrôle de qualité en construction routière". Paris. (1991).
- [17] Y, ATLANS. "Catalogue des essais géotechnique exécutés au laboratoire géotechnique d'Orléans". (MARS-1978).
- [18] F.SCHLOOSER. "Essai de laboratoire et en place". (1976).
- [19] Florian, Weill et Moncef, Radi. "Identification des sols". (2010).
- [20] Alain, QUIBEL et Eric, Evain. "Caractérisation, mise en œuvre et contrôle du compactage des mâchefers d'incinération d'ordures ménagères (MIOM) dans le domaine des terrassements". (2010).
- [21] KADJOKRO-YAMOOUSSOUKRO. "Terrassement et Certification de matériaux pour la couche de forme-Prolongement de l'Autoroute du Nord". (2011).
- [22] MEKADDEM ALI, GOURARI ABDESSAMIE. "Réhabilitation de la route nationale n 97 entre SIDI BEL ABBES et mascara sur 19 KM". (2014).
- [23] Alain BRETTE. "Fascicule de cours, généralités essais généraux". Lycée Pierre Caraminot 19300 EGGLETONS.
- [24] A, Bezazi. "Analyse statistique et effet des traitements chimique sur le comportement physico-mécanique des fibres des bras de grappe des palmiers dattier". (2015).

ANNEXE

Annexes "A"

Tableau des résultats de l'analyse granulométrique.

| Analyse granulométrique | | Analyse sédimentométrique | |
|-------------------------|------------|---------------------------|------------|
| Tamis (mm) | Tamisât(%) | Diamètre équivalent (µm) | Tamisât(%) |
| 20.00 | 100.00 | 65.57 | 42.00 |
| 10.00 | 88.48 | 47.57 | 37.76 |
| 5.00 | 80.22 | 34.20 | 34.93 |
| 2.00 | 71.28 | 22.32 | 29.27 |
| 1.00 | 66.65 | 15.90 | 27.86 |
| 0.40 | 60.42 | 11.33 | 26.44 |
| 0.20 | 46.92 | 8.19 | 22.20 |
| 0.10 | 45.49 | 5.83 | 20.79 |
| 0.08 | 44.47 | 3.44 | 16.55 |
| | | 1.41 | 15.13 |

Tableau des résultats de la limite de liquidité (Wl).

| | 1 ^{er} essai | | 2 ^{ème} essai | | 3 ^{ème} essai | | 4 ^{ème} essai | |
|-------------------------------|-----------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|-------|
| Nombre de coups | 17 | | 22 | | 26 | | 37 | |
| N° de la tare | 137 | 102 | 52 | 269 | 180 | 213 | 135 | 46 |
| Poids total humide (g) | 22608 | 22008 | 23948 | 22988 | 23172 | 25174 | 25651 | 21797 |
| Poids total sec (g) | 19320 | 18920 | 20379 | 19620 | 19789 | 20879 | 21756 | 18692 |
| Poids de la tare (g) | 11481 | 11380 | 10472 | 11511 | 11197 | 9860 | 11580 | 10780 |
| Poids de l'eau (g) | 3288 | 3088 | 3569 | 3368 | 3383 | 4295 | 3895 | 3105 |
| Poids du sol sec (g) | 7839 | 7540 | 9907 | 8109 | 8592 | 11019 | 10176 | 7912 |
| Teneur en eau (%) | 41.9 | 41.0 | 39.6 | 41.5 | 39.4 | 40.0 | 38.3 | 39.2 |
| Moyenne | 41.5 | | 40.6 | | 39.2 | | 38.7 | |

Tableau des résultats de limite de plasticité.

| | | | |
|------------------------------|-------|-------|-------|
| N° de la tare | 254 | 279 | 19 |
| Poids total humide(g) | 13831 | 14482 | 15885 |
| Poids total sec(g) | 13109 | 13759 | 15166 |
| Poids de la tare(g) | 9523 | 10153 | 11590 |
| Poids de l'eau(g) | 722 | 723 | 719 |
| Poids du sol sec (g) | 3586 | 3606 | 3576 |
| Teneur en eau (%) | 20.1 | 20.1 | 20.1 |
| Moyenne (%) | 20.1 | | |

Tableau détermination d'essai Proctor modifié.

| | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N° tare | W17 | 73 | 42 | 7 | 40 | 5 |
| Poids sol humide +tare (g) | 221.10 | 296.30 | 387.75 | 378.62 | 241.96 | 252.85 |
| Poids sol sec+ tare (g) | 208.97 | 276.06 | 359.59 | 348.75 | 225.45 | 233.73 |
| Poids tare (g) | 45.14 | 45.12 | 67.16 | 43.13 | 73.23 | 74.25 |
| Poids eau (g) | 12.13 | 20.24 | 28.16 | 29.87 | 16.51 | 19.12 |
| Poids sol sec (g) | 163.83 | 230.94 | 292.43 | 305.62 | 152.22 | 150.49 |
| Teneur en eau W (%) | 7.40 | 8.76 | 9.63 | 9.77 | 10.85 | 11.99 |
| Moyenne (%) | 8.1 | | 9.7 | | 11.4 | |

Tableau des résultats de l'essai Proctor modifié.

| | | | |
|---|-------|-------|-------|
| Pourcentage d'eau ajouté | 8% | 10% | 12% |
| Poids d'eau ajouté (g) | 400 | 500 | 600 |
| Poids sol humide + moule(g) | 14037 | 14344 | 14356 |
| Poids du moule (g) | 9204 | 9204 | 9204 |
| Poids du sol humide(g) | 4833 | 5140 | 5152 |
| Volume du moule (cm³) | 25.08 | 25.08 | 25.08 |
| Densité sèche d (t/m3) estimée | 1.78 | 1.86 | 1.83 |
| Densité sèche d(t/m3) calculée | 1.78 | 1.86 | 1.84 |

Tableau détermination d'essai Proctor modifié (sol + 3% de fibre)

| | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N° tare | SP4 | 1 | 17 | XR | D21 | 022 |
| Poids sol humide +tare (g) | 217.10 | 227.50 | 170.08 | 174.30 | 231.43 | 224.21 |
| Poids sol sec+ tare (g) | 199.52 | 208.24 | 157.29 | 161.07 | 207.42 | 201.32 |
| Poids tare (g) | 71.91 | 75.39 | 77.87 | 74.32 | 77.59 | 77.34 |
| Poids eau (g) | 17.58 | 19.26 | 12.79 | 13.23 | 24.01 | 22.89 |
| Poids sol sec (g) | 127.61 | 132.85 | 79.42 | 86.75 | 129.73 | 123.98 |
| Teneur en eau W (%) | 13.78 | 14.50 | 16.1 | 15.25 | 18.49 | 18.46 |
| Moyenne (%) | 14.1 | | 15.7 | | 18.47 | |

Tableau des résultats de l'essai Proctor modifié (sol+ 3% de fibre)

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| Pourcentage d'eau ajouté | 10% | 12% | 14% |
| Poids d'eau ajouté (g) | 500 | 600 | 700 |
| Poids sol humide + moule(g) | 17521 | 17527 | 17318 |
| Poids du moule (g) | 12950 | 12950 | 12950 |
| Poids du sol humide(g) | 4577 | 4654 | 4368 |
| Volume du moule (cm³) | 20.86 | 20.86 | 20.86 |
| Densité sèche d (t/m³) estimée | 1.99 | 1.99 | 1.83 |
| Densité sèche d(t/m³) calculée | 1.92 | 1.93 | 1.77 |

Tableau détermination d'essai Proctor modifié (sol + 5% de fibre)

| | | | | | | |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N° tare | 30 | 10 | 020 | D44 | M5 | 15 |
| Poids sol humide +tare (g) | 205.03 | 214.58 | 142.60 | 144.33 | 269.69 | 271.16 |
| Poids sol sec+ tare (g) | 186.88 | 194.12 | 133.51 | 135.58 | 242.53 | 243.83 |
| Poids tare (g) | 78.37 | 73.58 | 65.73 | 72.73 | 74.66 | 78.36 |
| Poids eau (g) | 18.15 | 20.46 | 9.09 | 8.75 | 27.16 | 27.33 |
| Poids sol sec (g) | 108.51 | 120.54 | 67.71 | 62.85 | 167.87 | 165.47 |
| Teneur en eau W (%) | 16.73 | 16.97 | 13.41 | 13.92 | 16.18 | 16.42 |
| Moyenne (%) | 16.90 | | 13.70 | | 16.30 | |

Tableau des résultats de l'essai Proctor modifié (sol+ 5% de fibre)

| | | | |
|--|-------|-------|-------|
| Pourcentage d'eau ajouté | 10% | 12% | 14% |
| Poids d'eau ajouté (g) | 500 | 600 | 700 |
| Poids sol humide + moule(g) | 17463 | 17705 | 17609 |
| Poids du moule (g) | 12949 | 13075 | 13075 |
| Poids du sol humide (g) | 4514 | 4630 | 4534 |
| Volume du moule (cm³) | 20.86 | 20.86 | 20.86 |
| Densité sèche d (t/m³) estimée | 1.96 | 1.98 | 1.90 |
| Densité sèche d(t/m³) calculée | 1.85 | 1.95 | 1.87 |

Tableau détermination d'essai Proctor modifié (sol + 7% de fibre)

| N° tare | SP4 | 1 | 17 | XR | D21 | 022 | 30 | 10 |
|----------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Poids sol humide +tare (g) | 206.8 | 216.55 | 229.89 | 212.84 | 182.7 | 181.79 | 226.84 | 224.74 |
| Poids sol sec+ tare (g) | 191.63 | 200.19 | 207.23 | 196.44 | 167.38 | 166.69 | 205.61 | 199.78 |
| Poids tare (g) | 71.90 | 75.40 | 77.87 | 74.33 | 77.58 | 77.34 | 78.38 | 73.60 |
| Poids eau (g) | 15.17 | 16.36 | 22.66 | 16.4 | 15.32 | 15.1 | 21.35 | 24.96 |
| Poids sol sec (g) | 119,73 | 124.79 | 129.33 | 122.11 | 89.80 | 89.35 | 127.23 | 126.18 |
| Teneur en eau W (%) | 12.67 | 13.11 | 17.52 | 13.43 | 17.06 | 16.9 | 16.78 | 19.78 |
| Moyenne (%) | 12.9 | | 15.5 | | 17.0 | | 18.3 | |

Tableau des résultats de l'essai Proctor modifié (sol+ 7% de fibre)

| Pourcentage d'eau ajouté | 10% | 12% | 14% | 16% |
|---|----------|----------|----------|----------|
| Poids d'eau ajouté (g) | 500 | 600 | 700 | 800 |
| Poids sol humide + moule(g) | 16994.84 | 17056.42 | 17142.86 | 16872.68 |
| Poids du moule (g) | 12948 | 12947 | 12950 | 12951 |
| Poids du sol humide(g) | 4046.84 | 4109.42 | 4192.86 | 3921.68 |
| Volume du moule (cm ³) | 20.86 | 20.86 | 20.86 | 20.86 |
| Densité sèche d (t/m ³) estimée | 1.94 | 1.97 | 2.01 | 1.88 |
| Densité sèche d(t/m ³) calculée | 1.89 | 1.94 | 1.97 | 1.84 |

Résultats de l'essai CBR Immédiat à blanc (10coups/couche)

| | | | | | | | | |
|--------------------------|------|------|-----------|------|------|------|-------|-------|
| Temps | 30 s | 1 mn | 1 mn 40 s | 2 mn | 4 mn | 6mn | 8mn | 10mn |
| Enfoncement (mm) | 0,63 | 1,25 | 2.00 | 2,50 | 5.00 | 7,50 | 10.00 | 12.50 |
| Lecture | 1.00 | 2.00 | 3.00 | 3.80 | 5.00 | 5.80 | 6.20 | 6.80 |
| Pression (kg/cm2) | 0.41 | 0.83 | 1.24 | 1.57 | 2.06 | 2.39 | 2.56 | 2.81 |

Résultats de l'essai CBR Immédiat à blanc (25coups/couche)

| | | | | | | | | |
|--------------------------|------|------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temps | 30 s | 1 mn | 1 mn 40 s | 2 mn | 4 mn | 6mn | 8mn | 10mn |
| Enfoncement (mm) | 0,63 | 1,25 | 2.00 | 2,50 | 5.00 | 7,50 | 10.00 | 12.50 |
| Lecture | 4.00 | 8.00 | 12.00 | 14.50 | 21.00 | 25.00 | 26.00 | 27.00 |
| Pression (kg/cm2) | 1.65 | 3.30 | 4.95 | 5.78 | 8.67 | 10.32 | 10.73 | 11.14 |

Résultats de l'essai CBR Immédiat à blanc (56coups/couche)

| | | | | | | | | |
|--------------------------|------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Temps | 30 s | 1 mn | 1 mn 40 s | 2 mn | 4 mn | 6mn | 8mn | 10mn |
| Enfoncement (mm) | 0,63 | 1,25 | 2.00 | 2,50 | 5.00 | 7,50 | 10.00 | 12.50 |
| Lecture | 5.00 | 12.00 | 18.00 | 21.00 | 30.00 | 34.00 | 36.00 | 37.00 |
| Pression (kg/cm2) | 2.06 | 4.95 | 7.43 | 8.67 | 12.38 | 14.03 | 14.86 | 15.27 |

Indice CBR a 95% de l'OPM (sol a blanc)

| | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|
| Nombre de coups | 10C/C | 25C/C | 56C/C |
| yd | 1.64 | 1.72 | 1.78 |
| CBR% | 2.22 | 8.27 | 12.31 |

Résultats de l'essai CBR Immédiat (sol+3% de fibre) (10coups/couche)

| Temps | 30 s | 1 mn | 1 mn 40 s | 2 mn | 4 mn | 6mn | 8mn | 10mn |
|--------------------------|------|------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Enfoncement (mm) | 0,63 | 1,25 | 2.00 | 2,50 | 5.00 | 7,50 | 10.00 | 12.50 |
| Lecture | 3.00 | 7.00 | 9.00 | 10.00 | 17.00 | 22.00 | 27.00 | 35.00 |
| Pression (kg/cm2) | 2.06 | 2.89 | 3.71 | 4.13 | 7.02 | 9.08 | 11.14 | 14.45 |

Résultats de l'essai CBR Immédiat (sol+ 3% de fibre) (25coups/couche)

| Temps | 30 s | 1 mn | 1 mn 40 s | 2 mn | 4 mn | 6mn | 8mn | 10mn |
|--------------------------|------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Enfoncement (mm) | 0,63 | 1,25 | 2.00 | 2,50 | 5.00 | 7,50 | 10.00 | 12.50 |
| Lecture | 6.00 | 14.00 | 21.00 | 29.00 | 40.00 | 48.00 | 54.00 | 60.00 |
| Pression (kg/cm2) | 2.48 | 5.78 | 8.67 | 11.97 | 16.51 | 19.81 | 22.29 | 24.76 |

Résultats de l'essai CBR Immédiat (sol+3% de fibre) (56coups/couche)

| Temps | 30 s | 1 mn | 1 mn 40 s | 2 mn | 4 mn | 6mn | 8mn | 10mn |
|--------------------------|------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Enfoncement (mm) | 0,63 | 1,25 | 2.00 | 2,50 | 5.00 | 7,50 | 10.00 | 12.50 |
| Lecture | 9.00 | 25.00 | 40.00 | 44.00 | 58.50 | 64.50 | 69.00 | 75.50 |
| Pression (kg/cm2) | 3.71 | 10.52 | 16.51 | 18.16 | 24.15 | 26.62 | 28.48 | 29.92 |

Indice CBR a 95% de l'OPM (sol +3% de fibre)

| Nombre de coups | 10 C/C | 25C/C | 56C/C |
|-----------------|--------|-------|-------|
| γd | 1.70 | 1.83 | 1.94 |
| CBR% | 6.70 | 16.91 | 25.85 |

Résultats de l'essai CBR Immédiat (sol+5% de fibre) (10coups/couche)

| Temps | 30 s | 1 mn | 1 mn 40 s | 2 mn | 4 mn | 6mn | 8mn | 10mn |
|--------------------------------|------|------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Enfoncement (mm) | 0,63 | 1,25 | 2.00 | 2,50 | 5.00 | 7,50 | 10.00 | 12.50 |
| Lecture | 2.00 | 3.00 | 17.00 | 24.00 | 32.00 | 36.00 | 40.00 | 42.00 |
| Pression (kg/cm ²) | 0.83 | 1.24 | 7.02 | 9.91 | 13.21 | 14.86 | 16.51 | 17.34 |

Résultats de l'essai CBR Immédiat (sol+5% de fibre) (25coups/couche)

| Temps | 30 s | 1 mn | 1 mn 40 s | 2 mn | 4 mn | 6mn | 8mn | 10mn |
|--------------------------------|------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Enfoncement (mm) | 0,63 | 1,25 | 2.00 | 2,50 | 5.00 | 7,50 | 10.00 | 12.50 |
| Lecture | 5.00 | 17.00 | 30.00 | 38.00 | 46.00 | 51.00 | 58.00 | 69.50 |
| Pression (kg/cm ²) | 2.06 | 7.02 | 12.38 | 15.68 | 18.99 | 21.05 | 23.94 | 28.69 |

Résultats de l'essai CBR Immédiat (sol+5% de fibre) (56coups/couche)

| Temps | 30 s | 1 mn | 1 mn 40 s | 2 mn | 4 mn | 6mn | 8mn | 10mn |
|--------------------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Enfoncement (mm) | 0,63 | 1,25 | 2.00 | 2,50 | 5.00 | 7,50 | 10.00 | 12.50 |
| Lecture | 11.00 | 25.00 | 34.00 | 41.00 | 49.00 | 55.50 | 60.00 | 63.00 |
| Pression (kg/cm ²) | 4.54 | 10.32 | 14.03 | 16.92 | 20.22 | 22.91 | 24.76 | 26.00 |

Indice CBR a 95% de l'OPM (sol +5% de fibre)

| Nombre de coups | 10C/C | 25C/C | 56C/C |
|-----------------|-------|-------|-------|
| γ _d | 1.80 | 1.86 | 1.93 |
| CBR% | 13.98 | 22.22 | 24.01 |

Résultats de l'essai CBR Immédiat (sol+7% de fibre) (10coups/couche)

| Temps | 30 s | 1 mn | 1 mn 40 s | 2 mn | 4 mn | 6mn | 8mn | 10mn |
|-------------------|------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Enfoncement (mm) | 0,63 | 1,25 | 2.00 | 2,50 | 5.00 | 7,50 | 10.00 | 12.50 |
| Lecture | 6.00 | 10.00 | 14.00 | 19.00 | 28.00 | 35.00 | 40.00 | 44.00 |
| Pression (kg/cm2) | 2.48 | 4.13 | 5.78 | 7.84 | 11.56 | 14.45 | 16.51 | 18.16 |

Résultats de l'essai CBR Immédiat (sol+7% de fibre) (25coups/couche)

| Temps | 30 s | 1 mn | 1 mn 40 s | 2 mn | 4 mn | 6mn | 8mn | 10mn |
|-------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Enfoncement (mm) | 0,63 | 1,25 | 2.00 | 2,50 | 5.00 | 7,50 | 10.00 | 12.50 |
| Lecture | 18.00 | 32.00 | 43.00 | 46.00 | 55.00 | 60.00 | 65.00 | 70.00 |
| Pression (kg/cm2) | 7.43 | 13.21 | 17.75 | 18.99 | 22.70 | 24.76 | 26.83 | 28.89 |

Résultats de l'essai CBR Immédiat (sol+7% de fibre) (56coups/couche)

| Temps | 30 s | 1 mn | 1 mn 40 s | 2 mn | 4 mn | 6mn | 8mn | 10mn |
|-------------------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Enfoncement (mm) | 0,63 | 1,25 | 2.00 | 2,50 | 5.00 | 7,50 | 10.00 | 12.50 |
| Lecture | 25.00 | 40.00 | 51.00 | 56.00 | 74.00 | 84.00 | 91.00 | 96.00 |
| Pression (kg/cm2) | 10.32 | 16.51 | 21.05 | 23.11 | 30.54 | 34.67 | 37.56 | 39.62 |

Indice CBR a 95% de l'OPM (sol +7% de fibre)

| Nombre de coups | 10 C/C | 25C/C | 56C/C |
|-----------------|--------|-------|-------|
| γ_d | 1.76 | 1.90 | 1.98 |
| CBR % | 11.08 | 27.05 | 32.90 |

Résultats de l'essai de cisaillement CD témoin

| | | | |
|---|----|-----|-----|
| contrainte normale « σ » (bars) | 1 | 2 | 4 |
| Contrainte de cisaillement «τ» (KPa) | 63 | 120 | 235 |

Résultats de l'essai de cisaillement CD (sol+ 3% de fibre)

| | | | |
|---|----|-----|-----|
| contrainte normale « σ » (bars) | 1 | 2 | 4 |
| Contrainte de cisaillement «τ» (KPa) | 60 | 100 | 240 |

Résultats de l'essai de cisaillement CD (sol+ 5% de fibre)

| | | | |
|---|----|-----|-----|
| contrainte normale « σ » (bars) | 1 | 2 | 4 |
| Contrainte de cisaillement «τ» (KPa) | 65 | 120 | 240 |

Résultats de l'essai de cisaillement CD (sol+ 7% de fibre)

| | | | |
|---|----|-----|-----|
| contrainte normale « σ » (bars) | 1 | 2 | 4 |
| Contrainte de cisaillement «τ» (KPa) | 95 | 135 | 275 |

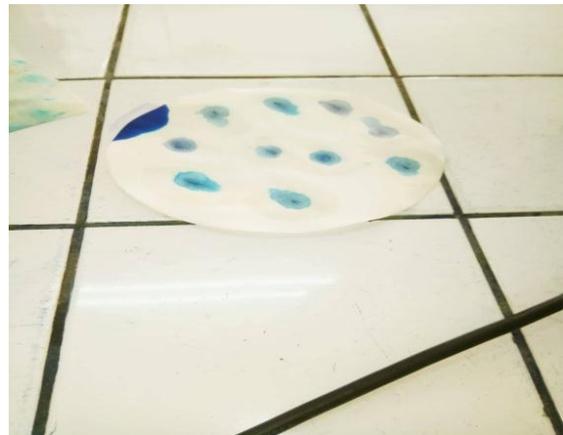
Annexes "B"



Essai granulométrique par tamisage et par sedimentométrie



Essai des limites d'atterberg avec la coupelle de casagrande



Essai de VBS



Essai Proctor Modifié



Essai CBR Immédiat



Essai de cisaillement CD



Traitement chimique de la fibre



Préparation de sol + la fibre de dattier



Teneur en eau