

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 Khemis Miliana
كلية علوم الطبيعة والحياة وعلوم الأرض
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre
قسم علوم الأرض

Département de science de la terre



Mémoire pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Terre

Filière : géotechnique Appliqué

Spécialité : Géotechnique

Thème :

Valorisation des fibres naturelles dans le renforcement des chaussées

« A Ouled Fares-Chelif »

Soutenu le : 17/07/2018

Réalisé Par :

- M^{elle} Behar Nawel
- M^{elle} Chouli Chahra

Devant le Jury :

<u>President:</u> Bougara.M	MCA	UKM
<u>Examinatrice:</u> Khebizi.W	MA	UKM
<u>Examinatrice:</u> Hadj mohamed .N	MA	UKM
Promotrice: M ^{ame} Chouchan.K	MCB	UKM
Co-Promotrice: M ^{ame} Bel hadj.F/Z	MA	UKM

Année Universitaire : 2017/2018.



Remerciements

*Pour commencer nous remercions tout d'abord **ALLAH** le tout puissant et miséricordieux, qui nous a toujours donné la force de passer à travers toutes les épreuves et les découragements, qui nous a aidée à mener à terme Cette étude.*

*Nous remercions sincèrement notre promotrices **M^{ame} CHOUCANE KARIMA** et **M^{ame} BELHEDJE FATIMA ZOHRA** pour leurs gentils conseils. Quelques mots ne suffiront pas à exprimer notre profonde gratitude pour la confiance que vous nous avez accordée en acceptant de superviser ce travail.*

Nous n'oublierons jamais la gentillesse, la disponibilité, vos encouragements et les qualités scientifiques exceptionnelles que vous avez le long de cette recherche.

Nous tenon à remercier vivement tous les enseignants qui ont contribué à notre formation et principalement l'ensemble des enseignants du département des sciences de la terre, spécialité géotechnique

Nos remerciements vont aussi aux personnels :

*Nous ne saurions oublier de remercier les honorables membres du jury, **DR. BOUGARA M** qui a bien voulu accepter d'être président de jury, , Madame **HADJE MOHAMED N**, et Madame **KHEBIZI W** qui a accepté la lourde tâche d'être examinateurs de notre travail.*

*Et qui nous ont fait l'immense honneur de présider et d'examiner ce travail. Nos remerciements beaucoup tous les ingénieurs de laboratoire **LNHC** unité Oued Semar **EL HADHE SAMIR ET ZAHRA, SAMIRA, Iliesse, REDOUAN, Omar** et les autres de nous soutenir tout au long du stage*

*A Toutes les personnes de l'Université Djilali Bounaama de Khemis Miliana
Je remercie aussi tous mes amis qui ont partagé avec moi les moments d'espoir, de joies et qui ont toujours été présents lors de mon parcours universitaire.*

*Enfin, mes remerciements, gratitude, reconnaissances et tendres affections à : ma très chère mère et mes chers frères pour leurs soutiens sans fin, disponibilité et encouragement,
Et sœur pour tout le soutien moral tant témoigné*

Nos remerciements vont aussi à tous ceux qui ont participé de près ou de loin même avec un bon mot humble, sincère et sourire pour l'établissement de ce modeste travail. A Tous ceux qui nous ferons l'honneur de tenir ce mémoire

A Toutes et à tous, on vous disons Merci



Dédicaces

*Avant tous, je remercie **ALLAH** de m'avoir donné le courage et la volonté nécessaires pour atteindre mon travail.*

Je dédicace ce modeste travail :

*Merci ma très chère mère **Zohra** qui s'est toujours sacrifiée pour mon éducation Et qui m'a entourée de son amour et de son affection, ainsi qu'à ma très cher père **Mohamed** qu'est à l'origine de ce qui je suis*

*A ma très grand-mère **fariha** et ma chère **MIRA***

*A Mes très chers frères **Said** et **Aness** et sœurs **fakhet** et **siheme** et son époux.*

*A notre chère petite-fille **Arieme**, **mohamed loai** et **HODAYFA***

*Je dédie Ce travail à mon cher époux **Raouf** qui m'a soutenu et s'est tenu à côté de moi tout au long de ma carrière académique et le remercie beaucoup*

*A tout ma famille chacun par son nom **Chouli**, **cheffera** et **khammaci***

*A Mes très chers(e) et meilleurs amis(e) : **Rima**, **Asmaa**, **Saida**, **Souad**, **Nesrine**, **Khalida**, et **Fatoum**, **Radhia***

Qu'avec eux j'ai passé des meilleurs moments inoubliables

*A Ma binôme **Nawel** et sa Famille **BAHAR***

*A mon promotrice Madame **CHOUCHAN.K** et Co-promotrice **BELHADJE FATIMA ZOHRRA** pour ses conseils et ses Consultations qui m'ont tout aidé à la réalisation de mon travail.*

Cho. Chahra.



Dédicaces

*Avant tous, je remercie **ALLAH** de m'avoir donné le courage et la volonté nécessaires pour atteindre mon travail.*

Je dédicace ce modeste travail :

*Merci ma très chère mère **Halima** qui s'est toujours sacrifiée pour mon éducation Et qui m'a entourée de son amour et de son affection, ainsi qu'à ma très cher père **Aissa** qu'est à l'origine de ce qui je suis*

A ma très grand-mère

*A Mes très chers frères **Mohamed** et **Ali** et **Abd el Kader** et sœurs **Houria** et **Dalila** et **Fatima** et **Sabrina***

Houria et Hanen

*Anos chers petits-enfants **Manar** et **Djnen** et **Malak** et **Meriem** et **Youcef** et **Racha** et **Amani** et **Amdjed***

*A tout ma famille chacun par son nom **BAHAR***

*A Mes très chers(e) et meilleurs amis(e) : **Imene** et **Chaima** et **Raouda aya** et **Rima** et **Asma** et **aziza** et **sara** et **lila** et **sifou**, **Radhia** et, **Sabrina** Qu'avec eux j'ai passé des meilleurs moments inoubliables*

*A Ma binôme **Chahra** et sa Famille **CHOULI***

*A mon promotrice Madame **CHOUCHAN.K** et Co-promotrice **BELHADJE FATIMA ZOHRRA** pour ses conseils et ses Consultations qui m'ont tout aidé à la réalisation de mon travail.*

BA.NAWEL.

Table des matières

Remerciement

Dédicace

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des annexes

Abréviation et principaux symboles

Résumé

Introduction générale

Chapitre I : La Chaussée Et Dimensionnement De Couche De Forme

I.1 Introduction.....	1
I.2 Les constituants de la chaussée et rôle des couches	1
I.3 Les paramètres géotechniques des sols et le compactage.....	2
I.3.1 Classification GTR 92 et norme NF P 11-300.....	2
I.3.1.1 Les paramètres de nature.....	3
I.3.1.2 Les paramètres de comportement mécanique	5
I.3.1.3 Les paramètres d'état.....	5
I.3.1.4 Compactage.....	6
I.4 La couche de forme et son dimensionnement (GTR, fascicule1, 2000).....	8
I.4.1 Définition et nature de la couche de forme	8
I.4.1.1 Les objectifs et conception de la couche de forme	9
I.4.1.2 Matériaux de couche de forme.....	10
I.4.1.3 Techniques de préparation et de protection des matériaux pour emploi en couche de forme	10
I.5 Dimensionnement de la couche de forme	11
I.5.1 Classement des plates-formes pour le dimensionnement des structures de chaussée.....	12
I.5.1.1 Portance à long terme de la plate-forme	12
I.5.1.2 Règles de surclassement de portance des plates-formes.....	12
I.5.1.3 Classement mécanique de la CDF traitée	13

I.6 Conclusion	14
----------------------	----

Chapitre II : Généralité Sur Les Fibres Végétales

II.1 Introduction	15
II.2 Définition De Matériaux Composite	15
II.3 Les Différents Types De Fibres Industrielles Utilisées Dans Le Renforcement Du Béton	16
II.4 Les Différents Types De Fibres Industrielles Utilisées Dans Le Renforcement Des Chaussées	16
II.4.1 Les Fibres D'amiante.....	16
II.4.2 Les Fibres De Verre.....	16
II.4.3 Les Fibres De Carbone	17
II.4.4 Les Fibres D'acier	17
II.4.4.1 Les Fibres Euro-Steel	18
II.4.4.2 Les Fibres Bekaert De Chez Dramix	18
II.4.4.3 Les Fibres Harex.....	18
II.4.4.4 Les Fibres Ruban En Fonte Amorphe De Pont-A-Mousson	18
II.4.4.5 Les Fibres A Tête D'encrage En Acier Trfile	18
II.4.4.6 Les Fibres De Beki -Shield.....	18
II.5 Les Fibres Végétales.....	19
II.5.1 Définition.....	19
II.5.2 Classification Des Fibres Végétales	20
II.5.3 Caractéristiques Physiques Et Mécaniques Des Fibres Végétales	22
II.5.4 Caractéristiques Chimiques Des Fibres Végétales	24
II.5.5. Utilisation Des Fibres Dans La Construction	25
II.6 La Fibre D'aramide (synthétiques).....	26
II.6.1 Applications.....	26
II.6.2 Géotextiles A Base De Fibres Aramides	26
II.7 La Fibre d'Alfa	27
II.7.1 Présentation Générale	27
II.7.2 Nomenclature Et Classification Botanique.....	27
II.7.3 Répartition Géographique.....	27
II.7.4 Etude Botanique	28
II.7.5 La Récolte De l'Alfa.....	29
II.7.6 Domaines D'applications	30

II.7.7 Intérêt Ecologique Et Enjeu Socio-Economique	31
II.7.7.1 Intérêt Ecologique.....	31
II.7.7.2 Enjeu Socio-Economique	31
II .8 Conclusion	31

Chapitre III : Matériau Et Mode D'essai

III.1 Introduction	32
III.2 Localisation De Site D'Ouled Farés a Chélif.....	32
III.2.1 Présentation De Moyen De Chélif	33
III.3 les essais physiques	34
III.3.1 Analyse Granulométrique par tamisage (Norme NF P 94-056).....	34
III.3.2 Analyse Granulométrique par sédimentométrie (Norme NF P 94-057)	35
III.3.3 Principe du MEB	37
III.3.4 Valeur au Bleu d'un Sol (VBS) Norme NF P 94-068.....	38
III.3.5 Limite d'Atterberg (Norme NF P 94-051)	40
III.4 caractérisation chimique du sol	44
III.4.1 Le principe d'Analyse Raman	44
III.4.2 Le principe d'Analyse drx	44
III.5 Le traitement chimique de la fibre naturelle Halfa	46
III.5.1 Traitement et extraction de la fibre D'ALFA.....	46
III.5.2 Protocole Chimique D'Alfa	47
III.6.Classification du sol.....	48
III .7 Conclusion.....	49

Chapitre IV: Evaluation Et Traitement De Matériaux

IV.1 Introduction.....	50
IV.2 Cas 1 : les essais à blanc	50
IV.2.1 Les essais pré-mécaniques (énergétique).....	50
IV.2.1.1 Essai Proctor Norme (NF P 94-093)	50
IV.2.1.2 L'essai CBR Norme (NF P94-078).....	52
IV.2.2 Les essais mécaniques.....	55
IV.2.2.1 L'essai de cisaillement Norme (NF P94-071-1)	55
IV.2.2.2 L'essai oedométrie Norme (NF P94-090-1)	58
IV.3 Cas 2 : les essais du sol renforcé.....	60
IV.3.1 Les essais pré-mécaniques (énergétique).....	60

IV.3.1.1 L'essai CBR du sol renforcé avec la fibre d'Alfa (5%)	60
IV.3.2 Les Essais Mécaniques.....	63
IV.3.2.1 Essai De Cisaillement (le sol +la fibre synthétique)	63
IV.3.2.2 Essai De Compressibilité à L'odomètre.....	67
IV.4 conclusion.....	75
Conclusion générale	76
Les références	
Les annexes	

LISTE DES FIGURES

Figure I.1 : Constitution d'une structure de chaussée type.....	1
Figure I.2 : définition les différents termes.....	8
Figure I.3 : Zone de classe mécanique de CDF selon Rt et E.....	12
Figure II.1 : schéma d'un matériau composite.....	15
Figure II.2 : les différentes formes de fibre	19
Figure II.3 : Classification des fibres végétales selon l'origine	21
Figure II. 4 : Schématisation des fibres végétales.....	22
Figure II.5 : la fibre d'aramide.....	26
Figure II.6: Illustrations de la plante d'Alfa à l'état brut	28
Figure II.7: Morphologie de la plante d'Alfa.....	29
Figure II.8: Les différentes étapes de la récolte de l'Alfa (a) l'arrachement, (b) la collecte et (c) la mise en balle	30
FigureII.9: Des exemples d'artisanat Alfatière (des paniers, des paillassons, des espadrilles...)	30
Figure III.1: Localisation de la zone d'étude (Google Earthe)	32
Figure III.2 : présentation de la carte géologique de moyen de Chélif.....	33
Figure III.3: Localisation de matériau utilisé dans le site (Ouled farés a chélif).....	33
Figure III.4 : Appareillage d'essai granulométrie (tamiseuse et balance)	35
Figure III.5: L'appareillage d'essai sédimentométrie (éprouvette cylindrique de 2litres et agitateur)	36
Figure III.6 : Micrographie MEB du sol à différents grossissement.	37
Figure III.7 : représente la courbe granulométrie	38
Figure III.8: Ensembles du matériel d'essai (Agitateur et papier filtre).....	39
Figure III.9: Appareil de casagrande avec la préparation de l'échantillon	40
Figure III.10: la courbe de limite de liquidité.....	41
Figure III.11 : la courbe de limite de plasticité.....	41
Figure III.12: l'abaque de casa grande.....	42
Figure III.13 : Tableau d'Activités des Argiles et des sols Argileux	43
Figure III.14 : Spectre Raman du sol	44
Figure III.15: Spectre DRX du sol.....	45

Figure III.16: représente la fibre d'ALFA	46
Figure III.17: représente le protocole chimique complet.....	47
Figure III.18 : représente tableau synoptique de classification des matériaux selon la nature	48
Figure III.19 : tableau représente la classification des sols sableux et graveleux avec des fines.....	49
Figure IV.1: représente l'échantillon dans le moule Proctor.	51
Figure IV.2: la courbe de Proctor	51
Figure IV.3: le matériel utilisé dans l'essai CBR	53
Figure IV.4: la courbe CBR (56 coups) du sol à blanc	53
Figure IV.5: la courbe CBR (25 coups) du sol à blanc	54
Figure IV.6: la courbe CBR (10 coups) du sol à blanc.	54
Figure IV.7 : représente la courbe d'indice CBR en fonction de densité sèche du sol à blanc.....	55
Figure IV.8: Matériel utilisé dans consolidation pour l'essai cisaillement type « CD ».	56
Figure IV.9: représente la résistance au cisaillement (à vitesse constante 0,002 mm/min) du sol à blanc	57
Figure IV.10: représente la courbe intrinsèque du sol à blanc.....	57
Figure IV.11: L'Appareil œdométrique.....	58
Figure IV.12: représente la compressibilité à l'oedomètre.....	59
Figure IV.13: la courbe CBR (56 coups) du sol renforcé avec la fibre d'Alfa (5%).....	60
Figure IV.14: la courbe CBR (25 coups) du sol renforcé avec la fibre d'Alfa (5%).....	61
Figure IV.15 : la courbe CBR (10 coups) du sol renforcé avec la fibre d'Alfa.....	61
Figure IV.16: représente la courbe d'indice CBR en fonction de densité sèche du sol renforcé avec la fibre d'Alfa.	62
Figure IV.17: représente la résistance au cisaillement (à vitesse constante de 0,002 mm/min) du sol renforcé avec la fibre synthétique	63
Figure IV.18: la courbe intrinsèque du sol renforcé par la fibre synthétique.	63
Figure IV.19: représente la résistance au cisaillement (à vitesse constante de 0,002mm/min) du sol renforcé avec la fibre synthétique.	64
Figure IV.1: représente la courbe intrinsèque du sol renforcé avec la fibre d'Alfa 2.5%.....	65

Figure IV.21: représente la résistance au cisaillement (de vitesse constante 0,002mm/min) du sol renforcé avec la fibre d'Alfa (2,5%).	65
Figure IV.22: représente la courbe intrinsèque du sol renforcé avec la fibre d'Alfa (0,5%).	66
Figure IV.23: la courbe de compressibilité à l'œdométrie du sol renforcé avec la fibre synthétique(0.045%)	67
Figure IV.24: la courbe de compressibilité à l'œdomètre du sol renforcé par la fibre d'Alfa (2,5%).	68
Figure IV.25: représente la courbe de compressibilité à l'oedomètre du sol renforcé avec la fibre d'Alfa 0.5%	69
Figure IV.26: représente là l'indice CBR en fonction de densité sèche(le sol à blanc et le sol +la fibre d'alfa 2,5%)	70
Figure IV.27: la courbe intrinsèque du sol à blanc et renforcé par les fibres (synthétiques, d'Alfa)	71
Figure IV.28: représente la résistance au cisaillement (de vitesse constante 0.002mm/min) de 1 bars	72
Figure IV.29: représente la résistance au cisaillement (de vitesse constante 0.002mm/min) de 2 bars	72
Figure IV.30: représente la résistance au cisaillement (de vitesse constante 0.002mm/min) de 3 bars	73
Figure IV.31 : représente la courbe de compressibilité du sol à blanc et renforcé par les fibres (synthétiques, d'Alfa).	74

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1 : classes principales de GTR.....	2
Tableau I.2 : Etats de consistance d'un sol –limites d'Atterberg	4
Tableau I.3: tableau récapitulatif des techniques de préparation des matériaux pour emploi en couche de forme	10
Tableau I.4 : définissant les classes de plate-forme PF (Tableau X, Fascicule 1 de GTR, Pa.....	11
Tableau I.5 : des modules de calcul descriptifs du sol support – (tableau XI, fascicule 1 de GTR, Pa 68)	11
Tableau I.6 : Tableau des modules de calcul descriptifs de la plate-forme support de chaussée (tableau XII, fascicule 1 de GTR, p 69).....	11
Tableau I.7 : Classe de PF en fonction du cas de CDF.....	12
Tableau I.8 : Classe mécanique du matériau traité GTS.....	13
Tableau I.9 : Classe de PF selon la classe d'AR, la classe du matériau et l'épaisseur de CDF – GTS	13
Tableau II.1 : Caractéristiques mécaniques des fibres d'amiante.....	16
Tableau II.2: Caractéristiques mécaniques des fibres de verre.....	17
Tableau II.3 : Propriétés mécaniques des fibres de carbone	17
Tableau II.4 : Les caractéristiques physiques des fibres végétales les plus utilisées.....	23
Tableau II.5 : Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres Végétales	23
Tableau II.6: Composition chimique de quelques fibres végétales	24
Tableau II.7 : Application des divers renforcements de fibres dans les produits à base de ciment.....	25
Tableau III.1 : représente les minéraux.....	45
Tableau III.2 : représente les paramètres physiques.....	48

Tableau IV.1 : les résultats d'essai CBR du sol non traité.....	55
Tableau IV.2 : les résultats d'essai cisaillement non traité.....	57
Tableau IV.3 : les résultats de compressibilité à l'oedomètre.....	59
Tableau IV.4 : les résultats d'essai CBR avec la fibre d'Alfa (2,5%).....	62
Tableau IV.5 : résultats d'essai cisaillement (le sol + la fibre synthétique 0.045%).....	63
Tableau IV.6 : résultats d'essai cisaillement (le sol + la fibre d'Alfa 2,5%).....	64
Tableau IV.7 : résultats d'essai cisaillement (le sol + la fibre d'Alfa 0,5%).....	66
Tableau IV.8 : résultats d'essai compressibilité à l'odomètre (le sol + la fibre synthétique 0.045%).....	67
Tableau IV.9 : les paramètres pré-mécaniques avant et après le renforcement.....	70
Tableau IV.10 : les paramètres mécaniques avant et après le renforcement	75

Liste des Annexes

- Annexe 1:** tableau des résultats de l'analyse granulométrie
- Annexe 2:** tableau des résultats de la limite de liquidité (w_L)
- Annexe 3:** tableau des résultats de limite de plasticité
- Annexe 4:** tableau des résultats de l'essai Proctor
- Annexe 5:** tableau détermination d'essai Proctor
- Annexe 6:** l'appareil de consolidation et le cisaillement
- Annexe 7:** la préparation d'essai cisaillement
- Annexe 8 :** l'essai CBR et la machine de compactage
- Annexe 9:** la détermination de l'essai CBR
- Annexe 10:** l'essai de cisaillement le sol avec la fibre synthétique 0.045%
- Annexe 11:** le traitement chimique de fibre d'Alfa
- Annexe 12 :** la fibre d'Alfa après le traitement chimique
- Annexe 13:** préparation de l'échantillon pour mettre dans l'étuve
- Annexe 14 :** l'agitateur de bleu de méthylène
- Annexe 15:** Les étapes d'essai VBS
- Annexe 16:** l'aspect de VBS sur le papier filtre
- Annexe 17:** lavage du matériau pour l'essai granulométrie et sédimentométrie
- Annexe 18:** reconstitution d'un échantillon
- Annexe 19:** le matériau plus la fibre d'Alfa pour la reconstitution
- Annexe 20:** ASTM spectre Raman
- Annexe 21:** ASTM spectre Raman
- Annexe 22:** ASTM spectre Raman

LISTE DES ABREVIATIONS

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

LCPC : laboratoire centrale des pentes et des chaussées

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

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

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.)

PPTA : *p*-phénylène téréphtalamide

GLOSSAIRE

▪ **Gélifraction** : dégradation des granulats saturés d'eau par fragmentation, fissuration du grain. (Roche poreuse)

Remarque : Cas des matériaux traités à la chaux et/ou liants hydrauliques, le gel provoque une rupture des liaisons inter granulaires de la prise hydraulique (gonflement de l'eau, se trouvant dans les interstices du sol, lors de sa solidification).

▪ **Cryosuccion** : gonflement du sol induisant une réduction importante de portance au moment du dégel.

PRINCIPAUX SYMBOLES UTILISES

IP → indice de plasticité

IC → indice de consistance

IPI → indice portant immédiat

OPN → Optimum Proctor Normal

OPM → Optimum Proctor Modifié

CBR → indice portant californien (California Bearing Ratio)

W_{nat} → teneur en eau naturelle du sol

W_p → teneur en eau à la limite de plasticité du sol

W_L → teneur eau à la limite de liquidité du sol

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

ρ_d → masse volumique sèche

γ_d → poids volumique sec

E → module oedométrique du matériau

ε → déformation

σ → contrainte

Z → déplacement vertical

EV2 → module de déformation réversible mesuré avec l'essai de plaque

R_t → résistance en traction directe

P_c → contrainte de pré consolidation

C_c → coefficient de consolidation

C_g → coefficient de gonflement

H → hauteur initiale

ΔH → la différence entre la hauteur finale et la hauteur initiale

σ_{v0} → la valeur de contrainte effective initiale.

Résumé

La dégradation des routes algériennes est un cas imposé par la réalité, qui nécessite un diagnostic précis des différentes causes affectant les composantes de la chaussée à savoir le bitume et les différentes couches de forme, un traitement des sols de ces dernières peu s'avérer plus rentable sur le plan économique.

Ce mémoire présente une technique de renforcement complète et efficace, qui apporte une optimisation des performances mécaniques et une valorisation des ressources naturelles par l'utilisation des fibres de l'Alfa. Dans cette perspective une série d'essais a été faite à différentes concentrations ; 2,5% et 10% puis comparé par des essais de fibre synthétique 0,045% sur des échantillons de sol prélevés d'une carrière à la wilaya de CHLEF à OULED FARES qui présente des caractéristiques mécaniques très faibles.

Mots Clés : chaussée, renforcement, couche de forme, traitement de sol, l'Alfa, valorisation, fibre synthétique.

ملخص

إن تدهور الطرق الجزائرية هو حالة يفرضها الواقع، الأمر الذي يتطلب تشخيصاً دقيقاً للأسباب المختلفة التي تؤثر على مكونات الرصيف وهي القار والمستويات المختلفة من الطبقة النموذجية، ومعالجة التربة لهذه الأخيرة لتكون أكثر مريحة اقتصادياً.

تقدم هذه الأطروحة تقنية تقوية كاملة وفعالة، والتي تحقق الاستفادة المثلى من الأداء الميكانيكي وتأمين الموارد الطبيعية من خلال استخدام ألياف الحلفاء في هذا المنظور، أجريت سلسلة من الاختبارات بتركيزات مختلفة 2.5% و 0.5%؛ ثم مقارنتها مع اختبارات الألياف الاصطناعية 0.045% على عينات التربة المأخوذة من المحجر بأولاد فارس ولاية الشلف التي لديها خصائص ميكانيكية ضعيفة جداً

الكلمات المفتاحية: الطريق، تقوية، الطبقة النموذجية للطريق، الحلفاء، تامين، الألياف المركبة.

Abstract

Algerian roads deterioration`'s is an imposed case by the reality, which requires an accurate diagnosis of several causes affecting the components of the pavement; namely the bitumen and the various layers of form, the case of soil treatment of these layers seems to be economically more profitable.

This thesis presents a complete and efficient reinforcement technique, which brings an optimization of mechanical performances and a valorization of the natural resources by using Alfa fibers. In this regard several tests series was made for different concentrations; 0.05% and 10% then compare by fiber tests to synthesize 0,045 % on soil samples taken from a quarry at the Chlef wilaya in OULED FARES which has very weak mechanical characteristics.

Key Word: road, reinforcement, form layer of road structure, soil treatment, Alfa, valuation, fiber Synthetic.

Introduction générale

Les matériaux et les différentes techniques de construction utilisés dans les domaines des infrastructures routières aéroportuaires, portuaires et ferroviaires évoluent pour pouvoir répondre aux nouvelles conditions de circulation à la conception des chaussées, à la politique d'entretien, aux conditions économiques et la sécurité d'utilisateurs.

Aujourd'hui, les résultats de cette évolution de voir plusieurs matériaux qui gardent leur nature intrinsèque et complètent leur qualités pour former un matériau aux performances globales améliorée « matériau composite ».

Pour la conception, la mise en œuvre et l'entretien d'une chaussée sont devenus d'importances égales pour tous maître d'ouvrages. Savoir quand et comment intervenir sur une structure de chaussée permet une meilleure gestion de l'entretien et une diminution significative des coûts. Pour cela nécessite la maîtrise des mécanismes de dégradation des chaussées et leurs impacts sur les propriétés de matériau constitutifs.

Les sollicitations dues aux chargements du trafic et aux conditions climatiques représentent les causes principales de détérioration des chaussées. Comme la diminution de la portance du support lors de l'infiltration d'eau et par la perte des conditions mécaniques nécessaires au maintien de la résistance des matériaux.

Les techniques du traitement de sol permettent de conférer à des matériaux qui ne seraient même pas utilisables en remblai, la performance largement supérieure à celles des matériaux granulaires naturels traditionnellement réservés à la réalisation des couches de formes, comme notre pays L'Algérie est parmi les pays, qui dispose d'extraordinaires ressources en fibres végétales (d'Alfa, de palmier, Abaca, Chanvre, Cotton ...), malheureusement, leur valorisation dans les domaines pratiques, entre autre, dans les matériaux de construction est encore peu exploitée.

Le but de ce présent travail, est une contribution à la valorisation et au développement des matériaux locaux. A base des fibres naturelles « d'ALFA » et matériau de couche de forme dans la région de « Cheliff », d'une comparaison avec les fibres synthétiques à base d'Aramide. Les déchets de fibres sont utilisés comme ajout afin d'améliorer certaines caractéristiques mécaniques de couche de forme (résistance au cisaillement, les différents coefficients de compressibilité à l'oedomètre et l'indice de portance d'un matériau de couche de forme renforcée par des fibres naturelles) . Et 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. Dans le contexte de l'évaluation et du développement durable dans le domaine géotechnique sur les chaussées.

Le mémoire s'articule sur quatre chapitres :

- La première partie est consacrée au contexte général et l'étude : la chaussée et son constituant, les paramètres de sol impactés ainsi que la couche de forme, sa structure et son dimensionnement.

- La deuxième partie est une représentation de matériau composite, à savoir les propriétés des principaux types de fibres utilisés dans les routiers et de construction.
- La troisième partie s'intéresse à présenter le site et l'étude des caractéristiques physico-chimiques des constituants élémentaires utilisées à savoir : le sol, les fibres d'Alfa.
- Dans la quatrième et la dernière partie nous avons essayé d'étudier des propriétés mécaniques (cohésion, l'angle de frottement) et pré mécaniques énergétiques (indice portant CBR) de sol renforcés par des fibres naturelles et synthétiques, pour pouvoir analyser le comportement de ce matériau, dont l'objectif final est d'établir le bilan de l'influence des fibres sur son comportement.

Enfin nous présentons, quelques conclusions et recommandations pour mieux valoriser ce nouveau matériau dans les chaussées.

I.1 Introduction

Une Chaussée routière est constituée de plusieurs couches mise en œuvre sur un sol support, qui utilise parmi des millions des conducteurs chaque jour.

L'ensemble sol-couche de forme représente la plate-forme support de la chaussée. La couche de forme a une double fonction. Pendant les travaux et en service.

La qualité de la construction des chaussées joue à ce titre un rôle primordial, celle-ci passe d'abord par une bonne reconnaissance du sol support et un choix judicieux des matériaux à utiliser, il est ensuite indispensable que la mise en œuvre de ces matériaux soit réalisée conformément aux exigences arrêtées.

Il faudra non seulement assurer à la route de bonne caractéristique géométrique mais aussi de bonne caractéristique mécanique lui permettant de résister à toutes ces charges pendant sa durée de vie. Elle doit garantir de bonnes conditions de sécurité et de confort pour les usagers.

I.2 Les constituants de la chaussée et rôle des couches

Une Chaussée est une structure multicouche constituée de trois parties principales qui ont chacune un rôle bien défini [LCPC, 1994].

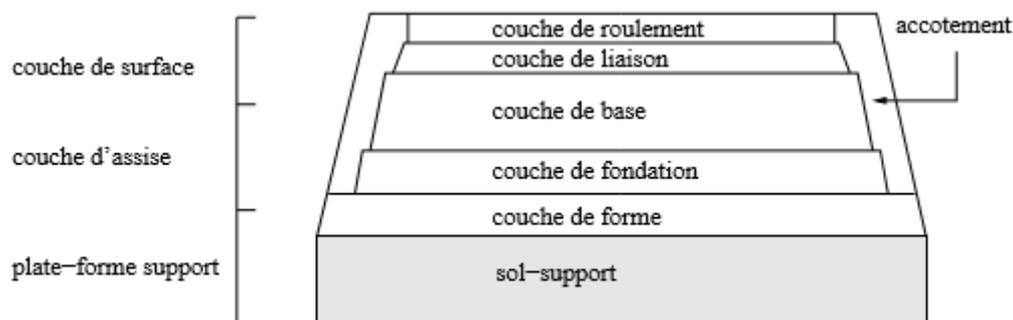


Figure I.1 : Constitution d'une structure de chaussée type [1].

Tout d'abord le sol terrassé ou sol-support est surmonté généralement d'une couche de forme. L'ensemble sol-couche de forme représente la plate-forme support de la chaussée. La couche de forme a une double fonction. Pendant les travaux, elle assure la protection du sol-support, permet la qualité du nivellement ainsi que la circulation des engins. En service, elle permet d'homogénéiser les caractéristiques mécaniques des matériaux constituant le sol ou le remblai, et d'améliorer la portance à long terme.

Puis viennent la couche de base et la couche de fondation formant ainsi les couches d'assise. Les couches d'assise apportent à la chaussée la résistance mécanique aux charges verticales

induïtes par le trafic et repartissent les pressions sur la plate-forme support afin de maintenir les déformations à un niveau admissible.

Enfin, la couche de surface se compose de la couche de roulement et éventuellement d'une couche de liaison entre la couche de roulement et les couches d'assise. Elle a deux fonctions. D'une part, elle assure la protection des couches d'assise vis-à-vis des infiltrations d'eau. D'autre part elle confère aux usagers un confort de conduite d'autant plus satisfaisant que les caractéristiques de surface sont bonnes [1].

I.3 Les paramètres géotechniques des sols et le compactage

I.3.1 Classification GTR 92 et norme NF P 11-300

Les sols en place sont des matériaux naturels, constitués d'éléments granulaires pouvant se séparer aisément par simple trituration ou éventuellement sous l'action d'un courant d'eau. Ainsi, la détermination de la classe géotechnique du sol en place, s'effectue selon la norme NF P 11-300 à partir d'essais de laboratoire pratiqués sur un prélèvement représentatif de ce dernier effectué sur site dans des conditions adéquates.

A partir de ce classement appelé communément **GTR** (Guide Technique Routier), on distingue **quatre grandes classes géotechniques** de sol naturel présentant des propriétés spécifiques ainsi que des comportements **mécaniques** et **gélifs prévisibles** dans le temps. [2].

Tableau I.1 : classes principales de GTR [2]

Classe	Définition	Caractéristique	Sous-classe
A	Sols fins	$D_{max} \leq 50$ mm passant à $80\mu\text{m} > 35\%$	A ₁ à A ₄ selon VBS ou IP
B	Sols sableux et graveleux avec fines	$D_{max} \leq 50$ mm passant à $80\mu\text{m} > 35\%$	B ₁ à B ₆ selon VBS ou IP et tamisât
C	Sols comportant des fines et des gros éléments	$D_{max} > 50$ mm passant à $80\mu\text{m} > 12\%$ ou passant à $80\mu\text{m} \leq 12\%$ + VBS > 0.1	30 sous-classes selon VBS ou IP et tamisât à 50 mm
D	Sols insensible à l'eau avec fines	VBS ≤ 0.1 passant à $80\mu\text{m} \leq 12\%$	D ₁ à D ₃
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)	

Les caractéristiques permettant la classification sont regroupées selon trois catégories : les paramètres de nature, les paramètres de comportement mécanique, et les paramètres d'état.

1.3.1.1 Les paramètres de nature

Ils ne varient pas ou peu dans le temps, ce sont des caractéristiques intrinsèques. [3]

- **La granulométrie** (normes NF P 94-056 et NF P 94-057)

La granularité est un paramètre qui permet de distinguer les sols grâce à la dimension de leurs grains. Une première analyse consiste à mesurer la répartition des quantités selon la dimension des grains. Les deux méthodes complémentaires sont le tamisage pour les sols grossiers (ou grenus) et la sédimentométrie pour les sols fins. Il s'agit de mesurer le pourcentage des grains de sol passant au travers d'un tamis donné (passant ou tamisât).

L'expression classique de cette analyse est la courbe granulométrique caractérisée par les indices suivants (d_{60} est le diamètre correspondant à un passant de 60%) :

- le coefficient d'uniformité (de Hazen) : $C_U = d_{60} / d_{10}$ ($C_U < 2$ uniforme, $C_U > 2$ étalée)

- le coefficient de courbure : $C_c = d_{(30)^2} / d_{60} \times d_{10}$ (bien gradué si C_c entre 1 et 3)

▫ **Dmax** : Dimension maximale des plus gros éléments contenus dans le sol. Il détermine l'atelier de terrassement (c'est-à-dire le matériel employé), l'épaisseur des couches et les conditions de malaxage.

Le seuil retenu est 50mm, car cela permet de distinguer les sols fins, sableux ou graveleux du sol blocailleux. C'est aussi la valeur limite courante pour le malaxage des sols avec un liant pour une CDF de qualité.

▫ **Tamisât 80µm** : Pourcentage en fines du sol. Les fines sont sensibles à l'eau, selon leur proportion elles vont donc influencer le comportement du sol.

Seuils retenus par (GTR):

> 35% : comportement du sol totalement régi par la fraction fine

< 12% : seuil conventionnel pour dire si un sol est pauvre ou riche en fines

▫ **Tamisât 2mm** : distinction entre sols sableux et sols graveleux

Seuil retenu par (GTR): 70%

> 70% : sol tendance sableuse

< 70 % : sol tendance graveleuse

- **L'argilosité**

Etats de consistance 3 Limites d'Atterberg (norme NF P 94-051) Les limites d'Atterberg sont déterminées uniquement pour les éléments fins d'un sol (<400µm), car ce sont les seuls éléments sur lesquels l'eau agit en modifiant la consistance du sol. L'essai consiste donc à faire varier la teneur en eau de cette fraction de sol et à en observer la consistance.

Selon la teneur en eau, le sol se comportera comme un solide, un matériau plastique (capable de se déformer beaucoup sans casser) ou un liquide.

Tableau I.2 : Etats de consistance d'un sol –limites d'Atterberg – [4]

	Ic=1	Ic=0	
	w < wp Ic > 1	Wp < w < wl 1 > Ic > 0	W > wl Ic < 0
Etat solide	Etat semi-solide	Etat plastique	Etat liquide
	Ws	Wp	Wl
	Limite de retrait	limite de plasticité	limite de liquidité

- **L'indice de plasticité IP**

Caractérise la largeur de la zone où le sol étudié a un comportement plastique.

$$IP = WL - WP$$

WP → teneur en eau à limite de plasticité du sol (%)

WL → teneur eau à limite de liquidité du sol (%)

Seuil retenus par (GTR):

- 12 : Limite supérieure des sols faiblement argileux
- 25 : Limite supérieure des sols moyennement argileux
- 40 : Limite supérieure entre sols argileux et très argileux

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

Paramètre représentant l'absorption de la surface spécifique du sol. La VBS s'exprime en g de bleu absorbé pour 100 g de sol. La surface spécifique du sol est déterminée par la surface des particules de la fraction argileuse, une évaluation indirecte de la quantité et de la nature de l'argile contenue dans le sol

Seuil retenus par(GTR):

- 0,1 : sol insensible à l'eau
- 0,2 : apparition d'une légère sensibilité à l'eau (sols sableux)
- 1,5 : distinction sols sablo-limoneux et sols sablo-argileux
- 2,5 : distinction sols limoneux peu plastique à plasticité moyenne
- 6 : distinction sols limoneux et sols argileux
- 8 : distinction sols argileux et sols très argileux

- **L'équivalent de sable ES**

Cet essai caractérise la pollution d'un sable par de l'argile ou du limon en mesurant la quantité des particules colloïdales que l'on fait flocculer. L'essai permet de déterminer dans un sol la proportion relative de sol fin et de sol grenu. L'équivalent de sable s'exprime en pourcentage, cela correspond à la proportion du floculat de sol fin (h_2) par rapport au dépôt solide (h_1), les deux étant mesurés sur éprouvette contenant l'échantillon de sol et une solution normalisé pour disperser les particules de sol.

$$Es = [h_1 / (h_1 + h_2)] \times 10$$

- ES = 0 Argile pure
- ES = 20 Sol plastique
- ES = 40 Sol non plastique
- ES = 100 Sable pur et propre

▫ Certains minéraux ont une influence particulière sur le traitement de sol car, comme les argiles, ils sont sensibles à la présence d'eau. Des constituants chimiques particuliers (matières organiques, phosphates et nitrates, chlorures, sulfates et sulfures) interfèrent également sur la prise hydraulique.

1.3.1.2 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 LA et MDE
- 60 pour 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..). [3]

1.3.1.3 Les paramètres d'état

L'état hydrique est particulièrement important pour les sols meubles sensibles à l'eau.

On distingue 5 états hydriques différents :

- très humide **th**
- humide **h**
- humidité moyenne **hm** (optimum)
- sec **s**
- très sec **ts**

L'état hydrique d'un matériau permet de définir son classement de PST, car la portance du sol est fortement liée cet état.

(Le tableau IX : différents cas possibles de PST, du GTR, fascicule 1, p. 65), établit un classement des sols selon la sensibilité des matériaux à l'eau ; dans chaque cas il s'agit des

mêmes matériaux mais l'état hydrique est différent (sauf PST 5 et PST 6). Il y a des paramètres pour caractériser l'état hydrique. [3]

- **La teneur en eau naturelle**

W_{Nat} (norme NF P 94-050) par rapport à l'Optimum Proctor Normal W_{OPN} .

$$W_{\text{Nat}} / W_{\text{OPN}}$$

- **L'indice de consistance I_c**

Comparaison de la teneur en eau naturelle W d'un sol et des limites d'Atterberg; cela permet de se faire une idée de l'état d'une argile. Cet indice renseigne sur la traficabilité du matériau et permet de définir les moyens de transport et d'extraction.

$$I_c = \frac{WL - W_{\text{nat}}}{WL - WP}$$

- **Masse volumique sèche ρ_d et Poids volumique sec γ_d ($\gamma_d = \rho_d \times g$)**

L'état de compacité en place se détermine par la mesure de la masse volumique apparente d'un échantillon de sol déshydraté. Elle constitue une des caractéristiques du compactage, l'autre étant la teneur en eau. Sa valeur est un paramètre de vérification de la qualité du compactage et du traitement de sol.

La masse volumique sèche des craies et calcaires est étroitement liée à leur fragmentabilité, elle informe donc sur les conditions de malaxage. En effet, dans ce cas, moins le matériau est dense plus il se désagrège facilement. Le malaxage peut engendrer un phénomène d'attrition pour les craies et calcaires, car lors du mélange, le matériau se frotte et s'effrite. [3]

1.3.1.4 Compactage

Le compactage est une réduction de volume du sol presque instantanée due à la réduction des vides remplis d'air. Plus les grains seront resserrés les uns contre les autres, meilleure sera la résistance du sol au cisaillement et meilleur sera le comportement des remblais et couches de chaussées; on recherche donc l'indice des vides le plus petit possible (correspondant au pic de la courbe Proctor).

(Le compactage améliore les propriétés mécaniques du sol remanié).

Il complète l'effet de stabilisation par remplissage des vides par le liant. Le liant augmente la rigidité (répartition des charges) et diminue l'attrition des gros éléments.

Le compactage se distingue de la consolidation car il s'agit de tassement du matériau sous un effet dynamique, alors que la consolidation s'effectue sous poids propre du matériau. Pour le compactage, il n'y a pas de variation de la teneur en eau lors du phénomène de tassement. [3]

La teneur en eau a un effet notoire sur le compactage **W_{opn}** des sols fins. En effet il existe une valeur maximale du poids volumique sec γ_d pour une teneur en eau dite à l'optimum, **Optimum Proctor Normal** déterminée par l'essai Proctor (norme NF P 94- 093).

➤ **Portance**

Dans le cadre de travaux routiers, de faibles déformations du sol sont admises.

La portance d'une PF est couramment déterminée par l'indice **CBR** ou **IPI**, ou par le module à la plaque **EV2**.

- **L'indice CBR**

La portance du sol est sa résistance à la rupture déterminée par l'essai CBR, le Californien Bearing Ratio (norme NF P 94-078). Cet essai donne une mesure de la portance relative des sols par rapport à un sol type de référence. Il permet d'observer le comportement du matériau vis-à-vis sa densification ainsi qu'une idée de sa résistance à l'eau. **L'indice de portance CBR immergé** (= I_{CBR} après 4 jours d'immersion), et **indice portant immédiat IPI**, se calculent ainsi par le rapport entre la pression d'enfoncement du sol et celle d'un matériau type référencé (en %) :

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\text{*Pression à 2.5mm d'enfoncement}}{70} \\ \frac{\text{*Pression à 5 mm d'enfoncement}}{1,05} \end{array} \right\} \text{C'est la plus grande des 2 valeurs qui est retenue}$$

Le pouvoir portant du sol est d'autant meilleur que le **CBR** est grand.

L'essai est empirique et ne peut en aucun cas traduire la résistance intrinsèque du sol, mais il est un moyen d'apprécier sa rigidité (résistance au cisaillement).

Le **CBR** immergé se distingue de l'**IPI** par l'immersion du moule pendant 4 jours.

En général, on réalise la mesure de l'**IPI** avant celle du **CBR** immergé à cause de l'imbibition du moule.

Le rapport **CBR/IPI** > 1 permet de constater que le matériau expérimenté est dit insensible à l'eau et qu'il y a même une amélioration de ces caractéristiques mécaniques par l'effet d'apport d'eau.

Le traitement de sol de la CDF améliore les niveaux de portance (IPI et CBR).

Une valeur de module de Young directement utilisable dans un schéma rationnel de dimensionnement peut être déduite de la valeur retenue du CBR.

Plusieurs approches ont été proposées : [SETRA, L.C.P.C ,2000]

- Formule de GEOFFROY et BACHELEZ : $E = 6,5 \text{ CBR}^{0,65}$

- Formule proposé par SHELL : $E = 10 \text{ CBR}$

- Formule retenue par LCPC : $E = 5 \text{ CBR}$

- **Le module EV2**

La mesure à la plaque du module **EV2** donne la portance du support et indique si le compactage est correct. Cela permet de vérifier si les objectifs de performance mécanique prévus sont atteints. L'essai de plaque consiste à mesurer l'enfoncement d'une plaque circulaire de diamètre 60 cm sous l'action d'une charge croissante. Le module de déformation du sol (Boussinesq ; en MPa) est déduit en interprétant la valeur du déplacement vertical (z en mm), mesuré en fonction de la charge appliquée (en KN).

Les charges définies conventionnellement par le LCPC sont de 20 KN pour le 1^{er} chargement de plaque et 25 KN pour le 2^d 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.

$$EV2 = 90/z$$

$$K = EV2 / EV1 \leq 2$$

La portance de la couche de forme est déterminée par son module de déformation réversible mesuré avec l'essai de plaque (norme NF P 94-117-1), **module EV2**.

L'essai de plaque permet d'apprécier directement le module d'un sol par une mesure sur le terrain. $k = EV2/EV1$ est le rapport des modules à la plaque de deux chargements successifs pour déterminer si le compactage est suffisant.

Le compactage est d'autant meilleur que le rapport $EV2/EV1$ est faible ; en général la spécification conventionnelle admet une valeur du rapport $k < 2$. [3]

I.4 La couche de forme et son dimensionnement

I.4.1 Définition et nature de la couche de forme

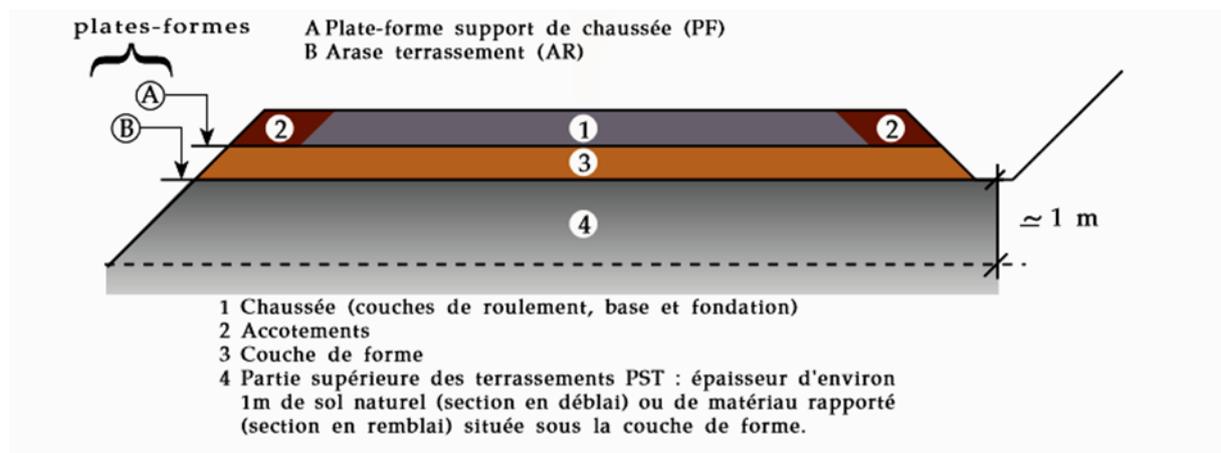


Figure I.2 : définition les différents termes [3]

La couche de forme est une structure plus ou moins complexe permettant d'adapter les caractéristiques aléatoires et dispersées des matériaux de remblai ou du terrain en place, aux caractéristiques mécaniques, géométriques, hydrauliques et thermiques prises comme hypothèses dans la conception de la chaussée.

La surface supérieure de cette structure d'adaptation constitue la "plate-forme support de chaussée" (PF).

On désigne par Partie Supérieure des Terrassements ou PST la zone supérieure (environ un mètre d'épaisseur) des terrains en place (cas des profils en déblai) ou des matériaux rapportés (cas des profils en remblai). La plate-forme de la PST est l'Arase de terrassement AR

Selon les cas de chantier (nature des sols, climat, environnement hydrogéologique, trafic de chantier...) la couche de forme se présentera sous des formes différentes. Elle peut être :

- inexistante car inutile lorsque les matériaux constituant le remblai ou le sol en place ont eux-mêmes les qualités requises.
- limitée à l'apport d'une seule couche d'un matériau ayant les caractéristiques nécessaires ; c'est le concept traditionnel de la couche de forme.
- constituée d'une superposition de couches de matériaux différents répondant à des fonctions distinctes, incluant par exemple un géotextile, des matériaux grossiers, une couche de fin réglage, un enduit gravillonné... Cette association conçue rationnellement permet de former une structure d'adaptation dont la surface présente les caractéristiques requises pour une plate-forme support de chaussée. [3]

1.4.1.1 Les objectifs et conception de la couche de forme

La couche de forme répond à la fois à des objectifs de court terme (vis-à-vis de la phase de réalisation de la chaussée) et de long terme (lorsque l'ouvrage est en service). Selon les cas de chantier, on cherchera à assurer, avec la couche de forme, l'ensemble ou certaines des fonctions suivantes.

- **A court terme**

- un nivellement de la plate-forme support de chaussée permettant de réaliser la couche de fondation dans les tolérances d'épaisseur fixées.
- une portance suffisante, compte tenu en particulier des aléas météorologiques, pour une exécution correcte du compactage des couches de chaussées et l'obtention d'un bon uni.
- une protection du sol support vis-à-vis des intempéries.
- une traficabilité permettant la circulation, dans de bonnes conditions, des engins approvisionnant les matériaux de la couche de fondation.
- éventuellement supporter le trafic de chantier pour d'autres besoins. [3]

- **A long terme**

- l'homogénéisation de la portance du support pour concevoir des chaussées d'épaisseur constante.
- le maintien dans le temps, en dépit des fluctuations de l'état hydrique des sols supports sensibles à l'eau, d'une portance minimale pouvant être estimée avec une précision suffisante au stade du dimensionnement de la structure de chaussée.
- une amélioration de la portance de la plate-forme pour optimiser le coût de l'ensemble couche de forme - structure de chaussée.
- la protection thermique des sols supports gélifs.
- une contribution au drainage de la chaussée.....etc. [3]

Dans un certain nombre de situations correspondant à de petits ou moyens chantiers, l'épaisseur de la couche de forme est fixée avec le seul objectif de permettre la réalisation de la chaussée, dans des conditions météorologiques favorables, en assurant les fonctions.

1.4.1.2 Matériaux de couche de forme

Pour être employé en couche de forme, un matériau doit satisfaire aux critères suivants :

- Insensibilité à l'eau * (dépendance des caractéristiques mécaniques à l'état hydrique).
- Insensibilité au gel (gélifraction, cryosuccion).
- Dimension des plus gros éléments (nivellement, malaxage).
- Résistance sous circulation des engins de chantier (fragmentation, attrition).

* La notion de sensibilité à l'eau est prise au sens restrictif définissant seulement la variance de portance du sol sous l'effet de variation de la teneur en eau. [3]

1.4.1.3 Techniques de préparation et de protection des matériaux pour emploi en couche de forme

Le GTR prévoit 4 rubriques de technique de préparation des matériaux pour la CDF :

- G : Actions sur la granularité (élimination de la fraction sensible à l'eau ou de la fraction grossière, ou ajout d'un correcteur granulométrique).
- W : Actions sur l'état hydrique (par traitement, arrosage ou humidification).
- T : Traitement (assure la pérennité des liaisons entre grains, dépend de l'état et de la nature du matériau).
- S : Protection superficielle (avec enduit de cure gravillonné ou clouté, fin réglage).

Tableau I.3: tableau récapitulatif des techniques de préparation des matériaux pour emploi en couche de forme [3]

Rubrique	Code	Technique de préparation des matériaux
G Actions 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 la teneur en eau	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 avec un liant hydraulique et éventuellement correcteur granulométrique
	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.5 Dimensionnement de la couche de forme

Le principe de la démarche consiste à déterminer une classe de PST en fonction de sa classification géotechnique et de son état hydrique puis d'y associer une classe d'AR choisie en fonction de l'objectif de portance à long terme afin d'obtenir un couple PST/AR.

Donc le dimensionnement faire par les trois étapes principales :

- Démarche pour fixer l'épaisseur
- Les différents cas de Partie Supérieure des Terrassements (PST)
 - Epaisseur préconisée pour la couche de forme [3]

Le couple PST/AR et la nature du matériau de CDF permettent de définir l'épaisseur de CDF et le classe de la PF grâce aux tableaux du GTR (Annexe 3 du fascicule 2, page.55 à 73).

I.5.1 Classement des plates-formes pour le dimensionnement des structures de chaussée

I.5.1.1 Portance à long terme de la plate-forme

Pour le dimensionnement des structures de chaussée, la portance à long terme de la plate-forme 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, selon le découpage donné par le tableau 1-3

Tableau I.4 : 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.5 : des modules de calcul descriptifs du sol support – (tableau XI, fascicule 1 de GTR, Pa 68)

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

Tableau I.6 : Tableau 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.5.1.2 Règles de surclassement 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.7 : Classe de PF en fonction du cas de CDF. [5]

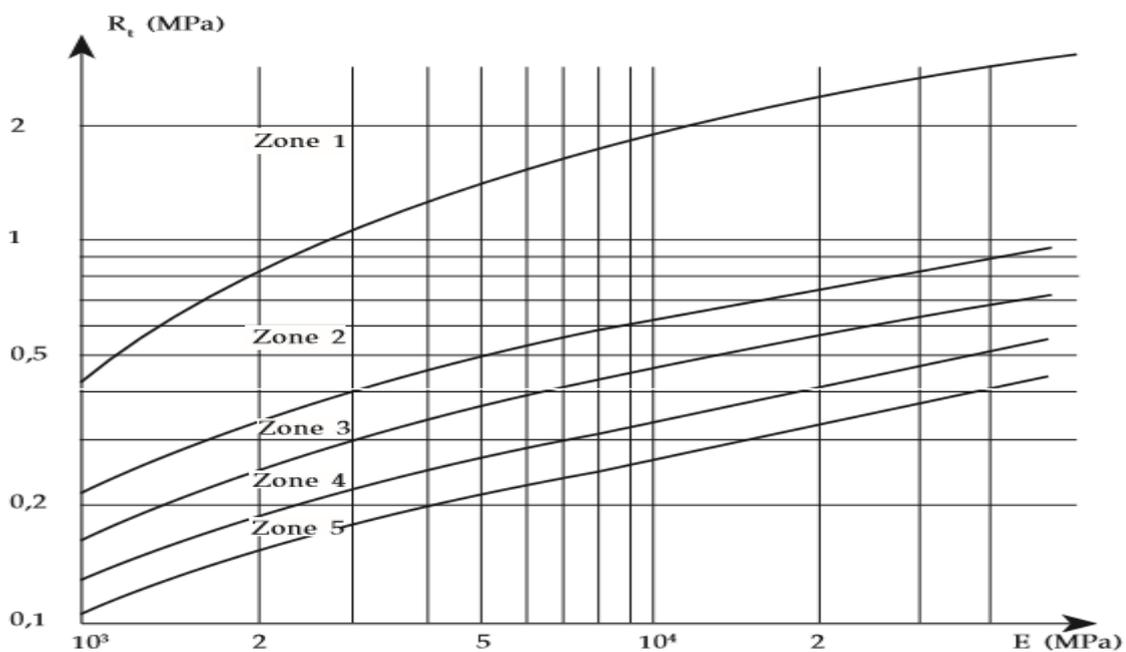
Cas de CDF (matériaux)	Classe de PF
Matériaux granulaires non traités	PF3
Sols argileux et limoneux traités en place à la chaux seule, chaux + ciment ou ciment seul	PF3
Matériaux traités au liant hydraulique MTLH	PF3/PF4

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.

1.5.1.3 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 [3]

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.8 : Classe mécanique du matériau traité GTS

Classe mécanique	Traitement centrale en	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 l'épaisseur de CDF permettent de définir une classe de PF à partir de la classe d'AR.

Tableau I.9 : Classe de PF selon la classe d'AR, la classe du matériau et l'épaisseur de CDF – GTS

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.6 Conclusion

Dans ce chapitre on a donné un aperçu sur les différents constituants de la chaussée (ensemble mécanique complexe de couches de granulats et de liants), 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 primordial d'avoir une connaissance sur les différentes méthodes pour choisir la bonne structure de sol support, ou faire un traitement pour les mauvaises qualités des sols.

II.1 Introduction

L'utilisation d'une fibre comme renfort au sein d'une matrice, dépend essentiellement de la compatibilité des propriétés physiques, mécaniques et chimiques, que possède la fibre avec les constituants de la matrice (sol, béton, béton de sable ou mortier).

Les matériaux composites à fibres se développent en raison de leurs propriétés mécaniques associées souvent à une faible densité. Leur bon rapport coût/performance leur a ouvert une très large gamme d'application Dans des domaines variés,

On a cherché depuis longtemps à renforcer les matériaux de construction fragiles à l'aide de fibres de différentes natures.

La valorisation des matériaux composites classiques avec leur armature en fibres de verre, d'aramide, ou bien de carbone pose un grand problème à leur fin de vie. Pour y pallier les fibres naturelles sont mises. Elles sont issues de ressources renouvelables elles sont biodégradables.

Dans ce qui suit nous allons exposer des généralités sur les fibres : types, caractéristiques, utilisations, quelques propriétés.....ainsi que le domaine d'utilisation.

II.2 Définition De Matériaux Composite

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. [6]

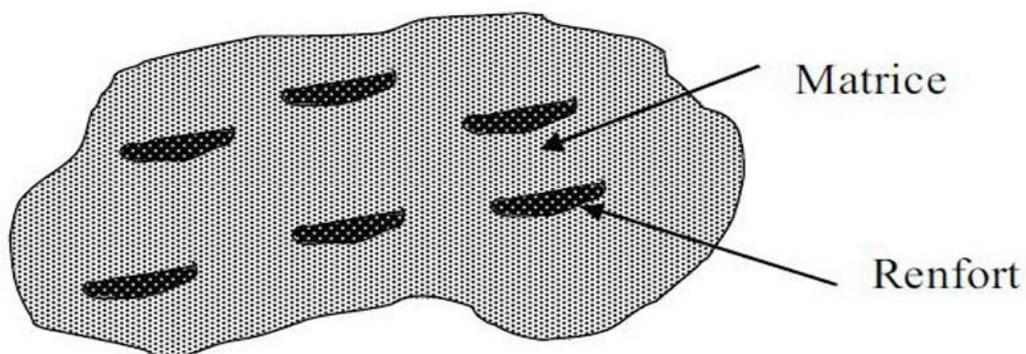


Figure II.1 : schéma d'un matériau composite [6]

II.3 Les Différents Types De Fibres Industrielles Utilisées Dans Le Renforcement Du Béton

Plusieurs types des fibres sont utilisés dans la construction, parmi eux nous citons :

- a) Les fibres métalliques (acier, fonte).
- b) Les fibres organiques (polypropylènes, polyesters, polyamides et polystyrènes).
- c) Les fibres minérales (amiante, verre, carbone).
- d) Les fibres végétales (Jute, sisal, coir, bois, bambou, palmier).
- e) Les fibres animales (poil, laine, soie). [7]

II.4 Les Différents Types De Fibres Industrielles Utilisées Dans Le Renforcement Des Chaussées

II.4.1 Les Fibres D'amiante

Les fibres d'amiante sont constituées de silicates de magnésium hydratés parfaitement compatibles avec la pâte de ciment, elles possèdent une bonne résistance à 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. [8]

Tableau II.1 : Caractéristiques mécaniques des fibres d'amiante [9]

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 σ_{fu} (MPa)	100 – 300
Module d'Young E (GPa)	80 – 150

II.4.2 Les Fibres De Verre

Les fibres de verre sont très fragiles, elles sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines ou de fils coupés.

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 provoquent des microfissurations. [9]

Tableau II.2: Caractéristiques mécaniques des fibres de verre

Type de verre	E	R	S
Résistance à la rupture $s f u$ (MPa)	3400	4400	4900
Module d'Young E (GPa)	73	86	87
Masse Volumique (g/cm ³)	2.54	2.55	2.54

II.4.3 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 (I.M.)
- Les fibres à hauts modules (H.M.) [9][10]

Les fibres de carbone sont très fragiles ce qui rend l'opération de malaxage du béton de ces fibres très difficile. [11]

Tableau II.3 : Propriétés mécaniques des fibres de carbone [9]

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 $s f u$ (MPa)	3000 - 5000	2800
Module d'Young E (GPa)	220	400

II.4.4 Les Fibres D'acier

Les fibres d'acier restent parmi les fibres les plus utilisées 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 :

[12]

II.4.4.1 Les Fibres Euro-Steel

Ce sont des fibres ondulées en acier à haute résistance, tréfilé, dur, à teneur en carbone à 0.15%. La contrainte limite de rupture en traction est de 1400 MPa. [9]

II.4.4.2 Les Fibres Bekaert De Chez Dramix

Ces fibres en acier tréfilé sont fabriquées par Bekaert. Elles se présentent sous forme de plaquettes collées, ce qui facilite leur introduction dans le béton et évitent la formation d'oursins. En effet, la colle se dissout facilement dans l'eau de gâchage.

Les fibres les plus courtes sont actuellement utilisées en béton projeté. Elles ont une résistance à la traction minimale de 1100 MPa. Leur diamètre varie de 0.4 à 0.8 mm et leur longueur de 25 à 60 mm [13]

II.4.4.3 Les Fibres Harex

La fibre Harex est obtenue par fraisage. Les copeaux, produits légèrement enroulés sur eux-mêmes, possèdent une résistance à la traction d'environ 700 MPa. [9]

II.4.4.4 Les Fibres Ruban En Fonte Amorphe De Pont-A-Mousson

[9] rapporte que Ces fibres sont développées par SEVA (Pont-à-Mousson), sont des rubans de fonte amorphe obtenue par refroidissement brutal. Cette trempe crée une structure vitreuse qui est en partie à l'origine de sa résistance à la corrosion.

Les longueurs commercialisées de ces fibres sont de 15, 30, 45 et 60 mm Une de leurs caractéristiques importantes est leur grande résistance à la corrosion. La résistance à la traction de ces rubans est d'environ 200 MPa.

II.4.4.5 Les Fibres A Tête D'encrage En Acier Trfile

Ces fibres sont développées par EURO-STEEL, elles se distinguent par leur capacité à développer très tôt un bon ancrage, donc à limiter la chute d'effort post fissuration. L'angle d'inclinaison des têtes a été choisi pour permettre un confinement du béton. [9]

II.4.4.6 Les Fibres De Beki -Shield

Ce sont des fibres métalliques spéciales, fabriquées et commercialisées sous le nom de Beki-Shield, présentent des caractéristiques intéressantes, elles sont très minces et moins abrasives, moins irritantes au toucher que les fibres de verre. [14]

Ces fibres sont fabriquées à partir d'un acier inoxydable qui offre de très grande résistance à la corrosion. [12]

II.5 Les Fibres Végétales

II.5.1 Définition

Une fibre végétale est une expansion cellulaire morte qui est composée principalement de cellulose, d'hémicellulose, de lignine et de pectines. Elle est soit isolée soit regroupée avec d'autre en un faisceau [15]

Il est primordial de ne pas confondre fibre unitaire (ou fibre élémentaire) et faisceau de fibre. Une fibre unitaire correspond à une cellule élémentaire fibreuse. Qui, regroupée avec d'autre. Forme un faisceau de fibre : le lien interstitiel entre les fibres unitaires étant composé principalement de pectines et d'hémicellulose (**figure II-2**) ce sont généralement ces faisceaux des fibres qui sont communément appelés «**fibres végétales**» [16]

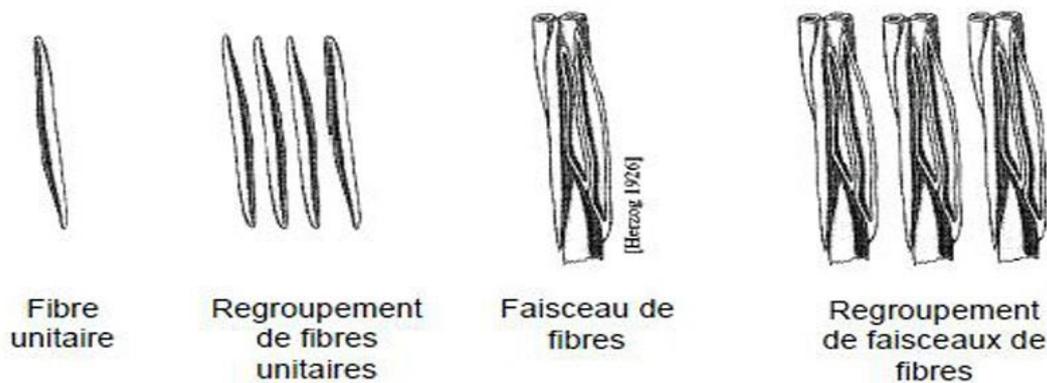


Figure II.2 : les différentes formes de fibre. [16]

Une fibre végétale est caractérisée par sa finesse et sa forme allongée par rapport à son diamètre. La plupart des fibres végétales mesurent entre **10 et 150 mm** de long pour un diamètre de **10 à 50 µm**, soit un rapport longueur sur diamètre compris entre **10 et 100** [17][18]

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 le bois figure le bois est un cas particulier (composition, structure, etc.) qui doit être traité séparément. [19][20]

II.5.2 Classification Des Fibres Végétales

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance. A s'avoir : les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface

A. 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. [21]

B. 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 kenaf, d'urena et de chanvre [22]

C. 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. [21][23]

D. 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 (coco). Les fibres de coco ont donné 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. [13]

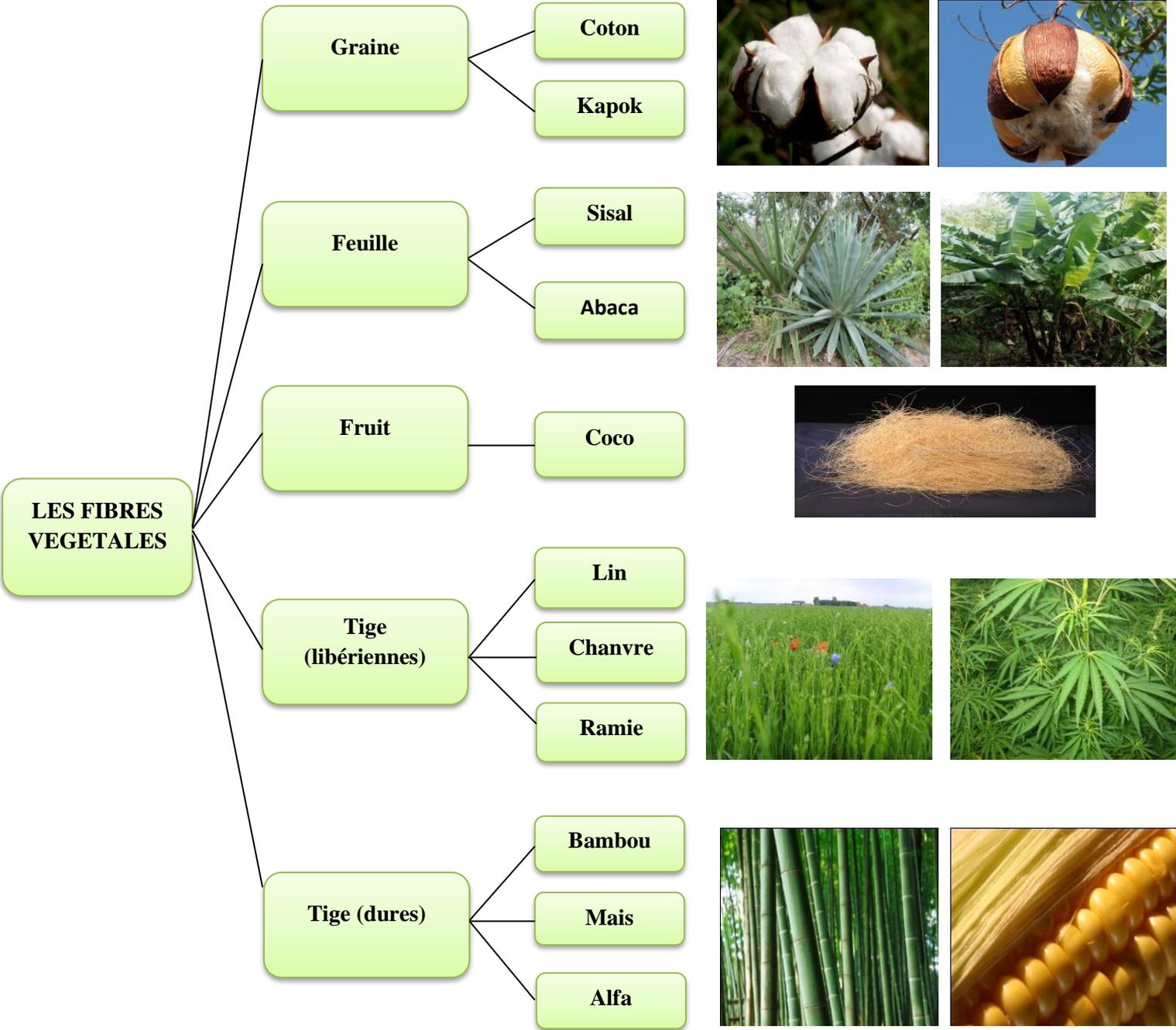


Figure II.3 : Classification des fibres végétales selon l'origine [24]

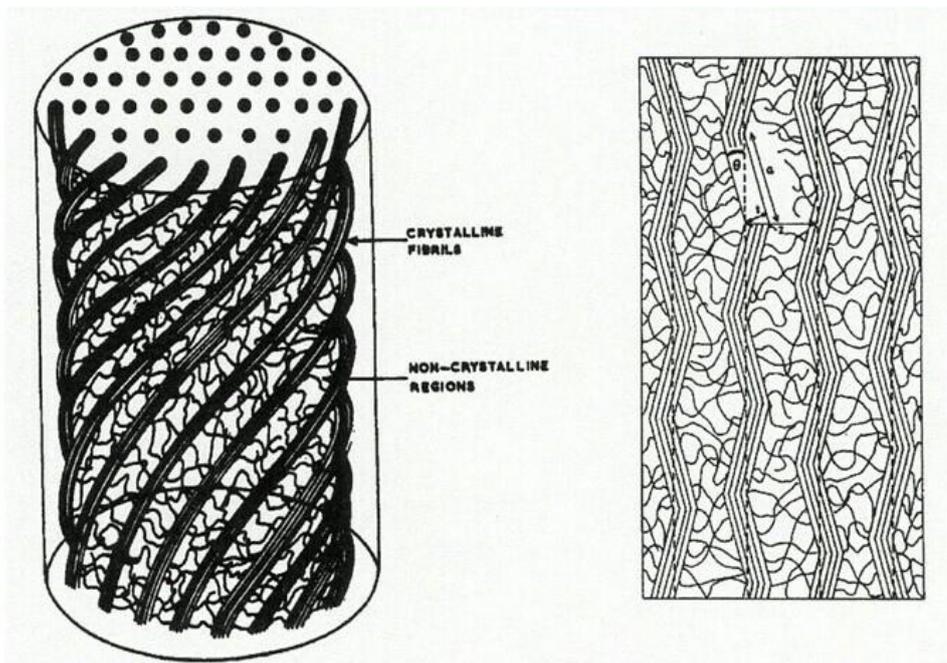


Figure II. 4 : Schématisation des fibres végétales [13]

II.5.3 Caractéristiques Physiques Et Mécaniques Des Fibres Végétales

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre sa densité et son teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau. Et elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, son élongation à la rupture et son module d'élasticité.

Les propriétés physiques et mécaniques des fibres végétales ont été traitées par beaucoup de chercheurs. [8][9][13][25][26][27]

Dans leur étude concernant les fibres végétales, ont constaté que la résistance à la traction et le module d'élasticité des fibres végétales sont proportionnelle à leur teneur en cellulose. Ainsi, ils ont remarqué que la résistance dépend de la forme des spirales des filaments ils constatent que les fibres à grand angle spiral ont une grande déformabilité, mais une faible résistance, tandis que les fibres à faible angle spirale ont une faible déformabilité et une grande résistance. [13]

Sur le tableau 4, nous constatons que les fibres végétales sont naturellement humides.

Pratiquement elles absorbent des quantités importantes d'eau à la saturation. Nous remarquons sur le tableau 5 que la densité de ces différentes fibres est très rapprochée, alors que leurs résistances à la traction et leurs modules d'élasticité sont très variable. Cela est dû à la variation de leur composition chimiques et leur texture et spécialement l'orientation de leurs filaments et leur angle spiral.

Tableau II.4 : Les caractéristiques physiques des fibres végétales les plus utilisées [13]

Fibre	Diamètre (mm)	Densité (g/cm³)	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.5 : Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres Végétales [28]

Fibres	Densité (g/cm³)	Allongement à la rupture (%)	Résistance à la traction (MPa)	Module de Young (GPa)
Coton	1.5-1.6	7.0-8.0	587-597	5.5-12.6
Jute	1.3	1.5-1.8	393-773	26.5
Lin	1.5	2.7-3.2	345-1035	27.6
Chanvre	--	1.6	690	-
Ramie	--	3.6-3.8	400-938	61.4-128
Sisal	--	2.6	278	--
	1.37	5.2	363	15.2
	0.75-1.07	2.08-4.08	577.50	10.94-26.70
	1.5	2.0-2.5	511-635	9.4-22.0
Noix de coco	1.2	30.0	175	4.0 – 6.0
	1.17	37.7	107	2.8
	0.67-1.00	13.7 – 41.0	174	2.5 – 4.5
	1.33	-	72	2.0

II.5.4 Caractéristiques Chimiques Des Fibres Végétales

Les fibres végétales sont caractérisées par leur composition chimique qui influe énormément sur leur durabilité et spécialement dans les milieux alcalins.

La composition chimique des fibres végétales est formée de trois principaux constituants à savoir : la cellulose, l'hémicellulose et la lignine. [13]

A. La Cellulose

C'est la principale composante des fibres végétales. C'est un polymère naturel du premier plan. Généralement, les fibres végétales sont constituées par une chaîne de fibres en cellulose.

B. Hémicellulose

L'hémicellulose présente dans toutes les parois de ces fibres, est un polysaccharide à chaîne courte ramifiée et repliée sur elle-même. C'est le constituant responsable de l'élasticité des fibres et qui permet aux parois de s'allonger pendant la croissance.

C. Lignine

La lignine constitue la colle qui lie les fibres végétales entre elles ainsi que leurs parois. C'est un polymère tridimensionnel provenant de la copolymérisation de trois alcools phénylpropénoïques.

Le tableau 2 présente la composition chimique de quelques fibres végétales (Noix de coco, sisal, jute et palmier dattier) reproduit selon

Tableau II.6: Composition chimique de quelques fibres végétales [23]

Fibres	Composition (%)			
	Cendre	Cellulose	Hémicellulose	Lignine
Noix de coco	1.44	32-43	0.15-0.25	40-45
Sisal	1.13	66-72	12.0	10-14
Jute	7.6	63	--	--
Palmier dattier	1.2	41-45	6-10	30-40

II.5.5. Utilisation Des Fibres Dans La Construction

Les fibres de toute nature sont très employées dans différents ouvrages dans le but d'améliorer leurs performances mécaniques et physiques. A titre d'exemple le (**tableau II.7**) résume les diverses applications des fibres dans les produits cimentaires.

L'utilisation des fibres végétales dans le renforcement des ciments est relativement récente. En effet, beaucoup de recherches sont en cours dans le but d'arriver à substituer les fibres d'amiante par les fibres végétales. Actuellement, les fibres végétales sont de plus en plus utilisées dans les dalles et la production des tuiles et les dallages de parking ainsi que dans le renforcement du plâtre. [30]

Par ailleurs, l'utilisation des fibres de polymère, de carbone et d'acier est de plus en plus pratiquée dans plusieurs domaines et spécialement dans la fabrication des panneaux et dans la restauration et la réparation des ouvrages anciens endommagés.

Tableau II.7 : Application des divers renforcements de fibres dans les produits à base de ciment [23][8]

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, plancher d'échafaudage.
Particules de mica	Panneaux, tuyaux, travaux de restauration
Végétale	Dalles, tuiles.

II.6 La Fibre D'aramide (synthétiques)

Les fibres polyamides aromatiques (ou fibres « aramides ») sont des fibres polymères synthétiques à hautes performances connues pour leur utilisation dans les matériaux composites, les gilets pare-balles, les câbles et les cordages, ou les vêtements de protection contre le feu. Leurs excellentes propriétés mécaniques en traction (module élastique et résistance mécanique élevés, faible déformation), leur faible densité et leur bonne résistance chimique ont rendu leur emploi adapté à d'autres domaines comme les géotextiles pour des applications de renforcement des sols. [31]

Depuis les années 80, les fibres aramides connaissent un fort développement dans de multiples secteurs.

Parmi les applications les plus « récentes », on trouve les géotextiles utilisés pour le renforcement des sols

II.6.1 Applications

L'utilisation des fibres aramides dans les géotextiles pour des applications de renforcement des sols «récente». [31]

II.6.2 Géotextiles A Base De Fibres Aramides

Il y a encore quelques années, les géotextiles à base de fibres polyéthylène téréphtalate étaient couramment utilisés pour le renforcement des sols. Compte-tenu de leur vieillissement prématuré en milieu alcalin (sols traités à la chaux, au ciment, au laitier, ou au voisinage de la peau superficiel de béton durci), il est maintenant établi d'exclure leur emploi à des $\text{pH} \geq 10$ et de considérer leur utilisation à $\text{pH} 9$ avec prudence [32]. Des solutions de remplacement telles que les géotextiles à base de fibres polyaramides, utilisées depuis une dizaine d'année pour le renforcement des sols, ont donc été envisagées. [32]

Deux grandes catégories de fibres aramides sont utilisées pour les applications de renforcement de sols et la câblerie marine :

- les fibres poly (*p*-phénylène téréphtalamide) (PPTA) parmi lesquelles on distingue les fibres *Twaron* et *Kevlar*.
 - les fibres copoly (*phénylène/3,4'*-diphényl éther téréphtalamide) ou fibres *Technora*.
- Ces deux types de fibres seront présentés indépendamment.



Figure II.5 : la fibre d'aramide

Les fibres utilisées dans cette étude sont des fibres végétales la fibre d'Alfa

II.7 La Fibre d'Alfa

II.7.1 Présentation Générale

L'Alfa est une herbe vivace typiquement méditerranéenne, elle pousse en touffes d'environ 1m à 1m20 de haut formant ainsi de vastes nappes. Elle pousse spontanément notamment dans les milieux arides et semi arides, elle délimite le désert, là où l'Alfa s'arrête, le désert commence (**Figure6**) [33]

II.7.2 Nomenclature Et Classification Botanique

Nom vulgaire: L'alfa, en anglais Esparto

Nom scientifique: *Stipa tenacissima* L.

Classification : [34]

Règne:	<i>Plantae</i>
Sous règne:	<i>Tracheobionta</i>
Super Division :	<i>Spermatophyta</i>
Division:	<i>Magnoliophyta</i>
Classe:	<i>Liliopsida</i>
Ordre:	<i>Poales</i>
Famille:	<i>Poaceae</i>
Genre:	<i>Stipa</i> L.
Espèce:	<i>Stipa tenacissima</i> L.

II.7.3 Répartition Géographique

Par ailleurs, c'est l'une des espèces xérophiles qui caractérise le mieux les milieux arides méditerranéens à l'exclusion des secteurs désertiques. Sa terre d'élection est l'Afrique du Nord, et tout particulièrement les hauts plateaux du Maroc et de l'Algérie. Mais cette espèce est présente aussi en Espagne, au Portugal, aux Baléares, et elle s'étend vers l'est jusqu'en Égypte en passant par la Tunisie et la Libye. En France, elle serait présente uniquement dans le département du Var. Au sud et à l'est, la limite naturelle de l'Alfa est déterminée par la sécheresse en bordure du Sahara. En revanche, au nord et à l'ouest, c'est l'humidité croissante du climat qui l'élimine de la flore, elle est beaucoup plus rare dans les étages subhumide et surtout humide. [35][36] La répartition territoriale connue à ce jour est estimée à: [37]

- Algérie : 4.000.000 ha
- Maroc: 3.186.000 ha
- Tunisie: 600.000 ha
- Lybie: 350.000 ha
- Espagne: 300.000 ha



Figure II.6: Illustrations de la plante d'Alfa à l'état brut [24]

II.7.4 Etude Botanique

La plante d'Alfa comprend une partie souterraine et une autre aérienne. La partie souterraine, appelée le Rhizome, est formée d'un réseau complexe de racines très ramifiées de 2 mm de diamètre environ et profondes de 30 à 50 cm, qui se terminent par les jeunes pousses (Figure 7).

La partie aérienne est constituée de plusieurs branches portant des gaines emboîtées les unes dans les autres, surmontées de limbes longs de 30 à 120 cm. La face inférieure des limbes est légèrement brillante, la face supérieure porte de fortes nervures. L'une et l'autre sont recouvertes d'une cire isolante qui permet à la plante de résister à la sécheresse. [38]

La tige est creuse et cylindrique, et régulièrement interrompue au niveau du nœud par des enchevêtrements des faisceaux. Au même niveau, se trouvent des bourgeons qui donneront naissance soit à un entre-nœud, soit à une tige, ou reste sous la forme d'une réserve qui entrera en activité lorsque la souche sera épuisée.

Les feuilles sont cylindriques, très tenaces, longues de 50 à 60 centimètres. La fleur est protégée par deux glumes de longueur égale. La glumelle supérieure semble partiellement séparée en 2 parties et la glumelle inférieure est plus fine. Généralement, les fleurs apparaissent vers la fin avril début mai et sont de couleur verte. Le fruit est un caryopse (une sorte de grain) qui mesure 5 à 6 mm de longueur. Sa partie supérieure est brune et porte souvent des traces desséchées. [24]

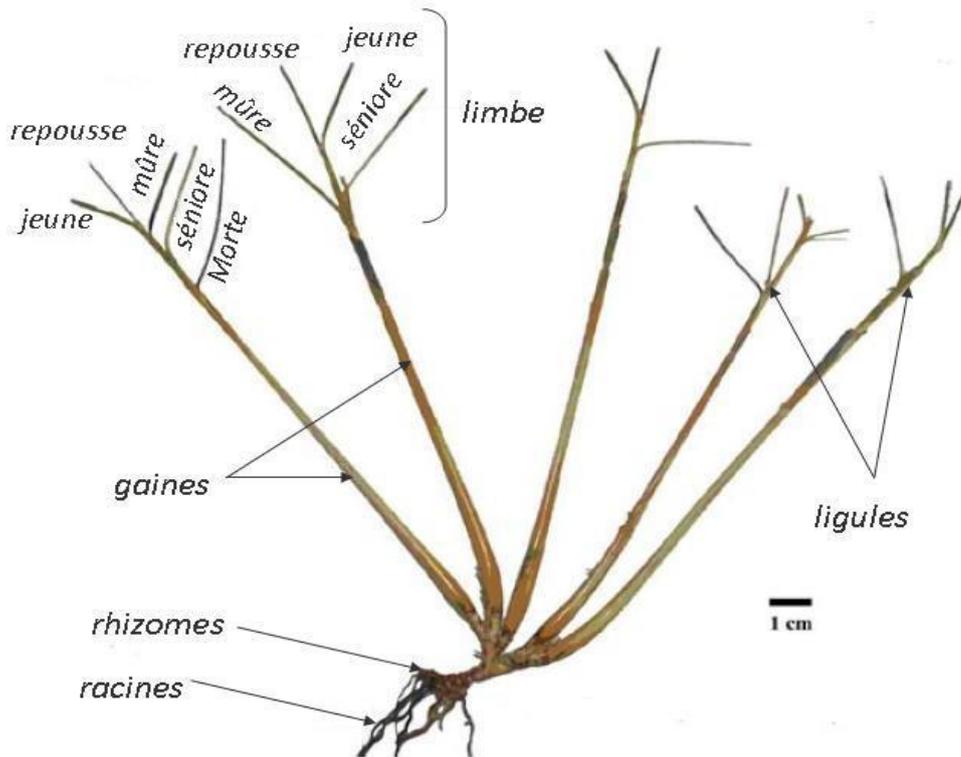


Figure II.7: Morphologie de la plante d'Alfa [24]

La floraison a lieu à partir de la fin du printemps et durant tout l'été. Cette espèce est hermaphrodite (présentant les 2 sexes sur la même fleur). La pollinisation se fait de manière entomogame c'est-à-dire que le pollen est véhiculé par des insectes, et la dissémination des graines se fait par anémochorie (le mode de dispersion des graines des végétaux se faisant grâce au vent). [39][40]

II.7.5 La Récolte De l'Alfa

L'Alfa se récolte après la maturation des graines, c'est-à-dire, à partir de juillet-août. La récolte commence par l'enlèvement des feuilles uniquement à la main, par arrachage, suivant la pratique adoptée depuis toujours, soit en enroulant les feuilles autour d'un bâton court, soit en se garnissant la main d'une tige de métal. Le javeleur saisit une poignée d'Alfa, l'enroule autour d'une tige métallique pour assurer sa prise et tire brusquement.

Avec son pied il retient les racines pour les empêcher d'être arrachées en même temps que les feuilles. Celles-ci sont liées en petites balles avec une tresse d'Alfa. Puis ces petites balles sont pressées pour constituer les grosses balles qui seront envoyées au centre de collecte. Ensuite, l'Alfa pesée sera stockée dans ces centres avant d'être transférée à l'usine, pour en extraire la pâte à papier en particulier (Figure 8).

Aujourd'hui, il serait possible de mécaniser la récolte d'alfa, cependant, la voie de la mécanisation n'a pas été suivie, car d'un côté, la récolte manuelle fournit un revenu à quelques milliers de cueilleurs, et d'autre part, comme c'est une activité saisonnière, cela ne serait pas économiquement rentable, en plus de la difficulté d'accès et la topographie Particulière des nappes alfatières [24]

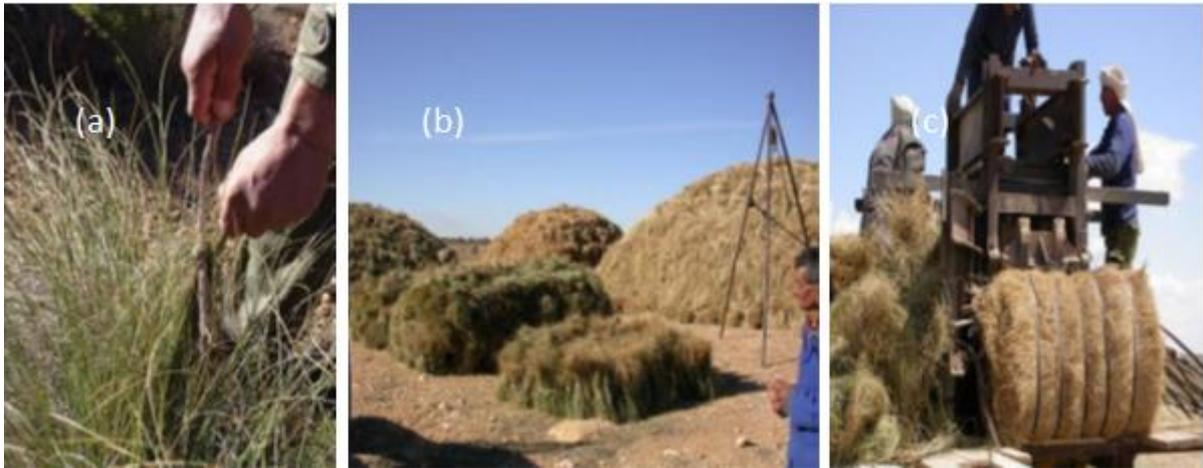


Figure II.8: Les différentes étapes de la récolte de l'Alfa (a) l'arrachement, (b) la collecte et (c) la mise en balle [24]

II.7.6 Domaines D'applications

Les applications de l'Alfa sont multiples et diversifiées, et peuvent être classées en 2 catégories selon la nature de la matière :

❖ Les tiges de l'Alfa :

- **Applications artisanales :** Ces tiges, une fois filées ou tressées, s'emploient pour la fabrication de cordages et d'objets de sparterie (tels que : des tapis, des paniers, des paillassons, des plateaux, des ficelles ...). L'utilisation artisanale par les riverains qui habitent dans les régions alfatières peut être évaluée à 50 kg/ménage/an (Figure II-9).
- **Pâturage :** Les nappes alfatières constituent un espace pastoral de réserve tant pour le bétail (boeufs, moutons, chameaux...) que pour la faune sauvage (gazelle...). Du fait qu'elle est relativement délaissée par les animaux en présence d'autres ressources pastorales plus appétentes, vu sa faible valeur alimentaire, elle constitue un énorme stock qui permet la survie des animaux pendant les années de disette.
- **Combustible :** Le pouvoir calorifique supérieur de l'alfa varie de 4666 Kcal/kg pour les brins de 1 an et de 5160 et 5163 Kcal/kg pour les brins âgés de 2 ans et de 3 ans respectivement, ce qui lui confère un usage énergétique important sous forme de briquettes combustibles en remplacement ou d'appoint au bois de feu. [37]



Figure II.9: Des exemples d'artisanat Alfatière (des paniers, des paillassons, des espadrilles...) [24]

Par ailleurs, la feuille d'alfa fournit également des sous-produits puisqu'elle possède des acides gras insaturés, notamment l'acide oléique et l'acide linoléique, pouvant être valorisés dans le domaine diététique et des cires utilisées pour les cosmétiques. Malgré cette diversité d'utilisations, l'alfa n'est donc utilisé qu'à son état primitif (des tiges) ou bien en fibres très courtes n'ayant aucune performance mécanique (composites et non tissés).

II.7.7 Intérêt Ecologique Et Enjeu Socio-Economique

Cette espèce aux vertus écologiques, économiques et sociales occupe une place très importante dans les pays producteurs et notamment chez les populations qui vivent aux alentours de ces exploitations. [24]

II.7.7.1 Intérêt Ecologique

L'Alfa joue un rôle fondamental dans la protection et le maintien de l'intégrité écologique de tout l'écosystème. En effet, elle joue un rôle important dans la lutte contre le phénomène de désertification, elle est considérée comme l'un des remparts face à l'avancée du désert grâce à son système racinaire très développé qui permet la fixation et la protection du sol. Elle permet aussi d'éviter l'érosion éolienne durant les périodes sèches grâce à son aptitude de persister durant les périodes de sécheresse en maintenant une activité physiologique au ralenti. Elle lutte également contre l'érosion pluviale, les touffes d'Alfa constituent des barrages qui freinent le ruissellement.

De plus, cette plante ne nécessite pas une grande quantité d'eau pour survivre, elle est présente dans des aires où les précipitations annuelles se situent entre 50 et 150 mm). Elle utilise ainsi chaque goutte d'eau mise à sa disposition.

Finalement, l'Alfa pousse spontanément sans avoir recours aux pesticides ni insecticides ni engrais, en tout respect et harmonie avec son environnement. [24]

II.7.7.2 Enjeu Socio-Economique

Cette graminée pérenne présente un intérêt économique certain puisqu'elle entre dans des utilisations à des fins industrielles, cités précédemment, comme la pâte à papier, l'artisanat et les composites biodégradables. Le chiffre d'affaires annuel de la SNCPA est de 30 Millions d'Euros. Actuellement, dans les régions Alfatières marocaines, quelques 41.521 foyers d'éleveurs vivent plus ou moins directement des produits de l'Alfa, et environ 5000 en Tunisie. [36][37]

II.8 Conclusion

L'utilisation de fibre végétales dans le domaine de géotechnique est expansé et prendre un champ très large d'application en particulier dans les pays développés compte tenu des caractéristique physiques et mécaniques ainsi que grâce à la disponibilité dans la nature et ses propriétés renouvelables.

Ces propriétés sont gouvernées par la composition chimique et structural et dépendent du type de la fibre et des conditions de croissance, la cellulose c'est le composant principal de toutes les fibres végétales vari d'une fibre à une autre.

Les fibres naturelles sont facilement influencées par l'environnement, à haute teneur en humidité, dans notre pays, nous constatons le manque et l'utilisation limité de la fibre dans le domaine géotechnique malgré sa disponibilité et sa diversité, il existe plusieurs types de fibre y compris palmier d'attier et l'Alfa celui qui doit profiter de cette matériaux locaux d'une valeur et d'augmenter et valoriser le niveau d'utilisation.

III.1 Introduction

D'une manière générale dans ce chapitre nous exposons les différentes méthodes d'élaboration des échantillons qui ont fait l'objet de nos expérimentations nous avons aussi exposées, le traitement chimique de fibre d'Alfa et une présentation de site.

III.2 Localisation De Site D'Ouled Farés a Chélif

La plaine de moyen Chélif se situe au centre de bassin du Chélif a 200km a l'ouest d'Algie et 35km à vol d'oiseau de la méditerranée. Elle est limitée au nord par la monte l'Ouarsenis et à l'ouest par le seul de Boukadir.

Alors que les sols au périmètre de moyen Chélif sont des sols cauliviale, les sols hydro-morphes se trouvent pour la plupart dans la vallée de Merdja et l'oued Fodda [43]

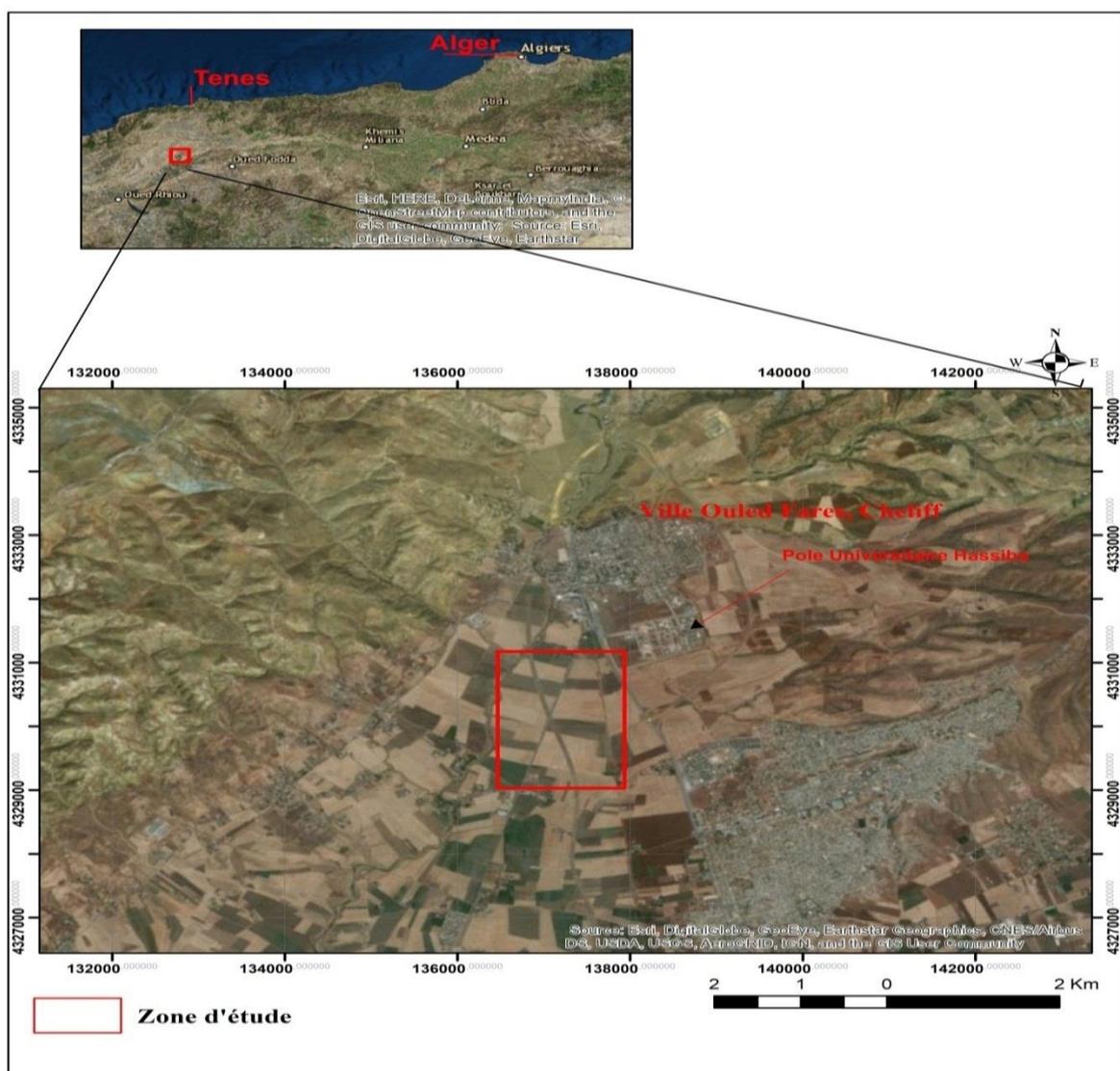


Figure III.1 : Localisation de la zone d'étude (Google Earth)

III.2.1 Présentation De Moyen De Chélif

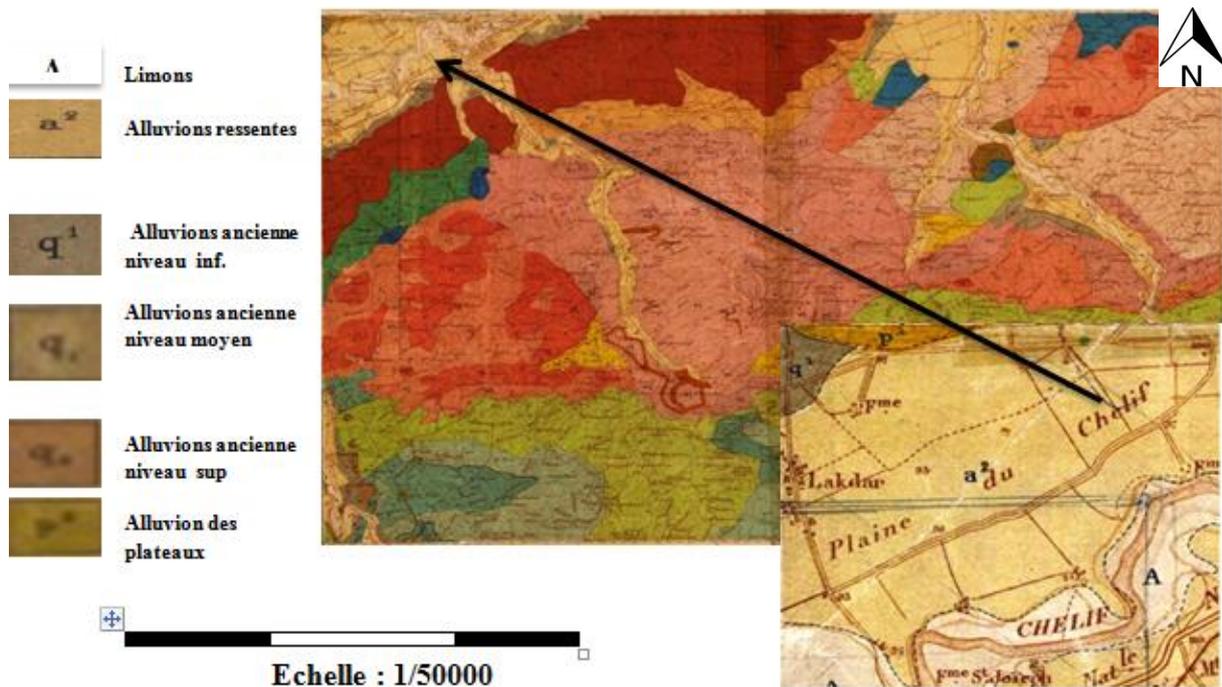


Figure III.2 : présentation de la carte géologique de moyen de Chélif [46]

- L'alluvion récentes : dépôts limoneux de la plaine du Chélif est ces affluents ces dépôts sont bien développés dans les principales vallées. [41]

Le Quaternaire :

- Il est constitué de sable, grès dunaires, limons, éboulis et formations de pentes. [42]



Figure III.3 : localisation de matériau utilisé dans le site (Ouled farés à Chélif)

III.3 les essais physiques

La détermination des paramètres physiques et mécaniques a été effectuée au niveau de laboratoire central de l'habitat et de construction (LNHC) unité d'Oued Samar.

Concernent le guide technique routier (GTR, page 11 ,2000) nous avons fait le classement géotechnique des sols naturels.

Les sols en place sont des matériaux naturels, constitués d'éléments granulaires pouvant se séparer aisément par simple trituration ou éventuellement sous l'action d'un courant d'eau. Ainsi, la détermination de la classe géotechnique du sol en place, s'effectue selon la norme NF P 11-300 à partir d'essais de laboratoire pratiqués sur un prélèvement représentatif de ce dernier effectué sur site dans des conditions adéquates.

III.3.1 Analyse Granulométrique par tamisage (Norme NF P 94-056)

But de l'essai :

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63mm, à l'exclusion des fillers.

Principe de l'essai :

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant une série des tamis, emboîtées les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieure des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne de tamis.

Mode opératoire :

- On Commence par dresser la colonne des tamis. Les ouvertures des tamis doivent être croissantes de bas en haut. Les tamis à prendre en compte sont N'oubliez pas le fond
- On Prendre une masse d'échantillon= 500g de sol.
- On Verse le sol sur le tamis supérieur puis ferme la colonne par le couvercle.
- On Place la colonne des tamis sur le vibreur.
- On Procède à l'agitation pendant 5 min.
- On Procède à la pesée cumulée des refus de en commençant par le tamis supérieur.

Résultat de l'essai :

La masse de l'échantillon est $M = 500 \text{ g}$ Le résultat de l'analyse granulométrique est représenté sur (le tableau 1 annexe 1).



Figure III.4 : Appareillage d'essai granulométrique (tamiseuse et balance)

III.3.2 Analyse Granulométrique par sédimentométrie (Norme NF P 94-057)

L'analyse granulométrique par sédimentométrie permet de déterminer la distribution en poids des particules fines (de diamètres inférieurs à 80μ) d'un sol en fonction de leurs dimensions

L'analyse par sédimentométrie complet l'analyse par tamisage

La séparation par décantation consiste à déterminer les diamètres équivalents des particules sphériques en fonction de leur vitesse de chute dans un environnement visqueux afin d'obtenir le tracé d'une courbe granulométrique pour des particules inférieure à 0.08mm

Mode opératoire

- Prendre deux éprouvettes à essais de 1 litre de contenance.
- Prendre 60 cm³ de dé flocculant et ajouter 440 cm³ d'eau distillée pour obtenir une solution 500 cm³
- On Divise la solution obtenue (500cm³) entre les deux éprouvettes à raison de 250 cm³ chacune
- On Prendre l'une des deux éprouvettes et la compléter avec de l'eau distillée jusqu'à 1 litre. Cette éprouvette sera appelée dorénavant l'éprouvette B (l'autre éprouvette sera dite l'éprouvette A).
- On Prendre 25 grammes de sol.
- On Verse ces 25 grammes de sol dans le récipient de l'agitateur mécanique et verser dessus une certaine quantité de la solution de l'éprouvette A.
- Ont Procédé à l'agitation mécanique pendant environ 3 min.

- On Verse la suspension dans l'éprouvette A (veillez à bien rincer le récipient et les ailettes de l'agitateur pour ne pas perdre le matériau).
 - Ont Complété l'éprouvette A avec de l'eau distillée jusqu'à 1 litre.
 - Ont Procédé à une homogénéisation de la suspension à l'aide de l'agitateur manuel.
 - Introduire le densimètre dans la suspension et procéder aux lectures (On les appellera Rt).
- Les temps de lecture sont: 30'' ; 1 min ; 2 min ; 5 min ; 10 min ; 30 min ; 60 min. 18. A la fin des lectures, le densimètre est retiré de l'éprouvette A et introduit dans l'éprouvette B. Procéder à la lecture de la densité de la solution de l'éprouvette B (On l'appellera RB).
- On Retire le densimètre, le nettoyer et le ranger définitivement.
 - A l'aide du thermomètre, procédé à la lecture de la température de la solution de l'éprouvette B.



Figure III.5 : L'appareillage d'essai sédimentométrie (éprouvette cylindrique de 2 litres et agitateur)

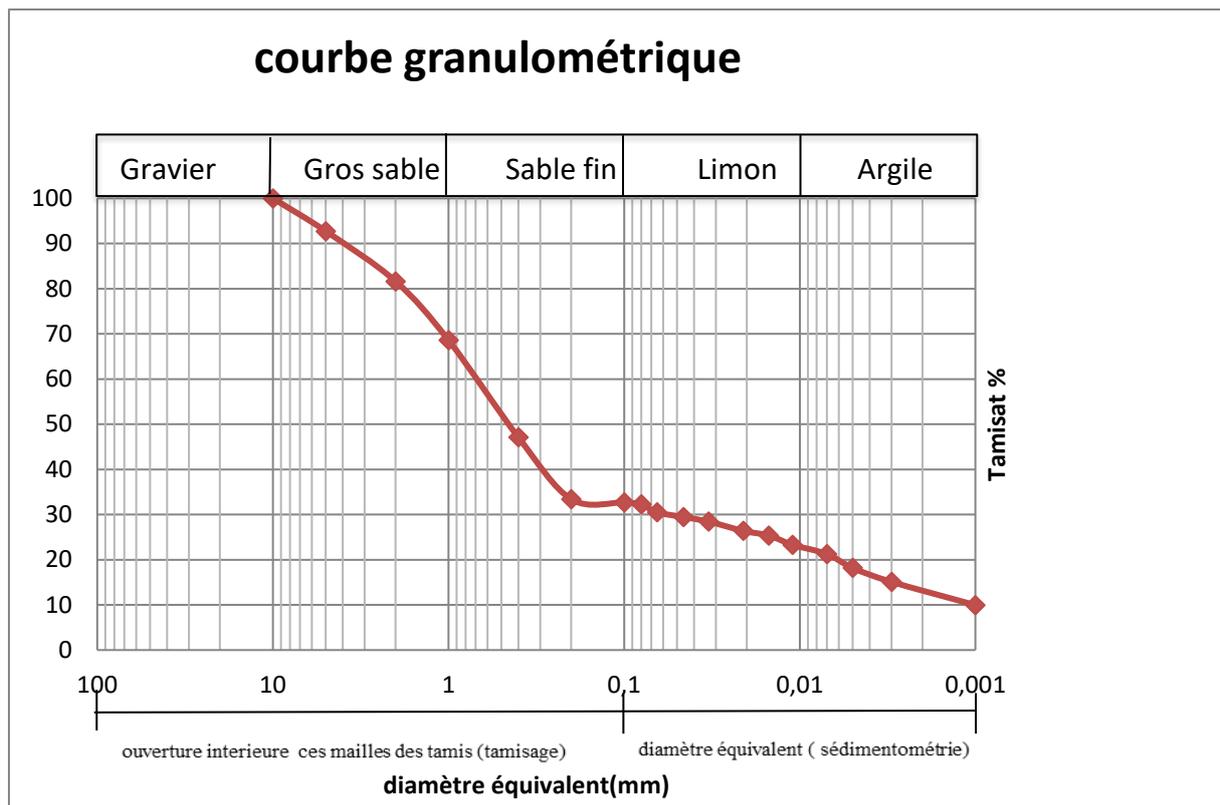


Figure III.6: représente la courbe granulométrie

Interprétation

d'après les résultats présentes dans le (**tableau 1 annexe 1**) nous remarquons que le passant de tamisât en (%) de 80 μ m inférieur à 50 % (le pourcentage en fines de sol) et le passant de tamisât à 2 mm supérieur à 70% donc il y a un sol pulvérulent tendance sableuse.

-Le tamisât à 0,08 millimètre: Pourcentage en fines du sol

On a 32,28 % < 50 % donc sol grenu

-Le tamisât à 2 millimètres :

On 81,63 % > 70% : sol tendance sableuse

A partir de la de courbe granulométrique (**figure III. 6**) il s'agit d'un Sable grossier Argileux selon la classification (GTR) alors nous peuvent conclure qu'il y a une absence ou presque de fines Argileuses de couleur jaune.

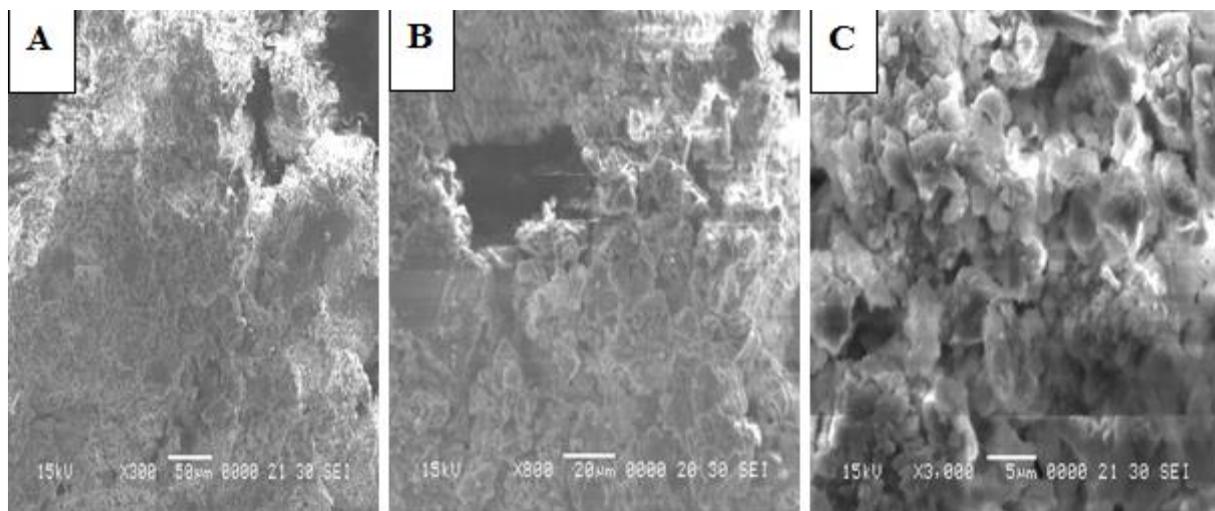
III. 3. 3 Principe du MEB

Le microscope électronique à balayage permet d'obtenir des images de la surface de la Plupart des matériaux solides, à des échelles allant de celle de la loupe (x10) à celle du Microscope électronique en transmission (500.000 ou plus). Ces images frappent en premier Par le rendu très parlant du relief et la grande profondeur de champ. La particularité du MEB est d'avoir un système de pompage différentiel qui sépare la chambre de la colonne; ainsi la colonne est soumise à vide élevé (10-5torr)*, alors que dans la Chambre règne une pression de quelques Torr (0,1-20 torr). La pression dans le MEB Est contrôlée par un flux de gaz au niveau des différents diaphragmes du système (Donald, 2000 ; Electro-Scan Corporation (notice), 1999 cité par Maison 2010).

Ce gaz est en général inerte, mais on peut introduire un gaz réactif dans la chambre du MEB. En fait, le choix du gaz est limité par ses propriétés, telles que la toxicité, l'inflammabilité et la réactivité chimique avec les composés de la chambre (Electro-Scan Corporation (notice) 1999). Dans le cadre des travaux présentés ici, le gaz utilisé est la vapeur d'eau qui a, à la fois, le rôle de gaz d'ionisation pour la formation de l'image, et de fluide d'hydratation de l'échantillon: 1 Torr = 1,3332.102Pa.

Interprétation

La figure (III.7-A) montre que l'échantillon d'une structure de sable des grains grossier et la figure (III.7-B et C) montre que la structure elle est compacte « Agglomération des Argiles fines, Ce résultat est confirmé par les images MEB (figure III.7).



Grain de sable

feuillet

feuillet fin

Figure III.7 : Micrographie MEB du sol à différents grossissement.

III.3.4 Valeur au Bleu d'un Sol (VBS) Norme NF P 94-068

L'essai au bleu de méthylène a pour but de révéler la présence de fines de nature argileuse et d'en déterminer la concentration. On appelle « valeur de bleu VBS d'un sol, la quantité en Gramme de bleu de méthylène adsorbé par 100g de sol (5mm).

Cette méthode consiste à contrôler l'adsorption du bleu de méthylène injecté dans un bain aqueux contenant la prise d'essai, en observant le comportement d'une goutte de suspension déposée sur une feuille de papier filtre. La tache formée se compose d'un dépôt central du matériau, coloré d'un bleu soutenu, entouré d'une zone humide incolore. L'excès de bleu de méthylène se traduit par la formation d'une auréole bleu clair persistante autour du dépôt central.

Mode opératoire

-On Prendre 60 grammes de sol sec passé au tamis 5mm.

-On Mettre la prise d'essai à tremper dans un bécher avec 500 ml d'eau

- A l'aide de l'agitateur (700 ou 600 tr/min), disperse la suspension pendant 5 min.
- A l'aide du dispositif de dosage, introduire 5 cm³ de bleu et agiter (400 tr/min) pendant 1 min.
- Le test de la tâche : A l'aide d'une baguette, déposer une goutte de la suspension sur le papier filtre.
- Test négatif : On dira que le test de la tâche est négatif si la tache déposée sur le papier filtre est sans auréole. Dans ce cas, ajouter 5 cm³ de bleu, laisse agiter pendant 1 minute et refaire l'essai de la tâche (C'est l'opération 5 qui est répétée). Cette opération sera répétée autant de fois qu'il sera nécessaire (Tant que le test de la tache restera négatif).

Définition du test à la tâche :

Après chaque injection de bleu ce test consiste à prélever, à l'aide de la baguette de verre, une goutte de suspension que l'on dépose sur le papier filtre. La tache ainsi formée se compose d'un dépôt central de matériau, coloré d'un bleu généralement soutenu, entouré d'une zone humide incolore. La valeur de bleu d'un sol (VBS) est déterminée par l'essai au bleu de méthylène «à la tâche».



Figure III.8: Ensembles du matériel d'essai (Agitateur et papier filtre)

Interprétation

D'après l'essai (VBS) on a les relations suivant :

$$\text{VBS} = \frac{\text{poids de bleu de méthylène}}{\text{poids d'échantillon}} = 0.75$$

Pb : poids de bleu de méthylène

Pe : poids d'échantillon

P% : le passant de tamisât

P%(0/5mm) = 92.73%

$$\text{VBS} = 0.75 \times \frac{92.73}{100} = 0.69 \text{g dans } 100\text{g (de sol)}$$

La valeur de bleu de sol est le paramètre qui représente la quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur les surfaces externes et internes des particules de sol.

A partir de résultats d'essai de valeur de bleu de méthylène VBS on a trouvé des sols sablo-limoneux parce que la valeur VBS entre 0.2 et 2.5.

III.3.5 Limite d'Atterberg (Norme NF P 94-051)

On détermine par cet essai les limites de liquidité et de plasticité d'un sol. Cet essai est réalisé sur la partie de sol passant au tamis de 400 μm .

Les limites d'Atterberg sont des paramètres géotechniques destinés à identifier un sol et à caractériser son état.

Pour plus de détails, se reporter au cours.

- Limite de liquidité w_l : Teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états liquide et plastique.
- Limite de plasticité w_p : Teneur en eau d'un sol remanié au point de transition entre les états plastique et solide.
- Indice de plasticité Différence entre les limites de liquidité et de plasticité. Cet indice définit l'étendue du domaine plastique

Mode opératoire :



Figure III.9: Appareil de Casagrande avec la préparation de l'échantillon

-On Prendre environ 500 grammes de sol préalablement tamisé au tamis 0,4 mm par voie humide et séché et Malaxé la totalité de la prise de telle sorte à obtenir une pâte homogène et presque fluide après Prendre une partie de la pâte et l'étaler dans la coupelle de l'appareil de Casagrande à l'aide de la spatule et Pratiqués une rainure dans cette pâte de telle sorte à la divise en deux, L'outil à rainurer devra être tenu perpendiculairement à la coupelle en présentant sa partie biseauté face à la direction du mouvement, on Soumettre la coupelle et le matériau qu'elle contient à des chocs répétés avec une cadence de 2coups par seconde.et enfin ont Arrête les chocs quand

les deux lèvres se rejoignent sur environ 1 cm, et note le nombre de coups N correspondant, on Prélevé des deux côtés des lèvres à l'endroit où elles se sont refermées environ 5 grammes de sol afin d'en déterminer la teneur en eau, Homogénéisé le sol et le séché un peu puis reprendre les opérations de 4 fois .

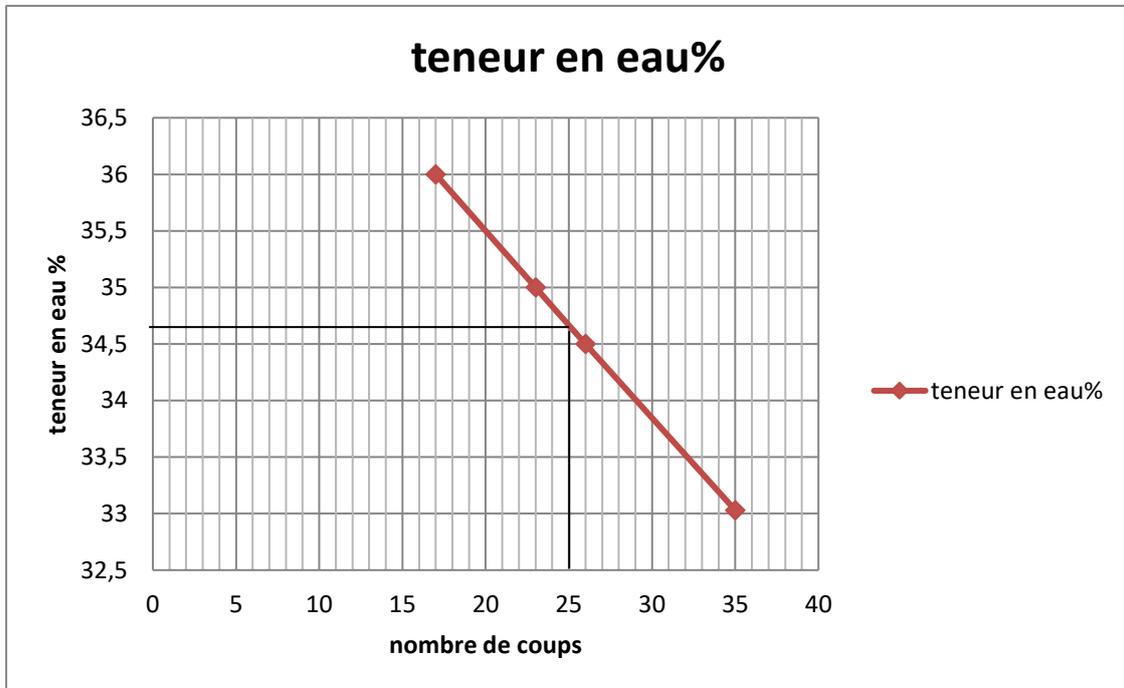


Figure III.10: la courbe de limite de liquidité

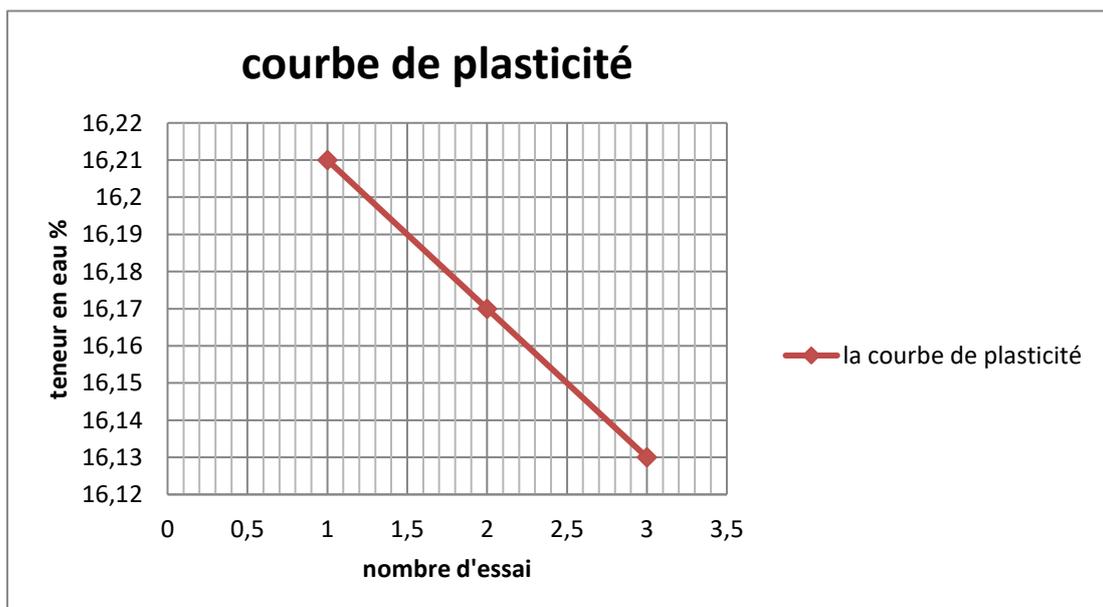


Figure III.11 : la courbe de limite de plasticité

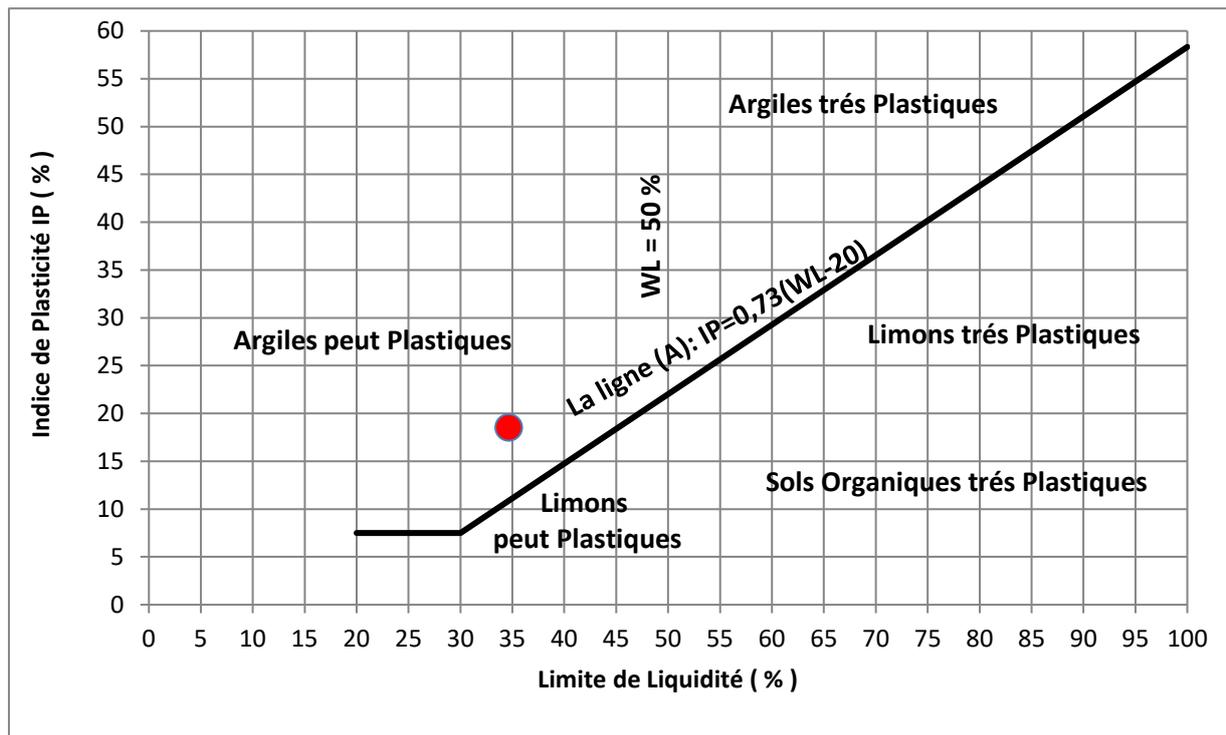


Figure III.12: l'abaque de casa grande

Interprétation

WP=16,17% **WL =34 ,67%**

IP = WL – WP
IP =34, 67-16, 17
IP = 18.50%

IC = $\frac{WL - Wn}{IP}$
IC = 1.44%

- Limite de liquidité : WL (frontière entre état plastique et liquide)
- Limite de plasticité : WP (frontière entre état solide et plastique)
- Indice de plasticité : IP (la différence entre limite de liquidité et limite de plasticité)
- Indice de consistance : IC (le rapport entre limite de liquidité moins la teneur en eau naturelle et l'indice de plasticité)

L'indice de plasticité caractérise l'étendue du domaine de teneur en eau dans lequel le sol à un comportement plastique il est très fortement lié à la quantité et à la nature des minéraux argileux présents dans le sol et à la surface spécifique des sols.

Selon sa teneur en eau un sol à l'eau peut présenter sous trois états (États solide – état plastique – état liquide).

À partir des limites d'Atterberg on peut calculer les indices suivants qui expriment la sensibilité à l'eau de sol (I_p) et sa consistance (I_c) par rapport à sa teneur en eau (W_n)

D'après les résultats d'essai il s'agit d'un sol moyennement plastique entre 10%-20% (selon Burmister), d'autre part le sol d'un état pâteux parce que l'indice de consistance est égale 0.0076% et supérieur à 0.00%.(selon Atterberg).

Afin de calculer les différents indices d'essai de limite d'Atterberg et à partir d'abaque de Casagrande ont trouvé un sol argileux peut plastique.

Activité des argiles :

Skempton a défini l'activité des sols Argileux comme le rapport suivant

$$A = \frac{IP}{\text{tamisat à } 2\mu\text{m}}$$

$$\frac{18.50}{12} = 1.54$$

D'après le tableau de Bame $A = 1.54$ groupe qualificatif actif entre 1.25 et 2 sol organique cette classification est basée sur la classification (GTR).

Groupes		Valeurs typiques	
Qualificatif	Activité	Sol/minéral	Activité
inactif	inférieure à 0,75	kaolinite	0,4
		argile du lias	0,4- 0,6
		argiles glaciaires	0,5 - 0,7
normal	0,75 - 1,25	illite	0,9
		argile de Weald	0,6 - 0,8
		argile de Londres	0,8 - 1
		argile du Gault	0,8 - 1,25
actif	1,25 - 2	montmorillonite Ca	1 - 5
		sols organiques	1,2 - 1,7
traitement actif	supérieur à 2	montmorillonite Ca	7

Figure III.13 : Tableau d'Activités des Argiles et des sols Argileux d'après (Bame-1995)

III.4 caractérisation chimique du sol

III.4.1 Le principe d'Analyse Raman

La spectroscopie Raman est une technique d'analyse non destructive, basée sur la détection des photons diffusés inélastiquement suite à l'interaction de l'échantillon avec un faisceau de lumière monochromatique. La différence de fréquence entre photon exciteur et photon diffusé renseigne sur la nature chimique de la molécule à l'origine de la diffusion. Dans cette technique on procède à focaliser (avec une lentille) un faisceau de lumière monochromatique sur l'échantillon à étudier et à analyser la lumière diffusée. [44]

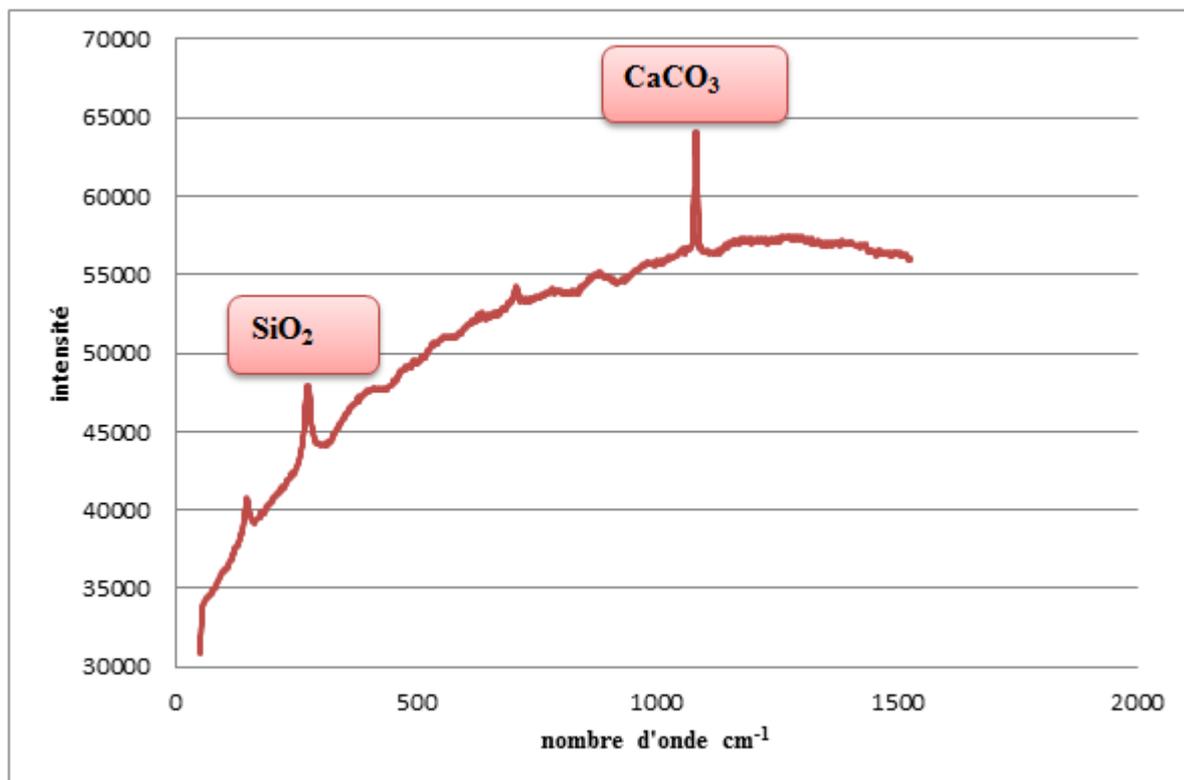


Figure III.14 : Spectre Raman du sol

Interprétation

Le spectre Raman de l'analyse de sol montre la présence de calcites et de quartz.

III.4.2 Le principe d'Analyse DRX

Les rayons X sont des ondes électromagnétiques qui interagissent avec le nuage électronique des atomes. Parmi les interactions possibles, il y a la « diffusion élastique », ou « diffusion Rayleigh ». Dans la diffusion élastique, les rayons X rebondissent simplement sur le nuage électronique, ils sont diffusés dans toutes les directions de l'espace, en gardant la même énergie et la même longueur d'onde. Lorsque les rayons X arrivent sur un échantillon, ils sont diffusés par tous les atomes de la cible. En un point de l'espace, il faut sommer les contributions des ondes diffusées par tous les atomes en tenant compte de la différence de phase qui découle du fait que les ondes ont suivi des chemins optiques différents.[45]

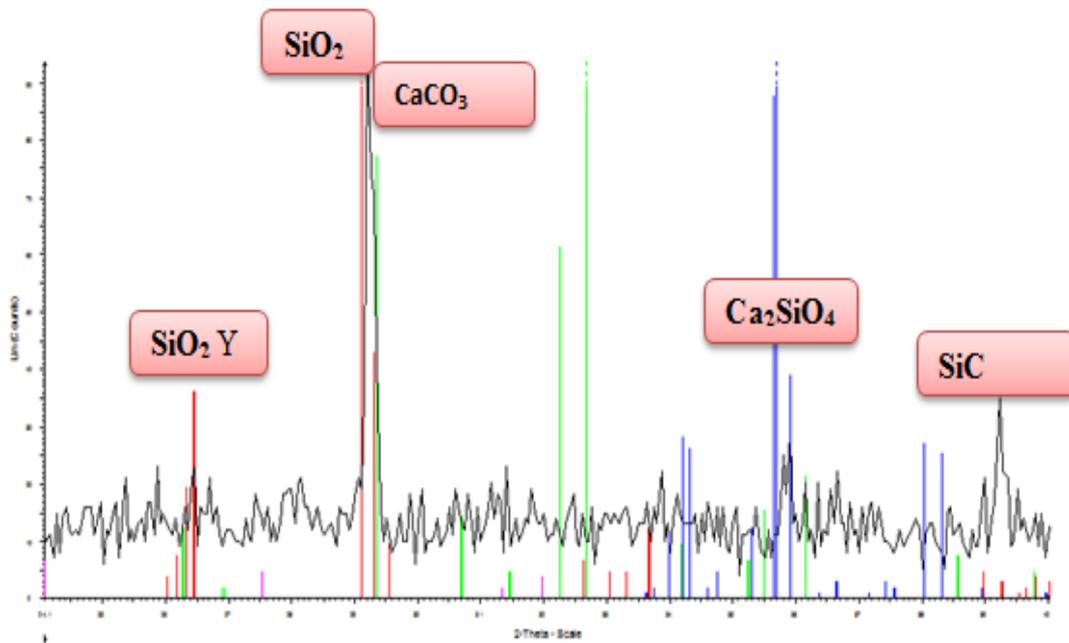


Figure III.15 : Spectre DRX du sol

Interprétation

En plus de la calcite et du quartz identifié par spectroscopie Raman, le spectre DRX met en évidence la présence des phases de carbide de silicium, de zéolite Y et de calcium de silicates.

Tableau III.1 : représente les minéraux

	Les minéraux %
Analyse Raman	-calcites -quartz
Analyse DRX	-carbide de silicium -zéolite Y -calcium de silicates

III.5 Le traitement chimique de la fibre naturelle Alfa

III.5.1 Traitement et extraction de la fibre D'ALFA

Dans cette étude nous avons opté pour un traitement simple sur la fibre alfa, car un traitement complexe rendra la fibre plus chère et moins compétitive sur le marché. En plus, le but de ce travail est de trouver un matériau écologique avec des bonnes caractéristiques mécaniques cependant l'utilisation des traitements chimiques complexe régénère des déchets toxique difficiles à recycler.

Ainsi le traitement que nous avons choisi pour ces fibres (figure III.16) est alcalin à base de NAOH.

(Élaboration, analyse et modélisation mécanique numérique d'agro-composites à base de fibres Courtes d'alfa) (2014)



Figure III.16: représente la fibre d'ALFA

III.5.2 Protocole Chimique D'Alfa

1. Couper les fibres d'alfa petit morceau (0.5 à 1m) et bien broyer
2. Lavage par l'eau permet d'éliminer les poussières et une partie de la cire
3. On a préparé la solution de **NAOH** 50g /l
4. mettre une masse de fibre d'**ALFA** dans un bicher de 1litre et ajouté la solution de **NAOH** qui ont à préparer avant et laissé reposer pendant 24heure
5. Laver la fibre d'**ALFA** après 24heure de **NAOH**
6. préparé une solution de l'acide acétique H_2SO_4 (10g de H_2SO_4 /500g de l'eau distillé)
7. Mettre alfa dans un bicher et ajouter l'acide acétique. Laisser
8. reposer pendant 2min et laver la fibre par l'eau et mettre dans l'étuve à **105c°** pendant **6heure**



Figure III.17: représente le protocole chimique complet

Tableau III.2 : représente les paramètres physiques

Essai	Paramètre	Unité	Valeur
Granulométrie par (tamisage et sédimentométrie)	-passant 0.08 mm	%	32.28
	-passant 0.02 mm		81.63
Valeur de bleu de méthylène de 100g de sol	VBS	—	0.69
Limite d'atterberg	WL	%	34.47
	WP		16.17
	IP		18.50
	IC		1.44

III.6 Classifications du sol :

La classification des sols ont pour l'objet d'identifié et de comparé le sol entre eux, Notre sol et dans la classe B6 : Sable grossier argileux d'états peu plastique moyennement humide.

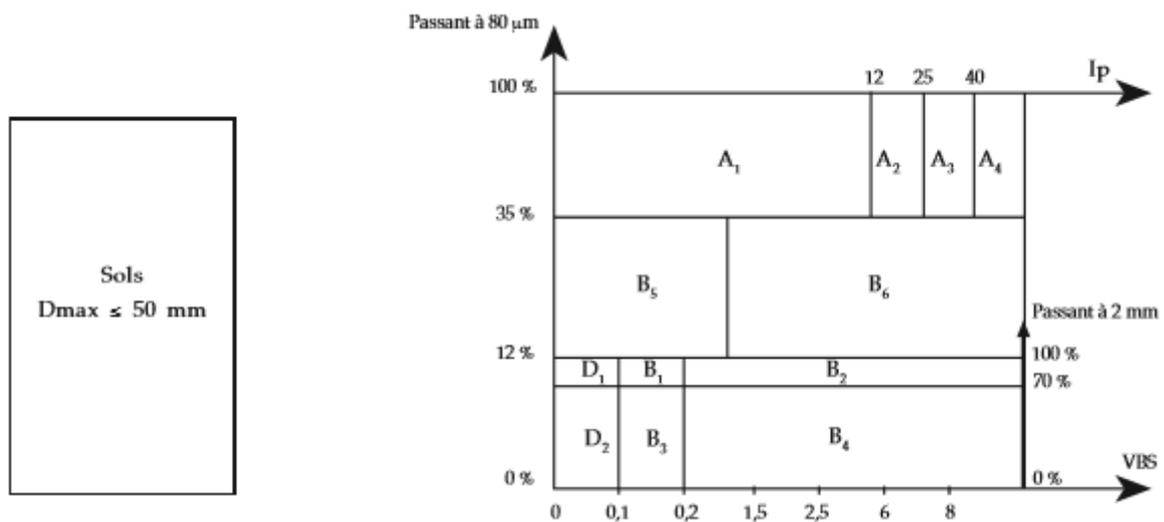


Figure III.18 : représente tableau synoptique de classification des matériaux selon la nature

Figure III.19 : tableau représente la classification des sols sableux et graveleux avec des fines

← CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES REMBLAIS →									
← CLASSIFICATION A UTILISER POUR LES COUCHES DE FORME →									
Classement selon la nature				Classement selon l'état hydrique		Classement selon le comportement			
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature	Paramètres d'état	Sous classe fonction de l'état	Paramètres de comportement	sous classe fonction du comportement		
D _{max} ≤ 50 mm et Tamisat à 80 μm ≤ 35%	B	tamisat à 80 μm ≤ 12% tamisat à 2 mm ≤ 70% VBS > 0,2	B₄ Graves argileuses (peu argileuses)...	$IPI^{(1)} \leq 7$ ou $w_n \geq 1,25 w_{OPN}$	B ₄ th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₄₁ th		
						LA > 45 et MDE > 45	B ₄₂ th		
				$7 < IPI^{(1)} \leq 15$ ou $1,10 w_{OPN} \leq w_n < 1,25 w_{OPN}$	B ₄ h	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₄₁ h		
						LA > 45 et MDE > 45	B ₄₂ h		
				$0,9 w_{OPN} \leq w_n < 1,10 w_{OPN}$	B ₄ m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₄₁ m		
						LA > 45 et MDE > 45	B ₄₂ m		
				$0,6 w_{OPN} \leq w_n < 0,9 w_{OPN}$	B ₄ s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₄₁ s		
						LA > 45 et MDE > 45	B ₄₂ s		
				$w_n < 0,6 w_{OPN}$	B ₄ ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₄₁ ts		
						LA > 45 et MDE > 45	B ₄₂ ts		
				tamisat à 80 μm compris entre 12 et 35% tamisat à 2 mm ≤ 70% VBS < 1,5 ⁽¹⁾ ou I _p ≤ 12	B₅ Sables et graves très siliceux...	$IPI^{(1)} \leq 5$ ou $w_n \geq 1,25 w_{OPN}$	B ₅ th	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₅₁ th
						LA > 45 et MDE > 45	B ₅₂ th		
	$5 < IPI^{(1)} \leq 12$ ou $1,1 w_{OPN} \leq w_n < 1,25 w_{OPN}$	B ₅ h	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45			B ₅₁ h			
			LA > 45 et MDE > 45			B ₅₂ h			
	$12 < IPI^{(1)} \leq 30$ ou $0,9 w_{OPN} \leq w_n < 1,10 w_{OPN}$	B ₅ m	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45			B ₅₁ m			
			LA > 45 et MDE > 45			B ₅₂ m			
					$0,6 w_{OPN} \leq w_n < 0,9 w_{OPN}$	B ₅ s	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₅₁ s	
							LA > 45 et MDE > 45	B ₅₂ s	
					$w_n < 0,6 w_{OPN}$	B ₅ ts	LA ≤ 45 et MDE ≤ 45	B ₅₁ ts	
							LA > 45 et MDE > 45	B ₅₂ ts	
			tamisat à 80 μm compris entre 12 et 35% VBS > 1,5 ⁽¹⁾ ou I _p > 12	B₆ Sables et graves argileux à très argileux	$IPI^{(1)} \leq 4$ ou $w_n \geq 1,3 w_{OPN}$ ou $I_p \leq 0,8$	B ₆ th			
		$4 < IPI^{(1)} \leq 10$ ou $0,8 < I_p \leq 1$ ou $1,1 w_{OPN} \leq w_n < 1,3 w_{OPN}$			B ₆ h				
		$10 < IPI^{(1)} \leq 25$ ou $1 < I_p \leq 1,2$ ou $0,9 w_{OPN} \leq w_n < 1,1 w_{OPN}$			B ₆ m				
		$0,7 w_{OPN} \leq w_n < 0,9 w_{OPN}$ ou $1,2 < I_p \leq 1,3$			B ₆ s				
				$w_n < 0,7 w_{OPN}$ ou $I_p > 1,3$	B ₆ ts				

III.7 Conclusion

L'étude des caractéristiques des constituants de ce matériau à mortier que l'échantillon dans la classe sable grossier argileux pulvérulent d'état peut plastique, le site étudiés sont composés d'une formation géologique constitué essentiellement des alluvions récentes.

On conclure ces procédés offrent une bonne protection aux fibres d'alfa mais elles augmentent le coût de leur exploitation.

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre il sera procédé à l'étude du comportement mécanique du sol :

- A blanc.
- Renforcé avec la fibre synthétique.
- Renforcé avec la fibre d'alfa traité.

Et pour cela on va passer par un série d'énergétique (aspect mécaniques) (CBR, Proctor)

Après la reconstitution d'un échantillon puits d'essai mécanique afin d'évalué le comportement mécaniques de l'échantillon.

IV.2 Cas 1 : les essais à blanc

IV.2.1 Les essais pré-mécaniques (énergétique)

IV.2.1.1 Essai Proctor Norme (NF P 94-093)

L'essai Proctor Normal est réalisé avec la dame normale (petite dame) et d'échantillon de poids=5kg, quel que soit le moule.

L'essai Proctor Modifié est réalisé avec la dame modifiée (grande dame), quel que soit le moule.

- Il existe une teneur en eau particulière $w_{optimum}$ notée **Wopn** pour l'essai Proctor normal et **Wopm** pour l'essai Proctor modifié pour laquelle le compactage conduit à une **masse volumique sèche ρ_d** (ou un poids volumique) **maximum**.
- La masse volumique maximale correspond donc à un état de compacité maximum et à une capacité de résistance maximum.

L'essai Proctor permet de déterminer ces conditions particulières.

❖ Mode opératoire

-peser **15 kg** de matériau et séparé l'échantillon de trois partie chaque partie elle contient teneur en eau différent à autre exemple (5kg- 10% de l'eau) (5kg-12% de l'eau) (5kg-14% de l'eau).

-préparé le moule Proctor et faire l'essai de première 5kg respectivement donc il y a trois essai de Proctor différent teneur.

-mettez le premier couche et compacté 56 coups et ainsi de suite compléter le 5 kg de matériau préparé (même chose pour les 10 kg qui reste).

-Après compactage de la dernière couche, retirer la rehausse, le matériau doit alors dépasser du moule d'une hauteur d'un centimètre au maximum. Cet excédent est arasé soigneusement au niveau du moule en opérant radialement du centre vers la périphérie du moule.



Figure IV.1: représente l'échantillon dans le moule Proctor.

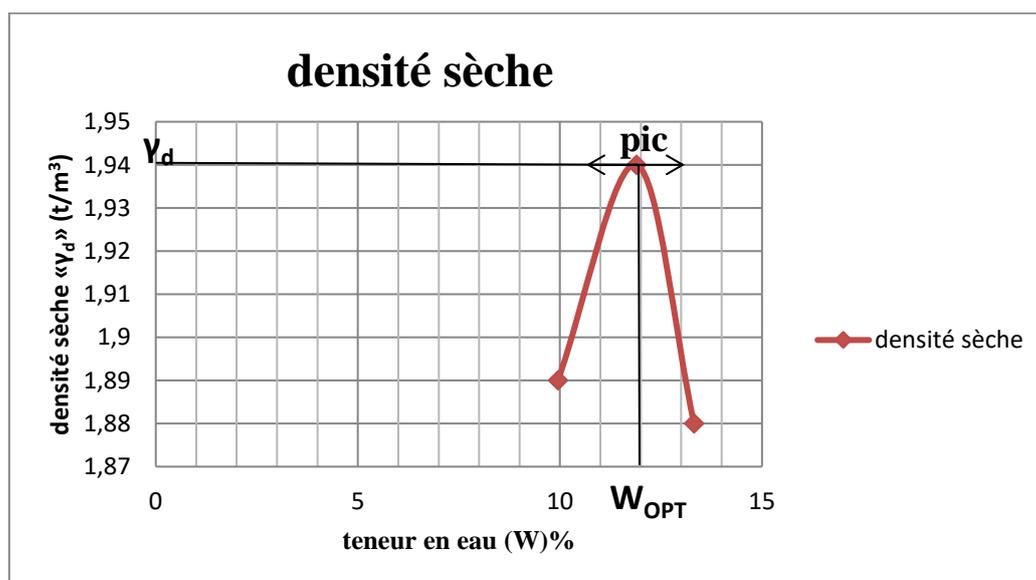


Figure IV.2: la courbe de Proctor

Interprétation

La teneur en eau est le paramètre fondamental pour la compactibilité.

$$W_{opt} = 12\%$$

$$\gamma_d = 1.94 \text{ t/m}^3$$

A partir de la courbe de Proctor nous remarquons que la teneur en eau est faible, l'eau a un rôle lubrifiant non négligeable et la densité sèche augmente avec la teneur en eau.

Les résultats d'essai Proctor ne doivent pas se limiter aux valeurs optimales.

On parlera de côté « sec » pour les teneuses en eau inférieures à l'optimum 1.94 (%) et du côté « Humide » pour celles qui sont supérieures à l'optimum.

L'étude de la courbe montre que l'optimum Proctor se situe dans l'intervalle $W = (11\%, 12\%)$ la valeur a été approximée a $W_{opt} = 11.6\%$ les caractéristiques optimales de compactage Proctor normal valent $W_{opt} = 12\%$ et $\gamma_d = 1.94(t/m^3)$.

IV.2.1.2 L'essai CBR Norme (NF P94-078)

Le principe général de l'essai consiste à mesurer les forces à appliquer sur un poinçon cylindrique pour le faire pénétrer à vitesse constante dans une éprouvette de matériau. Les valeurs particulières des deux forces ayant provoqué deux enfoncements conventionnels sont respectivement rapportées aux valeurs des forces observées un matériau de référence pour les mêmes enfoncements.

L'indice recherché est défini conventionnellement comme étant la plus grande valeur, exprimée en pourcentage, des deux rapports Ainsi calculés.

L'indication de toute valeur d'un indice CBR ou IPI d'un matériau n'a donc de sens que si elle est assortie des caractéristiques d'état du sol prises en considération dans la confection de l'éprouvette c'est-à-dire :

- Sa masse volumique à l'état sec ρ_d exprimée en pourcentage de la valeur de ρ_d Opn ou ρ_d Opm du sol.
- Sa teneur en eau exprimée en pourcentage de la valeur de W_{opn} ou W_{opm} du sol est $W=12\%$ d'échantillon de poids=15kg.
- Son état de saturation défini qualitativement par le fait que l'éprouvette est poinçonné :
 - Soit immédiatement, après confection ; et l'on parle alors d'indice CBR immédiat ou IPI.
 - Soit après avoir été immergée durant quatre jours et l'on parle alors d'indice CBR après immersion.

❖ Mode opératoire

-peser **15** kg de matériau et séparé l'échantillon de trois partie chaque partie elle contient teneur en eau différent à autre exemple (5kg- 10% de l'eau) (5kg-12% de l'eau) (5kg-14% de l'eau).

-préparé le moule Proctor et faire l'essai de première 5kg respectivement donc il y a trois essai de Proctor différent teneur.

-compacté automatique et lissé les trois moules dans un bassin de l'eau pendant 4 jour imbibé



Figure IV.3: le matériel utilisé dans l'essai CBR.

Cas N°1 (56 coups)

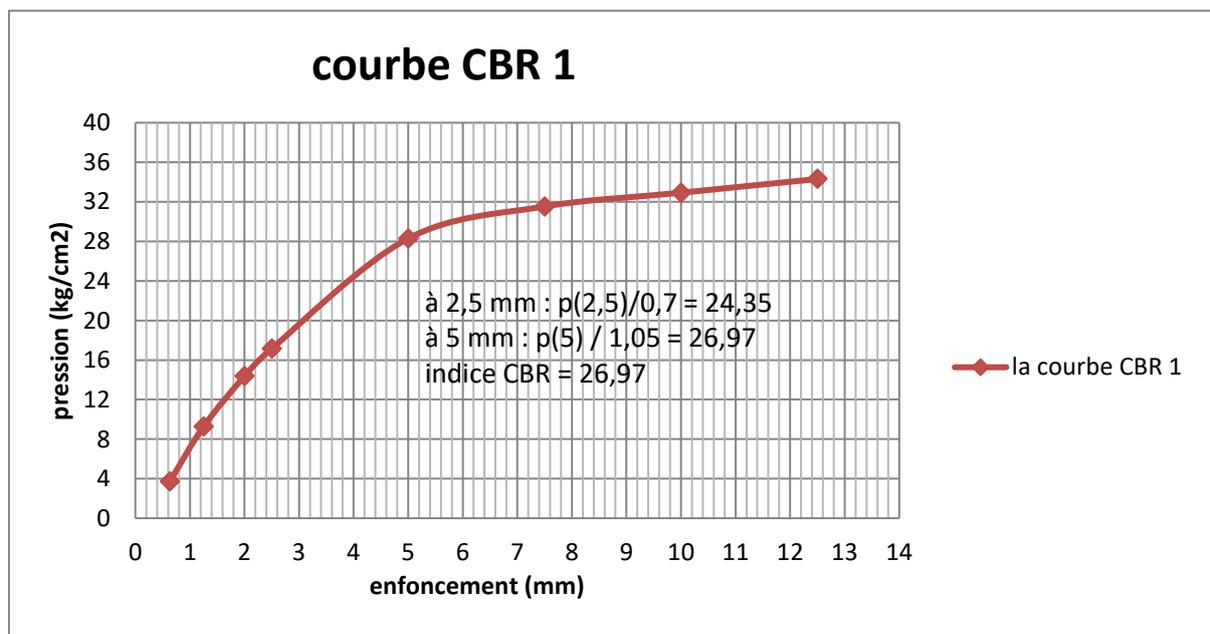


Figure IV.4: la courbe CBR (56 coups) du sol à blanc.

Cas N°1 (25 coups)

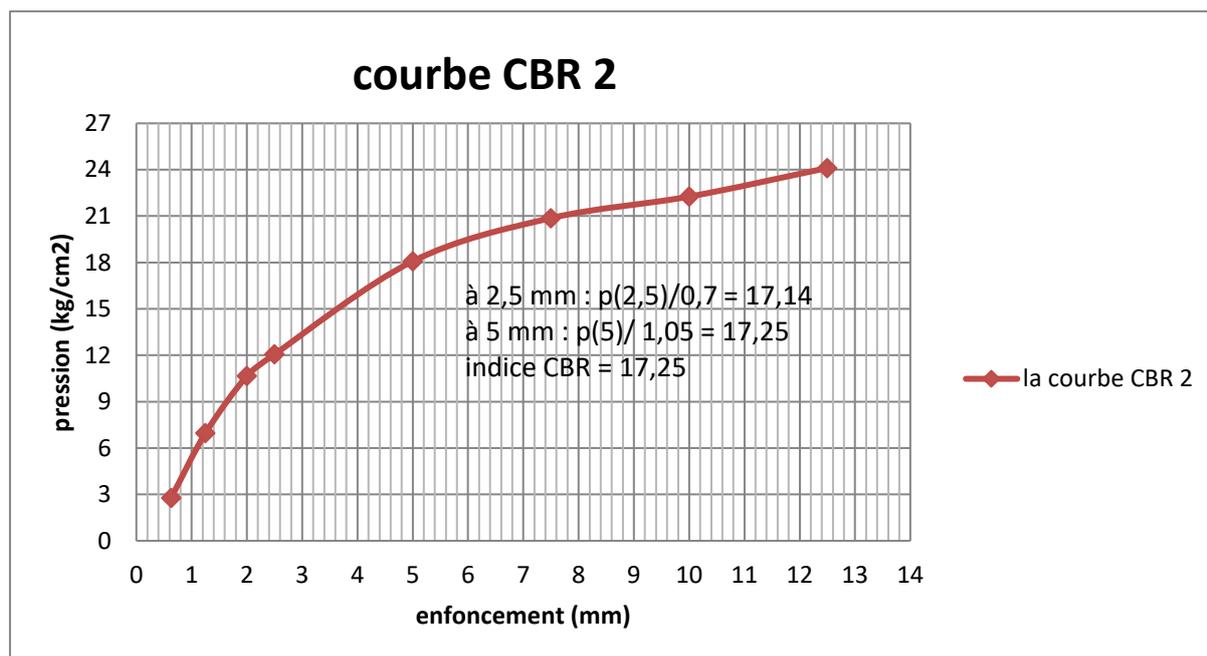


Figure IV.5: la courbe CBR (25 coups) du sol à blanc.

Cas N°1 (10 coups)

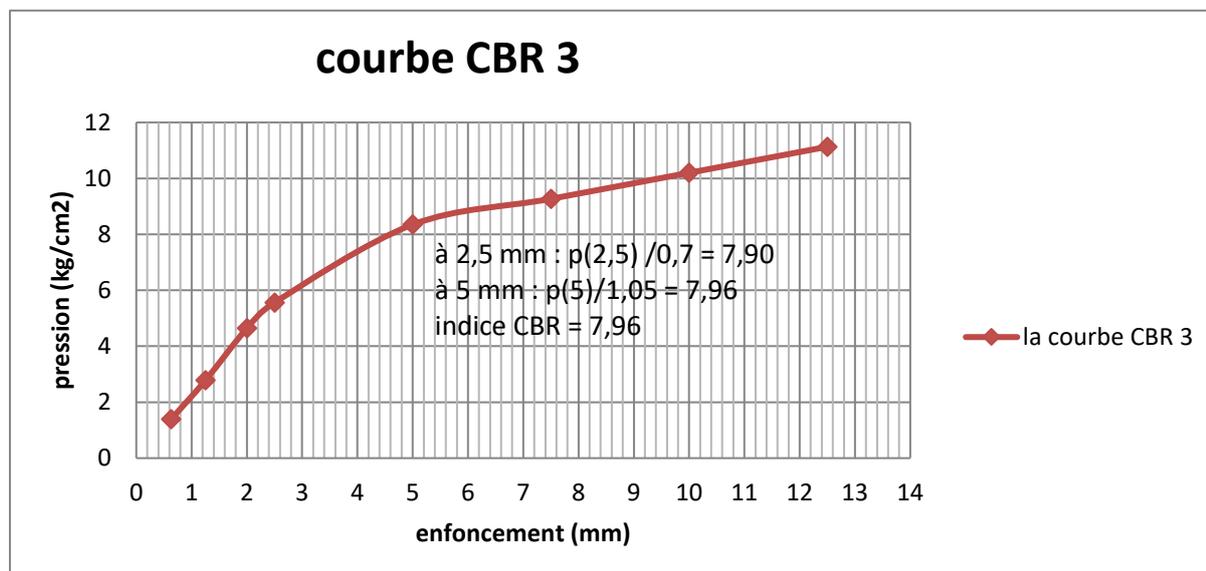


Figure IV.6: la courbe CBR (10 coups) du sol à blanc.

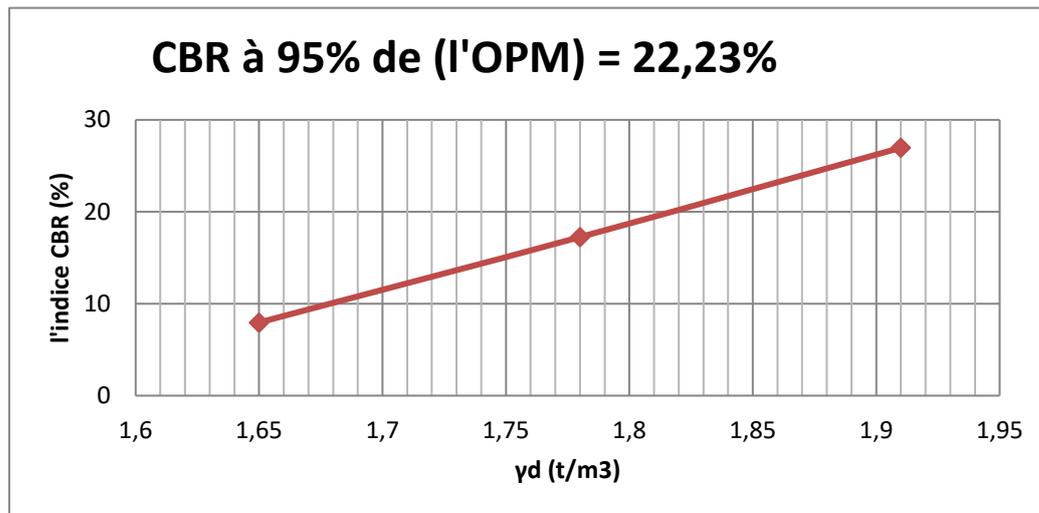


Figure IV.7 : représente la courbe d'indice CBR en fonction de densité sèche du sol à blanc.

Tableau IV.1 : les résultats d'essai CBR du sol non traité

	10 c/c	25 c/c	56 c/c
W (%)	16.2	15.7	14.9
Sr (%)	68.61	81.86	97.00
γ_d (t/m³)	1.65	1.78	1.91
CBR (%)	7.96	17.25	26.97

Interprétation

Les résultats obtenus pour les différentes densités sèches exprimées sous forme de graphique dans la figure(IV.7) pour une variation de la densité sèche entre 1.65 (t/m³) et 1.91 (t/m³) valeur de l'indice CBR varie de 7.96% et 26.97% le point maximum de la courbe obtenue (I_{CBR} = 26.97 %) correspond à une teneur en eau de 14.9% supérieur à l'optimum Proctor.

On remarque la valeur de CBR à 95% de l'Opm trouvé est 22.23% et de densité sèche de 1.91 (t/m³), la classe de portance des sols montre que le sol à blanc appartient à la classe S₄. Suite à sa valeur de CBR acquise suite entre 15% et 30%.

IV.2.2 Les essais mécaniques

IV.2.2.1 L'essai de cisaillement Norme (NF P94-071-1)

Détermination des paramètres de résistance au cisaillement des sols et principalement la cohésion et l'angle de frottement dans le cas d'essai CD (consolidé, drainé)

L'essai s'effectue sur une éprouvette de sol placée dans une boîte de cisaillement constituée de 2 demi-boîtes indépendantes.

Le plan de séparation des 2 demi-boîtes constitue un plan de glissement correspondant au plan de cisaillement de l'éprouvette.

Cet essai consiste à:

- Appliquer sur la face supérieure de l'éprouvette un effort vertical (N) maintenu constant pendant toute la durée de l'essai.
- Produire après consolidation de l'éprouvette sous l'effort N un cisaillement dans l'éprouvette selon le plan de séparation des 2 demi-boites en imposant un déplacement horizontal de ces demi-boites à vitesse constante.
- Mesurer l'effort T de cisaillement correspondant.



Figure IV.8: Matériel utilisé dans consolidation pour l'essai cisaillement type « CD ».

Préparation des échantillons :

Les essais de cisaillement « CD » ont été effectués pour un échantillon de sable grossier dans l'état humide ($w=12\%$) après la reconstitution à partir d'essai Proctor (avec une densité sèche= $1,94 \text{ t/m}^3$ et teneur en eau optimum= 12%), dans la boîte à cisaillement normale, d'un diamètre de 6 mm, Dans cette étude on a réalisé **8** essais avec l'appareil de cisaillement.

Le matériau avec les différents pourcentages des fibres (synthétique et d'Alfa) dans la boîte, on a tassé légèrement le matériau avec les mains pour bien le mettre en place l'essai se fait 4 fois, à chaque fois on change le pourcentage de fibres (0%. 0,045% synthétique. 2,5%d'Alfa, 0,5%d'Alfa). L'essai s'est réalisé avec une machine casagrande sous des contraintes verticale égales à 1bar, 2bars et 3 bars. La vitesse choisie est de 0,002 mm/min, le moule de cisaillement est d'une forme cylindrique.

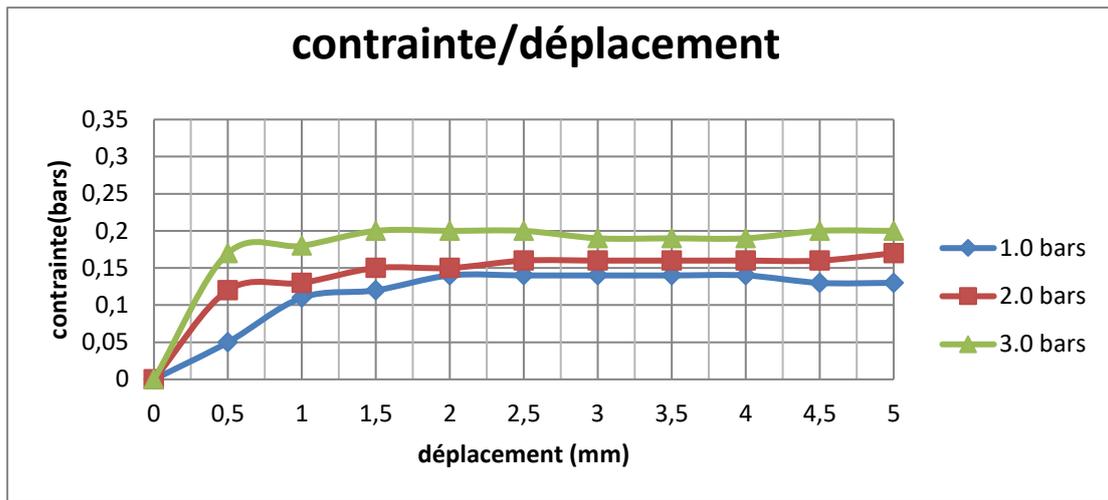


Figure IV.9: représente la résistance au cisaillement (à vitesse constante 0,002 mm/min) du sol à blanc

Tableau IV.2 : les résultats d'essai cisaillement non traité

contrainte normale «σ» (bars)	1	2	3
Contrainte de cisaillement «τ» (bars)	0.14	0.05	0.20

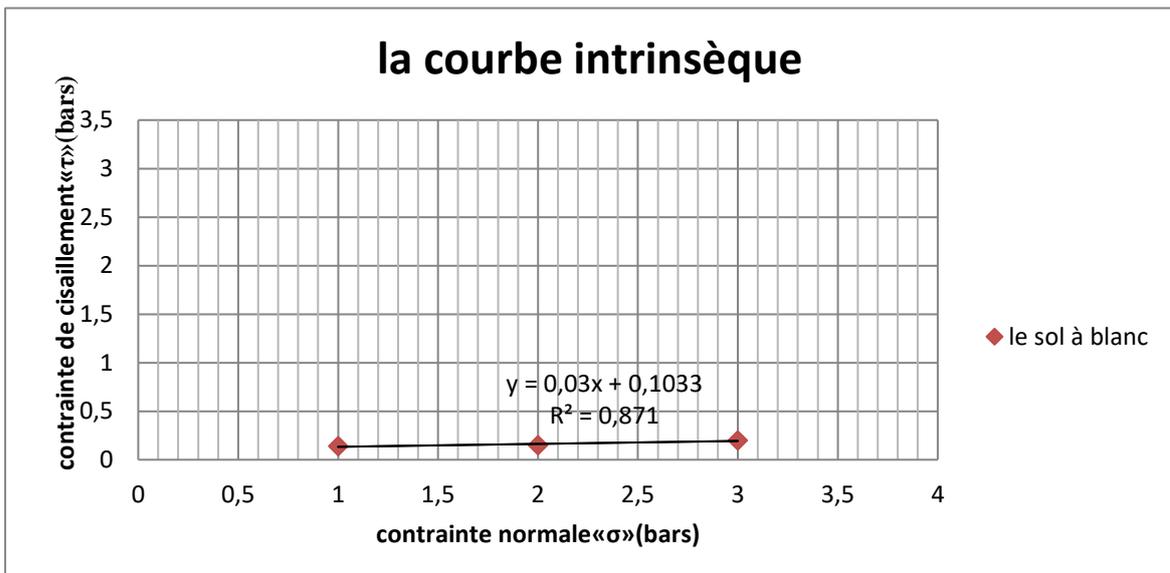


Figure IV.10: représente la courbe intrinsèque du sol à blanc

Interprétation

 $C = 10 \text{ KPa}$ $\phi = 1.69 \text{ degrés}$

Les valeurs de la cohésion et l'angle de frottement interne obtenus à partir d'essai de cisaillement rectiligne de type (consolidé drainé à la boîte de casagrande), la valeur de cohésion 10 kPa est inférieure à 20 kPa et l'angle de frottement interne 1.69% degré est inférieur à 15 degré d'un comportement comme les argiles molle de parce que $C < 20$.

IV.2.2.2 L'essai oedométrie Norme (NF P94-090-1)

Appareil permettant de charge axialement une éprouvette de forme cylindrique placée dans un cylindre rigide (à déformation transversale nulle) et de mesurer sa variation ΔH de hauteur $H=1,885 \text{ cm}$ les faces supérieure et inférieure de l'éprouvette, qui est généralement submergée, sont en contact avec des disques drainants, de section $=38,48\text{cm}^2$.

L'essai s'effectue sur une éprouvette de matériau de sable grossier après une reconstitution de 2 Kg de sol passé dans le tamisât inférieur à 5mm et à partir d'essai Proctor (de densité sèche $=1,94\text{t/m}^3$ et teneur en eau optimum $=12\%$) placée dans une enceinte cylindrique rigide (oedomètre) un dispositif applique sur cette éprouvette un effort axial vertical, l'éprouvette étant drainée en haut et en bas et maintenue saturée pendant l'essai. Le matériau avec les différents pourcentages des fibres (synthétique et d'Alfa) dans l'éprouvette, on a tassé légèrement le matériau avec les mains pour bien le mettre en place l'essai se fait 4 fois, à chaque fois on change le pourcentage de fibres (0%. 0,045% synthétique. 2,5%d'Alfa, 0,5%d'Alfa).

La charge est appliquée par paliers maintenus constants successivement croissants et décroissants suivant un programme défini. Les variations de hauteur de l'éprouvette sont mesurées pendant l'essai en fonction de la durée d'application de la charge.



Figure IV.11: L'Appareil oedométrique

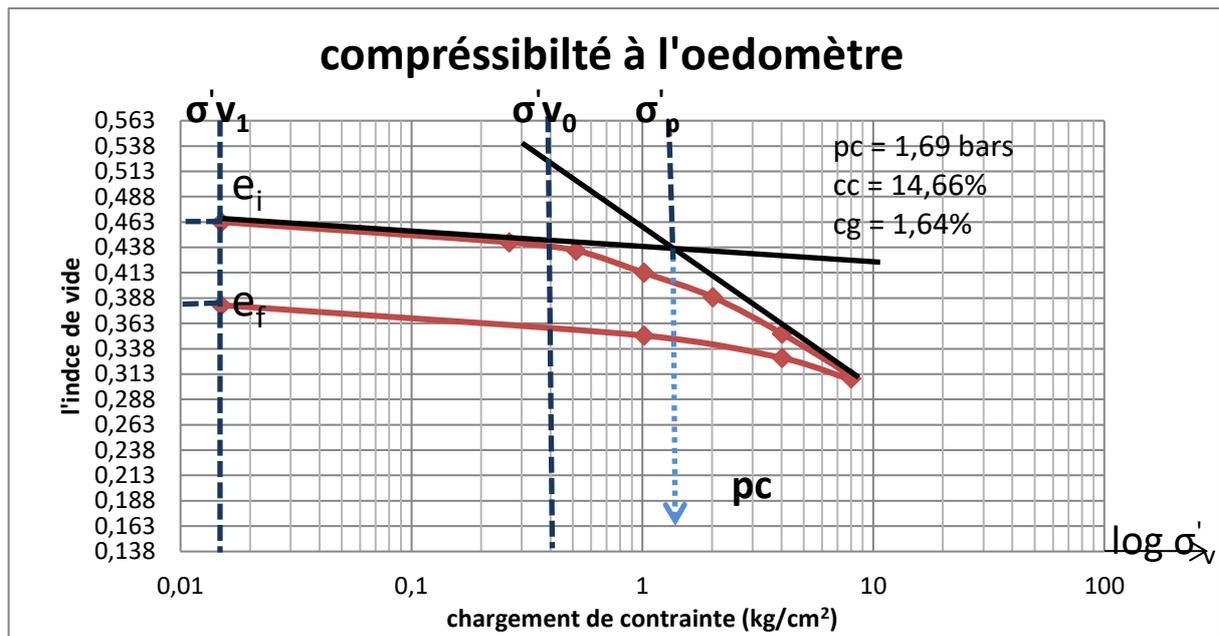


Figure IV.12: représente la compressibilité à l'oedomètre

Tableau IV.3 : les résultats de compressibilité à l'oedomètre

Pression (bars)	Lecture comparateur 1	Tassement moyen (cm)	Indice des vides (e ₀)
0.015	1999	-0.0002	0.463
0.265	2130	0.026	0.443
0.515	2180	0.036	0.435
1.015	2325	0.065	0.413
2.015	2480	0.096	0.389
4.015	2711	0.1422	0.353
8.015	2995	0.199	0.309
4.015	2861	0.1722	0.329
1.015	2720	0.144	0.351
0.015	2530	0.106	0.381

Interprétation

Pc = 1.69 bars Cc = 14.66% Cg = 1.64% H= 1.885cm ΔH=0.106 cm E = 4.46bars

$$\sigma'_{v0} = 0.4 \text{ bars}$$

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{0.106}{1.885} = 0.056 \text{ cm}$$

$$E = \frac{-\Delta\sigma v0}{\Delta H/H} = \frac{(0.515 - 0.265)}{0.056} = 4.46 \text{ bars}$$

A partir de la courbe œdométrique afin d'essai sur le sol à blanc le coefficient de compressibilité C_c entre 10% et 20%, et de caractère moyennement compressible et la valeur de coefficient de gonflement et inférieur à 2%, de l'état non gonflent de cette formation.

La valeur de tassement est 0.106 cm donc un faible tassement dans le sol sur-consolidé, Et à partir de la valeur de module œdométrique 4.46 bars entre 1 bars et 10 bars, on a un sol du comportement comme les Argiles molle.

IV.3 Cas 2 : les essais du sol renforcé

IV.3.1 Les essais pré-mécaniques (énergétique)

IV.3.1.1 L'essai CBR du sol renforcé avec la fibre d'Alfa (2.5%)

Cas N°2 (56 coups)

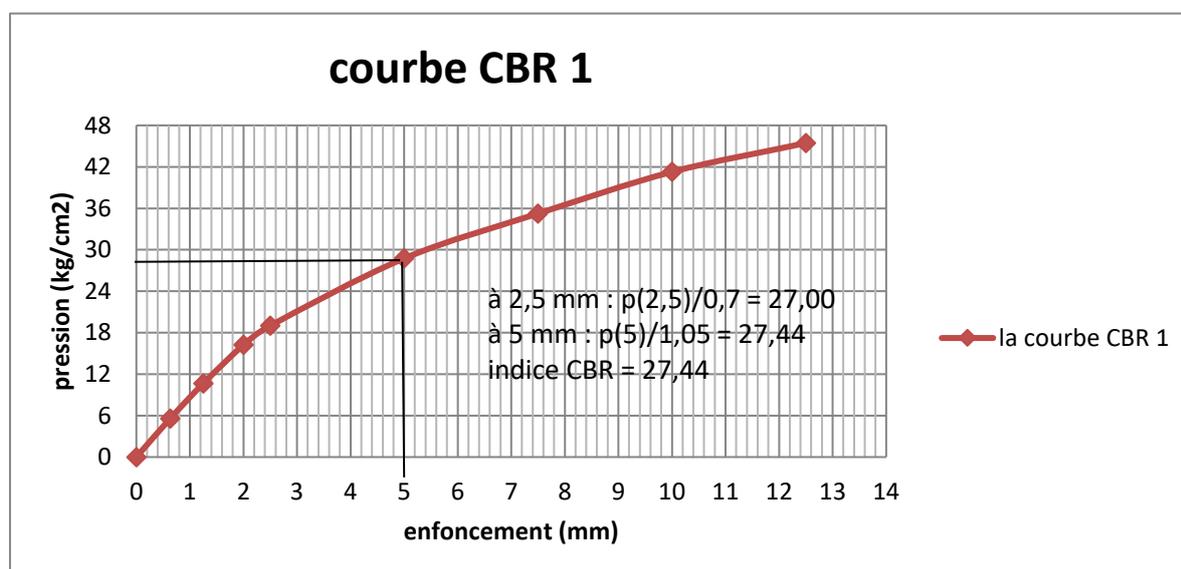


Figure IV.13: la courbe CBR (56 coups) du sol renforcé avec la fibre d'Alfa (2.5%).

Cas N°2(25 coups)

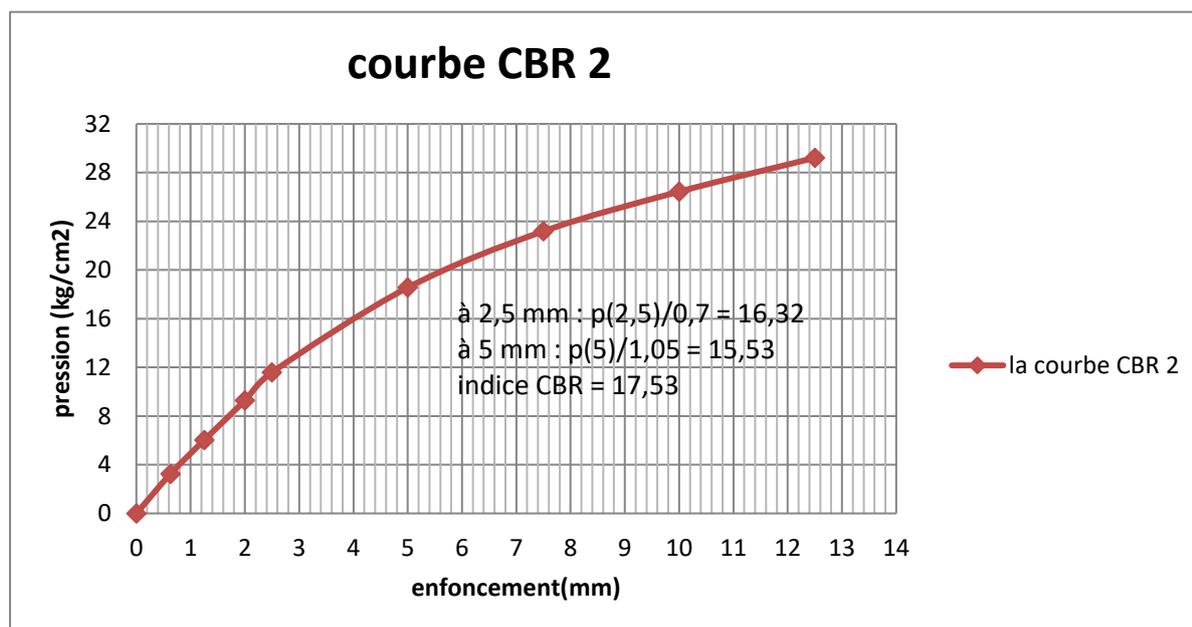


Figure IV.14: la courbe CBR (25 coups) du sol renforcé avec la fibre d'Alfa (2.5%).

Cas N°2 10 coups

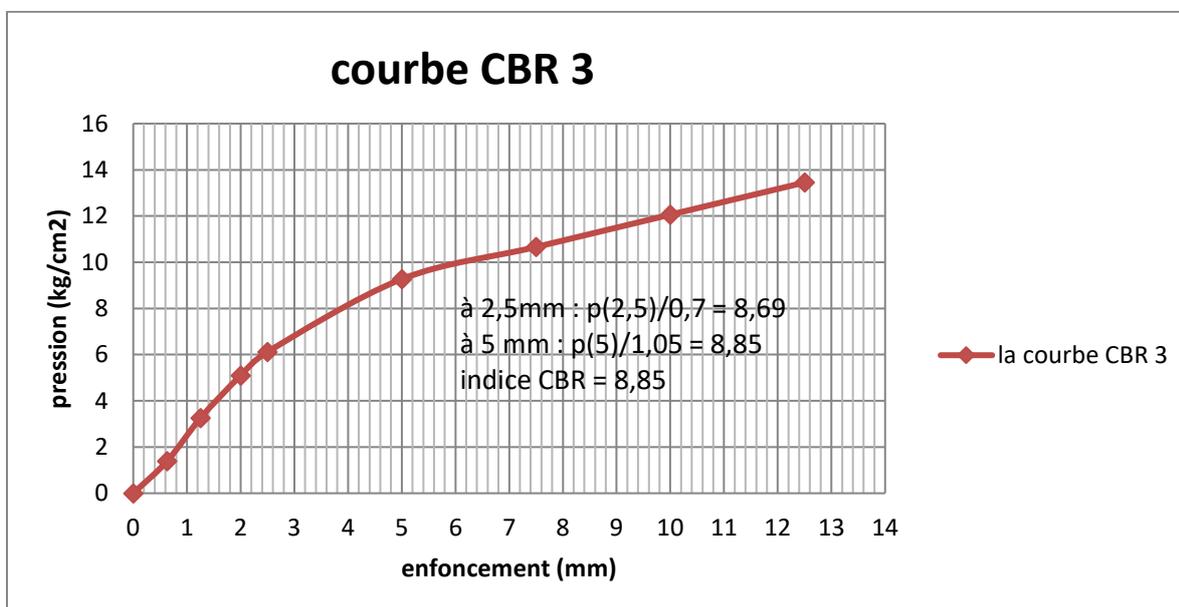


Figure IV.15 : la courbe CBR (10 coups) du sol renforcé avec la fibre d'Alfa (2.5%).

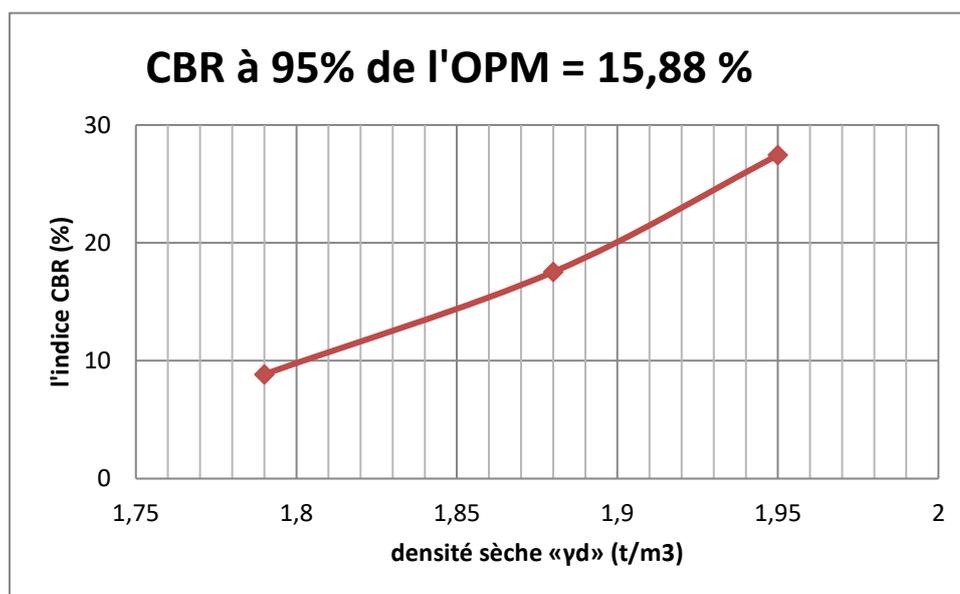


Figure IV.16: représente la courbe d'indice CBR en fonction de densité sèche du sol renforcé avec la fibre d'Alfa.

Tableau IV.4 : les résultats d'essai CBR avec la fibre d'Alfa (2,5%)

	10 c/c	25 c/c	56 c/c
W (%)	12.8	12.3	11.9
Sr (%)	67.83	73.38	83.33
γ_d (t/m³)	1.79	1.86	1.95
CBR (%)	8.85	17.53	27.44

Interprétation

D'après les résultats obtenus pour les différents teneurs en eau d'une variation entre 12.8% et 11.9% et degré de saturation varie entre 67.83% et 83.33% pour une variation de la densité sèche entre 1.79(t/m³) et 1.95(t/m³) une valeur de l'indice CBR varie de 8.85% et 27.44% le point maximum de la courbe obtenue ($I_{CBR} = 27.44$ %) correspond à une teneur en eau de 11.9% est presque égale à l'optimum Proctor.

On remarque la valeur du CBR à 95% de l'OPM trouvé est 15.88% la classe de portance de sol+ fibre d'Alfa(2,5) montre que le sol à la classe S₄. Suite sa valeur de CBR entre 10% et 30% il s'agit des sables.

IV.3.2 Les Essais Mécaniques

IV.3.2.1 Essai De Cisaillement (le sol +la fibre synthétique)

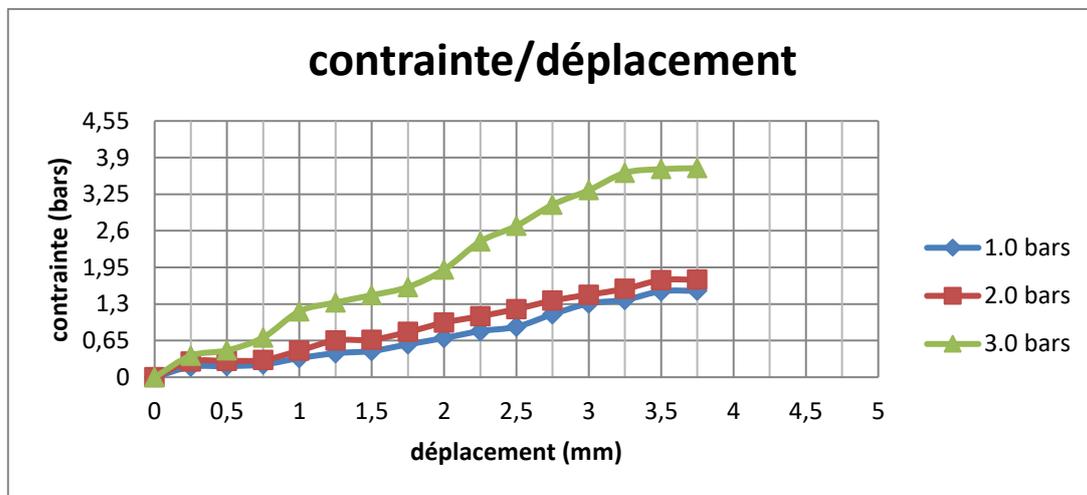


Figure IV.17: représente la résistance au cisaillement (à vitesse constante de 0,002 mm/min) du sol renforcé avec la fibre synthétique 0.045%

Tableau IV.5 : résultats d’essai cisaillement (le sol + la fibre synthétique 0.045%)

contrainte normale «σ» (bars)	1	2	3
Contrainte de cisaillement «τ» (bars)	1.53	1.72	3.70

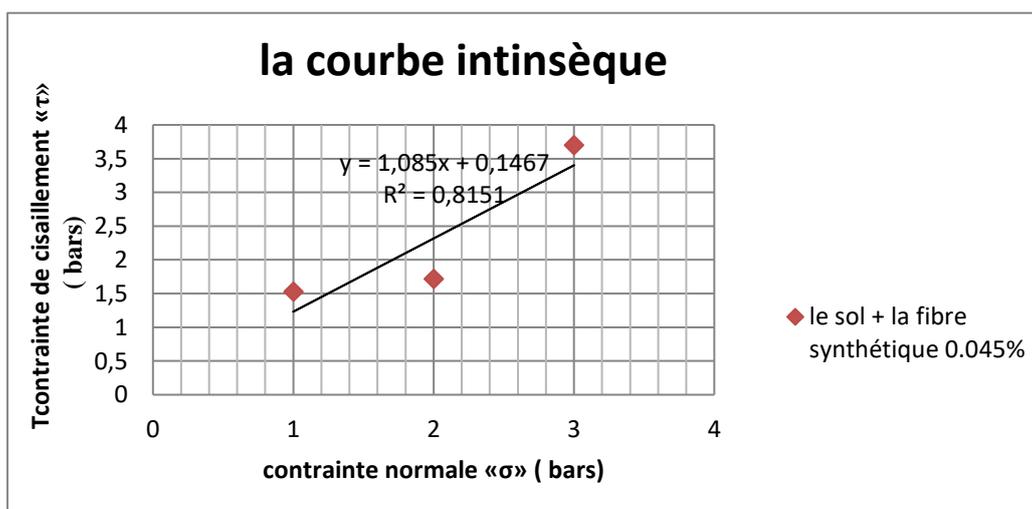


Figure IV.18: la courbe intrinsèque du sol renforcé par la fibre synthétique 0.045%

Interprétation

Echantillon +la fibre synthétique (d'aramide 0.045%)

$$C = 14 \text{ KPa} \quad \phi = 47.31 \text{ degrés}$$

A partir des résultats d'essai de cisaillement rectiligne type consolidé drainé la valeur de cohésion 14 kPa est supérieur à 10 kPa et la valeur d'angle de frottement 47.31 degré supérieur à 30% sur sol traité avec fibre synthétique nous remarquons que le sol d'un comportement comme les sols granulaire et cohérents sauf roche tendres.

(Le Sol + La Fibre d'Alfa 2.5%)

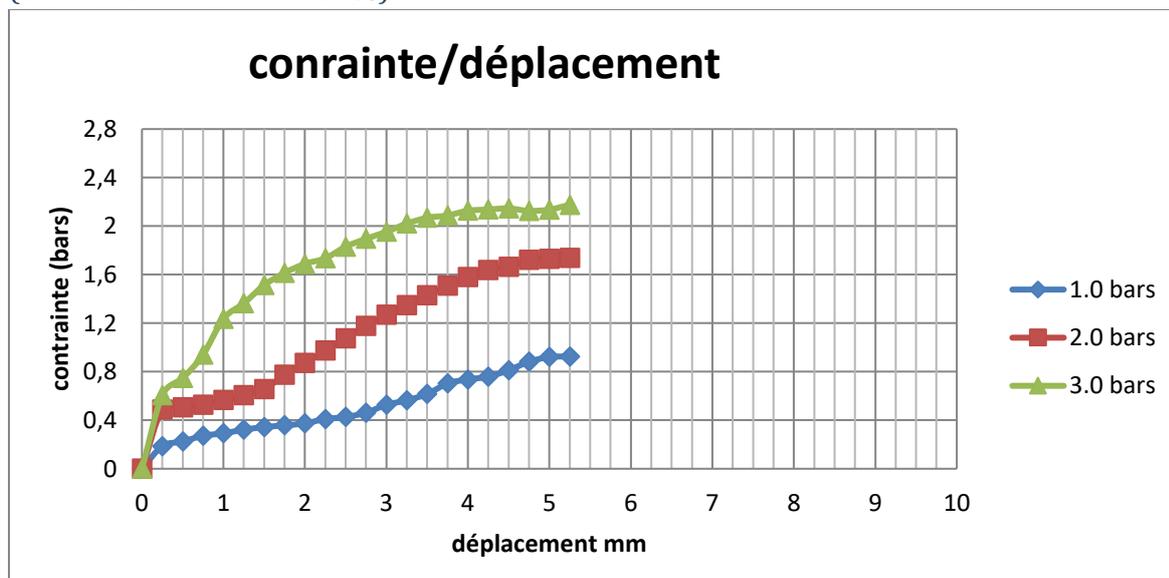


Figure IV.19: représente la résistance au cisaillement (à vitesse constante de 0,002mm/min) du sol renforcé avec la fibre d'alfa 2.5%

Tableau IV.6 : résultats d'essai cisaillement (le sol + la fibre d'Alfa 2,5%)

contrainte normale «σ» (bars)	1	2	3
Contrainte de cisaillement «τ» (bars)	0.92	1.72	2.13

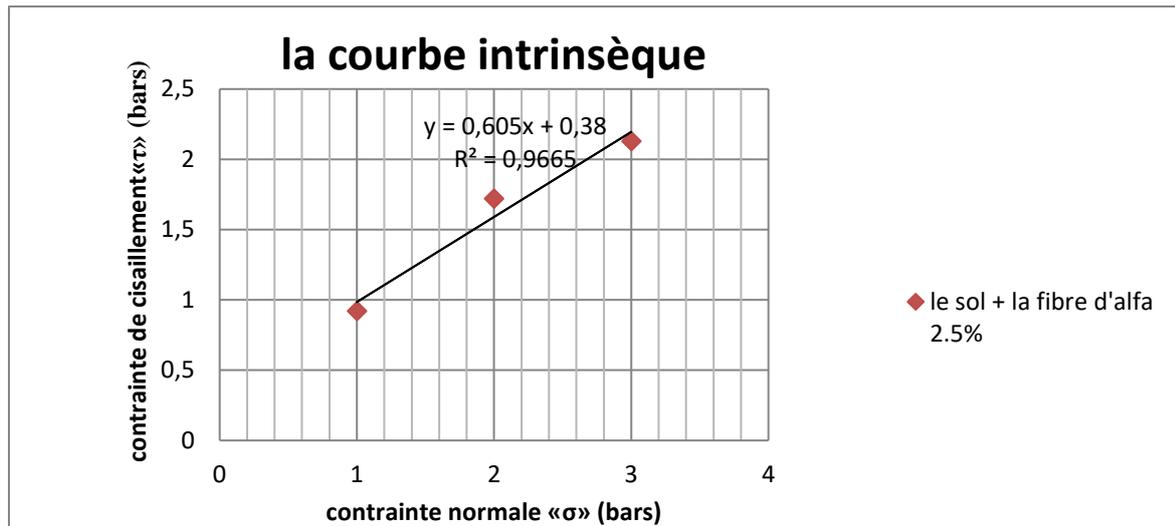


Figure IV.20: représente la courbe intrinsèque du sol renforcé avec la fibre d'Alfa 2.5%

Interprétation

Echantillon + la fibre d'Alfa 50g (2,5 %)

$$C = 38 \text{ KPa} \quad \phi = 31.09 \text{ degrés}$$

D'après les résultats trouvés dans l'essai de cisaillement rectiligne type consolidé drainé la valeur de cohésion 38 kPa est supérieur à 10 kPa et la valeur d'angle de frottement interne 31.09 degré est supérieur à 30 degré.

Et après le traitement de sol avec un pourcentage 2.5% de fibre d'Alfa on a un sol du comportement comme les sols granulaire et cohérent.

(Le Sol + La Fibre d'Alfa 0.5%)

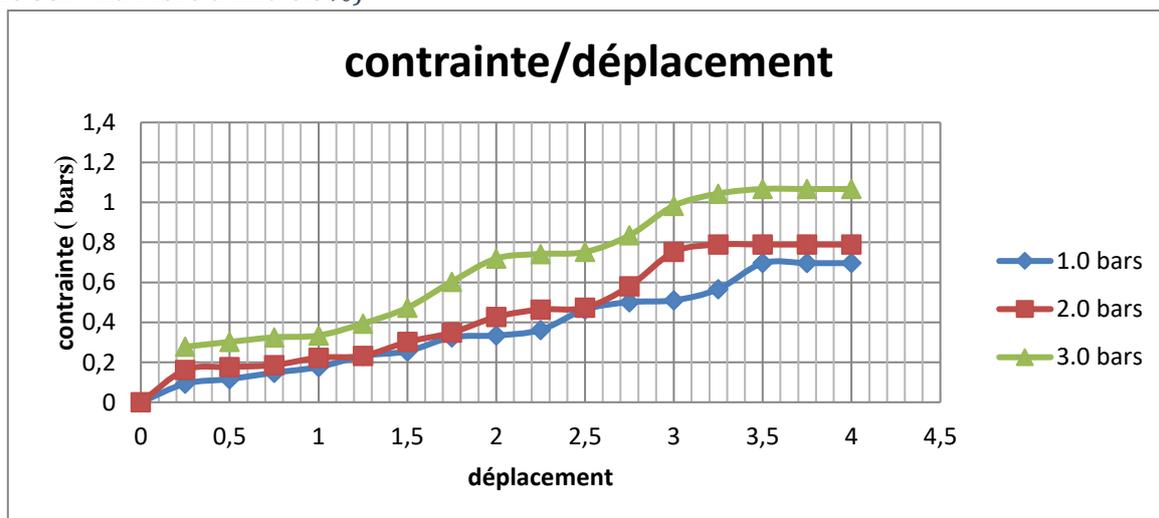


Figure IV.21: représente la résistance au cisaillement (de vitesse constante 0,002mm/min) du sol renforcé avec la fibre d'Alfa (0,5%).

Tableau IV.7 : résultats d'essai cisaillement (le sol + la fibre d'Alfa 0,5%)

contrainte normale « σ » (bars)	1	2	3
Contrainte de cisaillement « τ » (bars)	0,7	0,79	1,07

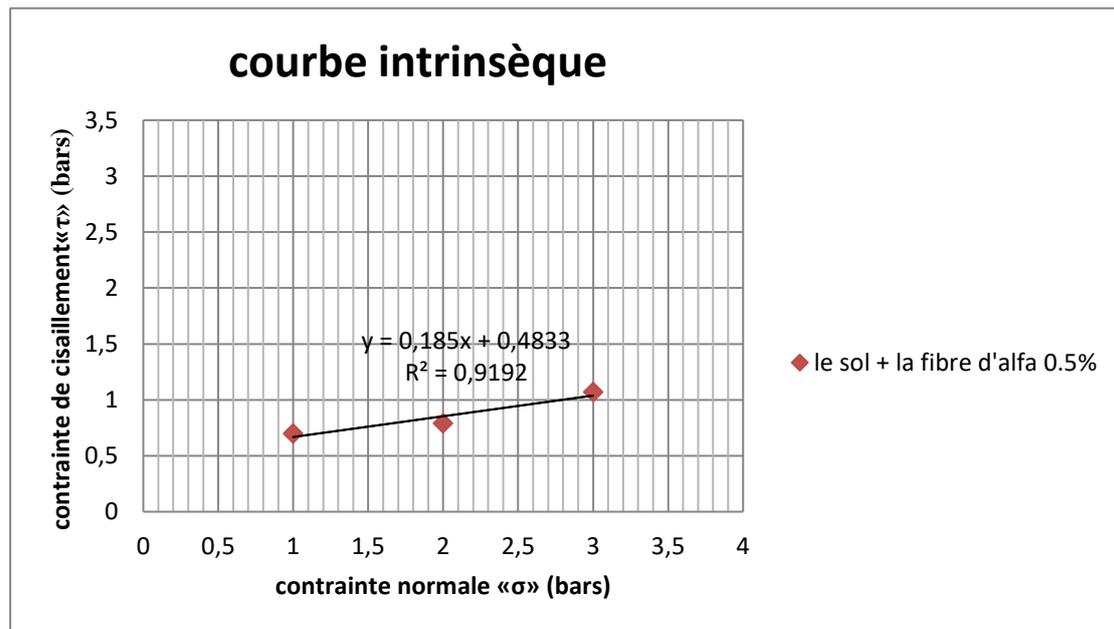


Figure IV.22: représente la courbe intrinsèque du sol renforcé avec la fibre d'Alfa (0,5%).

Interprétation

$$C = 48 \text{ KPa} \quad \phi = 10.51 \text{ degré}$$

A partir des résultats obtenus dans l'essai de cisaillement consolidé drainé sur le sol traité avec 0.5% de fibre d'Alfa nous remarquons la valeur de cohésion 48 kPa supérieur à 20 kPa, et l'angle de frottement 10.51 degré est inférieur à 15 degrés.

Il s'agit d'un sol du comportement comme les Argile moyenne à raide.

IV.3.2.2 Essai De Compressibilité à L'oedomètre

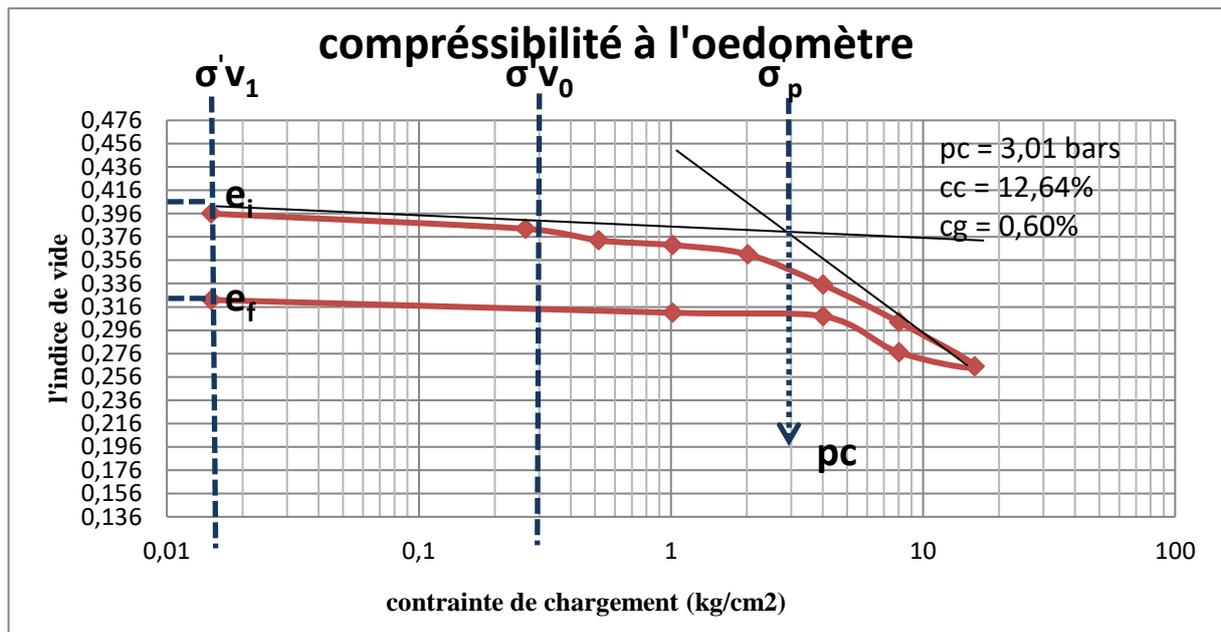


Figure IV.23: la courbe de compressibilité à l'oedomètre du sol renforcé avec la fibre synthétique (0.045%)

Tableau IV.8 : résultats d'essai compressibilité à l'odomètre (le sol + la fibre synthétique 0.045%)

Pression (bars)	Lecture comparateur 1	Tassement moyen (cm)	Indice des vides (e ₀)
0.015	1999	-0.0002	0.396
0.265	2085	0.017	0.383
0.515	2155	0.031	0.373
1.015	2180	0.036	0.369
2.015	2240	0.048	0.361
4.015	2415	0.083	0.335
8.015	2638	0.1276	0.303
16.015	2896	0.1792	0.265
8.015	2818	0.1636	0.277
4.015	2599	0.1198	0.308
1.015	2578	0.1156	0.311
0.015	2509	0.1018	0.322

Interprétation

Pc = 3.01 bars Cc = 12.64 % Cg = 0.60% H = 1.917cm ΔH=0.1018cm E = 4.71 bars
 $\sigma'v_0 = 0.3bars$

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{0.1018}{1.917} = 0.053 \text{ cm}$$

$$E = \frac{-\Delta\sigma v_0}{\Delta H/H} = \frac{(0.515 - 0.265)}{0.053} = 4.71 \text{ bars}$$

A partir de la courbe œdométrique à fin d'essai sur le sol traité par la fibre synthétique Le coefficient de compressibilité Cc de poids 0.9g (0,045%) de fibre dans 2 kg de sol est entre 10% et 20 % est un sol de compressibilité moyenne d'un comportement comme les Argiles raide (kaolinites).
 Le coefficient de gonflement et inférieur à 2% d'états de sol non gonflent.
 Le résultat des calculs du tassement est 0.1018cm donc un faible tassement dans un sol Sur-consolidé. Il s'agit d'un Argile molle selon la valeur de module œdométrique 4.71 bars entre 1 bar et 10 bars.

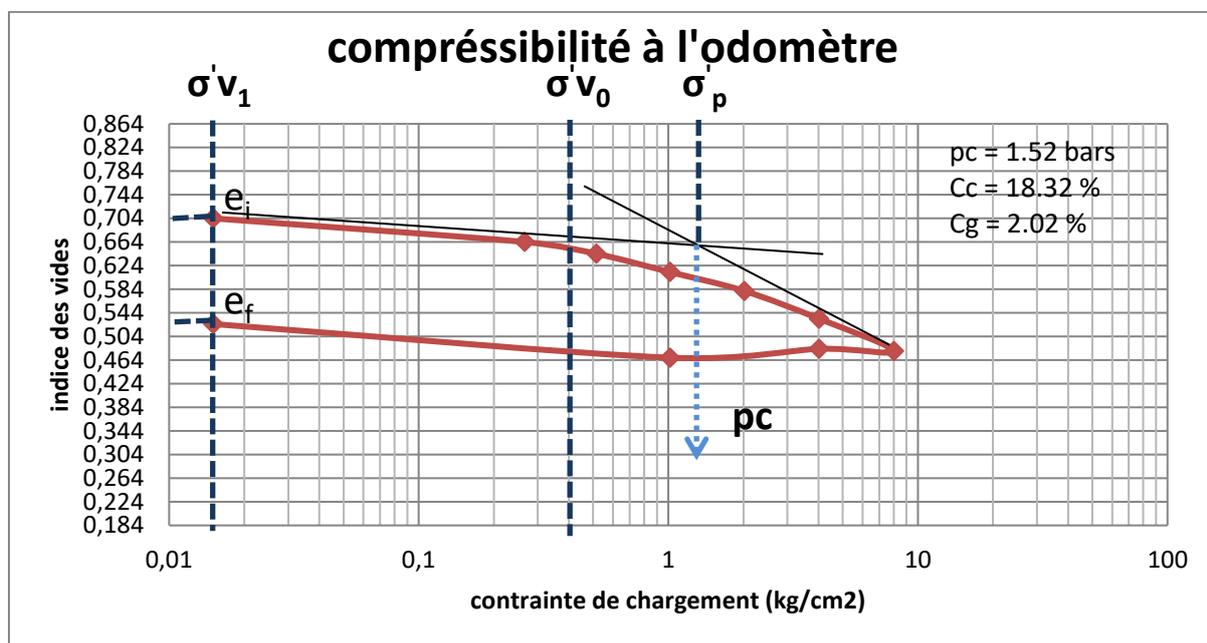


Figure IV.24: la courbe de compressibilité à l'œdomètre du sol renforcé par la fibre d'Alfa (2,5%).

Interprétation

Pc = 1.52 bars Cc = 18.32% Cg = 2.02% Δh = 0.1926 H=1.832cm E = 9.85 bars

$$\sigma_{v0} = 0.4 \text{ bars}$$

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{0.1926}{1.832} = 0.1051 \text{ cm}$$

$$E = \frac{-\Delta\sigma v_0}{\Delta H/H} = \frac{(2.015 - 1.015)}{0.1015} = 9.85 \text{ bars}$$

$$0.4 \text{ bars} < 1.52 \text{ bars}$$

Les résultats obtenus à partir de courbe œdométrique sur l'échantillon sol traité avec la fibre d'alfa 50 g de 2.5%. La droite de déchargement est beaucoup moins inclinée sur l'axe des

pressions c'est-à-dire une expérience classique de chargement et déchargement dans le domaine des pressions courantes.

Le coefficient de compressibilité $C_c = 18.32\%$ entre 10% et 20%, le sol est de compressibilité moyenne, catégorie des argiles raides (kaolinites) et le coefficient de gonflement 2.02% entre 2% et 4% le sol est peu gonflant.

La courbe œdométrique permet de déterminer la pression de consolidation P_c avec plus ou moins de précision, dans ce cas la pression de consolidation est supérieure à la contrainte effective initiale. Et à partir de la valeur de module œdométrique 9.85 bars entre 1 bars et 10 bars du comportement comme les Argile molle.

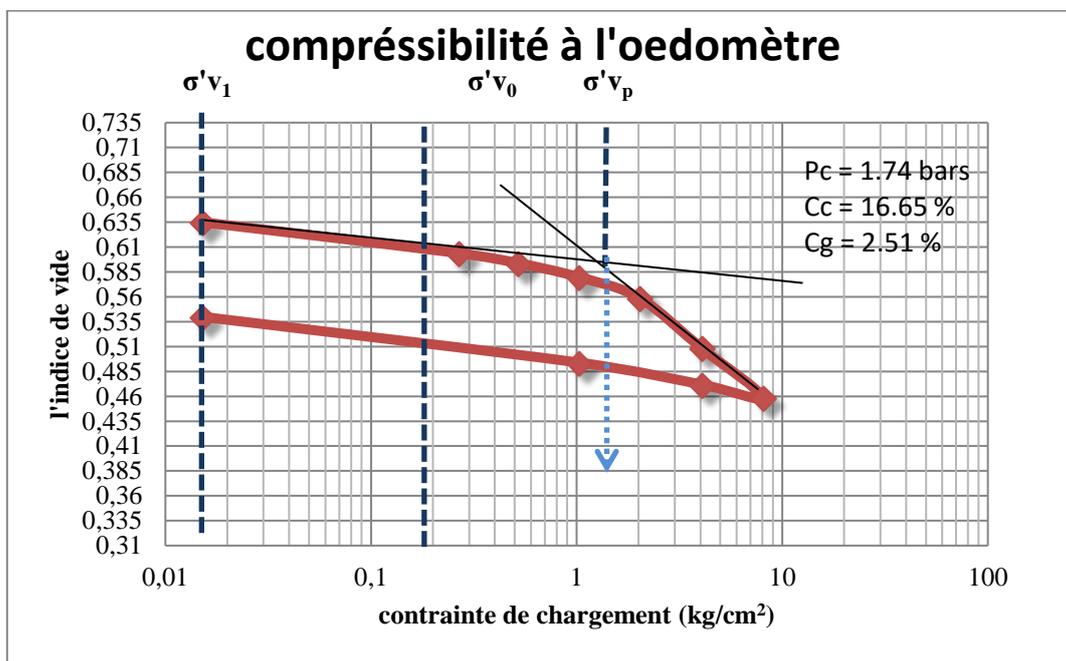


Figure IV.25: représente la courbe de compressibilité à l'oedomètre du sol renforcé avec la fibre d'Alfa 0.5%

Interprétation

$P_c = 1.74 \text{ bars}$ $C_c = 16.65\%$ $C_g = 2.51 \%$ $\Delta H = 0.103$ $H = 1.771 \text{ cm}$ $E = 17.24 \text{ bars}$

$$\sigma'_{v0} = 0.4 \text{ bars}$$

$$\frac{\Delta H}{H} = \frac{0.103}{1.771} = 0.058 \text{ cm}$$

$$E = \frac{-\Delta\sigma v0}{\Delta H/H} = \frac{(2.015 - 1.015)}{0.058} = 17.24 \text{ bars}$$

$$0.4 \text{ bars} < 1.74 \text{ bars}$$

A partir des résultats obtenus sur l'échantillon + la fibre d'Alfa de pourcentage 0.5% nous remarquons que le coefficient de compressibilité $C_c = 16.65\%$ entre 10% et 20%, le sol est de

compressibilité moyenne, du comportement comme les argiles raides, et le coefficient de gonflement 2.51% entre 2% et 4%, le sol est peu gonflant.

Donc la pression de consolidation est égale à 1.74 bars supérieur à la contrainte effective initiale et à partir de valeur de module œdométrique 17.24 bars entre 15 – 100 bars, donc le comportement du matériau comme les Argile raide plus rigide.

Tableau IV.9 : les paramètres pré-mécaniques avant et après le renforcement

	Les paramètres	Sol non renforcé	Sol renforcé
Essai Proctor	W_{OPT} P_d	12% 1,94 t/m ³	12% 1,94 t/m ³
Essai CBR	I_{CBR} P_d W_{OPM}	26,97 1,65 t/m ³ 22,23%	27,44 1,95 t/m ³ 15,88%

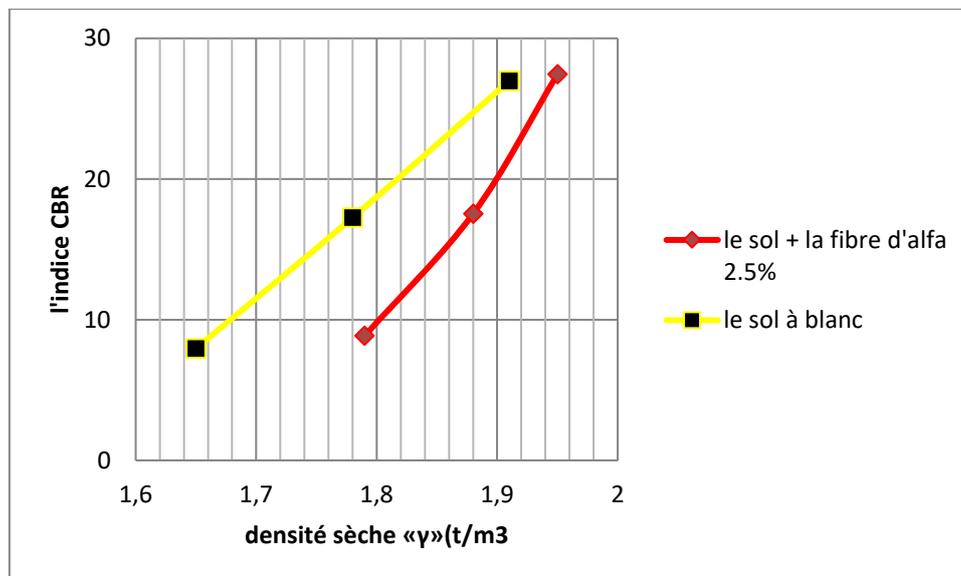


Figure IV.26: représente l'indice CBR en fonction de densité sèche (le sol à blanc et le sol + la fibre d'alfa 2,5%)

Interprétation

D'après les résultats présentes dans la figure (IV.26), le sol traité par la fibre d'Alfa pourcentage de (2,5 %) d'indice portant 27,44% supérieur à ce de sol à blanc de pourcentage des fibres (0%).

Cela s'explique par le fait que la densité sèche de sol à blanc (0%) de fibre 1,91% est inférieur à ce sol traité (2,5%) de fibre 1,95%. la relation entre la densité sèche à l'optimum Proctor modifier et l'indice portant CBR est due au fait que plus le matériau est dense, moins il contient des vides.

On constate cependant que pour le sol traité (2,5%) d'Alfa amélioré l'indice portant CBR à 95% est élevé à l'indice portant CBR à 95% de sol (0%) d'Alfa à blanc.

L'étude réalisée révèle que l'amélioration de sol par (2,5%) d'Alfa donne les meilleurs résultats en ce qui concerne l'indice portant CBR, Mais avec de pourcentage faible.

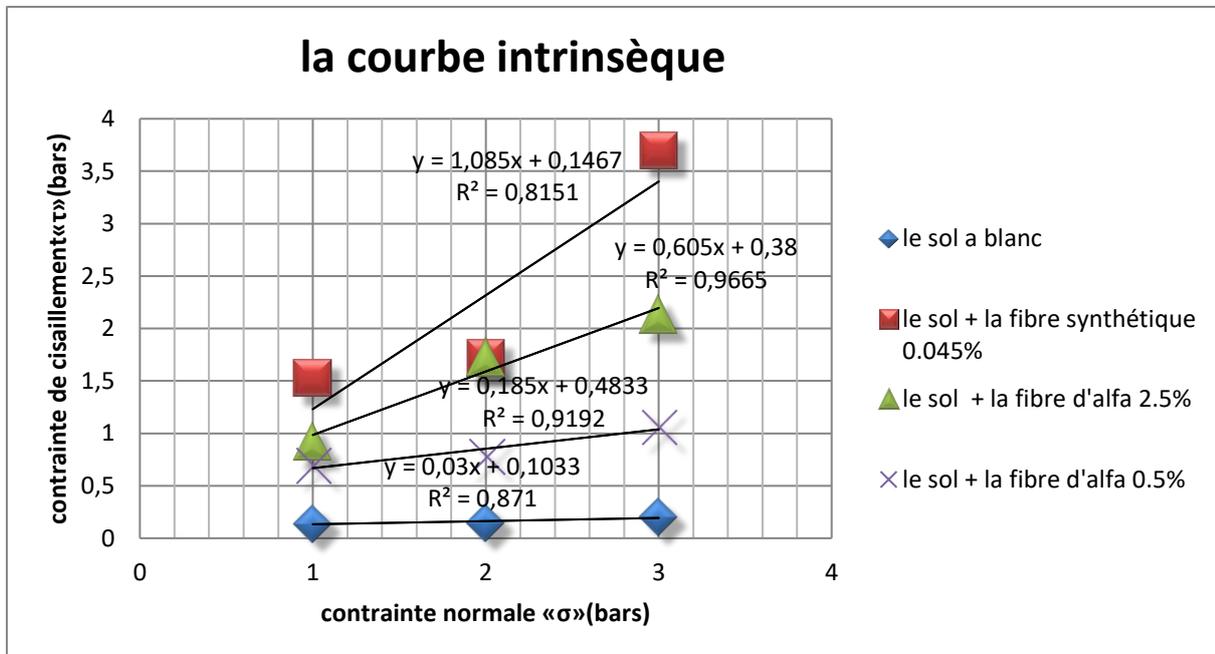


Figure IV.27: la courbe intrinsèque du sol à blanc et renforcé par les fibres (synthétiques, d'Alfa)

Interprétation

A partir des résultats obtenus dans les quatre modèles des échantillons représentés (sol à blanc, sol + fibre synthétique 0.045%, sol + fibre d'Alfa 2.5%, et sol + fibre d'Alfa 0.5%) d'essai cisaillement consolidé drainé, de la même vitesse de cisaillement de l'ordre de 0.020mm/min.

On a vu que la valeur entre 0.1 bars et 0.48bars d'augmentation de 400% entre le sol à blanc et le mélange (1) (de fibre synthétique) la cohésion de mélange (1) est largement supérieure à celui du sol à blanc et du mélange (2) (sol + fibre d'Alfa 2.5%) et du mélange (3) (sol + fibre d'Alfa 0.5%).

On notera que la valeur de frottement aussi varie entre 1.69 degrés et 47.31 degrés. De même façon avec le paramètre de cohésion 1.69 degrés chez le sol à blanc, 10.51 degrés chez le mélange(3), 31.09 degrés chez le mélange(2) est plus de 47.31 degrés, ce qui démontre clairement l'amélioration des différents mélanges par rapport au sol non traité.

Nous observons logiquement une augmentation des caractéristiques mécaniques suivant que le matériau est reconstitué avec le différent mélange (sol + fibre synthétique 0.045%), (sol + fibre d'Alfa 2.5%), (sol + fibre d'Alfa 0.5%) respectivement.

Les résultats montrent également que les propriétés de résistance au cisaillement (C et ϕ) sont globalement meilleurs en condition de traitement avec les fibres mais varie entre chaque type de fibre.

On constate cependant que pour le sol renforcé amélioré avec le mélange (1) et (2) et le renforcement de sol à permet l'amélioration des paramètres mécaniques.

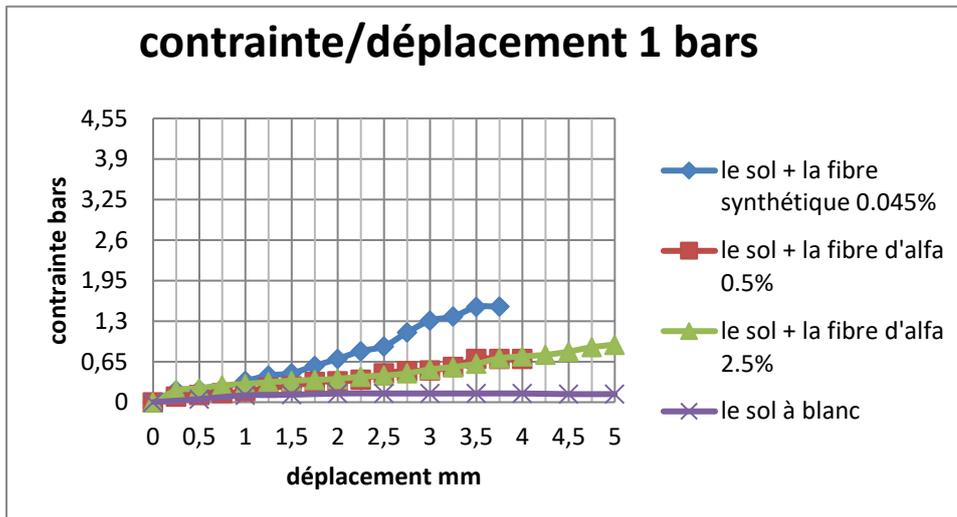


Figure IV.28: représente la résistance au cisaillement (de vitesse constante 0.002mm/min) de 1 bars

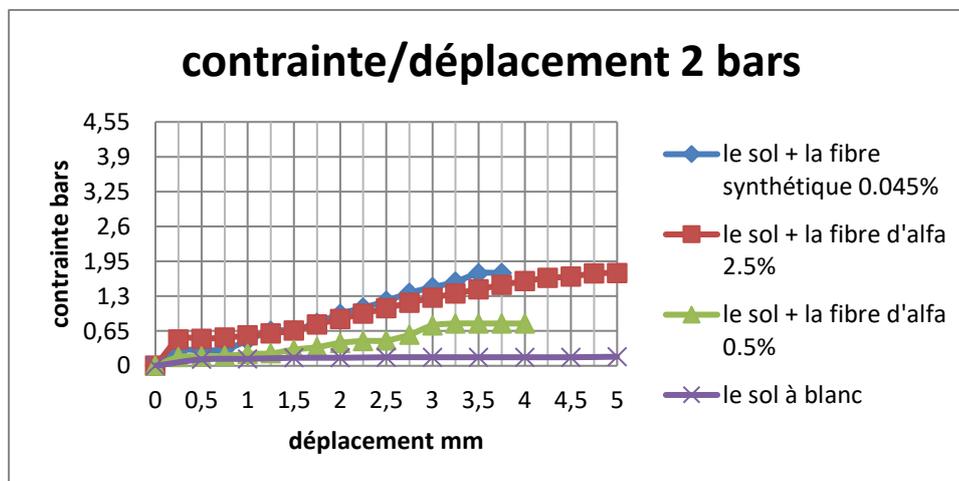


Figure IV.29: représente la résistance au cisaillement (de vitesse constante 0.002mm/min) de 2 bars

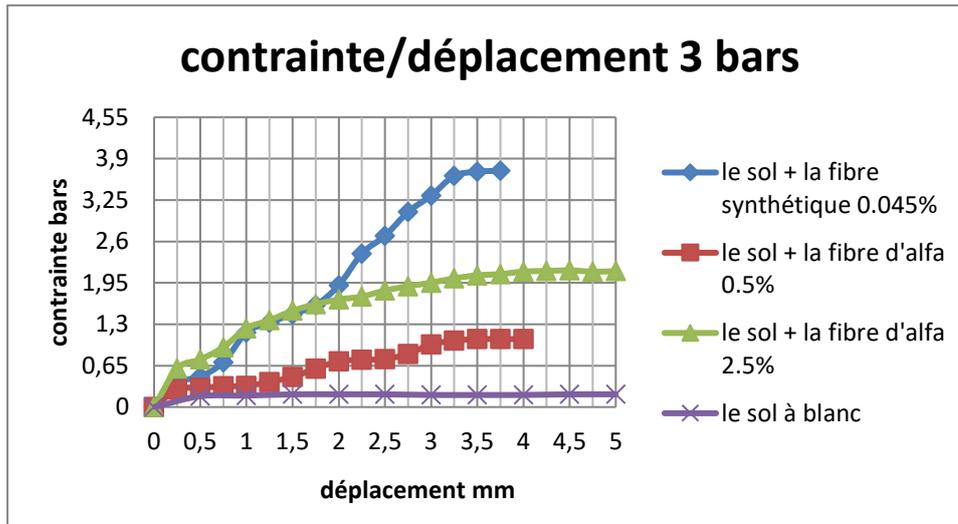


Figure IV.30: représente la résistance au cisaillement (de vitesse constante 0.002mm/min) de 3 bars

Interprétation

On la figure (IV.28), (IV.29) et (IV.30) qui représenté la résistance au cisaillement et a partir des résultats obtenus dans les quatre échantillons (sol à blanc, sol +fibre synthétique, sol + fibre d'Alfa 2.5%, sol+ fibre d'Alfa 0.5%) en fonction des contraintes normales 1bars ,2bars et 3 bars respectivement. Nous remarquons logiquement une augmentation de contrainte maximale quand le sol renforcé avec les fibres (d'Alfa 2,5%, 0,5% et la fibre synthétique 0,045%).

- ✓ Dans le cas de 1 bars figure (IV. 28) nous observons que la contrainte maximale de mélange (sol + fibre synthétique0, 045%) sera augmenté par apport les deux pourcentages de mélange (sol + fibre d'Alfa 2.5% et sol + fibre d'Alfa 0.5%) est superposé.
- ✓ Dans le cas de 2 bars figure (IV. 29) nous remarquons que la contrainte maximale de mélange (sol+ fibre synthétique0, 045% et sol + fibre d'Alfa 2,5%) est auguement par apport le mélange de (sol + fibre d'Alfa 0,5%) reste toujours à la même contrainte.
- ✓ Dans le cas de 3 bars figure (IV.30) nous observons que la contrainte maximale de mélange (sol + fibre synthétique0, 045%) plus élevé par apport le mélange de (sol + fibre d'Alfa 2,5% et sol + fibre d'Alfa 0,5%).

A partir des 3 courbes nous conclure que la contrainte maximale de mélange sol+ fibre synthétique 0,045% est plus élevé donc on a une amélioration des paramètres mécaniques dans tous les cas de renforcements mais avec des différentes proportions.

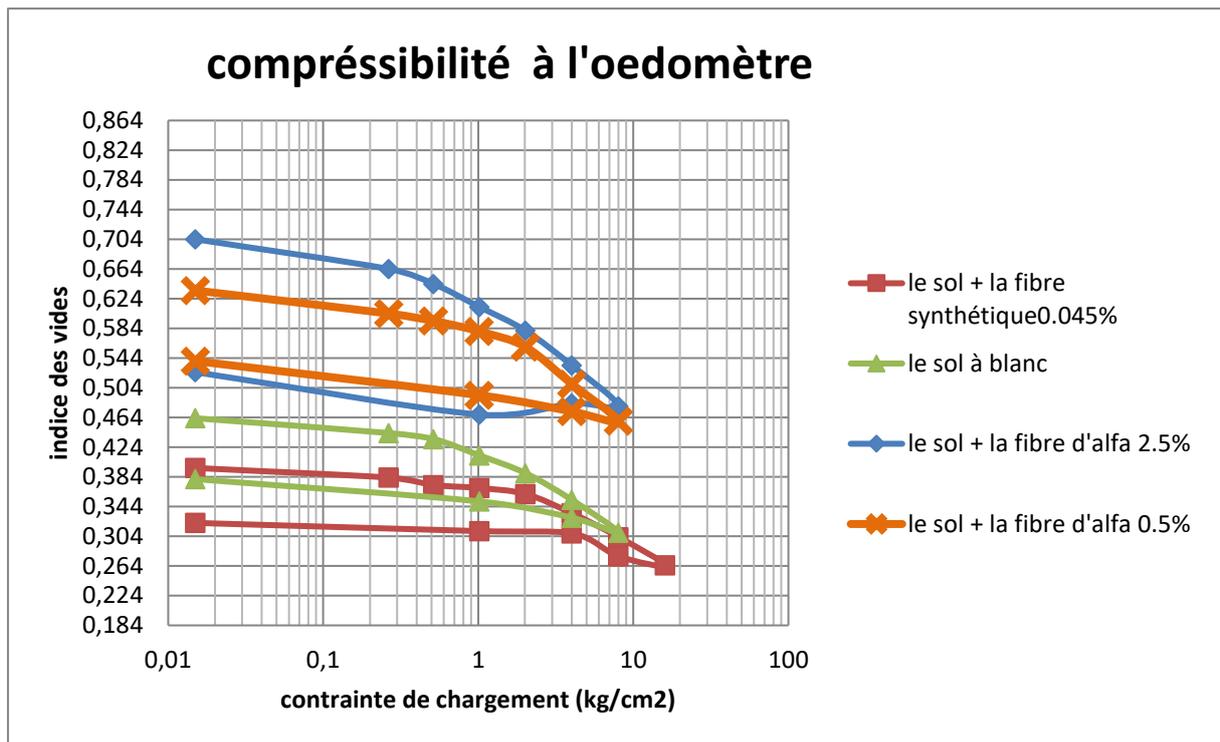


Figure IV.31 : représente la courbe de compressibilité du sol à blanc et renforcé par les fibres (synthétiques, d'Alfa).

Interprétation

A partir des résultats obtenus d'essai de compressibilité à l'oedomètre sur les quatre échantillons (sol à blanc, sol + la fibre synthétique, sol + fibre d'Alfa 2.5% et sol + fibre d'Alfa 0,5%) sur les mêmes conditions.

Le paramètre de la contrainte de pré consolidation varie entre 1.52 bars et 3.01 bars et le coefficient de consolidation varie entre 12.64% et 18.66%. D'augmentation de 98% et 47% respectivement donc le sol renforcé avec 0.045% de fibre synthétique donne le meilleur résultat au contraire le sol avec la fibre d'Alfa n'amélioré pas.

On notera que le paramètre de tassement ΔH est varié entre 0.1018cm et 0.1926cm toute la valeur explique d'un faible tassement mais le mélange de sol renforcé avec la fibre synthétique donne toujours le bon résultat de valeur de tassement qui égale à 0.1018cm.

Le paramètre de module œdométrique varie entre 4.46 bars et 17.24 bars, le mélange de sol + fibre d'Alfa 0.5% donne un résultat de 17.24 bars qu'explique le meilleur renforcement sur les cas étudié c-t-dire amélioration de la rigidité du matériau.

Tableau IV.10 : les paramètres mécaniques avant et après le renforcement

Les essais	Les paramètres	Sol non renforcé	Sol renforcé		
			Fibre synthétique 0,045%	Fibre d'Alfa 2,5%	Fibre d'Alfa 0,5%
Essai cisaillement	*Cohésion *l'Angle de frottement	10 KPa 1,69 degré	14 KPa 47,31 degré	38 KPa 31,09 degré	48 KPa 10,51 degré
	*contrainte pré consolidé *coefficient de consolidation *coefficient de gonflement *module oedométrique *tassement	1,69 bar 11,66% 1,64% 4,46 Pa 0,106 cm	3,01 bars 12,64% 0,60% 4,71 Pa 0,1018 cm	1,52 bar 18,32 % 2,02 % 9,85 Pa 0,1926 cm	1,74 bar 16,65 % 2,51 % 17,24 bars 0,103 cm

IV.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous vous donnons une idée de la façon de reconstitué le sol support avec les fibres (synthétique et d'Alfa), nous préparons aussi délibérément trois échantillons à des proportions différentes, et nous avons étudié l'effet des fibres sur le sol et les propriétés mécaniques de cette étude ont montré que :

- ❖ Le paramètre d'indice CBR est augmenté pour le sol renforcé avec la fibre d'Alfa (2,5%).
- ❖ La résistance au cisaillement est augmentée par rapport le sol à blanc, et plus élevé dans le cas de renforcement avec la fibre synthétique.
- ❖ Pour les paramètres de cohésion et l'angle de frottement, nous remarquons que les paramètres (Cohésion et l'angle de frottement) améliorent avec l'incorporation des fibres, et le sol renforcé avec la fibre synthétique présente le meilleur résultat pour l'angle de frottement et le bon résultat pour la cohésion présente dans le sol renforcé avec l'Alfa (0,5%).

Dans l'essai de compressibilité à l'oedomètre, les paramètres mécaniques n'améliorent pas dans le cas du sol avec la fibre d'Alfa (2,5%) et améliorations des paramètres de tassement et de rigidité dans le cas de pourcentage (0,5%) d'Alfa , mais au contraire dans le sol avec la fibre synthétique(0,045%) on remarque une amélioration dans tous les paramètres

Conclusion générale

Notre travail est une étude expérimentale de valorisation des fibres naturelles dans le renforcement du sol support de couche de forme, cette recherche est d'optimiser le procédé de renforcement du sol par des fibres (d'Alfa et synthétiques) pour améliorer les propriétés mécaniques et énergétiques du matériau.

L'utilisation de fibre d'Alfa dans le domaine géotechnique est expansé et prend un champ très large d'application en particulier dans des plusieurs pays comme l'Algérie compte tenu des caractéristique physiques et mécaniques ainsi que grâce à la disponibilité dans la nature (les hauts plateaux) et ses propriétés renouvelables, parce que l'Alfa ne demande pas une nature particulière de terrain il pousse dans tous les terrains légers quelle est disponible en Algérie avec un cout très faible.

Ce sol d'essai provient d'analyse granulométrie, valeur de bleu de méthylène et limite d'Atterberg pour classer notre sol. il a subit une caractérisation physicochimique qui a fait ressortir un sol sableux argileux grossier peut plastique. Contient des minéraux de calcite et quarts.

Le sol étudié a été renforcé par deux type de fibre, la première synthétique avec un pourcentage de 0,045% Et la deuxième fibre d'alfa avec deux pourcentages de 2.5% et de 0,5%. Des tests CBR et de cisaillement ont été réalisé sur l'ensemble des échantillons.

Cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- La connaissance de reconstitutions de sol avec les fibres.
- Nous constatons que le paramètre d'indice CBR augmenté dans le cas de renforcement avec la fibre d'Alfa (2,5%).
- Nous constatons que la résistance au cisaillement a augmenté dans le cas de sol renforcé, et aussi les paramètres de cohésion et l'angle de frottement a augmenté par rapport au sol non renforcé ce qui indique un meilleur comportement mécanique et donc ce matériau renforcé est plus résistant avec l'ajout de fibres, mais avec des différentes proportions, dans le cas de fibre synthétique 0.045% donne le meilleur résultat, et dans le cas de fibre d'alfa le pourcentage de 2.5% donne un bon résultats.

D'autre part, nous avons tiré l'essai de compressibilité à l'oedomètre sur le sol à blanc et le sol renforcé avec les fibres les propriétés mécaniques suivantes :

- La contrainte de pré consolidation augmente avec la reconstitution du sol avec la fibre synthétique, et le tassement diminue, mais dans le cas du sol avec la fibre d'Alfa (2,5%) nous ne remarquons aucune amélioration des paramètres mécaniques.

A enlever et parler des fibres d'Alfa et synthétique et dire qu'il y a un grand intérêt à utiliser l'Alfa vu sa disponibilité et son faible cout elle pourrait remplacer la fibre synthétique.

En perspective de ce travail en vue d'une future utilisation rationnel de ce matériau composite (sol avec fibre d'Alfa) nous recommandons de compléter cette recherche avec d'autre teste

Doivent être réalisé avec différents concentration d'Alfa en même temps que l'ajout des liants comme la chaux, le ciment et pouzzolane et d'autre type de sol.

LES REFERENCES

[1] LCPC. Conception et dimensionnement des structures de chaussées. Guide Technique, LCPC-SETRA, 1994.

[2] Technique, G. Réalisation des remblais et des couches de forme. *GTR) SETRA/LCPC–1992.*

[3] SETRA, L. Guide technique, Réalisation des remblais et des couches de forme. *Guides du LCPC*, 2000.

[4] Sanglerat, G., Olivari, G., & Cambou, B. *Problèmes pratiques de mécanique des sols et de fondations*. Dunod, 1969

[5] Brabet, I ; le traitement des sols pour la couche de forme, plateforme de chaussée, mémoire ingénieurs, Paris. Soutenu le 21 juin 2012

[6] JEAN MARIE, Matériaux composite, comportement mécanique et analyse des structures. Institut universitaire de technologie, édition Masson, Paris, 1996

[7]GOSSA N, Elaboration et caractérisation expérimentale du comportement mécanique du béton à base de fibres de palmier dattier, Mémoire, Soutenu le 30/06/2013

[8]LACROIX, R., FUENTES, A. et THONIER, H. *Traité de béton armé* Édition EYROLLES Paris, 1982

[9] AIT AMEUR, M.M, Contribution à l'étude expérimentale des bétons renforcés de fibres d'acier locales, Mémoire de magister, U Tiaret, 1998

[10] HOUGET, V, Etude des caractéristiques mécaniques et physicochimiques de composites ciments fibres organiques, thèse de doctorat, INSA, Lyon, France, 1992

[11] BEAUDOIN, J. J, Béton renforcé de fibres, Institut de recherche en construction, conseil nationale de recherche, Canada, p.04, 1982

[12]DEBICKI, G, Contribution à l'étude du rôle de fibres dispersées anisotropiquement dans le mortier de ciment sur les lois de comportement, les critères de résistance et la fissuration des matériaux, Thèse de doctorat, INSA de Lyon, France, 1988

[13] BLEDZKI, A. K and GASSAN. J, Composites reinforced with cellulose based fibers, ELSEVIER, Progress in polymère science, volume 24, pp.221-274, 1999

[14] CASANOVA, P., LEMAOU, F., SCHALLER, I, Les fibres d'acier peuvent-elles remplacer les armatures transversales dans les poutres de béton armé, bulletin de liaison L.C.P.C, N° 195 Jan.-Fev, 1995

[15] Kurek.B, les fibres naturelles : originalité.propriétés.qualités et défauts, journée technique de matériaux renforcés par fibres naturelles, Bellignat (France),2006

[16] D.G.Hepworth, the manufacture and mechanical testing of thermosetting naturel fibre composites, journal of materials science, 2000

[17] Fogtdal, Autourdu fil, l'encyclopédie des arts textiles, paris, 1990

[18][Oleson.p, perspectives on the performance of naturel plant fibres, plant fibre laboratory, 2003

[19] Baley.C, fibres naturelles de renfort pour matériaux composites, AM6(AM5130) :P1-12,2004

[20] Da.Silva, Etat de la connaissance scientifique sur les fibres végétales, FRD (fibres Recherche développement), Troyes, P90, 2008

[21] SWAMY, R. H. S, AHUJA, B. M, KRISHAMOORTHY, S, Behaviorof concrete reinforced with jute, coir, bamboo fibers, The international journal of cement composite and light weight concrete, volume 5, p 13
N°1, 1984

[22] COUTTS, R.S.P, Flax fibers as a reinforcement in cement mortar ?, the international journal of cement composites and lightweight concrete, vol.5N°4, pp 257-262, 1983

[23] KRIKER. A, Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec, Thèse de doctorat d'état, ENP, Alger, 2005]

[24] Evaluation du potentiel textile des fibres d'Alfa (Stipa Tenacissima L.) : Caractérisation physico-chimique de la fibre au fil, THESE, le 12 Décembre 2012]

[25] NILSON, L, Reinforced Concrete with Sisal and other vegetable fiber, Swedish Council for Building Research, document D14, 1975.

[26] AYYAR, T.S.R. and MIRIHAGALLA, P.K, Elephant grass fibers and reinforcing fiber, Magazine of Concrete Research, Vol. 28, pp.162-67,1976.

[27] TOLÈDO, F.R.D., SCRIVENER, K., ENGLAND, G.L., GHAVAMI, K,Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibers in cement mortar composites ? ELSEVIER, Cement and concrete composite, volume 22, pp.127-143, 2000.

[28] SAVASTANO, Jr.H, AGOPYAN, V, Transition zone studies of vegetable cement paste composites, cement and concrete, composites, 21, pp.49-57, 1999.

- [29] SWAMY, R.N, Properties of high-strength concrete, Cement concrete and aggregates vol.8, N°1, pp.33-41,1986]
- [30] KHENFER, M. M, Caractérisation structurale et rhéologique des ciments et des plâtres renforcés de fibres cellulosiques, Thèse de docteur, université de Bordeaux, Juin 1990]
- [31] Guillaume.D, Comportement à long terme des fibres aramides en milieux neutres et alcalins, thèse, 18 septembre 2009)
- [32] Benneton.J J.-P., Blivet J.-C., Perrier H. *Hydrolyse alcaline des géotextiles polyesters (PET)*. Proceedings of Rencontres Géotextiles-Géo membranes, 1997:
- [33] G.G.Giménez « Aportaciones a la química Del esparto español ». Anales de l'Universidad de Murcia. Vol 13, N° 1. Curso 1954-55
- [34] USDA Plants Database, 1956
- [35] M.Rhanem « L'alfa (Stipa tenacissima L.) Dans la plaine de Midelt (haut bassin versant de la Moulouya, Maroc) –
Éléments de climatologie », Physio-Géo [En ligne], Vol 3 (janvier 2009)
- [36] H.N.Le Houérou « Considérations biogéographiques sur les steppes arides du nord de l'Afrique », Sécheresse, Vol 6, n° 2, pp. 167-182 (1995)
- [37] « L'alfa : Importance écologique et socio-économique », Portail de l'agriculture marocaine, Terre et Vie, N°61-62, (Novembre 2002)
- [38] M.Benchrik and S.Lakhdhari « Contribution à l'étude de l'entomofaune de la nappe alfatière de la région de Zaafrane. W.Djelfa », Mémoire de fin d'étude pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en agropastoralisme, Centre Universitaire ZIANE ACHOUR Djelfa (2002)
- [39] D.Nedjraoui « Adaptation de l'alfa (Stipa tenacissima L) aux conditions situationnelles », Thèse de Doctorat, Université des Sciences et de la technologie Houari Boumediene USTHB, Alger (1990)
- [40] A. Moulay, K.Benabdeli and A.Morsli « Contribution a l'identification des principaux facteurs de dégradation des steppes a Stipa tenacissima du sud-ouest Algérien », Mediterraena, Série de studios biológicos écopa II, n° 22, Universidad de Alicante (2011)
- [41] A.Brives, les terrains tertiaires du bassin du chelif 106 ex ORLEANSVILLE, notice explicative
- [42] N BOUHARAOUA .A, DJITLI Mohammed .N, Etude et prévision du gonflement dans la marnes du Pliocène d'Alger, mémoire, 2017

[43] BENAMAR I, BOUDAHRI A, Effet de l'urbanisation sur la perte de la ressource en sol dans les plaines de Chélif et de la Mitidja, mémoire, **Soutenu le** : 08 Juin 2016

[44] BARBILLAT, Jacques et BOUGEARD, Daniel et BUNTINX, Guy Technique de l'ingénieur TIB586DUA "Méthodes surfacique" ed T.I., France (1999) p : 2875

[45] Bragg W.H.; An introduction to Crystal analysis; G. Bell and sons, ltd, (1928)

[46] M.Dussert, carte géologique consulté par le service géologique de l'Algérie,1924

Les Annexes

Annexe 1: tableau des résultats de l'analyse granulométrie

Analyse granulométrique		Analyse sédimentométrique	
Tamis (mm)	Tamisât(%)	Diamètre équivalent (μm)	Tamisât(%)
10	100.00	65.60	30.49
5.00	92.73	46.80	29.45
2.00	81.63	33.40	28.43
1.00	68.61	21.50	26.38
0.40	47.09	15.30	25.35
0.20	33.39	11.00	23.30
0.10	32.68	7.90	21.25
0.08	32.28	5.70	18.17
		3.40	15.09
		1.40	9.95

Annexe 2: tableau des résultats de la limite de liquidité (w_L)

	1 ^{er} essai		2 ^{ème} essai		3 ^{ème} essai		4 ^{ème} essai	
Nombre de coups	17		23		26		35	
N° de la tare	114	95	125	74	124	58	159	92
Poids total humide(g)	24.89	29.55	22.64	26.41	27.24	24.62	23.40	23.17
Poids total sec(g)	22.10	25.73	19.90	23.41	24.08	21.98	20.81	20.72
Poids de la tare(g)	11.487	11.266	10.991	11.785	11.207	11.317	10.440	10.789
Poids de l'eau(g)	2.79	3.82	2.74	3	3.16	2.64	2.59	2.45
Poids du sol sec (g)	10.613	14.464	8.909	11.625	12.873	10.663	10.37	9.931
Teneur en eau (%)	36.00	36.01	35.02	35.09	34.23	34.33	33.02	33.05
Moyenne	36		35.06		34.28		33.03	

Annexe 3: tableau des résultats de limite de plasticité

N° de la tare	121	248	115
Poids total humide(g)	15.86	14.78	13.17
Poids total sec(g)	15.14	14.16	12.61
Poids de la tare(g)	11.117	10.740	11.321
Poids de l'eau(g)	0.72	0.62	0.56
Poids du sol sec (g)	4.023	3.42	1.289
Teneur en eau (%)	16.21	16.17	16.13
Moyenne	16.17		

Les Annexes

Annexe 4: tableau des résultats de l'essai Proctor

Pourcentage d'eau ajouté	10%	12%	14%
Poids d'eau ajouté (g)	500	600	700
Poids sol humide + moule(g)	15381	15584	15502
Poids du moule (g)	11049	11049	11049
Poids du sol humide(g)	4332	4535	4453
Volume du moule (cm³)	20.86	20.86	20.86
Densité sèche γ_d (t/m³) estimée	1.89	1.94	1.87
Densité sèche γ_d(t/m³) calculée	1.89	1.94	1.88

Annexe 5: tableau détermination d'essai Proctor

N° tare	T2021	A44	D10	T15	A2038	T2014
Poids sol humide +tare (g)	329.04	319.87	264.59	258.32	259.71	283.20
Poids sol sec+ tare (g)	106.29	297.67	244.40	238.32	234.64	258.71
Poids tare (g)	77.65	74.62	73.55	73.56	43.26	77.80
Poids eau (g)	22.75	22.2	20.19	20	25.07	24.49
Poids sol sec (g)	228.64	223.05	170.85	164.76	191.38	180.91
Teneur en eau W(%)	9.95	9.95	11.82	12.14	13.10	13.54
Moyenne (%)	9.95		11.98		13.32	

Les Annexes

Annexe 6: l'appareil de consolidation et le cisaillement

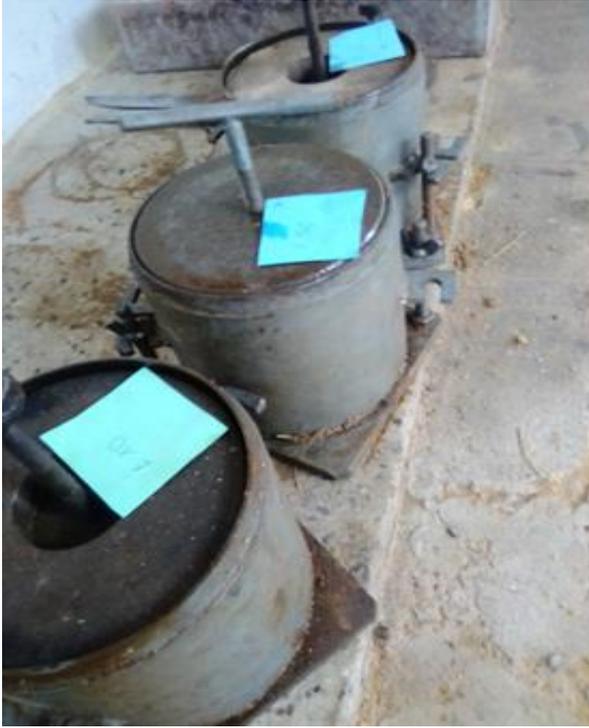


Annexe 7: la préparation d'essai cisaillement



Les Annexes

Annexe 8 : l'essai CBR et la machine de compactage



Annexe 9: la détermination de l'essai CBR



Les Annexes

Annexe 10: l'essai de cisaillement le sol avec la fibre synthétique 0.045%



Annexe 11: le traitement chimique de fibre d'Alfa



Les Annexes

Annexe 12 : la fibre d'Alfa après le traitement chimique



Annexe 13: préparation de l'échantillon pour mettre dans l'étuve



Les Annexes

Annexe 14 : l'agitateur de bleu de méthylène



Annexe 15: Les étapes d'essai VBS



Les Annexes

Annexe 16: l'aspect de VBS sur le papier filtre



Annexe 17: lavage du matériau pour l'essai granulométrie et sédimentométrie



Les Annexes

Annexe 18: reconstitution d'un échantillon



Annexe 19: le matériau plus la fibre d'Alfa pour la reconstitution



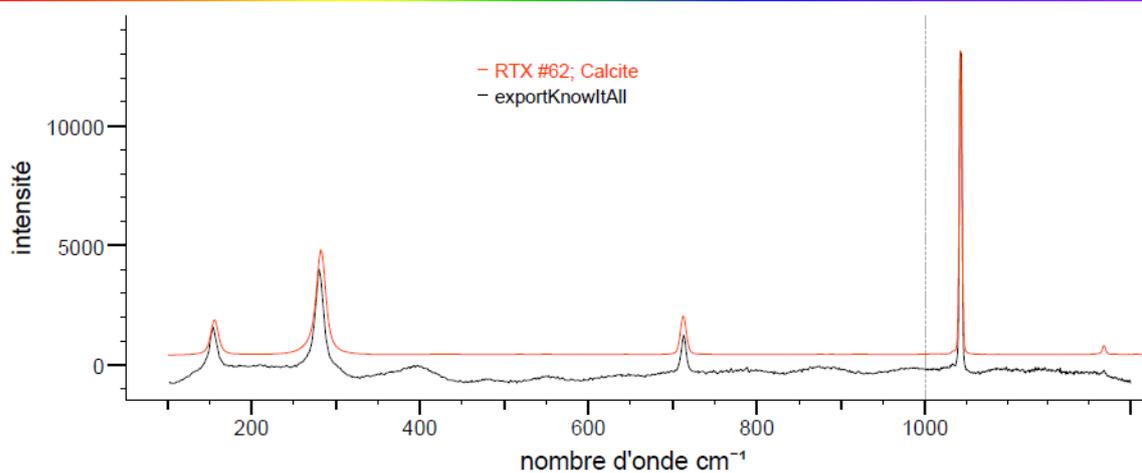
Les Annexes

Annexe 20: ASTM spectre Raman

BIO-RAD

Bio-Rad Laboratories
Informatics Division

22/06/2017 09:47

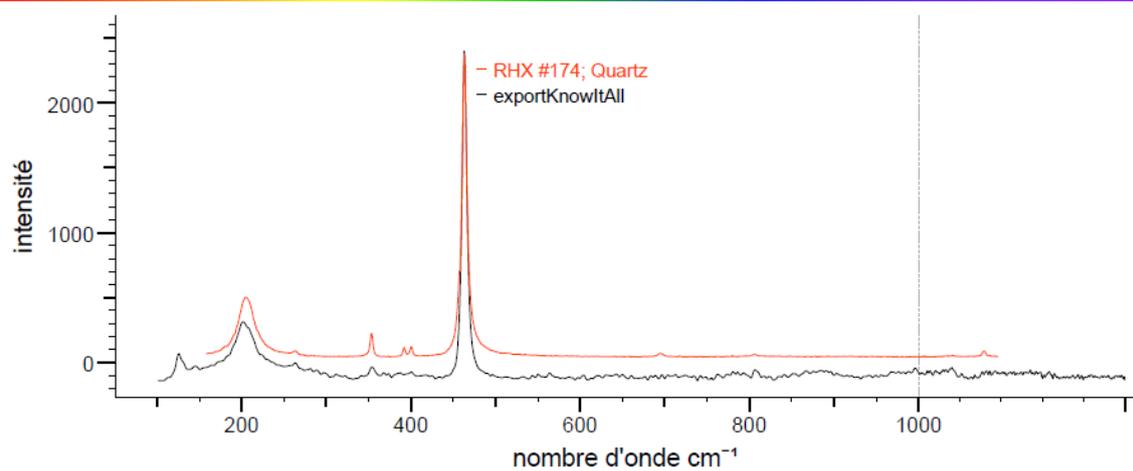


Annexe 21: ASTM spectre Raman

BIO-RAD

Bio-Rad Laboratories
Informatics Division

22/06/2017 10:04

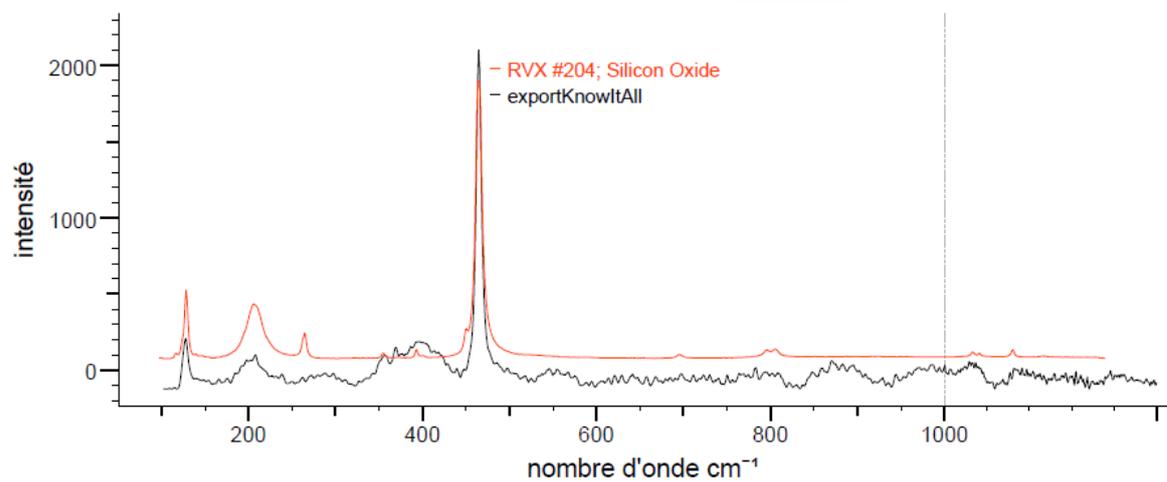


Annexe 22: ASTM spectre Raman



Bio-Rad Laboratories
Informatics Division

22/06/2017 09:59



PARTIE

THEORIQUE

CHAPITRE I
LA CHAUSSEE ET
DIMENSIONNEMENT DE
COUCHE DE FORME

CHAPITRE II

GENERALITE SUR LES FIBRES

VEGETALES

PARTIE

PRATIQUE

CHAPITRE III

MATÉRIEL ET MODE D'ESSAI



CHAPITRE IV
EVALUATION ET TRAITEMENT
DE MATERIAUX

REFERENCE

ANNEXE

INTRODUCTION

GENERALE

CONCLUSION

GENERALE