

**République Algérienne Démocratique et Populaire**  
**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**  
**École Nationale Polytechnique d'Alger**  
**Département du Génie de l'Environnement**



**MEMOIRE DE MASTER**

**THEME**

**Etude de la biodégradation des déchets de fibre de jute  
dans le sol**

**Présenté par : Monsieur SEMOUNE Mohammed Lamine**

**Soutenu le : 15/06/2015 devant le jury suivant :**

**Président : Mr. A. CHERGUI, MCA, ENP**

**Promotrices : Mme. B. BOUBEKEUR, MAA, Université de Boumerdès**

**Mme. N. BELHANECHÉ, Pr, ENP**

**Examineurs : Mme. N.LARDJANE, MCA, Université de Tizi Ouzou**

**Mr. H. BALOUL, MAA, Université de Boumerdès**

**Promotion : Juin 2015**

# *Dédicaces*

*A mes chers parents*

*Pour votre amour incommensurable, votre soutien indéfectible et pour tous les efforts et les sacrifices que vous avez déployés pour ma réussite, Que dieu tout puissant vous bénisse.*

*A ma femme Randa*

*A mes frères et ma sœur*

*A mes proches: Yasser, Bahi, Babi et Ghani*

*A toute ma famille*

*A mes collègues de l'ENP et l'EPST Annaba*

*A tous mes amis de Barika*

## **REMERCIEMENTS**

*Mes premières pensées se dirigent vers mes deux promotrices madame BOUBEKEUR Bahia maître assistante à l'université de Boumerdès, et madame BELHANECHÉ Naima, professeur à l'ENP, pour le formidable encadrement qu'elles m'ont accordé tout au long de ce travail. Je ne peux que les remercier, non seulement pour leurs compétences scientifiques, mais aussi pour leurs qualités humaines et pour la confiance qu'elles m'ont toujours témoignée. Merci*

*Je voudrais adresser mes vifs remerciements à Monsieur A. CHERGUI, maître de conférences à l'ENP, pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de présider le jury de ma soutenance.*

*J'adresse également ma profonde reconnaissance à madame N.LARDJANE maître de conférences à l'Université de Tizi Ouzou, et monsieur H. BALOUL maître assistant à l'Université de Boumerdès, pour avoir accepté de juger mon travail et de participer à mon jury en tant qu'examineurs.*

*Je remercie également tous les enseignants de la spécialité pour avoir contribué à ma formation.*

*Enfin, je remercie toute personne avec qui j'ai partagé des moments agréables à l'Ecole Nationale Polytechnique.*

## Liste des Figures :

Figure 1 : Classification des principales fibres végétales en fonction de leurs origines .....	4
Figure 2 : Structure complète d'une fibre de lin dans un faisceau .....	5
Figure 3: La plante de jute.....	9
Figure 4: Les fibres de Jute .....	9
Figure 5: Les différents usages du jute .....	12
Figure 6: Volumes et masses des constituants solides, liquides et gazeux du sol.....	14
Figure 7 : Profil de sol.....	18
Figure 8 : Triangle des textures minérales (USDA).....	20
Figure 9 : Fibres de jutes découpées.....	27
Figure 10 : Protocole de mesure de la densité par la méthode du pycnomètre.....	30
Figure 11 : Appareil de traction.....	31
Figure 12: La classe texturale USD du sol (Représentation du graphique triangulaire).....	32
Figure 13: Evolution de la perte de masse de la fibre de jute enfouis dans le sol en fonction du temps.....	33
Figure 14 : Densité des fibres brutes et enfouie dans le sol.....	34
Figure 15: Evolution du taux d'absorption d'eau des fibres brutes et des fibres enfouies dans le sol en fonction du temps.....	34
Figure 16 : Contrainte à la rupture de la fibre de jute brute et enfouie dans le sol.....	35
Figure 17 : Spectres infrarouges de la fibre brute et de la fibre enfouie dans le sol pendant 50 jours.....	36

## Liste des tableaux :

Tableau 1 : Composition chimique de quelques fibres végétales .....	6
Tableau 2 : Caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales.....	7
Tableau 3 : Avantages et inconvénients des fibres végétales .....	8
Tableau 4 : Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales .....	13
Tableau 5 : Composition chimique du jute .....	13
Tableau 6 : Granulométrie du sol .....	32

## Liste des annexes :

Annexe 1 : Perte de masse des fibres de jute enfouis dans le sol en fonction du temps.....	43
Annexe 2: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres brute.....	43
Annexe 3: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres enfouis dans le sol pendant 10 jours.....	43
Annexe 4: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres enfouis dans le sol pendant 20 jours.....	43
Annexe 5: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres enfouis dans le sol pendant 30 jours.....	44
Annexe 6: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres enfouis dans le sol pendant 40 jours.....	44
Annexe 7: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres enfouis dans le sol pendant 50 jours.....	44
Annexe 8 : Récapitulatif des valeurs moyennes de l'absorption d'eau des fibres brutes et enfouis dans le sol.....	45
Annexe 9 : Densité des fibres en fonction du temps d'enfouissement dans le sol.....	45
Annexe 10 : Densité des fibres brutes .....	45

## Liste des abréviations :

°C : Degré Celsius

cm : Centimètre

F0 : Fibre brute

F1S : Fibres du prélèvement n°1

F2S : Fibres du prélèvement n°2

F3S : Fibres du prélèvement n°3

F4S : Fibres du prélèvement n°4

F5S : Fibres du prélèvement n°5

FS : Fibre enfouie dans le sol

g : Gramme

GPa : Giga Pascal

IRTF : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

kg : kilo gramme

m : Mètre

mn : Minute

MPa : Méga Pascal

N : Newton

sec : Seconde

UV: ultra-violet

## Table des matières :

Dédicaces .....	i
Remerciement.....	ii
Liste des tableaux.....	iii
Liste des figures.....	iv
Liste d'annexes.....	iv
Liste des principales abréviations .....	v
Introduction générale.....	1

### Chapitre 1 : Généralités sur les fibres végétales, le sol et la biodégradation

I.1 Les fibres végétales.....	3
I.1.1 Définition des fibres végétales .....	3
I.1.2 Classification des fibres végétales .....	3
I.1.2.1 Les Fibres de Feuilles .....	3
I.1.2.2 Les Fibres de Tiges .....	3
I.1.2.3 Les Fibres de Bois.....	3
I.1.2.4 Les Fibres de Surface.....	4
I.1.3 Structure de la fibre végétale.....	4
I.1.4 Caractéristiques Chimiques des Fibres Végétales .....	5
I.1.4.1 La Cellulose .....	5
I.1.4.2 Hémicellulose.....	6
I.1.4.3 Lignine .....	6
I.1.5 Caractéristiques Physiques et Mécaniques des Fibres Végétales.....	6
I.1.6 Intérêt des fibres végétales .....	7
I.2 Le jute.....	8
I.2.1 La plante de jute.....	8
I.2.2 La fibre de jute.....	9
I.2.3 Processus d'élaboration .....	10
I.2.4 Les usages du jute .....	10
I.2.4 .1 Textile .....	11
I.2.4 .2 Géotextile.....	11
I.2.4.3 Plastiques .....	11
I.2.4.4 Substitut du bois.....	12

I.2.5 Les propriétés des fibres de Jute.....	12
I.3 Généralité sur le sol .....	13
I.3.1 Définition .....	13
I.3.2 Organisation du sol : phase solide liquide et gazeuse.....	14
I.3.3 Les constituants du sol.....	15
I.3.3.1 Les constituants minéraux.....	15
I.3.3.1.1 Les minéraux primaires.....	15
I.3.3.1.2 Les minéraux secondaires .....	16
I.3.3.2 La matière organique .....	17
I.3.4 Propriétés physico-chimiques du sol.....	18
I.3.4 .1 Pédogénèse.....	18
I.3.4 .2 La texture .....	19
I.3.4 .3 La structure .....	20
I.3.4 .4 La porosité.....	21
I.3.4 .5 La perméabilité .....	21
I.3.4 .6 pH.....	21
I.3.4 .7 Capacité d'échange ionique .....	21
I.3.5 Activité biologique du sol.....	22
I.3.5.1. La faune du sol.....	22
I.3.5.1.1. Composition.....	22
I.3.5.1.2 Rôle .....	22
I.3.5.2. La flore du sol .....	23
I.3.5.2. 1 Composition et classement.....	23
I.3.5.2.2 Les facteurs favorisant la flore du sol .....	23
I.4 La biodégradation dans le sol .....	24
I.4.1 Définition de la biodégradation .....	24
I.4.2 Processus de la biodégradation.....	24
I.4.3 Facteurs influençant la biodégradation.....	25
I.4.3.1 Les paramètres physico-chimiques du milieu de dégradation .....	25
I.4.3.2 Les paramètres microbiologiques du milieu de dégradation .....	25
I.4.3.3 La structure et les propriétés des fibres.....	25

## **Chapitre 2 : Matériel et méthodes**

II.1 Découpage des fibres .....	27
---------------------------------	----

II.2 Préparation du sol.....	27
II.3 Le sol.....	28
II.3.1 Evolution du pH.....	28
II.3.2 Evolution de l'humidité du sol .....	28
II.3.3 Analyse du sol.....	28
II.4 Les fibres de jute .....	29
II.4.1 Evolution de la perte de masse : .....	29
IV.4.2 Mesure de la densité.....	29
IV.4.3 Evolution de l'absorption d'eau.....	30
IV.4.4 Caractérisation mécanique .....	30
IV.4.5 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR).....	31
IV.4.5.1 Préparation des pastilles de KBr .....	31
<b>Chapitre 3: Résultats et interprétations</b>	
III.1 Caractéristique du sol .....	32
III.1.1 Evolution du pH .....	32
III.1.2 Evolution de l'humidité du sol.....	32
III.1.3 Matière organique dans le sol .....	32
III.1.4 Analyse du sol.....	32
III.1.4.1 Analyse granulométrique .....	32
III.1.4.2 Matières organiques .....	33
III.1.4.3 Réserves minérales :.....	33
III.2 Evolution des caractéristiques des fibres de jute en fonction du temps .....	33
III.2.1 Evolution de la Perte en masse.....	33
III.2.2 Evolution de la densité .....	34
III.2.3 Evolution de l'absorption d'eau .....	34
III.2.4 Essai de traction sur les fibres .....	35
III.2.5 Analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier .....	36
Conclusion générale.....	37
Références bibliographique.....	38
Annexes.....	43

# **INTRODUCTION GENERALE**

---

## Introduction Générale

Depuis la fin du XIXème siècle, le secteur industriel s'est développé sans préoccupation des rejets d'éléments toxiques dans les sols. En fait, le sol a été longtemps considéré comme une ressource renouvelable, voire même inépuisable à l'échelle des générations humaines, capable de recevoir sans conséquence les rejets de nos activités. On sait maintenant que les sols sont caractérisés par un équilibre fragile et sont vulnérables.

Depuis quelques années, les dangers potentiels des pollutions pour l'équilibre écologique et la santé publique sont considérés avec une inquiétude croissante par les pouvoirs publics [1].

La prise de conscience actuelle face aux problèmes de pollution et la nécessité de protéger l'environnement ont focalisé sur l'utilisation des produits biodégradables, issus de sources renouvelables telle que les fibres naturelles [2].

Le début du XXIème siècle a marqué le retour des industries aux fibres végétales. Avec l'intérêt croissant à l'environnement et l'encouragement des gouvernements et des institutions à l'investissement durable, la tendance est de s'orienter vers ce type de fibres écologiques et fonctionnelles. Ce retour est d'autant plus important que les ressources pétrolières sont de plus en plus rares et coûteuses

Les fibres végétales cumulent de nombreux atouts : ressources renouvelables et abondantes, faible coût, non toxicité, faible densité et possibilité de recyclage. C'est l'ensemble de ces qualités qui justifient leur utilisation comme renforts dans les matériaux composites.

Diverses industries telles que le domaine textile, le bâtiment et l'automobile etc... utilisent les fibres végétales comme matière première [3].

L'objectif de ce travail consiste à apporter notre contribution à la valorisation d'un déchet solide : les fibres végétales de jute et de l'intégrer comme renfort dans l'élaboration d'un matériau respectueux de l'environnement.

A cet effet, nous avons étudié la biodégradation des déchets de fibres de jute provenant de la société Algérienne "Tapis D'or". L'étude s'est focalisée sur:

- ✓ L'évolution de la perte de masse en fonction du temps d'enfouissement dans le sol,
- ✓ la sensibilité à l'eau, à travers son absorption totale et son gonflement,
- ✓ l'évolution de la densité en fonction du temps d'enfouissement dans le sol,

- 
- 
- ✓ la variation de la contrainte à la rupture après enfouissement dans le sol,
  - ✓ L'analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier pour compléter et confirmer ou non les résultats des propriétés étudiés ci-dessus.

Le présent mémoire se divise en trois chapitres. Le chapitre I comporte une recherche bibliographique suivie du chapitre II qui regroupe la méthodologie expérimentale alors que le chapitre III regroupe les résultats et leurs interprétations.

Enfin, on termine par une conclusion générale suivie des annexes.

# **Chapitre 1**

## **Généralités sur les fibres végétales, le sol et la biodégradation**

## **I.1 Les fibres végétales**

### **I.1.1 Définition des fibres végétales**

Les fibres végétales sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine avec une proportion relativement faible d'extractibles non azotés, de matière protéique brute, de lipides et de matières minérales. Les proportions de ces constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante [4- 5].

### **I.1.2 Classification des fibres végétales**

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

#### **I.1.2.1 Les Fibres de Feuilles**

Ces fibres sont obtenues grâce au rejet des plantes monocotylédones. 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 [6].

#### **I.1.2.2 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. Elles 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, de urena et de chanvre [7].

#### **I.1.2.3 Les Fibres de Bois**

Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes [7].

### I.1.2.4 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 [8].

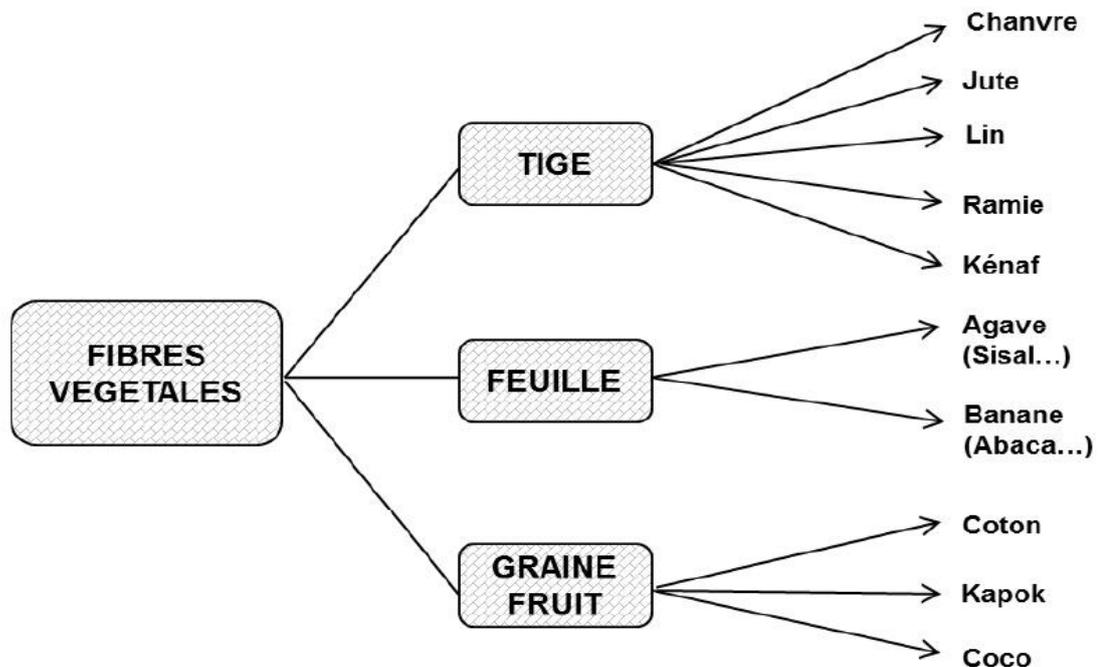


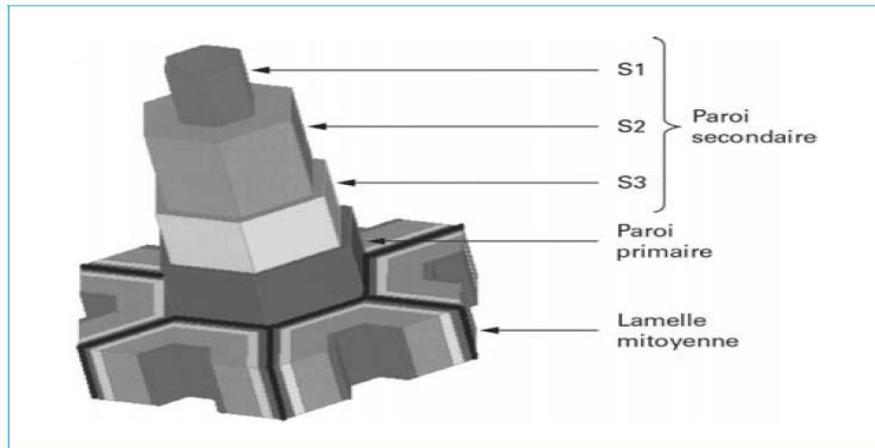
Figure 1 : Classification des principales fibres végétales en fonction de leurs origines [8].

### I.1.3 Structure de la fibre végétale

La fibre végétale est un composite en elle-même. Le renfort est constitué par les couches de microfibrilles cellulosiques en partie cristalline. Ce dernier est enrobé d'une matrice polysaccharidique amorphe (hémicellulose et pectine) qui est associée par liaison hydrogène et covalentes à la lignine [9].

La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l'axe de la fibre et disposée en couche superposée dans le sens radial.

Ces différentes couches forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. Ces dernières bordent un lumen de diamètre variable suivant l'espèce. La paroi secondaire est composée de trois couches de microfibrilles (S1, S2, S3) (Figure 2).



**Figure 2: Structure complète d'une fibre de lin dans un faisceau [10].**

De manière générale, l'examen des parois cellulaires peut être effectué à différentes échelles d'observation et se décompose en [10] :

- macrofibrilles de 0,5  $\mu\text{m}$  de diamètre.
- microfibrilles de 10 à 30 nm de diamètre.
- fibrilles élémentaires appelées micelles de 3,5 à 5 nm de diamètre.
- molécules de cellulose ; une micelle est constituée d'environ 50 à 100 molécules de cellulose.

#### **I.1.4 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 [8].

##### **I.1.4.1 La Cellulose**

C'est la principale composante des fibres végétales. C'est un polymère naturel de premier plan. Généralement, les fibres végétales sont constituées par une chaîne de fibres en cellulose [8].

### I.1.4.2 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 [8].

### I.1.4.3 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 1 présente la composition chimique de quelques fibres végétales (noix de coco, sisal, jute et palmier dattier) reproduit selon [11,12]

**Tableau 1 : Composition chimique de quelques fibres végétales [11,12]**

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

### I.1.5 Caractéristiques Physiques et Mécaniques des Fibres Végétales

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre sa densité et sa 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 (Tableau 2).

**Tableau 2 : Caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales [13].**

Fibres	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Allongement à la rupture (%)	Résistance à la traction (MPa)	Module de Young (GPa)	Référence
Cotton	1,5-1,6	7,0-8,0	587-597	5,5-12,6	[8]
Jute	1,3	1,5-1,8	393-773	26,5	[8]
Lin	1,5	2,7-3,2	345-1035	27,6	[8]
Chanvre	--	1,6	690	--	[8]
Ramie	--	3,6-3,8	400-938	61,4-128	[8]
	--	2,6	278	--	[8]
Sisal	1,37	5,2	363	15,2	[14]
Noix de coco	1,2	30,0	175	4,0-6,0	[8]

Le tableau 2 montre que les valeurs de la densité des différentes fibres sont très rapprochées, alors que leurs résistances à la traction et leurs modules d'élasticité sont très variables. Cela est dû à la variation de leur composition chimique et leur texture et spécialement l'orientation de leurs filaments et leur angle spiral [13].

### I.1.6 Intérêt des fibres végétales

Les fibres végétales possèdent des caractéristiques mécaniques très intéressantes. Elles trouvent donc des applications dans les domaines de l'ingénierie, de l'électronique et de l'automobile [15].

Les avantages et les inconvénients des fibres naturelles sont regroupés dans le Tableau 3.

**Tableau 3: Avantages et inconvénients des fibres végétales [15].**

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biodégradabilité</li> <li>- Faibles coûts</li> <li>- Densité faible</li> <li>- Absence de résidu après incinération</li> <li>- Entièrement recyclables</li> <li>- Neutre pour l'émission de gaz carbonique</li> <li>- Propriétés mécaniques identiques aux renforts traditionnels</li> <li>- Bonnes propriétés d'isolation phonique et thermique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biodégradabilité</li> <li>- Absorption d'eau</li> <li>- Les conditions de culture et de conservation influent sur les propriétés des fibres</li> <li>- Faible résistance au feu (200-230°C)</li> <li>- Faible stabilité dimensionnelle</li> <li>- Anisotropie des fibres</li> <li>- Renfort discontinu</li> </ul>

## I.2 Le jute

### I.2.1 La plante de jute

Communément connu sous le nom de jute, le *Corchorus Capsularis* est une plante tropicale de laquelle on extrait la fibre de jute. Le jute, tout comme le coton, sont les plantes les plus utilisées au niveau mondial. Plusieurs espèces peuvent être exploitées pour produire la fibre de jute, mais il existe principalement deux espèces cultivées à cet effet qui sont le *Corchorus Capsularis* et le *Corchorus Olitorius*.

La plante est de type herbacé et d'une hauteur d'environ 3-4 mètres de hauteur. La tige possède une grosseur d'environ deux centimètres de diamètre. Les feuilles pétiolées, de limbe triangulaire sont d'environ 15 centimètres de long et 5 cm de large, elles sont de petites tailles et de couleur jaune [16].



**Figure 3 : La plante de jute.**

### **I.2.2 La fibre de jute**

La fibre de jute exploitable correspond aux vaisseaux de phloème situés sous l'écorce de la tige principale, elle est longue, douce et brillante. Sa longueur va de 1 à 4 mètres et son diamètre de 17 à 20 microns. Elle est essentiellement composée de cellulose et de lignine. Les méthodes de rouissage utilisées pour séparer l'écorce filamenteuse de la tige peuvent être biologiques ou chimiques, mais les premières sont plus répandues compte tenu du coût des produits chimiques. Le rouissage biologique englobe plusieurs techniques consistant à lier les tiges en faisceaux avant de les faire tremper afin de séparer plus facilement les fibres de la tige. On gratte ensuite la matière non fibreuse, ce qui permet enfin d'arracher les fibres [17].

Cette fibre naturelle d'aspect soyeux est surnommée « fibre d'or » en raison de ses reflets. Il s'agit d'une culture annuelle qui prend environ 120 jours pour arriver à maturité [17]. Le jute est caractérisé par une forte résistance à la traction, une faible extensibilité, une faible conductivité thermique et une bonne isolation. Il est de nos jours utilisé comme nouveau matériau de construction et d'emballages 100% recyclables.



**Figure 4 : Les fibres de Jute.**

### I.2.3 Processus d'élaboration

Certaines conditions sont nécessaires pour la culture du jute : un climat chaud et humide. Le sol doit être de type alluvial ou argilo-sableux. Le jute pousse dans les endroits de pluies abondantes où les précipitations moyennes se situent entre 75-100 mm pendant la phase de croissance.

Les graines sont généralement plantées entre les mois de Mars, Avril, Mai et Juin. La terre doit être labourée et fertilisée. Le semage se réalise en laissant un espace de 15 cm entre les graines. Deux ou trois jours plus tard, les graines commencent à germer, mais c'est seulement après 3 ou 4 mois que la plante fleurit. Un mois après la floraison et avant que les fruits mûrissent, on coupe les tiges à hauteur du sol. Durant cette période, on procède deux ou trois fois au désherbage de la plante et au ratissage du terrain [18].

Les plantes, coupées et liées en bottes, sont ensuite séchées, postérieurement, les feuilles et les branches. Le processus suivant consiste à tremper les bottes. On sépare du tronc les fibres de jute que l'on fait sécher à une température d'environ 30 degrés durant trois semaines. Il est important que ce procédé se réalise correctement, dans le cas contraire, la fibre devient gluante, difficile à filer et peu lumineuse. Les fibres mesurent entre 1 et 4 mètres et sont de couleur blanche-jaunâtre, jaune ou brune. On effectue à nouveau un séchage de la fibre, on la plie au centre, elle est ensuite entassée en balles, c'est sous cette forme qu'elle sera ensuite vendue.

La fibre de jute constitue uniquement 6% du poids de la plante. Le processus de production est long et requiert une main d'oeuvre importante, l'extraction de la fibre s'effectue totalement manuellement [16].

### I.2.4 Les usages du jute

Le jute est une fibre polyvalente. Avec la révolution industrielle, il a largement devancé le lin et le chanvre dans la fabrication des sacs, lesquels représentent aujourd'hui encore l'essentiel des produits issus de cette fibre. Le jute a comme caractéristique intéressante de pouvoir être utilisé indépendamment aussi bien qu'avec diverses fibres et matières. S'il est de plus en plus souvent remplacé par des matières synthétiques, certains fabricants tirent parti de sa biodégradabilité pour des usages où ces dernières seraient inadaptées. On le retrouve par exemple dans des toiles pour mottes, destinées à la plantation de jeunes arbres, ou encore dans les géotextiles, pour lutter contre l'érosion et maintenir les sols. Ces produits se désagrègent et il est donc inutile de les retirer du sol.

Le jute présente d'autres avantages. Bon isolant, il est doté de propriétés antistatiques intéressantes et affiche une faible conductivité thermique; sa capacité de rétention de l'humidité est moyenne [17].

#### **I.2.4 .1 Textile**

La fibre de jute brute convient mal à la fabrication textile du fait d'une forte teneur en lignine. Néanmoins, des techniques de délignification et le mélange avec d'autres fibres comme le coton permet d'obtenir des fils d'une qualité suffisante pour la fabrication de vêtements. Par ailleurs, les techniques employées avec les fibres du même genre (chanvre, raphia, lin, ..) peuvent aussi s'appliquer à la fibre de jute afin de la rendre apte à la fabrication textile.

Les textiles contenant du jute peuvent subir les mêmes traitements qu'un textile normal: blanchiment, teinture, apprêts, ...

Le jute peut ainsi être utilisé pour produire des pièces de tissu, des couvertures et des vêtements [17].

#### **I.2.4 .2 Géotextile**

Une des applications les plus récentes du jute a été réalisée dans le domaine des géotextiles. Grâce à ses propriétés particulières (forte teneur en lignine et tissabilité de la fibre), le fil de jute peut servir à la confection d'un maillage lâche destiné à être posé sur les sols.

Ce genre de tapis retient la terre et limite ainsi l'érosion. Sa complète biodégradabilité en fait un produit écologique et par la même occasion fertilisant (2 tonnes d'apport de matière organique par are en 2 ans).

Ce "tapis" peut servir également de protection pour les racines et les graines en conservant une humidité minimum au niveau du sol. Les utilisations agronomiques sont par ailleurs nombreuses [17].

#### **I.2.4.3 Plastiques**

La fibre de jute peut servir à renforcer la matière plastique. Le mélange granules de plastique et fibres de jute peut remplacer le plastique pur dans tous les types de produits à base de plastique.

Compte tenu du prix moins élevé du jute et de la possibilité d'intégrer jusqu'à 40% de jute (en poids de produit fini), ce procédé est une substitution intéressante. Ce procédé est notamment expérimenté dans la fabrication automobile [17].

**I.2.4.4 Substitut du bois**

Le jute peut être utilisé comme substitut du bois dans deux domaines: la papeterie et le mobilier. La fabrication de planches nécessite l'utilisation d'une technologie d'assemblage par résine à chaud. Les produits finis sont des portes, encadrements de fenêtres, couvertures de toits (en remplacement de la tôle ondulée), etc. Ces produits sont résistants à la vermine, au feu, ne gonflent pas à l'humidité et peuvent être enduits avec des peintures classiques [17].

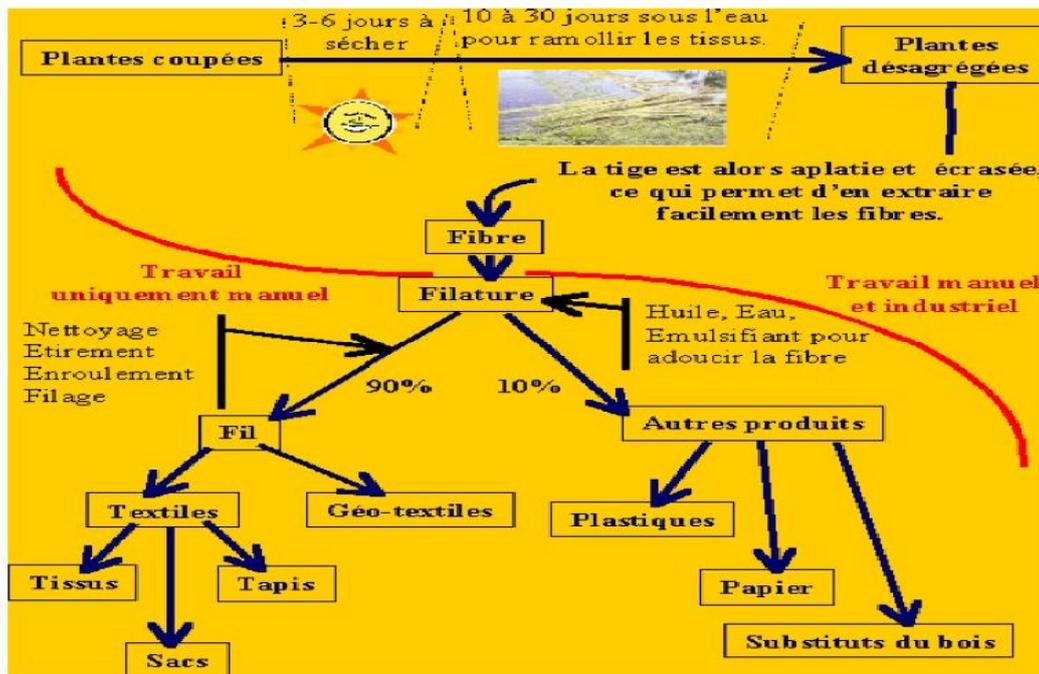


Figure 5 : Les différents usages du jute.

**I.2.5 Les propriétés des fibres de Jute**

L'angle microfibrillaire ainsi que le pourcentage total de cellulose sont les paramètres les plus déterminants au regard des propriétés mécaniques de la fibre [19].

Tableau 4 : Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales [19].

Fibres	Longueur de la fibre (mm)	Diamètre de la fibre ( $\mu\text{m}$ )	Angle micro fibrillaire ( $^\circ$ )
Cotton	35	10-45	-
Lin	4-77	5-76	10
Chanvre	5-55	10-51	6,2
Kénaf	2,5-4,5	14-33	-
Jute	2,5	5-25	8
Sisal	900	8-50	20
Rami	900-1200	20-80	7,5
Noix de coco	0,3-1	12-24	45

La composition chimique de la fibre de jute est donnée par le tableau 5.

Tableau 5: Composition chimique du jute [20].

Constituant	Pourcentage
Cellulose :	65,2
Hémicellulose :	22,2
Lignine :	10,8
Eau :	1,5
Graisse et cire	0,30

### I.3 Généralité sur le sol

#### I.3.1 Définition

Le sol est la couche superficielle, meuble, de la croûte terrestre d'épaisseur variable, qui résulte de l'altération des roches sous-jacentes (roche mère) et de la dégradation des matières organiques, sous l'influence d'agents biologiques (végétation, faune du sol, etc.), chimiques et physiques (précipitations, variations de température, etc.) [21].

### I.3.2 Organisation du sol : phase solide liquide et gazeuse

Le sol est constitué de 3 phases entremêlées : Une phase solide, constituée de minéraux, d'associations de minéraux et de constituants organiques; une phase liquide constituée d'eau, aussi appelée solution du sol ; et une phase gazeuse, aussi appelée l'atmosphère du sol, dont la constitution est proche de l'air atmosphérique. Chacune de ces phases peut être caractérisée indépendamment des autres, mais elles sont en réalité intimement mêlées. Ce mélange n'est pas 'amorphe', et on distingue différents échelles d'organisation dans l'agencement de ces constituants. Le sol est un milieu tridimensionnel organisé, structuré, qui peut être observé sur des échelles dont les dimensions varient de plusieurs ordres de grandeur, depuis l'agencement des feuilletés minéraux des argiles qui composent sa phase solide, jusqu'à l'agencement complexe des couches de sol qui constituent la couverture pédologique.

Bien que ces trois phases soient entremêlées, chacune d'elle peut être définie par sa masse, et par le volume qu'elle occupe dans le sol. La figure 6 illustre la répartition des masses et des volumes du sol, comme deux points de vue sur un même objet.

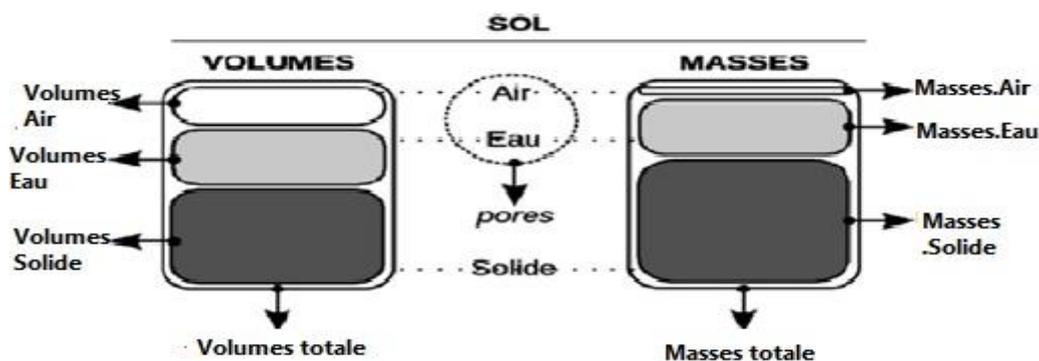


Figure 6 : Volumes et masses des constituants solides, liquides et gazeux du sol [22].

Les particules minérales et les constituants organiques ne sont pas regroupés en bloc comme le suggère la figure 6, mais sont disposés selon un arrangement complexe qui dégage des espaces libres, la porosité, parfois appelée abusivement 'vides' du sol. Le volume total du sol est donc constitué du volume occupé par la phase solide, et du volume des espaces libres [22].

Les volumes libres sont occupés par la phase liquide (l'eau) et par la phase gazeuse du sol (l'air). La phase liquide remplit une partie des espaces libres, et la phase gazeuse remplit les espaces laissés libres par le solide et par la phase liquide.

Si l'eau vient à percoler ou à s'évaporer, de l'air la remplace. Si de l'eau supplémentaire s'infiltré dans le sol, elle chasse l'air des espaces libres. En résumé, la phase solide (minérale) occupe un volume constant (ou considéré comme tel à court terme) dans le sol. La phase liquide (eau), en quantité très variable, occupe tout ou partie du volume laissé libre par la phase solide. La phase gazeuse (air) occupe l'espace restant.

Le 'sol sec' est une appellation commune pour désigner le sol sans sa phase liquide (remplacée par de l'air). On obtient ce sol sec par un séchage prolongé à 105°C, mais le terme désigne aussi communément la phase solide d'un sol (sol qui n'a pas forcément été séché). Ainsi, on exprimera l'abondance des différentes fractions qui constituent la phase solide du sol en unité de masse par unité de masse de sol sec (e.g : g de CaCO<sub>3</sub>. kg de sol sec<sup>-1</sup>).

La solution du sol désigne la phase liquide du sol et les éléments solubles ou en suspension qui s'y trouvent. Ces éléments peuvent être des substances chimiques, des molécules organiques ou des particules en suspension (colloïdes) [22].

### **I.3.3 Les constituants du sol**

Le sol comprend quatre éléments principaux: l'air, l'eau, les constituants minéraux et la matière organique. Ce mélange n'est pas 'amorphe', et on distingue différents niveaux (différentes échelles) d'organisation dans l'agencement de ces constituants. Le sol est un milieu tridimensionnel organisé, structuré, qui peut être observé sur des échelles dont les dimensions varient de plusieurs ordres de grandeur, depuis l'agencement des feuillets minéraux des argiles qui composent sa phase solide, jusqu'à l'agencement complexe des couches de sol qui constituent la couverture pédologique.

#### **I.3.3.1 Les constituants minéraux**

##### **I.3.3.1.1 Les minéraux primaires**

Les minéraux primaires des sols tels que quartz, feldspaths, micas..., sont hérités de la roche mère, grâce aux processus de désagrégation mécanique [23].

Les argiles sont décrites en termes pédologiques et granulométriques comme les particules du sol dont le diamètre est inférieur à 2 µm. Ce sont des silicates d'aluminium plus ou moins hydratés, microcristallins, à structure en feuillets (phylloïtes), provenant de l'altération géochimique et biochimique progressive des minéraux primaires du sol dépourvus de divers éléments tels que le fer, le magnésium et le calcium [23].

### I.3.3.1.2 Les minéraux secondaires

#### A- Les argiles

Les argiles présentent surtout deux caractéristiques essentielles qui en font des minéraux diversement réactifs :

D'une part, les argiles ont une structure formée d'une superposition de feuillets (silicates d'aluminium plus ou moins hydratés, microcristallins) qui leur confère une surface spécifique interne très variée [23].

D'autre part, les argiles se caractérisent par une surface électrique non neutre, qui détermine leurs capacités d'échanges ioniques. Ces minéraux portent en fait deux types de charges.

La première, de signe négatif est liée aux substitutions  $Al^{3+}$ - $Si^{4+}$  ou  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ - $Al^{3+}$  dans les feuillets de l'argile. La seconde, liée aux réactions chimiques qui se produisent à la surface des minéraux, est une charge de surface variable en fonction du pH du milieu [24].

#### B- Les oxydes et hydroxydes

Les (hydr) oxydes de fer et d'aluminium, sous forme amorphe ou cristalline, sont des constituants communs dans les sols naturels. Les (hydr) oxydes de fer sont les plus abondants ( $Fe_2O_3$ :hématite et maghémite;  $FeOOH$ : goethite).

Les (hydr) oxydes d'aluminium sont relativement moins fréquents. Enfin les (hydr) oxydes de manganèse, sont généralement minoritaires dans les sols naturels [25].

#### C- Les carbonates, phosphates, sulfates, sulfures et les chlorures

La forme prédominante des carbonates ( $R_2CO_3^{2-}$  ;  $R= Ca, Mg, Fe$ ) mais aussi beaucoup de métaux divalents présents dans les sols pollués tels que  $Pb, Zn, Cu$ , etc.) Dans la plupart des sols est la calcite ( $CaCO_3$ ). Assez soluble, cette espèce a une influence majeure sur le pH des sols et par conséquent sur les phénomènes de sorption de métaux. En outre, les réactions de dissolution / précipitation des carbonates favorisent le piégeage des ions métalliques au sein des cristaux formés [26].

Les phosphates (groupe  $PO_4^{3-}$ ) sont des minéraux peu abondants dans les sols, mais susceptibles, comme les carbonates, de substitution du calcium par des éléments métalliques divalents ( $Pb, Zn, Cu$ ), en particulier dans des sols à tendance basique [27].

Les sulfates (généralement de la forme  $R_2+SO_4$ ) et les arseniates (minéraux d'arsenic  $As^{5+}$  comprenant le groupement  $AsO_4^{3-}$ ), les sulfures ( $R+2S^{2-}$ ), les arseniures (minéraux d' $As^{3+}$ ) et les chlorures (principalement  $R+2Cl^{2-}$ ) sont des espèces présentes en quantité négligeable dans la plupart des sols, mais qui peuvent être abondantes en contexte industriel ou minier [28].

### I.3.3.2 La matière organique

La phase solide du sol est constituée de deux parties de nature chimique distinctes. Une partie minérale, de loin la plus abondante, qui dérive des matériaux géologiques aux dépens desquels le sol s'est développé, et une partie organique, qui dérive des débris végétaux tombés au sol et progressivement altérés et intégrés à celui-ci.

Une partie de ces débris est intégrée par la faune ou la microflore du sol. Un autre pool de produits de l'altération des résidus végétaux forme de nouvelles molécules organiques, par altération et/ou par condensation éventuelle d'une partie des produits de l'altération, ou produite par les microorganismes du sol. Cette formation de molécules organiques est appelée humification [29].

La phase ultime de l'altération des matières organiques du sol est sa minéralisation (transformation en molécules inorganiques), soit directement lors de son altération (minéralisation primaire), soit à partir des matières organiques humifiées (minéralisation secondaire). La macrofaune du sol (vers de terre, arthropodes, etc.), et la microflore (bactéries, champignons, etc.), morte ou vivante, et leurs sécrétions / excréments, ont un rôle de premier plan sur le fonctionnement et les propriétés de cette matière organique.

La quantité de débris végétaux qui arrive au sol chaque année, et les vitesses des différents processus (intégration biologique, humification, minéralisation) déterminent l'équilibre qui s'établit entre eux et la quantité globale de matières organiques stockée dans le sol. Les natures biochimiques des matières organiques sont très variées, de même que leur temps moyen de résidence dans le sol (lié à leur stabilité).

La nature biochimique des matières organiques et les processus qui aboutissent à leur formation et leur minéralisation ne sont pas développés ici, du fait notamment de leur complexité. La nature biochimique des matières organiques n'en est pas moins essentielle, notamment pour la réactivité du sol vis-à-vis des substances organiques anthropiques / exogènes qui peuvent y être apportées [30].

La partie organique du sol est caractérisée en premier lieu par son abondance, exprimée en grammes de matières organiques par kilogramme de terre fine [ $\text{g.kg}^{-1}$ ], comme pour les fractions granulométriques. Le carbone est un élément majeur dans la constitution des molécules organiques. Le dosage du carbone organique du sol est plus aisé que celui de la matière organique totale. Pour cette raison, on utilise souvent la teneur en carbone organique comme expression de l'importance de la partie organique du sol (exprimée aussi en [ $\text{g.kg}^{-1}$ ]).

Le rapport entre la teneur en matière organique et la teneur en carbone organique est relativement constant. Ce rapport se situe en général autour de 1,72 g de matières organiques par g de carbone organique. Ce rapport est généralement utilisé pour estimer la teneur en matière organique à partir de la teneur en carbone organique [30].

### I.3.4 Propriétés physico-chimiques du sol

#### I.3.4 .1 Pédogénèse

Le sol apparait, s'approfondit et se différencie en strates superposées, les horizons pédologiques, qui forment le profil pédologique. Il atteint finalement un état d'équilibre avec la végétation et le climat. Classiquement, les principaux horizons sont les suivants:

- \* Horizon A: horizon de surface à matière organique (débris de végétaux)
- \* Horizon C: roche peu altérée
- \* Horizons B: horizons intermédiaires apparaissant dans les sols évolués.

Les sols peu évolués ont un profil AC, les sols évolués ont un profil ABC. Les horizons B sont formés par l'altération de la roche ou par les mouvements de matière depuis A [31].

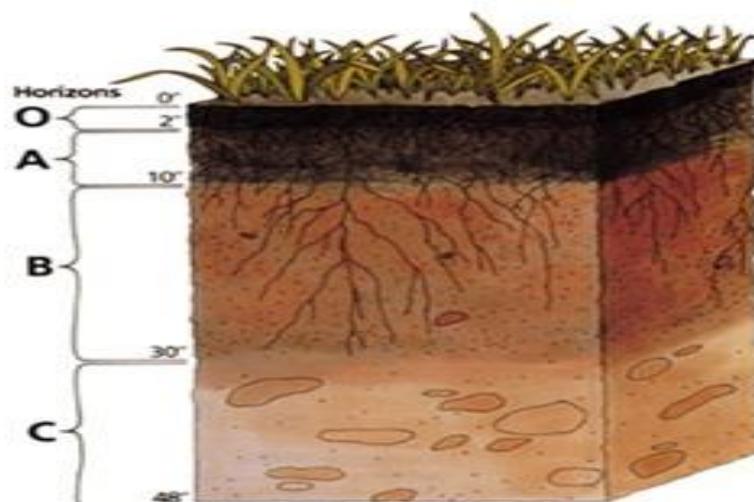


Figure 7 : Profil de sol.

### I.3.4 .2 La texture

La texture des sols se réfère à la proportion des différentes particules des sols à l'état primaire. Les unités texturales sont le sable, le limon et l'argile.

Les méthodes d'analyse granulométriques sont nombreuses. Les principales sont : les tamis superposés, la combinaison hydromètre-pipette, la centrifugation, l'élutriation et la décantation.

On définit différents types de sols :

- Sol sableux
- Sol argileux
- Sol limoneux

La connaissance de la texture permet d'indiquer les tendances du sol quant à ses qualités physiques :

- Les sols riches en sables sont perméables, filtrants, ce d'autant plus que le sable est grossier.
- Si aux éléments grossiers, s'adjoignent beaucoup de sable fin et de limon, ceux-ci tendent à colmater les interstices entre les éléments grossiers, rendant le sol plus ou moins imperméable.
- Si des proportions suffisantes d'argile s'ajoutent aux limons et aux sables, surtout en présence d'humus, une structure fragmentaire peut prendre naissance, garantissant, à la fois, une perméabilité tout en retenant assez d'eau pour la végétation.

La texture du sol agit aussi sur la distribution et l'activité des organismes du sol et sur leurs interactions [32]. Par exemple, elle influence la survie des bactéries, en affectant leur niveau de protection contre les nématodes ou les protozoaires [33]. La pression de prédation des nématodes bactérivores sur les bactéries est plus élevée dans les sols sableux que dans les sols limoneux et argileux [34].

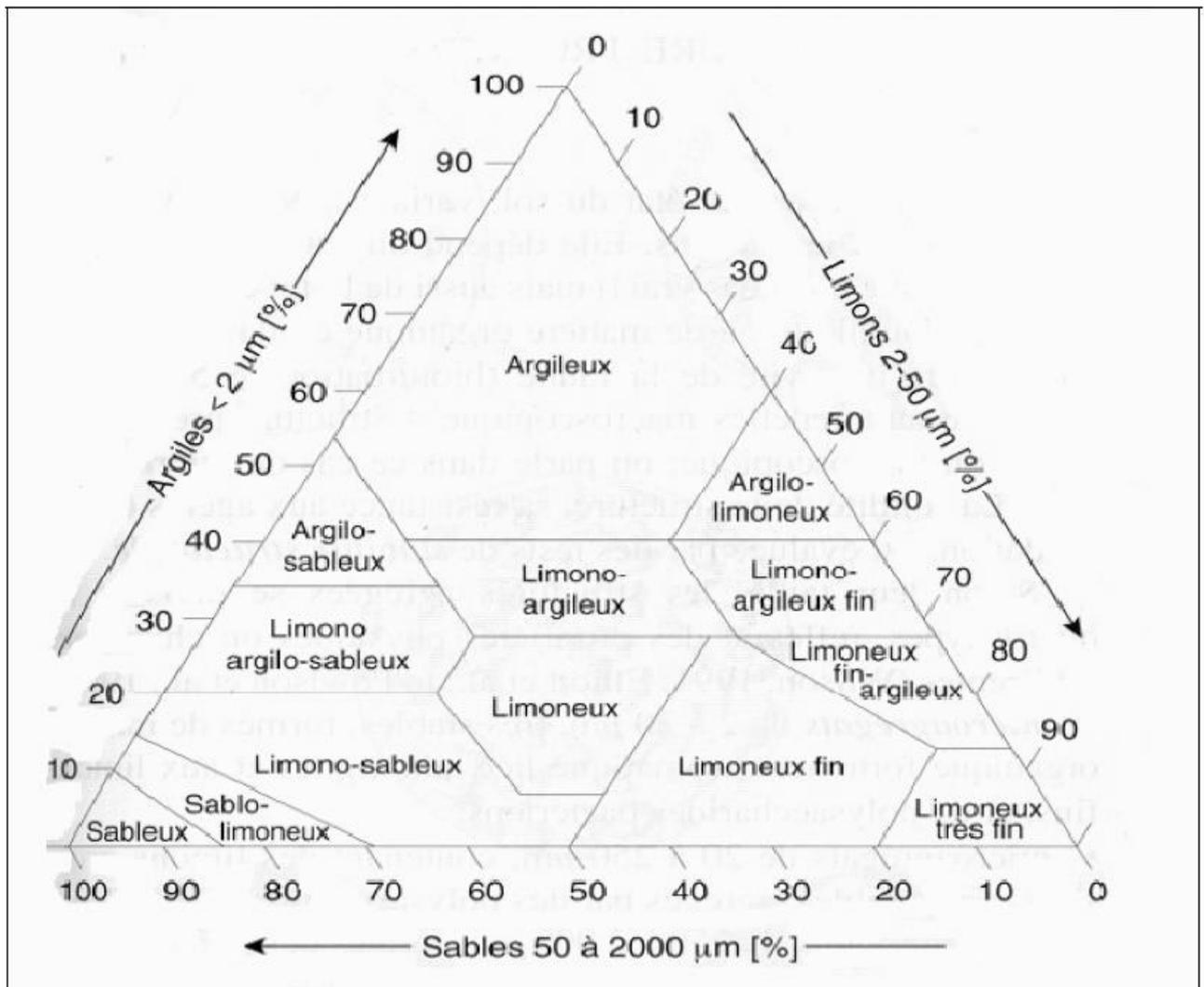


Figure8 : Triangle des textures minérales (USDA) [35].

### I.3.4.3 La structure

La structure est un état du sol, variant à court terme, par exemple selon les saisons. Elle dépend directement de la texture, du taux d'humidité ou de matière organique et, dans une large mesure, de l'activité de la faune.

Les changements affectant la structure du sol modifient la circulation de l'eau. Celle-ci est très rapide dans les structures particulières grossières, moyenne dans les formes grumeleuses, presque nulle en cas de forte compaction [35].

#### I.3.4.4 La porosité

La porosité du sol est l'ensemble des interstices (connectés ou non) d'une roche ou d'un autre matériau pouvant contenir des fluides (liquide ou gaz). C'est le volume des vides du matériau rapporté au volume total du matériau. Cette valeur est usuellement appelée  $\varepsilon$  [36].

#### I.3.4.5 La perméabilité

Il s'agit de l'aptitude d'un sol, d'un sédiment, d'un réservoir à se laisser drainer par l'eau, sous l'effet d'un gradient hydraulique. Elle exprime la résistance d'un milieu à l'écoulement de l'eau qui le traverse. Elle dépend de la structure et de la texture du sol considéré [37].

#### I.3.4.6 pH

Les valeurs du pH du sol sont déterminantes quant à l'activité des micro-organismes et à leur sélection. Certains sont prédominants à des pH bas, tels que les champignons qui sont très tolérants à l'acidité alors que d'autres sont actifs à des pH élevés tels que les actinomycètes.

Le pH du sol est également important pour la solubilité des éléments nutritifs et leur biodisponibilité [37].

#### I.3.4.7 Capacité d'échange ionique

C'est la principale propriété chimique qui caractérise le sol par rapport à une roche mère qui en est le plus souvent dépourvue. Elle exprime le nombre d'ions échangeables par unité de poids de sol.

Selon les ions mis en jeu [38,39], on distingue :

- La capacité d'échange cationique : elle est très dépendante de la texture du sol, et plus particulièrement de la teneur en argile et en matière organique.

- La capacité d'échange anionique : selon que les anions soient actifs ou inactifs on distingue :

\*dans le cas des acides humiques et fulviques ou des phosphates que les échanges ne sont que faiblement réversibles. On parlera de capacité d'adsorption ou de fixation pour les phosphates.

\*dans le cas des anions inactifs comme les sulfates, les chlorures et les nitrates ( $\text{SO}_4^{-2}$ ,  $\text{Cl}^-$  et  $\text{NO}_3^-$ ), les liaisons mises en jeu sont de nature électrostatique.

### I.3.5 Activité biologique du sol

Habité en surface et dans son épaisseur par de nombreux organismes, le sol est un milieu biologique où se développe une activité intense. Plantes, animaux et bactérie mêlent constamment leurs activités et leurs actions et agissent ainsi sur le sol pour un bon équilibre.

#### I.3.5.1. La faune du sol

##### I.3.5.1.1. Composition

La faune du sol peut être classée en deux sous-groupes :

- La macro-faune: elle est constituée par des animaux mesurant plus de 2 mm qui sont : les mammifères, les rongeurs, les insectivores, les vers de terre, les arthropodes (insectes, arachnides et myriapodes) et les mollusques (escargots, limaces)
- La micro-faune: elle est constituée par des animaux mesurant moins de 2 mm qui sont : les nématodes, les rotifères, les tardigrades et les Protozoaires

##### I.3.5.1.2 Rôle

Le rôle de la faune dans le sol est triple :

- **Une action sur l'état physique du sol**
  - Création de galeries, aération, drainage,
  - Fragmentation de la matière organique
  - Brassage énergétique de ces fragments
  - Malaxage et transport des matières organiques dans tout le profil du sol,
  - Formation d'agrégats stables et amélioration de la porosité, donc de la structure et de la stabilité structurale du sol (par le biais de la fabrication d'humus).
- **Une action chimique**
  - Lutte contre le lessivage en remontant les éléments minéraux lessivés hors d'atteinte des racines, et enrichissement en minéraux assimilables. Leurs déjections sont considérablement plus riches en potassium, phosphore et magnésium assimilables.

- Amélioration de l'assimilabilité des éléments minéraux grâce à cette prédigestion notamment par les vers de terre.

- Mobilisation sous forme organique d'une partie des éléments minéraux présents dans le sol.

▪ **Une action biologique**

- Stimulation de la flore microbienne du sol avec une sélection et un rajeunissement permanents des souches les mieux adaptées.

- Limitation d'invasions extérieures par des parasites.

### **I.3.5.2. La flore du sol**

#### **I.3.5.2. 1 Composition et classement**

On retrouve dans cette flore : les algues : leur chlorophylle les rend autotrophes, Elles vivent dans les deux premiers centimètres du sol, les champignons : 1000 à 1500 kg/ha. Ce sont des êtres hétérotrophes, les actinomycètes : ce sont des êtres unicellulaires ramifiés comme les moisissures et aussi les bactéries qui on en trouve de quelques kg à plusieurs tonnes à l'hectare. On peut les classer en fonction de leur milieu de vie : aérobies qui nécessitent la présence d'air et anaérobies qui vivent en absence de l'air.

#### **I.3.5.2.2 Les facteurs favorisant la flore du sol**

L'aération : la plupart des micro-organismes utiles ont besoin d'air, donc ils sont aérobies.

L'humidité Elle doit être en moyenne de 18 à 20 %.

La température : Activité nulle à 0°C ou Moyenne à 10 - 15°C ou Optimale à 30°C.

Le pH (optimum de 6 à 7,5) : voisin de la neutralité.

La présence de calcium échangeable (pour neutraliser les acides organiques formés lors de l'activité microbienne).

La quantité de matières organiques: un apport stimule la flore du sol mais une quantité élevée peut-être un signe d'une mauvaise décomposition.

La présence de la faune.

Enfin, le mode d'exploitation peut plus ou moins favoriser l'activité de la flore et de la faune du sol. Par exemple des apports d'engrais ou d'amendements auront un effet bénéfique alors que le tassement lié à des interventions en conditions humides et l'emploi de pesticides (en particulier s'il s'agit de produits de désinfection du sol) auront un effet dépressif.

## **I.4 La biodégradation dans le sol**

### **I.4.1 Définition de la biodégradation**

Selon le dictionnaire, "biodégradable se dit d'un produit qui, laissé à l'abandon, est détruit par les bactéries ou d'autres agents biologiques". D'autres terminologies existent et varient selon les auteurs, les méthodes de mesures ou le site de biodégradation (sol, eau, compost, décharge). D'une manière générale, un consensus s'est dégagé autour de la notion d'impact sur l'environnement et la définition suivante semble faire l'unanimité : " On dit qu'un matériau est 'biodégradable' s'il se dégrade par une attaque microbienne, pour simplifier progressivement sa structure et finalement se convertir en CO<sub>2</sub> et/ou CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>O, chaleur, résidus minéraux non toxique à l'environnement, et intervenir dans une réorganisation de la biomasse [40,41]". Cette définition se retrouve dans la plupart des normes en vigueur (ISO, CEN).

### **I.4.2 Processus de la biodégradation**

Les processus mis en jeu lors de la biodégradation sont nombreux et complexes. Sommairement, elle se réalise en deux phases [42] :

- Une première phase correspondant à une détérioration du produit appelée désintégration. Elle est généralement provoquée par des agents extérieurs (mécanique comme le broyage, chimique comme l'irradiation UV, ou thermique comme la phase pasteurisation en compostage). Les micro-organismes ou d'autres êtres vivants (vers de terre, insectes, racines, voire rongeurs) peuvent aussi fragmenter le produit : on parle alors de bio fragmentation. Cette première phase est très utile car elle a pour résultat le morcellement du matériau qui, ainsi, sera plus facilement accessible aux micro-organismes (augmentation de la surface de contact).

- Une deuxième phase correspondant à la biodégradation proprement dite. Il s'agit ici de l'attaque du matériau par les micro-organismes qui vont, grâce à leurs enzymes le transformer en métabolites qui seront assimilés dans les cellules, le résultat final étant la minéralisation qui correspond à la production de CO<sub>2</sub> et/ou CH<sub>4</sub> et d'eau. Cette deuxième phase est souvent concomitante à la première. La biodégradabilité peut être partielle ou totale. Lorsque la biodégradation est partielle, les résidus ou sous-produits doivent être non toxiques pour l'homme et l'environnement.

### I.4.3 Facteurs influençant la biodégradation

La biodégradation est influencée par un certain nombre de facteurs :

#### I.4.3.1 Les paramètres physico-chimiques du milieu de dégradation

Ils sont déterminants non seulement pour l'expression des micro-organismes intervenant dans la dégradation mais aussi pour le produit amené à être dégradé.

Quatre éléments rentrent en ligne de compte :

- (i) La température : qui favorise l'activité microbienne [43,45] ;
- (ii) La teneur en eau du milieu : qui doit être suffisante pour permettre aux fonctions des micro-organismes de s'exprimer [44] ;
- (iii) Le pH ;
- (iv) La présence ou non d'oxygène et l'approvisionnement en différents nutriments.

Ces paramètres sont importants et peuvent conditionner la biodégradation d'une fibre enfouie dans le sol ou laissée à l'abandon dans la nature.

#### I.4.3.2 Les paramètres microbiologiques du milieu de dégradation

Chaque écosystème est également caractérisé par des facteurs microbiologiques qui lui sont propres. D'une manière générale, dans tous les milieux, la biodégradation a lieu si des micro-organismes capables de dégrader la fibre considérée sont présents. En effet, la vitesse de dégradation dépend de la colonisation microbienne à la surface de la fibre.

#### I.4.3.3 La structure et les propriétés des fibres

Les différents polymères constituant les fibres lignocellulosiques se comportent différemment en fonction de leur hydrophilie, et du fait du caractère hétérogène, vont créer des gonflements différentiels au sein de la fibre [46].

En effet, la paroi cellulaire riche en groupements hydroxyles et groupes oxygénés, attire les molécules d'eau grâce aux liaisons hydrogènes qui facilitent la biodégradation [47].

# Chapitre 2

## Matériel et méthodes

Dans ce chapitre nous vous présentons le matériel et les méthodes utilisées pour la réalisation de ce travail.

Dans ce qui suit on notera :

<b>F i S</b>
--------------

F : la fibre jute.

i : série de prélèvement (1 à 5).

S : les échantillons enfouis dans le sol.

F0 : fibre brute.

### II.1 Découpage des fibres

Nous trions d'abord les fibres de jutes ayant le même diamètre, ensuite elles sont découpées à l'aide de ciseaux aux longueurs de 170 mm.



**Figure 9 : Fibres de jutes découpées.**

### II.2 Préparation du sol

Le sol choisi est pris de la zone agricole de Barika (wilaya de Batna). Il a été laissé à l'air libre pendant une semaine puis passé au tamis de 2 mm. Les échantillons de masse égale à 13 g sont enfouis dans 5 kg de sol et avec une profondeur de 20 cm.

Le vieillissement s'est effectué sur une durée de 50 jours, avec arrosage toutes les semaines et à température ambiante. Un prélèvement est réalisé tous les 10 jours.

Après chaque prélèvement les fibres de jute sont lavées avec de l'eau distillée puis étuvées à 105°C pendant 24 heures pour éliminer les traces d'eau.

## II.3 Le sol

### II.3.1 Evolution du pH

Le pH du sol est déterminé à l'aide d'un pH-mètre selon la norme (NF X 31 103). 50 mL d'eau distillée sont mélangés à 5g d'échantillon de sol avec une agitation de 30mn. La lecture du pH est ensuite effectuée.

### II.3.2 Evolution de l'humidité du sol

L'humidité a été déterminée selon la norme (NF ISO 11465), le principe repose sur un séchage à l'étuve de 105°C d'une masse connue d'un échantillon de sol jusqu'à une masse constante. L'humidité exprimée en pourcentage est égale à :

$$H = \frac{m_1 - m_0}{m_1} \times 100 \dots\dots(1)$$

$m_0$  : masse de la prise d'essai avant séchage (g).

$m_1$  : masse de la prise d'essai après séchage (g).

H : taux d'humidité (%) (kg eau/ kg de matière humide).

### II.3.3 Analyse du sol

Le taux de carbone, azote, et phosphore, ainsi que l'analyse granulométrique du sol ont été réalisés à l'Institut Nationale d'Agronomie (INA) à El Harrach.

Le phosphore total (Pt) et le phosphore inorganique (Pi) ont été extraits avec de l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,5 M), une calcination à 480 °C précédant l'extraction pour l'analyse du phosphore total.

Le carbone et l'azote ont été déterminés par la méthode Mehlich III [51].

L'analyse granulométrique selon la norme ASTM D-422.

## II.4 Les fibres de jute

### II.4.1 Evolution de la perte de masse :

Les échantillons sont pesés avant enfouissement dans le sol et le traitement par le détergent afin de noter la masse initiale ( $m_0$ ). Après un temps  $t$  les échantillons prélevés sont étuvés et pesés, on note la masse ( $m_t$ ). Trois échantillons sont pris pour chaque prélèvement. Les pesées ont été effectuées à l'aide du balance Karn de précision 0,0001 mg.

La perte de masse est calculée par l'équation suivante :

$$\Delta m = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

$\Delta m$  : perte de masse en grammes.

$m_0$  : masse initiale avant enfouissement dans le sol ou immersion dans l'eau.

$m_t$  : masse prélevée au temps  $t$ .

### II.4.2 Mesure de la densité

La densité est déterminée par la méthode du pycnomètre.

On pèse le pycnomètre rempli d'eau distillée jusqu'au repère  $r$ . On note une masse  $m_1$ .

Ensuite, on cherche la masse volumique de l'échantillon solide ; on procède aux deux pesées  $m_2$  et  $m_3$  schématisées en figure 10. Dans chaque cas, le pycnomètre doit contenir de l'eau distillée jusqu'au repère  $r$ . Toutes les manipulations doivent être faites avec soin. En cours d'opération, il faut éliminer les bulles d'air, compléter, si nécessaire, le volume d'eau et ne pas laisser de gouttes d'eau au-dessus du repère. Après chaque remplissage, il faut bien essuyer le pycnomètre [49].

La densité du corps solide s'écrit :

$$d = \frac{m_2 - m_1}{m_2 - m_3} \dots\dots\dots(3)$$

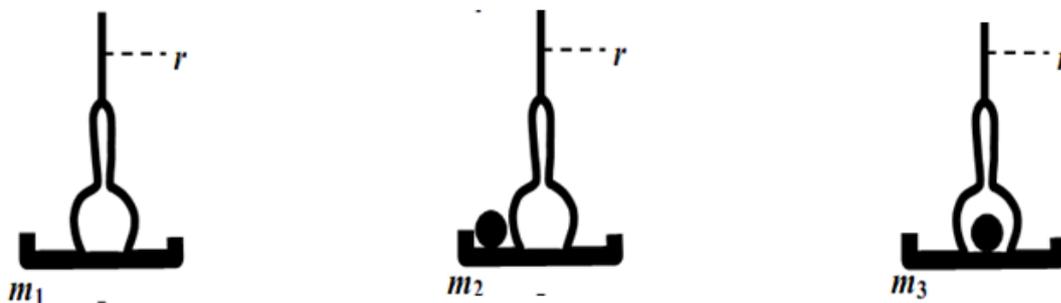


Figure 10 : Protocole de mesure de la densité par la méthode du pycnomètre.

### II.4.3 Evolution de l'absorption d'eau

Les fibres végétales sont hydrophiles. Afin de connaître l'effet de la biodégradation sur l'absorption d'eau, les fibres brutes et traitées sont immergées dans de l'eau distillée à une température constante de 30 °C.

La variation de masse des échantillons est mesurée à un intervalle régulier sur une période de 15 mn. Trois échantillons de chaque type de fibre sont récupérés du bain et sont légèrement essuyés à l'aide d'un papier absorbant pour éliminer la pellicule d'eau présente en surface. Les échantillons sont alors pesés et à nouveau immergés.

La teneur en eau (Mt) est donnée par la formule suivante :

$$Mt (\%) = \frac{m_t - m_0}{m_0} \times 100 (\%) \dots\dots(4)$$

Mt : teneur en eau (g)

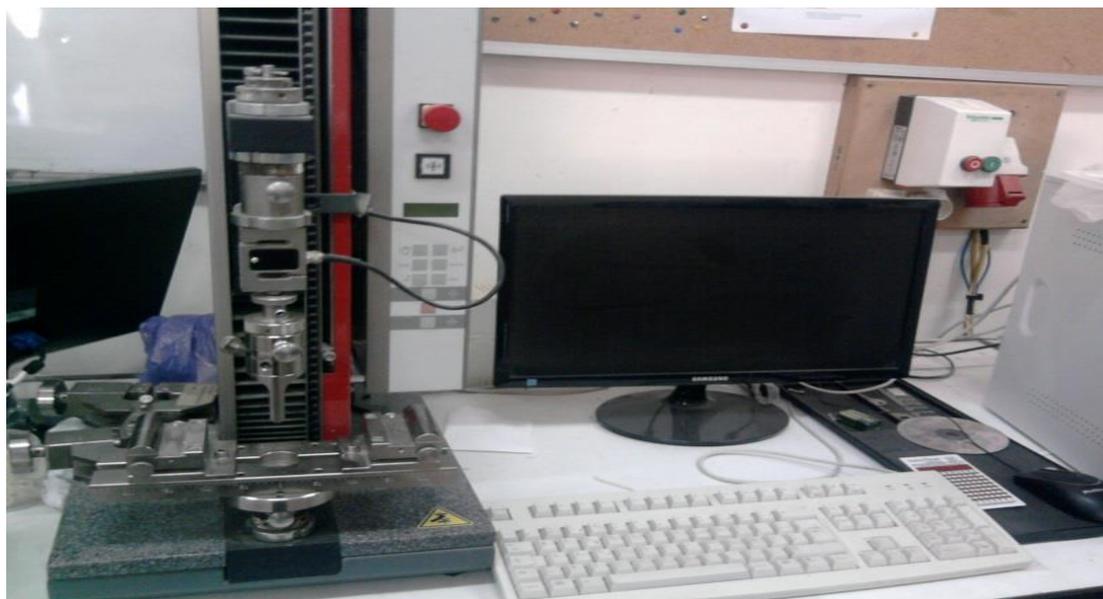
$m_t$  : masse des fibres à l'instant t (g)

$m_0$  : masse initiale des fibres (g)

### II.4.4 Caractérisation mécanique

L'essai de traction a été effectué à l'aide d'une machine universelle ZWICK /ROELL (figure 11).

Le banc d'essai est équipé de mors auto serrant et d'une cellule de force ayant une capacité de 10 kN, la vitesse de traction est 100 mm/mn, et la distance entre les crochets de 10 cm. Son pilotage se fait par le logiciel TESTEXPERT qui permet à la fois de consigner les paramètres d'essai, d'acquérir et de traiter les données.



**Figure 11 : Appareil de traction.**

#### **II.4.5 Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR)**

La spectroscopie infrarouge (IR) s'utilise principalement pour l'analyse qualitative d'une molécule. Elle permet de mettre en évidence la présence ou l'absence d'une liaison particulière.

L'absorption du rayonnement IR par les composés organiques correspond à deux types principaux de vibrations atomiques :

- Vibrations de valence ou d'élongation ;
- Vibrations de déformation angulaire.

Plusieurs modes de vibrations sont possibles pour un groupe d'atomes donnés. A chacun correspond une fréquence caractéristique, mais seuls les mouvements qui entraînent une variation du moment dipolaire électrique donnent lieu à des bandes d'absorption IR [50].

##### **II.4.5.1 Préparation des pastilles de KBr**

Mélanger de petite particule de l'échantillon avec 200 mg de KBr dans un mortier propre et sec. Broyer le solide trois à quatre fois pendant une dizaine de secondes en le rassemblant avec la spatule entre chaque broyage. Transférer ensuite la totalité de la poudre dans le moule à pastiller. Mettre le moule sous la presse, brancher la pompe à vide pour extraire l'air, attendre une à deux minutes puis appliquer la force prééglée (10000 kg  $\rightarrow$  7391 bars) pendant 3 minutes. Supprimer la pression, puis extraire délicatement la pastille en utilisant la presse.

# **Chapitre 3**

## **Résultats et Interprétations**

### III.1 Caractéristique du sol

#### III.1.1 Evolution du pH

Le pH du sol est stable et légèrement basique aux environs de 8,08

#### III.1.2 Evolution de l'humidité du sol

L'humidité du sol est contrôlée chaque semaine par un arrosage à l'eau de robinet et elle varie de 42 à 46 %

#### III.1.3 Matière organique dans le sol

Le taux de la matière organique est de 2,14 % de la masse totale.

#### III.1.4 Analyse du sol

##### III.1.4.1 Analyse granulométrique

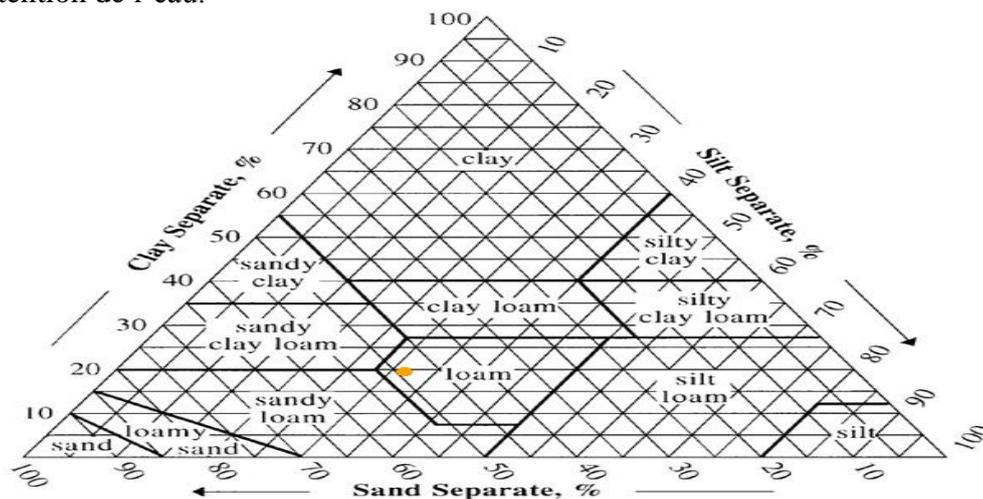
Le tableau 6 illustre la composition du sol utilisé.

**Tableau 6 : Granulométrie du sol.**

<b>Argile</b>	<b>19,04</b>
<b>Limon fin</b>	<b>8,12</b>
<b>Limon grossier</b>	<b>22,73</b>
<b>Sable fin</b>	<b>35,54</b>
<b>Sable grossier</b>	<b>14,57</b>

Selon la classe texturale USDA notre sol est de classe : Loam (Limoneux)

Notre sol a une texture équilibrée. Le sable permet l'infiltration de l'eau et de l'air alors que l'argile favorise la rétention de l'eau.



**Figure 12 : La classe texturale USD du sol (Représentation du graphique triangulaire)[35].**

### III.1.4.2 Matières organiques

Les teneurs en carbone et azote sont les suivantes :

Carbone (C) : 12,4 ‰

Azote (N) : 1,12 ‰

Le rapport C/N est égal à 11,07. Il est considéré comme un résultat satisfaisant.

### III.1.4.3 Réserves minérales :

Les réserves minérales sont les suivantes :

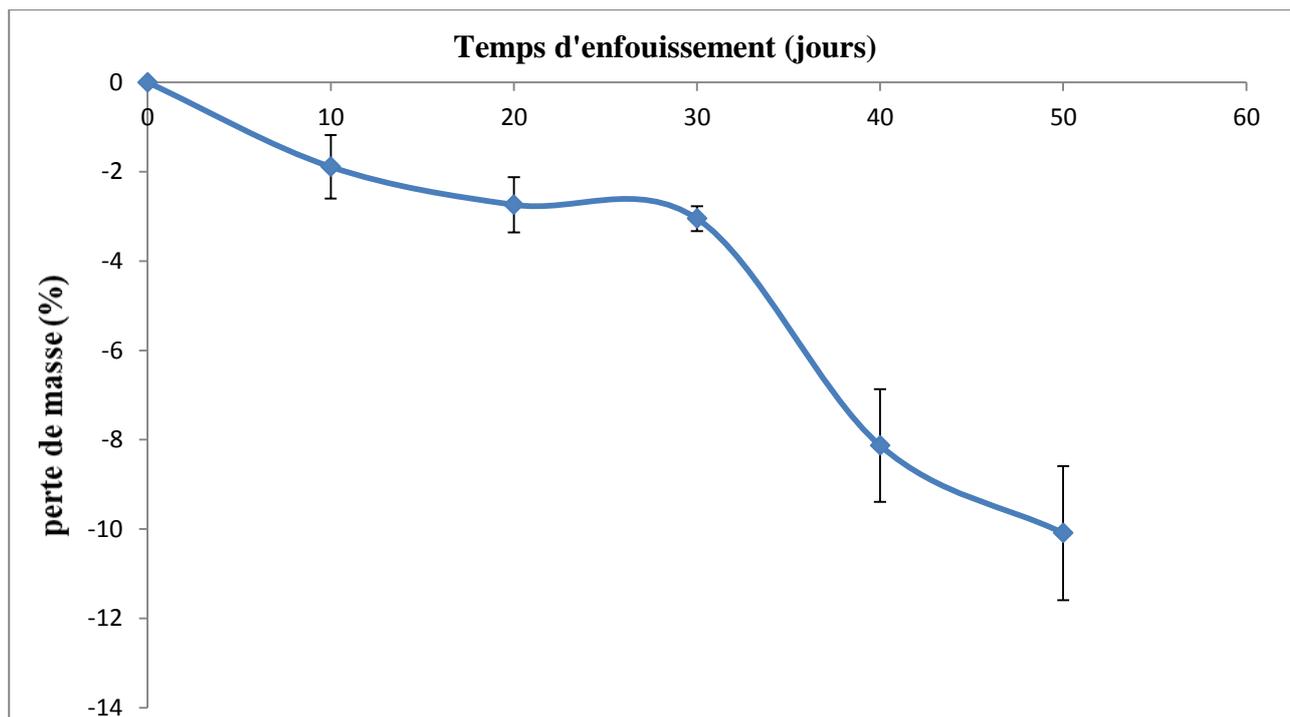
P total : 427,27 mg/kg.

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 978,45 mg/kg

## III.2 Evolution des caractéristiques des fibres de jute en fonction du temps

### III.2.1 Evolution de la Perte en masse

L'évolution de la perte de masse de la fibre de jute enfouie dans le sol en fonction du temps est donnée par la figure 13.

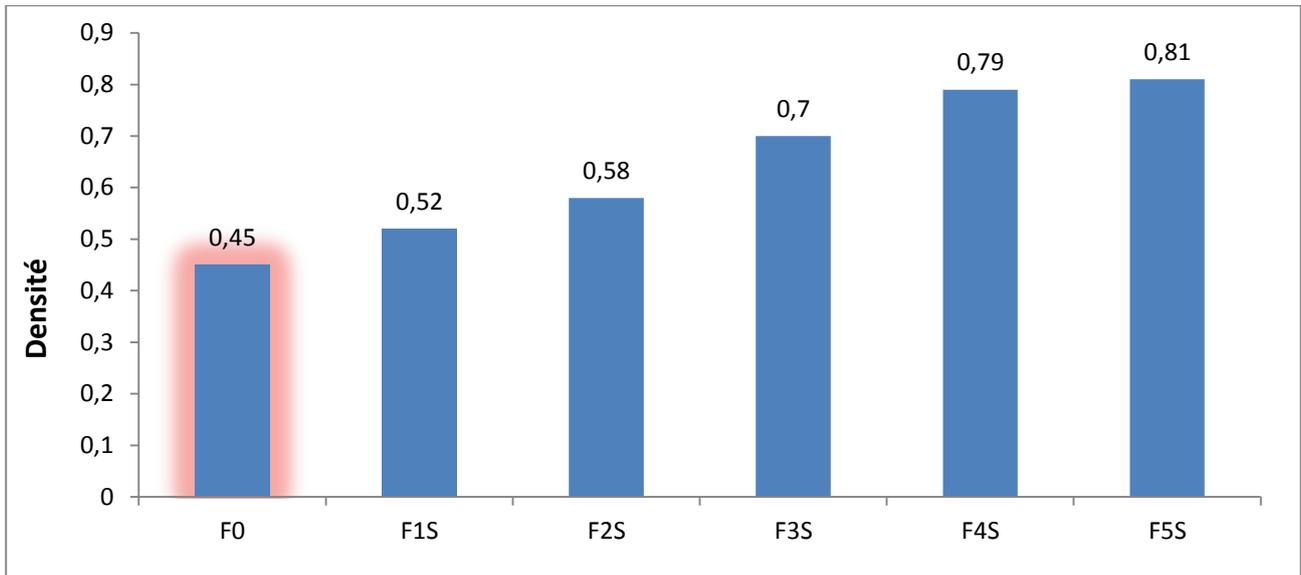


**Figure 13 : Evolution de la perte de masse des fibres de jute enfouie dans le sol en fonction du temps.**

Les résultats obtenus montrent que la fibre de jute est biodégradable dans un sol ordinaire. On note une valeur de la perte de masse de l'ordre de 10,1% pour une durée de 50 jours.

### III.2.2 Evolution de la densité

La figure 14 présente la densité des fibres de jute brutes et les fibres enfouie dans le sol.

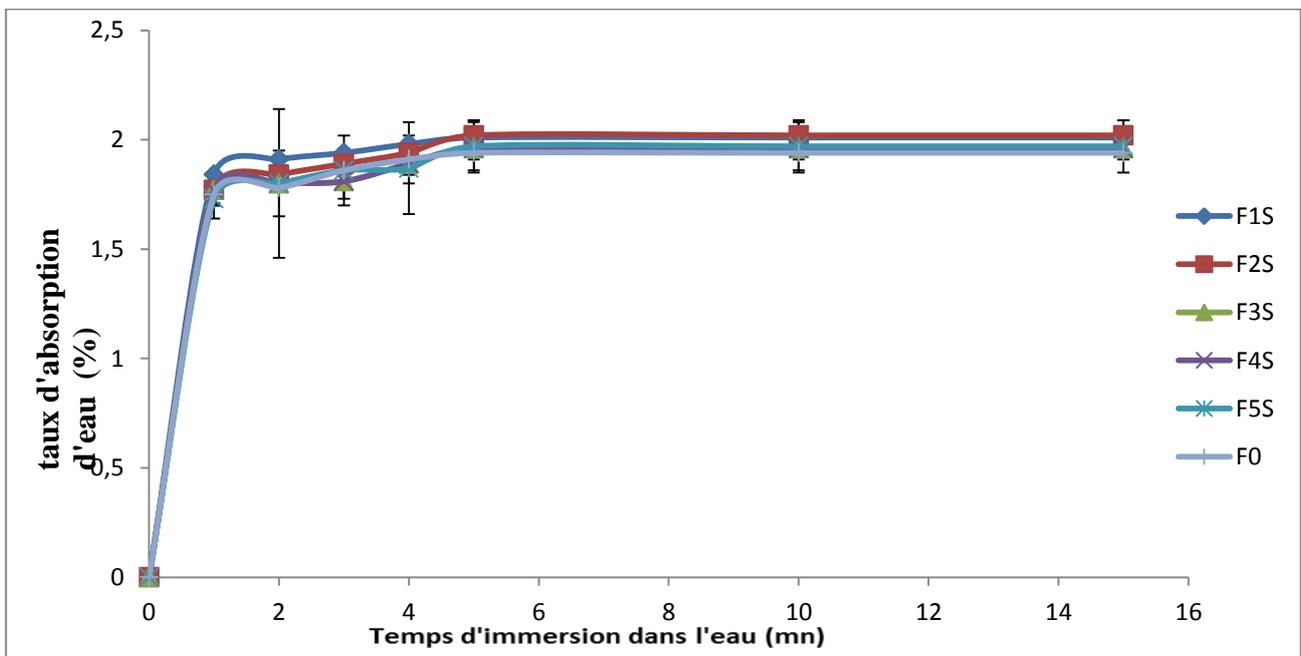


**Figure 14 : Densité des fibres brutes et enfouie dans le sol.**

La densité augmente avec le temps d'enfouissement dans le sol. Ce résultat peut être expliqué par l'incorporation de sol et d'eau dans les pores formés après la destruction de la fibre.

### III.2.3 Evolution de l'absorption d'eau

La figure 15 illustre l'évolution de l'absorption d'eau de la fibre de jute brute et des fibres enfouies dans le sol.



**Figure 15 : Evolution du taux d'absorption d'eau des fibres brutes et des fibres enfouies dans le sol en fonction du temps.**

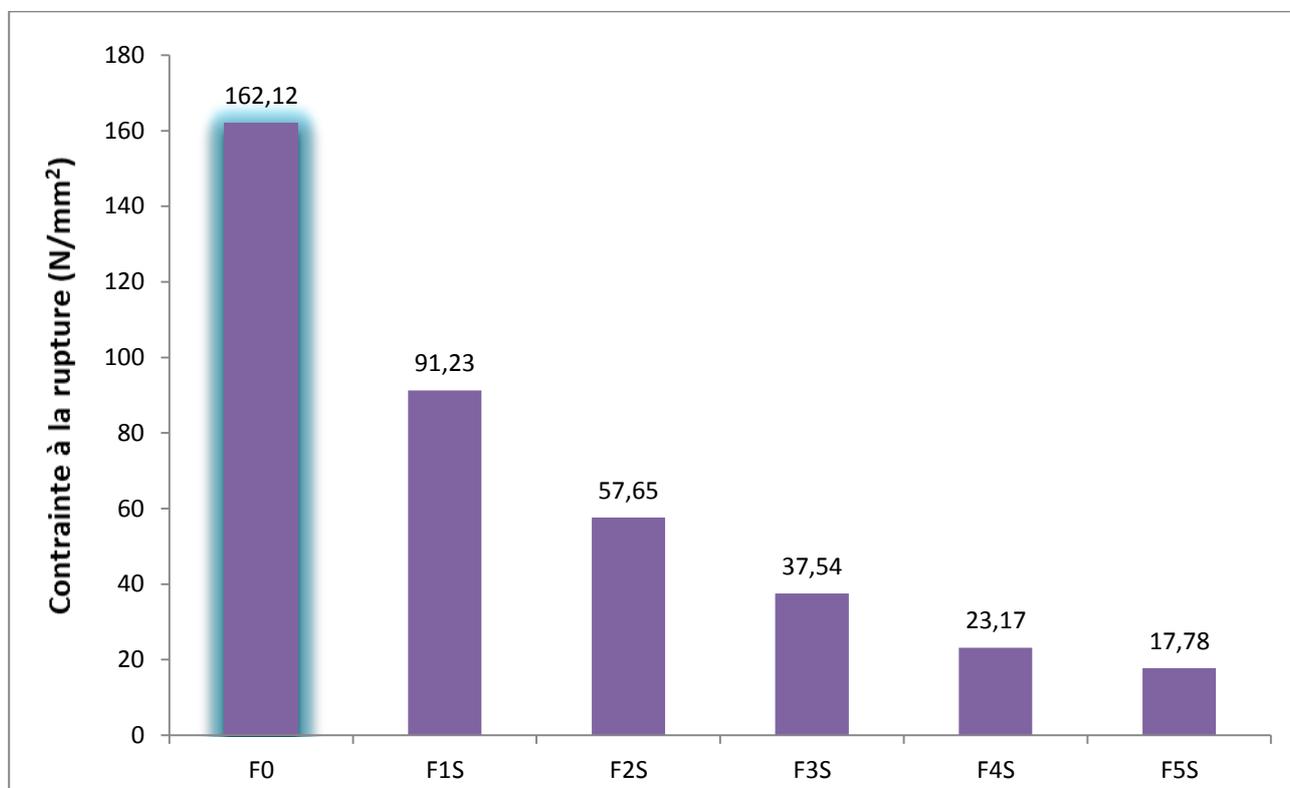
Les résultats montrent que les fibres enfouies dans le sol et les fibres brutes présentent une sensibilité identique à l'absorption d'eau. Le taux d'absorption d'eau est important au cours des deux premières minutes. Il est suivi d'une légère variation puis reste constant. La valeur maximale du taux d'absorption obtenue est de l'ordre de 1,97% au bout de 5 mn.

### III.2.4 Essai de traction sur les fibres

Les essais de traction ont un effet direct sur la force des fibres.

A cet effet, nous avons analysé les fibres brutes et enfouies dans le sol pour voir l'effet de la biodégradation sur la rigidité de la fibre.

Les résultats de la contrainte à la rupture sont illustrés par des histogrammes (figure 16).

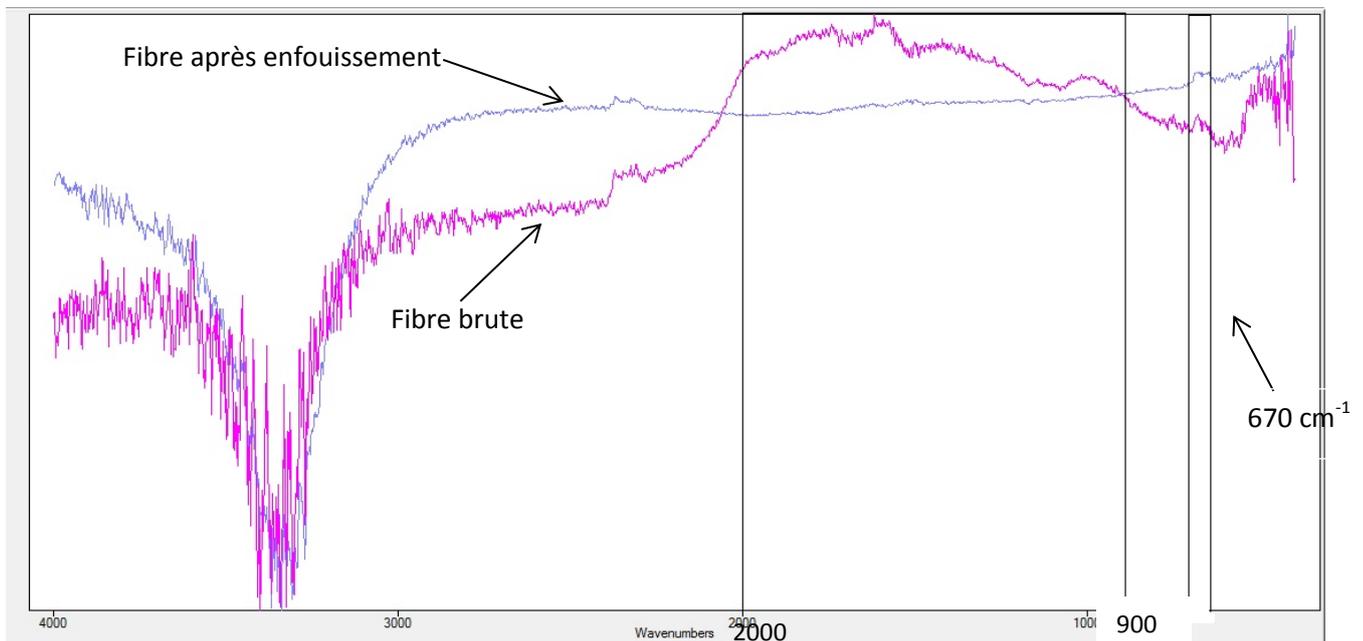


**Figure 16 : Contrainte à la rupture de la fibre de jute brute et enfouie dans le sol.**

La contrainte à la rupture diminue en fonction du temps. On note une diminution significative de la contrainte à la rupture au bout de 10 jours d'enfouissement pour atteindre une valeur de 91,23 N/mm<sup>2</sup> comparant à celle de la fibre brute qui est de 162,12 N/mm<sup>2</sup>, les fibres de jutes perdent 89 % de la valeur de la contrainte après 50 jours d'enfouissement.

### III.2.5 Analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier

Les spectres infrarouges de la fibre de jute brute et enfouie dans le sol sont présentés dans la figure 17.



**Figure 17 : Spectres infrarouges de la fibre brute et de la fibre enfouie dans le sol pendant 50 jours.**

Le spectre des fibres enfouies dans le sol montre la disparition des bandes allant de 2000 à 900  $\text{cm}^{-1}$ , ce qui correspond à la biodégradation des fibres de jute.

- La bande à 1730  $\text{cm}^{-1}$  est attribuée au groupe C=O (étirement carboxyle) et aux groupes acétyles des hémicelluloses dans la fibre de jute brute. L'absence de cette bande confirme la dégradation des hémicelluloses et cellulose (modification chimique).
- L'absence de la bande à 1505  $\text{cm}^{-1}$  s'explique par la destruction de la lignine.
- La diminution de la bande à 670  $\text{cm}^{-1}$  qui s'explique par la destruction de la cellulose.

Ces résultats sont en accord avec la perte de masse obtenue et la diminution significative de la contrainte à la rupture de la fibre de jute après enfouissement dans le sol.

# **Conclusion générale**

---

## Conclusion générale

L'objectif de notre travail est l'étude de la biodégradation des déchets de fibres de jute.

La biodégradation des fibres de jute a été évaluée en fonction du temps d'enfouissement dans le sol.

Les résultats obtenus ont montré que:

- La masse des fibres de jute enfouies dans le sol a diminué en fonction du temps.
- La densité a augmenté avec le temps d'enfouissement dans le sol.
- les fibres enfouies dans le sol et les fibres brutes ont présente une sensibilité identique à l'absorption d'eau.
- La contrainte à la rupture a diminué en fonction du temps. Les fibres de jutes ont perdu 89% de leurs contraintes après 50 jours d'enfouissement.
- L'analyse par spectroscopie infrarouge a confirmé la biodégradation des fibres de jute enfouies dans le sol.
- Les résultats obtenus ont confirmé notamment des fibres de jute dans un sol ordinaire.
- Ce travail constitue une base pour une recherche approfondie de la biodégradation des fibres de jute dans des sols riches en microorganismes.

# **Références bibliographique**

- [1]: P.Lecomte,1998. Les sites pollués 'Traitement des sols et des eaux souterraines'. TEC & DOC,Lavoisier, Paris.
- [2]: A. Roudier, "Analyse multi-échelle du comportement hygro-mécanique des fibres de lin", Thèse de doctorat , Université Blaise Pascal ,Clermont-Ferrand,France ,2012.
- [3]: K. G. Satyanarayana, G. G. Arizaga, and F.Wypych. Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers - An overview. *Progress in Polymer Science*, 34(9) :982-1021, Sept. 2009. 2, 52.
- [4]: A. Y. Nenonene, "Elaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kénaf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage", Thèse de doctorat, Institut National Polytechnique de Toulouse, France, 2009.
- [5]: F. Michaud, " Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage" Thèse Phd, université Laval, Canada ,2003.
- [6]: SWAMY, R. H. S, AHUJA, B. M, K.MOORTHY "Behavior of concrete reinforced with jute, coir, bamboo fibers". *The International Journal of Cement Composite and Light Weight Concrete*, volume 5, p 13 N°1, 1984.
- [7]: COUTTS, R.S.P., " Flax fibers as a reinforcement in cement mortar ", *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, vol.5 N°4, p 257-262, 1983.
- [8]: A.K BLEDZKI, and J. GASSAN, «Composites reinforced with cellulose based fibers», ELSEVIER, *Progress in Polymer Science*, volume 24, pp.221-274, 1999.
- [9]: A.K. Bledzki, J. Gassan, "Composites reinforced with cellulose based fibres",*Progress in Polymer Science*, volume 24 221–274, 1999.
- [10]: C. Baley "Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites" *Techniques De L'Ingénieur*, AM (2220) :10/04/2005.

- [11]: A. KRIKER, "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.
- [12]: R.N.SWAMY, "Properties of high-strength concrete ",Cement concrete and aggregates vol.8,N°1, pp.33-41,1986.
- [13]: A.MOKHTARI. "Influence des ajouts de fines minérales sur les Performances Mécaniques des Bétons Renforcés de Fibres Végétales de Palmier Dattier ". Mémoire de Magister, Université Kasdi Merbah Ourgla, 2006.
- [14]: Jr.H.SAVASTANO, V.AGOPYAN. "Transition zone studies of vegetable cement paste composites ".Cement and Concrete, Composites , 21, pp.49-57, 1999.
- [15]: Ademe. "Etude de marché des nouvelles utilisations des fibres végétales". 2005.
- [16]: [On line]: <http://www.deyute.com/fr/le-jute.fr>
- [17]: [On line]: <http://www.fao.org/economic/futurefibres/fibres/jute.fr>
- [18]: [On line]: <http://www.deyute.com/fr/le-jute.fr>
- [19]: C.Couhert. "Pyrolyse flash à haute température de la biomasse lignocellulosique et de ses composés - production de gaz de synthèse ", Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris, France, 2007.
- [20]: A.Iguedad," Cours de matières textiles ".ISGP. Pages 56-64. 2015
- [21]: A. Mermoud , "Cours de Physique du sol ", École Polytechnique Fédérale de Lausanne ,2006.
- [22]: J.Moeys "Variabilité spatiale et déterminismes agro-pédologiques du devenir d'un herbicide dans l'horizon de surface",Thèse de doctorat ; Agro Paris Tech ; 2007.
- [23]: G. Costa,, J.L,Morel, "Efficiency of H<sup>+</sup>-ATPase activity on cadmium uptake four cultivars of lettuce" .Journal of Plant Nutrition volume 17, pages 627-637. 1994.

- [24]: W.Jiang, , D.Liu, , W Hou,, (2001). " Hyperaccumulation of cadmium by roots, bulbs and shoots of garlic (*Allium sativum* L.) ". *Bioresource Technology*.76: 9-13.
- [25]: VH. Kennedy, AL. Sanchez, DH. Oughton, AP. Rowland, (1997). "Use of single and sequential chemical extractants to assess radionuclide and heavy metals availability from soils to root uptake". *Analyst*.122:89R–100R.
- [26]: RP. Narwal, BR. Singh.,(1998). "Effects of organic materials on partitioning, extractability and plant uptake of metals in an alum shale soil". *Water Air Soil Pollution* 103: 405-21.
- [27]: L.Orsini , J.C.Remy.,(1976). "Using chloride cobaltihexamine for the simultaneous determination of exchange capacity and exchangeable bases of soils science", *Bulletin. AFES*, 4: 269-279.
- [28]: J.-M. GOBAT, M. ARAGNO & W. MATTHEY, 2003. " Le sol vivant - Bases de pédologie – Biologie des sols. 2e éd. Col". *Gérer l'Environnement, Presse Polytechniques et Universitaires de Lausanne*. 568 p.
- [29]: R. AHMAD., P.N. NELSON. & R.S. KOOKANA, 2006. "The molecular composition of soil organic matter as determined by <sup>13</sup>C NMR and elemental analyses and correlation with pesticide sorption". *European Journal of Soil Science*, 57, pp. 883—893.
- [30]: D. Hillel. "L'eau et le sol, principes et processus physiques". *Edition Academia*, (1988) p294.
- [31]: N.Narayan, P. K.Roychoudhury, A. Srivastava " L (+) lactic acid fermentation and its product polymerization ", *Electronic Journal of Biotechnology* , 7 page n°2 .2004.
- [32]: P.Lavelle , A.Spain , "Soil Ecology". *Kluwer Academic Publishers ; Dordrecht Netherlands ; p654 ; 2001*.
- [33]:Van Overbeek & Van Elsas " Adaptation of bacteria to soil conditions : Applications of molecular physiology in soil microbiology ".*Modern soil microbiology ".Marcel Dekker, INC ; New York ; pp441-477 ; 1997*.

- [34]: J.Hassink, A.M Neutel & P.C De Ruitter." C and N mineralization in sandy and loamy grassland and soils : the role of microbe and microfauna" .Soil Biology and biochemistry 26; pp. 1565-1571; 1994.
- [35]: J.-M. Gobat, M. Aragno et W. Matthey. 2003. " Le sol vivant : bases de pédologie, biologie des sols ". Presse Polytechniques et Universitaires Romandes. 2<sup>ème</sup> édition, revue et augmentée. France.
- [36]: P. DAVET, "Vie microbienne du sol et production végétale", INRA édition (1996).
- [37]: AFEE (Association Française pour l'Etude des Eaux), "Le rôle épurateur du sol", Tome 1, le sol, l'eau et les polluants, Tec & Doc, (1989).
- [38] : Y.COMEAU, "Biorestauration des sols contaminés", cours professé à l'Ecole Polytechnique de Montréal, Etudes supérieures en génie de l'environnement (1999).
- [39] : M. ROBERT, "Le sol: interface dans l'environnement, ressource pour le développement", 5<sup>ème</sup> Édition masson (1996).
- [40]: H. Bew " Biodégradabilité et matériaux polymères biodégradables ". Direction des Energies Renouvelables, des Réseaux et des Marchés Energétiques ; note de synthèse I ; 2005.
- [41] R.W.Lenz " Biodegradable Polymers; In: Advances in Polymer Science".p.1-40 ; 1993.
- [42]: A.Calmon-Decriaud, V.Bellon-Maurel, & F.Silvestre " Standard methods for testing the aerobic biodegradation of polymeric materials". Review and perspectives; in Blockcopolymers Polyelectrolytes Biodegradation; pp. 207-26; 1998.
- [43]: N.T.Lotto, M.R .Calil, C.G.F.Guedes, D.S. Rosa " The effect of temperature on the biodegradation test" Materials Science & Engineering C-Biomimetic and Supramolecular Systems; pp.659-662; 2004.
- [44]: A.Copinnet, et al. " Effects of ultraviolet light (315 nm), temperature and relative humidity on the degradation of polylactic acid plastic films" .Chemosphere, pp. 763-773; 2004.

- [45]: M .Agarwal, K.W. Koelling, & J.J. Chalmers."Characterization of the degradation of polylactic acid polymer in a solid substrate environment".Biotechnology Progress, pp. 517-526; 1998.
- [46] : A. Roudier, K. Charlet, F. Moreno, E. Toussaint, C. Geneau-Sbarta S. Commereuc, V. Verney, and A. Beakou. "Caractérisation des propriétés biochimiques et hygrosopiques d'une bre de lin". *Materiaux & Techniques*, 100(5): 525{535, Oct. 2012. 51, 52, 104, 122.
- [47]: A. Bismarck, I. Aranberri-Askargorta, J. Springer, T. Lampke, B. Wielage, A. Stamboulis, I. Shenderovich, and H.-H.Limbach. "Surface characterization of ax, hemp and cellulose fibers; Surface properties and the water uptake behavior". *Polymer Composites*, 23(5): 872{894, Oct. 2002. 51.
- [48]: G. Ramakrishna , T. Sundararajan " Studies on the durability of natural fibres and the effect of corroded fibres on the strength of mortar" . *Cement & Concrete Composites* 27 (2005) 575–582.
- [49] : S.Degallaix, B.Ilschner, M.Boussuge et al "Caractérisation expérimentale des matériaux" , Presses polytechniques et universitaires romandes Lausanne.France ,p108,2007.
- [50] : J.Vandegans, A.M.DeKersabiec "Spectrométrie d'absorption atomique; Techniques de l'ingénieur" pp.1-20 ; 1999.
- [51] : M.R. Carter,E.G. Gregorich "Soil Sampling and Methods of Analysis" CRC Press. 2<sup>eme</sup> edition,page 87 ;2006.

# ANNEXES

**Annexe 1 : Perte de masse des fibres de jute enfouis dans le sol en fonction du temps.**

Echantillon	10 jours	20 jours	30 jours	40 jours	50 jours
Echantillon 1	2,62	2,52	2,75	6,69	14,04
Echantillon 2	1,20	2,26	3,30	8,99	8,89
Echantillon 3	1,85	3,45	3,10	8,71	7,35
Moyenne(%)	1,89	2,74	3,05	8,13	10,09
Ecart type	0,71	0,62	0,28	1,26	3,5

**Annexe 2: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres brute.**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	1,73	1,89	1,91	1,91	1,94	1,94	1,94
Echantillon 2	0	1,71	1,64	1,69	1,79	1,86	1,86	1,86
Echantillon 3	0	1,81	1,83	1,99	2,01	2,03	2,03	2,03
Moyenne(%)	0	1,75	1,78	1,86	1,91	1,94	1,94	1,94
Ecart type	0	0,05	0,13	0,16	0,11	0,09	0,09	0,09

**Annexe 3: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres enfouis dans le sol pendant 10 jours.**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	1,85	1,92	1,93	1,96	1,96	1,96	1,96
Echantillon 2	0	1,85	1,95	1,96	1,99	1,98	1,98	1,98
Echantillon 3	0	1,83	1,87	1,92	1,98	2,10	2,10	2,10
Moyenne(%)	0	1,84	1,91	1,94	1,98	2,01	2,01	2,01
Ecart type	0	0,01	0,04	0,02	0,02	0,08	0,08	0,08

**Annexe 4: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres enfouis dans le sol pendant 20 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	1,80	1,85	1,91	1,96	2,10	2,10	2,10
Echantillon 2	0	1,70	1,80	1,87	1,93	1,98	1,98	1,98
Echantillon 3	0	1,82	1,86	1,90	1,92	1,99	1,99	1,99
Moyenne(%)	0	1,77	1,84	1,89	1,94	2,02	2,02	2,02
Ecart type	0	0,06	0,03	0,02	0,02	0,07	0,07	0,07

**Annexe 5: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres enfouis dans le sol pendant 30 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	1,71	1,56	1,82	1,91	1,93	1,93	1,93
Echantillon 2	0	1,75	2,19	1,73	1,84	1,93	1,93	1,93
Echantillon 3	0	1,85	1,67	1,89	1,93	2,01	2,01	2,01
Moyenne(%)	0	1,77	1,80	1,81	1,89	1,96	1,96	1,96
Ecart type	0	0,07	0,34	0,08	0,05	0,05	0,05	0,05

**Annexe 6: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres enfouis dans le sol pendant 40 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	1,75	1,79	1,82	1,85	1,92	1,92	1,92
Echantillon 2	0	1,71	1,82	1,86	1,88	1,95	1,95	1,95
Echantillon 3	0	1,83	1,85	1,90	1,92	1,99	1,99	1,99
Moyenne(%)	0	1,76	1,82	1,86	1,88	1,95	1,95	1,95
Ecart type	0	0,06	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04

**Annexe 7: Evaluation de l'absorption de l'eau par trois échantillons de fibres enfouis dans le sol pendant 50 jours :**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
Echantillon 1	0	1,83	1,83	1,87	1,73	2,06	2,06	2,06
Echantillon 2	0	1,72	1,79	1,88	1,64	2,01	2,01	2,01
Echantillon 3	0	1,66	1,80	1,84	2,22	1,85	1,85	1,85
Moyenne(%)	0	1,73	1,80	1,86	1,87	1,97	1,97	1,97
Ecart type	0	0,09	0,02	0,02	0,31	0,11	0,11	0,11

**Annexe 8 : Récapitulatif des valeurs moyennes de l'absorption d'eau des fibres brutes et enfouis dans le sol et traités par le détergent.**

Temps d'immersion (mn)	0	1	2	3	4	5	10	15
F0	0	1,75	1,78	1,86	1,91	1,94	1,94	1,94
F1S	0	1,84	1,91	1,94	1,98	2,01	2,01	2,01
F2S	0	1,77	1,84	1,89	1,94	2,02	2,02	2,02
F3S	0	1,77	1,80	1,81	1,89	1,96	1,96	1,96
F4S	0	1,76	1,82	1,86	1,88	1,95	1,95	1,95
F5S	0	1,73	1,80	1,86	1,87	1,97	1,97	1,97

**Annexe 9 : Densité des fibres en fonction du temps d'enfouissement dans le sol.**

Temps du vieillissement	10 jours	20 jours	30 jours	40 jours	50 jours
Densité	0.52	0.58	0.70	0.79	0.81

**Annexe 10 : Densité des fibres brutes et les traités par le détergent**

Fibre brute	0.45
-------------	------

## ملخص

لقد ركز الوعي الحالي على مشاكل التلوث و الحاجة إلى حماية البيئة على استخدام المنتجات القابلة للتحلل من موارد متجددة مثل منتجات الألياف الطبيعية. لهذا السبب اهتمنا بدراسة التحلل البيولوجي لألياف الجوت. هذا العمل يعتمد على تتبع سلوك ألياف الجوت في التربة لمدة 50 يوم .

و قبيما هذا السلوك بدراسة :

- فقدان الوزن مع مرور الزمن

- كثافة

- امتصاص الماء

- قوة الشد

كما تم إجراء تصنيف عن طريق الرصد الطيفي بالأشعة تحت الحمراء لتحول فورييه وهذا تبعا التحلل البيولوجي. وأظهرت النتائج أن التحلل البيولوجي قد اثر على جميع الخصائص المدروسة.

**مصطلحات هامة :** جوت .تحلل بيولوجي .تربة. فقدان الكتلة

## Résumé :

La prise de conscience actuelle face aux problèmes de pollution et la nécessité de protéger l'environnement ont focalisé sur l'utilisation des produits biodégradables issus de sources renouvelables telles que les fibres naturelles. Pour cette raison, nous nous sommes intéressés à l'étude de la biodégradation des déchets de fibres de jute. Le travail consisté à suivre le comportement des fibres de jute dans le sol pendant une durée de 50 jours. L'évaluation du comportement des fibres de jutes dans le sol a porté sur l'évolution de :

- ✓ la perte de masse en fonction du temps,
- ✓ la densité,
- ✓ l'absorption d'eau,
- ✓ la contrainte à la rupture.

Une caractérisation par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier a été effectuée en fonction du temps d'enfouissement dans le sol.

Les résultats ont montré que la biodégradation affecte toutes les propriétés étudiées.

**Mots clés :** fibre de jute, biodégradation, sol, perte de masse.

## Abstract:

The current awareness to the problems of pollution and the need to protect the environment has focused on the use of biodegradable products from extendible sources such as natural fibers. For this reason we are interested in study the biodegradation of waste jute fibers. The job is to track the behavior of jute fibers in the soil for a period of 50 days. The assessment of the behavior of jute fiber in the ground focused on the development of :

- ✓ mass loss over time,
- ✓ density,
- ✓ water absorption,
- ✓ the breaking stress.

Characterization by infrared Fourier transform spectroscopy was performed according to the time of the burying in the soil.

**Keywords :** jute fiber, biodegradation, soil, mass loss.