

N° d'ordre :

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOULOU D MAMMERI DE TIZI-OUZOU

FACULTE DES SCIENCES

DEPARTEMENT DE CHIMIE



DOMAINE : SCIENCES DE LA MATIERE
FILIERE : CHIMIE

MEMOIRE DE MASTER
SPECIALITE : CHIMIE DE L'ENVIRONNEMENT

THEME

**Etude du vieillissement de matériaux composites à base de PVC
et de fibres végétales**

Présenté par :

M' MALKI
M' NOUALI

Mohamed
Hacene

Soutenu publiquement, le

25/09 / 2018,

devant le Jury composé de :

KADOUCHE	Slimane	MCA	UMMTO	PRESIDENT
RAHMOUNE	M. Ameziane	MCB	UMMTO	ENCADREUR
LOUNI	Dalila	MCB	UMMTO	Co ENCADREUR
BOURBIA	Sofia	MCA	UMMYO	EXAMINATEUR

Nous devons premièrement exprimer notre respect et reconnaissance à notre promoteur Mr RAHMOUNE.M et notre Co-promoteur Mme LOUNID qui ont proposé cette thématique intéressante et qui ont accepté de nous encadrer. Merci pour votre suivi, vos conseils, votre disponibilité et votre patience.

Nos remerciements s'adressent également au président de jury Mr KADDOUCHE.S d'avoir accepté de présider le jury de soutenance de ce mémoire de fin d'étude.

On tient à remercier Mme BOURBIA.S pour l'honneur qu'elle nous fait, en acceptant d'examiner notre travail de fin d'étude.

Nous adressons également nos profondes gratitudeux aux responsables de laboratoire du département agronomie Mme TIBICHE.G et Mme ISSAOUN.D et au responsable de laboratoire CATEL Mme CHIHAOUI.I et Mr CHOUIDER.E

Nous tenons à exprimer nos remerciements à IREKTI.H chef de division sol et gestion des espaces agricoles, BOULAHBAL.O chef d'atelier d'analyse de sol et BARADAI.R technicien supérieur à l'atelier d'analyse de sol de l'institut national de recherche agronomique (INRAA).

Pour finir, on tient à remercier le personnel du laboratoire de chimie de l'environnement.

A ma mère, celle qui a toujours rangé mes échantillons dans un coin sachant à quel point je suis tête en l'air, sans elle je ne vais probablement pas soutenir, merci maman

A mon père, qui a toujours su être compréhensif et cool, mais qui a toujours foncé les sourcils lorsqu'il s'agissait des études, merci papa

A mon grand frère, lui qui est un « très grand » frère dans tous les sens du terme, tu m'a toujours soutenue, merci BED

A mes sœurs, « dihia » et « fatma thiziri », vous voyez ! Tous s'est passé « salamat » dieu merci

A « Manel » ma petite nièce

Aux « YAYA », « bilhel » l'âme de la bande, « juba » l'esprit combatif, à « ghiles FE GAULE » le golden boy, à « kouci » celui qui donne des décisions sur tous et n'importe quoi, à « anis avec ses cheveux lisse et qui travail a mobilis », à tous les autres « idir, sifax, salim, zemmi ssa, ghilas Hadj arab, khaled, saadi » et tous les autres ne vous fâchez pas si je vous oublie je viens de passer une nuit blanche

A notre amis « Pipo », je t'assure à un moment donné j'ai cru que c'était toi qui allait soutenir, merci beaucoup pour ton aide vieux frère

A tous mes amis de la promotion, nous avons passé deux années mémorables, je ne vous oublierai jamais

Au nom de tous les étudiants de notre promotion, nous tenons à remercier nos enseignants, ceux qui nous ont transmis leur passion pour la chimie et en particulier la chimie de l'environnement pendant nos deux années de master

Je tiens à remercier « Moh Saïd »

MOHEND

Je dédie ce modeste mémoire :

Aux êtres les plus chère et plus proches qui symbolise le courage, et la
tendresse, à mes parents.

A mon frère : Samir

A ma sœur : Lamia

A mes chères cousines et cousins

A mon cher binôme

A tous mes amis

A tous les étudiants M2 environnement

A toutes la famille NOUALI

A Moh Said

Figure I.1 : Classification des fibres naturelles	3
Figure I.2 : Structure d'une fibre végétale	4
Figure I.3 : Molécule de la cellulose	5
Figure I.4 : Structures d'Hémicellulose du type xylane (en haut), et du type Glucomannane (en bas)	6
Figure I.5 : Structure des trois alcools précurseurs de la lignine	7
Figure I.6 : Arbre de chêne zeen	8
Figure I.7 : Déchets de menuiserie	9
Figure I.8 : Le roseau commun	10
Figure I.9 : Le grignon d'olive	11
Figure II.1 : Schéma simplifié d'un matériau composite	12
Figure II.2 : Schéma de fabrication du composant de base : la résine PVC ou (compound)	13
Figures II.3.4 : Représentation des matériaux à base de PVC (de gauche a droite) des tuyaux d'assainissement, et des bâches	14
Figure VI.1 : Presse à poinçonne	19
Figure VI.2 : Dimension des éprouvettes pour essaie de tractions	20
Figure VI.3 : Exemple de différents Horizons qu'un sol peut avoir	21
Figure VI.4 : Fosse d'échantillonnage	22
Figure VI.5 : Fosse d'enfouissement	22
Figure VI.6 : Les trois échantillons et le témoin	23
Figure VI.7 : Destruction de la matière organique avec de l'eau oxygénée	24
Figure VI.8 : Minéralisateur	25
Figure VI.9 : Distillateur (BUSHII)	25
Figure VI.10 : Déterrage des éprouvettes	25
Figure VI.11 : Echantillon immergé dans l'eau distillée	27

Figure VI.12 : Echantillon après immersion 27

Figure VI.13 : Machine de traction de la marque ZWICK de type BTC-FR 2.5TN.D09. 28

Figure V.1 : Livre du code Munsell 30

Figure V.1 : Taux d'absorption de l'eau des composites avant et après enfouissement 32

Figure V.2 : Force à la rupture des différentes composites avant et après vieillissement 33

Figure V.3 : Allongements à la rupture de composites avant et après vieillissement 34

Figure V.4 : Module de Young des composites avant et après vieillissement 35

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Avantages et inconvénients de la fibre végétale..... 11

Tableau V.1 : Résultats de l'analyse chimique et physique du sol 31

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction 1

Chapitre I : Partie bibliographique

I.1 - Présentation de la fibre naturelle	3
I.1.1- Définition de la fibre végétale	4
I.1.2- Composition chimique d'une fibre végétale.....	4
I.1.2.1- La cellulose.....	5
I.1.2.2- L'Hémicellulose	5
I.1.2.3 La lignine	6
I.2 Nos fibres végétales	8
I.2.1 Le chêne zeen.....	8
I.2.2 Le bois blanc	9
I.2.3 Le roseau	9
I.2.4 Le Grignon d'olive.....	10
I.3 Les avantages et inconvénients des composites à renforts végétales	11
II.1 Les matériaux composites	12
II.2 Le poly chlorure de vinyle	13
.....	
II.2.1 Les propriétés du PVC	13
II.2.2 Les différents domaines d'application du pvc.....	14
II.3 Les composites bois polymères (WPC).....	14
II.3.1 Domaine d'utilisation des composites bois polymères	15
III. Etude du vieillissement des composites à base de pvc et de charges végétales	16
.....	
III.1 Définition du vieillissement	16
III.2 Vieillissement artificiel	16
III.2.1 Vieillissement Physique	16
III.2.2 Vieillissement Chimique.....	17

III.2.2.1 Vieillissement thermique.....	17
III.2.2.2 L'hydrolyse	17
III.2.2.3 La photodégradation.....	17
III.3 Vieillissement naturel.....	18

Chapitre II : Matériels et méthodes

VI.1- Matériaux d'études	19
VI.1.1- Découpage de nos plaques	19
VI.2- Etude du sol	20
VI.2.1 Localisation de la station d'étude	20
VI.2.3 Enfouissement	21
VI.3 Analyse du sol.....	21
VI.3.1 La teneur en matière organique	22
VI.3.2 Analyse granulométrique	24
VI.3.3 Mesure du pH	25
VI.3.4 Mesure de la teneur d'Azote	25
VI.4 Récupération des éprouvettes.....	26
VI.5 Détermination du taux d'absorption	27
VI.6 Tests de traction	27

Chapitre III : Résultats et discussions

V.1. Etude du sol	30
V.1.1 Profil du sol.....	30
V.1.2 Résultats des analyses chimique et physique	31
V.2 Taux d'absorption	32
.....	
V.3 Tests de tractions	33
V.3.1 La contrainte à la rupture (force à la rupture)	33
V.3.2 Allongement à la rupture	33
V.3.3 Module de Young (constante d'élasticité).....	34
Conclusion.....	35
Références bibliographiques	36
Annexes	

Le réchauffement climatique, la pollution de la faune et de la flore, la raréfaction des énergies fossile et la détérioration de l'environnement sont un constat alarmant. C'est pour cela que la préservation de l'environnement est devenue au centre des préoccupations: des Politiques, des Industriels et des Scientifiques. Ainsi une démarche plus écologique apparait.

C'est dans cette démarche que nous scientifiques, intéressons aux matériaux qui répondent aux besoins énergétiques en réduisant son impact environnemental.

C'est suite aux chocs pétroliers des années soixante-dix, que les composites bois-polymères appelé Wood Plastic Composite ou WPC ont vu le jour. Répondant à la double problématique énergétique et environnementale, ces matériaux offrent des avantages qui leurs permettent de concurrencer les matériaux polymères à renforts ou charges conventionnels, tels que la craie, la fibre de verre ou du carbone. En effet, ces matériaux composés de polymères et de charges ou renforts végétales ont de bonnes propriétés mécaniques spécifiques, une faible densité, un coût réduit, un bel aspect et la possibilité d'utiliser dans leur élaboration plusieurs types de fibres d'origine végétale autre que le bois. Aussi à cause de l'existence d'une partie végétale, ceci donne un caractère de biodégradabilité à ces matériaux, ce qui ouvre la possibilité d'une dégradation naturelle en fin de vie.

En Algérie, le chêne zeen et le roseau se trouvent en abondance et sont inexploités, en parallèle le grignon d'olive et le bois blanc sont considérés comme des déchets. Les fibres végétales tirées de ces matériaux inutilisés sont intéressantes du point de vue économique, de leur abondance et de leur disponibilité. Ainsi une valorisation des fibres issues de ces végétaux dans l'élaboration des WPC est une voie très intéressante.

Toutefois, l'étude du vieillissement de formulations ayant donnée des résultats satisfaisants du point de vue mécanique est très important pour mieux comprendre notre matériau et ainsi avoir une fiche technique assez fiable.

L'objectif de ce mémoire est l'étude du vieillissement naturel de nouveaux matériaux composites à base d'une matrice en PVC (polychlorure) et de fibre végétales (chêne zeen, roseau, grignon d'olive, bois blanc comme renfort.

Le présent mémoire s'articule en cinq chapitres, une conclusion générale et des perspectives :

- Le premier chapitre est consacré à la présentation de fibre végétale en général : ses différents constituants chimiques et ses avantages et inconvénients ;

- Le deuxième chapitre est dédié aux composites à base de PVC et de fibres végétales ;
- Dans le troisième chapitre, nous abordons différents types de vieillissement ;
- Le quatrième chapitre expose les matériaux et les méthodologies de travail employés lors de notre travail ;
- Le dernier chapitre expose nos résultats ainsi que leurs interprétations ;
- Nous terminons par une conclusion et des perspectives.

Le développement des composites comportant des fibres naturelles est sujet d'intérêt depuis les deux dernières décennies vu leurs faibles coûts et faible densité, leurs propriétés mécaniques spécifiques et leur caractères renouvelable et biodégradable.

Elles ont commencés à attirer l'attention des scientifiques et ingénieurs dès les années 90 et à avoir une place dans le secteur industriel (automobile, construction) [1].

I.1 Présentation de la fibre naturelle

Il existe une grande variété de fibres naturelles classées en trois grandes familles selon leur nature (végétale, animale, minérale) (voir Figure I.1), dans le cadre de ce mémoire nous nous intéressons au type végétale.

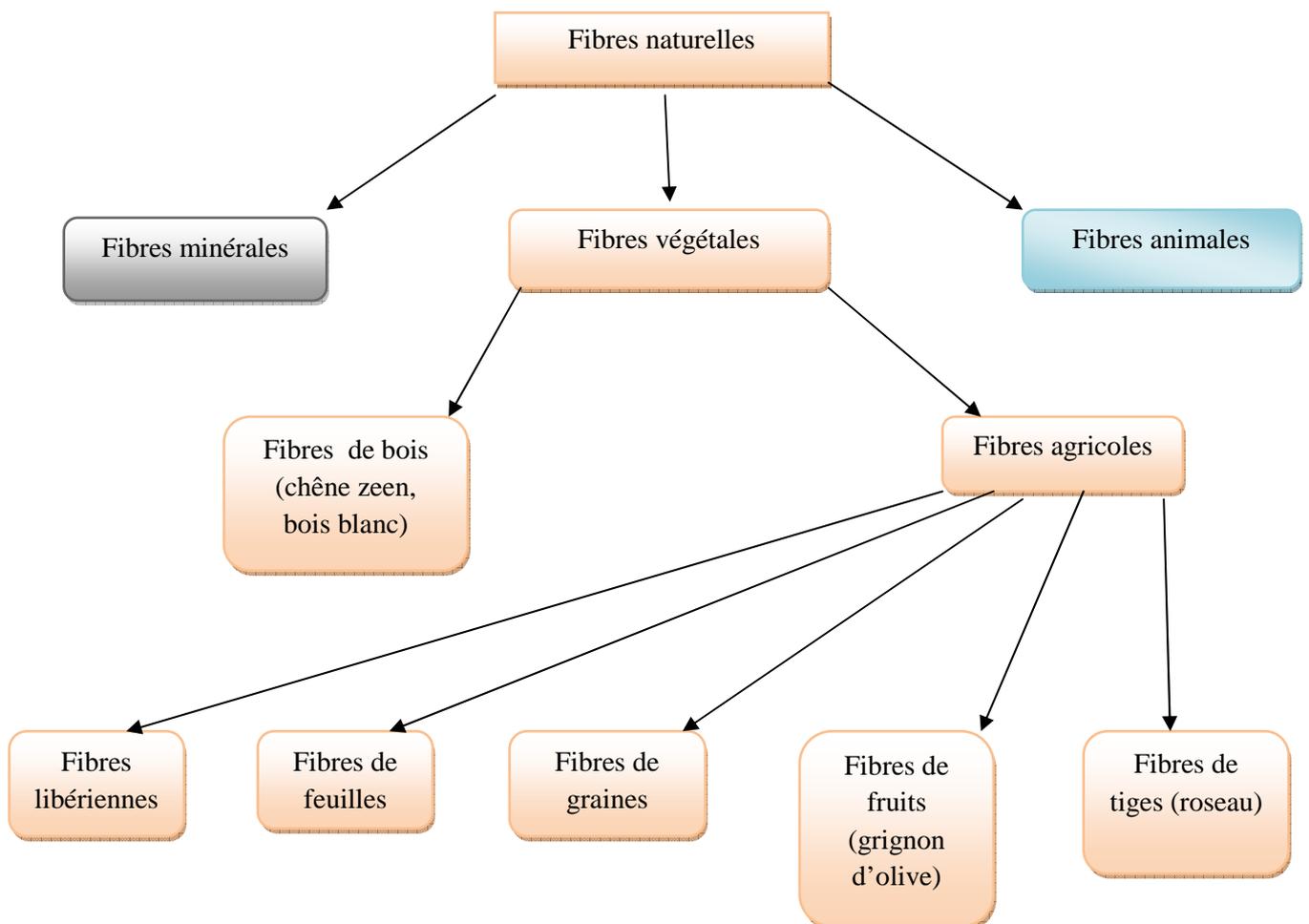


Figure I.1 : Classification des fibres naturelles [2]

I.1.1 Définition de la fibre végétale

Une fibre végétale est une expansion cellulaire morte de la plante, de forme allongée et de structure biologique fibrillaire.

Les fibres végétales sont classées selon leur provenance. On peut citer alors les fibres issues du bois (chêne zeen et bois blanc dans notre cas) et les fibres dites agricoles qui sont, dans notre cas, issues des tiges (roseau) et des fruits (grignon d'olive).

I.1.2 Composition chimique d'une fibre végétale

Les fibres végétales sont constituées en majeure partie de cellulose, d'hémicellulose et de lignine. Elles contiennent aussi en faibles quantités des protéines extractibles et des composés inorganiques. Chaque fibre est présentée sous forme de composite multicouche où la lignine et l'hémicellulose jouent le rôle de matrice enrobant la cellulose qui est une structure rigide [3]. (Voir Figure I.2)

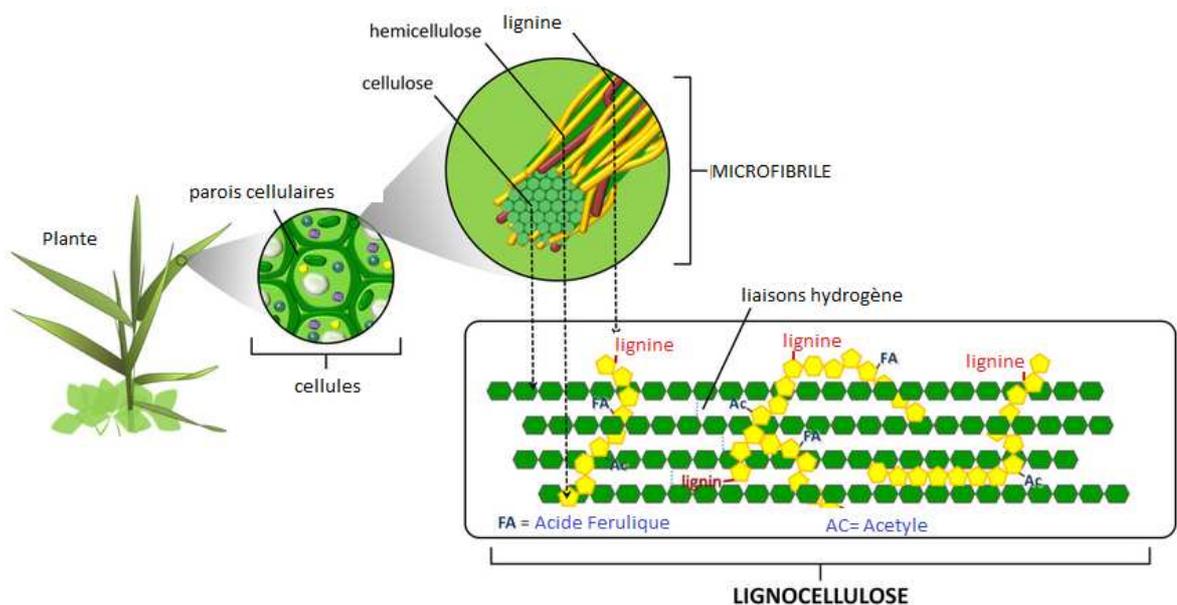


Figure I.2 : Structure d'une fibre végétale [4]

La teneur en cellulose, hémicellulose et lignine dépend de la nature de la fibre. Dans notre cas, nous travaillons avec quatre fibres différentes : la fibre de chêne zeen, la fibre de bois blanc, la fibre de roseau, la fibre de grignon d'olive.

I.1.2.1 La cellulose

La cellulose est un homopolysaccharide constitué de D-anhydroglucopyranoses liés par des liaisons β -(1,4)-glycosidiques en position C1 et C4. [1]

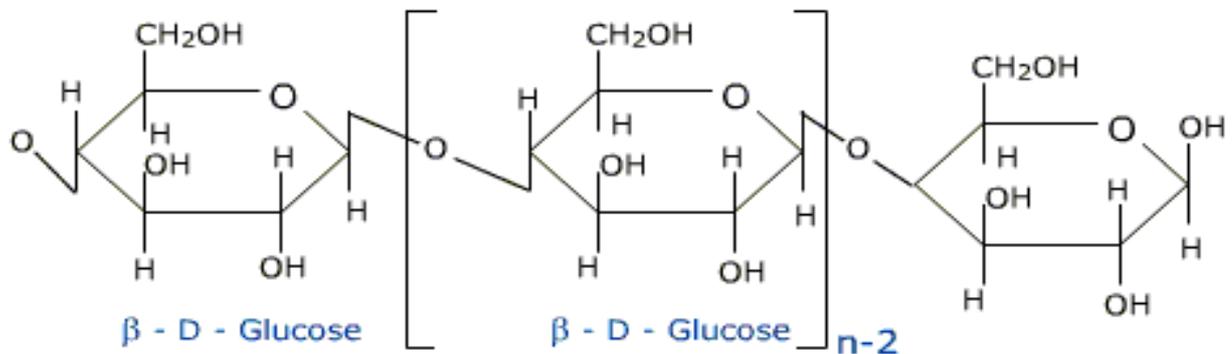


Figure I.3 : Molécule de la cellulose [5]

Tel qu'il est montré dans Figure I.3, la cellulose est un polymère dont le motif de base est le glucose, le degré de polymérisation (DP) varie selon l'espèce végétale. Il est d'environ 10000 pour le coton, 9000 pour le chanvre, le lin est d'environ 8000 l'épicéa [6].

Contrairement aux autres composants des fibres, qui ont une structure amorphe, la cellulose possède une structure en grande partie cristalline. Elle possède l'un des modules d'élasticité les plus élevés, environ 136GPa, qui est presque le double de la valeur du module de la fibre de verre qui est de 75GPa [1].

La contrainte à la rupture de la fibre peut atteindre 700MPa à sec et elle peut perdre jusqu'à 30% de ses propriétés en atmosphère humide. La cellulose est résistante aux alcalins forts, mais facilement hydrolysée par les acides [1].

La Cellulose n'est pas soluble dans l'eau mais fortement hydrophile.

I.1.2.2 L'Hémicellulose

Les Hémicelluloses, sont des polysaccharides composés de combinaison de cycles à 5 et 6 carbones. Elles se trouvent chez tous les végétaux caractérisés par des masses molaires plus faibles que celle de la Cellulose [6].

Contrairement à la Cellulose ; l'Hémicellulose est composée de sucres neutres (xylose, mannose, glucose,...) et d'acides uroniques. Elle possède une structure amorphe due à son

nombre considérable de chaînes et de ramifications, et aussi, son degré de polymérisation, qui ne dépasse pas 300.

L'Hémicellulose est très hydrophile, soluble en milieu alcalin, et facilement hydrolysable dans les acides. (Voir Figure I.4)

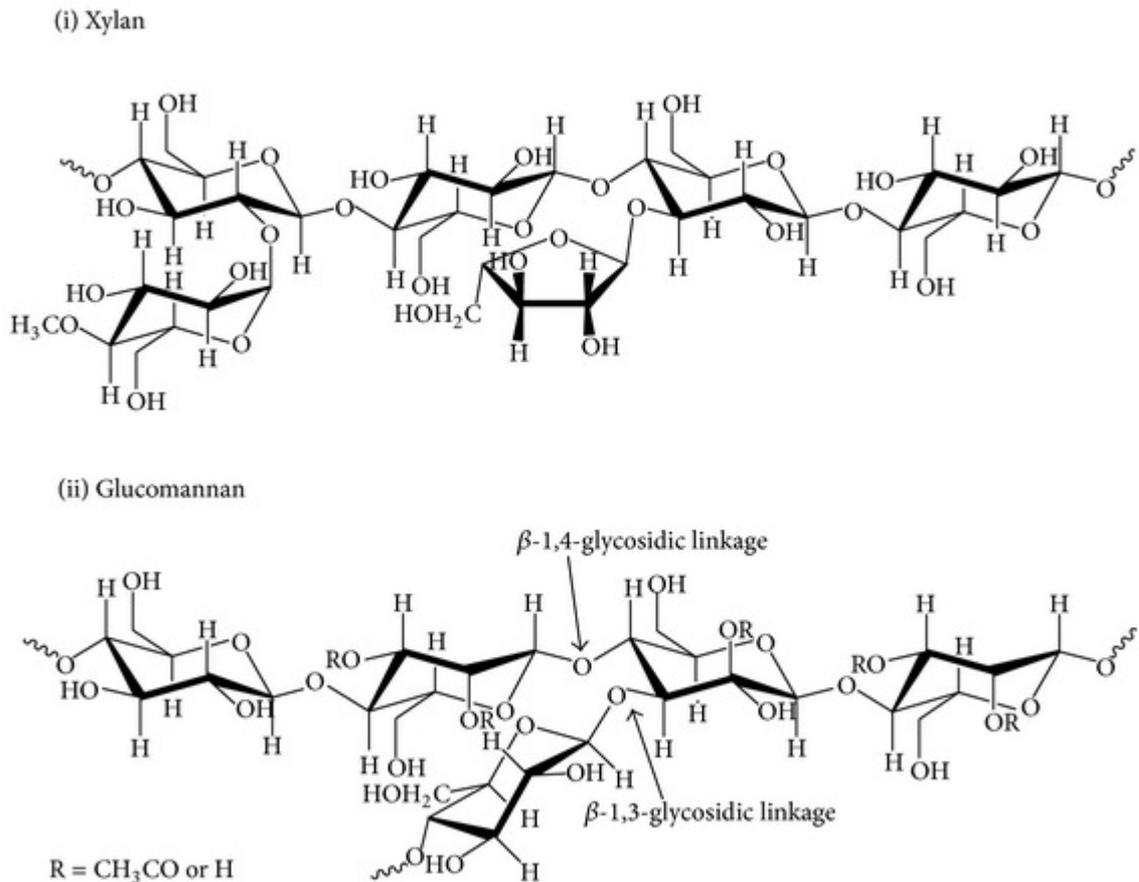


Figure I.4 : Structures d'Hémicellulose du type xylane (en haut), et du type Glucomannane (en bas) [7]

I.1.2.3 La lignine

La lignine est une macromolécule hétérogène composée de polymères aromatiques. Elle est, après la cellulose, le polymère le plus abondant au monde.

Elle participe à la rigidité structurale des parois cellulaires et protège les polysaccharides contre la dégradation biologique et atmosphérique et contre les moisissures du fait qu'elle est hydrophobe [6].

La lignine est une molécule à trois dimensions composée d'unités de phényle propane. Les unités primaires (monolignols) constituant la lignine sont l'alcool coniférylique, l'alcool sinapylique et l'alcool p-coumarylique. Une fois synthétisée, la lignine s'associe avec les différents polysaccharides pour former une matrice constitutive de la paroi végétale [1].

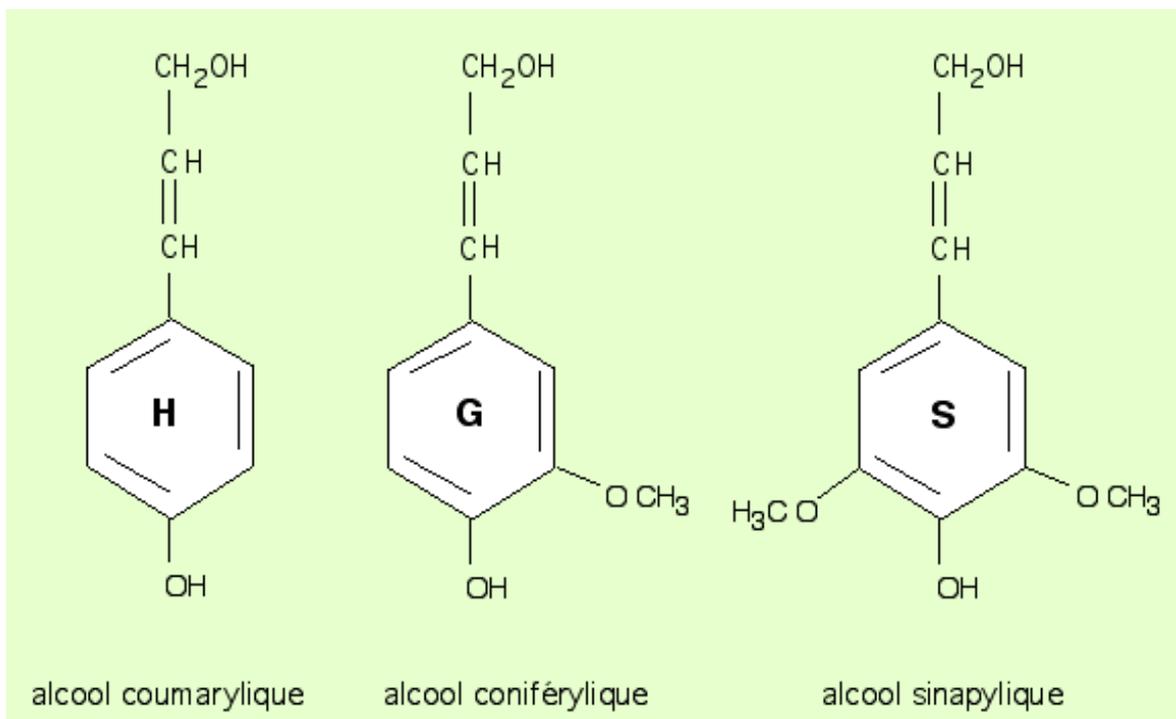


Figure I.5: Structure des trois alcools précurseurs de la lignine [8]

La lignine est totalement amorphe et hydrophobe. Elle n'est pas hydrolysée par les acides, mais soluble à chaud dans la soude, facilement oxydée et facilement condensable avec du phénol [6].

I.2 NOS FIBRES VEGETALE

I.2.1 Le chêne zeen

Le chêne zeen ou chêne de canaries, *Quercus Canariensis L* , est un chêne originaire du sud de Portugal, de l'Espagne, de la Tunisie, du Maroc et de l'Algérie, mais il n'est pas actuellement présent dans les îles canaries. Bien plus répandu en Afrique du nord où il constitue la majeure partie des forêts semi-caducifoliées en situation littorale dont fait partie la Kabylie.[9]

Le bois de chêne zeen est une fibre hygroscopique ; anisotrope et hétérogène [10].

Nommé (matériau composite) ; tant en terme structural qu'au niveau de sa composition chimique. Il constitue la matière première renouvelable la plus importante en quantité. Sa recyclabilité et sa biodégradabilité font de lui un éco-matériau d'intérêt. [11]



Figure I.6 : Arbre de chêne zeen [12]

I.2.2 Le bois blanc

Le bois est un matériau possédant de multiples facettes. Ainsi, les déchets de bois sont aussi très variés. On trouve parmi eux du bois à l'état naturel issu de la forêt, des chutes des coupes et des poussières de ponçage provenant de menuiseries (résidus de bois), du bois revêtu (peint ou laqué) issu de bâtiments, de meubles ou d'emballages (bois usagé), et des déchets de bois posant problème, car imprégnés de produits de conservation. Le traitement de ces déchets dépend donc de la catégorie à laquelle appartient le bois.



Figure I.7: déchets de menuiserie [13]

I.2.3 Le roseau

Le roseau est une vasculaire de la famille des graminées. Nommé le *Phragmite Communis L.* On peut le trouver jusqu'à 1000 m d'altitude. [14]

Cette plante vivace, peut atteindre une grande taille (plus de 6 m), et former des colonies mono spécifiques particulièrement denses pouvant contenir jusqu'à 325 tiges par mètre carré. Les tiges, dont le diamètre varie de 4 à 10 mm, sont produites à chaque printemps, mais elles meurent à la fin de l'automne. Elles demeurent, toutefois érigées en hiver, et ce n'est qu'au printemps suivant qu'elles s'affaissent progressivement sur le sol et forment

une litière, qui peut atteindre plusieurs centimètres d'épaisseur, et qui est lente à se décomposer, les tiges sont surmontées d'une panicule (inflorescence) plus ou moins touffue selon le génotype en présence. [15]



Figure I.8 : Le roseau commun [16]

I.2.4 Le Grignon d'olive

Le grignon d'olive est le résidu solide de l'extraction de l'huile d'olive, il représente environ 25 % des olives traitées et il est composé de la coque du noyau réduit en morceaux, de la peau et de la pulpe broyée de l'olive [17]. Il contient encore une certaine quantité de matière grasses (3 à 7 %) et une importante quantité d'eau (la margine) variable selon la variété des olives et surtout du procédé d'extraction [18].

Selon le traitement technologique utilisé, on distingue trois types du grignon d'olive :

- le grignon brut.
- le grignon épuisé.
- le grignon partiellement dénoyauté.



Figure I.9 : Le grignon d'olive [19]

I.3 Les avantages et inconvénients des composites à renforts végétales

les composites à renforts végétales présentent beaucoup d'avantages mais aussi des inconvénients. (Voir Tableau I.1)

Avantages	Inconvénients
Faible coût	Incompatibilité avec les polymères apolaire
Faible densité	Transformation difficile
Biodégradabilité	Absorption de l'eau
Propriétés mécaniques élevées	Plus exposé à l'hydrolyse
Disponibilité	Qualité instable selon la provenance et la saison de récolte
Renouvelable	Gonflement à cause de l'humidité
Récupération de la matrice plus facile	

Tableau I.1 : Avantages et inconvénients de la fibre végétale [20]

II.1 Les matériaux composites

Les matériaux composites suscitent l'intérêt des scientifiques et des industriels. Leur géométrie spécialement conçue afin d'avoir des propriétés que leur constituants élémentaires ne possèdent pas individuellement en plus de cela leur faible masse volumique les rends plus intéressant que les matériaux traditionnels [21].

Les composites sont des matériaux hétérogènes formés de deux constituants : la matrice, et le renfort. Ils sont généralement conçus de sorte à combiner les propriétés de leur constituants. Ainsi, une propriété que ne possède pas l'un est présente chez l'autre. Leur arrangement géométrique peut même faire émerger au niveau global des propriétés que leurs constituants n'ont pas [22].

On peut distinguer trois types de matériaux composites selon la nature de la matrice utilisée :

- les composites à matrice organique (CMO) qui constituent les volumes les plus importants aujourd'hui à l'échelle industrielle
- les composites à matrice céramique réservés aux applications de très haute technicité et demandent une bonne tenue aux hautes températures (CMC)
- les composites à matrice métallique (CMM)

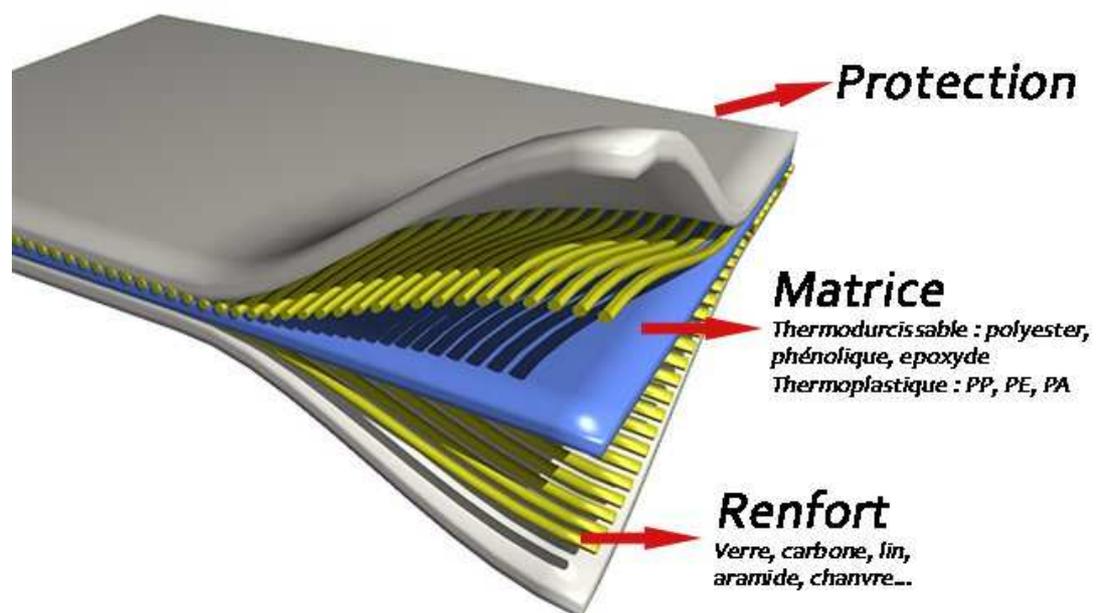


Figure II.1 : Schéma simplifié d'un matériau composite [23].

II.2 Le Poly Chlorure de Vinyle

Le Poly Chlorure de Vinyle est un polymère thermoplastique de grande consommation amorphe ou faiblement cristallin, connu sous le sigle PVC (sigle venant de l'appellation anglaise (polyvinylchloride). Il est généralement sous forme $--(CH_2—CHCl)_n$ [24].

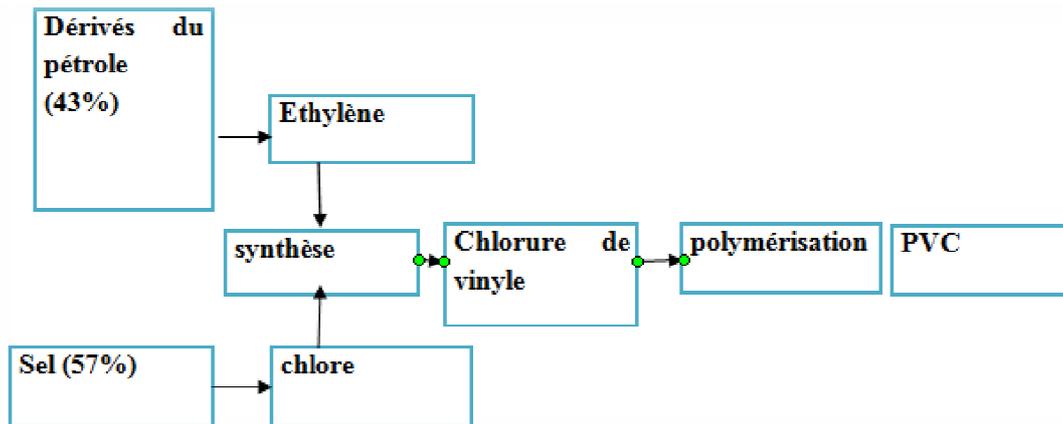


Figure II.2 : Schéma de fabrication du composant de base : la résine PVC ou (compound)

Le polychlorure de vinyle est la première matière plastique qui a été utilisée dans les matériaux composites bois-polymères. Il a été découvert par accident à au moins deux occasions au cours du XIXe siècle. D'abord en 1835 par *Henri Victor Regnault* et en 1873 par *Eugen Baumann*. Dans les deux cas, le polymère est apparu comme un solide blanc dans des bouteilles de chlorure de vinyle après exposition à la lumière solaire. Au début du XXe siècle, les chimistes russes *Ivan Ostromislensky* et *Fritz Klatte* ont tous deux tenté d'utiliser le PVC dans des produits commerciaux, mais leurs efforts ne furent pas couronnés de succès à cause des difficultés de transformation du polymère. En 1926, *Waldo Semon*, en collaboration avec la société *B.F Good Rich*, a développé une méthode de plastification du PVC en le mélangeant avec des additifs. Ceci a permis de rendre les matériaux plus flexibles et plus faciles à fabriquer.[24]

II.2.1 Les propriétés du PVC

Il s'agit d'un plastique dur et solide résistant à l'eau, à la combustion et aux UV, auquel on ajoute souvent des plastifiants pour améliorer sa souplesse. Ce matériau se caractérise également par une très bonne résistance chimique aux acides. Par contre, il est sensible à certains solvants organiques (aromatiques, cétoniques). Les composites à base de PVC présente une tenue au vieillissement naturel.

Le Polychlorure de Vinyle ne doit pas être brûlé avec d'autres déchets en plein air car il dégage de l'acide chlorhydrique en présence de la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère. Il peut être recyclé après utilisation. Il est généralement ductile [24].



Figures II.3,4: Représentation des matériaux à base de PVC (de gauche à droite) des tuyaux d'assainissement, et des bâches [24]

II.2.2 Les différents domaines d'application du pvc

Grace à ses propriétés mécaniques et chimiques de très bonne qualité, le PVC est très exploité dans le milieu industriel. Les secteurs d'utilisations du matériau sont :

Secteur hydraulique : il est utilisé dans les réseaux d'assainissement que ça soit à petit ou à grande échelle.

Secteur construction : Portes, fenêtres, faux plafonds.

Il est beaucoup utilisé comme accessoire, on site les tuyaux (d'arrosages, de gaz, de plomberie), vestes imperméables, parapluies, bottes, gants, etc.

II.3 Les composites bois polymères (WPC)

Le concept de WPC a vu le jour en Italie durant les années 70 du siècle dernier. Il constitue une matrice organique de la famille des plastiques (le PVC dans notre cas) et d'une charge végétale (fibre végétale) comme renfort [4]

Leur utilisation prend une grande ampleur vue leurs bonnes qualités couplées à leurs propriétés mécaniques élevées, et leur caractère biodégradable fait d'eux des matériaux respectant le développement durable.

II.3.1 Domaine d'utilisation des composites bois polymères

Grace à leurs bonnes qualités, les composites bois-polymères sont utilisés dans différents secteurs :

- Dans le génie civil (matériaux de construction, revêtements de surfaces extérieurs, etc.)
- Dans l'industrie des transports (véhicules automobiles, avion, bateaux)
- On peut aussi citer les matériaux de décoration (revêtement de sols, armoires, planchers, etc.)

III. Etude du vieillissement des composites à base de PVC et de charges végétales

La dégradation des propriétés mécaniques d'un matériau composite est due à toutes sortes de sollicitations extérieures qu'il peut subir tout au long de son cycle de vie. Les agressions climatiques et biologiques causent le vieillissement du matériau jusqu'à le rendre (à la fin de sa durée de vie) impossible à utiliser [25].

Il est difficile de prévoir les propriétés mécaniques que présenteront les composites utilisant les fibres naturelles, car leur variabilité importante, leur faible adhésion avec les matrices organiques thermoplastique et leur morphologie qui, elle aussi, est variable, complique la modélisation. Pour étudier les mécanismes de dégradation et de biodégradation, il est impératif de mettre au point une étude expérimentale du vieillissement [26].

III.1 Définition du vieillissement

Nous appelons vieillissement, tout phénomène d'évolution lente et irréversible de la structure et/ou de la composition d'un matériau sous l'effet de son instabilité propre, de l'interaction avec l'environnement, de sollicitations mécaniques ou de la combinaison de plusieurs de ces causes [25].

Il existe deux types d'étude du vieillissement d'un composite ; vieillissement artificiel ou accéléré (lui-même classé en deux catégories ; vieillissement physique et chimique) et vieillissement naturel (vieillissement biologique).

III.2 Vieillissement artificiel

Les éléments extérieurs auxquels font face tous les matériaux sont ; l'humidité (l'hydrolyse), les rayons UV (dégradation photochimique), la température et les agents polluants. Les essais de vieillissement artificiels tentent de reproduire ces conditions d'une manière extrême, afin d'accélérer le processus de dégradation. On cite :

III.2.1 Vieillissement Physique

Les essais de vieillissement physique ont pour particularité de provoquer des changements des propriétés structurelles et surfaciques du composite mais pas de modifications chimiques. Les techniques les plus répandues sont :

- Adsorption-désorption de solvant
- Traitement par décharge électrique
- La technique de relaxation structurale en modifiant la configuration spatiale du matériau [20].

III.2.2 Vieillessement Chimique

Le vieillissement chimique correspond à tout mode de vieillissement impliquant des modifications de la structure chimique des matériaux.

III.2.2.1 Vieillessement thermique

La chaleur est l'un des facteurs favorisant et accélérant la détérioration des composites à fibres naturelles. L'essai de vieillissement thermique consiste à exposer les matériaux étudiés à des hautes températures pendant de longues durées, ce qui a pour effet la détérioration de la structure interne et la diminution des propriétés mécaniques du composite.

III.2.2.2 L'hydrolyse

Le contact entre la fibre hydrophile et les molécules d'eau entraîne l'absorption de l'eau par les surfaces puis dans le volume du matériau selon les lois de diffusion [20].

Les molécules d'eau pénètrent par capillarité entre les chaînes polymériques de la fibre et à l'interface fibre/matrice. Les molécules d'eau forment des liaisons Hydrogènes avec les groupements hydroxyles de la cellulose et des hémicelluloses. Les composants des fibres sont hydrolysés, entraînant ainsi, une décohésion à l'interface fibre/matrice qui peut être responsable de la diminution des propriétés fonctionnelles [20].

III.2.2.3 La photo-dégradation

L'amorçage de la photo-dégradation consiste en l'absorption de photons (dans le domaine des UV entre 300 et 400 nm) par le matériau, ce qui va le porter à un état excité et lui conférer une réactivité qu'il n'avait pas à l'état fondamental. Cette réactivité conduit à des coupures de chaînes, ce qui induit une diminution des propriétés mécaniques du composite [27].

III.3 Vieillissement naturel

Il existe deux types de vieillissement naturel: vieillissement dans des compostes et vieillissement par enfouissement en pleine nature. L'étude repose sur le principe que les fibres sont naturellement biodégradables et sont donc susceptibles d'être attaqués par des agents biologiques comme les insectes xylophages et les champignons lignivores [28].

Introduction

Notre travail de recherche se porte sur l'étude de l'influence d'un vieillissement naturel de composites à base de Polychlorure de Vinyle chargés de différentes fibres végétales à une teneur de 10 partie par résine (pcr), en se basant sur la caractérisation des propriétés physiques et mécaniques.

Dans ce chapitre nous exposerons les matériaux et matériels utilisés, l'analyse du sol et les conditions de vieillissement et enfin les méthodes et les techniques d'analyses utilisées.

IV.1 Matériaux d'étude

Nos matériaux sont :

- PVC vierge ;
- Composite à base de PVC et de fibre de chêne zeen à 10 pcr ;
- Composite à base de PVC et de fibre de bois blanc à 10 pcr ;
- Composite à base de PVC et de fibre de roseau à 10pcr ;
- Composite à base de PVC et de fibre de grignon d'olive à 10 pcr.

IV.1.1 Découpage de nos plaques

Au niveau du laboratoire d'analyse de la qualité de la société CATEL (Zone industrielle de Oued-Semar), nos composites en forme de plaques, ont subi une découpe pour l'obtention d'éprouvettes de type H (Figure IV.2) grâce à une presse à poinçonner (Figure IV.1).



**Figure IV.1 : Presse à poinçonne
(ORIGINALE, 2018)**

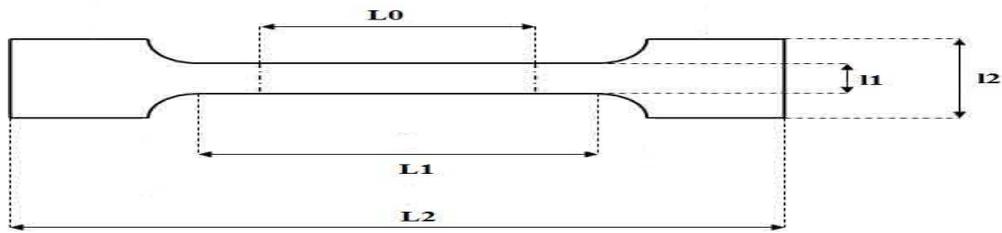


Figure IV.2 : Dimension des éprouvettes pour essai de tractions

Les dimensions des éprouvettes obtenues :

- L_1 : 30 mm
- L_2 : 75mm
- l_1 : 4mm
- l_2 : 13mm
- L_0 : 25,61mm
- L'épaisseur varie entre (1,5-2,3mm), cela dépend de la charge végétale

IV.2 Etude du sol

IV.2.1 Localisation de la station d'étude

Notre station d'étude se trouve à Yakouren, Daïra d'Azazga, Wilaya de Tizi-Ouzou, dans le massif de *Beni-Ghobri*. Au statut juridique domanial, ce dernier couvre une superficie de 5710ha, répartie sur 33 contons forestiers.

Le massif forestier de *Béni-Ghobri* est délimité au Nord par la forêt de *Tamgout*, au Sud par la commune de *Cheurfa*, à l'Est par la forêt d'*Akfadou* et par la ville d'*Azazga* à l'Ouest (voir la pièce jointe : la station vu par satellite).

Les coordonnées angulaires de *Béni-Ghobri* sont de $36^{\circ}42'$ à $36^{\circ}47'$ latitude Nord et $4^{\circ}22'$ à $4^{\circ}27'$ longitude Est. Ce massif surmonte dans la tendance altitudinal de 735m (*Tizi-Bouchen*) et 1317m (*Djebel Afroun*).

La station a été choisi en fonction de : la couverture végétale, la topographie, la roche mère et l'activité biologique.

IV.2.2 Horizons du sol

Avant l'enfouissement de nos éprouvettes, nous avons d'abord procédé à un échantillonnage du sol. Pour cela, nous avons creusé une fosse d'un mètre cube pour pouvoir prélever trois horizons du sol :

- Horizon 1 (0-13cm)
- Horizon 2 (13-28cm)
- Horizon 3 (51cm et plus)

Une fois que les trois échantillons de sol ont été prélevés, nous procédons à des tests sur place : humidité, texture, activité biologique, présence ou absence de matières organiques en utilisant de l'eau oxygénée et test à l'HCL(présence ou absence de calcaire).



Figure IV.3 : Exemple de différents Horizons qu'un sol peut avoir [29].

IV.2.3 Enfouissement

Sur le même type de sol, à un endroit différent, on creuse une fosse de 1m20 de longueur, 40cm de largeur et 20cm de profondeur. On enterre nos éprouvettes telles qu'il est montré sur les Figures IV.4 et 5.

Notre enfouissement a été réalisé le 05 Avril 2018. La période d'enfouissement est de 90 jours.



Figure IV.4 : Fosse d'échantillonnage
(ORIGINALE, 2018)



Figure IV.5 : Fosse d'enfouissement
(ORIGINALE, 2018)

IV.3 Analyse du sol

Notre étude du sol a eu lieu au sein du laboratoire de pédologie du département des sciences biologiques et agronomiques de l'université Mouloud Mammeri (Algérie).

Afin de savoir quelles sont les conditions de dégradation que nos matériaux subissent pendant cette période d'enfouissement, nous avons étudié les caractéristiques du sol de *Yakouren*.

Les tests réalisés sont :

- Teneur en matières organiques : - Teneur en carbone ;
- Granulométrie du sol ;
- pH du sol (en mesurant le pH des différents Horizons du sol) ;
- Teneur d'azote totale.

Le dernier test (Teneur en azote) a été réalisé quant à lui au sein du laboratoire de l'Institut National de Recherche Agronomique d'Algérie (INRAA, situé à Baraki)

IV.3.1 La teneur en matière organique

Le dosage du carbone organique du sol a été réalisé selon la méthode de *Anne* [30]. Le calcul de la teneur en matière organique du sol se base sur le fait que celle-ci est constituée de 58% de Carbone.

Les essais ont été réalisés au sein du laboratoire de pédologie de la faculté des sciences biologiques et agronomiques.

Nous avons opéré comme suit :

1. Nous avons pesé 0,5 g de terre fine dans un Erlenmeyer, puis à l'aide d'une pipette nous avons ajouté 10 ml de solution de bichromate à 8 % ;
2. Ensuite, grâce à une éprouvette graduée, nous avons ajouté 15 ml d'acide sulfurique concentré et sur une plaque chauffante, nous avons laissé nos solutions chauffer jusqu'à ébullition ;
3. Une fois refroidis, nous avons transvasé dans un ballon jaugé de 200 ml, qui est complété avec de l'eau distillée, et nous avons agité ;
4. Après homogénéisation, nous avons prélevé 20 ml de solution et nous l'avons transvasé dans un Erlenmeyer de 250 ml, une dilution s'ensuit avec environ 150 ml d'eau distillée ;
5. Nous avons ajouté 3 à 4 gouttes de diphenylamine+1,5 g de (NaF) en poudre, et enfin nous avons fait un titrage avec une solution de Mohr de 0,2 N.



Figure IV.6 : Les trois échantillons et le témoin.

À partir des volumes obtenus, nous calculons la teneur en carbone de chaque Horizon (H) :

Nous avons : 1 g de bichromate ($K_2Cr_2O_7$) attaque 3g de Carbone (C)

1 ml de sel de ($K_2Cr_2O_7$) oxyde 0,615 mg de C (Coefficient de correction de *Anne*)

Pour obtenir la teneur en carbone du sol nous appliquons la loi suivante :

$$(n - n') * 0,615 * 2$$

Avec :

n représente le volume du témoin

n' représente le volume de l'horizon

Pour calculer la teneur en matières organiques (MO) on multiplie par 1,724 :

$$MOS\% = C\% * 1,724$$

Avec:

C% représente la teneur en carbone du sol

MOS% représente la teneur en matières organiques du sol

IV.3.2 Analyse granulométrique

Elle consiste à séparer les différentes fractions minérales et à les évaluer en pourcentages pondéraux de l'ensemble de l'échantillon. L'analyse se fait sur un échantillon de sol tamisé et séché à l'air libre.

Les sables fins et grossiers sont séparés par tamisage. Les argiles et les limons fins sont déterminés par la méthode internationale, par sédimentation après dispersion (loi de *Stockes*) [31].



Figure IV.7 : Destruction de la matière organique avec de l'eau oxygénée.

Elle consiste à prélever à la pipette de robinson, une certaine quantité de matière en suspension à une profondeur de 10 cm :

- Mesure de l'argile + limons fins : au bout de 4 minutes et 41 secondes, nous avons fait un prélèvement selon la température 21 °C. Nous avons récupéré ensuite le contenu de la pipette dans une capsule tarée et nous avons fait sécher à l'étuve à 105°C (P1) ;
- Mesure de l'argile : nous avons mis en suspension les particules par agitation, après 8 heures de sédimentation, nous avons fait un prélèvement au bout de 4 minutes 28 secondes selon la température 23 °C. Nous avons récupéré ensuite le contenu de la pipette dans une capsule tarée et nous avons fait sécher à l'étuve à 105°C (P2).

VI.3.3 Mesure du pH

Mode opératoire

Le pH du sol est mesuré sur des échantillons de sol avec un rapport sol/solution de 1/5. Pour ce faire, nous avons pesé 20 g du sol, que nous avons mis dans une fiole, puis 100 ml d'eau distillée sont ajoutées. Enfin, nous avons opéré à une agitation et avons mesuré le pH avec un pH mètre.

VI.3.4 Mesure de la teneur d'Azote

Afin de calculer la teneur en Azote total des échantillons du sol, nous avons dosé selon la méthode *Kjeldahl* [32] (Jackson, 1967).

L'azote total a été déterminé par la méthode de KJELDAHL, dont le principe consiste à transformer l'azote des composés organiques en azote ammoniacal sous l'action de l'acide sulfurique concentré à température élevée. Cette forme d'azote est fixée immédiatement par l'acide sulfurique sous forme de sulfate d'ammonium. Un catalyseur (sulfate de cuivre + sulfate de potassium + sélénium) est ajouté à la réaction, pour accroître l'action oxydante de l'acide sulfurique.

La solution de sulfate d'ammonium est récupérée, puis nous avons dosé l'azote ammoniacal, par distillation au « BUSHI » après l'avoir déplacé de sa combinaison par une solution de soude en excès, est captée par une solution d'acide borique et de rouge de méthyle.

Enfin, on dose le sulfate d'ammonium avec l'acide sulfurique 0,01N. Le taux d'azote est déduit à partir de volume d'acide sulfurique utilisé par le dosage.



**Figure IV.8 : Minéralisateur
(ORIGINALE, 2018)**



**Figure IV.9 : Distillateur (BUSHII)
(ORIGINALE, 2018)**

IV.4 Récupération des éprouvettes

Après une période de 90 jours, on a déterré nos éprouvettes pour réaliser des tests de tractions mécaniques.

Pour déterrer, on a commencé par creuser avec une petite pioche d'environ 15cm de profondeur, puis continuer doucement avec la cuillère jusqu'à atteindre nos éprouvettes et enfin on a continué manuellement pour éviter de les abimer.



**Figure IV.10 : Déterrage des éprouvettes
(ORIGINALE, 2018)**

IV.5 Détermination du taux d'absorption

C'est la quantité d'eau maximale, que peut absorber un échantillon préalablement étuvé pour qu'il puisse perdre son eau libre après immersion complète dans l'eau distillée.

Pour la détermination du taux d'absorption d'eau, nous avons opéré comme suit :

- peser des échantillons de dimension 12 mm*12mm*2mm ;

- sécher à 105 °C pendant une heure de temps, mettre ensuite les échantillons dans un dessiccateur ;
- immerger chaque plaque totalement dans de l'eau distillée à PH égale à 6 et à température ambiante pendant 24h ;
- après les 24h, bien essuyer nos échantillons à l'aide de papier absorbant, puis on les a repesés pour déterminer le taux de d'absorption.



Figure IV.11: Echantillon immergé dans l'eau distillée (ORIGINALE, 2018).



Figure IV.12 : Echantillon après Immersions (ORIGINALE, 2018).

IV.6 Tests de traction

Dans l'industrie des matériaux bois/polymères, les tests de tractions mécaniques représentent un moyen incontournable, que l'ingénieur utilise pour la détermination et la validation de la résistance mécaniques d'un matériau.

Dans notre cas, des tests de tractions ont étaient effectués avant l'enfouissement, ce qui a eu pour but de déterminer l'élasticité, la rigidité et la résistance de nos composites, faits à partir de différentes fibres et de PVC. Après enfouissement, nous effectuons des tests à nouveau pour savoir l'effet du milieu sur la dégradation des propriétés mécaniques étudiées.

Grâce à une machine d'essai de traction, nos éprouvettes subissent un étirement jusqu'à leur rupture. Cela permet de déterminer leur comportement élastique et leur degré de résistance à la rupture.

Cet essai consiste à placer une petite barre du matériau à étudier entre les mâchoires d'une machine de traction qui tire sur la barre jusqu'à sa rupture. Nous avons enregistré

l'allongement et la force appliquée, que nous avons convertis en déformation et contrainte. Les essais de traction ont été effectués avec des éprouvettes obtenues sur une machine de la marque ZWICK de type BTC-FR 2.5TN.D09 (Figure IV.13) en suivant la norme NFC 32-200 avec une température de 19.3°C et une vitesse de 50 mm/mn.



Figure IV.13: Machine de traction de la marque ZWICK de type BTC-FR 2.5TN.D09 (ORIGINALE, 2018).

V.1 Etude du sol

V.1.1 Profil du sol

Les profils des sols réalisés ont été décrits selon la nomenclature définie par DUCHAUFOR, 1977, les critères utilisés lors des descriptions des profils sont :

- Délimitation des différents horizons morphologiquement discernables ;
- Distribution verticales éléments grossiers (>2mm) ;
- Appréciation au toucher de la texture.

Par ailleurs, l'estimation de la couleur a été faite à l'œil nu tel qu'il est montré dans la (Figure V.1) sur des échantillons secs. La nature de la roche mère est relevée sur la base de la documentation géologique de la région de *Béni-Ghobri*.

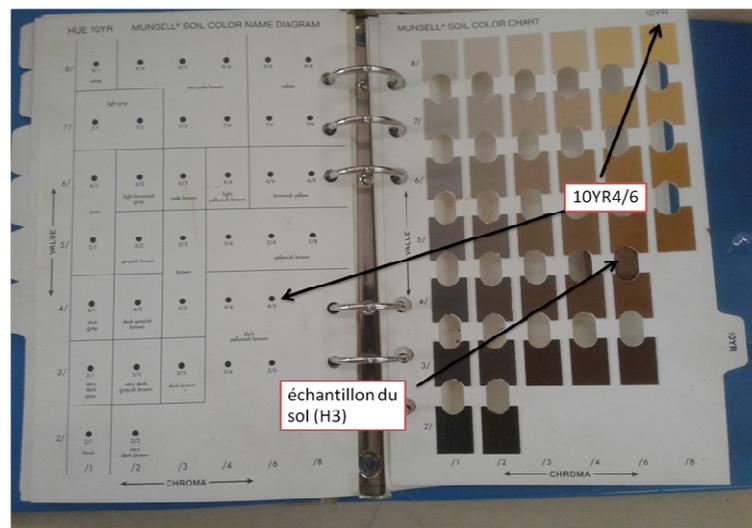


Figure V.1 : Livre du code Munsell (ORIGINALE, 2018)

Le code *Munsell* est un outil indispensable dans la pédologie. La nécessité de codifier l'appréciation visuelle de la couleur en se basant sur des comparaisons avec des étalons colorés, s'est rapidement fait sentir dès les débuts de l'étude des sols, car la couleur apparaissait déjà comme une donnée importante [33].

V.1.2 Résultats des analyses chimique et physique

Les résultats de l'analyse physique et chimique du sol sont donnés sur le tableau suivant.

		H1(0-13cm)	H2(13-28cm)	H3(28 et+)
Granulométrie	Argiles (%)	25	46,6	
	Limons(%)	35,22	24,07	
	Sables(%)	39,78	29,33	
	Texture	Limoneux	Argileux	
pH		6,4	6,8	6,8
C(%)		1,6		0,5
N(%)		0,052	0,042	0,042
C/N		28,57		11,9
MO(%)		2,75	0,442	0,848
Humidité		Frais	Frais	Humide
Couleur		10YR3/1	10YR3/2	10YR4/6
Taches oxydo-réduction		Absence	Absence	Présence de taches bleu et rouge
Structure		Grumluse fine	Grumluse grossière	Massive

Tableau V.I : Résultats de l'analyse chimique et physique du sol

Ce sont les limons et les sables qui dominent la texture, avec des taux de 35.22 et 39.78% respectivement dans le cas de l'horizon 0-13cm. Pour les profondeurs supérieures à 13 cm et plus, un enrichissement en argile a été observé avec un taux de 46.6%.

Les résultats du pH révèlent une diminution de l'acidité en fonction de la profondeur. L'acidité est en relation avec la nature de la végétation (tendance acidifiante) et l'activité biologique. Cette acidité du sol plus élevée en surface est due à la décomposition de la litière qui libère des composés organiques acides.

La teneur en carbone et en matières organiques dans le cas de notre étude diminue avec la profondeur. Ce résultat s'explique par l'apport en matières organiques plus important pour les horizons de surface.

Une légère diminution en azote total a été observée avec la profondeur. Elle suit la diminution du taux en matières organiques.

Le rapport carbone organique sur l'azote total (C/N) est un indicateur de l'intensité de la minéralisation de la litière. Un rapport C/N trop élevé (supérieur à 12) est indicateur d'un ralentissement de la minéralisation (c'est le cas pour C/N=28,57). Par contre dans le cas de l'horizon 28 et plus, le rapport C/N proche de 12 (Voir Tableau V.1) est indicateur d'une meilleure minéralisation de la matière organique.

V.2 Taux d'absorption

Les résultats des taux d'absorption d'eau de nos composites avant et après enfouissement sont représentés dans les histogrammes ci-dessous :

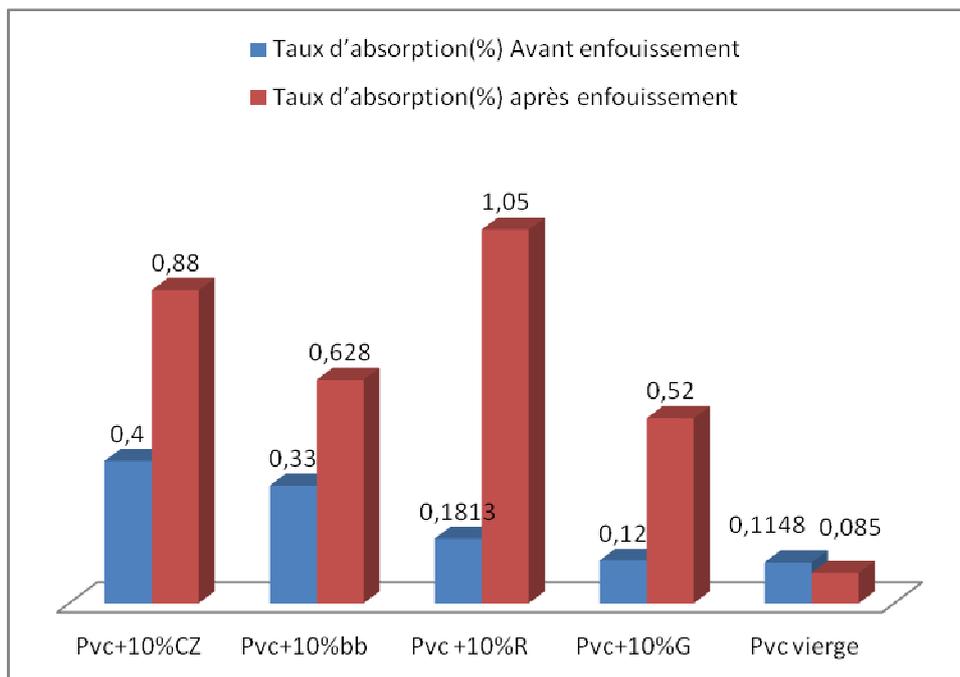


Figure V.2 : Taux d'absorption de l'eau des composites avant et après enfouissement

On observe une augmentation de l'absorption de l'eau après vieillissement de nos composites. Cela est dû à la quantité d'eau qui pénètre à l'intérieur des cavités formés lors de la détérioration de la cellulose et l'hémicellulose, probablement par les

microorganismes cellulolytiques qui sont présents dans les sols humides. Ces derniers ont la particularité de vivre dans un milieu anaérobie, ce qui est le cas pour notre sol argileux [34].

V.3 Tests de tractions

V.3.1 La contrainte à la rupture (force à la rupture)

Les moyennes des résultats des différentes contraintes à la rupture avant et après vieillissement sont présentées dans la Figure V.2 suivante :

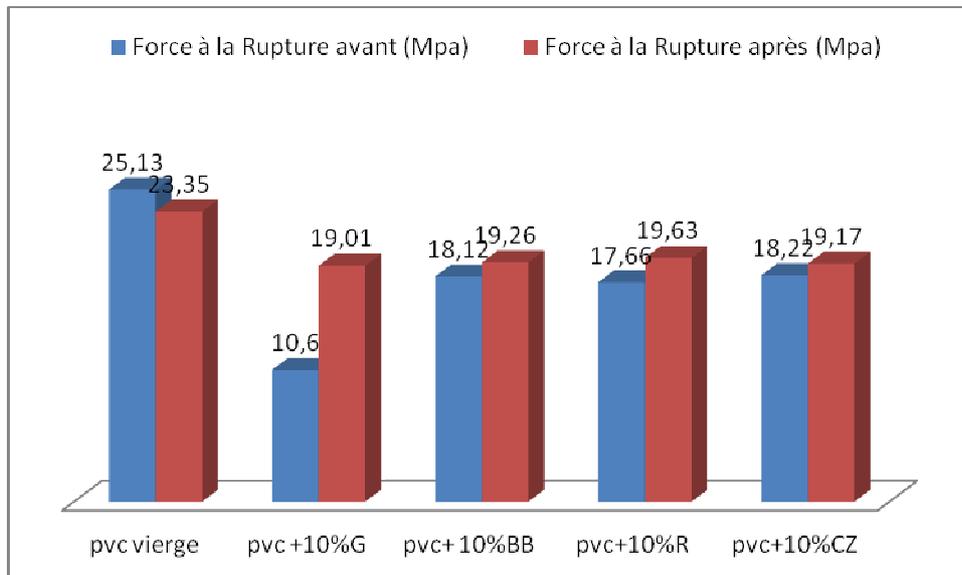


Figure V.2 : Force à la rupture des différents composites avant et après vieillissement

Les résultats montrent une augmentation de la contrainte à la rupture pour tous les composites. Ceci est probablement dû à l'amélioration de la compatibilité charge/matrice, du fait que la cellulose et hémicellulose se sont dégradées. En effet, la lignine est plus hydrophobe et peut interagir par des liaisons de type hydrogène avec le PVC, ceci conduit à un matériau plus résistant [6].

V.3.2 Allongement à la rupture

Les moyennes des résultats de l'allongement à la rupture de chaque composite avant et après vieillissement sont présentées dans l'histogramme suivant :

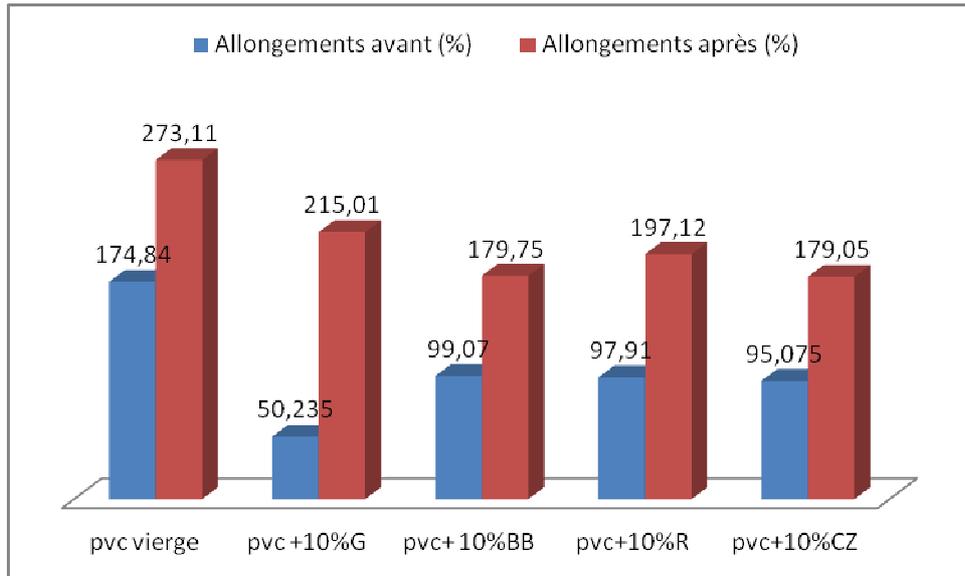


Figure V.3 : Allongements à la rupture de composites avant et après vieillissement

Les résultats montrent une augmentation de l’allongement à la rupture de nos composites après vieillissement, cela démontre que les matériaux sont plus ductile qu’avant.

Cela est probablement dû à la détérioration de la cellulose et l’hémicellulose. Contrairement à elles, la lignine est un réseau tridimensionnel hydrophobe. Ceci, est en conformité avec les résultats de la contrainte à la rupture. En effet, la cellulose ayant une structure rigide se détériore laissant place à la lignine ayant une structure amorphe donnant au matériau cette propriété élastique [1]

V.3.3 Module de Young (constante d’élasticité)

Les moyennes des résultats des constantes d’élasticité des différents composites avant et après vieillissement sont présentées dans la Figure V.4, ci-dessous :

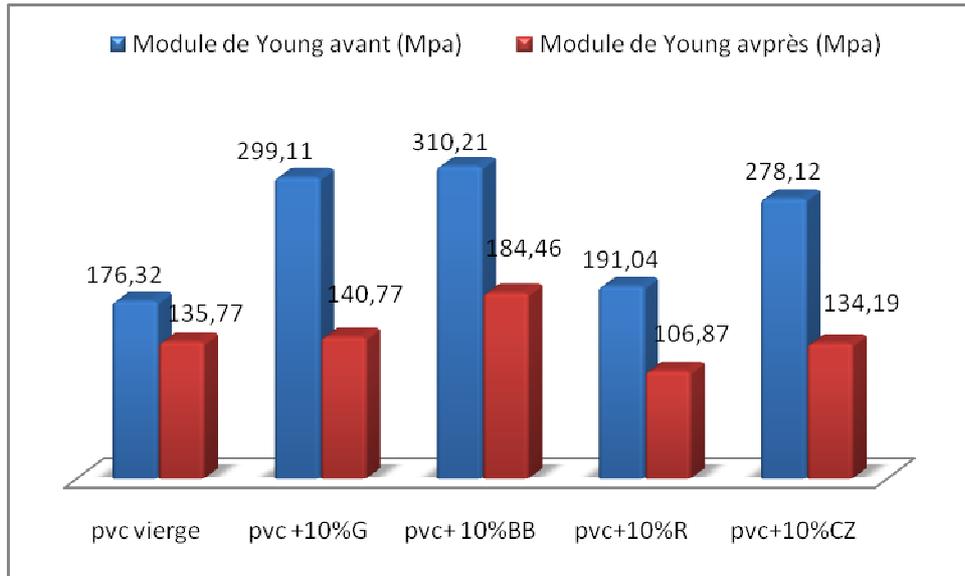


Figure V.4 : Module de Young des composites avant et après vieillissement

Il y a diminution de du module de Young pour tous nos composites, cela implique l'augmentation de l'élasticité des matériaux. Ceci conforte l'idée que la cellulose, qui est cristalline et présentant un module élevé a été dégradée. Ce qui, par conséquent, fait baisser le module de Young.

La même observation est valable pour l'hémicellulose, qui est autant consommée que la cellulose par les microorganismes cellulolytiques rendant le matériau plus raide, moins ductile et malléable.

Les matériaux à base de fibres végétales sont utilisés dans plusieurs secteurs, en particulier le bâtiment. Ces fibres ont la spécificité d'être biodégradable et peuvent ainsi apporter une réponse à la question de la biodégradation des matériaux en fin de vie.

Nous travail s'est focalisé sur l'étude du vieillissement dans un milieu naturel, cela en enfouissant différents composites à base de PVC chargés avec de la farine de grignon d'olive, de roseau, de chêne zeen et de bois blanc dans un sol naturellement riche en microorganismes, sans milieu de culture ni enceinte climatique.

Après une période d'enfouissement de 90 jours nous avons obtenu :

- Une augmentation du taux d'absorption de l'eau comparativement à nos échantillons de composites non enfouis, fait à l'augmentation des phénomènes de capillarité induite par la détérioration des holocelluloses ;

- Une augmentation de la contrainte et de l'allongement à la rupture et une diminution du module d'élasticité, fait qui conforte l'idée d'une amélioration de la compatibilité charges/matrice ;

Afin de bien comprendre le phénomène de biodégradation des composites à base de PVC et de fibres végétales, il serait judicieux d'utiliser différentes teneurs en charges végétales et collaborer avec des microbiologistes afin d'utiliser un bioréacteur et reproduire le phénomène de dégradation naturelle au niveau du laboratoire.

- [1] **VIVI Di Thi.** Matériaux composites à fibres naturelles/polymère biodégradable ou non. Thèse de doctorat, Université de Grenoble, 2011
- [2] **P. Saha et al.** «Enhancement of tensile strength of lignocellulosic jute fibers by alkali-steam Treatment. ». *Bioresource Technology.*, Vol. 101, 2010, pp. 3182–3187.
- [3] **D. Sedan.** « Etude des Interactions Physico-Chimiques aux Interfaces Fibres de Chanvre/Ciment. Influence sur les Propriétés Mécaniques du Composite ». Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Limoges, France, 2007, 129 p.
- [4] **P. Bajpai,** « Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Biofuel Production » SpringerBriefs in Green Chemistry for Sustainability, 2016
- [5] Entrée de « Cellulose » dans la base de données de produits chimiques *GESTIS* de la IFA (organisme allemand responsable de la sécurité et de la santé au travail) (accès le 27 mai 2009)
- [6] **FADEL Ahlem.** « Influence des diverses modifications du Genêt d'Espagne sur les propriétés mécaniques, rhéologiques et thermiques de composites à matrice thermoplastique ». Thèse de Magister, Faculté de Technologie, Département de Génie des Procédés, Université de Setif, 2014.
- [7] **F.G. Huffman,** in *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)*, 2003
- [8] **Martone, Pt; Estevez, Jm; Lu, F; Ruel, K; Denny, Mw; Somerville, C; Ralph, J** (Jan 2009). "Discovery of Lignin in Seaweed Reveals Convergent Evolution of Cell-Wall Architecture.". *Current biology* : CB. doi:10.1016/j.cub.2008.12.031
- [9]. **QUEZEL.P.,MEDAIL.F., (2003)** : Ecologie et biogéographie des forêts du bassin méditerranéen. Ed. Elsevier SAS. 483p.
- [10] **.TINGAUT. PH., (2006)** : Modification de la structure chimique du bois par des alcoxysilanes diversement substitués, Thés Doct. Univ Bordeaux. 17-27p.
- [11]. **TALEL, B.** Utilisation d'une méthode optique sans contact pour décrire le comportement mécanique de composites bois/plastique `WPC`. Mémoire de doctorat de l'université de pau et des pays de l'Adour.2011.
- [12] **Mahand Messaoudène, Mourad Tafes, Ali Loukkas, Rémy Marchal,** « Propriétés physiques du bois de chêne zéen de la forêt des Aït Ghobri (Algérie) » bois et forets des tropiques, 2008, N° 298 (4) gestion de la ressource ligneuse 37 QUERCUS CANARIENSIS
- [13] **ADEME / FCBA (2008),** *Référentiels combustibles bois-énergie - Définition et exigences* - ADEME, 124 pages

- [14]. **CHETOUANE.M, 1982** : Etude de la variabilité morphologique et biogéochimique de quelque population de phragmites communis du nord est algérien. Mémoire en biologie végétale intitulé. Université Mouloud Mammeri. 67p.
- [15]. **LA VOIE.C, 2008** : Rapport préparé pour le comité interministériel du gouvernement du Québec sur le roseau commun et pour canards illimités. 44p
- [16] **anemone-clown**. La fiche *Phragmites australis* a été vue 10782 fois. Publié le 09/06/2014. Modifié le 09/06/2014
- [17]. **MEZIANE, S. 2013** : Modélisation de la cinétique du séchage du grignon d'olives. Revue des Energies Renouvelables, 2013.
- [18]. **BABAKHOUYA, N. 2010** : Mémoire de magister. Récupération des métaux lourds par l'utilisation des absorbants naturels, 2010.
- [19] **AZIBI Siham & AISSAT Alia**, « Bioamélioration du grignon d'olive par culture de *Bjerkandera adusta* BRFM 1916 », 2016.
- [20] **SEMOUNE Mohamed Lamine**, 2015. Etude du vieillissement des déchets de fibre de jute. Thèse d'ingénieur, Ecole nationale Polytechnique d'Alger
- [21] **Lionel GENDRE**. « Matériaux composites et structures composites ». Université Paris-Saclay, 2011.
- [22] **ABIR MAHFOUD**, 2013. Etude de la production et de la caractérisation de composites bois-plastiques. Université Laval Québec, canada. P101
- [23] **Ashby et Jones, Matériaux, t. ,** Microstructure et mise en œuvre, chap. 25, Dunod, 1991
- [24] **Jean Dumont et Jean Guignard**, *Le PVC et ses applications*, p. 19, Nathan, 1996
- [25] **Bruno FAYOLLE, Jacques VERDU**. « Vieillissement physique des matériaux polymères », 2005.
- [26] **Mohamed Ali Lahmar**. « Caractérisation d'un composite boispolymère pour utilisation en plaques de bardage par l'extérieur ». Génie mécanique [physics.class-ph]. Université de Lyon, 2016²
- [27] **Lata Soccalingame**. « Étude des scénarios de fin de vie des biocomposites : vieillissement et retransformation de biocomposites PP/farine de bois et PLA/fibres de lin » Matériaux. Université Montpellier II Sciences et Techniques du Languedoc, 2014.
- [28] **Mohamed JEBRANE**. « Fonctionnalisation chimique du bois par transesterification des esters d'enol ». L'UNIVERSITÉ BORDEAUX 1, 2009.

- [29] **S. W. Buol, Francis Doan Hole, R. J. McCracken**, *Soil genesis and classification*, Iowa State University Press, 1973, p. 175
- [30] **Mathieu.c et pieltain**, 2003. « Analyse chimique des sols: méthode choites.Ed.TEC et Doc lavoisie »
- [31] **Mathieu.c et pieltain, 2003**. « Analyse physique des sols: méthode choites.Ed.TEC et Doc lavoisie »
- [32] **KJELDAHL, J** ; 1883. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. Z. Anal. Chem. 22 :366-382
- [33] **Richard Escadafal, Michel-Claude Girard, Dominique Courault**. « La couleur des sols : appréciation, mesure et relations avec les propriétés spectrales ». Agronomie, EDP Sciences, 1988, 8 (2), pp.147-154
- [34]**Mark Morrison, Phillip B Pope, Stuart E Denman and Christopher S McSweeney**, « Plant biomass degradation by gut microbiomes: more of the same or something new? », *Current Opinion in Biotechnology*, n° 20:358–363, 2009.

Annexe A : Essai de traction

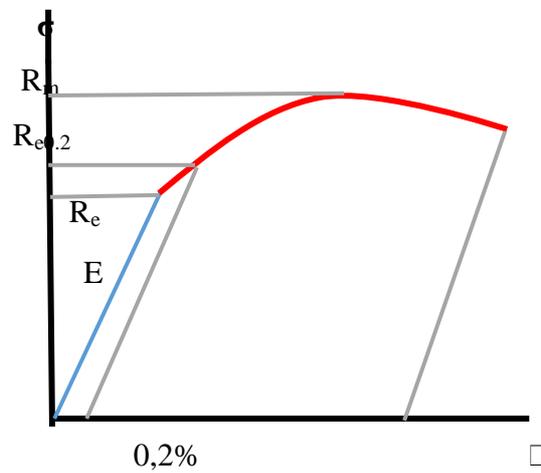
Un essai de traction est une expérience de physique qui permet de mesurer le degré de résistance à la rupture d'un matériau quelconque.

Cet essai ou expérience consiste à placer une petite éprouvette du matériau à étudier entre les mâchoires d'une machine de traction qui tire sur la barre jusqu'à sa rupture.

On enregistre l'allongement et la force appliquée, que l'on convertit ensuite en déformation et contrainte.

L'essai de traction donne des valeurs importantes :

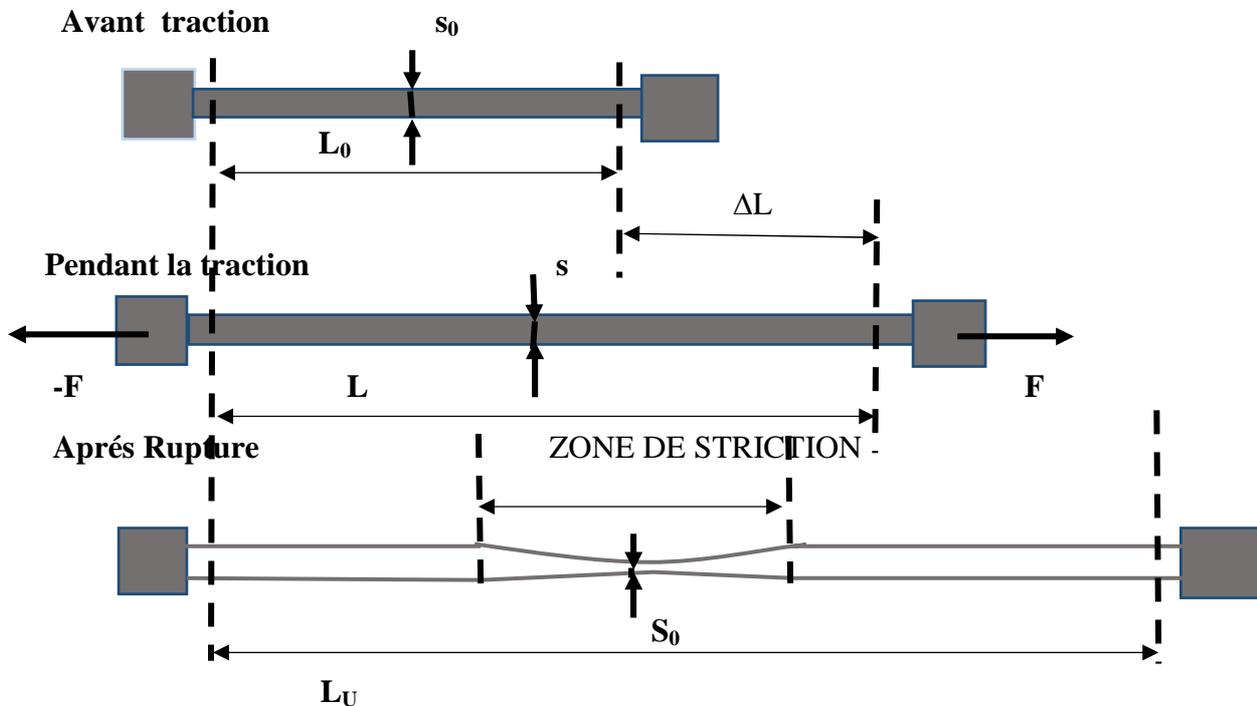
- le module de Young E , ou module d'élasticité longitudinale.
- la limite d'élasticité R_e (Réversible).
- la limite à la rupture R_m .
- l'allongement à la rupture A , qui mesure la capacité d'un matériau à s'allonger sous charge du matériau au point B.
- OD : Rigide élastique.
- DC : Déformation plastique.
- CB : Réduction localisée de la section S_0 .



Graphe de test de traction

Allongement a la rupture

L'allongement à la rupture est une caractéristique sans dimension des matériaux. Elle définit la capacité d'un matériau à s'allonger avant de rompre lorsqu'il est sollicité en traction.



L_0 , ΔL , L , L_u : Longeurs en mm

S_0 , S , S_U : Section barre en mm^2

Evolution d'une soumise à un essai de traction

Avec :

L_0 : la longueur initiale, longueur de la barre avant le début d l'essai de traction.

L_u : longueur de la barre juste avant la rupture.

Annexe B : Module de d'Young

Le module d'Young ou module d'élasticité est la constante qui relie la contrainte de traction et la déformation pour un matériau isotrope.

Le module d'Young est la contrainte mécanique qui engendrerait un allongement de 100 % de la longueur initiale d'un matériau se déforme de façon permanente, ou se rompt, bien avant que cette valeur soit atteinte.

- E : module d'Young ou module d'élasticité longitudinale (GPa).
- Le module d'Young caractérise la raideur du matériau.
- E élevé : matériau rigide ;
- E faible : matériau souple.

Annexe C : calcul de taux d'absorption

Taux de la fibre	M ₀ (g)	M _f (g)	Taux d'absorption
PVC+CZ	0,286	0,289	0,88
PVC+BB	0,417	0,415	0,628
PVC+G	0,517	0,5167	0,52
PVC+ R	0,306	0,309	1,05
PVC VIERGE	0,4683	0,4687	0,085

