



Département de Génie Mécanique
MEMOIRE DE FIN D'ETUDE
En vue de l'obtention du diplôme de :
MASTER
En Génie Mécanique
Option : Construction Mécanique
Présenté par :

BOUGRABE Hassiba & GHETAI Hibtallah

Thème

**Etude et Caractérisation en traction d'un bio composite
partie numérique ABAQUS**

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
Menaseri .N	MCA	Président
Zaoui .M	Prof	Encadreur
Boucherbe .S	Doctorante	Examineur
Saada .k	Doctorante	Co-encadreur

Année Universitaire : 2022/ 2023

N°d'ordre :GM/...../2023

DEDICACES

JE DÉDIE CE MODESTE TRAVAIL

A MES CHERS PARENTS POUR LEUR SOUTIEN, LEUR PATIENCE,

LEUR ENCOURAGEMENT DURANT MON PARCOURS SCOLAIRE

A MES SŒURS ET MES FRÈRES AINSI A TOUTE MA FAMILLE.

A MES AMIES ET MES CAMARADES.

SANS OUBLIER TOUT LES PROFESSEURS QUE CE SOIT DU

PRIMAIRE ,DU MOYEN .DU SECONDAIRE OU DE

L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR

Remerciements

Je dédie le fruit de mes efforts à la personne la plus chère et la plus précieuse de ma vie, qui a éclairé mon chemin. Avec ses conseils, j'ai conservé une mer claire d'amour et de sourires. À ceux qui ont décoré ma vie de la lumière de la pleine lune, et des bougies de joie, à qui cela m'a donné la force et la détermination de continuer sur cette voie, et c'est la raison pour laquelle j'ai poursuivi mes études. À ceux qui m'ont appris à marcher et à travailler dur, au précieux pour mon cœur. Ma mère bien-aimée. À mes frères, mes sœurs. À toute la famille généreuse, en particulier ma belle-sœur Jamila et mon oncle Saïd, et à mes camarades de classe qui leur souhaitent beaucoup de succès. à mon cher ami Warda, Salami et Sofiane.

À ceux qui m'ont aidé à écrire ce mémoire, mes professeurs Zaoui Moussa, Amroune Salah et Khaldoune Abd raouf, Saada Khalissa, Boucherb Khaled, le personnel de Megreh Pipe et en particulier Riyadh, Oudah, Boutti et Sofyane. À toutes les personnes à qui j'apporte de l'amour et de l'appréciation. Pour tous ceux qui ont été oubliés par la plume et sauvés par le cœur.

Sommaire

DEDICACES	I
Remerciements	Error! Bookmark not defined.
Liste des tableaux et Figures	III
Résumé Du Mémoire	VIII
Introduction générale	1

CHAPITRE. I

I.Généralités sur les Matériaux composites	4
I.1 Introduction	5
I.2 Les fibres végétales	5
I.3 Présentation des fibres végétales	6
I.4 Production et disponibilité des fibres végétales	9
I.5 Structure d'une fibre végétale	10
I.6 Méthodes d'extraction des fibres	15
I.7 Propriétés physico-mécaniques des fibres végétales	18
I.8 Avantages et inconvénients des fibres végétales	18
I.9 Matrice polymère	19
I.10 Matériaux composites	21
I.11 .Propriétés mécaniques des composites à base de fibres végétales	22
I.12 .Domaines d'application des matériaux composites à fibres végétales	23

CHAPITRE. II

II.Matériaux et méthodes expérimentales	25
II.1 Introduction.....	26

II.2	Matériaux et Matériels Utilisés	26
II.3	.Etapas suivi pour l'élaboration du matériau à étudié	30
II.4	Obtention des éprouvettes	32
II.5	Test FTIR	34
II.6	Essais de traction	35

CHAPITER.III

III.	Résultats et discussions	38
III.1	Introduction	39
III.2	Test FTIR	39
III.3	. Essai de traction	41
III.4	Les courbe de test de traction.....	41
III.5	Les courbes des défieront composite et résine	51

CHAPITER.IV

IV	.Parte numérique ABAQUS.....	54
IV.1	INTRODUCTION	55
IV.2	Définition d'ABAQUS	55
IV.3	ORGANISATION DE L'INTERFACE ABAQUS CAE (COMPLETE ABAQUS ENVIRONNEMENT)	56
IV.4	RESULTATS ET DISCUSSION	65

Liste des tableaux et Figures

Liste des tableaux

CHAPITRE I

Tableau I.1 présente La composition chimique de certaines fibres végétales.	15
Tableau I.2 : les avantages et les inconvénients des fibres végétales.	19
Tableau I.3 Caractéristiques des résines thermodurcissables	20
Tableau I.4 Types de matrice polymérique.....	21

CHAPITRE II

Tableau II .1 Fiche technique de la résine	26
---	----

CHAPITRE III

Tableau III .1 Cellulose, hémicellulose	40
--	----

Liste des Figure

CHAPITRE I

Figure I.1 Les fibres végétales	6
Figure I. 2 Classification des fibres végétales.....	6
Figure I. 3 Cultures mondiales de fibres primaires pendant les dernières decenies	9
Figure I.4 Production mondiale de fibres végétales hors coton et bois (2001-2008)	10
Figure I. 5 Structure schématique d'une fibre végétale	11
Figure I. 6 Molécule de la cellulose	12
Figure I. 7 Structure d'un type de xyloglucane.....	13
Figure I. 8 Représentation schématique de la lignine	14
Figure I. 9 Structure des précurseurs de la lignine	14
Figure I. 10 Types de matrice polymérique	20
Figure I. 11 Classification des fibres naturelles selon leur origine (adapté).....	22
Figure I.12 Utilisation de fibres naturelles dans l'industrie automobile allemande de 1999 à 2005	23

Figure I .13 Composants d'automobile en composites de fibres végétales	24
Figure I .14 Composants du bâtiment en composites thermoplastiques Renforcés de fibres végétales	24

CHAPITRE II

Figure II. 1 résine polyester	26
Figure II. 2 Durcisseur	27
Figure II. 3 Balance.....	27
Figure II. 4 Le sisal.....	28
Figure II. 5 luffa	29
Figure II .6 Les cheveux de maïs	29
Figure II .7 Schéma du moule.....	30
Figure II. 8 Préparation et découpe des fibres	30
Figure II. 9 les fibres courtes utilisées	31
Figure II .10 préparation de composite	31
Figure II .11 des éprouvettes préparées.	31
Figure II. 12 opération de polissage des éprouvettes.....	32
Figure II .13 opération de durcissement.	32
Figure II .14 Schéma d'éprouvette de traction.....	33
Figure II. 15 Présentées les éprouvettes obtenues	33
Figure II .16 Photo d'un appareil d'analytique FTIR	34
Figure II .17 Machine de traction	36

CHAPITRE III

Figure III.1 représenter analyse FTIR des fibres.	39
Figure III. 2 machine d'essai de traction.	41
Figure III.3 Éprouvettes de traction après rupture.....	42
Figure III. 4 Éprouvettes de traction après rupture.....	42

Figure III. 5 Courbe contrainte-déformation pour le composite luffa	44
Figure III. 6 Courbe contrainte-déformation pour le composite luffa.	45
Figure III.7 Courbe contrainte-déformation pour composite filasse.	46
Figure III.8 Courbe contrainte-déformation pour la composite filasse	47
Figure III .9 Courbe contrainte-déformation pour le composite mais.	48
Figure III.10 Courbe contrainte-déformation pour le composite.....	49
Figure III.11 Éprouvettes de traction après rupture.	49
Figure III.12 Courbe contrainte-déformation de la résine	50
Figure III. 13 Courbe contrainte-déformation des composites a 10% et la résine.	51
Figure III.14 Courbe contrainte-déformation des composites a 15% et la résine.....	52
Figure III.15 Courbe contrainte-déformation des composites a 10% et la résine.....	53

CHAPITRE IV

Figure IV .1 Organisation d'abaqus	56
Figure IV .2 Réalisation de la mise en données d'un problème.....	57
Figure IV .3 Création de la géométrie.....	57
Figure IV .4 Dessin de l'éprouvette	58
Figure IV. 5 Définition du matériau.....	59
Figure IV .6 Après la définition du matériau, On va créer une section :	59
Figure IV. 7 Défini creat section	60
Figure IV .8 Définition de la section.....	60
Figure IV .9 Définition de propety	61
Figure IV. 10 Création de l'assemblage	62
Figure IV .11 Création de l'étape « traction »	62
Figure IV .12 Paramètres de sortie.....	63
Figure IV .13 Définition de la charge	64
Figure IV .14 Maillage de la plaque.....	65

Figure IV .15 Création de "job"	66
Figure IV .16 Analyse	67
Figure IV. 17 maillage et déformé de la plaque	67
Figure IV. 18 : Courbe stress-strain pour partie ABAQUS.....	68

Résumé : Le développement des matériaux composites renforcés par des fibres végétales est encouragé en raison de son impact économique et écologique positif. Ces fibres naturelles favorisent l'émergence d'une industrie durable. Ces matériaux composites sont principalement utilisés dans les domaines du bâtiment, de l'industrie du transport et de l'emballage. Leurs caractéristiques mécaniques sont proches à celles des composites à fibres synthétiques (verres), mais avec une densité et un coût plus faibles. L'utilisation de certaines fibres végétales nécessite des traitements mécaniques et chimiques pour l'extraction, ainsi que pour améliorer leur adhérence et leur dispersion dans la matrice. Dans le cadre de cette thèse, nous avons valorisé les déchets agricoles, en particulier les fibres de sisal, de luffa et de cheveux de maïs, en les utilisant comme renforts fibreux dans la préparation de composites à matrice polymérique en polyester. La première partie de la thèse avait pour objectif d'explorer différents types de fibres et de les comparer avec d'autres fibres végétales et synthétiques. L'objectif était de mettre en œuvre un matériau composite techniquement et économiquement viable. Le but était de tester la faisabilité du renforcement des résines polymères par les fibres et de caractériser mécaniquement les composites obtenus à partir des essais de traction.

Abstract : The development of plant fiber-reinforced composite materials is encouraged due to their positive economic and ecological impact. These natural fibers promote the emergence of a sustainable industry. These composite materials are primarily used in the fields of construction, transportation, and packaging. Their mechanical properties are comparable to those of synthetic fiber composites (such as glass fibers), but with lower density and cost. The use of certain plant fibers requires mechanical and chemical treatments for extraction and to improve their adhesion and dispersion within the matrix. In the scope of this thesis, we have valorized agricultural waste, specifically sisal, luffa, and corn husk fibers, by utilizing them as fiber reinforcements in the preparation of polyester matrix composites. The first part of the thesis aimed to explore different types of fibers and compare them with other plant and synthetic fibers. The objective was to implement a technically and economically viable composite material. The goal was to test the feasibility of reinforcing polymer resins with fibers and to mechanically characterize the composites obtained through tensile testing.

ملخص : يتم تشجيع و تطوير مواد المركبة المعززة بألياف النباتات نظرا لتأثيرها الاقتصادي والبيئي

الإيجابي. تعزز هذه الألياف الطبيعية ظهور صناعة مستدامة. تستخدم هذه المواد المركبة في المقام الأول في مجالات البناء والنقل والتغليف. تكون الخواص الميكانيكية لهذه المواد المركبة مقارنة بتلك المركبة من ألياف اصطناعية (مثل ألياف الزجاج)، لكنها تتمتع بكثافة وتكلفة أقل. يتطلب استخدام بعض ألياف النباتات معاملات ميكانيكية وكيميائية للاستخلاص وتحسين التصاقها وتوزيعها في المصفوفة. في إطار هذه الأطروحة قمنا بتتمسك نفاسات الزراعة بالتحديد الياف السيزال و اللوفا و قشرة الذرة، من خلال استخدامها كتعزيزات ألياف في تحضير مواد المركبة ذات المصفوفة البوليميرية. كان الهدف من الجزء الأول هو اكتشاف انواع مختلفة من الالياف و مقارنتها مع الياف نباتية و اصطناعية اخرى. كان الهدف هو تنفيذ مادة مركبة قابلة للتنفيذ من الناحية التقنية و الاقتصادية و اختبار امكانية تعزيز الراتنجات البوليميرية بواسطة الالياف و توصيف المواد المركبة المحصلة من خلال اختبارات الشد الميكانيكي.

INTRODUCTION GENERALE

Les matériaux composites trouvent une large gamme d'applications dans divers domaines en raison de leurs propriétés uniques. Les domaines d'utilisation courants des matériaux composites à cause des excellentes propriétés mécaniques de ce type de matériau par rapport au poids. Cette utilisation est plus croissante dans le domaine du transport et l'aéronautique où la légèreté est très demandée [1].

De nos jours les polymères renforcés par des fibres synthétiques sont présents dans la vie de chaque individu, ils sont utilisés dans plusieurs applications qu'il serait très difficile de s'en passer. Mais au-delà de leurs nombreux atouts, ils génèrent des déchets volumineux qui posent d'énormes problématiques liée à leur traitement en fin de vie [2].

Plusieurs investigations ont été menées pour renforcer différents types de polymères tels que les thermodurcissables et les thermoplastiques. L'idée principale derrière l'introduction des fibres naturelles dans les plastiques était de réduire le coût des matières premières et les problèmes environnementaux, tout en produisant des matériaux avec des propriétés acceptables [3].

L'Algérie possède les capacités qui la qualifient pour être un pays Pioneer dans l'utilisation de nombreux sorts de produits agricoles tels que la canne de blé, l'alfa et les filaments de palmierdattier qui peut être utilisé dans les produits composites biodégradables.

Dans notre mémoire, nous avons organisé et subdivisé en quatre chapitres pour aborder différents aspects liés aux matériaux composites renforcés par des fibres végétales. Le premier chapitre donne une définition des matériaux composites à renforts fibreux végétaux, ainsi qu'un contexte sur leur développement et leur utilisation. De plus, nous présentons plusieurs domaines d'application dans lesquels ces matériaux composites trouvent leur utilité.

Le deuxième chapitre, intitulé "Techniques expérimentales", se concentre sur les méthodes et procédures que nous avons utilisées pour caractériser nos échantillons. Nous détaillons les techniques expérimentales employées dans cette étude. Le troisième chapitre, intitulé "Résultats et discussions", est consacré à la présentation de nos résultats et de nos observations. Nous analysons et discutons les données obtenues à partir des expérimentations réalisées.

Enfin, dans le dernier chapitre, nous abordons la simulation des essais dans le domaine des matériaux de manière générale, en mettant l'accent sur l'utilisation du logiciel ABAQUSE. Nous présentons comment ce logiciel a été utilisé pour simuler les essais et obtenir des résultats complémentaires à nos expérimentations. Ces quatre chapitres constituent la

INTRODUCTION GENERALE

structure de notre mémoire, permettant une approche complète et détaillée du sujet des matériaux composites renforcés par des fibres végétales, allant de la définition et du contexte jusqu'à l'analyse des résultats et l'utilisation de simulation

CHAPITRE I

Généralités sur les Matériaux composites

Introduction :

Ce chapitre offre un aperçu des composites renforcés par des fibres végétales, en mettant en lumière le contexte de développement et l'usage de ces produits. Il est essentiel de comprendre la structure et la composition chimique de chaque élément pour saisir les interactions entre les fibres de renforcement et les matrices. Dans cette revue de la littérature, nous avons l'intention de décrire les différents composants impliqués dans la fabrication des matériaux composites, en les classant par catégorie. Par la suite, nous expliquerons les diverses méthodes de production et leur lien avec les types de composants employés. Enfin, nous présenterons plusieurs domaines d'application des matériaux composites renforcés par des fibres végétales.

I.2 Les fibres végétales :

Les fibres végétales sont des matériaux filamenteux issus de la biomasse. Ils peuvent être extraits des fruits, des tiges ou des feuilles de plantes cultivées, d'arbustes et d'herbes. Très probablement filé en fil et en corde. Ils sont tissés, tricotés ou tressés, rendant les textiles indispensables à la société. En effet, la taille des filaments végétaux dépend de l'état de maturité ainsi que des conditions environnementales dans lesquelles pousse la plante. Le long d'une même fibre végétale, la variabilité du diamètre peut être très importante [4]. Les fibres végétales se caractérisent également par leur diversité d'épaisseur de paroi cellulaire, qui est causée par la porosité des fibres [5]. La forme morphologique des fibres végétales est également un facteur important dans la compréhension du transfert de contraintes à l'interface fibre- matrice [6].



Figure I.1: Les fibres végétales

I.3 Présentation des fibres végétales :

Il existe une grande variété de fibres végétales qui peuvent être utilisées pour le renforcement ou comme charges des matériaux composites. Elles sont classées suivant leur provenance et leur forme .

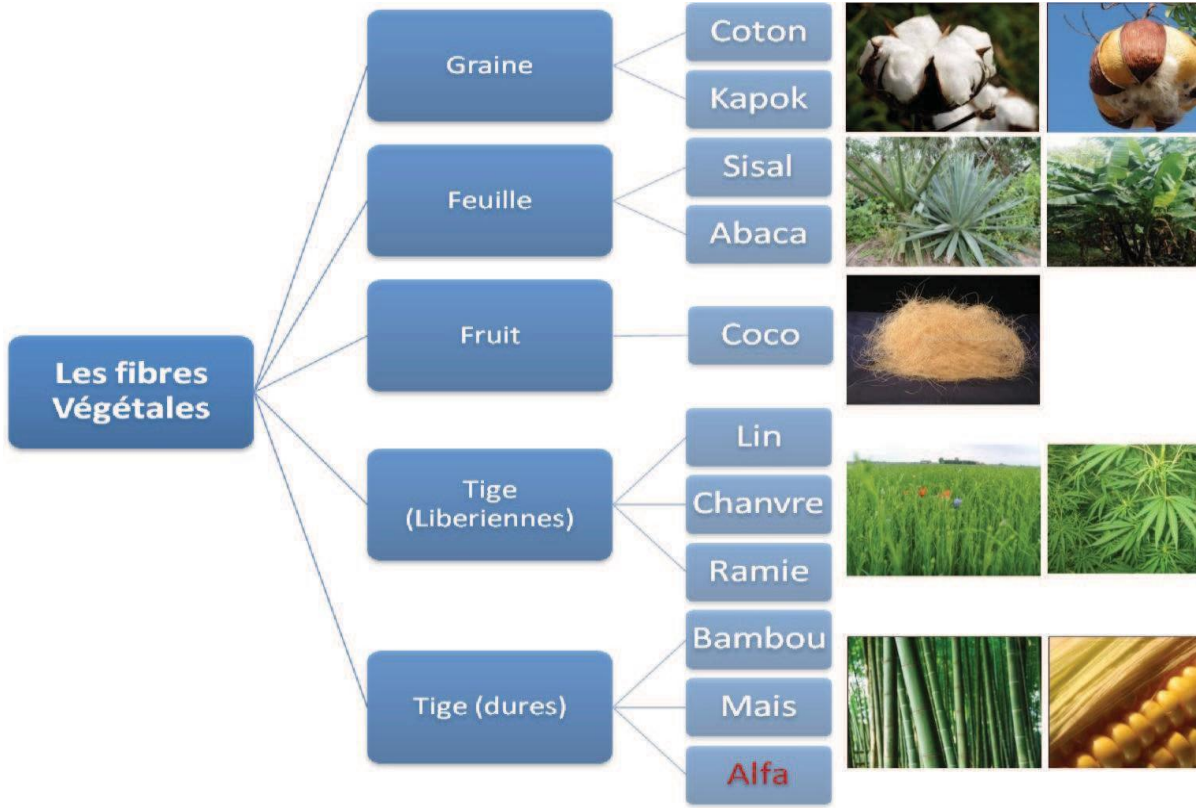


Figure I.2: Classification des fibres végétales

I.3.1 Fibres de sisal :

Est une fibre végétale extraite des feuilles de la plante d'agave sisal ana, qui est originaire du Mexique. Cette fibre est souvent utilisée pour fabriquer des cordages, des tapis, des sacs et d'autres produits similaires. Le sisal est une fibre très résistante et durable, ce qui en fait un choix populaire pour les applications industrielles et commerciales. Le sisal est également considéré comme une alternative écologique aux fibres synthétiques car il est renouvelable et biodégradable. La culture du sisal nécessite peu d'eau et de pesticides, ce qui en fait une option plus durable que d'autres cultures de fibres végétales telles que le coton. Cependant, le sisal peut être difficile à travailler en raison de sa rigidité et de sa texture rugueuse. Il peut également être sujet à la moisissure s'il n'est pas correctement séché et stocké[11].

I.3.2 Fibres de luffa :

C'est une plante grimpante de la famille des cucurbitacées, originaire d'Asie et d'Afrique. Cette plante produit des fruits allongés et cylindriques qui sont souvent utilisés comme éponge naturelle pour le nettoyage de la peau et des surfaces. La partie interne du fruit du luffa contient des fibres douces et poreuses qui peuvent être utilisées pour fabriquer des éponges naturelles. Les éponges de luffa sont souvent considérées comme une alternative écologique aux éponges synthétiques car elles sont renouvelables et biodégradables. En plus d'être utilisé pour la fabrication d'éponges, le luffa est également utilisé dans la production de cordes, de tissus et de papier. Les graines du luffa peuvent également être consommées comme légume ou utilisées dans la médecine traditionnelle pour traiter diverses affections. [12]

I.3.3 Fibres de cheveux de maïs :

Ce sont des fibres végétales minces et délicates qui poussent sur les épis de maïs. Ces fibres sont souvent utilisées dans la médecine traditionnelle pour traiter diverses affections, notamment les infections urinaires, l'hypertension artérielle et la rétention d'eau. Les cheveux de maïs contiennent des composés tels que des flavonoïdes, des acides phénoliques et des saponines, qui leur confèrent des propriétés diurétiques et anti-inflammatoires. Les cheveux de maïs sont également riches en potassium, ce qui peut aider à réguler la pression artérielle. En plus de leurs utilisations médicinales, les cheveux de maïs peuvent également être utilisés comme colorant naturel pour les textiles et les aliments. [13]

Les fibres peuvent être tissées pour créer des tissus légers et respirant, bien que leur faible résistance limite leur utilisation dans les applications industrielles.

I.3.4 Fibres d'Alfa :

L'alfa est une graminée vivace typiquement méditerranéenne qui pousse en touffes d'environ 1m à 1m20 de haut, ce qui donne d'immenses feuilles. Il pousse spontanément, surtout dans les milieux arides et semi-arides, où il délimite des déserts où s'arrête l'alpha . Les fibres Alfa sont couramment utilisées pour fabriquer du papier de haute qualité, mais sont également utilisées pour fabriquer des cordes, des baskets, des canevas, des tapis et des paniers. Les principaux pays producteurs sont : l'Algérie (4 000 000 ha), le Maroc (3 186 000 ha), la Tunisie (600 000 ha), la Libye (350 000 ha) et l'Espagne (300 000 ha) [10].

I.3.5 Fibres de lin :

Le lin est une plante qui pousse dans les régions tempérées. Il se présente sous la forme d'une seule tige et peut atteindre une hauteur d'environ 1 mètre, avec un diamètre de col d'environ 2mm. Il y a 80 à 100 feuilles simples réparties sur cette tige. La fibre de lin est la fibre la plus ancienne au monde et a été trouvée dans les grottes géorgiennes, les pays d'Asie centrale et l'Égypte. La fibre de lin est une fibre naturelle utilisée comme renfort dans les composites à matrice thermoplastique pour les structures intérieures de l'industrie automobile. En 1941, ces matériaux composites ont été utilisés pour fabriquer la carrosserie de la voiture d'Henry Ford, qui était 10 fois plus résistante aux chocs que l'acier [7].

I.3.6 Fibres de ramie :

Le nom scientifique de Ramie est *Boehmerianivea*. Herbe vivace, 1m-2.5m de haut, feuilles cordiformes, 7-15cm de long, 6-12cm de large, **feuilles** blanches striées. Poils fins et denses. Aujourd'hui, la ramie est principalement cultivée en Chine, au Brésil, aux Philippines, en Inde, en Corée, en Thaïlande et aux États-Unis. Les fibres de ramie ont une longueur moyenne comprise entre 40 et 250 mm et un diamètre moyen de 45 microns. Ces fibres sont utilisées comme renforts dans les composites à base de polyester [16].

I.4 Production et disponibilité des fibres végétales :

La production mondiale de cultures de fibres végétales pour toutes les applications industrielles au cours de la seconde moitié du siècle dernier.

Cette production mondiale annuelle de fibres végétales est estimée entre les années 2001 à 2008 à 6200Kt hors coton (22600Kt) et bois.

La moitié du gisement mondial (hors coton et bois) est issue de la culture du jute et de ses fibres apparentées et analogues. L'industrie du jute emploie directement et indirectement 11 millions de personnes à travers le monde. Les fibres les plus représentées ensuite sont le coco et le lin avec respectivement 16 et 13% de la production mondiale. Il existe également de nombreuses espèces végétales dont il est possible d'extraire des fibres soit des tiges (chanvre, ramie, kenaf, bambou, ortie, miscanthus, etc.), soit des feuilles (sisal, abaca, etc.) ou soit des graines (kapok, etc.) [17 ,18].

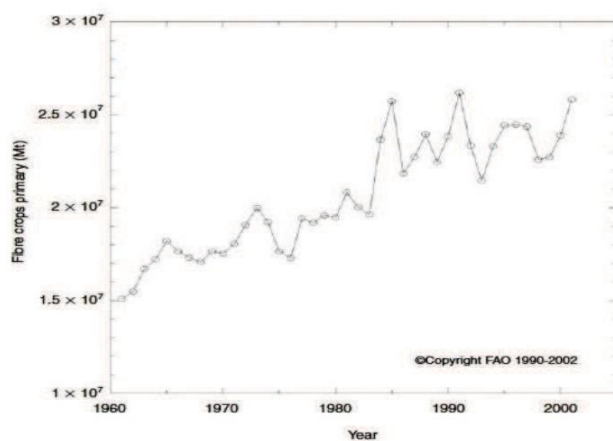


Figure I.3 : Cultures mondiales de fibres primaires pendant les dernières décennies [18]

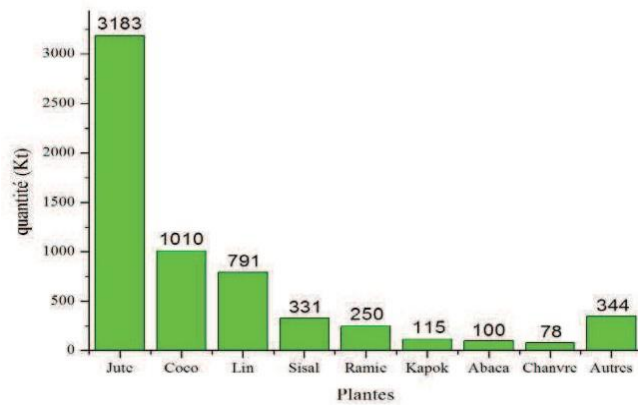


Figure I.4 : Production mondiale de fibres végétales hors coton et bois (2001-2008) [17]

I.5 Structure d'une fibre végétale :

Les charges à base de cellulose sont des matériaux simples, chimiquement et physiquement. Si l'on ignore l'eau absorbée, les principaux constituants des renforts à base de cellulose se composent de trois types de produit chimiques : Environ la moitié de celle-ci est la cellulose et environ un quart de celle-ci est l'hémicellulose et la lignine. Elles contiennent aussi des extractibles, des protéines et certains composés inorganiques en faibles proportions [19].

Les constituants majoritaires des fibres ligne cellulosiques déshydratées sont la cellulose, les hémicelluloses et les lignines.

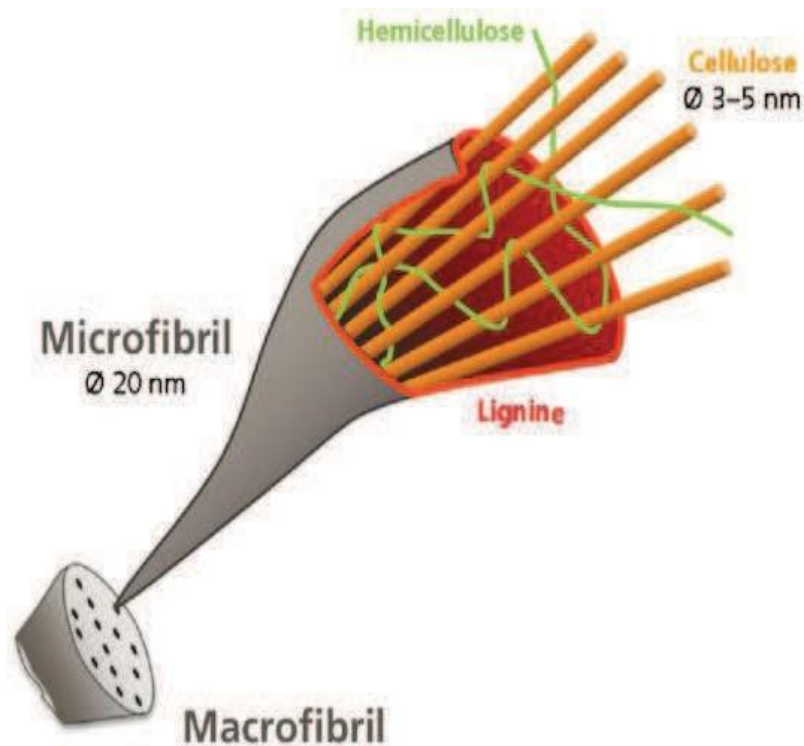


Figure I.5 : Structure schématique d'une fibre végétale [20].

I.5.1. La cellulose :

L'existence de la cellulose comme matériau commun dans les parois cellulaires végétales était d'abord découverte par Anselmo Payen en 1838 [18]. La cellulose représente la molécule biologique la plus abondante sur terre. D'un point de vue chimique, la cellulose est une macromolécule constituée par une très longue chaîne stéréo-régulière composée de maillons de glucose $C_6H_{12}O_6$. La cellulose possède une structure fibrillaire et partiellement cristalline.

Les micro-fibrilles de cellulose sont constituées de zones cristallines ordonnées et de zones amorphes totalement désordonnées. Dans la zone cristalline, les chaînes cellulosiques sont disposées parallèlement les unes aux autres, liées par des liaisons hydrogène intra et intermoléculaires. Toutes les propriétés de la cellulose sont étroitement corrélées à la densité des liaisons hydrogène qui se développent entre les chaînes. Les interactions moléculaires sont fortes et assurent l'essentiel de la cohésion tout en empêchant la pénétration des réactifs. Grâce à sa grande cohésion, la cellulose est insoluble dans la plupart des solvants. La cellulose est de nature très hydrophile [19].

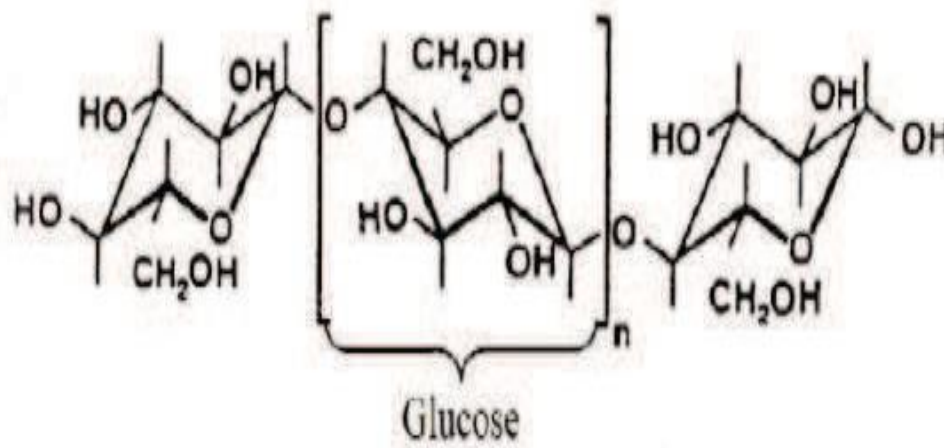


Figure I.6: Molécule de la cellulose [21]

I.5.2 Les hémicelluloses :

Dans la plupart des stands naturelles, la cellulose est mélangée à des hémicelluloses qui sont également des polysaccharides composés d'une combinaison de cycles à 5 et 6 carbones. L'hémicellulose forme la matrice de bols ter des micro-fibrilles de cellulose. L'hémicellulose diffère de la cellulose standard trois perspectives. Tout d'abord, elle est composée de sucres neutres : xylose, arabinose, galactose, glucose, mannose, et d'acides uroniques alors que la cellulose ne contient que des unités 1,4- β D-glucopyranose. Deuxièmement, elle présente un degré considérable de branchements contenant des groupes latéraux à l'origine de sa nature non-cristalline. Enfin, à l'état naturel, elle a un degré de polymérisation compris entre 50 et 300, tandis que celui de la cellulose local est 10-100 fois furthermore élevé. L'hémicellulose est très hydrophile, solvant en milieu alcalin, et facilement hydrolysable dans les acides

[19, 21].

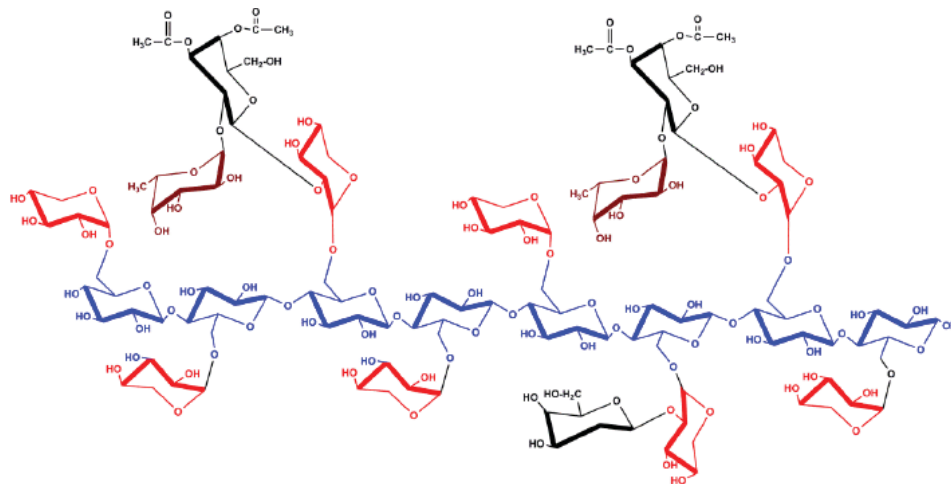


Figure I.7: Structure d'un type de xyloglucane[22]

I.5.3 Les lignines :

La lignine est une macromolécule extrêmement hétérogène composée de polymères aromatiques. Elle représente, après les polysaccharides, le polymère naturel le plus abondant sur terre. Elle participe à la rigidité structurale des parois cellulaires et protège les plantes contre l'attaque des organismes pathogènes. La lignine est une molécule à trois unités composée d'unités de phényle propane. Les unités primaires (mono lignons) constituant la lignine sont l'alcool coniférylique, l'alcool sinapique et l'alcool p-coumarylique. Au cours du processus de lignification, des phénols oxydases végétales telles que les laccases interviennent et permettent la polymérisation des différentes unités élémentaires. Une fois synthétisée, la lignine s'associe avec les différents polysaccharides pour former une matrice constitutive de la paroi végétale [21, 23].

La lignine est totalement amorphe et hydrophobe. Elle n'est pas hydrolysée par les acides, mais est insoluble à chaud dans la soude, facilement oxydée et facilement condensable avec du phénol [21].

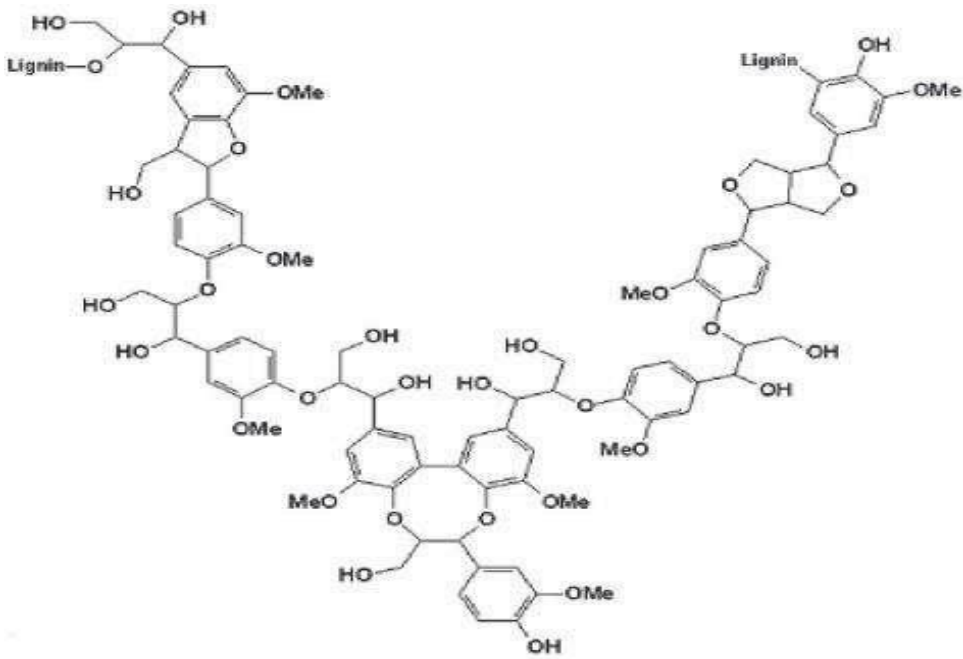


Figure I.8 : Représentation schématique de la lignine [21]



Figure I.9 : Structure des précurseurs de la lignine [21]

Tableau I.1. Présente La composition chimique de certaines fibres végétales.

Fibres	Celluloses (wt %)	Hémicelluloses (wt %)	Lignines (wt%)	Pectines (wt%)	Réf
Lin	60-81	14-18.6	2-3	1.8-2.3	[26]
Jute	51-72	12-20.4	5-13	0.2	
Bois	45-50	23	27	-	[31]
Palmier dattier	41-45	6-10	30-40	-	[32]
Coton	82.7-90	2-5.7	0.5-1	5.7	[33]
Ramie	68.6-76	13.1-15.0	0.6-1	1.9-2	[34]
Kenaf	36	21	18	2	
Chanvre	70-78	17.9-22	3.7-5	0.9	[35]
Sisal	43-88	10-12	4-12	0.8-2	

I.6 Méthodes d'extraction des fibres :

Habituellement, pour une utilisation de renfort de matériau composite, les stands végétales sont prélevées dans la chaîne de change de l'industrie matériel. Cette filière a développé, depuis de très nombreuses années, des stratégies pour séparer les Strand du reste de la plante. Les procédures utilisées pour séparer et présenter les stands sont l'extraction mécanique, chimique et biologique [25].

I.6.1 L'extraction mécanique:

a. Teillage :

Cette méthode consiste à séparer les filaments (tiges) standard activité mécanique tel que le Broyage et le battage, Cette stratégie est plutôt utilisée pour extraire les filaments de lin ou de chanvre. Elle est assurée standard des machines automatisées qui engagent, maintiennent et dégagent automatiquement les tiges grâce à des systèmes de roues cannelées à grosses dentures au début puis à allo fines denture. Standard la suite, les filaments passent sous la cannelure des rouleaux avec un point proche de 90° pour rendre le broyage allo efficace. L'opération est effectuée successivement côté pied et côté tête. Les stands courtes appelées aussi étoupes, moins résistantes, et les anas sont récupérées standard désire et séparées[26] .

b. Déflexion :

L'extraction des stands se fait standard activité combinée de grattage et de battage. Les machines appelées «raspadors» (grattoir en langue espagnole) râpent les feuilles de la plante et libèrent les filaments. Ces machines principalement constituées standard un hachet rotatif entraîné standard un moteur, sur lequel des un dépeins maintiennent des batteurs en acier ont été fixés. Les tiges insérées en amont de la machines, sont prises entre ces batteurs et une table à ciseaux, râpées et guidées vers le coté opposé. La poudre et le bois passent à travers des cribles. La séparât qui sépare les lames est réglable en fonction du parcelle[26].

c. Laminage :

Les tiges sont découpées en morceaux qui sont ensuite écrasées sous presse ou standard laminage ou reprise standard combinaison des 2 traitements. Ceci est effectué plusieurs fois de suite jusqu'à ce que les stands soient suffisamment séparées[26].

I.6.2 L'extraction chimique:

Plusieurs méthodes basées sur la séparation chimique de la cellulose des autres composants non cellulosiques existent dans la bibliographie. Elles permettent d'éviter les inconvénients de l'extraction mécanique, et surtout un gain de temps et d'énergie considérables. Dans cette section, nous présentons les principales méthodes d'extraction chimique des fibres végétales[26].

a. Procédé Kraft :

Ce procédé alcalin tight clamp à éliminer la lignine, les pectines et les hémicelluloses sous l'action d'un arrangement d'Hydroxyde de Sodium (NaOH) et de Sulfure de Sodium (Na₂S).Ce dernier est un réducteur, il protège la cellulose et évite Child oxydation. La température de cuisson est container entre 170° et 175°C pour une durée de 2 à 4 heures [26].

b. Procédé au bisulfite :

Ce procédé permet de séparer la lignine des stands de cellulose en utilisant jumps sels de l'acide sulfureux. Les sels utilisés dans le processus de réduction sont en fonction du pH: des sulfites (SO₃²⁻) ou bisulfites (HSO₃⁻). Il est basé sur la réaction sur la lignine de l'hydrogénosulfite de calcium, sodium, ammonium ou magnésium contenant de l'anhydride sulfureux libre. Le pH est situé entre 1.5 et 5 (sulfites ou bisulfites), la durée est entre 4 et 14

heures et la température de 130° jusqu'à 160°C qui sont aussi en fonction de la base utilisée[26].

c. Procédé acide :

Les composants non cellulosiques sont éliminés par l'action d'un acide de préférence fort (acide sulfurique). L'acide transforme la lignine en acide liginosulfonique soluble, ou l'acide chlorhydrique, et qui grâce à ses ions chlorates forme des chlorolignines solubles dans l'hydroxyde de sodium [26].

d. Procédé à la soude :

Ce procédé n'utilise que la soude NaOH pour dissoudre les substances non cellulosiques telles que la lignine, la pectine et l'hémicellulose, ainsi que les différents constituants formant la réserve et la paroi extérieure de la tige de plante. La température, la pression, la concentration et la durée du traitement sont à définir en fonction du parc, l'âge et le sort de la plante de telle façon à ne pas dégrader les filaments cellulosiques. Il est conseillé de contrôler le pH de l'arrangement et l'ajuster autour de 7. Des réducteurs peuvent être rajoutés pour empêcher l'oxydation de la cellulose [26].

I.6.3 L'extraction biologique:

a. Le rouissage à terre :

Le rouissage est un procédé naturel destiné à favoriser l'extraction des fibres. Il consiste à étaler les tiges (de lin standard exemple) dans un champ après sa récolte, afin de bénéficier de l'action combinée du soleil et de la pluie favorisant le développement de microorganismes capables de séparer les éléments non cellulosiques de la partie fibreuse de la plante. Cette opération peut durer de 6 à 8 semaines en fonction de la météo. Malgré l'efficacité de cette méthode, elle connaît plusieurs inconvénients qui résident dans sa dépendance entière des conditions météorologiques (excès d'humidité, vent très fort). Donc le rouissage à l'air est un procédé efficace si la météo est bonne [26].

b. Le rouissage à l'eau :

Ce sort de rouissage reste sur le même principe de développement de microorganismes que le rouissage à l'air, la différence est que les tiges (de chanvre standard exemple) sont plongées dans l'eau pendant plusieurs jours. Les bottes de 5 à 7 Kg sont soumises à l'action de bactéries anaérobies. Dès que les filaments se détachent sur toute la longueur, la plante est sortie de

l'eau pour être séchée. Cette méthode donne des résultats moins aléatoires que la première mais elle présente un inconvénient majeur : la contamination de l'eau. En effet, le rouissage du lin et du chanvre est très répandu au nord de l'Europe (France, Belgique, Pays Bas). Le rouissage à l'eau est effectué ensuite en cuve, dans de l'eau tempérée (37°C) jusqu'à ce que les fibres soient délignifiées et non adhérentes. Cette stratégie est en régression procédée, au bene fit du rouissage à terre [26].

c. Par action microbienne :

Trois groupes d'agents microbiens sont capables de dégrader les composants non cellulosiques présents dans les tiges ou les feuilles des plantes : les bactéries, les protozoaires et les champignons. Dans la première catégorie de bactéries, il existe trois espèces, une qui possède une activité dépolymérise et une autre glycosidasique capables d'hydrolyser la chaîne principale et de couper les chaînes latérales en utilisant les oligosaccharides et les oses libérés. La deuxième possède uniquement une activité dépolymérise mais un fit d'utiliser les produits d'hydrolyse des hémicelluloses. Enfin la troisième, qui possède des activités glycosidasiques mais dépourvue d'activité dépolymérise Plusieurs espèces des protozoaires sont capables de dépolymériser les hémicelluloses, ainsi que pour les substances pectiques, mais elles n'ont qu'une capacité limitée à utiliser les produits d'hydrolyse comme source d'énergie. Concernant les champignons, ils sont capables de dépolymériser les hémicelluloses et d'utiliser les oligosaccharides et les oses libérés, et de solubiliser partiellement la lignine. Cependant, elles ne peuvent pas dépolymériser les pectines[26].

I.7 Propriétés physico-mécaniques des fibres végétales :

Les stands végétaux sont d'une manière générale de bons renforts pour les matrices thermoplastiques ou thermodurcissables à cause de leur résistance relativement grande et leur faible densité. Certaines caractéristiques des filaments de Chanvre et des filaments de Lin atteignent des valeurs proches de celles des stands de verre "E" [27, 28].

I.8 Avantages et inconvénients des fibres végétales :

Les fibres ligne cellulosiques ont un avantage par rapport aux fibres synthétiques ,Puisqu'elles forment des boucles au lieu de se rompre au cours de leur transformation et de Leur fabrication. En outre, los ange la cellulose possède une section transversale ovale

Généralités sur les Matériaux composites

aplatie qui Augmente le transfert de rate en présentant un rapport d'issue effectivement plus élevé [5].

Tableau I.2 : les avantages et les inconvénients des fibres végétales [6, 7]

Avantages	Inconvénients
Faible coût	Absorption d'eau
Biodégradable (pour l'environnement)	Biodégradabilité (pour le matériau)
Resource renouvelable	Fibres anisotropes
Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité)	Pour des applications industrielles, nécessite de gestion d'un stock
Demande peu d'énergie pour la production	Faibles stabilité dimensionnelle
Non abrasif pour les outillages	Faible tenue thermique (200 à 300°C max)
Bon isolant thermique et acoustique	Variation de qualité en fonction du lieu de croissance, des conditions
Neutre pour l'émission de CO2	Météorologiques
Pas de résidus après incinération	Renfort discontinu

I.9 Matrice polymère :

Dans de nombreux cas, la matrice constituant le matériau composite est résine polymère.

Le rôle de la matrice est de transmettre les efforts mécaniques aux fibres et d'assurer leur chimie protège et donne forme au produit final.

La matrice détermine généralement la limite et la température de service de ce matériau. Nous répertorions une grande classe de polymères comme matrice pour les matériaux composites. [8, 9]

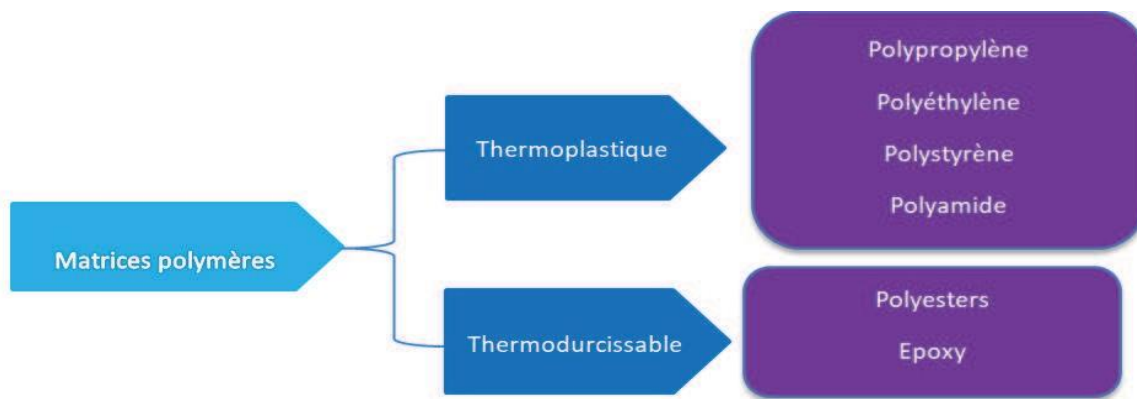


Figure I.10 : Types de matrice polymérique

I.9.1 Résines thermodurcissables:

Ces matrices se présentent initialement sous forme de résines liquides visqueuses, composées de longues molécules indépendantes. Ces molécules construisent ensuite.

Comme la réaction la plus souvent déclenchée par une action conjointe durcisseur et température. Cela forme une structure solide tridimensionnelle.

Résine de polyester insaturé, résine de condensation (résine phénolique, aminoplastes, furannes) et les résines époxy sont des résines thermodurcissables. Les deux principales résines utilisées sont le polyester (environ 70%) et l'époxy (25%). Les résines thermodurcissables ont des propriétés mécaniques élevées, nous avons trouvé Résine époxy avec de bonnes propriétés thermomécaniques et une bonne adhérence fibre.

Ces résines sont les plus couramment utilisées dans la fabrication de structures aérospatiales. Le tableau I.4 énumère les principales caractéristiques[8].

Tableau I.3 : Caractéristiques des résines thermodurcissables [10]

Résine	Masse volumique (g/cm ³)	Résistance (MPa)	Module d'Young (GPa)	Allongement (%)
Polyesters	1.2	80	4	2.5
Epoxy	1.1-1.5	130	4.5	2

I.9.2 Résines thermoplastiques:

Ce sont des matériaux semi-cristallins comprenant une phase amorphe et une phase semi-cristalline. Les principales familles de thermoplastiques sont les polyoléfines (polyéthylène, polypropylène), les plastiques à base de chlorure de polyvinyle, le polystyrène et les polyamides.

Les composites à matrices thermoplastiques prennent de plus en plus d'importance dans de nombreux domaines (automobile, emballage). En fait, ils offrent de nombreux avantages par rapport à leurs homologues thermodurcissables, notamment une meilleure résistance aux chocs et une bonne résistance aux dommages. Les thermoplastiques peuvent être refondus afin qu'ils puissent être véritablement recyclés, et pas seulement thermiquement recyclés. Les matrices thermoplastiques à macromolécules linéaires ou peu ramifiées sont les plus couramment utilisées en raison de leur facilité de mise en œuvre et de leur faible coût. Comme pour les résines thermodurcissables, les matériaux les plus efficaces ont des propriétés mécaniques élevées et une faible densité [19, 31].

Tableau I.4 : Caractéristiques des résines thermoplastiques [33]

Résine	Masse volumique (g/cm ³)	Résistance (MPa)	Module d'Young (GPa)	Allongement (%)
Polypropylène	0.9	30	1.2	20- 400
Polyamide	1.1	70	2	200

I.10 Matériaux composites :

Les matériaux composites peuvent être définis au sens large comme deux matériaux ou plus le produit fini surpasse les performances chaque matériau constitutif. Nous appelons maintenant généralement " matériaux composites " assemblages de fibres ou de renforts noyés dans une matrice, quilla résistance mécanique est beaucoup plus faible [5].

Corrélation de ces matériaux de base (armature et matrice) avec les propriétés des éléments complémentaires peuvent doter les matériaux composites d'un ensemble original de propriétés à l'échelle macro. La Figure I.8 donne la classification Schéma composite [11].

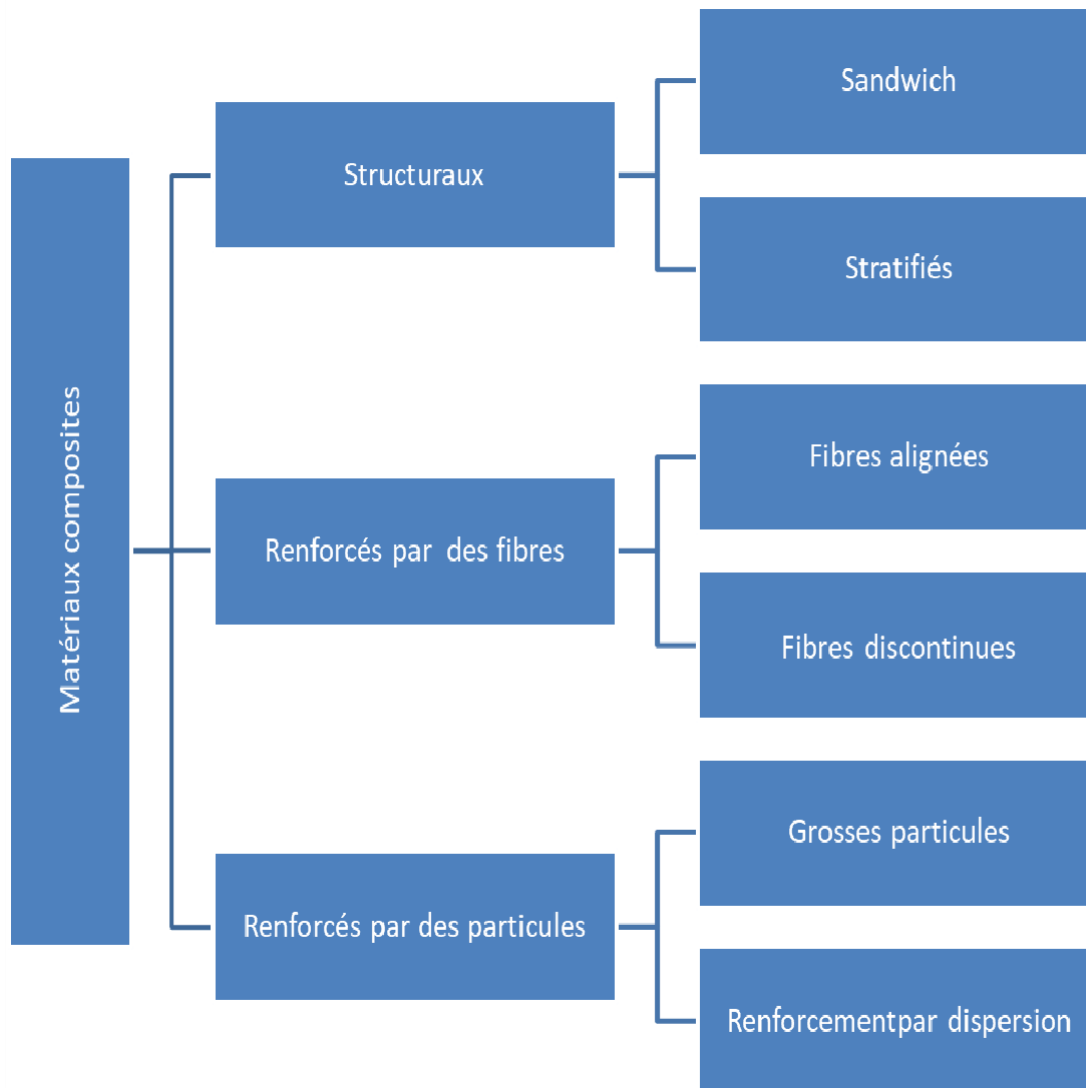


Figure.I.11: Classification des fibres naturelles selon leur origine (adapté)[8]

I.11 Propriétés mécaniques des composites à base de fibres végétales :

Depuis les années 1980, de nombreuses études ont porté sur l'utilisation de Biofibres (fibres végétales par exemple) et polymères pour la fabrication de composants Mécanique. Ces fibres sont soit des fibres discontinues de longueur calibrée, soit Formes de nappes (unidirectionnelle, coussin et tissu). Polymère renforcé de fibres Les plantes ont des propriétés mécaniques spécifiques importantes (au moins pour certains d'entre eux) et de nombreux avantages, si l'on s'intéresse à l'impact environnemental.

I.12 .Domaines d'application des matériaux composites à fibres végétales :

Les polymères synthétiques sont considérés comme des matériaux abusifs pour l'environnement à côté de leur coût élevé. L'utilisation importante de ces polymères dans différents secteurs conduit à des problèmes d'élimination en fin de vie. Les matériaux à base d'agro carburants tels que les fibres végétales et les polymères naturels deviennent une alternative compétitive, en particulier après l'approbation des lois pour la réduction de l'utilisation de matériaux nocifs pour l'environnement. Ceci a obligé donc de nombreuses grandes entreprises de plastiques des États-Unis et d'autres pays européens à être à l'avant-garde dans le développement de matériaux biodégradables à partir de matériaux naturels [18]. Par exemple, l'utilisation de fibres naturelles dans la production automobile allemande est passée de 9 600 tonnes en 1999 à 19 000 tonnes en 2005 sans le bois et le coton [19].

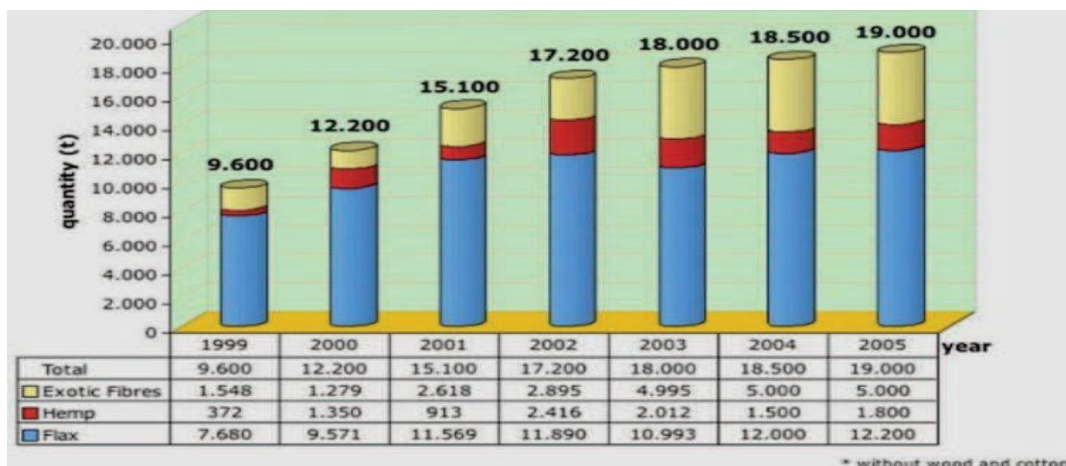


Figure I.12 : Utilisation de fibres naturelles dans l'industrie automobile allemande de 1999 à 2005 [19].

Les fibres naturelles ont été utilisées dans une large gamme de produits composites avec des polymères synthétiques conventionnels. Certains des produits fabriqués en utilisant des fibres naturelles telles que le lin, le chanvre, le sisal et le jute sont utilisés dans diverses pièces automobiles (Figure I.13) [20].



Figure I.13: Composants d'automobile en composites de fibres végétales [20].

D'autres applications dans les industries du bâtiment, ont montré que les bonnes propriétés des éléments à paroi mince tels que la haute résistance à la traction et à la compression. Les composite renforcé de fibres de sisal, lui donner une large zone d'application, par exemple, les membres du bâtiment structurel, permanent coffrage, réservoirs, façades, éléments de toiture à longue portée et tuyaux de renforcement des structures existantes (Figure I.14) [21].



Figure I.14: Composants du bâtiment en composites thermoplastiques
Renforcés de fibres végétales [21]

D'autre application concerne les éoliennes verticales de nouvelle génération qui sont en phase de test, sont destinées notamment à alimenter les systèmes d'éclairage public, par l'intégration de renforts fibres de lin. Dans ce cas, les pales exigent une résistance efficace du matériau : outre leur faible densité, les renforts de fibres de lin offrent une rigidité convenable [22].

CHAPITER.II

Matériaux et Méthodes Expérimentales

Introduction

La connaissance du comportement mécanique des matériaux est un facteur déterminant dans le choix des matériaux. Dans ce chapitre, nous abordons les méthodes d'étude du comportement mécanique et leur évaluation numérique. Les propriétés des matériaux sont soumises à des tests mécaniques afin d'obtenir des données. Nous discuterons également des tests que nous avons réalisés dans le cadre de notre étude.

II.2 Matériaux et Matériels Utilisés :

II.2.1 La résine

La résine polyester utilisé dans ce travail est de type ortho phthalique, les propriétés de cette résine sont regroupées dans le tableau II.1 :



Figure II .1 : résine polyester

Tableau II.1 : Fiche technique de la résine

Propriétés mécaniques de la résine :	
-Résistance en traction	40-60 MPa
-Dureté Barco	40-45
-Méthode d'application	Application manuelle
Densité	1 ,09-1,11kg/dm ³
-Temps de durcissement	45-60mins

II.2.2 Durcisseur

C'est une vitesse de réaction chimique qui peut être augmentée sans être consommée et ne modifie pas la position finale de cet équilibre thermodynamique réaction. Le catalyseur est utilisé en une quantité de 1,5 à 2 % en masse.

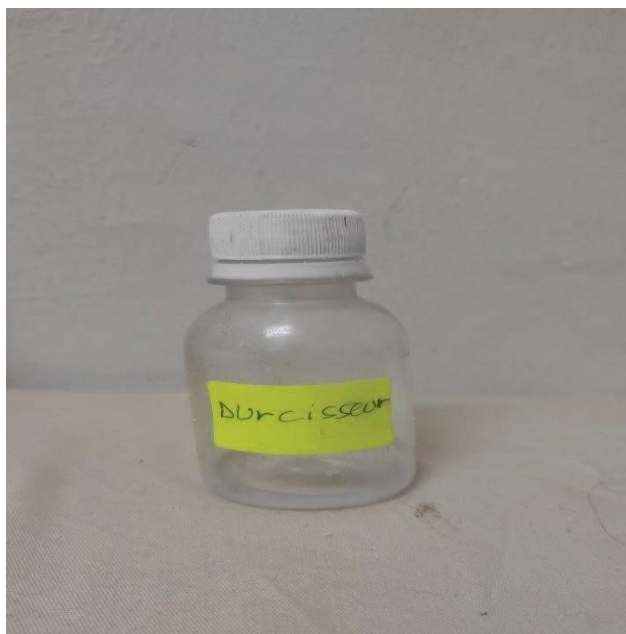


Figure II.2 : Durcisseur

II.2.3 La Balance

Pour notre mélange nous avons utilisé une balance avec une précision de 10^{-3}

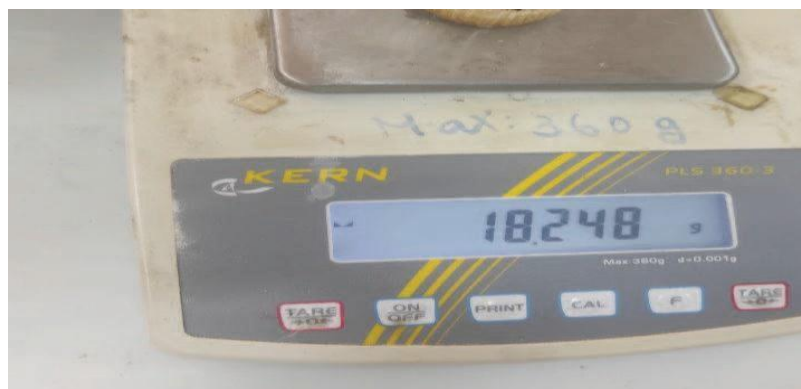


Figure II.3 : Balance

II.2.4 Les renforts :

Dans cette étude, nous avons utilisé des fibres végétales, définies dans l'ordre suivant :

a. Le sisal :

C'est une fibre végétale extraite des feuilles de la plante d'agave sisal ana, qui est originaire du Mexique. Cette fibre est souvent utilisée pour fabriquer des cordages, des tapis, des sacs et d'autres produits similaires. Le sisal est une fibre très résistante et durable, ce qui en fait un choix populaire pour les applications industrielles et commerciales. Le sisal est également considéré comme une alternative écologique aux fibres synthétiques car il est renouvelable et biodégradable. La culture du sisal nécessite peu d'eau et de pesticides, ce qui en fait une option plus durable que d'autres cultures de fibres végétales telles que le coton. Cependant, le sisal peut être difficile à travailler en raison de sa rigidité et de sa texture rugueuse. Il peut également être sujet à la moisissure s'il n'est pas correctement séché et stocké.



Figure II.4: Le sisal [26].

b. Le luffa :

C'est une plante grimpante de la famille des cucurbitacées, originaire d'Asie et d'Afrique. Cette plante produit des fruits allongés et cylindriques qui sont souvent utilisés comme éponge naturelle pour le nettoyage de la peau et des surfaces. La partie interne du fruit du luffa contient des fibres douces et poreuses qui peuvent être utilisées pour fabriquer des éponges naturelles. Les éponges de luffa sont souvent considérées comme une alternative écologique aux éponges synthétiques car elles sont renouvelables et biodégradables. En plus d'être utilisées pour la fabrication d'éponges, le luffa est également utilisé dans la production de cordes, de tissus et de papier. Les graines du luffa peuvent également être consommées comme légume ou utilisées dans la médecine traditionnelle pour traiter diverses affections.

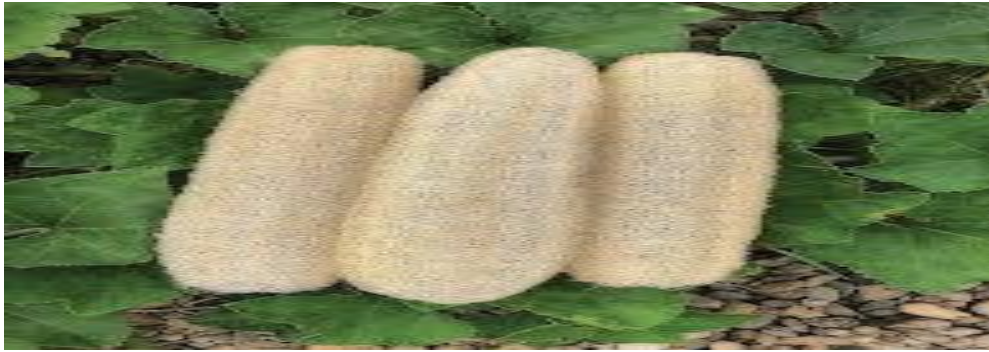


Figure II.5: luffa [26].

c. Les cheveux de maïs :

Ce sont des fibres végétales minces et délicates qui poussent sur les épis de maïs. Ces fibres sont souvent utilisées dans la médecine traditionnelle pour traiter diverses affections , notamment les infections urinaires , l'hypertension artérielle et la rétention d'eau.

Les cheveux de maïs contiennent des composés tels que des flavonoïdes, des acides phénoliques et des saponines , qui leur confèrent des propriétés diurétiques et anti-inflammatoires. Les cheveux de maïs sont également riches en potassium, ce qui peut aider à réguler la pression artérielle. En plus de leurs utilisations médicinales, les cheveux de maïs peuvent également être utilisés comme colorant naturel pour les textiles et les aliments.

Les fibres peuvent être tissées pour créer des tissus légers et respirant, bien que leur faible résistance limite leur utilisation dans les applications industrielles.



Figure II.6 : Les cheveux de maïs [24].

II.2.5 Matrices les moules :

Nous avons utilisé ce moule en silicone dont le design est présenté dans le Figure II.5 ci-dessous :

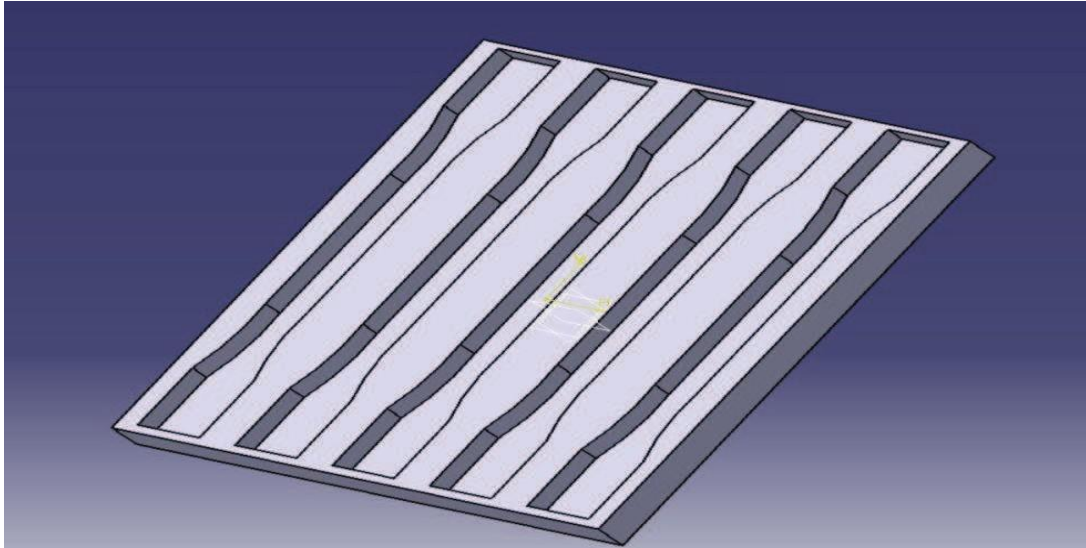


Figure II.7 : Schéma du moule

II.3 .Etapes suivi pour l'élaboration du matériau à étudié :

Pour la préparation du stratifié, nous avons suivi les étapes mentionnées ci-dessous :

- Préparation et découpe des fibres par ciseaux manuels d'une longueur allant de 2 mm à 2,5mm.

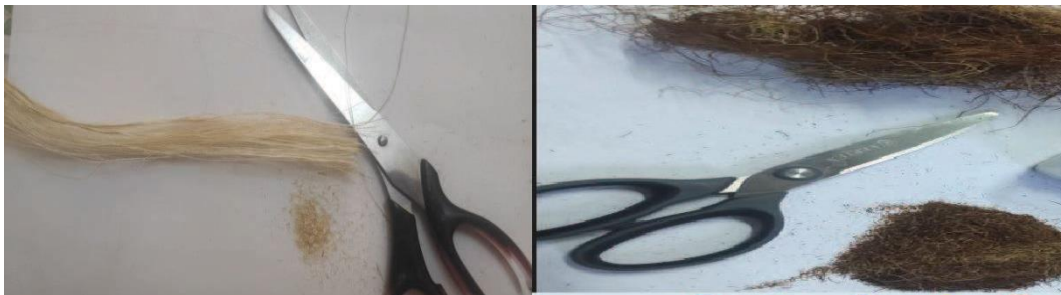


Figure II.8: Préparation et découpe des fibres.

- Préparation du moule.
- mélanger d'une quantité de résine avec durcisseur et Fibres hachées.



Figure II.9: les fibres courtes utilisées



Figure II.10: préparation de composite

- Versement le composite en moule .
- Laisser le matériau composite ainsi élaboré durcir le temps nécessaire.

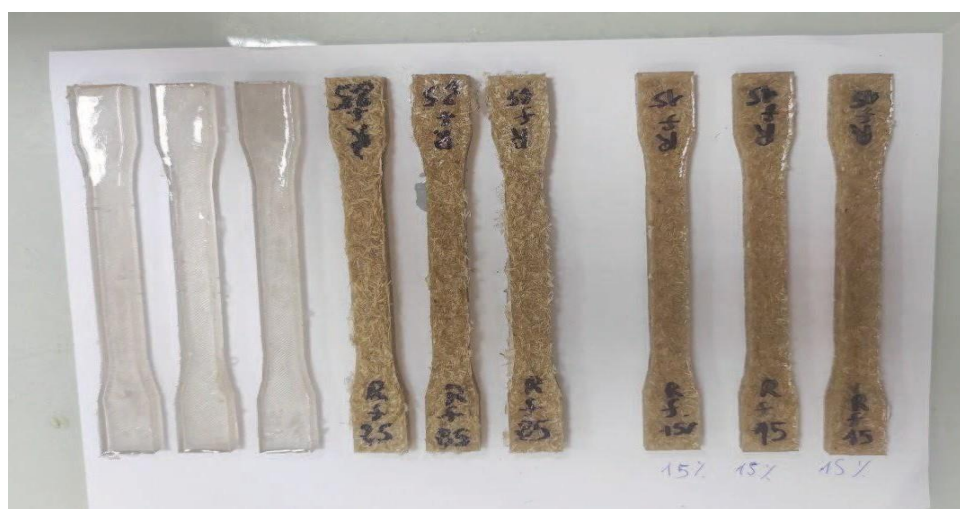


Figure II.11: des éprouvettes préparées.



Figure II.12 : opération de polissage des éprouvettes.

- Les éprouvettes ont été placées au four à 60 degrés pendant 6 heures.



Figure II.13 : opération de durcissement.

II.4 Obtention des éprouvettes

Les tests sur fibre végétale sont exercés sur des éprouvettes de traction selon ASTM D638 03 (Figure II.13) :

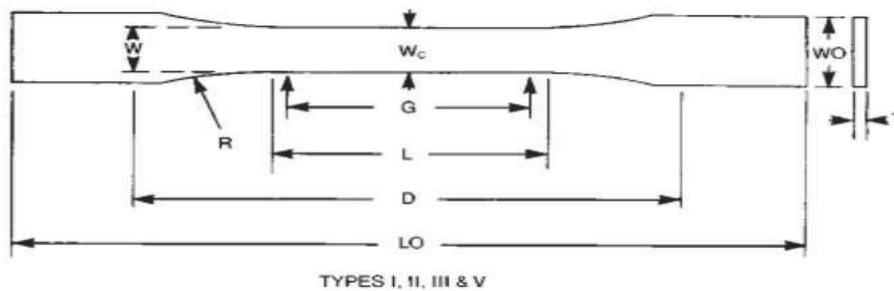


Figure II.14 : Schéma d'éprouvette de traction.

Selon notre cas, le type (I), est utilisé :

$$W = 13 \text{ mm}$$

$$L = 57 \text{ mm}$$

$$W_0 = 19 \text{ mm}$$

$$LO = 165 \text{ mm}$$

$$G = 50 \text{ mm}$$

$$D = 115 \text{ mm}$$

$$R = 76 \text{ mm}$$

Les éprouvettes obtenues sont présentées par la **Figure II.15**.



Figure II.15 : Présentées les éprouvettes obtenues.

II.5 Test FTIR :

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) est une méthodologie d'analyse largement utilisée dans les laboratoires de recherche publique et industrielle, dont le but est de comprendre la structure de molécules individuelles et la composition des mélanges moléculaires. La spectroscopie FTIR use l'énergie des infrarouges moyens modulés pour analyser les échantillons. La lumière infrarouge est absorbée à des fréquences spécifiques directement liées aux énergies vibratoires de contact d'atome à atome au sein de la molécule. Lorsque l'énergie vibratoire de contact et l'énergie de la lumière infrarouge moyenne sont équivalentes, la contact peut sagard cette énergie. Différentes contacts vibrent à différentes énergies dans une molécule et elles retentie donc différentes longueurs d'onde du rayonnement IR. La position (fréquence) et l'intensité de ces bandes d'absorption individuelles contribuent à l'hôte dans le monde entier, en créant une empreinte caractéristique de la molécule.



Figure II.16 : Photo d'un appareil d'analytique FTIR

II.6 Essais de traction :

II.6.1 Essais de traction sur les composites :

L'essai de traction est une méthode expérimentale couramment utilisée. Déterminer les propriétés mécaniques du matériau. Ces comportements sont décrits comme un ensemble de relations entre le stress, la fatigue et leur évolution dans le temps. Une force de traction est appliquée à un cylindre de longueur déterminée, car les résultats de l'essai affectés par la précision de mesure de la taille de l'échantillon jusqu'à ce qu'il se brise. Enregistrer la force F et son allongement exercés par la machine de traction sur l'échantillon. De manière asymptotique, on constate que la force fournie augmente avec l'allongement puis atteint un maximum, commencer à diminuer.

Essai de traction à l'aide de la machine de traction MAGHREB PIPE YLE

- Utiliser une vitesse de traction égale à 2.5 mm/min.
- Testé à température ambiante (laboratoire).

Pour chaque mélange, trois éprouvettes ont été utilisées et la valeur moyenne d'allongement a été prise à résistance à la rupture et résistance à la traction.



Figure II.17: Machine de traction.

II.6.2 Paramètres d'études :

Les caractéristiques mécaniques déterminées de l'essai de traction est :

a. Contrainte de rupture :

La contrainte de rupture est donnée par la relation [51] :

$$\sigma = F/S$$

Avec :

F : Force de traction (N)

S : Section rompue (mm²)

σ : Contrainte de rupture (MPa)

b. Module de Young [48] :

Le module d'Young est le facteur de proportionnalité entre la contrainte σ et la déformation ε :

$$\varepsilon = \Delta L / L_0$$

$$E = \sigma / \varepsilon = (F \cdot L_0) / (S \cdot \Delta L)$$

Avec :

E : Module d'Young (Mpa). L_0 :

Distance entre mords (mm). S_0 :

Surface ou section (mm^2).

ε : La déformation de la longueur des éprouvette

ΔL : L'allongement des éprouvettes (mm).

CHAPITER.III

Résultats et discussions

Résultats et discussions

Introduction

Ce chapitre présente et commente les résultats obtenus à partir des différents tests effectués. Nous avons étudié la caractérisation structurale par FTIR. Après avoir broyé les fibres nous avons obtenu un ensemble des résultats exprimés par le programme origine avec des courbes graphiques suivant :

III.2 Test FTIR :

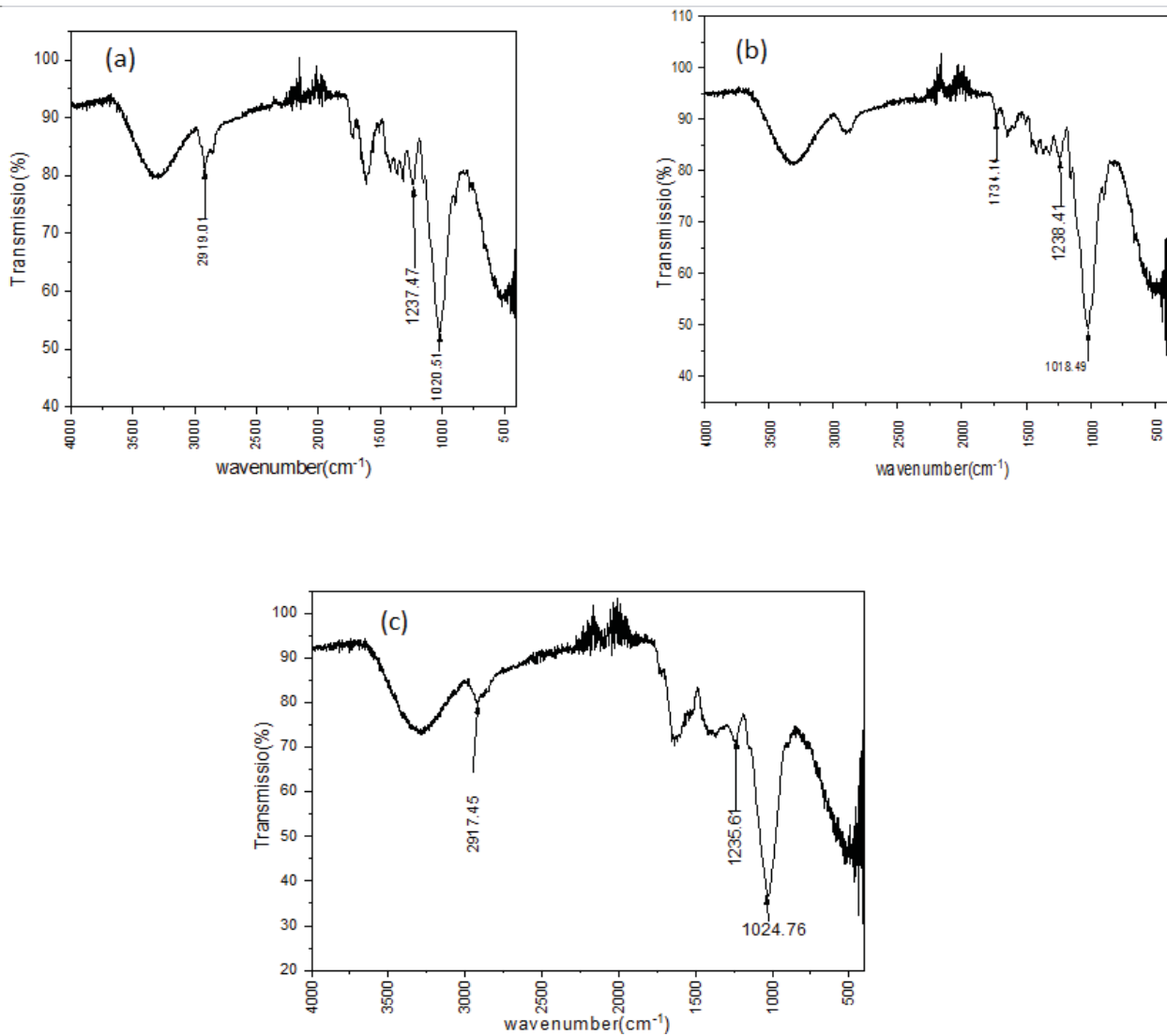


Figure III.1 : représenter analyse FTIR des fibres.

a) filasse, b) luffa, c)cheveux de maïs

Résultats et discussions

Tableau III.1 : Cellulose, hémicellulose

Nombre d'onde (cm^{-1})	liaison	famille
3,200-3,600	O–H	Cellulose, hémicellulose
2,919, 2,845	C–H	Cellulose, hémicellulose
1,734	C=O	Hémicellulose, lignine et extractives
1,648	H–O–H	eau
1,606 ; 1,510 ; 1,425	C=C	composé de lignine
1,367	C–H	composé de lignine
1,163	C–O	Cellulose
1,036	C–O–C	Cellulose, hémicellulose
895	β -glycoside linkage	Cellulose, hémicellulose

Le spectre AFTIR de fibre végétale met en évidence les pics d'absorbance les plus intéressants. Les pics à 2919.01 cm^{-1} et 2917.45 cm^{-1} sont les bandes caractéristiques la vibration d'étirement C-H de CH et CH₂ dans la cellulose et composants hémicellulose [43] tandis que la bande d'absorption centré à 1734.11 cm^{-1} peut être attribué au groupe carbonyle C=O étirement des vibrations de la liaison de l'acide carboxylique dans la lignine ou l'ester groupe dans l'hémicellulose [44].

Les deux pics observées à 1238.41 cm^{-1} et 1237.47 cm^{-1} et 1235.61 cm^{-1} sont attribuées à la flexion vibration des groupes C-H et C-O de l'anneau aromatique polysaccharides [42] tandis que le pic d'absorbance est centré à 1237 cm^{-1} est dû à la vibration d'étirement C-O de l'acétyle groupe dans la lignine [42].

Les deux pics à 1024.76 cm^{-1} et 1020.51 cm^{-1} et 1018.49 cm^{-1} sont associés à Vibration d'étirement C-O-C de l'anneau pyranose dans les polysaccharides tableau III.1.

Résultats et discussions

III.3 . Essai de traction

Les essais de traction sont des expériences mécaniques exécutées dans le but de déterminer l'allongement, la contrainte à la rupture et le module d'Young des bio composites. Ces tests ont été réalisés sur une machine d'essai de traction de MAGHEB PIPE.



Figure III.2 : machine d'essai de traction

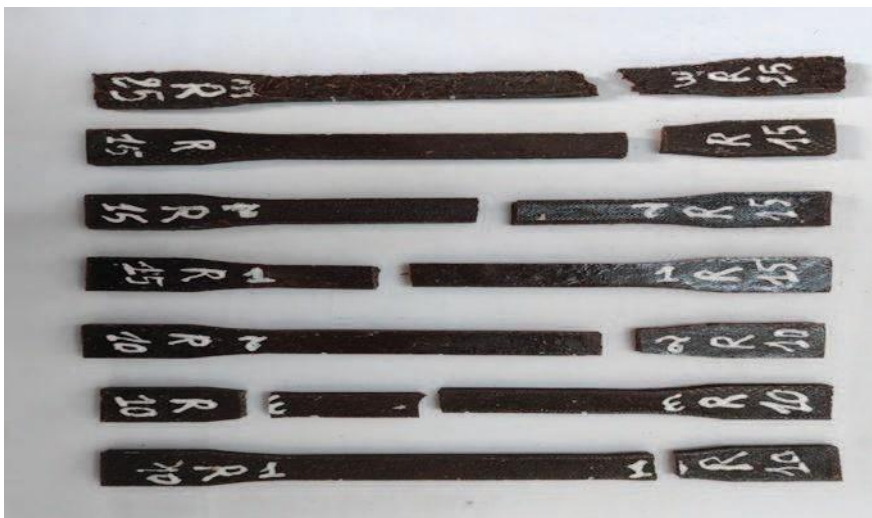
On a testé 30 éprouvettes avec la machine de traction on a 3 fibre a chaque fibre on a 3 pourcentage 10% ,15% et 25% chaque pourcentage on a 3 éprouvettes avec des éprouvettes sans fibres pour la comparions avec les autres éprouvettes avec fibres.

III.4 Les courbes de test de traction :

Les essais de traction effectués sur des éprouvettes de forme haltère a donné au moins une rupture pour chaque type du matériau au milieu de l'éprouvette. Ce constat confirme l'hypothèse de l'utilisation des éprouvettes sous forme haltère pour minimiser la concentration de contraintes et orienter la rupture vers le milieu de l'éprouvette.



Figure III.3:Éprouvettes de traction après rupture.



Figures III.4 : Éprouvettes de traction après rupture.

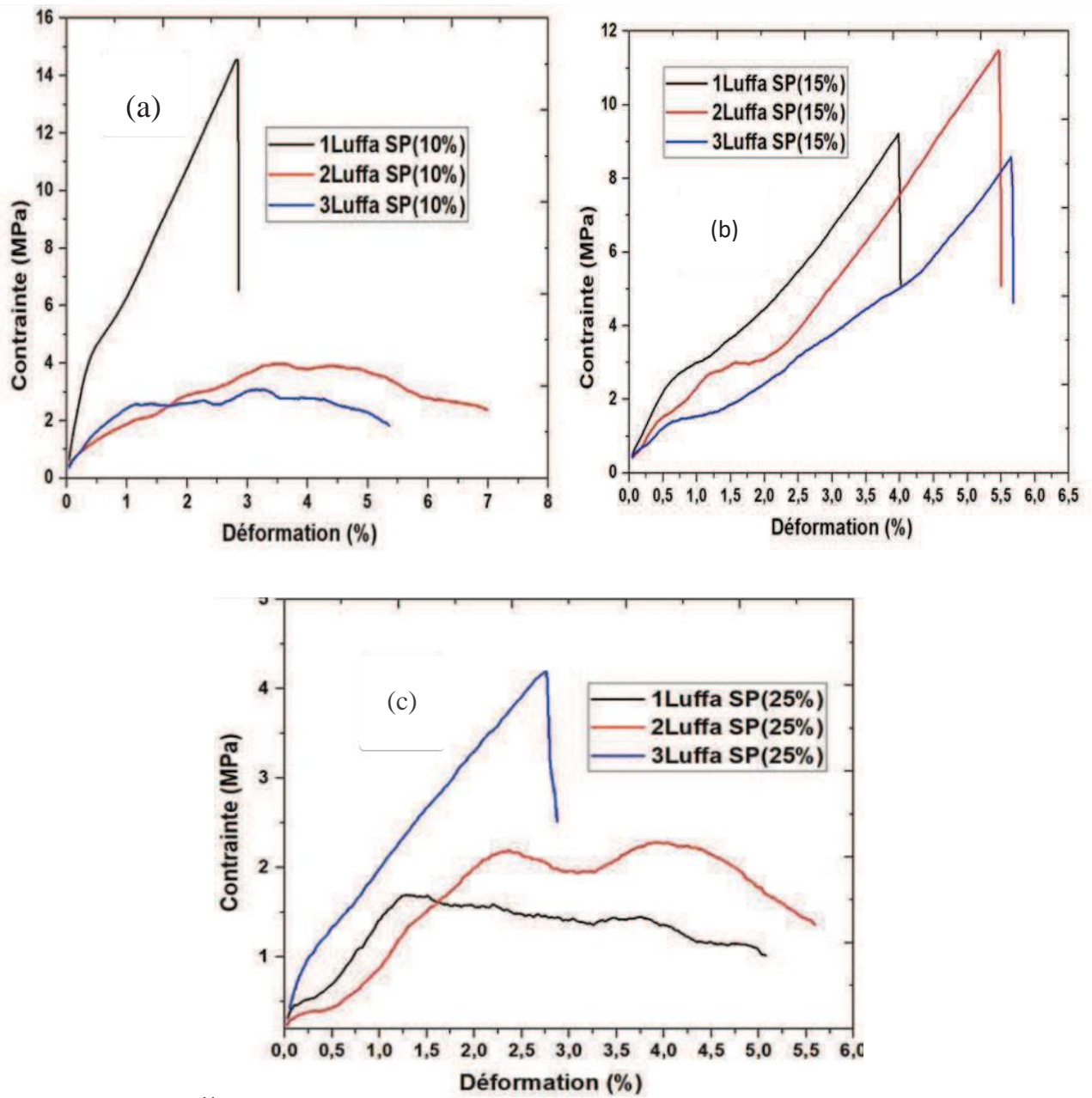
Les essais de traction ont permis de tracer les courbes contrainte-déformation représentées sur les figures ci-après :

Résultats et discussions

- Les courbes des trois pourcentages 10%,15% et 25% des composites présentent la même allure suite à la sollicitation de traction. En effet, on remarque que les trois figures présentent les deux phases d'une courbe de traction classique, à savoir :
 - Une partie linéaire élastique : avec une pente qui diffère d'un pourcentage à l'autre, expliquant ainsi d'une part, que l'ajout du renfort a rigidifié la matrice polymère
 - Une partie non-linaire : cette partie s'étend jusqu'à la rupture du matériau.
- Dans chaque courbe on a choisir le moyen graphe.

Résultats et discussions

III.4.1 les courbes de fibre luffa :



v

Figure III.5: Courbe contrainte-déformation pour le composite luffa

a)10%

b) 15%

c)25%

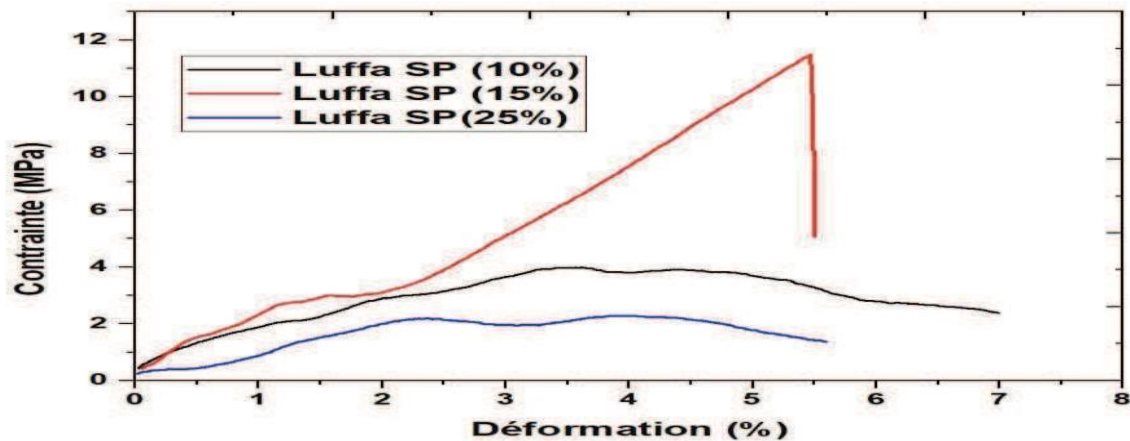


Figure III.6: Courbe contrainte-déformation pour le composite luffa.

À travers les résultats des données représentés dans un graphique, nous remarquons une divergence dans les valeurs de contrainte et les valeurs étaient 15% meilleures en termes de résistance.

Les résultats des valeurs 10% et 25% étaient plus faibles.

III.4.2 les courbes de fibre filasse :

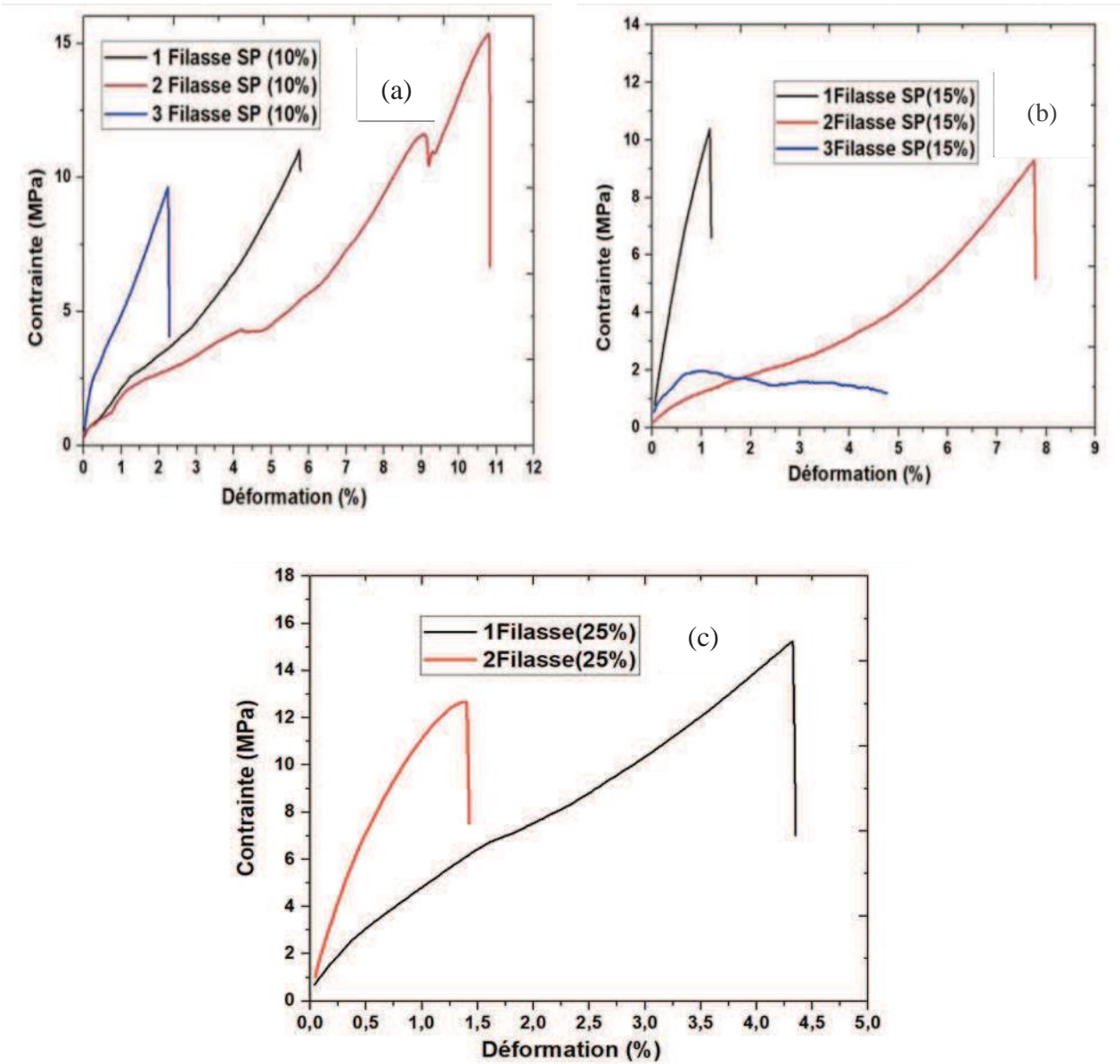


Figure III.7: Courbe contrainte-déformation pour composite filasse.

a) 10%

b) 15%

c) 25%

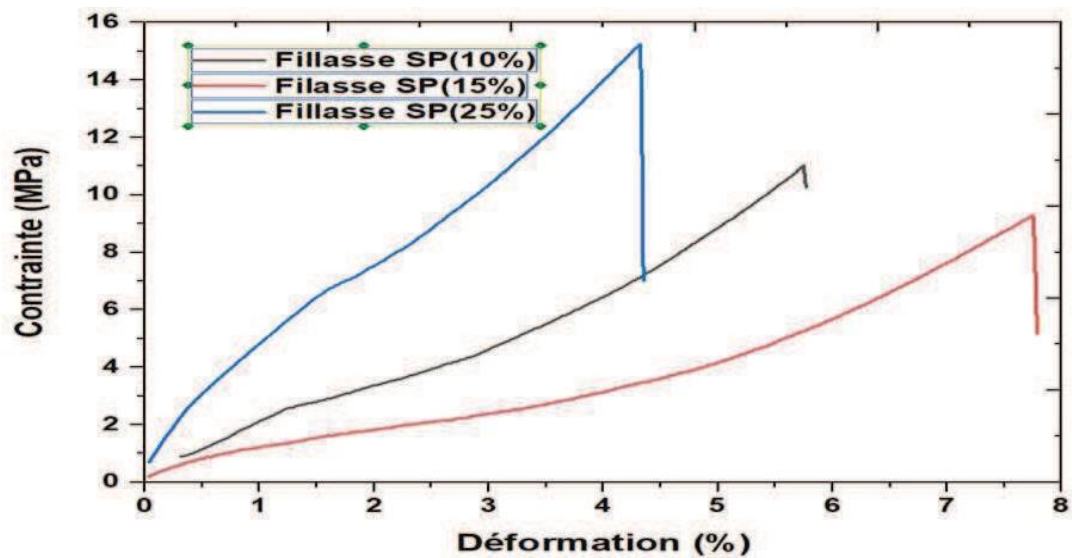


Figure III.8: Courbe contrainte-déformation pour la composite filasse

Le matériau composite a donné des résultats relativement bons, mais on note un taux de contrainte élevé dans le pourcentage de 25% et une diminution des pourcentages de 15% et 10%.

III.4.3 les courbes de fibre cheveux de maïs :

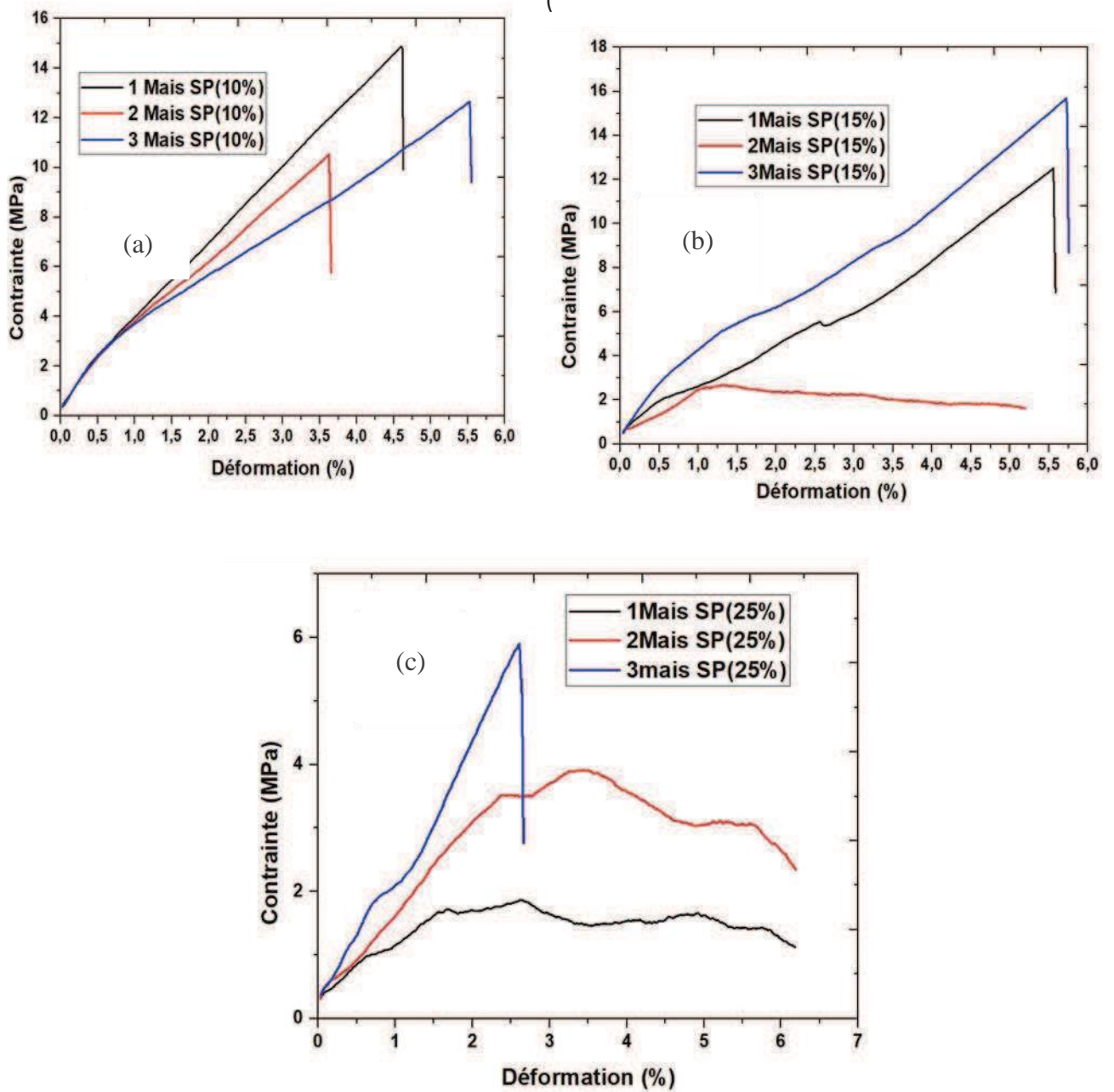


Figure III.9: Courbe contrainte-déformation pour le composite maïs.

a)10%

b) 15%

c)25%

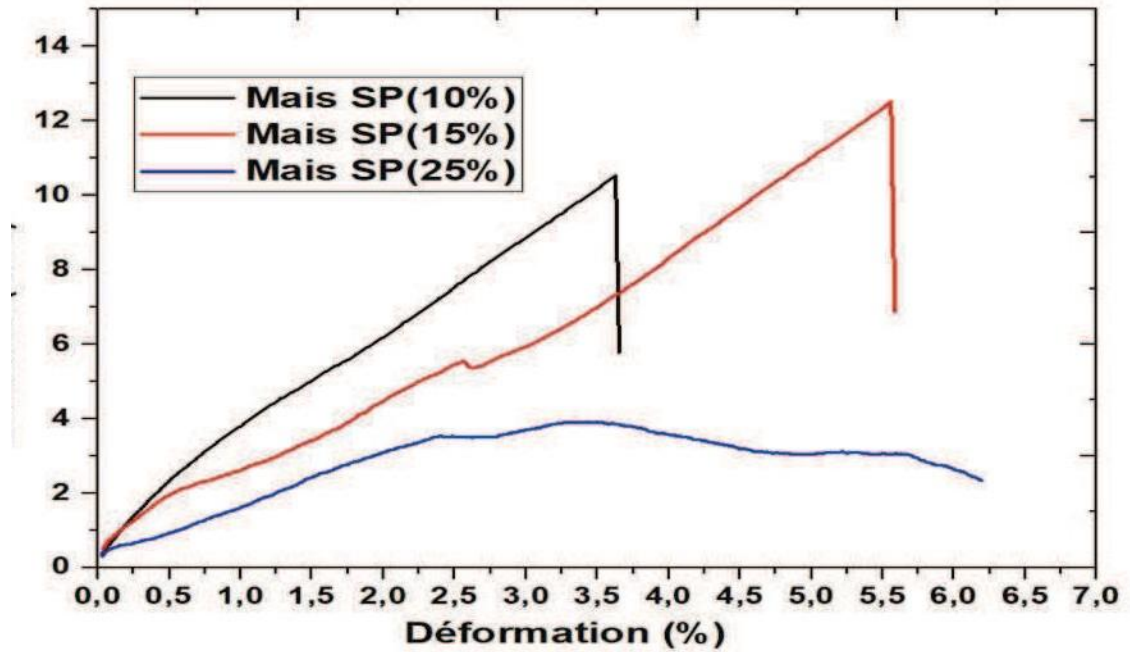


Figure III.10: Courbe contrainte-déformation pour le composite.

Cela nous a donné un très faible 25% et les résultats ont été satisfaisants pour les courbes restantes de 15% et 10%, mais les 15% sont plus résistants.



Figures III.11 : Éprouvettes de traction après rupture.

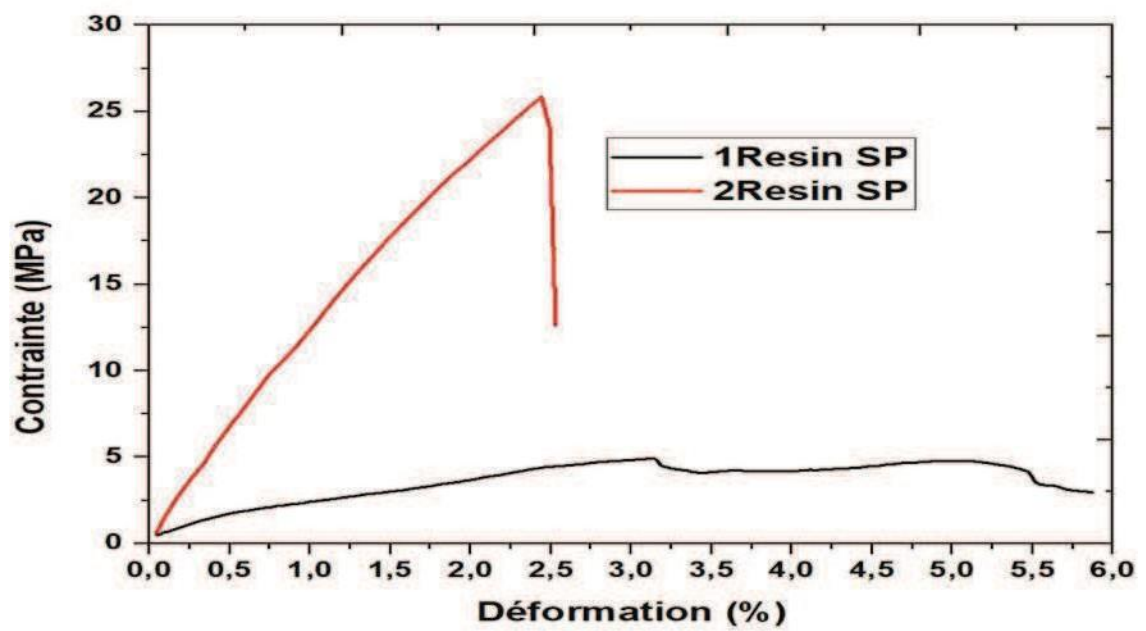


Figure III.12: Courbe contrainte-déformation de la résine

III.5 les courbes des déformation composite et résine :

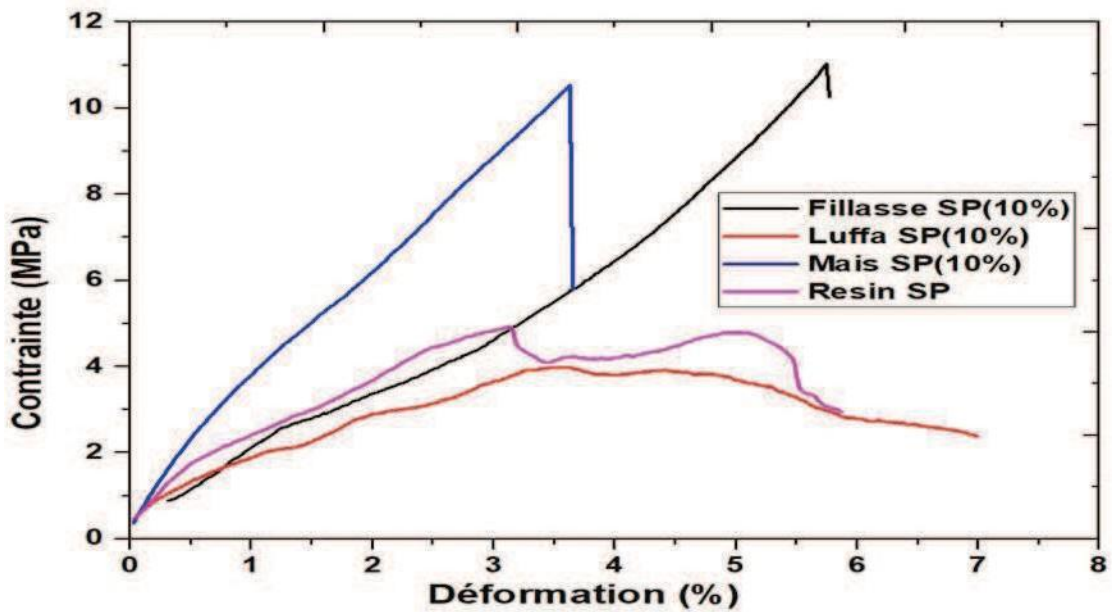


Figure III.13: Courbe contrainte-déformation des composites à 10% et la résine.

La résine et le composite luffa ont enregistré des valeurs très faibles par rapport aux composites fillasses et maïs. Les résultats de fillasse ont été très très satisfaisants.

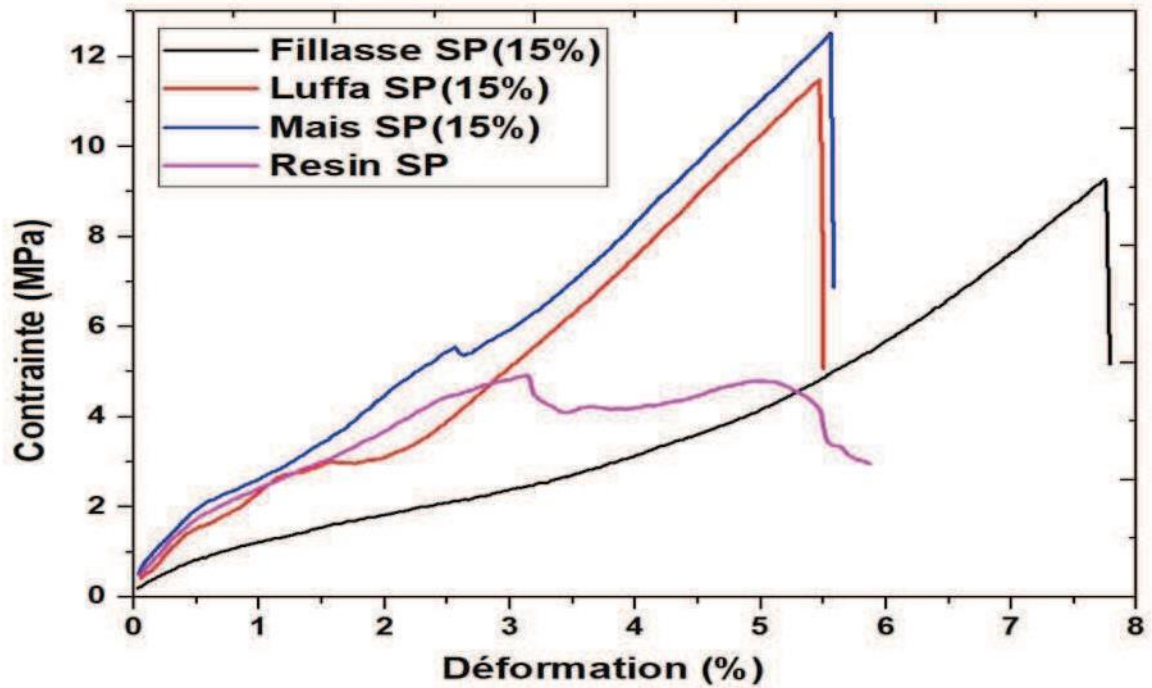


Figure III.14 : Courbe contrainte-déformation des composites a 15% et la résine.

Les courbes à 15% étaient relativement satisfaisantes sur tous les véhicules, Mais enregistrant la valeur de contrainte la plus élevée.

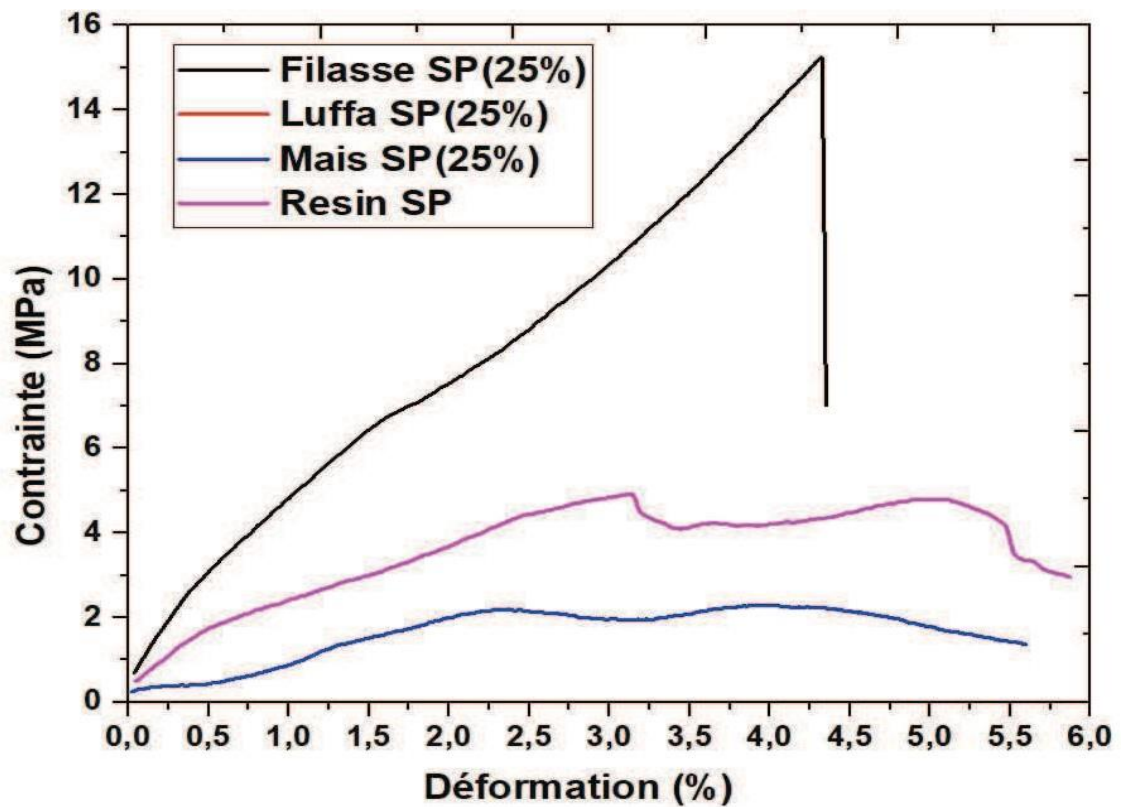


Figure III.15: Courbe contrainte-déformation des composites a 10% et la résine.

La composite mais plus faible que la résine mais le composite filasse c'est le plus élevé.

CHAPTER.IV

Partie Numérique

ABAQUS

INTRODUCTION :

L'avenir est aux outils numériques et à la réalité virtuelle ; ces dernières années, la simulation et l'analyse numérique se sont développées dans la recherche industrielle privée et publique (constructeurs automobiles, aéronautique, aérospatial, etc.), améliorant ainsi la productivité des constructeurs et la vie de tous les consommateurs.

Les solutions d'analyse par éléments finis optimisent le prototypage virtuel et les simulations numériques pour les entreprises en utilisant des hypothèses de mécanique de la rupture en termes d'élasticité et de dynamique. Ainsi, il peut simuler et améliorer les performances de composants, matériaux et produits répondant à des exigences opérationnelles élevées (sécurité, endommagement, etc.).

La simulation et l'analyse numérique impactent directement la qualité et le délai de mise sur le marché des produits ; de plus, elles améliorent les performances des solutions de gestion du cycle de vie des produits.

Ils semblent vouloir minimiser les coûts de recherche en optimisant le nombre d'essais. Le plus dur est de créer le modèle CAO. Se rapprocher le plus possible de la réalité (matériaux, conditions aux limites, etc.). La recherche sera validée uniquement sur la base d'essais physiques, aboutissant à des mesures permettant de comparer la réalité à la simulation (crash tests, etc.).

D'un point de vue technique, les résultats obtenus avec ABAQUS sont les bilans énergétiques, les forces nodales, les déformations, les déplacements, les contraintes, les vitesses, les accélérations, et toutes les grandeurs physiques nécessaires à la conception d'un modèle A.

Des logiciels de calcul de structure tels que NASTRAN, RADIOSS, ANSYS sont utilisés pour modéliser l'endommagement des structures métalliques. Nous utiliserons le logiciel ABAQUS (analyse dynamique linéaire et non linéaire).

IV.2 Définition d'ABAQUS :

ABAQUS est un logiciel de calcul en éléments finis développé par DASSAULT. Il est composé de trois produits qui sont : ABAQUS/Standard, ABAQUS/Explicit et ABAQUS/CAE. La gamme de logiciels d'ABAQUS est particulièrement réputée pour sa technologie, sa qualité et sa fiabilité. Elle s'est imposée comme partie intégrante

Des processus de conception de sociétés de renommées mondiale dans tous les secteurs industriels. ABAQUS offre les meilleures solutions pour des problèmes linéaires, non linéaires, explicites et dynamiques. Le logiciel fournit un environnement inégalé pour analyse par éléments fini, proposant un grand nombre d'alternatives aux opérations impliquant des fournisseurs et des produits multiples .La simulation de cet essai a été faite par le logiciel de simulation par éléments finis ABAQUS Ce logiciel est très important dans le champ des simulations pour obtenir des résultats sur les diverses variables, et pouvoir comprendre le comportement des matériaux. Pendant cette étude, on va changer les différents paramètres pour connaître l'effet de ceux-ci dans les résultats numériques obtenus. Les paramètres choisis pour l'étude sont le maillage, le coefficient de poisson et module de Young.

IV.3 ORGANISATION DE L'INTERFACE ABAQUS CAE (COMPLETE ABAQUS ENVIRONNEMENT) :

Il est important de savoir que le module CAE figure III.2 que vous allez utiliser pour créer votre jeu de données est relativement récent (quelques années) et qu'il est plutôt destiné à la mise en données de problèmes relativement classiques. Donc pas toutes les commandes utilisables dans Abaques et fait souvent le choix de paramètres par défaut [20].

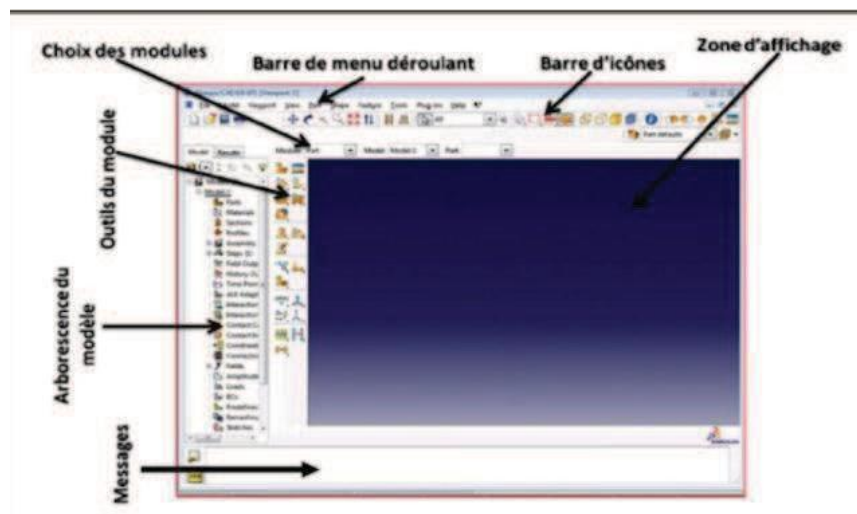


Figure IV. 1: Organisation d'abaqus [20].

IV.3.1 LES MODULES :

La réalisation complète d'un jeu de données s'effectue après un passage successif dans les modules, figure III.3

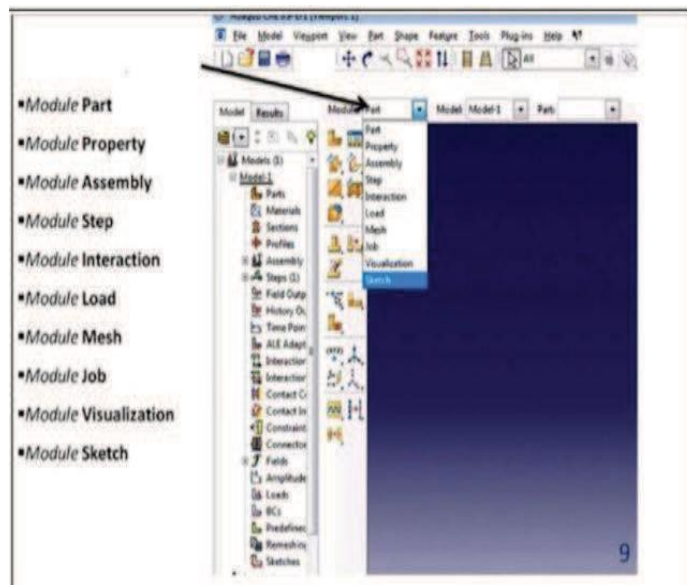


Figure IV. 2: Réalisation de la mise en données d'un problème.

IV.3.2 CREATION DE LA GEOMETRIE:

C'est dans ce module qu'est définie la géométrie des entités du modèle.

- Dans le **module Part**, on clique sur **Creat Part** (Figure 3.2 (a))
- Une fenêtre va apparaître, on la remplit , puis on tape sur Continue...
- Ensuite, on va dessiner l'éprouvette à l'aide de la commande Creat Lines et la dimensionner par Add Dimension. Enfin, on termine en appuyant sur **Done** .

Le résultat final est comme suit .

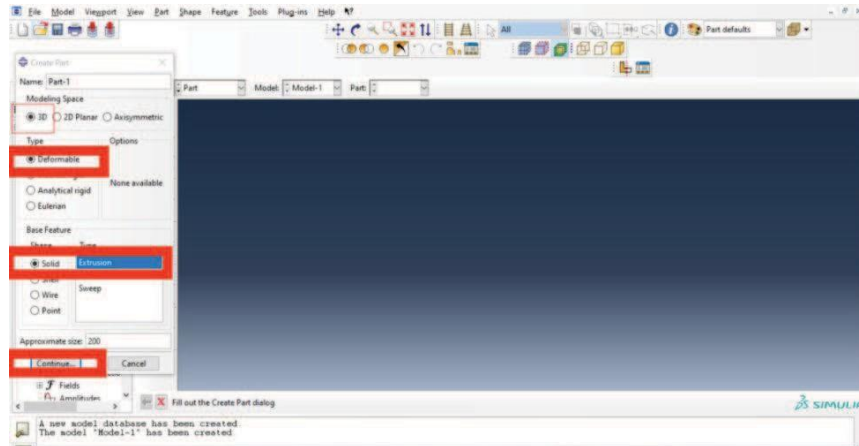


Figure IV. 3 : Création de la géométrie

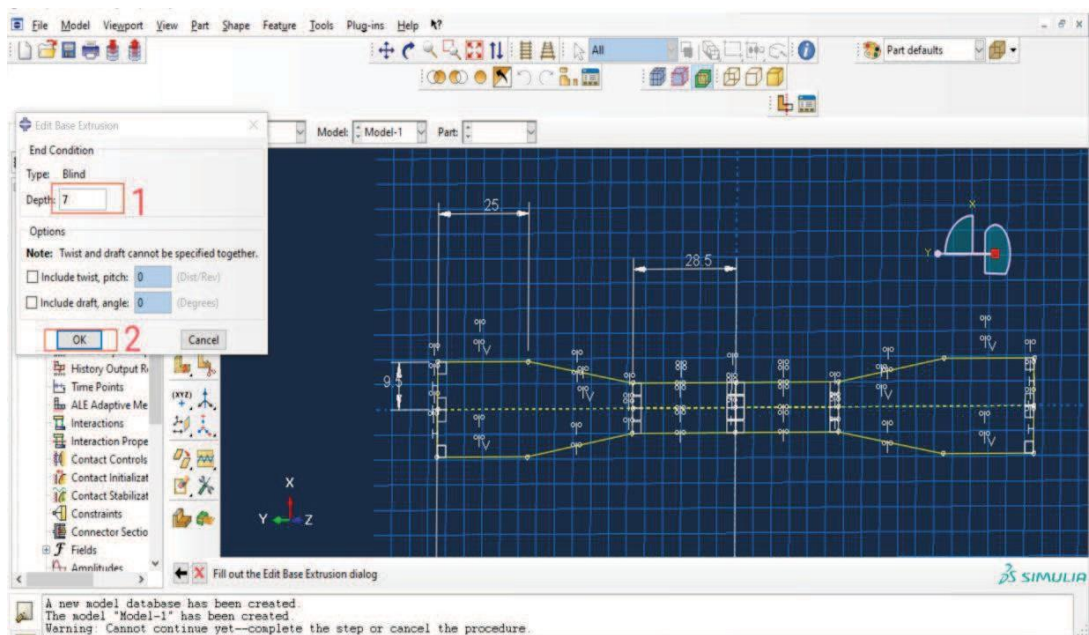


Figure IV. 4: Dessin de l'éprouvette

IV.3.3 PROPRIETES DU MATERIAU:

- Dans le module **Property**, on clique sur **Create Material**
- On choisit un nom pour notre matériau
- Puis on va vers **Mechanical Elasticity Elastic** pour définir les caractéristiques élastiques du matériau. Enfin on appuie sur **OK**

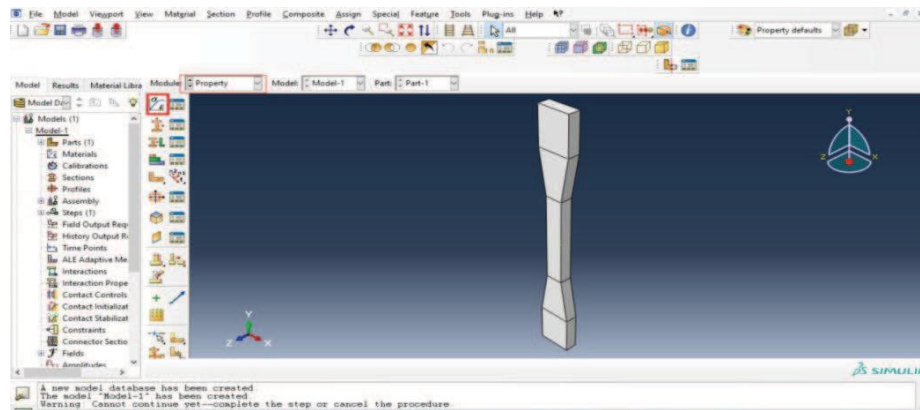


Figure IV. 5: Définition du matériau

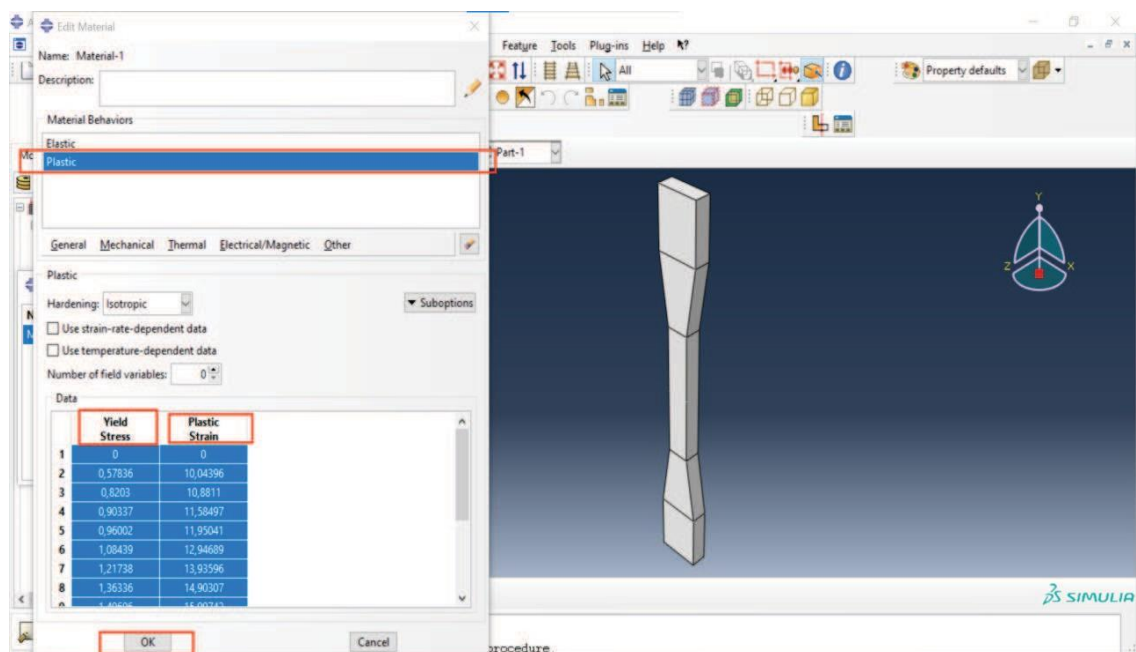


Figure IV.6 : Après la définition du matériau, On va créer une section :

Après la définition du matériau, On va créer une section :

- Dans le même module, on appuie sur Create **Section** .
- On va nommer notre section « Section-1 » et sélectionner **Solid** dans Category et **Homogeneous** dans Type, on termine par **Continue**.
- Une fenêtre va apparaître, on va choisir dans **Material** notre matériau créé précédemment et on termine par **OK** .

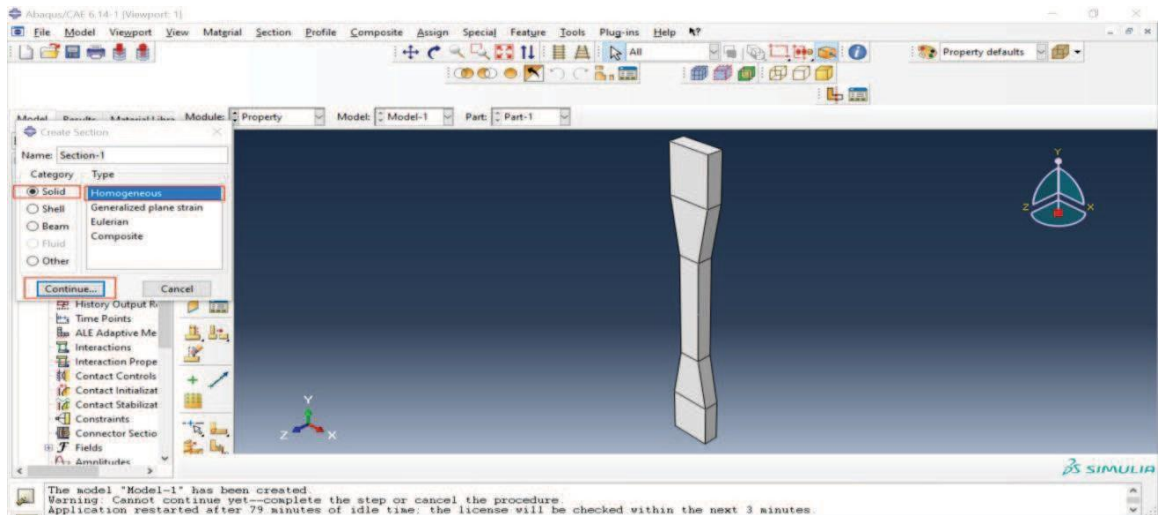


Figure IV. 7: Define creat section

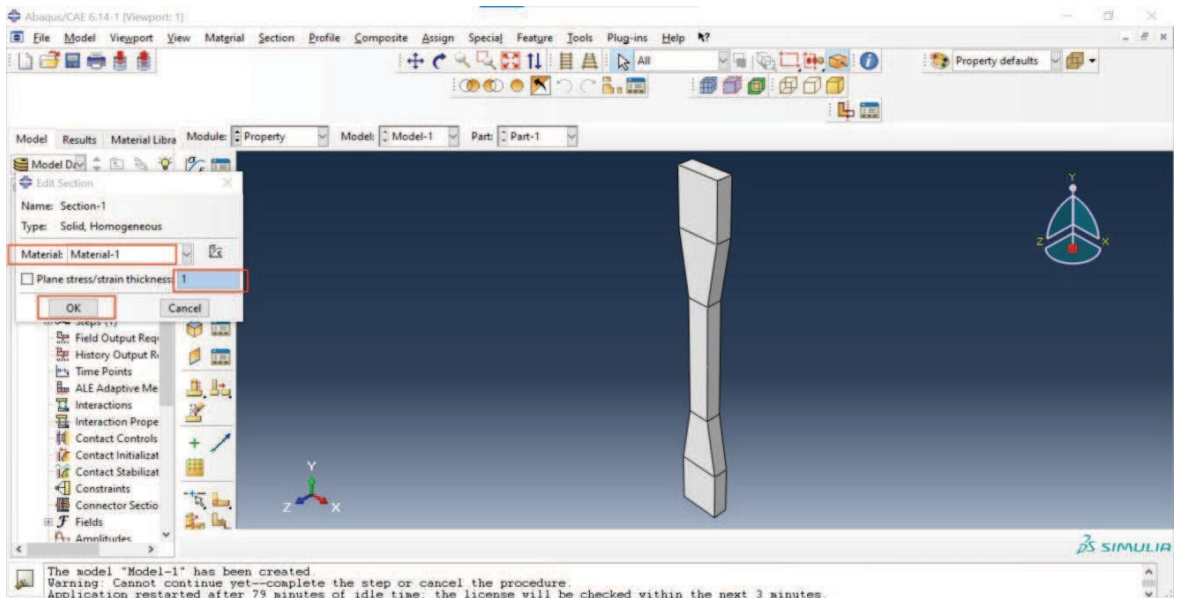


Figure IV. 8: Définition de la section

Maintenant, on va attribuer à notre géométrie la section créée précédemment :

- Dans le même module, on appuie sur Assign Section puis on sélectionne la géométrie et on clique sur **Done** .

- Dans la nouvelle fenêtre, on choisit notre section et on tape sur **OK** .

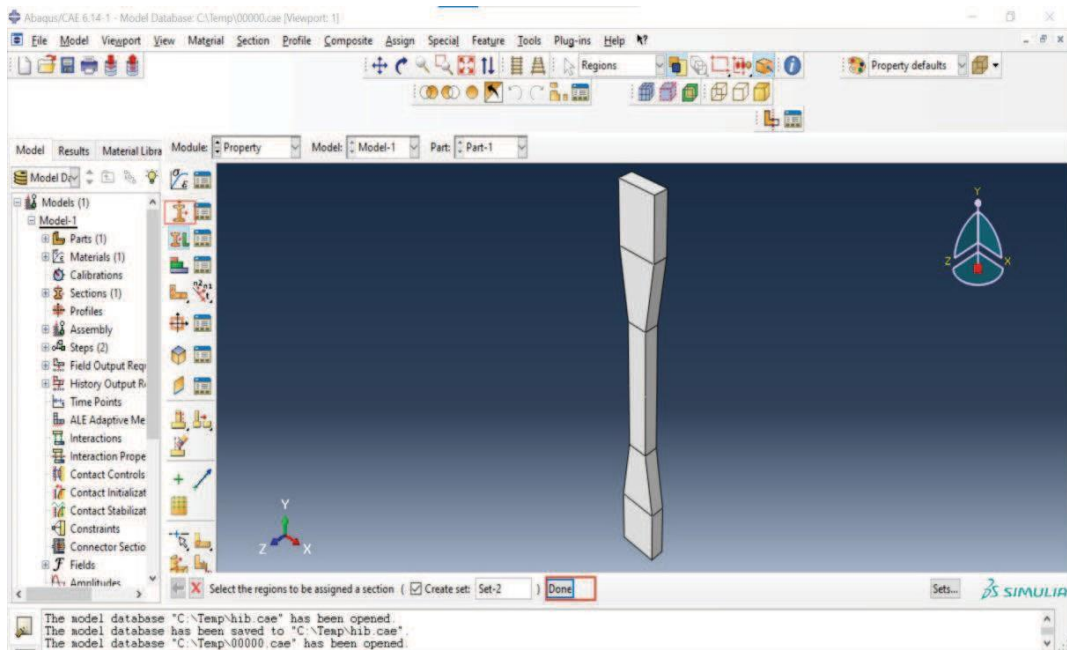


Figure IV. 9 : Définition de **property**

IV.3.4 CREATION DE L'ASSEMBLAGE:

Dans ce module, on va créer un assemblage. Dans Abaqus, chaque modèle doit contenir un assemblage, même s'il se compose d'une seule partie :

- Dans le module Assembly, on sélectionne Create Instance .
- On remarque que notre plaque a été choisie par défaut. Dans Instance Type, on sélectionne Independent (mesh on instance)
- on termine par **OK** .

Ce choix signifie que le maillage se fera au niveau de l'assemblage non pas au niveau de la pièce. La création des singularités n'est possible que dans ce cas.

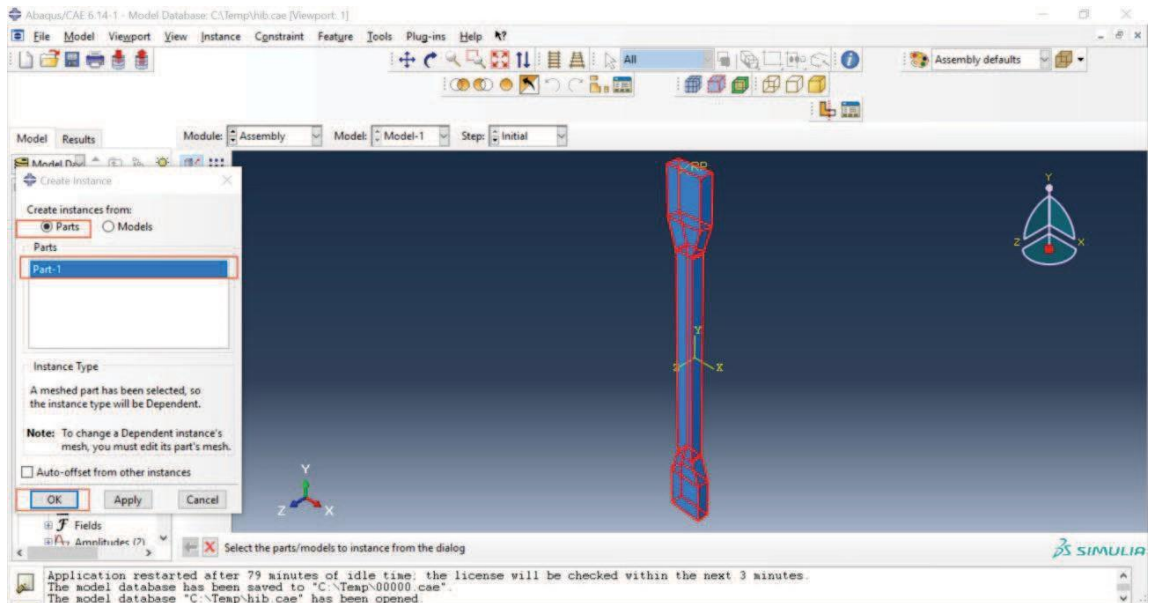


Figure IV. 10 : Création de l'assemblage

IV.3.5 ÉTAPES ET PARAMETRES DE SORTIE:

Dans notre étude, on aura besoin d'une seule étape de calcul :

- Dans le module **Step**, on clique sur **Create Step**.
- Ensuite, on va nommer notre étude « traction », et puisque cette dernière est statique, on choisit **Static**, General puis on tape sur Continue.
- Dans la fenêtre sortante Edit **Step** On laisse les paramètres par défaut et on termine par OK.

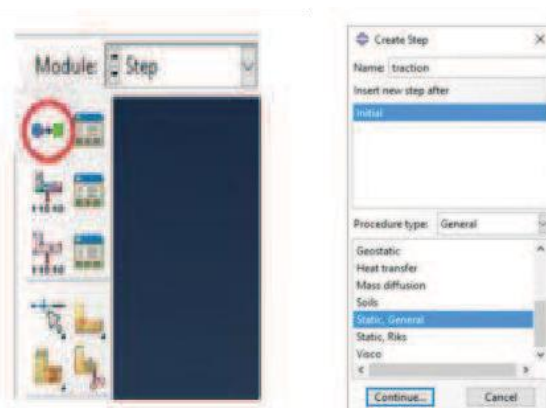


Figure IV. 11: Création de l'étape « traction »

Maintenant, on va choisir les paramètres de sortie. On reste dans le même module :

- On clique sur History Output Manager .
- Dans la nouvelle fenêtre, on clique sur Edit.

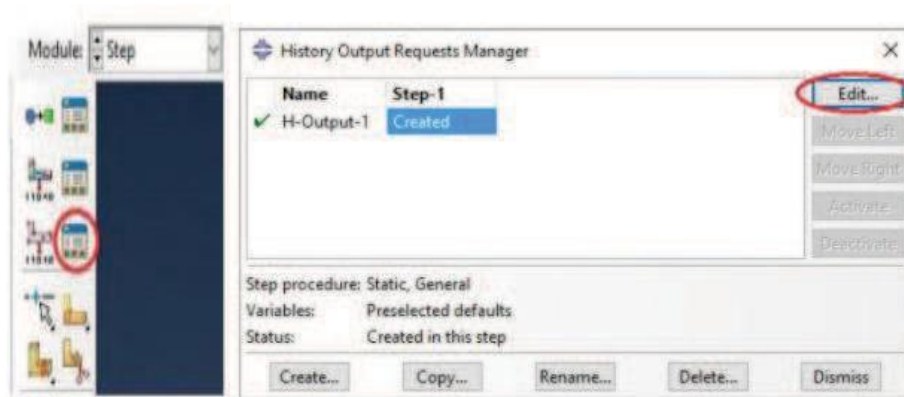


Figure IV. 12 : Paramètres de sortie(1)

3.3.6 CHARGEMENT ET CONDITIONS AUX LIMITES:

On va définir maintenant la charge de traction u :

- On sélectionne le module **Load** puis, On clique sur **Create**

Load . Puis, on va vers **Mechanical** Pressure et sur Continue.

- On sélectionne le bord supérieur et le bord inférieur (en rouge) puis **Done**

- Dans la nouvelle fenêtre, on tape -1 dans Magnitude : Le signe (—) est du à la direction de la charge (signe (+) : charge de traction).

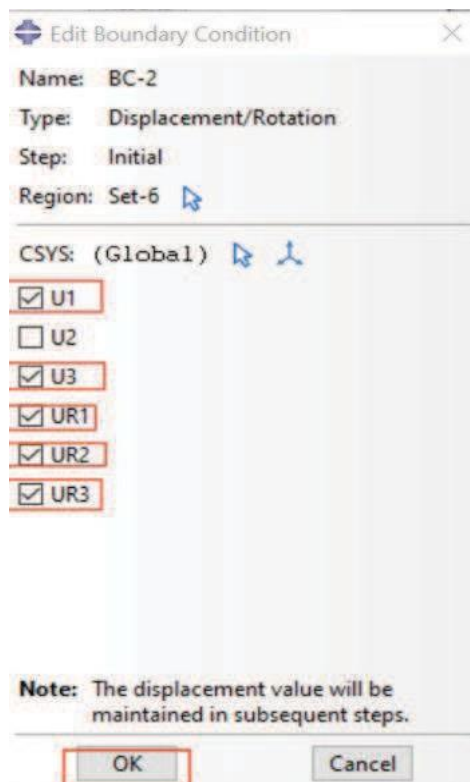
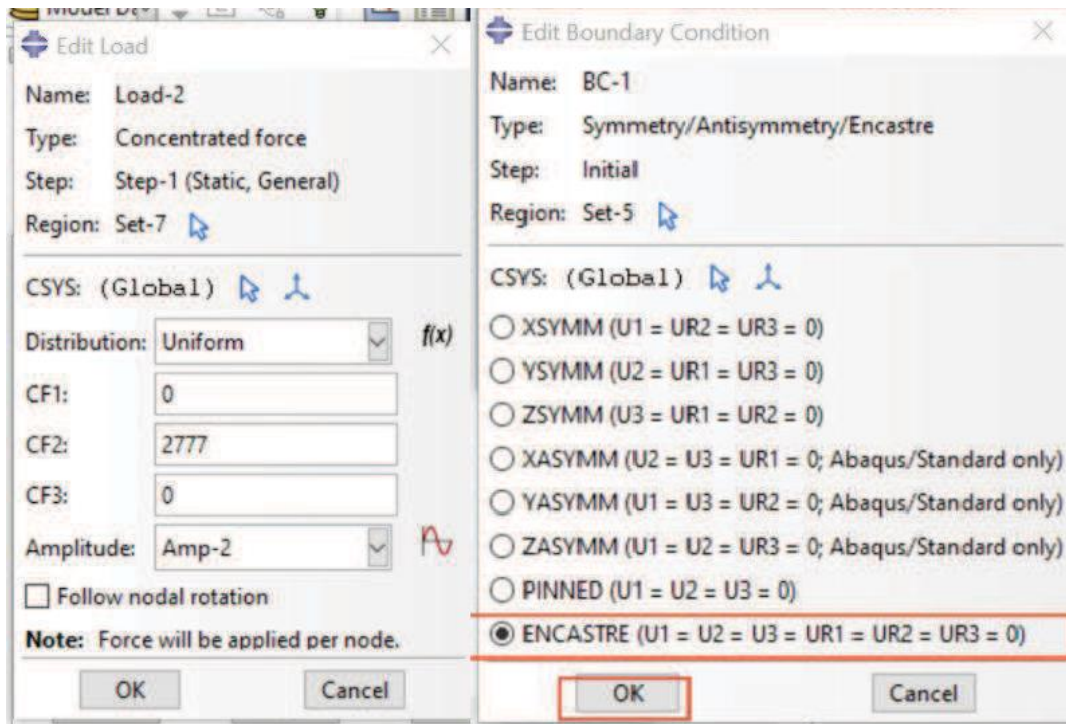


Figure IV. 13 : Définition de la charge

IV.3.6 MAILLAGE:

Pour effectuer le maillage, il faut passer par trois étapes :

1. Définir la précision du maillage.

2. Choix des éléments.
3. Contrôle du maillage.

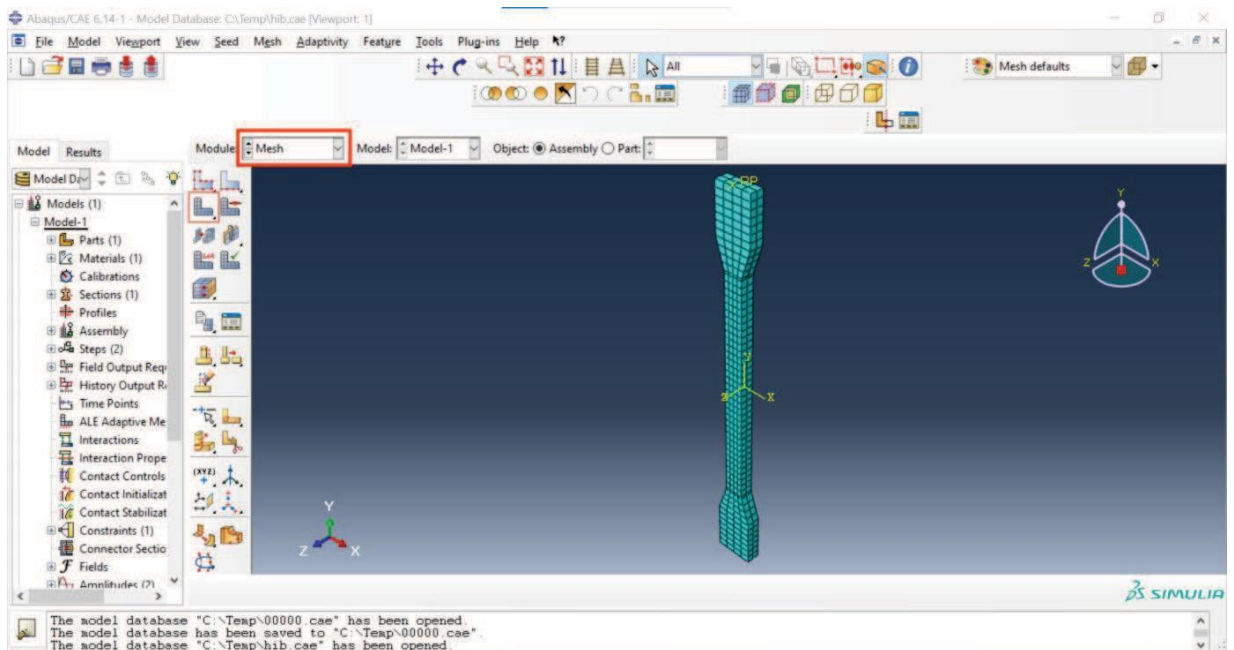


Figure IV. 14 : Maillage de l'éprouvette

- Définir la précision du maillage

- Dans le module **Mesh**, On clique sur **Seed Edges**, puis on sélectionne tous l'éprouvette et on appuie sur **Done**

- Dans la nouvelle fenêtre, on sélectionne **Methods By number** et on met 1 dans **Number of elements**:. On appuie sur **OK** pour terminer

IV.4 RESULTATS ET DISCUSSION :

Maintenant, on va passer au module **Job**, on clique sur **Create**

Job .Dans la nouvelle fenêtre, on clique sur **Continue**.

Dans la fenêtre **Edit Job**, on laisse tous le paramètres par défaut et on appuie sur **OK** Après la création du **Job**, on va lancer l'analyse. Pour cela, on clique sur **Job**

Manager Dans la nouvelle fenêtre, on appuie sur **Submit** . On attend

quelques instants jusqu'à l'affichage de **Completed dans Status**. On accède aux résultats par **Results** .

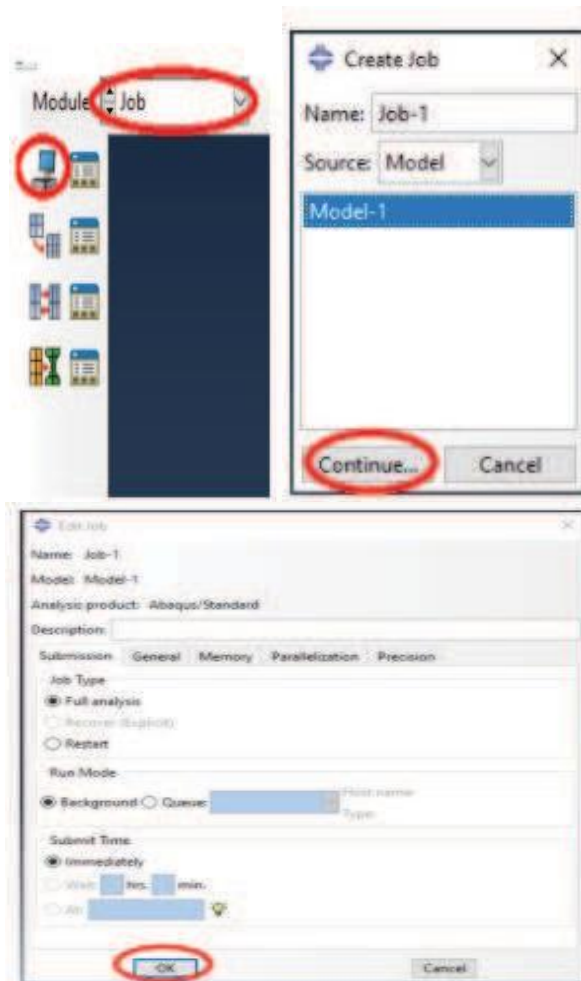
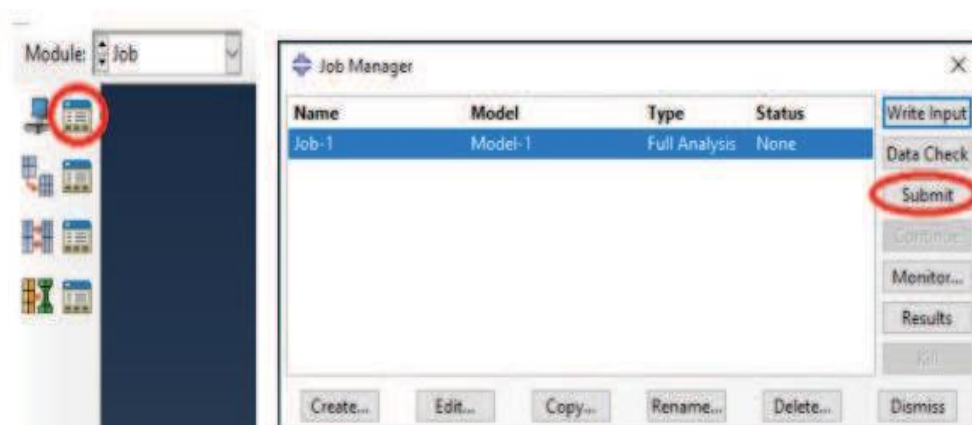
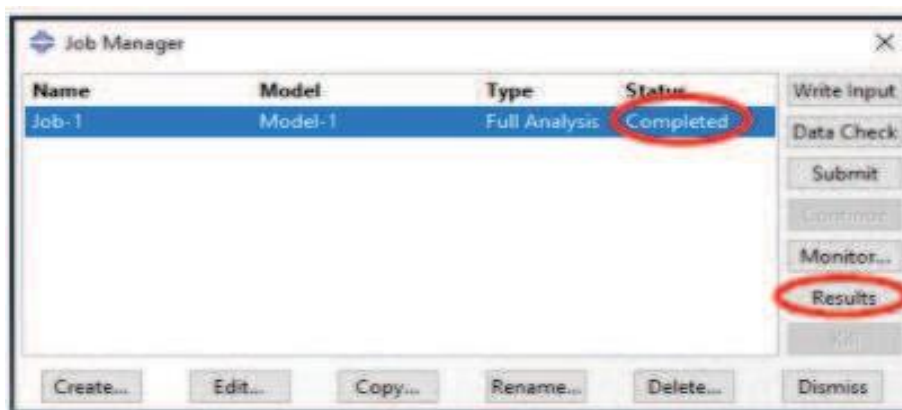


Figure IV. 15 : Création de "job"





FigureIV.16: Analyse

Pour voir la déformation on clique sur **plot deformed shap**

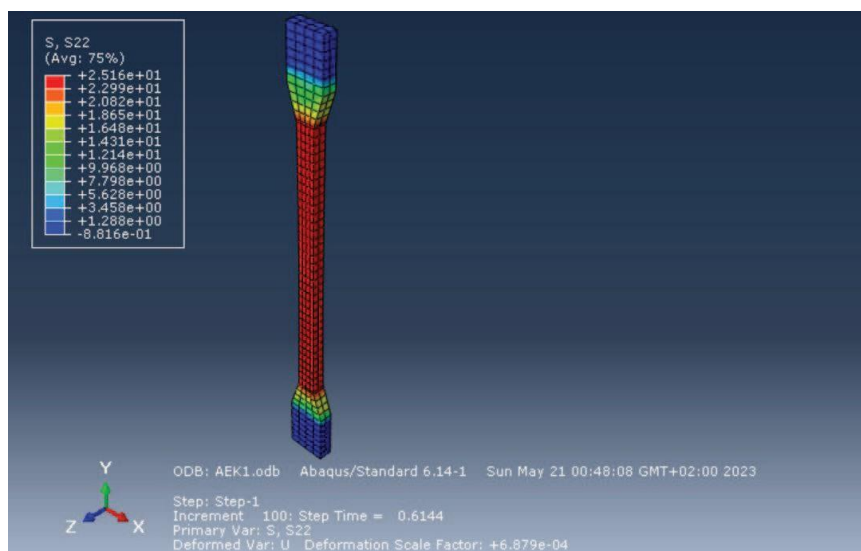


Figure IV. 17 : maillage et déformé de l'éprouvette

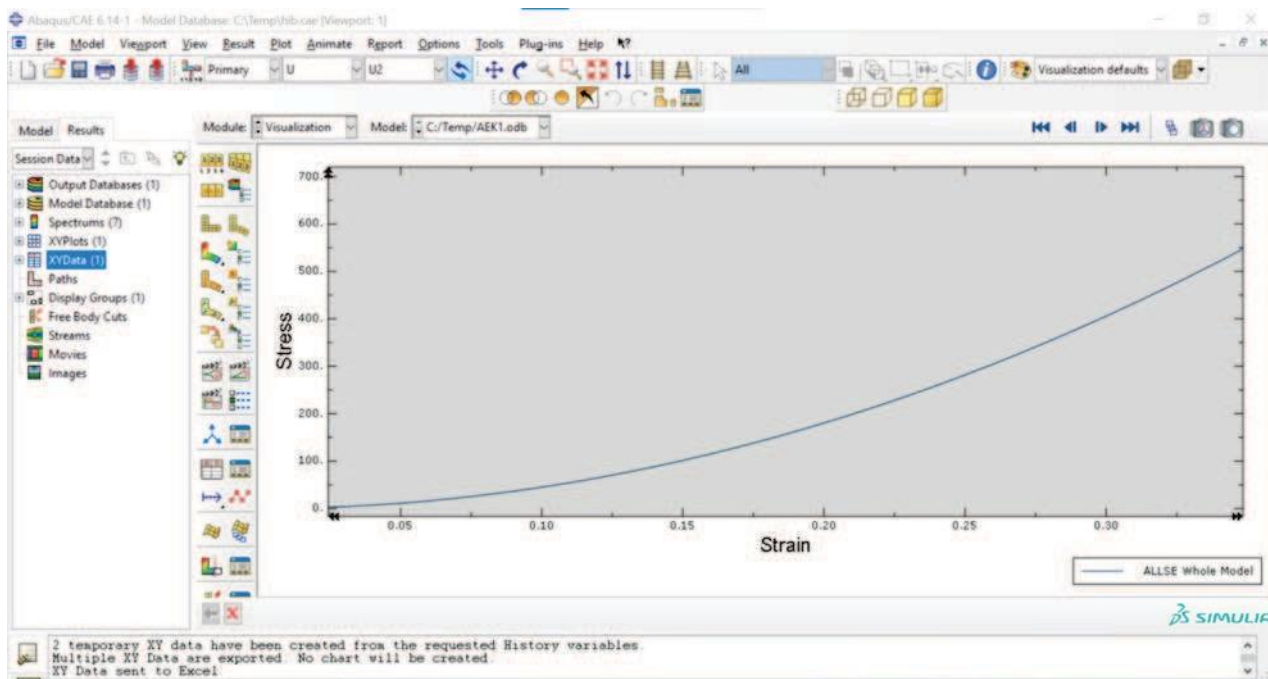


Figure IV. 18 : Courbe stress-strain pour partie ABAQUS

CONCLUSION GENERALE

Conclusion GENERALE

Les résultats préliminaires de cette étude expérimentale portent sur le comportement mécanique des fibres de cheveux de maïs , de luffa et de sisal. Ce document présente la première phase d'un projet global visant à concevoir et développer de nouveaux matériaux composites renforcés principalement par ces fibres, adaptés à la conception mécanique dans les domaines du transport (accessoires automobiles) et de l'emballage.

Les caractéristiques de ces matériaux ont été évaluées à l'aide d'essais de traction. À partir de cette étude expérimentale et analytique, suivi par une étude numérique réalisée dans le logiciel Abaqus.

Nos conclusions basées sur cette étude indiquent que les fibres végétales présentent une résistance aux forces, ce qui les rend utilisables comme source alternative pour la création de nouveaux matériaux composites dans l'industrie. le sisal est considéré comme plus résistant , notamment dans le pourcentage 15%.

Il est important de noter que, en raison de contraintes de temps, la partie numérique de l'étude a été effectuée sur des éprouvettes d'époxy sans renfort, afin de simplifier le processus de modélisation dans le logiciel Abaqus. Nous espérons que d'autres étudiants de niveau Master pourront aborder ultérieurement les éprouvettes avec différents taux de renfort.

Références

Références

- [1] Youcef Djebbloun, Mabrouk Hecini, Tarek Djoudi, and B. Guerira, "Experimental determination of elastic modulus of elasticity and Poisson's coefficient of date palm tree fiber," *Journal of Natural Fibers*, published online, 11 Jan 2018.
- [2] M. B. H. Latifa, "Elaboration de matériaux composites biodégradables issus de ressources renouvelables," Thèse de doctorat, Université d'Oran 2, Algérie, 2016.
- [3] J. L. Toupe, "Optimisation des propriétés mécaniques de composites à base de fibres naturelles: application à un composite de fibre de lin avec un mélange de polyéthylène/polypropylène d'origine post-consommation," Thèse de doctorat, Université Laval, Québec, Canada, 2015.
- [4] K. Charlet, C. Morvan, J. Bréard, J. Jernot, and M. Gomina, "Etude morphologique d'un composite naturel. La fibre de lin," *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, vol. 16, p. 11, 2006.
- [5] C. Ververis, K. Georghiou, N. Christodoulakis, P. Santas, and R. Santas, "Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production," *Industrial crops and products*, vol. 19, pp. 245-254, 2004.
- [6] M. Nardin, "Interfaces fibre-matrice dans les matériaux composites. Application aux fibres végétales," *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, vol. 16, p. 49, 2006.
- [7] A. Mokhtari, "Modélisation du comportement et de la rupture des composites à matrices thermoplastiques," Thèse de doctorat, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, 2016.
- [8] <http://www.jute.com/green-jute/agriculture-raw-jute>. (08/03/2018).
- [9] <http://www.exportasia.in/jute-fibre.htm>. (08/03/2018).
- [10] [mondeet-le-plus-ecologique](#). (08/03/2018).
- [11] http://kanirope.fr/index.php?cat=c3_Sisal--torsad--.html. (08/03/2018).
- [12] D. Hammiche, A. Boukerrou, H. Djidjelli, A. Kervoëlen, and Y. Grohens, "Étude des propriétés physico-chimiques, thermiques et mécaniques des fibres d'alfa," *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, vol. 25, pp. 7-24, 2015.
- [13] <https://sites.google.com/site/plantasensecunadria/actividades-confloraautoctona/esparto/lalfa-spart-ou-sparte>. (08/03/2018).
- [14] <http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/histoire-metiers/fibre-pate/page07.htm>. (08/03/2018).

Références

- [15] <http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/memoire/2016/miscanthus-composite.htm>. (08/03/2018).
- [16] <http://www.thefruitforest.com/fruits-vegetables-and-herbs/ramie/>. (08/03/2018).
- [17] C. Meirhaeghe, "Evaluation de la disponibilité et de l'accessibilité de fibres végétales à usages matériaux en France," Fibres recherche développement, ADEME, 2011.
- [18] J. Biagiotti, D. Puglia, and J. M. Kenny, "A review on natural fibre-based composites-part I: structure, processing and properties of vegetable fibres," Journal of Natural Fibers, vol. 1, pp. 37-68, 2004.
- [19] M. Ragoubi, "Contribution à l'amélioration de la compatibilité interfaciale fibres naturelles/matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne," Thèse de doctorat, Nancy 1, 2010.
- [20] C. Álvarez, F. M. Reyes-Sosa, and B. Díez, "Enzymatic hydrolysis of biomass from wood," Microbial biotechnology, vol. 9, pp. 149-156, 2016.
- [21] H. Ville, "Matériaux composites fibres naturelles/polymère biodégradables ou non," Thèse de doctorat, Ecole des Mines d'Alès, 2011.
- [22] D. Sedan, "Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment: influence sur les propriétés mécaniques du composite," Thèse de doctorat, Limoges, 2007.
- [23] E. Alarcón-Gutiérrez, "Influence de facteurs abiotiques sur la régulation des paramètres microbiens impliqués dans la dégradation de la matière organique d'une litière forestière méditerranéenne," Thèse de doctorat, Aix-Marseille 3, 2007.
- [24] 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, Ecole Nationale Polytechnique Alger, 2005.
- [25] C. BALEY, Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites: Ed. Techniques Ingénieur. Matériaux fonctionfonctionnels, N° N2220., 2005.
- [26] M. Dallel, "Evaluation du potentiel textile des fibres d'Alfa (Stipa Tenacissima L.): caractérisation physico-chimique de la fibre au fil," Thèse de doctorat, Université de Haute Alsace-Mulhouse, 2012.

Références

- [27] R. Ntenga, "Modélisation multi-échelle et caractérisation de l'anisotropie élastique de fibres végétales pour le renforcement de matériaux composites," Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II; Université de Yaoundé, 2007.
- [28] L. Mohammed, M. N. Ansari, G. Pua, M. Jawaid, and M. S. Islam, "A review on natural fiber reinforced polymer composite and its applications," *International Journal of Polymer Science*, vol. 2015, 2015.
- [29] A. Elouaer, "Contribution à la compréhension et à la modélisation du comportement mécanique de matériaux composites à renfort en fibres végétales," Thèse de doctorat, Reims, France, 2011.
- [30] A. Bledzki and J. Gassan, "Composites reinforced with cellulose based fibres," *Progress in polymer science*, vol. 24, pp. 221-274, 1999.
- [31] F. M. L. Rekbi, "Contribution à l'analyse de l'endommagement des matériaux composites," Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra, 2016.
- [32] R. Boubeker, "Etude Expérimentale et Numérique du Comportement des Plaques Trouées en Matériaux Composites," Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra, 2016.
- [33] H. Djemai, "Contribution à l'étude de l'endommagement dans les matériaux composites sandwichs," Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider-Biskra, 2017.
- [34] L. Toubal and G. Lebrun, "Nouvelle méthode de fabrication des composites à fibres naturelles: Contribution d'une couche de papier à minimiser la disparité des propriétés mécaniques," in *17èmes Journées Nationales sur les Composites (JNC17)*, 2011, p. 67.
- [35] G. Sui, M. Fuqua, C. Ulven, and W. Zhong, "A plant fiber reinforced polymer composite prepared by a twin-screw extruder," *Bioresource Technology*, vol. 100, pp. 1246-1251, 2009.
- [36] A. Mir, R. Zitoune, F. Collombet, and B. Bezzazi, "Caractérisation mécanique et thermomécanique d'un stratifié Jute/époxy= Mechanical and thermomechanical characterization of jute/epoxy laminate," in *JNC 16*, 2009, p. 10.
- [37] Y. Djebbloun, M. Hecini, and F. Harbouche, "Caractérisation d'un Matériau bio-composite à renfort de Jute," in *Third International Conference on Energy, Materials, Applied Energetics and Pollution, ICEMAEP*, Université constantine, Algérie, 2016.

Références

- [38] K. Joseph, R. D. Tolêdo Filho, B. James, S. Thomas, and L. H. d. Carvalho, "A review on sisal fiber reinforced polymer composites," *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 3, pp. 367-379, 1999.
- [39] K. G. Satyanarayana, G. G. Arizaga, and F. Wypych, "Biodegradable composites based on lignocellulosic fibers—An overview," *Progress in polymer science*, vol. 34, pp. 982-1021, 2009.
- [40] M. Carus, S. Ortmann, C. Gahle, and C. Pendarovski, "Use of natural fibres in composites for the German automotive production from 1999 till 2005," Nova-Institut, Hurth, 2006.
- [41] <http://www.mastersoflinen.com/fre/technique/19-secteurs-d-application>. (08/03/2018).
- [42] Yang H, Yan R, Chen H, Lee DH, Zheng C. Caractéristiques de l'hémicellulose, pyrolyse de la cellulose et de la lignine. *Carburant* 2007; 86: 1781-8.
- [43] Paiva MC, Ammar I, Campos AR, Cheikh RB, Cunha AM. Fibres d'Alfa: mécaniques, caractérisation morphologique et interfaciale. *Compos Sci Technol* 2007; 67: 1132-8. (Hossain et al., 2011).
- [44] Alawar A, Hamed AM, Al-Kaabi K. Caractérisation du palmier dattier traité fibre comme renfort composite. *Composer la partie B* 2009; 40: 601-6.