

People's Democratic Republic of Algeria  
Ministry of Higher Education and Scientific Research  
Mohamed Boudiaf University of M'sila  
Faculty of Technology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي  
جامعة المسيلة  
كلية التكنولوجيا

---

Département de Génie Mécanique

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE**

*En vue de l'obtention du diplôme de :*

**MASTER**

*En Génie Mécanique*

*Option : Construction mécanique*

**Thème**

---

**COMPORTEMENT MECANIQUE EN TRACTION D'UN MATERIAU  
COMPOSITE**

---

Présenté par :

**OUADAH ISSAM**

Devant le jury composé de :

<b>NOM et Prénom</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
MAKRI Hocine	Pr	Président
ELHADI Abdelmalek	MCA	Encadreur
BENHAMADOUCHE Lamia	MCA	Examinatrice

Année universitaire 2023/2024

N° d'ordre : GM/...../2024



# **REMERCIEMENTS**

*Je tiens tout d'abord à remercier Monsieur : Abdelmalek Elhadi pour son encadrement précieux et ses conseils ainsi que pour le temps qu'il m'a accordé.*

*Je remercie également les membres du jury d'avoir accepté, de participer et d'analyser mon travail.*

*Je remercie tous les responsables du Hall Technologique de la Faculté de Technologie de l'Université Mohamed Boudiaf de M'sila.*

*Je tiens à remercier tout le personnel du département de génie mécanique, en particulier nos chers professeurs.*

*Je tiens à exprimer mes remerciements à mes parents et à ma famille, qui m'ont apporté leur précieux soutien et leur assistance tout au long de ma période d'études.*

*En fin, je tiens à exprimer ma gratitude aux personnes qui m'ont soutenu dans la réalisation de ce travail.*

.

**- A tous, Grand Merci -**

## ***DEDICACES***

*À tous mes amis et collègues*

*Surtout le plus intime, témoignage des moments inoubliables, des  
sentiments purs et des liens forts qui nous unissent.*

*Toutes les personnes qui m'ont aidé et contribué à la réalisation de ce  
travail.*

# Résumé

Afin de comprendre le comportement mécanique en traction du matériau composite (luffa, jute et résine d'époxy), nous avons effectué une étude expérimentale. Cette approche expérimentale est basée sur l'influence de différents pourcentages des renforts de fibres de jute (tissu de fibres bidirectionnelles) et fibres de luffa ayant un réseau complexe et tridimensionnel de fibres combinées étudié en traction. En appliquant une vitesse de traction constante de 5mm/min.

Les caractéristiques mécaniques recherchées concernent la résistance à la rupture, l'allongement et le coefficient de striction et le module de Young ont répondu aux résultats attendus.

**Mots clés :** Jute Luffa, matériau composite, essai de traction,

## ملخص

لفهم السلوك الميكانيكي في الشد للمادة المركبة (اللوف، الجوت وراتنج الإيبوكسي)، قمنا بإجراء دراسة تجريبية. تعتمد هذه الدراسة التجريبية على تأثير نسب مختلفة من تعزيزات ألياف الجوت (نسيج الألياف ثنائية الاتجاه) وألياف اللوف التي تحتوي على شبكة معقدة وثلاثية الأبعاد من الألياف المدمجة المدروسة في الشد. تم تطبيق سرعة شد ثابتة مقدارها 5 ملم/دقيقة. الخصائص الميكانيكية المطلوبة تشمل مقاومة الكسر، الاستطالة، معامل الانكماش ومعامل يونغ لبت النتائج المنتظرة.

**الكلمات المفتاحية:** لوف، الجوت، مادة مركبة، اختبار الشد

# SOMMIARE

<b>INTRODUCTION GENERALE.....</b>	<b>01</b>
<b>CHAPITRE I NOTIONS FONDAMENTALES SUR LES MATERIAUX COMPOSITES</b>	
I.1. Introduction.....	03
I.2. Définition.....	04
I.3. Constituants principaux des matériaux composites.....	05
I.3.1. Les matrices.....	06
I.3.1.1. Les résines thermoplastiques.....	07
I.3.1.2. Les résines thermodurcissables.....	08
I.3.1.3. Les résines en céramique.....	08
I.3.1.4. Les résines métalliques.....	09
I.3.2. Les renforts.....	09
I.3.2.1. Les fibres de verre.....	10
I.3.2.2. Fibres de carbone.....	12
I.3.2.3. Fibres d'aramide.....	13
I.3.2.4. Fibres céramiques.....	13
I.3.2.5. Autres types de fibres.....	14
I.4. Classification des matériaux composites.....	14
I.4.1. Classification en fonction des natures des matrices.....	14
I.4.2. Classification en fonction des natures des renforts.....	15
I.4.3. Les fibres naturelles.....	16

I.4.4. Les fibres synthétiques.....	17
I.5. Mise en oeuvre des matériaux composites.....	18
I.5.1. Moulages sans pression.....	18
I.5.2. Moulage sous vide .....	18
I.5.3. Moulage par compression.....	19
I.5.3.1. Moulage par injection de résine.....	19
I.5.3.2. Moulage par compression à chaud.....	20
I.5.4. Moulage en continu.....	20
I.5.5. Moulage par pultrusion.....	21

## **CHAPITRE II DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX ET TECHNIQUES DE MESURE**

II.1. Introduction.....	24
II.2. Principe d'essai de traction.....	24
II.3. Echantillon d'essai de traction.....	24
II.3.1. Première phase : déformation élastique.....	25
II.3.2. Deuxième phase .....	25
II.4. Vitesses d'essai de traction.....	26
II.5. Présentation de la machine de traction utilisée.....	26
II.6. Identification du matériau Composite utilisé.....	27
II.7. Préparation des éprouvettes.....	28
II.7.1. Fabrication de la plaque (Jute – Luffa.....)	28
II.7.2. Usinage des éprouvettes .....	30
II.8. Etuve de sechage.....	31

## **CHAPITRE III**

### **RESULTATS EXPERIMENTAUX OBTENUS ET DISCUSSION**

III.1. Introduction.....	33
III.2. Comportement mécanique de matériau à une vitesse de traction utilisé.....	33
III.2.1. Domaine plastique homogène.....	36
III.3. Mesures L'échantillon.....	36

III.4. Résultats obtenus.....	39
III.4.1. Variation de la résistance en fonction de la teneur des renforts jute / luffa.....	40
III.4.2. Variation de l'allongement A% en fonction de la teneur des renforts jute / luffa.....	40
III.4. 3.Variation de coefficient de striction Z% en fonction la teneur des renforts jute / luffa.....	41
III.4.4. Variation de module d'élasticité longitudinale module de Young en fonction de la teneur des renforts jute / luffa.....	41
Conclusion générale.....	44
REFERENCES BIBLIOGRAFHIQUES.....	46

# ***NOMENCLATURE***

**A%** : coefficient d'allongement

**F** : La force

**$\Delta L$** : L'allongement

**S<sub>0</sub>**: Section initiale

**L**: La longueur initiale

**R<sub>e</sub>**: résistance limite élastique

**R<sub>r</sub>**: résistance à la rupture

**E** : Le module de Young (module d'élasticité longitudinal).

**$\sigma$**  : La contrainte

**F<sub>0</sub>**: la force initiale

**$\varepsilon$**  : La déformation

**R<sub>m</sub>**: La résistance à la traction

**L<sub>u</sub>** : longueur ultime

**S<sub>u</sub>** : Section ultime

**Z%** : Valeurs de Coefficient de striction

**d<sub>0</sub>** : diamètre initial

**L<sub>0</sub>**: longueur de référence

**L<sub>C</sub>**: longueur calibrée

**V** : La vitesse

**H** : dureté Vickers,

d: diagonale moyen de l'empreinte.

# INTRODUCTION GENERALE

Au fil de ces dernières années, Les matériaux composites ont largement dominé le domaine de l'industrie, ils ont suscité un intérêt croissant de la part de nombreux secteurs. Les matériaux composites se développent aujourd'hui et sont à l'origine de formidables challenges dans diverses réalisations de haute technologie grâce à ces hautes performances mécaniques. Ils offrent d'excellentes propriétés en traction, flexion, compression...etc. Du point de vue physico- chimique, ils s'adaptent parfaitement à différents milieux ambiants et peuvent être très performants en termes de résistance aux produits chimiques, au feu, à la corrosion...etc. Les matériaux composites à fibres végétales jouent un rôle de plus en plus important dans divers secteurs industriels en raison de leurs nombreuses qualités avantageuses. Ils sont renouvelables, biodégradables et ont un impact environnemental moindre par rapport aux fibres synthétiques telles que le verre ou le carbone. Ils offrent des propriétés mécaniques suffisantes pour de nombreuses applications, notamment dans les secteurs de l'automobile, de la construction et de l'emballage. Les fibres comme le lin, le luffa, le chanvre, le jute et le sisal offrent une bonne résistance à la traction et une légèreté qui peuvent être exploitées dans la fabrication de structures composites légères mais solides.

Ce travail a pour but d'élaborer et caractériser mécaniquement en traction un matériau composite hybride constitué de fibres jute comme tissu et luffa avec une résine époxy.

Ce mémoire comporte trois chapitres dont :

Le premier chapitre s'est basé sur une étude bibliographique générale sur les matériaux composites.

Le deuxième chapitre traite les dispositifs expérimentaux et les techniques de mesure utilisées durant l'élaboration et l'usinage des éprouvettes de traction du matériau composite étudié.

Le troisième chapitre comporte les différents résultats obtenus à partir des essais de traction effectués avec discussion et interprétation.

Nous terminerons notre travail par une conclusion générale.

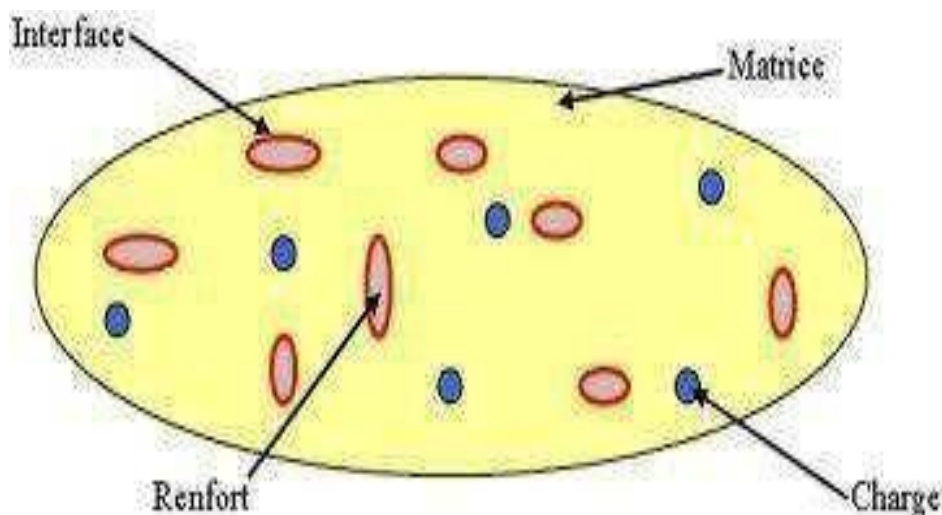
**CHAPITRE 01**  
**NOTIONS FONDAMENTALES SUR LES**  
**MATERIAUX COMPOSITES**

## I.1. Introduction :

Un matériau composite est un assemblage constitué au minimum de deux matériaux qui ne fusionnent pas mais qui ont une forte capacité d'adhésion. Ils sont assemblés en une structure particulière qui lui donne ses caractéristiques (Figure I.1). Plusieurs structures de matériaux composites sont de plus en plus adaptées, dans des domaines très variés, tels que l'aéronautique pour améliorer la tenue en service et par conséquent la durée de vie.

Matériau composite est constitué dans le cas le plus général d'une ou plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. La phase discontinue, appelée renfort ou matériau renforçant, est habituellement plus dure avec des propriétés mécaniques supérieures à celles de la phase continue, appelée matrice [1]. Une interphase se crée entre les deux constituants et aura pour rôle de transmettre les contraintes de l'un à l'autre sans déplacement d'où l'établissement d'une bonne adhérence.

Dans certain cas, l'identification des composants du matériau composite peut être identifiée à l'œil nu, comme les poutres de béton armé renforcé par les barres métalliques. Mais il existe différents matériaux qui sont combinés à l'échelle microscopique, telle que les alliages des métaux [2]. Le matériau qui résulte est en pratique homogène macroscopiquement, et ces composants ne peuvent être considérés qu'un seul élément.



**Fig.I.1** : Matériau composite [1]

## **I.2. Définition**

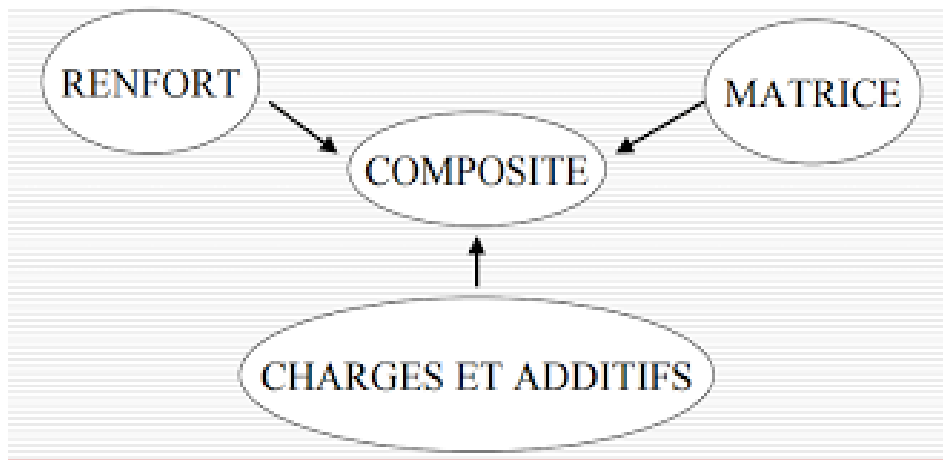
En général, le terme "composite" désigne un matériau composé de deux ou plusieurs éléments distincts. Les composites sont parfois désignés par certains auteurs sous le nom de multi-matériaux. En réalité, l'expression "matériau composite" ou "composite" est utilisée dans un sens beaucoup plus restrictif, comme nous le verrons tout au long de ce mémoire.

Plus précisément, un matériau composite est par définition toute matière première qui contient un renfort associé à au moins deux autres composants, se combinant et créant un matériau hétérogène dont les performances globales sont supérieures à celles des composants pris individuellement. La notion d'un agent de liaison est introduite par le renfort et la matrice, qui doivent être compatibles et se renforcer mutuellement [3].

Il existe d'autres définitions plus restrictives. Ainsi, dans l'industrie, le terme « composites » n'est utilisé que pour quelques familles de matériaux modernes à base de résines plastiques, de céramiques, de carbone ou de métaux, renforcés par des fibres. Cependant, la définition ci-dessus peut s'appliquer à des « multi-matériaux » plus anciens comme le torchis un des premiers matériaux de construction utilisé par l'homme ou le béton armé, et même à des matériaux naturels comme le tissu osseux ou le bois qui, bien que n'étant pas fabriqués par l'homme. En revanche, les alliages métalliques ne peuvent généralement pas être qualifiés de composites, même lorsqu'ils sont hétérogènes, leur structure ne participe habituellement pas à la sélection ou à l'émergence de propriétés particulières. Il existe toutefois quelques exceptions, comme l'acier de Damas utilisé depuis l'antiquité pour la fabrication des armes blanches ; les lames forgées dans cet acier sont constituées d'une alternance de couches fragiles (dures) et ductiles (résistantes aux chocs), ce qui leur permet de conserver leur tranchant. Une telle structure « par couches », dite stratifiée, se retrouve dans de nombreux composites [4].

### I.3. Constituants principaux des matériaux composites

L'assemblage d'une matrice, d'un élément renforçant et de divers additifs et adjuvants (agents de démoulage stabilisant, etc.) donne naissance à un matériau composite. Quand le matériau composite est intact, les renforts et la matrice sont parfaitement connectés et il n'y a pas de mouvement ni de séparation entre les différentes phases de la structure afin d'obtenir des caractéristiques mécaniques optimales.



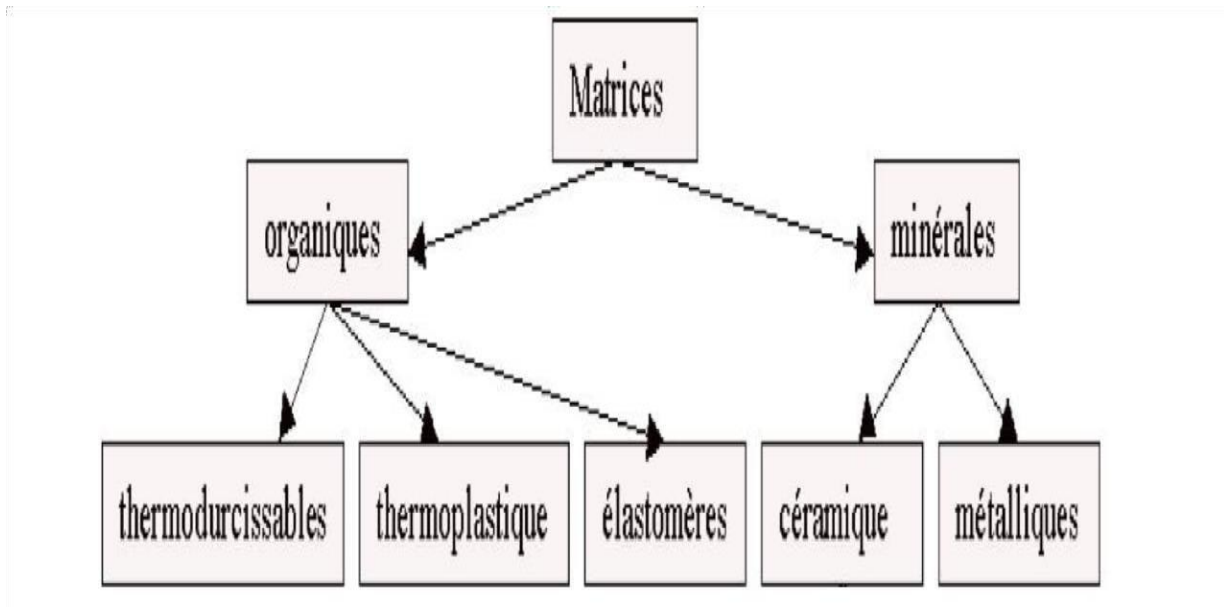
**Figure I-2:** Différents constituants d'un matériau composite [5].

#### I.3.1. Les matrices

Du fait de leurs faibles sections (des diamètres aux environs de 10 à 20  $\mu\text{m}$ ), les fibres ne pouvant toutefois être utilisées directement dans une application mécanique d'où l'idée de les incorporer dans une matrice polymère pour constituer un composite à fibres.

La matrice est un liant polymérique qui, associé à un renfort, permet de le maintenir dans ses formes en garantissant la cohérence de l'ensemble et le transfert des efforts. Elle contribue aux caractéristiques physico-chimiques du produit final. La principale fonction de la matrice consiste à maintenir les renforts dans une structure compacte et à donner au produit la forme désirée. De plus, elle joue un rôle essentiel dans la

protection des fibres contre l'abrasion et les agressions extérieures, tout en garantissant le transfert de charges entre elles. En fonction de la composition de la matrice, les matériaux composites sont classés en composites organiques, composites métalliques ou composites minéraux [6].



**Fig.I. 3:** Organigramme des différentes familles de matrice [6].

La matrice composée elle-même d'une résine (polyester, époxy etc.), et de charges dont le but est d'améliorer les caractéristiques de cette résine tout en diminuant le coût de production. Deux grandes familles de résines polymères existent : les résines thermoplastiques et les résines thermodurcissables. Ces deux types de résines possèdent la faculté de pouvoir être moulés ou mises en forme pour donner, soit un produit fini soit un produit semi-fini dont la forme peut être modifiée.

### **I.3.1.1. Les résines thermoplastiques**

Les thermoplastiques sont des chaînes polymères reliées entre elles par de faibles liaisons, elles se présentent sous forme solide (granulés, plaques...) qu'on met en forme en les ramollissant par chauffage, puis en les solidifiant par refroidissement, les plus courantes sont le poly (chlorure de vinyle) qui est utilisé dans la fabrication des tuyauteries, le poly (acétate de vinyle) que l'on trouve dans les colles et adhésifs, le

polyéthylène dont on se sert pour fabriquer les jouets, les bouteilles ou les sacs de supermarchés, le polypropylène pour les boîtes alimentaires ou les revêtements de sols, le polystyrène qui intervient dans la composition des contenants alimentaires, etc. Leur recyclabilité et leur thermo- réversibilité constituent l'un des grands avantages qui prend de plus en plus d'importance dans la protection de l'environnement [7].

**Tableau I- 1 : Caractéristiques des résines thermoplastiques [8].**

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

### I.3.1.2. Les résines thermodurcissables

Les polymères thermodurcissables ne peuvent être modelés qu'une seule fois (non recyclables), mais ont des caractéristiques mécaniques et thermomécaniques supérieures aux thermoplastiques [9].

Ils sont liquides visqueux et sont formés par une réaction chimique de polymérisation par ajout d'un durcisseur, ce qui entraîne une solidification. Les polyesters insaturés (vinyle ester, les dérivés) sont les plus connus. Les polyesters condensés, les résines allyliques, les résines époxydes, les résines de condensation (les phénoliques, les aminoplastes, etc.) sont tous des types de résines[7]. Les thermoplastiques présentent de nombreux avantages fondamentaux significatifs par rapport à eux, tels que la résistance à la fatigue et à l'impact, la durabilité et la résistance à la corrosion.

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

**Tableau I- 2:** Caractéristiques des résines thermodurcissables [8].

### I.3.1.3. Les résines en céramique

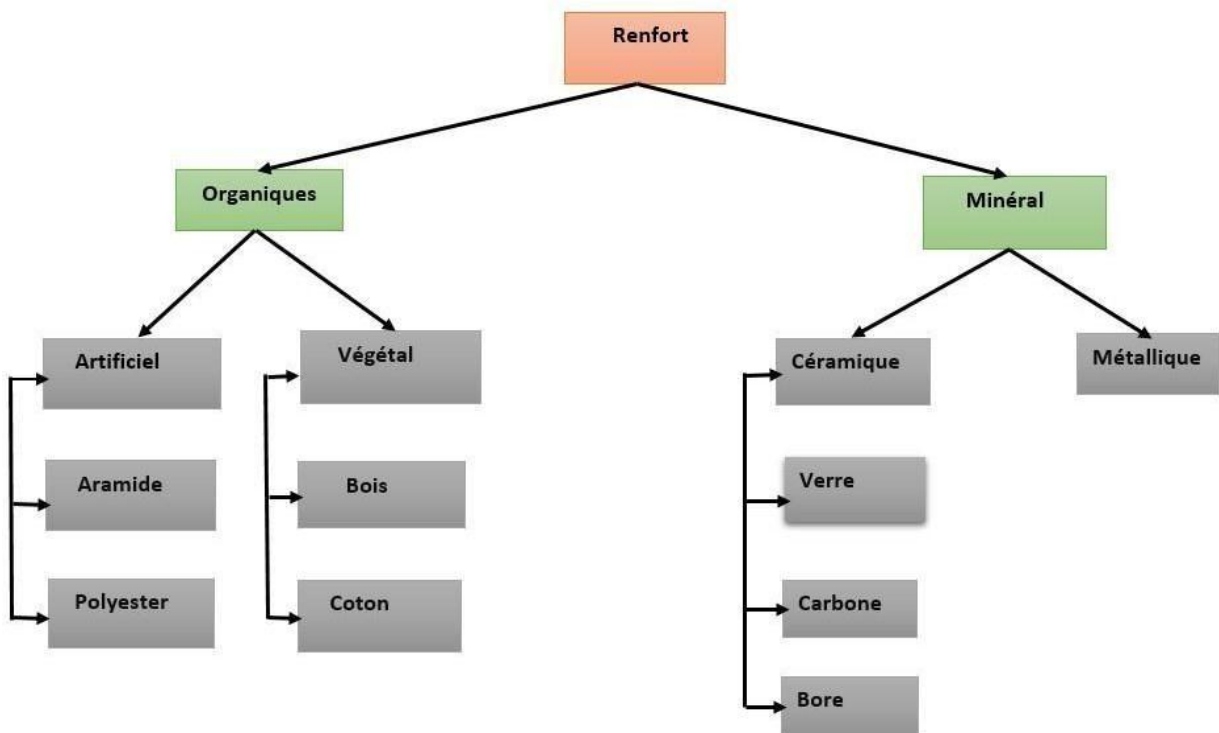
Les matrices céramiques se constituent d'un ou plusieurs métaux associés à un élément, généralement l'oxygène, tels que l'AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Alumine), la SiO<sub>2</sub> (Silice) et la MgO (Magnésie). De manière beaucoup moins courante que leurs concurrents à matrice organique en raison de leur coût élevé, ces CMC sont destinés aux applications à des températures extrêmement élevées. Dans l'industrie spatiale et l'aéronautique militaire, ils sont principalement employés pour la fabrication d'organes de luxe tels que des disques ou des plaquettes de freins [10]. Les céramiques ont de nombreux avantages pour de telles utilisations : elles peuvent être utilisées à des températures extrêmement élevées, elles sont plus légères que de nombreux métaux et elles ont une stabilité chimique assez bonne. Leur grande vulnérabilité restreint considérablement leur champ d'application.

### I.3.1.4. Les résines métalliques

Les composés composites à matrice en métal sont des matériaux qui allient la résistance des métaux à la résistance de la céramique. Ce genre de résines est employé en tant que liant dans des domaines qui exigent un matériau avec des caractéristiques spécifiques appropriées et une excellente résistance à la température. Actuellement, ces applications sont rares et se concentrent sur les secteurs de pointe en raison des frais de mise en place et de la complexité d'intégration. Les alliages d'aluminium sont les matrices les plus couramment employées jusqu'à présent. Le carbone et les fibres céramiques sont les fibres employées [10].

### I.3.2. Les renforts

Les recrus supplémentaires Les renforts, généralement sous forme de fibres, ont pour objectif principal d'améliorer les caractéristiques mécaniques des matériaux composites (rigidité, résistance à la rupture, dureté, etc.) et d'améliorer les caractéristiques physiques, comme les résistances au feu et à l'abrasion, la résistance à la température ou les propriétés électriques. Les renforts sont souvent recherchés pour leur faible masse volumique, leur compatibilité avec les matrices et leur facilité d'utilisation. Il existe différentes formes de renforts composés de fibres : linéique (fils, mèches), tissus surfaciques (tissus, mats), multidirectionnelle (tresse, tissus complexes, tissage tri directionnel) [11]. La figure I-4 présente la classification des types de renforts fréquemment rencontrés [12].



**Fig.I.4:** Les différents types de renfort de base [12].

#### I.3.2.1. Les fibres de verre

Le rapport qualité-prix des fibres de verre les place de loin en tête des renforts utilisés actuellement dans la construction de structures composites. Ces derniers ont un faible module de traction, mais une résistance intéressante en traction [13]. Les silicates sont leur composante et sont perçus comme des matériaux anisotropes.

**Verre E** : à usage général avec de bonnes propriétés électriques.

**Verre D** : il a de bonnes propriétés diélectriques pour l'utilisation en électronique (circuit imprimé).

**Verre C** : il a une bonne résistance chimique, pour les couches superficielles des structures sur le plan chimique.

**Verre R et S** : ont une haute résistance mécanique pour la réalisation des pièces structurales.



a-Roving de verre



b – Tissu de verre



c – Mat de verre

**Fig.I.5:** Les différents types de renfort de base [14]

Caractéristiques	Type E	Type D	Type C	Type R	Type S
------------------	--------	--------	--------	--------	--------

<b>Résistance en traction</b>					
(MPa)	3500	2450	2800	4650	4650
<b>Module en traction (GPa)</b>					
	73,5	52,5	70	86,5	86,5
<b>Allongement à la rupture</b>					
(%)	4,5	4,5	4,0	5,3	5,3

**Tableau I- 3:** Caractéristiques mécaniques des fibres de verre [15].

### I.3.2.2. Fibres de carbone

Les fibres de carbone se présentent sous la forme de filaments minces constitués de carbone élémentaire, avec des structures distinctes, allant du carbone amorphe au graphite cristallin. Ces fibres sont fabriquées en utilisant un polymère de base connu sous le nom de précurseur. Les caractéristiques chimiques et physiques des fibres de carbone finales sont fortement influencées par les caractéristiques du précurseur [12]. Les caractéristiques mécaniques des fibres de carbone sont extrêmement puissantes, avec une résistance pouvant aller jusqu'à 200 à 300 GPa. Elles sont fréquemment utilisées comme renfort dans les composites polymères rigides [14].



**Fig.I.6:**Fibres de Graphite (a), fibre de Carbone (b) [12].

Caractéristique	Fibres HR	Fibres HM	Fibres IM
Résistance en traction (MPa)	3400/4500	2000/2500	4800
Module en traction (GPa)	230/250	390/450	296
Allongement à la rupture (%)	1.4/1.8	0.5/0.6	2.0
Résistance en compression (MPa)	2200/2800	1300/1700	–

**Tableau I- 3:** Caractéristiques mécaniques des fibres de carbone.

### I.3.2.3. Fibres d'aramide

Les polyamides aromatiques qui contiennent les groupes aromatiques plus fortement que 85% s'appellent l'aramides, les fibres d'aramides connues sont le Kevlar. Elles ont des propriétés mécaniques élevées en traction comme les carbones mais leur résistance à la compression est faible. La faible tenue mécanique en compression est généralement attribuée à une mauvaise adhérence des fibres à la matrice dans le matériau composite. Pour y remédier, des enzymes des fibres peuvent être utilisés. L'utilisation de composites à fibres hybrides permet également de remédier aux faiblesses des composites à fibres aramides [13]. Des renforts hybrides de type verre kevlar ou carbone. Kevlar sont largement utilisés dans le domaine des loisirs (ski, raquette de tennis,...etc).



**Fig.I.7:** Fibres d'aramide.

#### **I.3.2.4. Fibres céramiques**

Les matériaux composites de type céramiques sont souvent constitués de renforts et de matrice en céramique. Les fibres sont élaborées par dépôt chimique en phase vapeur sur un fil support. Ces fibres ont des applications où la température est très élevée entre 500°C et 2000°C.

Ces matériaux sont utilisés notamment dans les parties chaudes des moteurs d'avions [13]. Les fibres céramiques les plus utilisées sont :

Fibres de Carbure de Silicium.

Fibres de Bore.

Fibres de Bore carbure de silicium.

### **I.3.2.5. Autres types de fibres :**

Cette partie rassemble tous les autres types de fibres non citées auparavant. Ces fibres sont généralement utilisées pour des applications spécifiques (papiers spéciaux, pour une bonne conductivité électrique). Elles possèdent des modules d'élasticités relativement faibles par rapport aux autres fibres déjà citées [9]. Les fibres concernées sont :

**Les fibres d'origine végétale** (cellulose, lin, chanvre, etc).

**Les fibres d'origine minérale** (andante, silice).

**Les fibres synthétiques** (tergal, nylon, etc.) issus des polyesters, de polypropylène ou de polyéthylène.

**Les fibres métalliques** (acier, cuivre, aluminium) qui sont utilisées souvent avec des matrices métalliques.

Ces fibres sont appréciées pour diverses raisons par exemple :

Leur prix de revient assez bas

Leur haute capacité d'isolation thermique.

Leur bonne conductivité thermique et électrique.

Leur propriété d'isolation acoustique.

### **I.4. Classification des matériaux composites :**

Les composites sont classés selon la forme ou la nature des composants, On les classe aussi selon leurs performances et leurs couts.

#### **I.4.1. Classification en fonction des natures des matrices :**

En fonction de la nature de la matrice, les matériaux composites sont classés en :

##### **Composite à matrice organique**

Utilisé pour des  $T^{\circ} < 300^{\circ}\text{C}$ , ils constituent de loin les volumes les plus importants en industries

Possédant des coûts de revient généralement assez bas pour permettre une production de masse, il s'agit des composites les plus courants, et qui vont être décrits par la suite.

### **Composite à matrice métallique**

Utilisé pour des  $T^{\circ} < 600^{\circ}\text{C}$ . La matrice de ces matériaux est un métal léger tel que l'aluminium, le magnésium ou le titane.

### **Composite à matrice céramique**

Utilisé pour des  $T^{\circ} < 1000^{\circ}\text{C}$ , réservé aux applications de pointes et travaillant à hautes températures (spatial, nucléaire et militaire, etc.)

Beaucoup plus coûteux, il s'agit d'une matrice de céramique renforcée de fibres courtes ou de filaments.

#### **I.4.2. Classification en fonction des natures des renforts :**

A ces types de matrices sont associés divers renforts, seuls certains couples d'association ont un usage industriel et d'autres font toujours l'objet de recherche dans les laboratoires.

Parmi ces composites nous citerons :

#### **Composites à matrices organique (résines et charges) avec :**

- Des fibres minérales : verre, Carbone, etc.
- Des fibres organiques : Kevlar, polyamides, etc.
- Des fibres métalliques : bore, aluminium, etc.

#### **Composites à matrices métallique :**

- Des fibres minérales : carbone, carbure de silicium (SiC) ;
- Des fibres métalliques : bore
- Des fibres métallo-minérales : fibres de bore revêtues de SiC

#### **Composites à matrices céramique :**

- Des fibres métalliques : bore ;
- Des particules métalliques : cermets ;
- Des particules minérales : carbures, nitrures, etc.

#### **I.4.3. Les fibres naturelles**

-Les fibres d'origine végétale (cellulosiques)

Les fibres végétales sont des composés de cellulose plus ou moins pure provenant de différentes parties de la plante telles que les fibres de l'écorce des graines de cotonniers, le kapok, les fibres des feuilles, les fibres de coco, les fibres d'ananas, les fibres de l'écorce de bois. Les fibres végétales sont des celluloses pures les plus utilisées couvrant 50 % de toutes les fibres.

-Les fibres d'origine animale (protéiques)

Ce sont des fibres protéiques animales telles que les laines de chèvre, les laines du mouton, les fibres de soie. Ces fibres ont des propriétés similaires aux protéines. En présence d'eau, la ténacité et la rigidité sont réduits, en cas d'exposition longtemps au soleil provoque la carie ou le cadre.

-Les fibres d'origine minérale (silicatées)

Une des fibres d'origine minérale est l'amiante qui résiste aux produits chimiques, à la chaleur et ne conduit pas d'électricité. L'amiante est utilisé dans la fabrication du vêtement anti-feu (vêtement ignifugé) pour les pompiers, des tuiles et du caoutchouc...[16].

#### **I.4.4. Les fibres synthétiques**

Les fibres synthétiques sont des composés synthétiques à partir des composés inorganiques ou organiques à l'aide de fibres naturelles renouvelables.

Les fibres synthétiques à partir des produits chimiques

Les fibres synthétiques organiques

Les fibres synthétiques organiques sont le polyamide, le polyester, le polyuréthane et la fibre acrylique.

Exemple : les fibres synthétiques de polyamides telles que le nylon 6-6, 6-10, 11, 6. Les chiffres suivis du nom de nylon indiquent le nombre d'atomes de carbone présent dans leur monomère.

Le nylon 11 formé à partir d'un seul type de monomère qui possède 11 atomes de carbone. Ce monomère fait d'unités répétitives liées entre elles par les liaisons amides.

Le nylon 6-10 formé à partir de deux types de monomères qui possèdent 6 et 10 atomes de carbone respectivement liées entre elles par les liaisons amides.

Exemple : les fibres de polyester sont issues de l'estérification d'acide téréphtalique et d'éthylène glycol à l'aide d'un catalyseur et d'un adjuvant.

La fibre synthétique minérale telle que la fibre de verre possède des propriétés similaires à l'amiante. La fibre de verre est utilisée pour renforcer la structure des matériaux résistants. En outre, la fibre de verre possède également des fibres métalliques en fil aussi petit que le fil de soie, le fil de l'acier, le fil du cuivre.

Les fibres synthétiques à partir des substances naturelles

L'acétate de cellulose est obtenu par la réaction entre la cellulose et l'acide acétique concentré en présence du catalyseur d'acide sulfurique. L'acétate de cellulose peut être filé et donne des fibres artificielles aux noms divers : rayonne, soie artificielle, viscose. De grandes quantités sont actuellement filées sous forme de câbles d'acétate de cellulose pour les filtres à cigarettes. Parallèlement, les fibres dérivées de protéines animales ou végétales donnent lieu au lanital, tiré de la caséine du lait, à l'alginate, et à diverses fibres à base de céréales. [16].

## **I.5. Mise en œuvre des matériaux composites**

### **I. 5.1. Moulages sans pression**

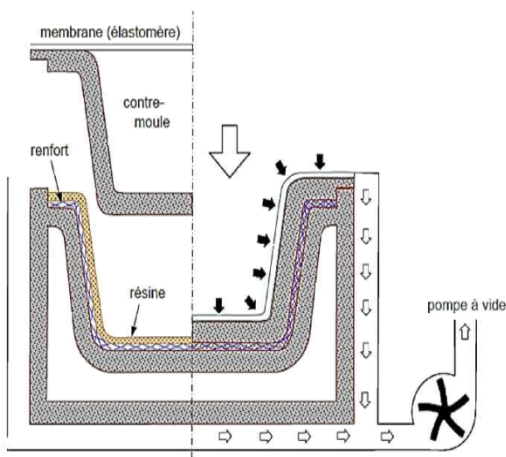
Les techniques de moulage à froid, sans l'utilisation d'une presse, sont les plus simples à appliquer. Elles requièrent un équipement minimal et, par conséquent, un amortissement. Les matériaux composites à fibres de verre ont connu un succès grâce à cette facilité, tant dans l'industrie que dans l'artisanat. Grâce à ces techniques, il est possible de fabriquer des pièces en petites et moyennes séries, sans limitation de formes et de dimensions. Même si la proportion de fibres peut varier, elle demeure cependant restreinte. Les pièces ont une face lisse unique, imitant l'apparence du moule. Finalement, la qualité de la pièce fabriquée est grandement influencée par le savoir-faire du mouleur [17].

### **I. 5.2. Moulage sous vide (Figure I. 8)**

Le moulage sous vide consiste à utiliser simultanément le vide et la pression

atmosphérique. Après enduction de gel-coat, on dispose le renfort sur un moule rigide, puis on coule la matrice. Le contre-moule, recouvert d'une membrane assurant l'étanchéité (feuille de caoutchouc, nylon, etc.), est ensuite emboîté. Une pompe à vide crée une dépression à travers le moule et le contre-moule poreux, qui étale et débulle la résine. Le contre-moule peut éventuellement être limité à la seule membrane d'étanchéité.

Le moulage de ce procédé est adapté à la production de pièces en petites et moyennes séries. Il favorise des performances mécaniques optimales, grâce à une répartition homogène de la résine et à une réduction des inclusions d'air. Lorsqu'on utilise un contre-moule rigide, on obtient une belle surface sur les deux faces. Cependant, les rythmes de production sont plutôt lents. [17]

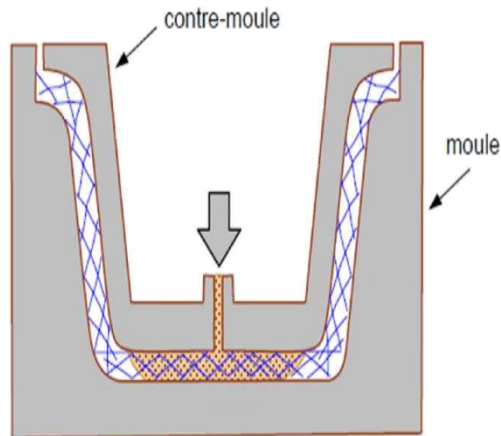


**Fig.I.8** Moulage sous vide [17].

### **I.5.3. Moulage par compression**

#### **I.5.3.1. Moulage par injection de résine (Figure I. 9)**

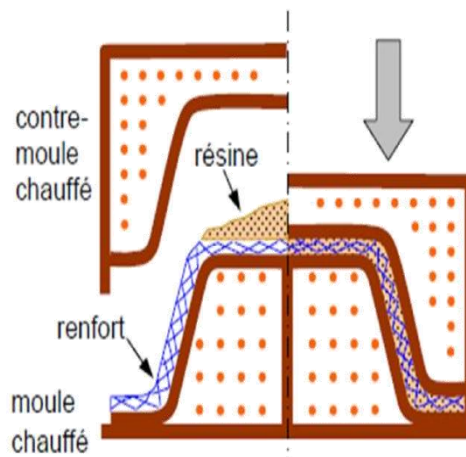
Le moulage consiste, par injection de résine sous pression, à imprégner un renfort placé à l'intérieur d'un ensemble moule et contre-moule très rigide et fermé. L'alimentation automatique des résines élimine leur manipulation. La proportion de renfort peut être élevée, d'où l'obtention de pièces à caractéristiques mécaniques élevées. Ce procédé de moulage convient à la réalisation de pièces profondes et de formes compliquées. [17]



**Figure I. 9** Moulage par injection de résine. [17]

### I.5.3.2. Moulage par compression à chaud (Figure I. 10)

Il est possible d'obtenir des pièces en grandes quantités en utilisant des presses hydrauliques et des moules métalliques chauffants grâce à cette méthode. On applique le renfort, composé de mat à fils coupés ou à fils continus, de tissus ou de préformes, sur le moule chauffant, en le préalablement enduit d'un agent de démoulage. Ensuite, on coule en vrac de la résine catalysée sur le renfort. Le processus de fermeture du moule est déterminé par la descente et le pressage du contre-moule [17].



**Fig.I.10.** Principe du moulage par compression à chaud [17]

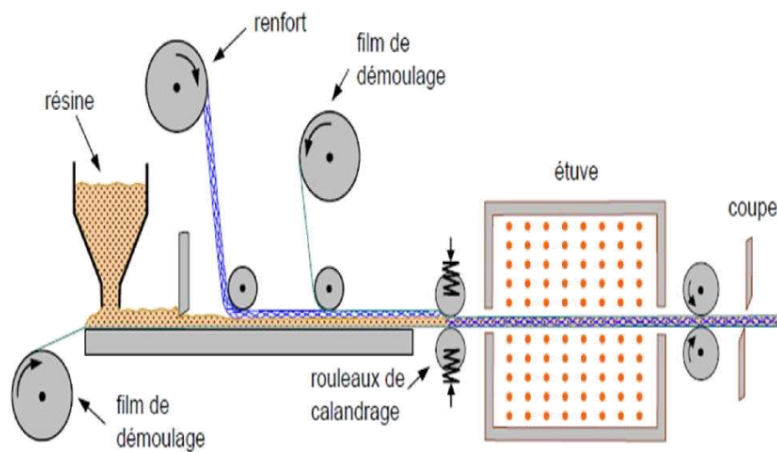
## I. 5.4. Moulage en continu

Le moulage en continu permet la fabrication de plaques planes, panneaux, sandwiches (Figure I. 11), de panneaux ondulés pour toitures (Figure I. 12), plaques

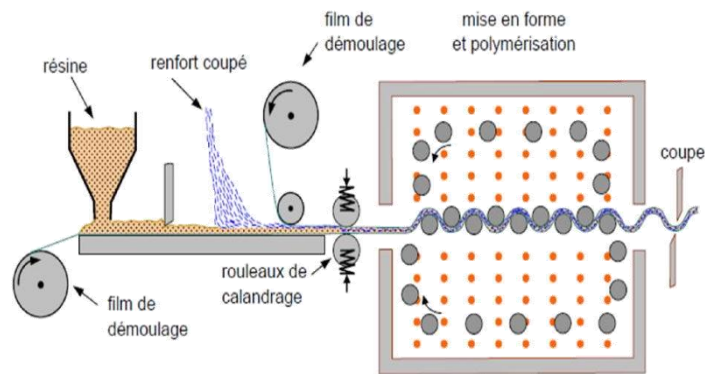
nervurées, etc. Schématiquement, ce procédé peut être séparé en plusieurs phases. [17]

1. Une phase d'imprégnation des renforts : fibres, mats ou tissus. La résine catalysée et le renfort sont véhiculés sur un film de démoulage (cellophane, polyéthylène, etc.).
2. Une phase de mise en forme.
3. Une phase de polymérisation, effectuée dans une étuve (60 à 150 °C) en forme de tunnel, dont la longueur est fonction de la température et de la résine (15 à 50 m de long).
4. Une phase de refroidissement et découpage. Dans le cas de la fabrication de plaques planes (Figure I. 11), la mise en forme est simplement réalisée par une mise à l'épaisseur de la plaque, par pressage entre des rouleaux de calandrage. Dans le cas de panneaux ondulés, la mise en forme intervient au cours de la polymérisation (Figure I. 12), par l'intermédiaire de rouleaux mobiles.

Le procédé de moulage en continu peut être entièrement automatisé, et permet alors d'élaborer des plaques ou panneaux en continu. Il nécessite toutefois un investissement très important en matériel.



**Fig.I.11.** Moulage en continu de plaques.

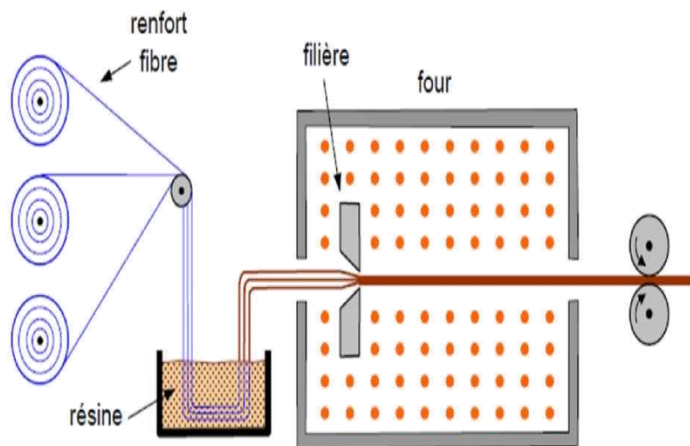


**Fig.I.12.** Moulage en discontinu de plaques.

### I. 5.5. Moulage par pultrusion

Le moulage par pultrusion est utilisé pour créer des profilés, qu'ils soient rectilignes ou courbes, avec une section constante et une forte résistance dans la direction principale. Dans cette méthode (Figure I. 13), les renforts tels que les fils, les stratifiés, les rubans, etc., sont immergés dans un bain de résine catalysée. Par la suite, ils passent par une filière chauffée où se déroulent en même temps la mise en forme du profilé et la polymérisation de la résine. On peut utiliser cette méthode pour les résines thermoplastiques et thermodurcissables. La qualité mécanique des profilés obtenus est élevée, car il est possible d'obtenir des proportions de renfort élevées, allant jusqu'à 80 % en volume. Le processus convient à la production de séries assez grandes (vitesse de défilement allant jusqu'à 20 m/h). Il requiert un investissement considérable en matériel [17].

Exemples de fabrication : cannes à pêche, profilés divers, raidisseurs, etc.



**Fig.I.13.** Moulage par pultrusion. [17]

**CHAPITRE II**  
**DISPOSITIFS EXPERIMENTAUX ET**  
**TECHNIQUES DE MESURE**

## **II.1. Introduction**

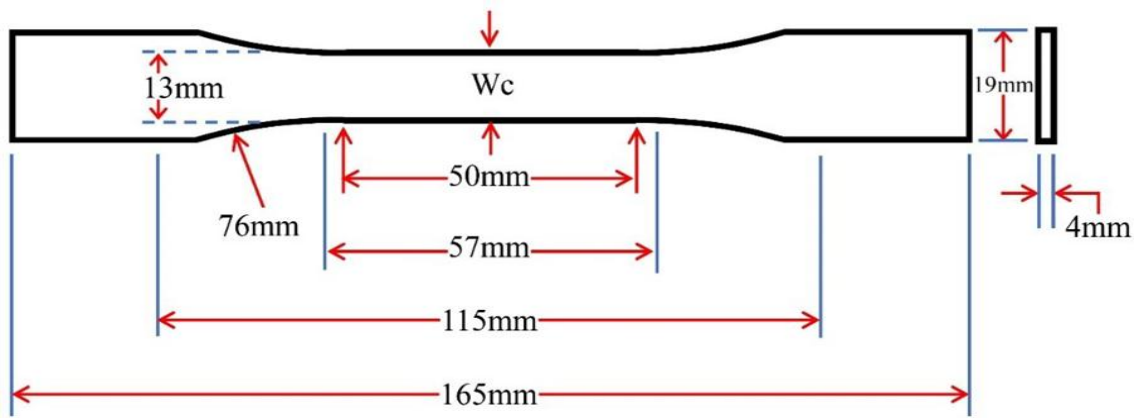
Au cours du fonctionnement des systèmes mécaniques, les matériaux subissent des pressions qui modifient leurs caractéristiques. La rigidité, la limite élastique et la ductilité sont les propriétés mécaniques les plus essentielles, mesurées à l'aide de l'essai de traction. La connaissance des conditions de déformation et de rupture de ces matériaux est donc indispensable. L'objectif de ce chapitre est d'exposer le concept de l'essai de traction afin de mesurer certaines caractéristiques mécaniques essentielles des matériaux, ainsi que les instruments expérimentaux employés lors des caractérisations des matériaux étudiés.

## **II.2. Principe d'essai de traction**

L'essai de traction est une méthode d'essai mécanique des matériaux permettant de déterminer les grandeurs caractéristiques des matériaux. Il est utilisé en fonction du matériau comme méthode standard correspondant à une norme définie pour la détermination de la limite d'élasticité, de la résistance à la traction, de l'allongement à la rupture et d'autres caractéristiques du matériau. Lors de l'essai de traction, un échantillon de matériau est étiré jusqu'à la rupture. Afin d'éviter de fausser le résultat, la vitesse d'allongement appliquée doit être faible. La force et la déformation de l'éprouvette sont mesurées, lors de l'essai de traction. Les essais de traction font partie plus fréquemment réalisés dans le cadre des essais mécaniques des matériaux. Ils servent à caractériser la résistance et le comportement en déformation sous contrainte de traction [18].

## **II.3. Echantillon d'essai de traction :**

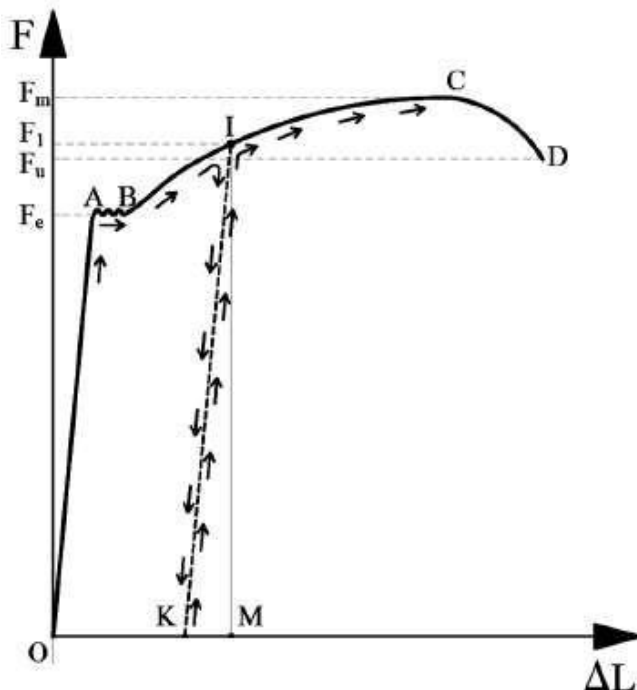
En utilisant des éprouvettes prismatiques. Le dessin et le dimensionnement de l'éprouvette de traction (selon la norme ASTM-D638-03) sont mentionnées dans la (figure.II.1)



**Fig.II.1.** Eprouvette de traction (Haltere).

Les extrémités des éprouvettes peuvent présenter la forme voulue pour s'adapter aux mâchoires de la machine d'essai. Les dimensions des éprouvettes sont précisées par les normes.

Une courbe conventionnelle de traction (figure.II.2) ( $F - \Delta L$ ) est effectuée en cours d'essai en rapportant la force à la section initiale pour raisonner en termes de contrainte  $R = F / S_0$ , et en rapportant l'allongement à la longueur initiale pour raisonner en termes



A : Limite de la phase élastique.

C : point de charge maximale qui marque le début de la striction.

D : point de rupture de l'éprouvette.

$F_e$  : charge à la limite apparente d'élasticité.

$F_m$  : charge maximale.

$F_u$  : charge ultime.

$\Delta L = L - L_0 =$  Allongement absolu avec  $L$  longueur utile de l'éprouvette (fonction de l'effort de traction  $F$ ) Fig. 4.

**Fig.II.2.** Courbe conventionnelle de traction (efforts-allongements) [19].

On détermine une série de caractéristiques mécaniques importantes [20], en général

la force  $F$  et l'allongement  $\Delta l$  aux dimensions initiales de l'éprouvette d'essai.

### II.3.1. Première phase : déformation élastique

La diminution de la section  $S_0$  est constante et si faible que l'on peut la négliger pendant cette phase.

Le matériau suit la loi de Hooke lors de la phase élastique, qui représente la relation linéaire entre les contraintes et les déformations : Avec  $\sigma = E \varepsilon$ ,  $\sigma = F/S_0$ . Il s'agit de la zone de la première partie de l'éprouvette. Dans un point de la section droite, la contrainte normale est exprimée en  $N/mm^2$ . La pente de la partie élastique, également connue sous le nom de coefficient de Hooke, module de Young ou module d'élasticité longitudinale, est une constante physique du matériau qui est déterminée expérimentalement.

Le rapport de l'allongement absolu  $\Delta L$  à la longueur initiale  $L_0$  de l'éprouvette est connu sous le nom d'allongement relatif ou allongement unitaire ou dilatation linéique relative.

### II.3.2. Deuxième phase :

La courbe ABCD de déformation permanente est représentée. La limite d'élasticité (ou résistance élastique à la traction  $R_e$ ) se situe au point A : Le point B représente le poids maximal ; il est connu sous le nom de résistance à la traction.

$$R_e = \frac{F_e}{S_0}$$

Résistance à la rupture  $R_m$  (même si aucune rupture n'a encore eu lieu)

$$R_m = \frac{F_r}{S_0}$$

Lorsque l'effort est retiré après avoir atteint la valeur  $F_1$ , l'éprouvette ne retrouve pas sa longueur initiale, elle conserve une certaine longueur ; la déformation est permanente.

La droite IK est parallèle à OA en traçant le diagramme de "retour" obtenu en diminuant progressivement la force de traction de la valeur F1 à zéro. La valeur de l'allongement permanent obtenu avec la Force F1 est mesurée par la longueur OK. L'écart relatif total ou A pour cent de l'éprouvette correspond à l'écart de rupture :

La striction correspond à la diminution de la section maximale de l'éprouvette

$$A\% = 100 \cdot \frac{L_u - L_0}{L_0}$$

endommagée, c'est-à-dire dans la zone de rupture (fig.II.15). La capacité à se déformer à froid est exprimée par le coefficient de striction.

$$Z\% = 100 \cdot \frac{S_0 - S_u}{S_0}$$

S0 signifie section initiale et Su signifie section après rupture.

#### II.4. Vitesses d'essai de traction :

Son terme fait référence à la vitesse à laquelle deux têtes d'amarrage se déplacent, qu'elle soit lente ou constante, et qui entraîne la rupture de l'éprouvette.

Le tableau donne les valeurs de la vitesse de sollicitation en traction de différents matériaux.

<b>Aciers</b>	<b>V ≤ 0,15 L<sub>0</sub> (mm/min)</b>	<b>ou ≤ 30 N/mm<sup>2</sup>/sec</b>
<b>Aluminium</b>	<b>V ≤ 0,009 L<sub>0</sub> (mm/min)</b>	<b>ou ≤ 10 N/mm<sup>2</sup>/sec</b>
<b>Cuivre</b>	<b>V ≤ 0,006 L<sub>0</sub> (mm/min)</b>	

**Tableau** : Vitesse de sollicitation en traction de différents matériaux [21].

Une vitesse de traction typique utilisée dans les tests de traction se situe généralement entre 1 et 10 mm/min selon ASTM D3039 pour les composites polymères renforcés de fibres ou ISO 527-1 pour les plastiques.

#### II.5. Présentation de la machine de traction utilisée :

La machine d'essai de traction se trouve au niveau du laboratoire de sciences des matériaux, faculté de technologie à l'université de M'sila. La machine est présentée dans la figure.II.16. Le maximum de force de traction peut atteindre 10 KN. Elle est assistée par un ordinateur pour l'enregistrement et l'obtention des données et des informations concernant l'éprouvette et l'essai de traction.

L'équipement de la machine de traction comprend un système de mesure d'allongement et un système d'enregistrement de diagramme, un capteur de force, ainsi qu'un système d'amarrage coaxial adapté à la forme des dépôts.

L'allongement de l'éprouvette est instantanément mesuré par le capteur d'allongement, tandis que la charge appliquée est indiquée par le capteur de force. D'autres accessoires peuvent être montés sur cette machine, comme le montage pour l'essai de flexion par exemple.



**Fig.II.16.** : Machine de traction Test.

## **II.6. Identification du matériau Composite utilisé :**

Nous avons fabriqué un matériau composite constitué de résine époxy (matrice) et des de fibre de luffa et de tissu de jute comme renforts.

Le luffa, ou loofah, est une fibre obtenue à partir du fruit séché de certaines plantes grimpantes de la famille des cucurbitacées, (matériau de notre étude).

Le jute est une fibre végétale longue, douce et brillante qui peut être filée en fils grossiers et résistants. Elle est principalement produite à partir des plantes Corchorus

clitoris et Cor choris capsulais.

## II.7. Préparation des éprouvettes :

### II.7.1. Fabrication de la plaque (Jute – Luffa):

Les matériaux utilisés pour l'élaboration des éprouvettes en composite sont comme suit:

La matrice est préparée par mélange de 02 produits la résine, Epoxy (75%) + Durcisseur(25%) en contrôlant la viscosité au cours du malaxage pour garder une coulabilité admissible afin d'avoir un bel aspect des éprouvettes.

Les renforts utilisés sont les fibres de luffa et fibres de jute sous forme de tissu.

L'élaboration de plaques stratifiées est réalisée par la technique moulage en contact dans un moule en bois. Elle consiste à disposer les fibres de jute ou de luffa après peindre la superficie du moule par un liquide qui facilite le démoulage de la plaque à fabriquer avec de résine et de refaire le même travail couche par couche.

Une couche de résine époxy a été ajoutée, suivie de couche de fibre de luffa et d'une couche de fibre de jute.

Ensuite, nous avons rempli la résine époxy dans le moule. Après cela, on appuie rigoureusement pendant 48 heures et on finit par démouler le matériau composite (plaque) comme illustré dans la figures.



Luffa



jute bidirectionnel

**Fig.II.17.** Les fibres de jute et de luffa.



Epoxy



Durcisseur

**Fig.II.18.** Dosage de résine = Epoxy (75%) + Durcisseur (25%).



**Fig.II.19.** Préparation des matériau Composite.



**Fig.II.20.** Moule en bois avec plaque sous presse hydraulique.



**Fig.II.21.** Plaques après démoulage (Jute – Luffa).

### **II.7.2. Usinage des éprouvettes :**

Une scie circulaire est disponible au sein du laboratoire de sciences des matériaux, faculté de technologie à l'université de M'silla pour découper la plaque à des éprouvettes semi-fini (Fig.II.22.) et (Fig.II.23.) avant l'usinage final des éprouvettes selon la norme ASTM-D638-03.



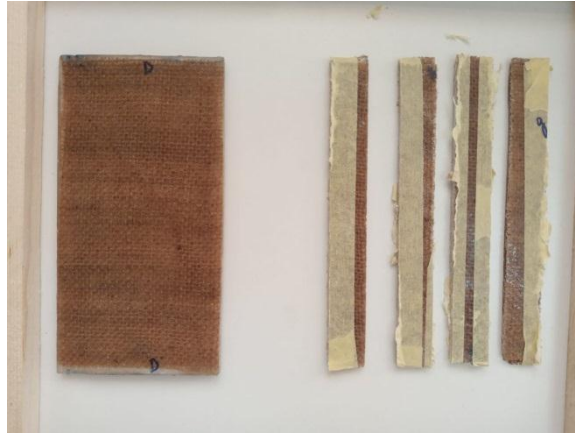
**Fig.II.22.** La machine (scie circulaire).

### **Etuve de séchage**

Utilisé pour éliminer l'humidité éventuelle dans les éprouvettes et homogénéiser la structure du matériau à une température 70 °C pour cinq heures (Fig II.23).



**Fig II.23.** Etuve de séchage.



**Fig.II.23.** Plaque avant et après le découpage.

Par la suite, nous usinons les éprouvettes à l'aide de la machine CNC, disponible au Laboratoire de fabrication mécanique de la faculté de technologie de l'Université M'sila (figure II.24).



**Fig.II.24.** Machine CNC de type PEARL RIVER NC F-VMC 510L.



**Fig.II.25.** Les échantillons après usinage selon la norme ASTM-D638-03.

**CHAPITRE III**  
**RESULTATS EXPERIMENTAUX OBTENUS ET**  
**DISCUSSION**

### III.1. Introduction :

La recherche d'une meilleure optimisation des propriétés mécaniques, conduit à une analyse de l'ensemble de ces propriétés à partir des essais mécaniques tels que les essais de traction.

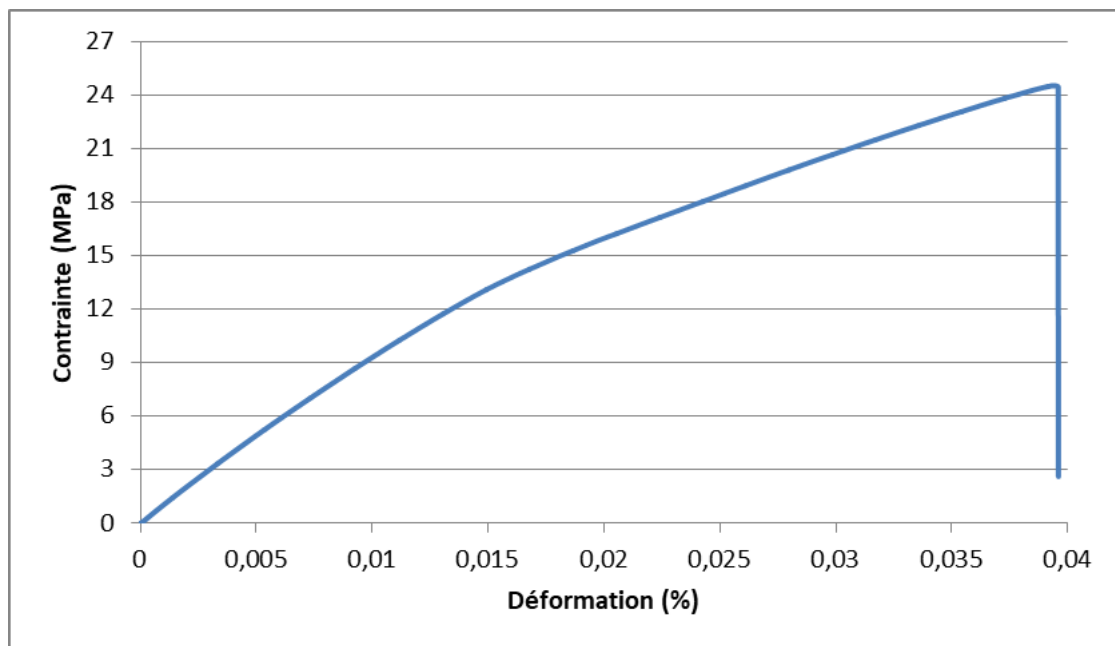
Cette partie consiste à représenter les résultats obtenus des essais de traction avec une interprétation et analyse.

Le pourcentage des renforts dans un matériau composite hybride, comme celui utilisant le jute et le luffa, joue un rôle crucial dans la détermination des propriétés mécaniques finales du composite.

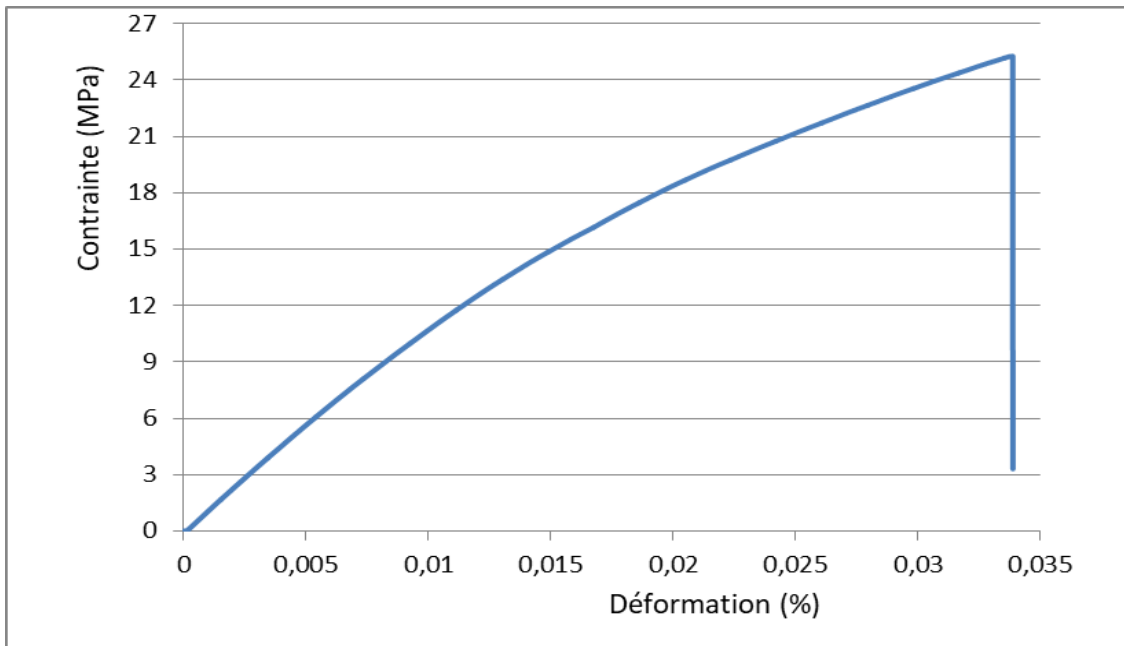
### III.2. Comportement mécanique du matériau à une vitesse de traction donnée :

Une série d'essais de traction effectués avec différents teneurs en jute et luffa et une vitesse de traction 5mm/min. Les résultats de ces essais sont présentés sur les figures ci-après.

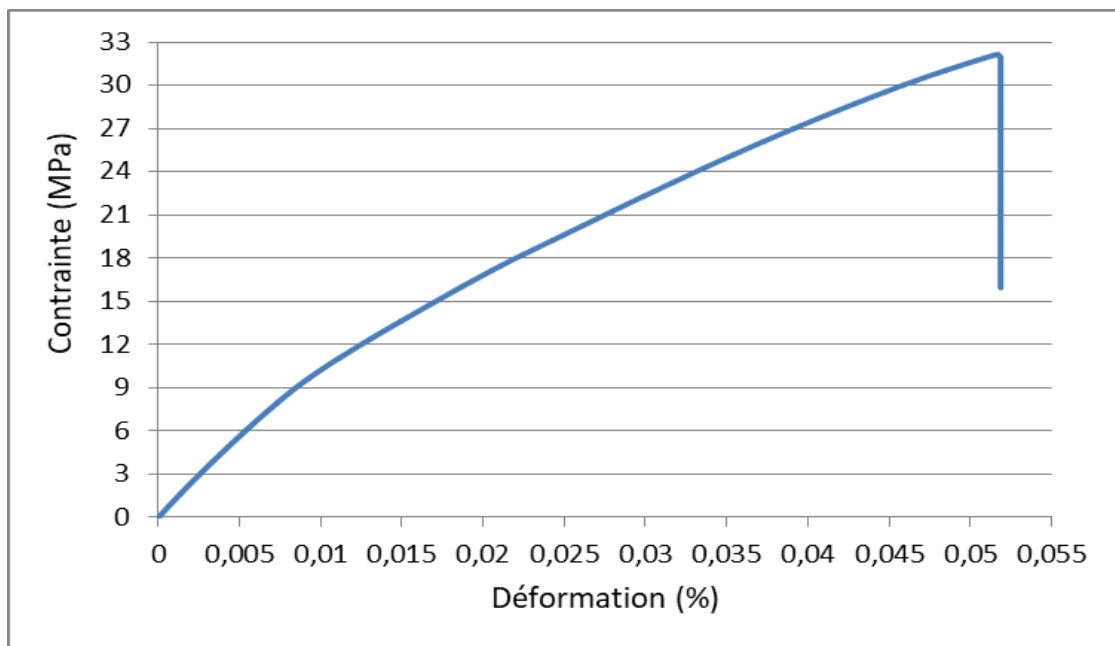
La courbe de traction correspond à la courbe obtenue enregistre la contrainte-déformation.



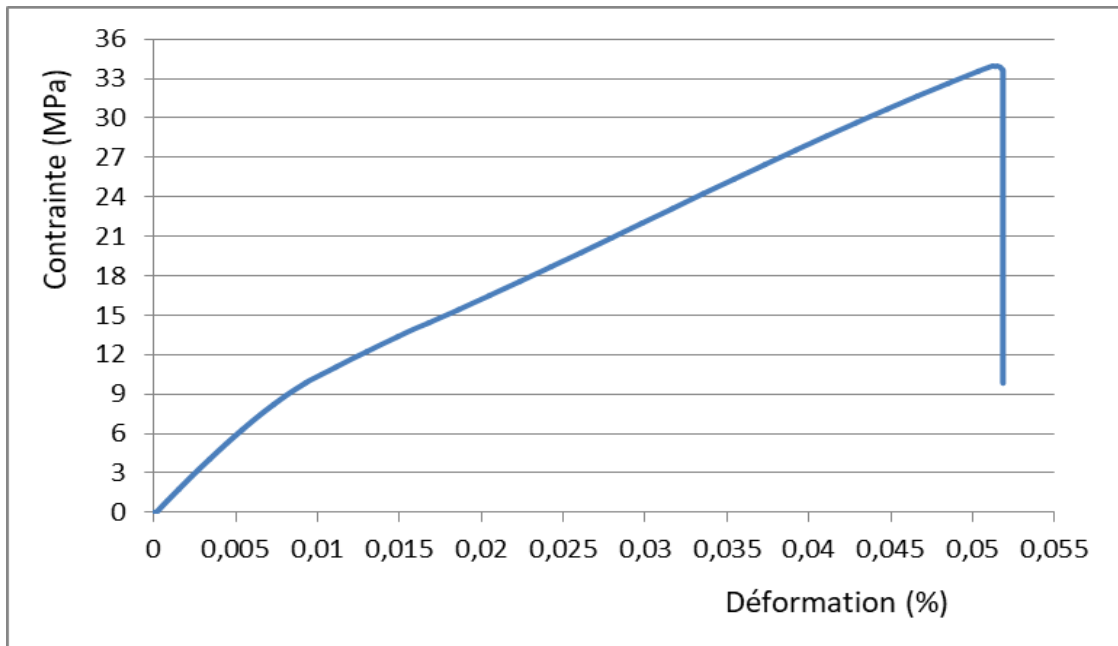
**Fig.III.1 :** Courbe de traction (contrainte- déformation) du matériau en teneur des renforts Jute 5% Luffa 10%



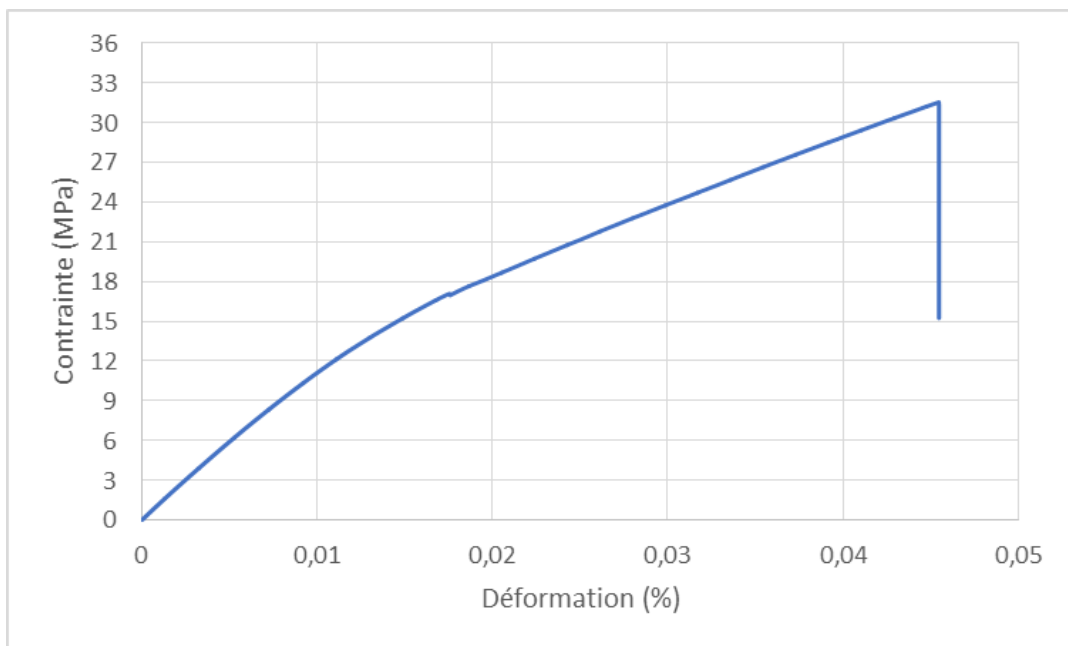
**Fig.III.2 :** Courbe de traction (contrainte- déformation) du matériau en teneur des renforts Jute 5% Luffa 15%



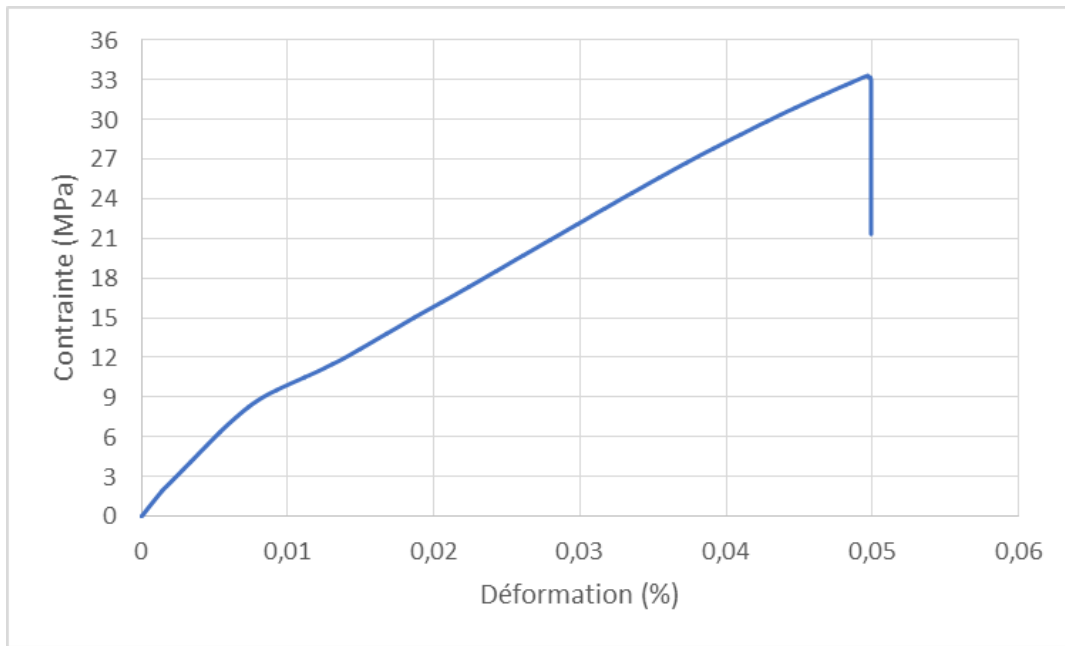
**Fig.III.3 :** Courbe de traction (contrainte- déformation) du matériau en teneur des renforts Jute 10% Luffa 15%



**Fig.III.4 :** Courbe de traction (contrainte- déformation) du matériau en teneur des renforts Jute 15% Luffa 5%



**Fig.III.5 :** Courbe de traction (contrainte- déformation) du matériau en teneur des renforts Jute 10% Luffa 5%



**Fig.III.6 :** Courbe de traction (contrainte- déformation) du matériau en teneur des renforts Jute 15% Luffa 10%

Il est possible de conclure que toutes les courbes obtenues après les tests de traction pour tous les échantillons sont pratiquement identiques et sont liées au même comportement mécanique du matériau en traction.

Selon les courbes de traction présentées précédemment, on peut conclure : Le domaine élastique est représenté par la zone linéaire. La relation entre la contrainte et la déformation est linéaire dans cette zone, c'est-à-dire que si la charge est retirée, l'éprouvette revient à sa longueur initiale. La loi de Hooke est connue pour décrire le domaine élastique linéaire.

### III.2.1. Domaine plastique homogène :

En plastique homogène, la déformation est constante et la limite d'élasticité augmente, ce qui signifie que si la charge est retirée, l'éprouvette ne revient pas à sa longueur initiale. La charge maximale est connue comme le sommet de la courbe. La déformation est concentrée dans une zone appelée zone de striction au-delà de cette charge, ou la déformation persiste jusqu'à ce que l'éprouvette se rompe.

### III.3. Mesure des échantillons :

Nous avons mesuré la surface des échantillons avant et après les essais de traction en utilisant la formule suivante :

$$\text{Surface (mm}^2\text{)} = \text{épaisseur} * \text{largeur}$$

Nous assurons de mesurer avec précision l'épaisseur et la largeur de chaque échantillon pour obtenir une mesure précise de la section. Toutes les mesures que nous obtenons sont illustrées dans le tableau III.1.

Teneur des renforts jute-luffa	Section avant essai (mm <sup>2</sup> )	Section après essai (mm <sup>2</sup> )
J5% L10%	71.20	70.32
J5% L15%	53.76	51.78
J10% L5%	72.94	72.03
J10% L15%	54.38	57.50
J15% L5%	66.75	65.78
J15% L5	52.68	51.15

**Tableau.III.1** : Sections des éprouvettes avant et après les essais de traction.

### III.4. Résultats obtenus :

Coefficient de striction Z%

On utilise les résultats du tableau précédent pour calculer le coefficient de striction de chaque éprouvette à partir de la relation Z% :  $Z\% = (S_0 - S_U) 100 / S_0$

Teneur des renforts jute-luffa	S <sub>0</sub>	S <sub>u</sub>	Z%
J5% L10%	71.20	70.32	1.23
J5% L15%	53.76	51.78	3.68
J10% L5%	72.94	72.03	1.24
J10% L15%	57.50	54.38	5.42
J15% L5%	66.75	65.50	1.87
J15% L10%	52.68	51.15	2.90

**Tableau.III.3** : Coefficient de striction (Z%).

Éléments mécaniques du matériau analysé Le tableau expose les caractéristiques mécaniques du matériau étudié après avoir été soumis à des essais de traction à une vitesse de 5 mm/min. Ces caractéristiques incluent :

Module de Young E (MPa):

- Résistance maximale à la rupture (R<sub>m</sub>): Correspond à la contrainte maximale que le matériau peut supporter avant de rompre.
- Allongement à la rupture (A%): Représente la déformation plastique maximale que le matériau peut subir avant sa rupture.
- Coefficient de striction (Z%): Mesure la réduction de la section du matériau à la rupture.

Le tableau III.4 regroupe les différentes caractéristiques mécaniques obtenues à partir des essais effectués.

Teneur des renforts jute-luffa	Module de Young (MPa)	R <sub>m</sub> (MPa)	A%	Z%
J5% -L10%	878.86	24.70	3.94	1.23
J5% -L15%	1061.07	25.43	3.38	3.68
J10%-L5%	1115.37	31.90	4.59	1.24
J10%-L15%	1084.38	33.95	5.21	5.42
J15%-L5%	1194.10	32.80	5.19	1.87
J15%-L10%	928.73	32.20	4.94	2.90

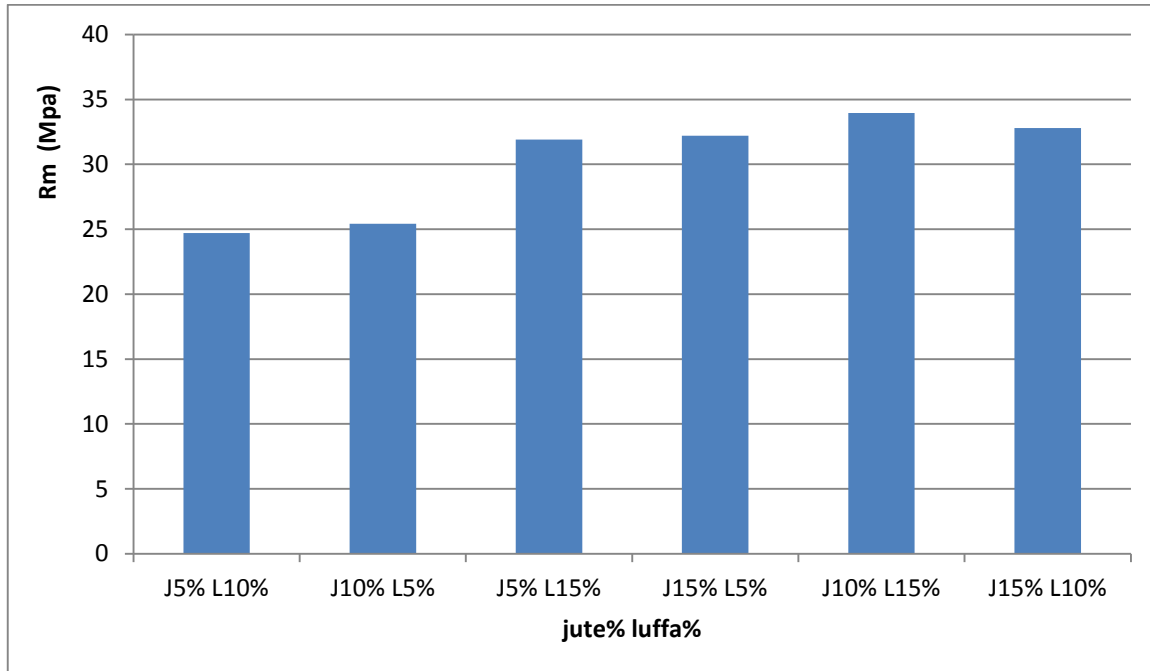
**Tableau. III.4 :** Caractéristiques mécaniques en fonction de la teneur des renforts jute/luffa.

### III.4.1. Variation de la résistance en fonction de la teneur des renforts jute / luffa :

La résistance à la traction  $R_m$  (également appelée résistance à la rupture) est une caractéristique matériau pour l'évaluation du comportement de résistance. La résistance à la traction est la contrainte de traction mécanique maximale avec laquelle une éprouvette peut être chargée. Lorsque la résistance à la traction est dépassée, le matériau défaille : L'absorption des forces diminue jusqu'à ce que l'échantillon de matériau se rompt. Le matériau se déforme cependant plastiquement, de manière permanente avant même que la résistance à la traction n'ait été approchée [18].

La variation de la résistance en fonction de la teneur en jute / luffa on remarque également que la résistance augmente avec l'augmentation du pourcentage de jute /luffa et change de plus, en fonction du pourcentage de luffa, car il augmente à mesure que le pourcentage de luffa augmente et diminue à mesure qu'il diminue. Elle est maximale lorsque la teneur en luffa atteint 15% et le jute 10%. La résistance supérieure du luffa par rapport au jute s'explique par plusieurs facteurs liés à leur structure cellulaire, composition chimique et propriétés mécaniques. Le luffa est constitué de fibres ligneuses (fibres de bois) ce qui signifie qu'elles contiennent de la lignine, une substance qui confère une rigidité supplémentaire aux parois cellulaires et sont

intrinsèquement plus rigides et résistantes, il possède une structure en réseau dense. Par contre, Le jute est principalement composé de cellulose et de lignine, mais dans des proportions différentes par rapport au luffa. La teneur en lignine est généralement plus faible, ce qui rend les fibres plus flexibles et moins rigides.



**Figure.III.7.** Histogramme de la variation de la résistance  $R_m$  en MPa en fonction de teneur des renforts jute / luffa.

### III.4.2. Variation de l'allongement A% en fonction de la teneur en jute / luffa :

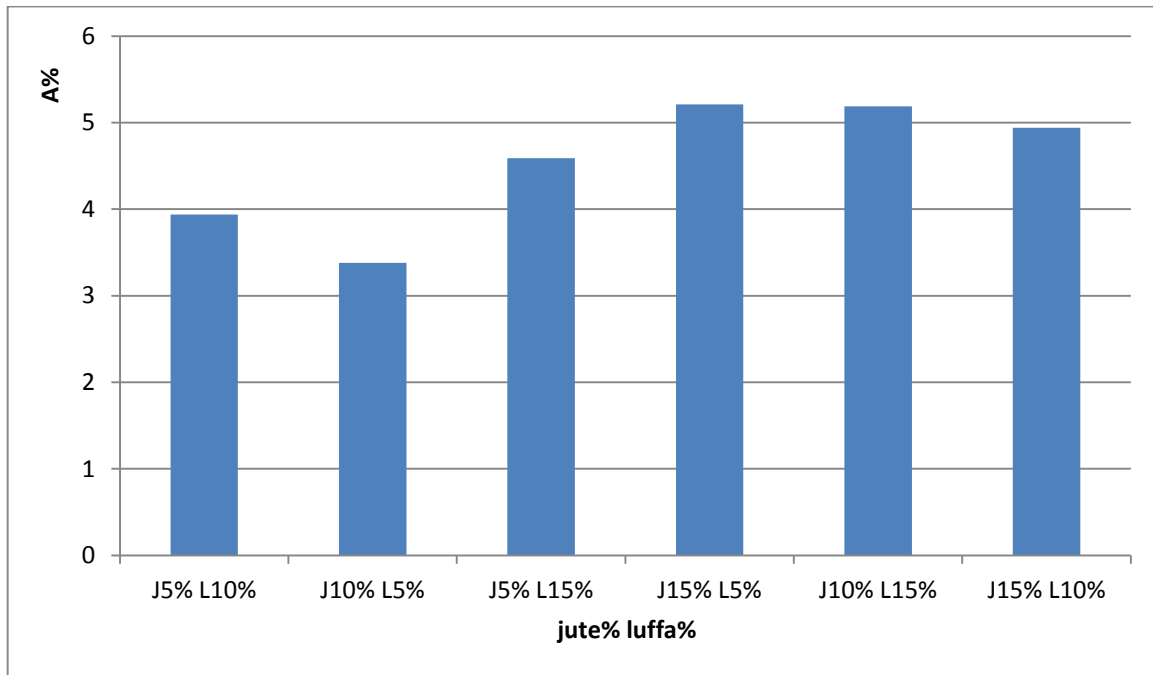
L'allongement à la rupture A est grandeur de l'essai de traction permettant de caractériser le comportement à la déformation d'un matériau.

L'allongement à la rupture et la striction à la rupture sont en principe utilisés pour déterminer l'évaluation du comportement de déformation. Pour les matériaux en bande, l'allongement à la limite d'élasticité est également important [18].

La variation de l'allongement en fonction de teneur en jute / luffa On remarque qu'il change en fonction du pourcentage de luffa, car il augmente à mesure que le pourcentage de luffa augmente et diminue à mesure qu'il diminue.

Le pourcentage de luffa affecte grandement l'allongement. Il présente une capacité d'allongement supérieure que le jute pour plusieurs raisons liées à ses caractéristiques structurelles et matérielles. les fibres individuelles du luffa sont relativement flexibles et peuvent s'étirer avant de se rompre. Les fibres du luffa peuvent se déformer de

manière plus adaptative sous tension, tandis que les fibres de jute, en raison de leur disposition plus rigide et linéaire, se cassent plus facilement sous stress.



**Figure.III.8.** Histogramme de l'allongement A% en fonction de la teneur en jute / luffa.

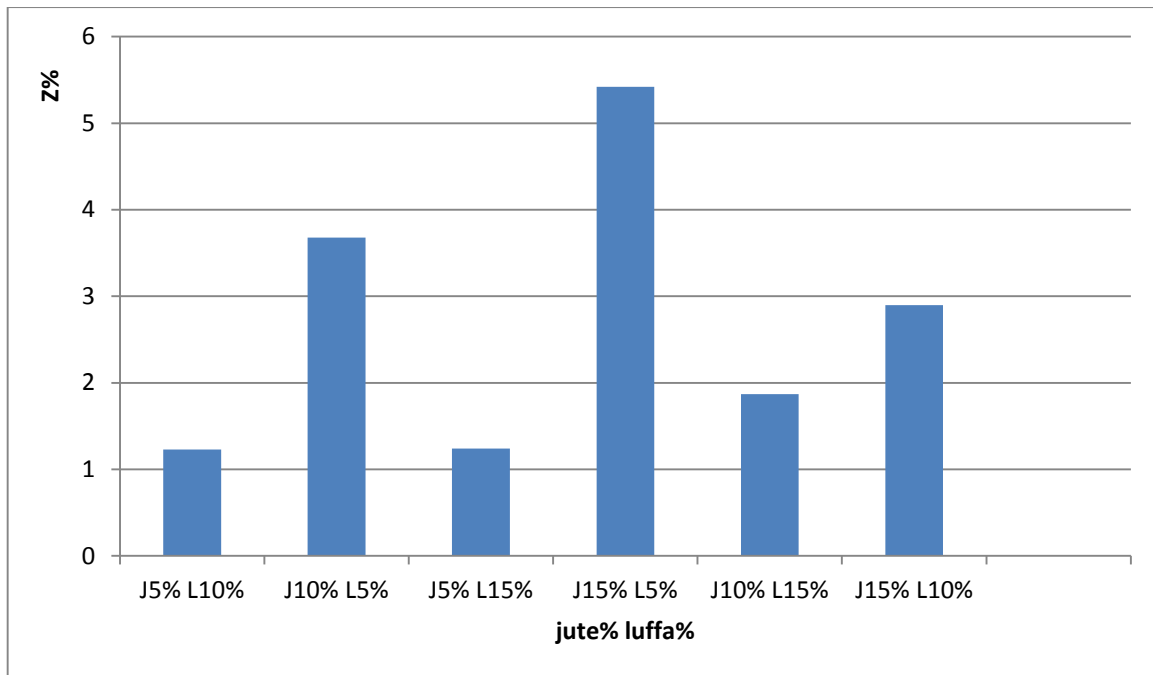
### III.4. 3.Variation de coefficient de striction Z% en fonction de la teneur en jute / luffa :

Lors des essais de traction sur des matériaux, une constriction locale se produit une fois la résistance à la traction atteinte. Le matériau finit par se briser dans cette zone. Le changement transversal le plus important par rapport à la section transversale initiale est appelé constriction de fracture Z (coefficient de striction). La contraction de fracture Z est donnée en pourcentage.

La variation de coefficient de striction de jute / luffa On remarque également qu'il change en fonction du pourcentage de jute, car il augmente à mesure que le pourcentage de jute augmente et diminue à mesure qu'il diminue.

Par conséquent, le principal facteur d'augmentation du coefficient est le pourcentage de jute. Les fibres de jute sont disposées en faisceaux linéaires et parallèles. Lorsqu'une force de traction est appliquée, ces fibres tendent à se casser de manière plus nette et moins flexible, ce qui entraîne une réduction plus importante de la section transversale.

A des pourcentages très élevés, la rigidité peut atteindre un plateau ou même diminuer si les fibres ne sont pas bien dispersées ou si elles interfèrent avec la matrice.



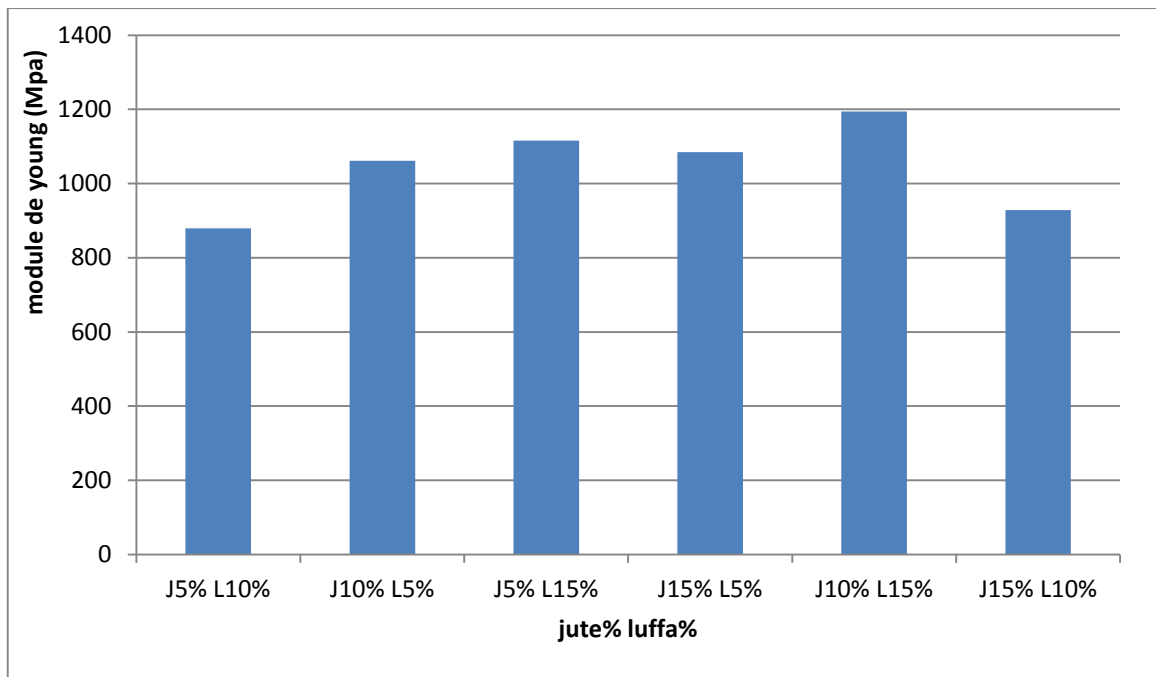
**Figure. III.9.** Histogramme de la variation du coefficient de striction Z% en fonction de la teneur en jute / luffa.

#### **III.4.4. Variation de module d'élasticité longitudinale module de Young en fonction de la teneur en jute / luffa :**

Le module de Young, module d'élasticité (longitudinale) ou module de traction est la constante qui relie la contrainte de traction (ou de compression) et le début de la déformation d'un matériau élastique isotrope.

Dans les ouvrages scientifiques utilisés dans les écoles d'ingénieurs, il a été longtemps appelé module d'Young [18].

La variation du module d'élasticité longitudinale module de Young en fonction de la teneur en jute / luffa. On remarque également qu'il change en fonction du pourcentage de jute, car il augmente à mesure que le pourcentage de jute augmente et diminue à mesure qu'il diminue.



**Figure.III.10.** Histogramme de la variation de module d'élasticité longitudinale module de Young en fonction de la teneur en jute / luffa.

# Conclusion générale

Les matériaux composites ont des propriétés très importantes dans la fabrication mécanique. La question qui se pose est leur comportement mécanique durant la traction par exemple.

Notre travail a fait l'objet de l'élaboration et la caractérisation en traction d'un matériau composite hybride (résine-jute-luffa).

Les tests de traction effectués sur les divers taux Jute / luffa du composite révèlent les conclusions suivantes :

- Une augmentation du pourcentage de fibres de luffa ou de jute peut améliorer la résistance à la rupture.

- L'incorporation de fibres de luffa ou de jute tend à réduire l'allongement à la rupture.

Les fibres naturelles, étant plus rigides que la matrice, limitent la capacité du composite à s'allonger avant la rupture.

- Un ajout modéré de fibres de luffa ou de jute peut augmenter le module de Young, rendant le matériau plus rigide. Ceci est dû à la rigidité intrinsèque des fibres naturelles par rapport à la matrice polymère.

- A des concentrations optimales de fibres, la striction peut être minimisée.

Grâce à ces caractéristiques, un matériau composite hybride (jute-luffa) obtenu est prometteur pour différentes applications industrielles.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Elaboration et caractérisation de matériaux composites pour l'aéronautique, soumai Koudach, enp2016
- [2] Matériaux composite, Daniel GAY, 6<sup>ème</sup> édition
- [3] J.M.BERTHELOT, (2002).matériaux composites: comportement mécanique et analyse des structures, TEC et DOC 4eme édition.
- [4] Lionel,G,( 2011),Matériaux composites et structures composites. CACHAN Ecole normale supérieure. Université Paris-SACLAY.
- [5]Berthelot, J.M. (2005).Matériaux composites, comportement mécanique et analyse des structures Livre, éditions : Lavoisier.
- [6] MIDOUN, A. (2019).Étude comparative du comportement mécanique des matériaux composites à matrice polymère : cas d'un matériau composite élastique unidirectionnel à fibres de verre et d'un matériau composite élastique unidirectionnel à fibres de carbone, mémoire de master, UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCEN.
- [7] Vasconcellos, D, Touchard S, F. Chocinski-Arnault,L.(2014).Tension–tension fatigue behaviour of woven hemp fibre reinforced epoxy composite: A multiinstrumented damage analysis, Int. J. Fatigue.
- [8] HAMI, B. (2010).Elaboration et caractérisation d'un matériau composite à base de fibres de verre et de résine polyester et étude de son comportement au choc. Mémoire de Magistère. Université M'Hamed Bougara-Boumerdes.
- [9]El Hadji B, LY. (2008)Nouveaux matériaux composites thermo-formables à base de fibres de cellulose, thèse de doctorat, institut national polytechnique de Grenoble.

- [10] Goret,L. (6 Apr 2010).Généralités sur les matériaux composites. cel-00470296, version1.
- [11] Saidani, k. (2014).Analyse de composites sandwich et qualification de leur intégrité vis- à-vis a la ruine. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri-Tizi-Ouzou.
- [12] Ghorab,S. (2005).Comportement viscoélastique des matériaux orthotropes, mémoire de magister, université Mentouri-Constantine.
- [13] TOUMI, W. (2019).Optimisation de la configuration des tubes en matériaux composites sous pression. Mémoire de master, Université Mohamed Khider –Biskra.
- [14] METTOUCHI, L. (2018) Influence de la charge particule de cuivre et du renfort couches de fibres de verre sur le comportement mécanique d'un composite. Mémoire Master. Université Mouloud Mammeri - Tizi-Ouzou .[15] CEDRIC, T. (2011).Etude des mécanismes d'endommagement des composites fibres de carbone / matrice polyamide : application à la réalisation de réservoirs de stockage de gaz sous haute pression de type IV. L'École nationale supérieure des mines de Paris.
- [16]<https://lewebpedagogique.com/classesbilingueslpb/files/2018/06/Le%C3%A7on31>.
- [17] JEAN-MARIE BERTHLOT, (Matériaux composites, comportement mécanique et analyse des structures) ; 4eme édition, ed tec&doc, Lavoisier, (2005).
- [18]<https://www.zwickroell.com/fr/secteurs-dactivite/test-de-materiau-essai-de-materiau/essai-de-traction/>
- [19]GHARBI Brahim, Essai de Traction Université de Batna 2 Faculté de Technologie.
- [20] HIDOURI Abdelmoumen fascicule de travaux pratiques des sciences des matériaux. Institut Supérieur des Études Technologiques Gafsa. Département de Génie Mécanique 2013.
- [21] KASMI Abdennour et SAIB Miloud. EFFET DE TRAITEMENT THERMIQUE SUR CARACTERISTIQUES MECANIQUES EN TRACTION D'UN ALLIAGE D'ALUMINIUM.Memioire de Master.Universite Mohamed Boudiaf University of M'sila.2022.