

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -



**MEMOIRE**

diplôme MASTER

En

Spécialité

Par

Sujet

**ELABORATION ET CARACTERISATION D'UN MATERIAU COMPOSITE A  
BASE DE FIBRES NATURELLES ET FIBRES SYNTHETIQUES**

## Résumé :

élaborés en fibres naturelles (toile de jute) et en fibres synthétiques (mat de verre, roving) en utilisant une résine polyester. Une étude a été menée

de son orientation sur le comportement du composite obtenu. Les résultats obtenus sont donnés

évidence le choix de la meilleure variante présentant les bonnes performances mécaniques.

Mots clés : matériaux composites, stratifiés, essai de traction, résine polyester, fibres synthétiques, fibres naturelles.

## Abstract:

## ملخص

هدف هذا العمل إلى دراسة الخواص الميكانيكية للجر الثابت للمواد المتدرجة المكونة من ألياف اصطناعية (الروفينج، والمات الزجاجية) وألياف طبيعية (قماش الجوت) باستخدام راتنج البوليستر. تم إجراء دراسة عن تأثير تغيير نوع الألياف واتجاهها على سلوك الكومبوزيت النهائي. تم تقديم النتائج المحصلة في شكل جداول ورسوم بيانية. لقد جعل تحليل نتائج اختبار الجر واضحًا أي الاختلافات تقدم الأداء الميكانيكي الأفضل

الكلمات الرئيسية: مواد مركبة، أسطح متدرجة، اختبار الجر، ألياف زجاجية، راتنج البوليستر، مات، روفينج (قماش زجاجي)، جوت، ألياف اصطناعية، ألياف طبيعية

# REMERCIEMENT

**M.Benmansour Sid Ahmed**

**M. Hamza Cherif Sidi Mohamed**

**M.Amirat mohamed**

**M.Boukhalifa Abdelkrim**



# DEDICACES

*A tous ceux qui ont été mes côtés dans les moments*

*Difficiles.*

*A mes parents Aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de l'amour Dont ils ne cessent de me combler. Que Dieu leur procure bonne santé et longue vie.*

*A mon frère Abd El madjid pour leurs soutiens.*

*A tous mes amie Nebbache Mohammed Et Ghouti Guendouz,  
Mdjahdi Mohammed,*

*A tous ceux que j'aime.*

*Je dédie ce mémo*

# Le sommaire

Résumé : .....	ii
Abstract: .....	ii
ملخص.....	ii

## REMERCIEMENT

### *DEDICACES*

Le sommaire .....	iv
Liste des Figures .....	vi
Liste des Tableaux .....	vii
Introduction générale.....	viii
Chapitre I:.....	1

#### 1 Définition

#### 2 Les propriétés générale matériaux composites

#### 3 Les propriétés mécanique matériaux composites

#### 4 Classification des matériaux composites

##### 3.1 Classification effectuée par rapport au constituant de la matrice

##### 3.2 Classification effectuée par rapport à la géométrie

###### 3.2.1 Composites à fibres

###### 3.2.2 Composites à particules

###### 3.2.3 Composites structuraux

###### 3.2.4 Les stratifiés

###### 3.2.5 Les Composites tissés

###### 3.2.6 Les sandwichs

#### 4 Constituants des matériaux composites

##### 4.1 Les matrices :

###### 4.1.1 Les résines thermoplastiques

###### 4.1.2 Les résines thermodurcissables

###### 4.1.3 Les resins en céramiques

###### 4.1.4 Les résines métalliques

##### 4.2 Les renforts

###### 4.2.1 Les fibres du verre

###### 4.2.2 Fibres de carbone

###### 4.2.3 Fibres de jute

4.2.3.1	définition	
4.2.3.2	Historique et origine de la fibre de jute	
4.2.3.3	Microstructure d'une fibre de jute	
4.2.3.4	Propriétés physiques et chimiques de la fibre de jute	
4.2.3.5	Applications industrielles de la fibre de jute	
4.2.4	Fibres céramiques	
4.2.5	Diverses sortes de fibres	
4.3	Les charges :	
4.4	Les additifs :	
4.5	L'interface fibre/matrice:	
4.6	Les Gelcoats :	
5	Mise en œuvre des matériaux composites	
5.1	Les technologies en moule ouvert .....	24
5.2	Les technologies en moule fermé.....	24
Chapitre II:	.....	25
1	Introduction .....	26
2	Le matériau d'étude .....	26
2.1	Renfort (fibre de verre et fibre de jute).....	26
2.2	Composition chimique de fibre de verre.....	27
2.3	Composition chimique de la fibre de jute .....	27
2.1.1	Le MAT De Verre .....	27
2.1.2	Tissu de verre (roving) : .....	29
2.1.3	Toile de jute : .....	30
2.2	Matrice .....	30
3	Mise en œuvre des matériaux stratifiés .....	32
3.1	le moulage au contact .....	32
3.2	Matériaux et produits utilisés : .....	35
3.3	Modèle de moulage utilisé durant l'élaboration de notre matériau : .....	37
3.4	Elaboration des plaques de composites : .....	37
3.5	Découpe des éprouvettes : .....	42
3.6	Géométrie des éprouvettes : .....	45
Chapitre III :	.....	47
1	Introduction .....	48



## Liste des Tableaux

## **Introduction générale**

Les matériaux composites jouent un rôle important dans l'industrie mécanique en raison de sa résistance à la corrosion, sa flexibilité de conception, sa durabilité, sa légèreté et sa résistance. Cela en fait une alternative aux matériaux lourds comme les aciers . Les composites ont imprégné notre vie quotidienne comme produits utilisés dans la construction, les applications médicales, les transports, le sport, l'aérospatiale, etc.

Ce mémoire a pour objectif d'étudier expérimentalement les caractéristiques mécaniques en traction statique des stratifiés élaborés en fibres naturelles (toile de jute). En fibres synthétiques (mat de verre, roving) et en utilisant une résine polyester.

Ce mémoire est structuré en trois chapitres.

Dans le premier chapitre, on a défini les matériaux composites d'une façon générale basée sur une étude bibliographique, ainsi que les caractéristiques mécaniques générales de matériaux composites, leur classifications, les différents constituants et enfin la mise en œuvre des matériaux composites.

Dans le deuxième chapitre on présente la méthode d'élaboration des différents composites utilisés dans ce travail.

Le troisième chapitre est réservé aux essais de traction et aux résultats obtenus concernant les propriétés mécaniques des différentes éprouvettes. Les résultats sont donnés sous forme de graphes et de tableaux.

Nous terminerons notre travail par une conclusion générale et des perspectives.

## Chapitre I:



# **Généralités sur les matériaux composites**

# 1 Définition

Le terme matériau composite désigne un matériau composé d'au moins deux matériaux différents, voir (Figure I-1). Plus précisément, un matériau composite est par définition toute matière première qui contenant un renfort associé à au moins deux autres composants et créant un matériau hétérogène dont les performances globales sont supérieures à celles des composants pris individuellement. Il est essentiel que le renfort et la matrice soient compatibles et se renforcent mutuellement. La compatibilité et le renforcement mutuel entre le renfort et la matrice sont cruciaux. Chaque type de matériau composite possède des qualités distinctes qui les rendent adaptés à diverses utilisations, offrant une multitude d'options pour la conception et la production de produits. Par exemple, le secteur aérospatial utilise largement les composites à matrice polymère. D'autre part, en raison de leur grande résistance à la température, les composites à matrice métallique sont fréquemment utilisés dans des applications hautes performances, notamment dans les équipements sportifs et les pièces automobiles [1].

## 2 Les propriétés générale matériaux composites

Les matériaux composites sont sélectionnés en fonction des caractéristiques recherchées, en fonction de leur résistance aux chocs, de leur imperméabilité ou de leur durabilité.

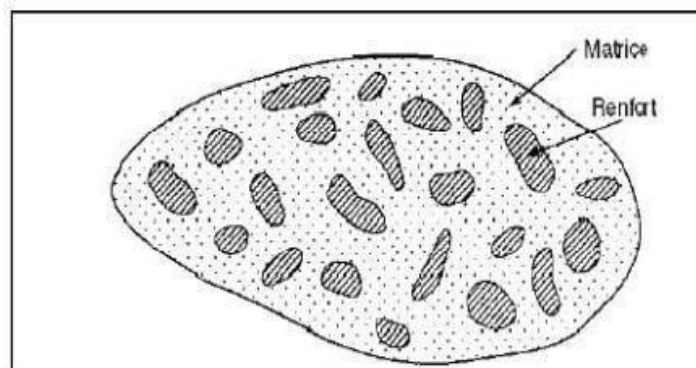
Les propriétés uniques des matériaux composites les rendent parfaits pour des applications particulières. Leur grande résistance, leur légèreté et leur longévité en font des options appréciées dans le domaine de l'aérospatiale et de l'automobile. En outre, ces matériaux offrent une grande souplesse en matière de conception, ce qui permet de concevoir des pièces personnalisées pour satisfaire les exigences particulières des projets. Ils sont des candidats privilégiés pour des applications exigeantes en raison de leur capacité à combiner différentes propriétés des matériaux [2].

## 3 Les propriétés mécanique matériaux composites

Les matériaux composites sont constitués de plusieurs matériaux , telles que des matrices et des renforts, qui confèrent au matériau final des propriétés mécaniques spéciales. Ces propriétés mécaniques comprennent la rigidité, la ténacité, la résistance à la compression, la résistance à la traction et la ténacité à la rupture.

La résistance à la traction d'un matériau composite est sa capacité à supporter une force de traction avant de se rompre. Elle est influencée par les caractéristiques de la matrice, du renfort et de leur interface. La rigidité, également connue sous le nom de module élastique, mesure la résistance du matériau à une force [3].

La clé de la ténacité réside dans sa capacité à stocker de l'énergie avant de se rompre, ce qui est essentiel pour les applications impliquant des charges dynamiques. Il est crucial de comprendre et d'évaluer les propriétés mécaniques des matériaux composites afin de produire des produits fiables et durables tout en améliorant leur efficacité dans certaines applications.



*Figure I-1 :matériau composite[1].*

## **4 Classification des matériaux composites**

La classification basée sur la nature des renforts des matériaux composites se divise principalement en trois catégories : les renforts de particules, les renforts de fibres et les renforts de feuillets (laminaires), comme indiqué sur (Figure I-2) [4].

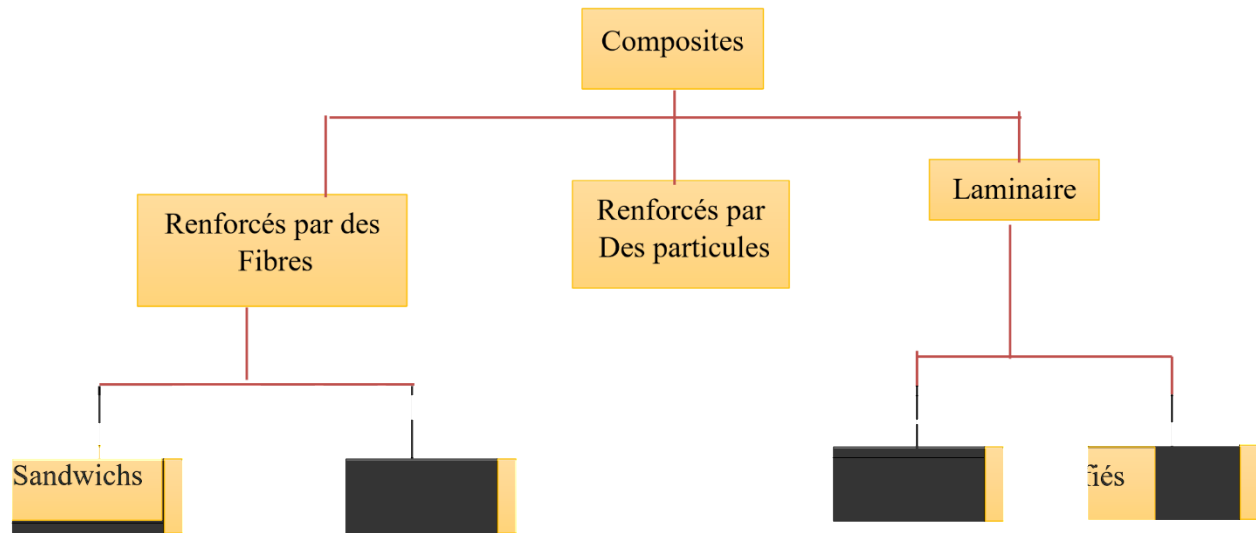


Figure I-2 : Classification des matériaux composites [4]

### 3.1 Classification effectuée par rapport au constituant de la matrice

Les matériaux composites sont formés d'une combinaison de divers matériaux, et la matrice joue un rôle essentiel dans la détermination des caractéristiques et du comportement du composite. Les matériaux composites sont classés selon le composant de la matrice en trois catégories principales : les composites à matrice polymère (PMC), les composites à matrice métallique (MMC) et les composites à matrice céramique (CCM). Les matériaux composites à matrice polymère sont le plus fréquemment employés en raison de leur légèreté et de leur résistance à la corrosion, ce qui les rend adaptés à de nombreuses applications, telles que l'aérospatiale, l'automobile et la construction. Les composites à matrice métallique, quant à eux, présentent une conductivité thermique élevée et une résistance, cela les rend parfaitement adaptés aux applications dans les secteurs de l'automobile et de l'aérospatiale. Les composites à

matrice céramique sont prisés pour leur capacité à supporter des températures élevées et sont fréquemment employés dans les domaines de l'aérospatiale et de l'énergie. Il existe des composants d'autres matrices, tels que : composites à matrices de carbone (CMC). Les deux catégories de composites, les composites à matrice polymérique (PMC) et les composites à matrice de carbone (CMC), sont souvent appelées composites à matrice organique (OMC) [5].

## **3.2 Classification effectuée par rapport à la géométrie**

Les Classification effectuée par rapport à la géométrie sont :

### **3.2.1 Composites à fibres**

Un matériau composite est considéré comme un matériau composite à fibres lorsque le renfort est constitué de fibres. Les fibres employées sont soit des fibres continues, soit des fibres discontinues (fibres coupées, fibres courtes). Dans un plan, l'organisation des fibres et leur orientation permettent de modifier les propriétés mécaniques des matériaux composites, ce qui permet d'obtenir des matériaux allant de matériaux fortement anisotropes à des matériaux isotropes [6].

### **3.2.2 Composites à particules**

Un matériau composite est un matériau composé de particules lorsqu'il contient des particules de renfort. Contrairement aux fibres, une particule n'a pas de dimension privilégiée. En général, les particules sont employées afin d'améliorer certaines caractéristiques des matériaux ou des matrices, telles que la solidité, la résistance à la chaleur, la résistance à l'abrasion, la réduction du retrait, etc... Bien souvent, les particules ne sont utilisées que comme charges pour diminuer le prix du matériau, sans en altérer les caractéristiques [6]

### 3.2.3 Composites structuraux

Il est possible de fabriquer un renfort en utilisant des fibres dispersées de manière aléatoire ou orientées dans une ou plusieurs directions. On peut définir des axes de renforcement en utilisant le croisement de fils (le tissage). D'autres structures en 3D ont également été créées pour renforcer le matériau et résoudre les problèmes de délaminage voire (Figure I-3) [6].

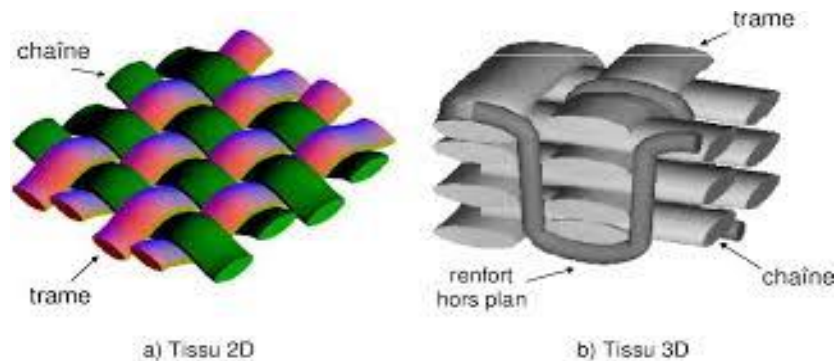


Figure I-3 : Structure 3D [6]

### 3.2.4 Les stratifiés

Un stratifié est constitué d'un empilement de monocouches ayant chacun une orientation propre à un référentiel commun aux couches et désigné comme le référentiel du stratifié Voir (Figure I-4). En jouant sur l'ordre et l'orientation de ces couches, il est possible d'adapter finement les propriétés mécaniques du stratifié aux sollicitations extérieures, et donc atteindre un haut niveau d'optimisation en mettant la matière là où elle est le plus utile [6].

### 3.2.5 Les Composites tissés

Les fibres sont tressées ou alignées dans ces structures en « câbles » appelés torons ou simplement fils, avec chacun quelques centaines ou milliers de fibres. Ensuite, ces fils sont tissés avec des motifs plus ou moins raffinés. Les motifs du tissu peuvent être très

divers en fonction des caractéristiques souhaitées du matériau, comme illustré dans la Figure I-5 [6].

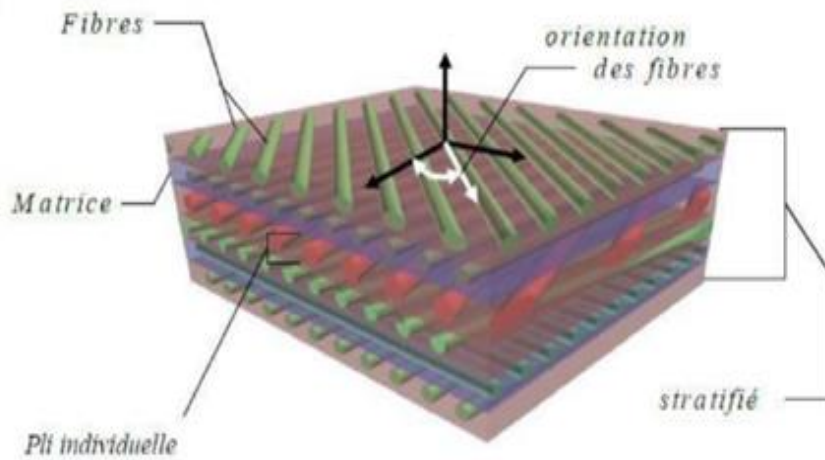


Figure I-4: composite stratified [6].

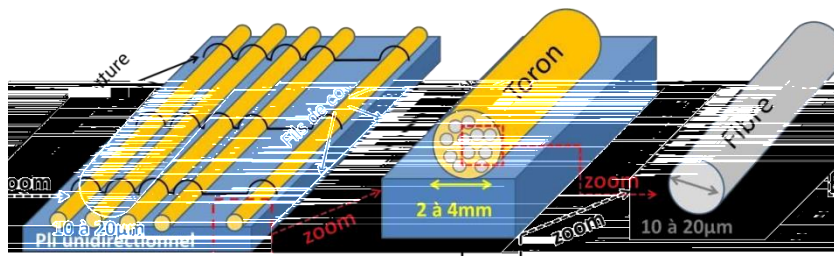


Figure I-5 : Représentation d'un pli unidirectionnel [6].

### 3.2.6 Les sandwichs

Les matériaux sont constitués de deux semelles (ou peaux) de grande rigidité et de faible épaisseur qui enveloppent une âme (ou cœur) d'épaisseur importante et de résistance faible. Ensemble, il s'agit d'une structure délicate. La légèreté de flexion du matériau sandwich est très faible (Figure I-6) [6].

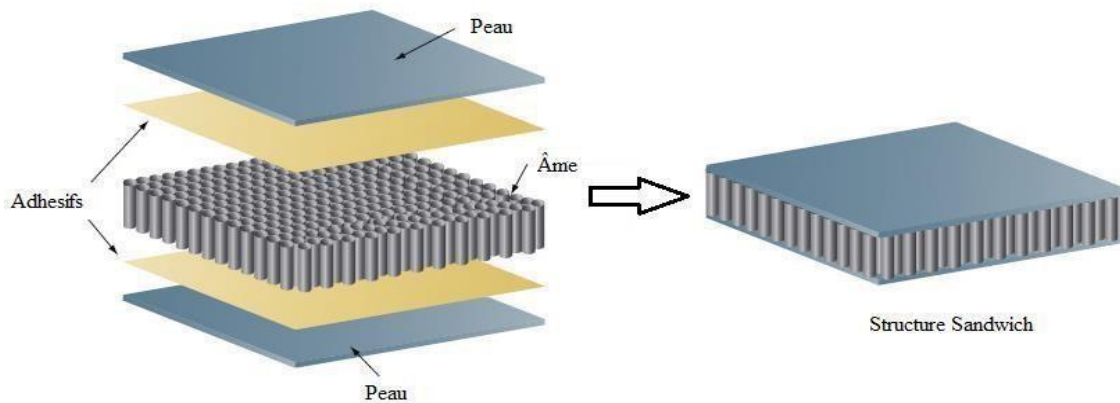
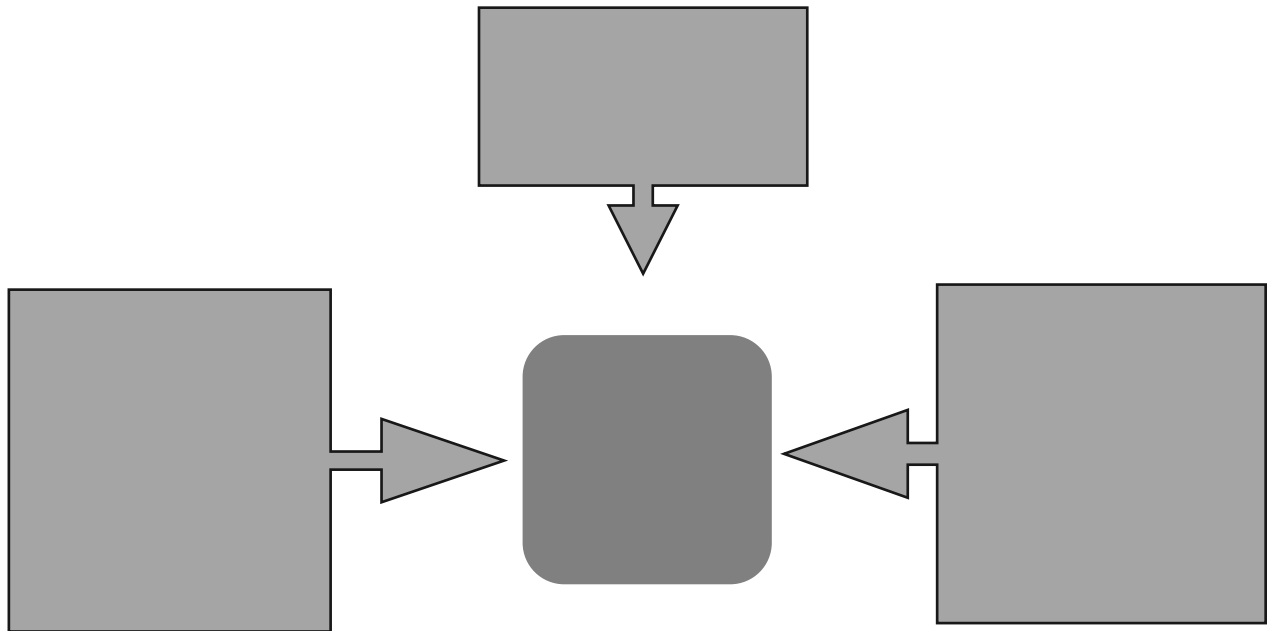


Figure I-6 : Structure sandwich [6].

## 4 Constituants des matériaux composites

L'assemblage d'une matrice, d'un élément renforçant et de différents additifs et adjuvants (agents de démoulage stabilisant, etc.), on obtient un matériau composite. Lorsque le matériau composite est en bonne santé, les renforts et la matrice sont parfaitement reliés et il n'y a aucun mouvement ni séparation entre les différentes phases de la structure pour obtenir des caractéristiques mécaniques optimales [4]. En dépit de la variété des matériaux composites (comme le Béton, le contreplaqué...), ce terme désigne principalement les pièces plastiques constituées d'une matrice polymère et d'un élément renforçant de type fibreux, comme le montre la figure I-7.



*Figure I-7 : Composition d'un matériau composite*

## 4.1 Les matrices :

Les fibres ne peuvent pas être directement employées dans une application mécanique, en raison de leurs dimensions restreintes (de 10 à 20  $\mu\text{m}$ ). C'est la raison pour laquelle l'incorporation de ces fibres dans une matrice polymère permet de former un composite à fibres.

La matrice est un liant polymérique qui, en collaboration avec un renfort, permet de le maintenir dans ses formes en assurant la cohérence de l'ensemble et le transfert des efforts. Elle joue un rôle dans les propriétés physicochimiques du produit final. La fonction principale de la matrice est de maintenir les renforts dans une structure compacte et de donner au produit la forme souhaitée.

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. Voir la figure I-8 [7]. 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 moulées ou mises en forme pour donner, soit un produit fini, soit un produit semi-fini dont la forme peut être modifiée.

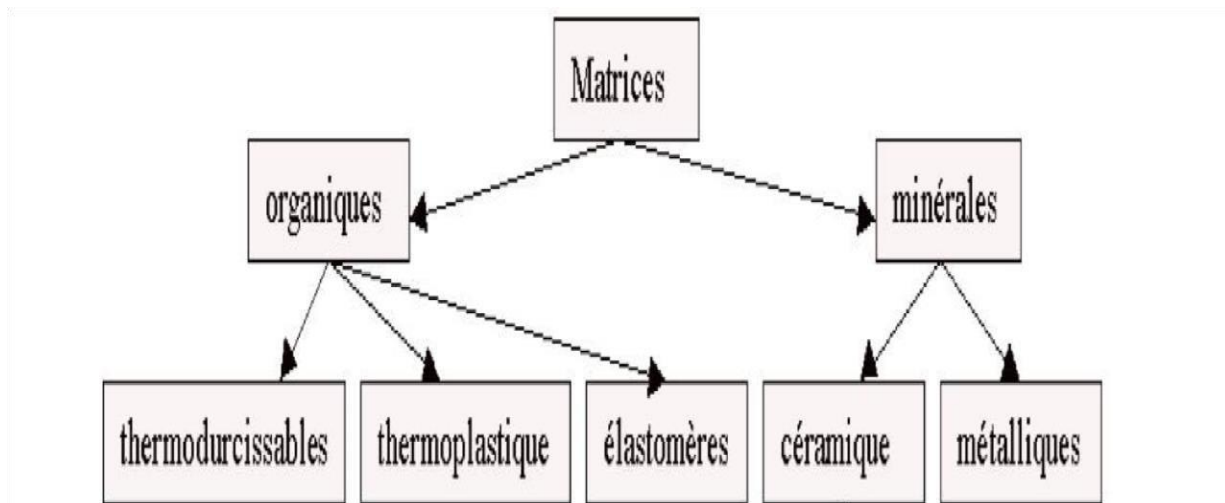


Figure I-8 : Organigramme des différentes familles de matrice [7]

### 4.1.1 Les résines thermoplastiques

Les thermoplastiques sont des structures polymères qui sont étroitement liées les unes aux autres. Ils sont solides (granulés, plaques, etc.) qu'on réalise en les humidifiant par chauffage, puis en les solidifiant par refroidissement. Les polymères les plus couramment utilisés sont le poly (chlorure de vinyle) pour les tuyaux, le poly (acétate de vinyle) pour

les colles et les adhésifs, le polyéthylène pour les jouets, les bouteilles ou les sacs de supermarché, le polypropylène pour les boîtes alimentaires ou les revêtements de sols, le polystyrène pour les contenants alimentaires, etc. L'une des principales caractéristiques qui gagne en importance dans la préservation de l'environnement est leur capacité à être recyclées et à résister à la chaleur, comme le montre le tableau I-1 [5].

*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

#### **4.1.2 Les résines thermodurcissables**

Les polymères thermodurcissables ne sont pas réutilisables, mais présentent des caractéristiques mécaniques et thermomécaniques supérieures aux thermoplastiques [9]. Ils présentent une texture liquide et visqueuse et sont créés par une réaction chimique de polymérisation avec l'ajout d'un durcisseur, ce qui entraîne une solidification. Les matériaux les plus couramment utilisés sont les polyesters insaturés (vinyle esters, dérivés allyliques, polyesters condensés, etc.), les résines époxydes et les résines de condensation (phénoliques, aminoplastes, etc.). Par rapport à eux, les thermoplastiques offrent de nombreux avantages fondamentaux importants, tels que la résistance à la fatigue et à l'impact, la longévité et la résistance à la corrosion [9]. Cela est mentionné dans le tableau I-2.

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

Résines	Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )	Résistance (MPa)	Module d'Young (GPa)	Allongement (%)
---------	---	---------------------	-------------------------	--------------------

les matrices les plus utilisées sont les alliages d'aluminium. Les matériaux utilisés comprennent du carbone et des fibres céramiques [4].

## **4.2 Les renforts**

En général, le renfort est fabriqué à partir d'un matériau plus rigide que la résine. Son objectif principal est de garantir une grande résistance, notamment à la traction, et il se présente généralement sous forme de fibres :

Fibers longues unidirectional.

Fibers longues tissues.

Fibres courtes reparties aléatoirement sans directions privilégiées.

En fonction de la forme des renforts, on distingue deux types de composites :

Les composites à fibres : constitués de fibres continues ou discontinues (fibres coupées ou courtes).

Ils ont la capacité de modifier les caractéristiques mécaniques du matériau et de produire des matériaux isotropes ou anisotropes en les orientant.

Les composites à particules : les particules sont généralement utilisées pour améliorer certaines propriétés des matériaux telles que : la dureté, la conductivité électrique... etc. voir (Figure I-9) [3].

### **4.2.1 Les fibres du verre**

Les fibres de verre se classent largement en tête des renforts utilisés actuellement dans la construction de structures composites en termes de rapport qualité-prix. Leur module de traction est faible, mais leur résistance en traction est intéressante [10].

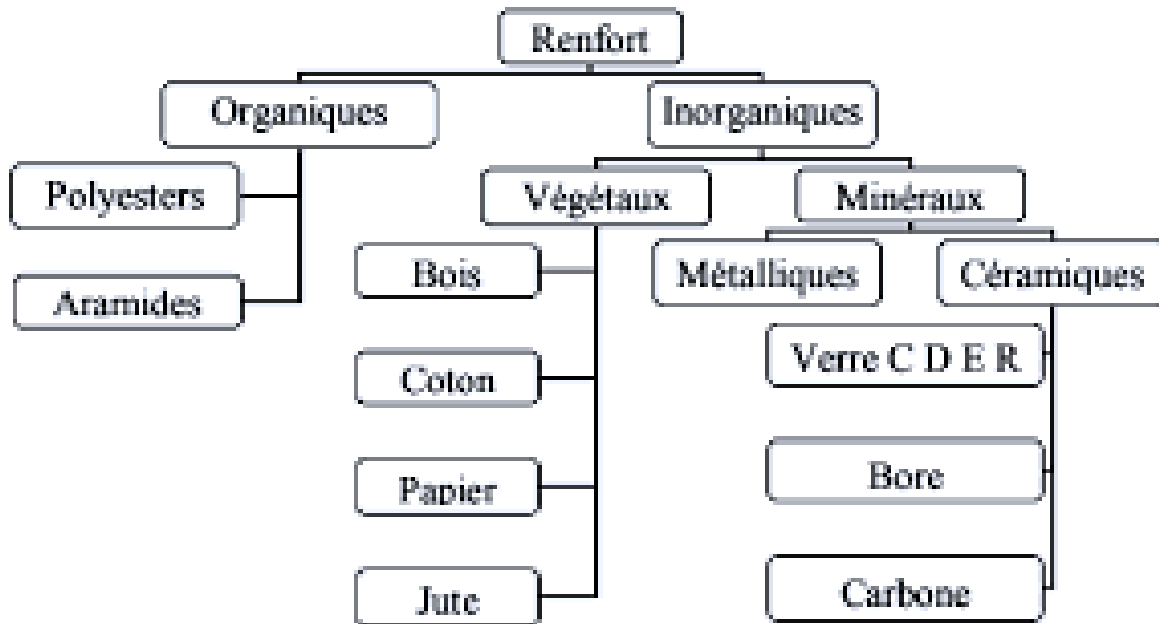


Figure I-9 : Organigramme des différentes familles de renfort [3].

Ils sont constitués de silicates et sont considérés comme des matériaux anisotropes. Le verre E : couramment employé et offrant de bonnes performances électriques. Les caractéristiques diélectriques du verre D sont avantageuses pour son utilisation dans le domaine de l'électronique (circuit imprimé). Le verre C possède une grande résistance chimique ce qui lui permet de s'adapter parfaitement aux couches superficielles des structures. Les verres R et S offrent une résistance mécanique remarquable lorsqu'il s'agit de réaliser des pièces de construction [10]. Voir la figure I-10.

Verre E : utilisé de manière générale et présentant de bonnes performances électriques.

Le verre D présente des caractéristiques diélectriques favorables pour son utilisation dans le domaine de l'électronique (circuit imprimé).

Le verre C présente une résistance chimique élevée, ce qui lui confère une bonne résistance pour les couches superficielles des structures.

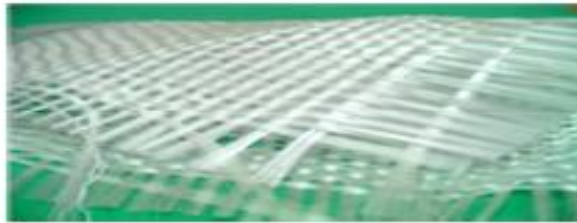
Les verres R et S présentent une grande résistance mécanique lorsqu'il s'agit de fabriquer des pièces structurales [10]. Voir le tableau I-3.



a-Roving de verre



c - Mat de verre



b - Tissu de verre

Figure I-10 : Les différents types de renfort de base [11]

Tableau I-3 : Caractéristiques mécaniques des fibres de verre [12].

Caractéristiques	Type E	Type D	Type C	Type R	Type S
<b>Résistance en traction (MPa)</b>	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

## 4.2.2 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 [13], Voir la figure-11. Les caractéristiques mécaniques des fibres de carbone sont extrêmement puissantes, avec une résistance pouvant aller jusqu'à 200 à 300 GPa. On les retrouve souvent comme élément de renforcement dans les composites polymères rigides [14], voir tableau I-4.

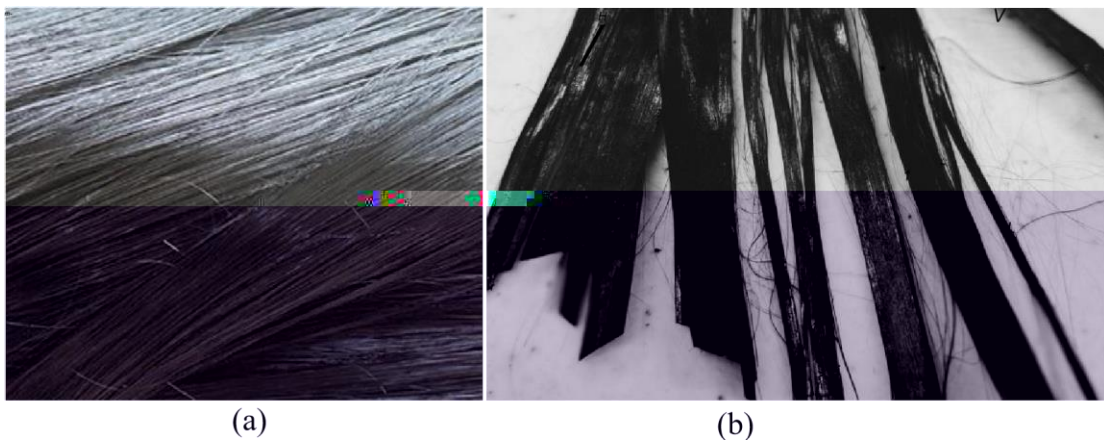


Figure I-11 : Fibres de Graphite (a), fibre de Carbone (b) [3].

Tableau I-4 : Caractéristiques mécaniques des fibres de carbone [15].

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	—

## 4.2.3 Fibres de jute

### 4.2.3.1 définition

La fibre de jute est un matériau naturel issu de la plante de jute. Sa solidité et sa longévité lui permettent d'être employée pour la fabrication de sacs, de tapis, de cordes et d'autres produits textiles. Les tiges de *Corchorusolitorius* et *Corchoruscapsularis* produisent de la fibre de jute.

Les fibres de ces espèces sont couramment cultivées en Inde et au Bangladesh. La toile de jute a été utilisée à la fin du XIXe siècle et au XXe siècle pour la fabrication de sacs de transport pour des produits alimentaires tels que le blé, les pommes de terre, le café, le cacao, le riz, etc. voir la figure I-12 [11].



*Figure I-12 : Fibres de jute [11]*

### 4.2.3.2 Historique et origine de la fibre de jute

La fibre de jute a une longue histoire qui remonte à des milliers d'années. Originaires d'Inde, elle était traditionnellement cultivée et utilisée pour fabriquer des tissus, des cordages et des sacs. Le jute a ensuite gagné en popularité en Europe et dans d'autres régions du monde au 19ème siècle en raison de sa durabilité et de sa polyvalence.

Aujourd'hui, la fibre de jute continue d'être largement utilisée dans divers secteurs, notamment l'emballage, la construction et la mode, en raison de ses nombreuses qualités.

#### 4.2.3.3 Microstructure d'une fibre de jute

La fibre de jute provenant d'une tige après rouissage présente une structure cellulaire constituée de cellulose, entourée d'une autre structure amorphe de lignine et d'hémicellulose, formant ainsi quelques cellules ou fibrilles [16]. Les fibres ont une structure moléculaire qui se compose d'un ensemble de cellules distinctes les unes des autres. Chacun de ces cellules est constitué de deux parois cellulaires principales : la primaire et la seconde. Fig. I.10. La paroi principale est constituée d'une paroi intérieure mince. La paroi supérieure est constituée d'un mur extérieur dense. Des fibrilles sont présentes dans le mur cellulaire, entrecroisées et disposées en spirale avec un angle de 7-8° par rapport à l'axe des cellules. Les fibres présentes à l'intérieur des cellules d'une fibre de jute, ces régions cellulosiques sont très recommandées pour leurs caractéristiques et représentent la partie la plus épaisse, représentant 76 % de l'épaisseur de la paroi cellulaire de la fibre [17]. En moyenne, les fibres ont une longueur de 2 mm et une largeur de 20  $\mu\text{m}$ . Le Kenaf présente des caractéristiques mécaniques similaires à celles de cette fibre. La fabrication de portes en panneaux composites en Allemagne a été basée sur l'utilisation de composites à matrice thermoplastique renforcée par des fibres de jute [18].

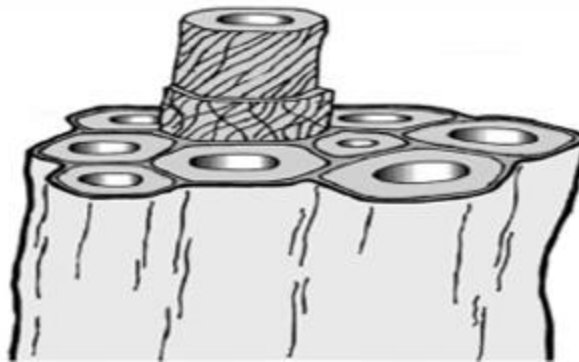


Figure I-13 : Représentation schématique de la tige de jute après rouissage [18]

#### 4.2.3.4 Propriétés physiques et chimiques de la fibre de jute

La fibre de jute possède des propriétés physiques et chimiques uniques qui la rendent idéale pour diverses applications industrielles et environnementales. Sur le plan physique, la fibre de jute est légère, souple et facilement teignable, ce qui la rend polyvalente pour la fabrication de textiles, cordages et matériaux de construction. Du point de vue chimique, la fibre de jute est principalement composée de cellulose, ce qui lui confère une grande résistance à la décomposition et une bonne durabilité. De plus, sa faible conductivité thermique en fait un matériau isolant efficace, et sa capacité à absorber l'humidité en fait un choix écologique pour les emballages et les textiles voir la figure I-14.

Fibres	Longueur de la fibre (mm)	Diamètre de la fibre ( $\mu\text{m}$ )	Angle micro fibrillaire ( $^{\circ}$ )
Cotton	35	10-45	-
Lin	4-77	5-76	10
Chanvre	5-55	10-51	6.2
Kénaf	2.5-4.5	14-33	-
Jute	2.5	5-25	8
Sisal	900	8-50	20
Rami	900-1200	20-80	7.5
Noix de coco	03-1	12-24	45

Figure I-14: Propriétés morphologiques de quelques fibres végétale[20]

#### 4.2.3.5 Applications industrielles de la fibre de jute

La fibre de jute trouve de nombreuses applications industrielles en raison de ses propriétés telles que sa résistance, sa durabilité et sa biodégradabilité. Elle est largement

utilisée dans la fabrication de sacs, de tissus d'emballage, de cordes et de tapis. De plus, la fibre de jute est également employée dans la construction comme renfort pour le béton et les composites. Dans l'industrie automobile, elle est utilisée pour renforcer les pièces en plastique. Ces applications industrielles démontrent la polyvalence et la fiabilité de la fibre de jute dans divers secteurs.

#### **4.2.4 Fibres céramiques**

Les renforts et la matrice en céramique sont fréquemment utilisés dans la fabrication de matériaux composites céramiques. On fabrique les fibres en déposant des substances chimiques en phase vapeur sur un fil de support. Ces fibres sont utilisées dans des conditions de température extrêmement élevées, allant de 500°C à 2000°C. On utilise principalement ces matériaux dans les parties chaudes des moteurs d'avions [13]. Les principales fibres céramiques sont :

- fibres de carbure de silicium

- Bore fibres.

- Bore fibres en carbure de silicium..

#### **4.2.5 Diverses sortes de fibres**

Cette section regroupe tous les autres types de fibres mentionnés précédemment. En général, ces fibres sont employées dans des domaines spécifiques tels que les papiers spéciaux, afin d'obtenir une conductivité électrique optimale. Ces fibres ont des modules d'élasticité assez faibles par rapport aux autres fibres mentionnées précédemment [8]. Il s'agit des fibressuivantes :

- Les fibres végétales telles que la cellulose, le lin, le chanvre, etc.

Les fibres matériaux minéraux tels que l'amiante et la silice. Les fibres fabriquées à partir de polyesters, de polypropylène ou de polyéthylène (Les fibres synthétiques).

Les fibres métalliques utilisent fréquemment des fibres métalliques (acier, cuivre, aluminium).

Ces fibres sont appréciées pour différentes raisons, telles que :

Leur faible coût de production.

Leur capacité d'isolation thermique élevée.

Leur conductivité thermique et électrique élevée.

Leur capacité d'isolation acoustique [7].

### **4.3 Les charges :**

L'objectif du renfort de charge est d'améliorer les performances mécaniques de la résine, ou de réduire le coût des résines tout en préservant leurs performances. Ces charges sont généralement constituées de microbilles ou de particules (poudre) [14]. Les principaux matériaux utilisés sont :

Microbilles telles que le verre, le carbone, l'époxyde, le phénolique, le polystyrène...

Des particules métalliques telles que le cuivre, le fer, l'aluminium, etc.

Des molécules de carbone (carbone noir).

## **4.4 Les additifs :**

Ceux-ci sont nécessaires pour assurer une adhésion suffisante entre le renfort fibreux et la matrice et pour modifier l'aspect ou les caractéristiques de la matière à laquelle ils sont intégrés [13]. Les additifs se trouvent dans des quantités limitées (quelques % et moins) et ont des effets divers :

Lubrifiants et agents de démoulage.

Pigments et colorants.

Agents anti-retraits.

Agents anti-ultraviolets.

Accélérateur.

Catalyseur.

## **4.5 L'interface fibre/matrice:**

Outre ces fibres et la matrice, il est nécessaire d'inclure une interface qui garantit la compatibilité entre le renfort et la matrice, en transférant les contraintes de l'un à l'autre sans déplacement relatif, garantissant ainsi une bonne adhérence en couche fine. Des substances chimiques sont également présentes dans la composition du composite, telles que l'interphase, etc., ce qui peut avoir un impact sur le comportement mécanique, mais elles ne sont presque jamais impliquées dans le calcul de la structure composite [14].

## 4.6 Les Gelcoats :

Un gelcoat est une couche de surface fabriquée à partir de résine spécialement conçue pour répondre à différentes exigences, comme :

- Texture de surface.
- Brillance.
- Couleur.
- Dureté.
- Résistance à la corrosion.
- Résistance à l'impact.
- Résistance au feu.
- Résistance aux rayures.

Les gelcoats sont un liquide homogène qui est constitué de :

- Une résine de base.
- De charges diverses.
- Des pigments.
- Divers additifs disponibles.

En règle générale, les gelcoats sont utilisés en fond de moule, que ce soit à la brosse ou en pulvérisation, avec des épaisseurs variant de 0,4 à 0,6 mm.

## 5 Mise en œuvre des matériaux composites

Plusieurs techniques de production ont été élaborées afin de satisfaire les exigences de l'industrie. Leur sélection repose principalement sur les caractéristiques mécaniques et la géométrie du produit que nous souhaitons obtenir.

## **5.1 Les technologies en moule ouvert**

Les technologies en moule ouvert sont :

Moulage au contact

Moulage par projection

## **5.2 Les technologies en moule fermé**

Les technologies en moule fermé sont :

Injection basse pression RTM (Resin Transfer Moulding)

Injection basse pression assistée par le vide (RTM Light)

Le moulage sous bâche à vide

Moulage par injection de compound BMC

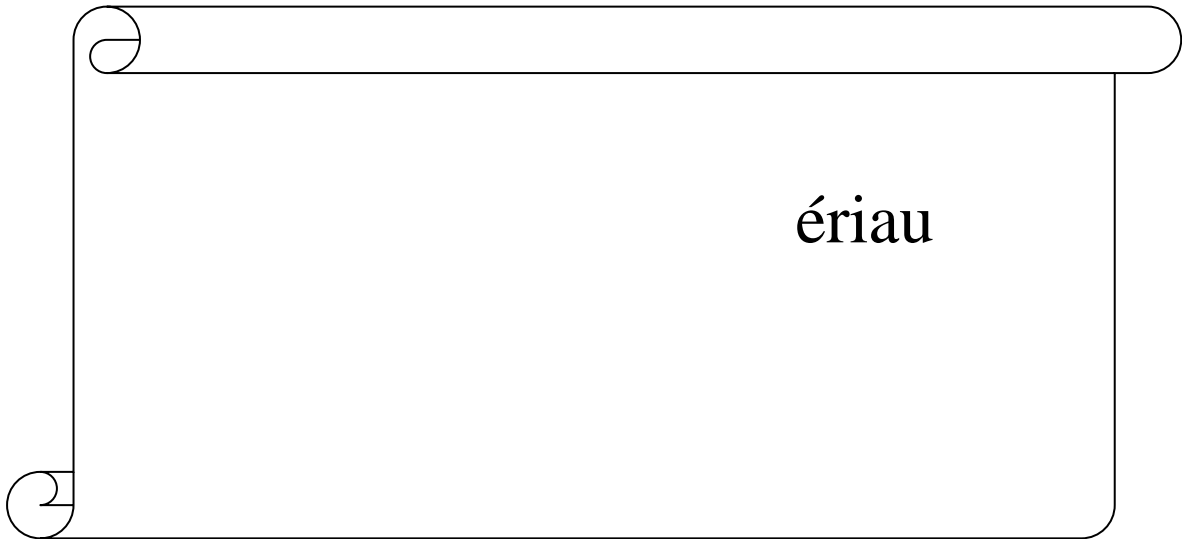
Enroulement filamentaire (ou bobinage)

L'infusion

Le thermoformage

L'estampage

**Chapitrell:**



# 1 Introduction

Dans cette partie, on s'intéresse principalement à l'étude purement expérimentale. Nous allons présenter les constituants, les appareils, instruments utilisés pour l'élaboration du matériau composite (résine, fibre de verre, fibre de jute, le moule...). On donne une description de la méthode de mise en œuvre (moulage par contact) et de la fabrication des éprouvettes composites.

L'étude sera donc réalisée sur deux variantes de composites (fibre de verre tissées, mat de verre et fibre de jute) renforcés par une résine polyester PRE-631 TAB produit par l'entreprise POLERS POLYESTER [19].

## 2 Le matériau d'étude

La composition du matériau étudié comprend une matrice de résine PRE-631 TAB THIXOTROPIC POLYESTER, une résine polyester thermodurcissable, ainsi que trois types de renforts : un tissu de verre (400g/m<sup>2</sup>), un mat de verre (300g/m<sup>2</sup>) et une toile de jute (425g/m<sup>2</sup>).

### 2.1 Renfort (fibre de verre et fibre de jute)

Les fibres de verre et de jute sont des matériaux largement utilisés dans l'industrie des composites pour renforcer les structures et améliorer leurs propriétés. Les fibres de verre offrent une résistance mécanique élevée et une bonne stabilité dimensionnelle, tandis que les fibres de jute, d'origine naturelle, sont appréciées pour leur légèreté et leur caractère écologique [20].

## 2.2 Composition chimique de fibre de verre

Le tableau suivant montre la composition chimique des fibres de verre (Tableau II-1) :

Tableau II-1 : Composition chimique du verre E utilisé comme renfort [21].

Composition chimique de verre E	SiO <sub>2</sub> (silice)	B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (trioxyde de bore)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (L'alumine)	CaO (L'oxyde de calcium)
Teneur en %	54.5	8.5	14.5	22

## 2.3 Composition chimique de la fibre de jute

La fibre de jute est une fibre végétale naturelle largement utilisée dans diverses applications industrielles en raison de ses propriétés uniques. Originaire de la plante de jute, l'analyse des composants chimiques de la fibre de jute est cruciale pour comprendre sa structure et ses propriétés. Les principaux composants de la fibre de jute sont la cellulose, l'hémicellulose, la lignine, les pectines et les sels minéraux. La cellulose est le polymère le plus abondant, représentant environ 60-70% de la fibre. L'hémicellulose, quant à elle, constitue environ 20-25% et est responsable de la cohésion entre les fibres. La lignine est présente en plus faible quantité, conférant à la fibre sa résistance. Les pectines et les sels minéraux sont des composants mineurs mais jouent un rôle dans la structure globale de la fibre.

### 2.1.1 Le MAT De Verre

Le mat de verre est principalement composé de fibres de verre coupées et agglomérées de manière aléatoire, avec un liant servant à renforcer les matières synthétiques en fibres de verre. Les fibres de verre sont disposées dans différentes orientations, ce qui permet

une distribution homogène de la charge et une augmentation de la résistance mécanique. La taille des fibres et la quantité de liant utilisée influencent la structure interne du MAT de verre, ce qui impacte directement ses propriétés de renforcement.

Tableau II-2 : Tableau des caractéristiques du produit [6].

Poids surfacique	300g/m <sup>2</sup>
Matériau	Verre E
Longueur des fills	50 mm
Matière des fills	silane

Mat de verre standard C'est le type de mat de verre le plus courant, disponible dans une gamme de poids allant généralement de 100 à 800 g/m<sup>2</sup>. Il est utilisé dans une large gamme d'applications, y compris la construction, la réparation de bateaux, la fabrication de pièces en composites, etc. dans notre travail nous avons utilisé le mat de verre de masse surfacique 300g/m<sup>2</sup>. Voir (Figure II-1).



Figure II-1:mat de verre 300g/m<sup>2</sup>.

## 2.1.2 Tissu de verre (roving) :

Le tissu de verre, également connu sous le nom de roving, est un matériau constitué de fibres de verre longues et fines agencées de manière parallèle. Dans notre travail nous avons utilisé roving de masse surfacique 400 g/m<sup>2</sup>, Le tissu de verre possède des propriétés mécaniques exceptionnelles qui le rendent idéal pour diverses applications industrielles. Sa résistance à la traction est très élevée, ce qui le rend parfait pour renforcer des matériaux composites ou des structures nécessitant une grande robustesse. De plus, sa résistance à la compression et à la flexion en fait un matériau polyvalent capable de supporter des charges importantes sans se déformer. La stabilité dimensionnelle du tissu de verre permet également son utilisation dans des environnements exigeants où les variations de température et d'humidité sont fréquentes, sans altérer ses performances mécaniques. Le tableau II-3 fournit des détails supplémentaires sur les caractéristiques de ce tissu. Voir (Figure II-2).

Tableau II-3 : Tableau des caractéristiques du produit [7].

Poids au m <sup>2</sup>	300g/m <sup>2</sup>
Matériau	Verre E
Matière des fils	Silane



Figure II-2 : tissu de verre 400g/m<sup>2</sup>.

### **2.1.3 Toile de jute :**

La fibre de jute se distingue par sa longueur allant jusqu'à 3 mètres et son diamètre de 16 à 18 micromètres, qui lui confère une grande résistance mécanique. Sa structure cellulaire présente des parois minces et des canaux intercellulaires, lui permettant d'absorber et de retenir l'humidité. De plus, sa composition chimique principale est la cellulose, ce qui la rend biodégradable et écologique, tout en lui assurant une bonne flexibilité. La fibre de jute offre ainsi un potentiel d'utilisation dans divers domaines industriels grâce à ses caractéristiques structurelles et mécaniques uniques. Le Tableau II-5 contient Pourcentage des trois composants essentiels de quelques fibres.

Dans notre travail nous avons utilisé toile de jute 425g/m<sup>2</sup>, comme celui sur la figure II-3.

## **2.2 Matrice**

La PRE-63 TAB est une résine polyester à base d'orthophtale, à réactivité moyenne, à viscosité moyenne, à propriétés thixotropiques, pré-accélérée avec un indicateur de couleur bleue, destinée aux applications de GRP, de FRP et de casting clair. PRE-63 TAB convient pour les systèmes de lay-up à la main et à la pression, ainsi que pour la fabrication de pièces automobiles, de bateaux de mer, de yachts, de cabines modulaires, de réservoirs d'eau et de production d'un marbré artificiel. Observez (Figure II-4) [22]. Le tableau II-5 présente les caractéristiques techniques des résines polyester.

Tableau II-4: Pourcentage des trois composants essentiels de quelques fibres

Types de fibre	cellulose	hémicellulose	Lignine
Coton	82.7	5.7	-
Jute	64.4	12.0	11.8
Zoster	57	28	5
Ramie	68.6	13.1	0.6
Sisal	65.8	12.0	9.9
Chanvre	57-77	14-17	9-13
Kénaf (écorce)	44-60.8	20.3-23	10-19
Kénaf (bois)	37-49	18-24	15-21
Résineux	48.0	15.0	25.3



Figure II-3 : Sac toile de jute



Figure II-4: la résine utilisé PRE-631 TAB.

### **3 Mise en œuvre des matériaux stratifiés**

Plusieurs techniques de production ont été élaborées afin de satisfaire les exigences de l'industrie, leur sélection repose principalement sur les caractéristiques mécaniques et la structure du composite et dans cette étude, nous utiliserons la technologie en moule ouvert (le moulage au contact).

#### **3.1 le moulage au contact**

Le moulage en Contact est une méthode de moulage ancienne et c'est une méthode assez simple qui demande un peu de concentration. Cette technique permet de produire des pièces complexes avec une grande précision dimensionnelle et une finition de surface élevée Comme le montre figure II-5.

Tableau II-5 : caractéristiques des résines polyester selon la fiche technique[14].

Couleur	Bleuté
Description	Thixotrope
Contenu chimique	Orthophytalique / Standard Glycol
<b>Propriétés sous forme liquide</b>	
Accélérateur	Oui
Réactivité	Moyenne
Thixotropie	Oui
Viscosité (cPs)	250-350
Durée du gel (Min)	24-26
Taux de monomère %	35-45
<b>Propriétés solides</b>	
HDT °C	65-75
Dureté Barkol (934-1)	42-47
Résistance de tendance (MPa)	110-130
Résistance à la traction (MPa)	70-80
Impact Résistance (kJ/m <sup>2</sup> )	5-15
Fonctionnalités	Apparence lumineuse et vibrante

<p>Faible retrait volumétrique</p> <p>Sans paraffine</p> <p>Roulage facile</p> <p>Mouillage rapide et facile des fibres</p> <p>Contient un indicateur Mek-P</p>	
<p><b>Mode d'application</b></p>	
<p>La RESINE POLYESTER est utilisée aussi bien en moulage, projection qu'en imprégnation.</p> <p>Additionner 3% de durcisseur à la résine, mélanger soigneusement pour obtenir un mélange homogène.</p> <p>Appliquer la résine sur les tissus à imprégner, la résine imprègne rapidement les tissus</p>	
<p><b>Emballage et conservation</b></p>	
<p>Conditionnement</p>	<p>seau 18 kg, fut métallique 230 kg, réservoir IBC 1 mt</p>
<p>Stockage</p>	<p>3 mois à l'obscurité et à une température maximum de 30°C</p>

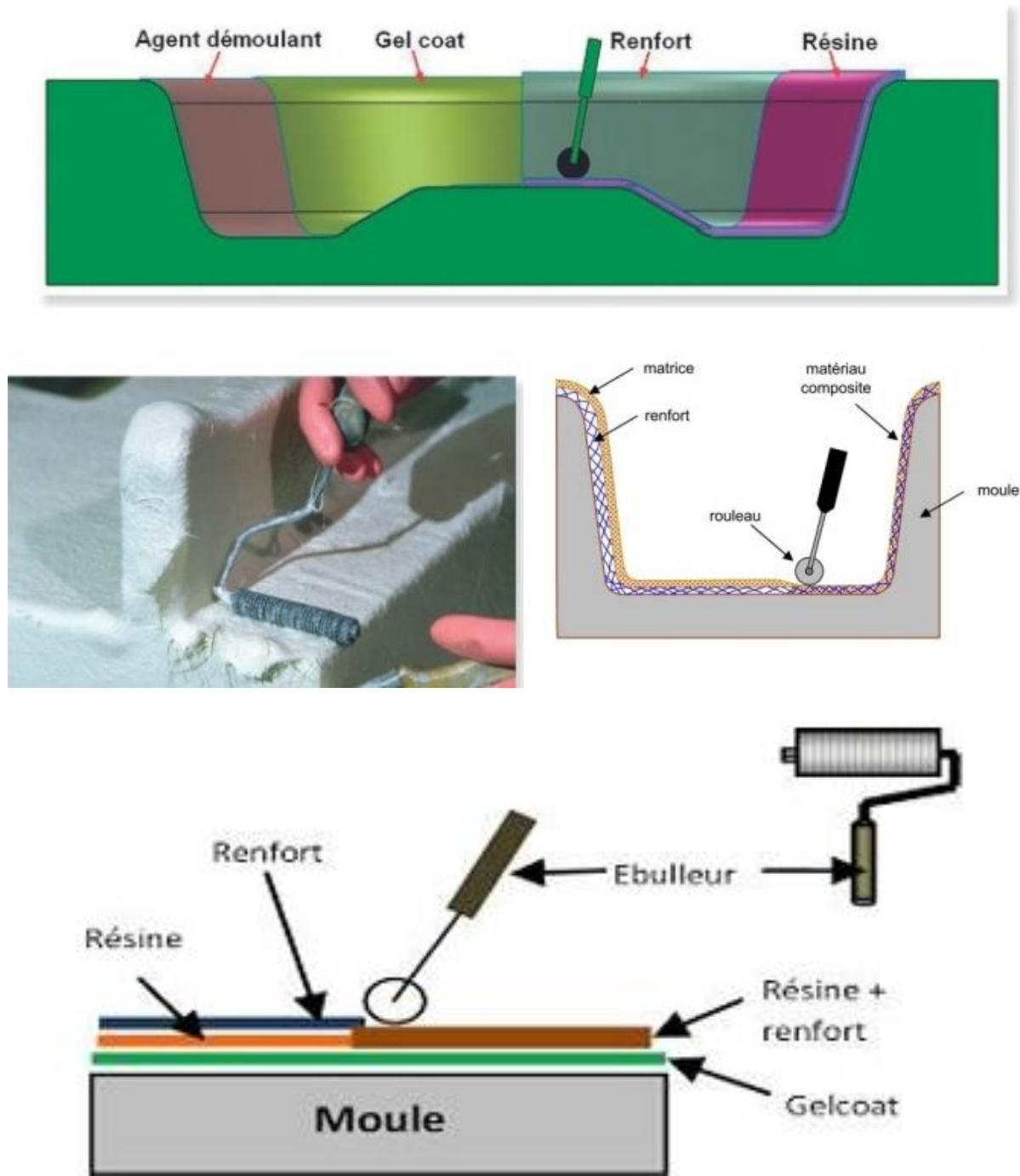


Figure II-5: Principe du moulage au contact

### 3.2 Matériaux et produits utilisés :

Les matériaux et produits que j'ai achetés dans le but de les utiliser pour ce projet et sont donnés sur la figure II-6 :

Moule et contre moule  
Pinceau  
Agitateur  
Masques protecteurs jetables  
Gents jetables  
Ruban adhésif  
Pots pour mélanger la résine  
Diluent  
Balance électronique  
Ciseau  
Bache plastique  
Gelcote  
Les fibres de verre (mat et tissu)  
Les fibres de jute  
La résine polyester  
Durcisseur



*Figure II-6: matériels et produit utilisé pour l'élaboration du matériau*

### **3.3 Modèle de moulage utilisé durant l'élaboration de notre matériau :**

Le processus du moulage par contact est basé sur la réaction chimique entre la résine et le catalyseur, ainsi que sur la pression exercée sur le renfort sous forme de tissu, qui est manuellement placé dans le moule. Grâce à cette méthode, on peut obtenir des pièces composites qui présentent une résistance mécanique élevée et une finition de surface exceptionnelle. Il est crucial de combiner ces éléments avec un contrôle précis des paramètres de température et de pression afin d'assurer la qualité des pièces fabriquées.

### **3.4Elaboration des plaques de composites :**

Les travaux de conception ont été effectués dans l'atelier de fabrication mécanique du département de Génie mécanique de l'Université de Tlemcen. La fabrication du matériau a été effectuée de manière manuelle. Les fibres de jute et les fibres de verre sont d'abord coupées en morceaux égaux, puis pesées individuellement. La résine préparée est ensuite étalée entre quatre morceaux de fibres de jute de 30 x 30 mm<sup>2</sup>. Finalement, assemblée à l'aide d'un contre-moule (Figure II-7).

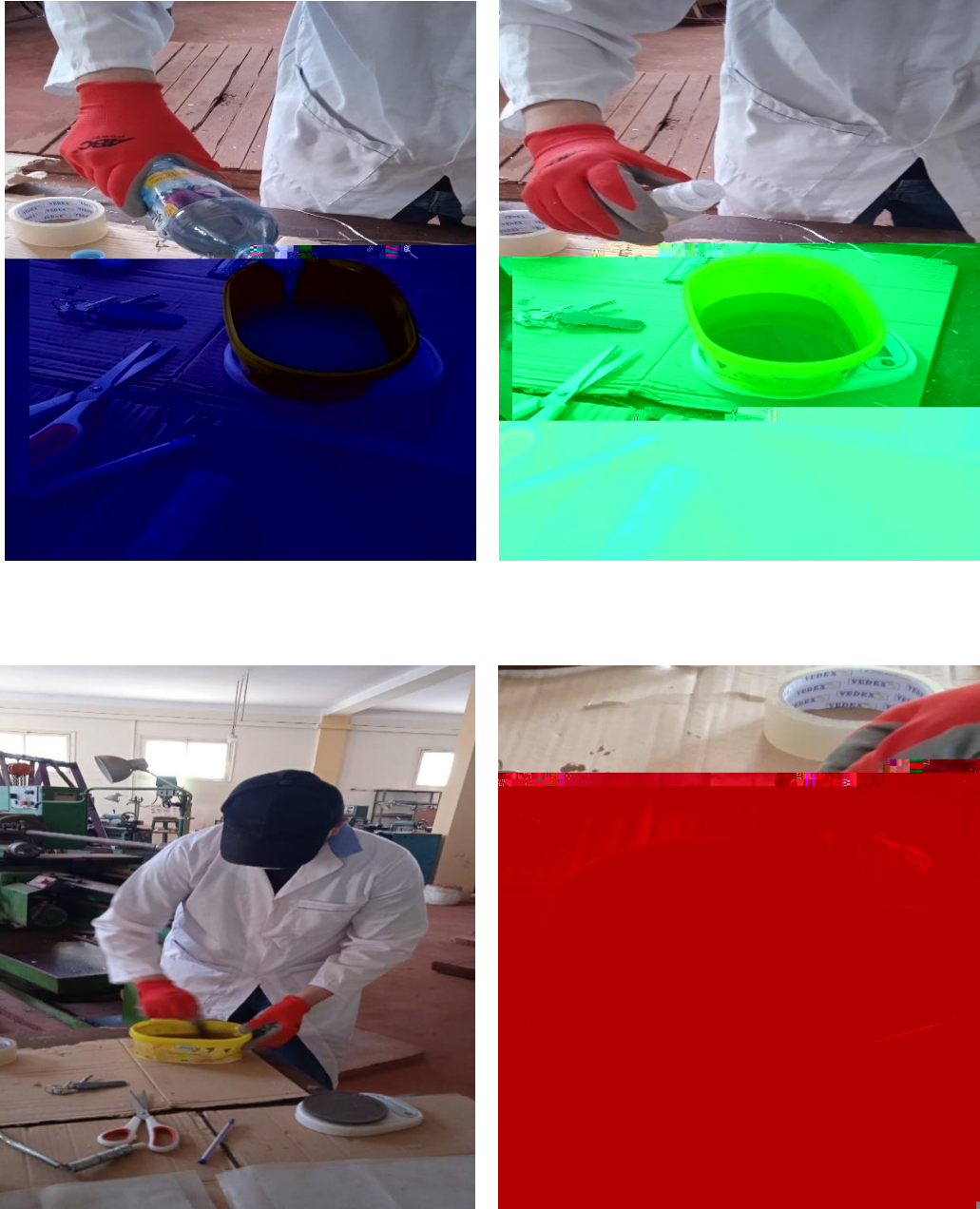




*Figure II-7 : Processus de coupe de fibres*

La préparation de la résine pour la plaque de jute est faite comme suit :

On pèse 700g de résine, à laquelle on ajoute 2% de durcisseur qui vaut 14g, qu'on mélange soigneusement afin d'éviter la formation des bulles d'air (Figure II-8).



*Figure II-8 : la préparation de la résine*

Ensuite, nous plaçons le morceau de fibres de jute sur une couche de résine et on commence par imprégner les autres morceaux les un après les autres de résine jusqu'à la saturation tout en utilisant le d'ébulleur pour chassé les bulles d'air qui peuvent engendrer des porosités dans notre matériau et considéré comme défaut de confection (Figure II-9).



*Figure II-9 : moulage au contact*

A la fin du processus, on place un morceau de plastique recouvert de gélcote sur le dernier morceau du renfort de jute, puis on compacte le tous avec un contre-moule et on exerce un petit serrage avec du ruban adhésif pour que le moule et le contre moule ne glisse pas. Un objet lourd et placé audessus du dispositif pendant

huit heures. Après cela, nous procéderons au démoulage, ce qui nous donnera la forme montrée dans la figure II-10 et figure II-11.



*Figure II-10 : la fixation du moule*



*Figure II-11 : Le processus d'ouverture du moule et d'extraction de la plaque*

Reprendre le même procédé pour les deux autres renforts (le tissu de verre et le mat de verre) comme représenté sur la figure II-12.



*Figure II-12 : Préparation du MAT de verre et roving*

### **3.5 Découpe des éprouvettes :**

Nous avons utilisé quatre plis de fibres de jute pour la réalisation la première plaque, la deuxième plaques aussi composé de quatre plis de fibres de verre et pour le mat de verre six plis de tissu de verre. Ainsi, nous avons obtenu trois plaques de dimension (300 x300) mm<sup>2</sup>. Nous découpons les bavures de chaque plaque et les réduire sous forme de plaque carrée, ensuite nous découpons chaque plaque en éprouvettes de (200 x 20) mm<sup>2</sup>, avec des épaisseurs différentes comme illustré dans les Figures (Figure II-13, Figure II-14 et Figure II-15) et le tableau II-6.



Figure II-13 : Les plaquescomposit

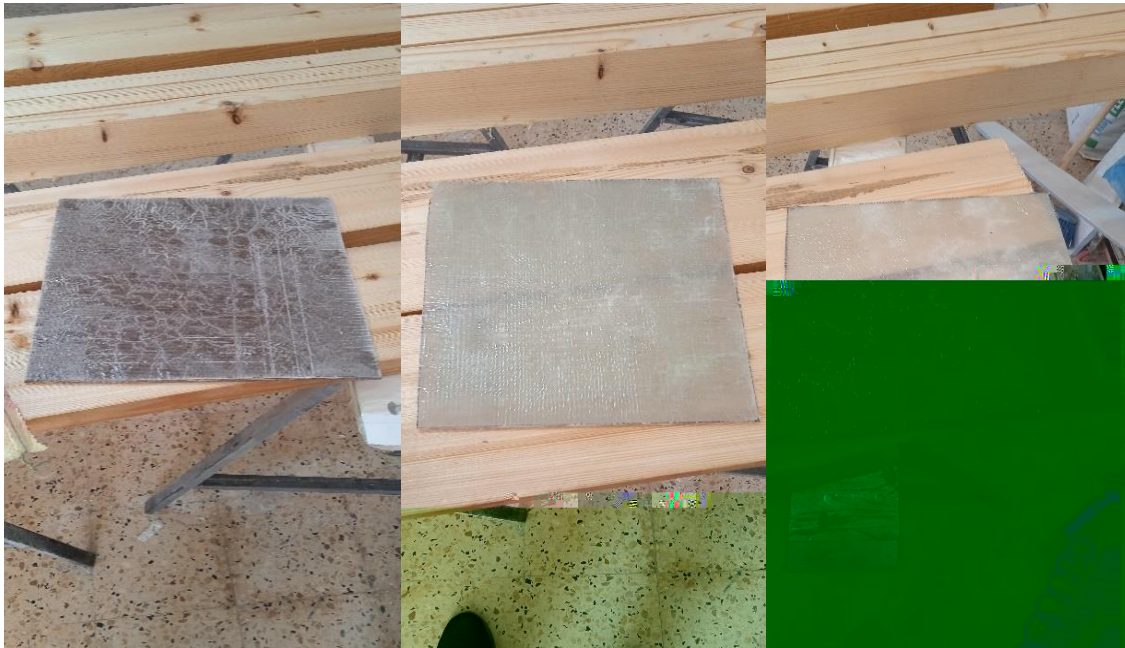


Figure II-14 : Les plaques découpés

Tableau II-6 : Tableau des dimensions des plaques.

		Tissu de verre	Mat de verre	Toile de jute
Longueur moyenne (mm)	initiale	260	300	300
	finale	250	290	290
Épaisseur moyenne (mm)	initiale	4	2	6
	finale	4	2	6
Largeur moyenne (mm)	initiale	260	300	300
	finale	250	280	290
Poids total (g)	initiale	470	337	836
	finale	381	254	671
La masse volumique de composite (Kg / m <sup>3</sup> )	$\rho = m/v$	1524	1564.039	1329.766
	finale			



Figure II-15 : Les éprouvettes sans étalons

Les éprouvettes sont d'abord divisés en deux groupes, le premier est muni des étalons et l'autre sans. Des morceaux métalliques de dimensions 40 x 30 mm sont prélevés et utilisés comme étalons. Ils sont ensuite positionnés à l'extrémité des éprouvettes et fixés avec de la résine. Un contre poids est ensuite placé dessus pour assurer une parfaite adhérence avec les éprouvettes et ce jusqu'à polymérisation totale (Figure II-16).

Les éprouvettes de jute sont divisés en deux, l'une était coupée en sens chaîne et l'autre en sens trame. Donc nous avons obtenue quatre types de spécimens : voir (Figure II-17)

Le jute coupée sens chaîne (JC) et jute coupée sens chaîne avec étalons (JCE)

Le jute coupée trame (JT) et jute coupée sens trame avec étalons (JTE)

Les fibres de mat de verre (FVM) et les fibres de mat de verre avec étalons (FVME)

Les fibres de tissu de verre (FVT) et les fibres de tissu de verre avec étalons (FVTE)



Figure II-16 : Les éprouvettes avec étalons

### 3.6 Géométrie des éprouvettes :

Les dimensions des éprouvettes sont données par tableau II-7 et la figure II-17.

Tableau II-7 : Tableau des dimensions des éprouvettes.

Les différentes dimensions	Les éprouvettes de Mat de verre « mm »	Les éprouvettes de tissu de verre« mm »	Les éprouvettes de jute « mm »
L : Longueur totale	200	200	200
l: Largeur moyenne	20	20	22
e :Epaisseur	2	4	6
L0:Longueur recommandé pour les extensomètres	90	90	110



Figure II-17 : Préparation de découpe du tissu.

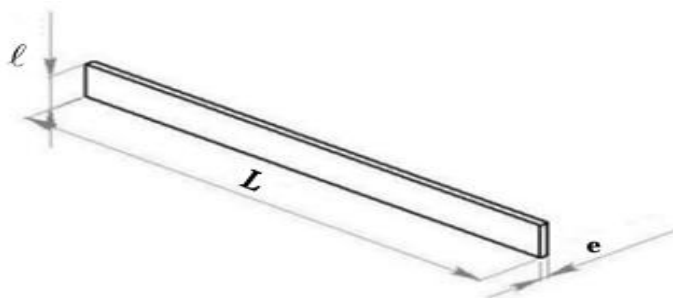


Figure II-18 : schéma d'une éprouvette [17]

### Chapitre III :

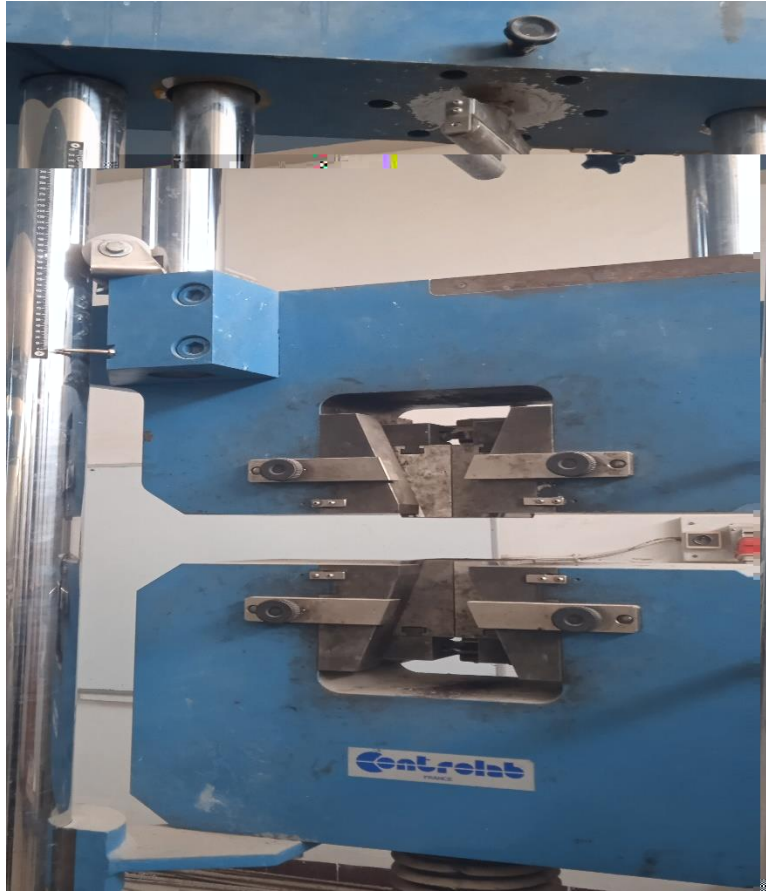


# 1 Introduction

'DQV FH FKDSLWUH QRXV DERUGRQV XQH pWXGH VXU OH F  
YDULDQWHV GH WUDSLVLRQHV&HV PDWpULDX[ VRQW FRPSRVp  
7\$% 7+ , ; 27523 , & 32 / < ( 67 ( 5 UHQIRUFpH SDU GLIIPUHQWV PDW  
URYLQJ XQ PDW GH YHUUH UpVLQH PDW J P DLQVL  
J P /DFDUDFWpULVDWLRQ PpFDQLTXHV SDU GHV HVVDLV  
QRXV SHUPHW GH FRPSUHQGUH OH FRPSRUWHPHQW PpFDQL  
/RUV GHV HVVDLV PpFDQLTXHV VXU OHV FRPSRVLRQHV VWUD  
VRQW REVHUYpV QRWDPPHQW OD ILVWXUDWLRQ GH OD PD  
GpODPLQDJH HW ILQDOHPHQW OD UXSWXUH GHV IXVpHV &H  
SDU GHV LPSHUIHFWRQV GDQV OH SURFHVVXV GH IDEULFD  
SHQGDQW OHXU XWLOLDWLRQ RX HQFRUH SDU O LPSDFW

# 2 Essai mécanique

/H SULQFLSH IRQGDPHQWDO GH O HVVDL PpFDQLTXH HVW G  
PDWpULDX FRPSRVLRQ DILQ G pYDOXHU VHV SURSULpWpV P  
WpQDFLWp HW OD GXFWLQWp &HV HVVDLV SHUPHQW  
PDWpULDX VRXPLV j GHV FRQWUDLQWHV H[WHUQHV HVVHC  
SURGXLWV /HV GLIIPUHQWHV PpWKRGHV G HVVDL PpFDQLT  
OD FRPSUHVVLRQ VRQW EDVpHV VXU GHV SULQFLSHV DSQW  
DLQVL XQH DQDO\XH SUPFLVH GHV SHUIRUPDQFHV GHV PDW  
QRXV UpDOLVRQV XQ SURFpGp GH WUDFWLRQ GX PDWpULDX  
YHUUH HW GH IDEULFDQW, MXWH



*Figure III-1 : essai mécanique*

## **2.1 Essai de traction :**

La technique la plus traditionnelle et la plus largement étudiée pour déterminer les propriétés élastiques et plastiques d'un matériau, ainsi que son niveau de résistance à la rupture sous une force uniaxiale, est l'essai de traction mécanique. Un spécimen est placé dans un appareil de test universel pour effectuer la procédure. Cette machine se compose d'une base plate et d'un piston hydraulique avec un mouvement linéaire perpendiculaire à cette base. De plus, des mâchoires (hydrauliques ou manuelles) sont situées sur le piston et sur la base. Ces mâchoires sont installées de manière à ce que leurs axes soient colinéaires avec ceux du piston. Après que le spécimen est positionné entre les mâchoires, le piston avance verticalement tout en étant contraint de se déplacer dans cette direction par une force axiale. Nous pouvons examiner les propriétés

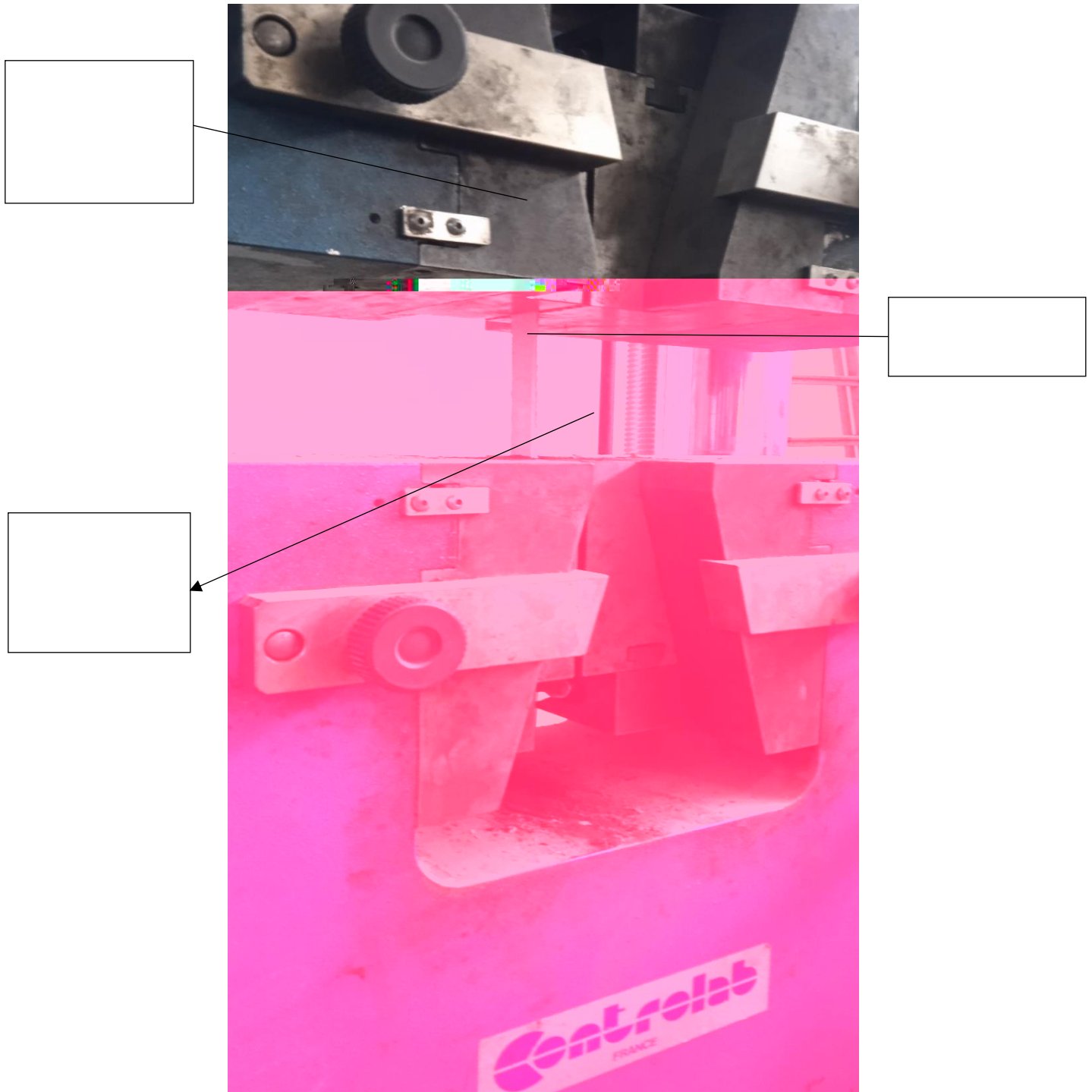
mécaniques en recueillant des données de déplacement et des déformations, qui sont généralement développées comme suit : Premièrement, la force axiale enregistrée est divisée par la section transversale du spécimen au début de l'essai pour déterminer la contrainte axiale de traction. Deuxièmement, le module d'élasticité en traction est calculé en divisant la contrainte par la déformation mesurée. Enfin, la contrainte de traction ultime est généralement identifiée comme étant la contrainte maximale enregistrée pendant tout l'essai. Avec cela établi, diverses géométries d'éprouvettes et méthodes d'introduction de la charge axiale sont proposées dans la littérature [24].

## **2.2 Dispositif expérimental pour l'essai de traction :**

Les essais de traction ont été réalisés dans laboratoire matériaux de construction de de département de génie mécanique d'Université de Tlemcen, sur une machine hydraulique universelle de type CONTROLAB modèle H0003. La machine hydraulique universelle fonctionne selon le principe de transformation de l'énergie hydraulique en énergie mécanique. Voir (Figure III-2).

Elle est composée de différents éléments essentiels tels qu'une pompe hydraulique, des vérins hydrauliques, un réservoir d'huile, des vannes de régulation et un système de contrôle électronique. La pompe hydraulique permet de créer un débit d'huile sous pression, qui est ensuite distribué aux vérins pour produire un mouvement mécanique. Les vannes de régulation contrôlent la pression et le débit de l'huile pour assurer un fonctionnement précis de la machine, tandis que le système de contrôle électronique permet de superviser et de réguler

L'ensemble du processus. Elle est également connectée à une chaîne d'acquisition qui permet l'enregistrement simultané de la contrainte et de l'allongement. Le modèle H0003 de la machine hydraulique universelle de type CONTROLAB se distingue par ses caractéristiques techniques de pointe. Doté d'une capacité de charge maximale de 5000 N et d'une plage de mesure de force allant jusqu'à 1000 N, il offre une précision remarquable pour les essais hydrauliques.



*Figure III-2 : Essai de traction sur une éprouvette.*

Ses spécifications incluent une course maximale de 200 mm et une vitesse d'essai réglable jusqu'à 100 mm/min, permettant une grande flexibilité lors des tests. De plus, sa

conception modulaire facilite l'ajout d'options supplémentaires selon les besoins de l'utilisateur, en introduisant un outil polyvalent et performant (Figure III-3).



Figure III-3 : Dispositif d'essais de traction et acquisition des résultats.

L'étude du comportement mécanique en traction statique implique généralement le calcul des propriétés mécaniques selon la méthode suivante : tout d'abord, la contrainte axiale  $\sigma$  dans l'éprouvette est déterminée en divisant la force axiale mesurée  $F$  par l'aire de la section transversale utile  $S$  de l'éprouvette au début de l'essai, comme décrit dans l'équation (1).

$$\sigma = \frac{F}{S} \dots\dots\dots 1$$

Ensuite, le module élastique en tension est déterminé en divisant la contrainte par la déformation mesurée par la jauge, comme indiqué dans les équations (2) et (3).

$$\sigma = E * \varepsilon \dots\dots\dots 2 \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \dots\dots\dots 3$$

$\sigma$ : La contrainte de traction.

$S$  : La Section utile ( $h \times e$ ).

$E$  : Module d'élasticité « module de Young ».

$\Delta l$ : Déplacement ( $\Delta l = l - l_0$ ).

finalement, la contrainte à la rupture est définie comme étant la contrainte maximale ( $\sigma_{max}$ ) enregistrée au cours de tous les essais. Les résultats des essais statiques sur le matériau stratifié sont présentés dans les tableaux suivants, illustrant l'évolution de la charge en fonction de la déformation pour les deux types de composites. Les paramètres de traction sont ensuite calculés et répertoriés dans le tableau ci-dessous :

*Tableau III-1: Les caractéristiques mécaniques des trois variantes des matériaux composites.*

<b>Type de renfort</b>	<b>Eprouvettes</b>	<b>F max (N)</b>	<b><math>\sigma_{max}</math> (N/mm<sup>2</sup>)</b>	<b>E (MPa)</b>	<b><math>\varepsilon</math></b>
------------------------	--------------------	------------------	---	----------------	---------------------------------

<i>MAT</i>	FVM 1	4187	104.675	497.8597	0.0841
	FVM 2	4665	122.763	1036.6667	0.0450
	FVM 3	4298	107.450	992.6097	0.0433
	FVME 1	4775	119.375	373.3385	0.1279
	FVME 2	4922	123.050	533.2611	0.0923
<i>ROVING</i>	FVT 1	21084	263.100	2822.4900	0.0747
	FVT 2	18880	236.000	3015.9744	0.0626
	FVT 3	24573	307.163	4025.0373	0.0751
	FVTE 2	21120	257.561	2109.8901	0.1001
<i>JUTE</i>	JC 1	5657	44.897	139.7561	0.0410
	JC 2	5730	43.409	111.8734	0.0379
	JT 1	3675	39.907	113.2494	0.0225
	JCE 1	6391	46.312	107.1176	0.0595
	JCE 2	5730	42.444	111.9591	0.0513
	JTE 1	5635	45.813	114.7505	0.0501

Les éprouvettes du jute, mat et de roving après la rupture (Figure III-4, Figure III-5).

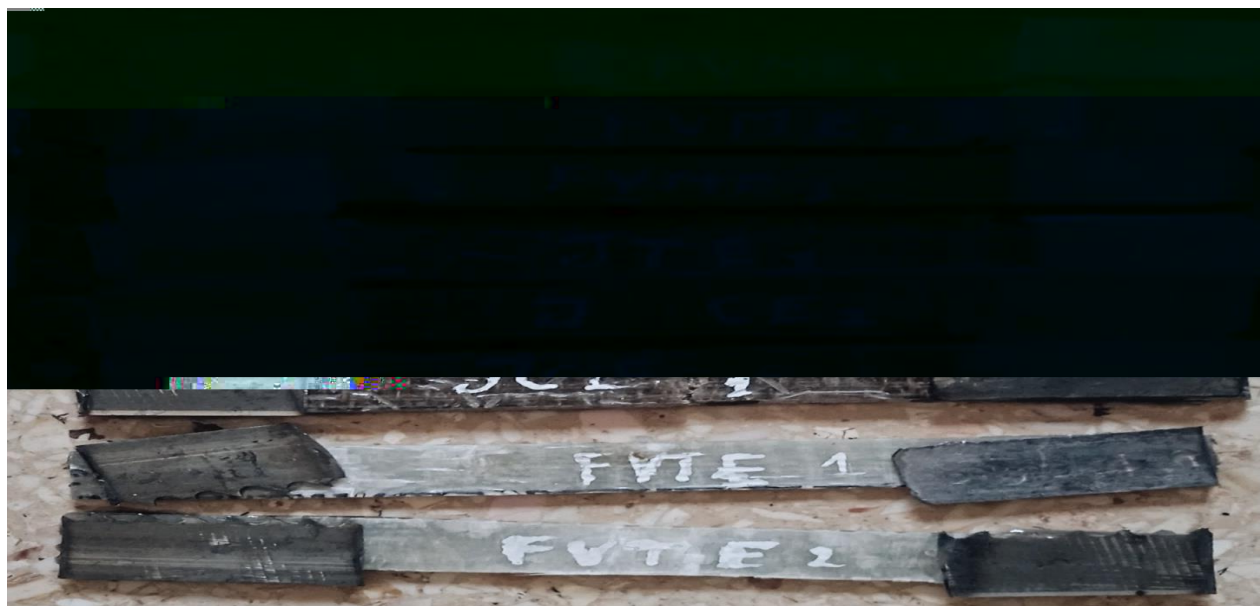


Figure III-4 : Les Eprouvette avec étalons après la rupture



Figure III-5 : Les Eprouvette son étalons après la rupture

### 3 Etude du contrainte mécanique en fonction de la déformation

Les graphes (Figure III-6 Figure III-7 Figure III-8) nous donne la contrainte de traction du mat et de roving et de jute en fonction de déformation.

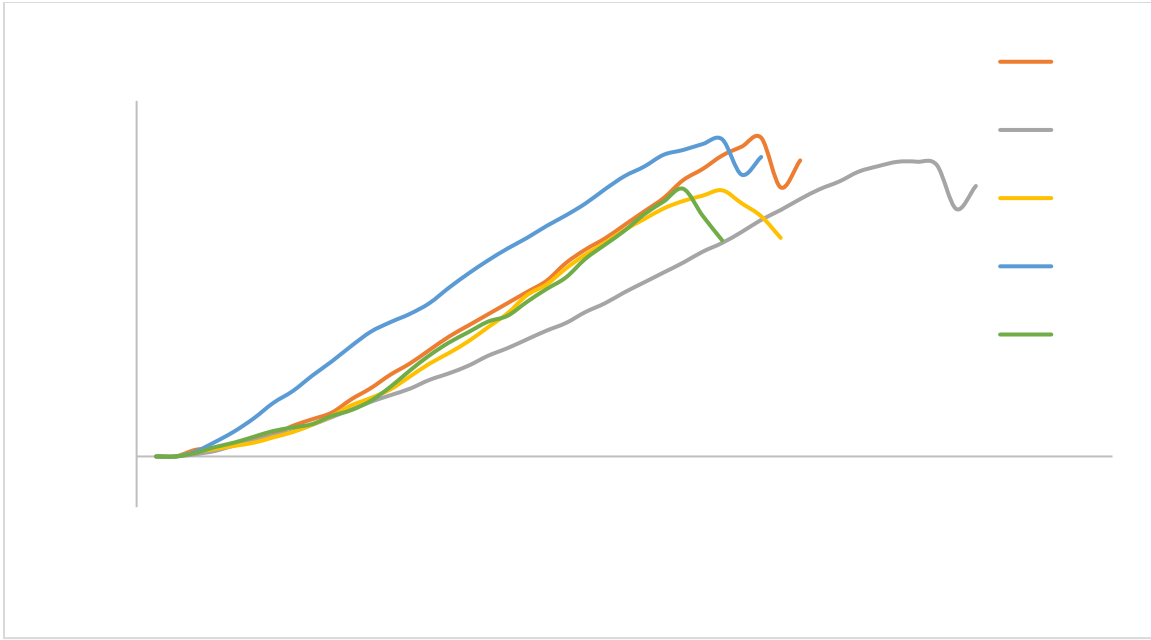


Figure III-6 : FVM de contrainte et déformation

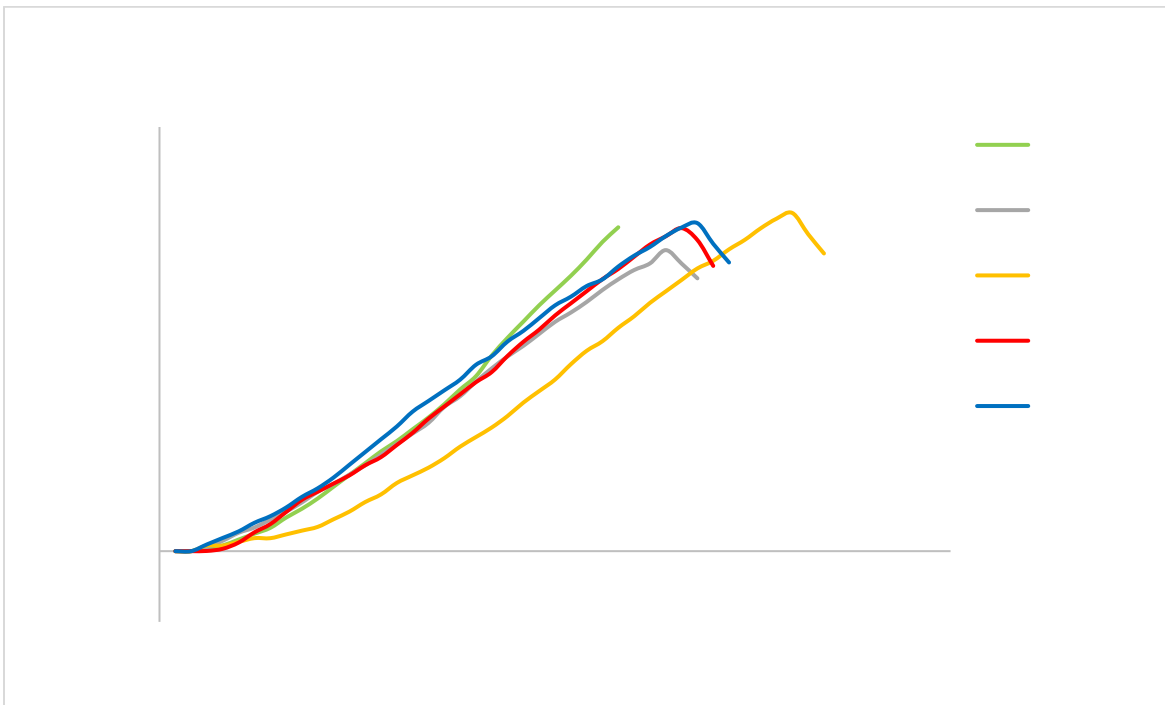


Figure III-7: JC+JT de contrainte et déformation

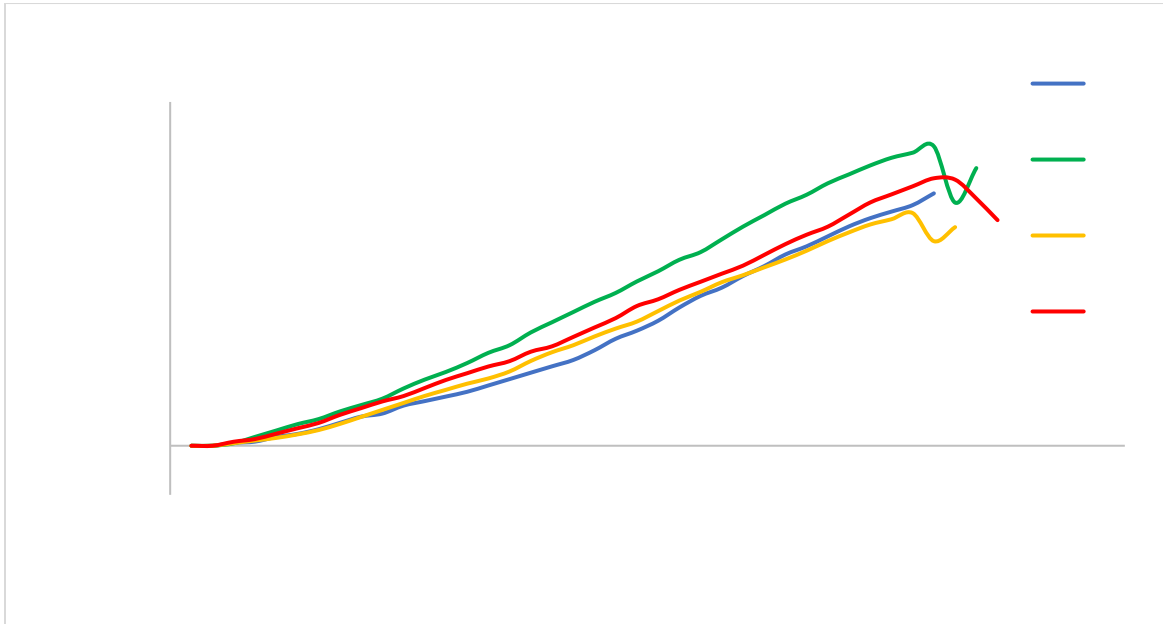


Figure III-8 : FVT1 de contrainte et déformation

#### 4 Etude du chargement mécanique en fonction du déplacement

Les graphes (Figure III-9, Figure III-10, Figure III-11) illustre le chargement en fonction de déplacement de mat, du roving et du jute.

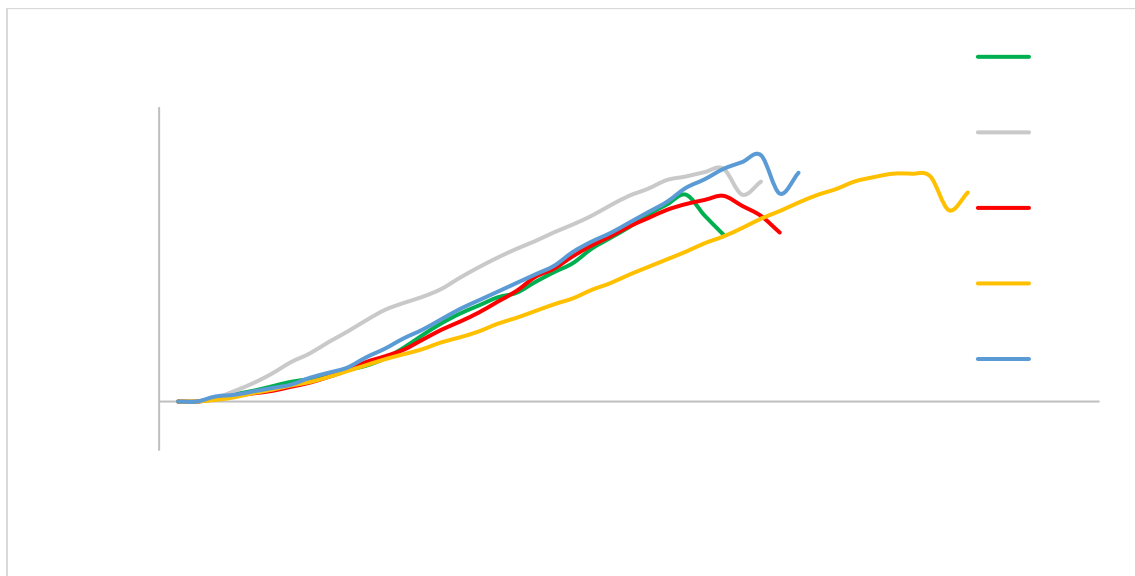


Figure III-9 : FVM de chargement et déplacement

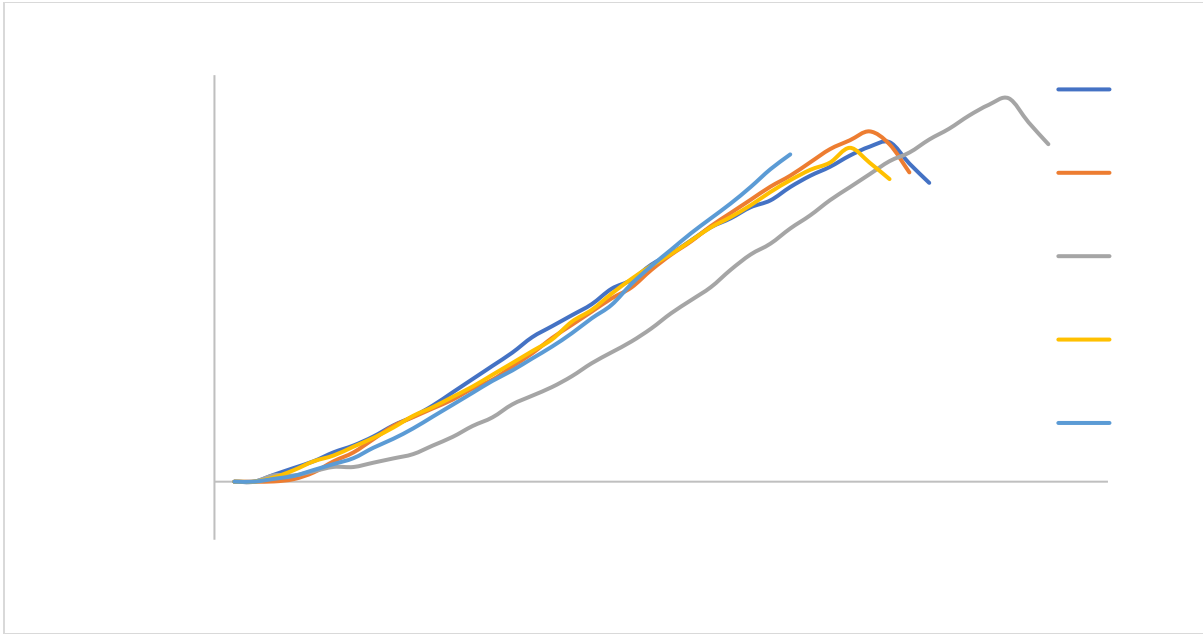


Figure III-10 : JT +JC de chargement et déplacement

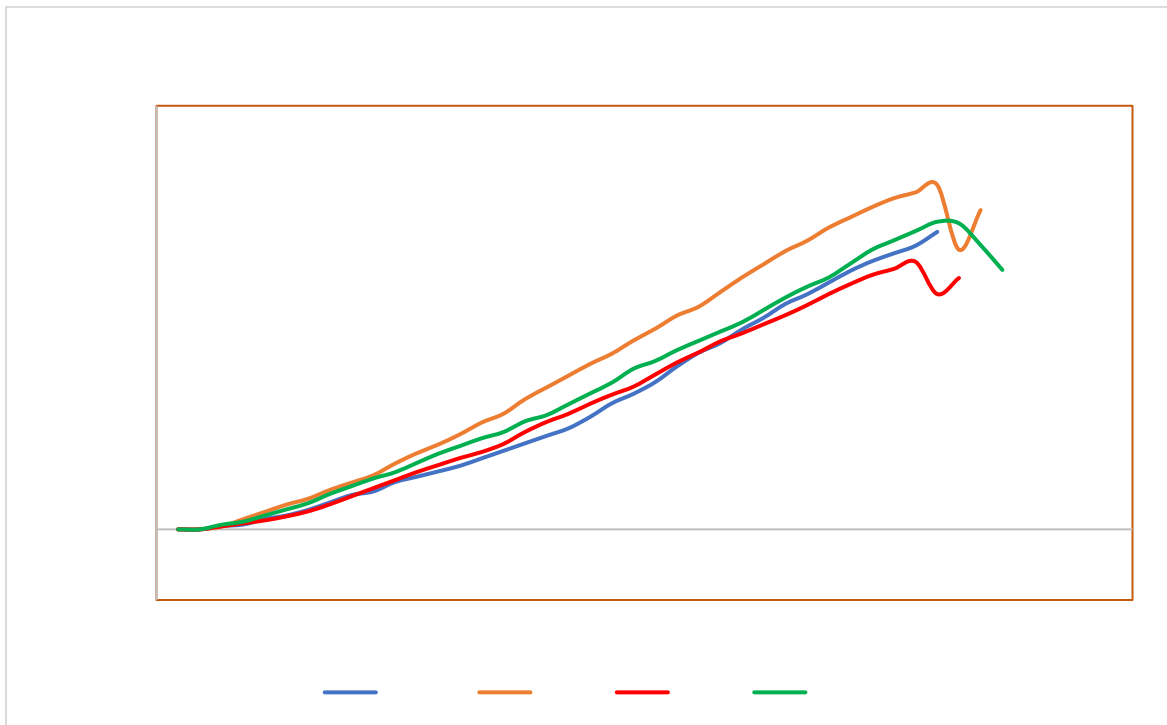


Figure III-11 :FVT de chargement et déplacement

Le comportement en traction du composite en fibre verre /polyptère et de jute est représenté par le graphe suivant : (Figure III-12)

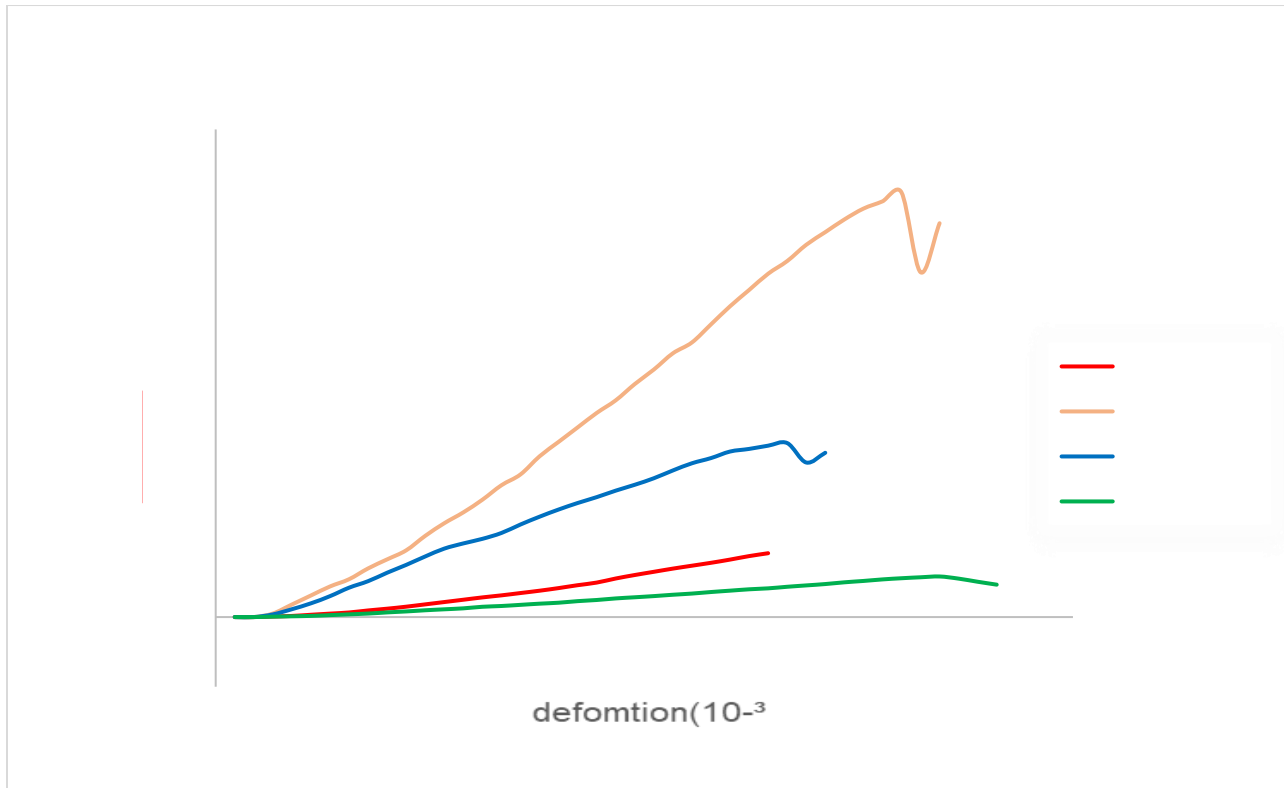


Figure III-12 : comparaison enter les 4 type fibre

Nous concluons de graphe (Figure III-12) que le module d'Young des fibres de verre du roving est supérieur à celui du mat de verre, et cela est dû à l'effet de la direction des fibres sur la résistance du matériau composite. Sont plus résistantes que les fibres de jute, et c'est ce qui nous fait comprendre que les matériaux composites d'origine synthétique sont plus résistants que ceux d'origine naturelle.

## 5 Analyse des résultats

L'analyse des résultats obtenus présentée dans les graphes et les tableaux ci-dessus nous permet de mettre en évidence l'influence de la charge de traction sur le comportement des matériaux composites. On remarque d'après le tableau III-1 que la plus grande valeur du module d'Young pour la variante de (tissu de verre roving + résine polyester) que nous avons pu obtenir est celle 49. D'après les graphes, les plis de jute et mats ne contribuent plus dans la résistance et seul le pli roving résiste à l'effort. Les modules de Young longitudinaux des deux matériaux composites roving/résine polyester et mat/résine polyester augmentent linéairement en fonction du type de renfort. Cette grande différence est due à la différence de structure des fibres de verre, c'est-à-dire que les fibres de verre type tissé (roving) sont orientées dans le sens de traction, par contre pour le mat de verre elles sont orientées aléatoirement, aussi la distribution non uniforme du renfort ou de matrice (résine), la rupture du matériau sera initiée dans des zones pauvres en renfort ou de résine, diminuant ainsi la résistance du composite. Bien que les fibres de jute naturelles n'aient pas une résistance et une tension aussi élevées que les fibres de verre, elles ont la propriété d'être recyclées et sont bon marché par rapport aux fibres de verre.



## **Conclusion générale et perspectives**

## **Conclusion Générale**

En synthèse, cette étude analytique approfondie explore les propriétés mécaniques de trois types de matériaux composites polymères, en se concentrant sur le tissu de verre/résine polyester, le mat de verre/résine polyester et les éprouvettes de tissu de jute/résine polyester. L'analyse comparative du comportement mécanique de ces trois types de matériaux composites, effectuée à travers des essais de traction statique, permet de comprendre l'impact de l'orientation et de la nature des fibres sur les propriétés de rupture du matériau composite. Ainsi, il est conclu que les éprouvettes de tissu de verre présentent des performances et des propriétés mécaniques supérieures par rapport aux renforcées par éprouvettes du mat de verre ou par du tissu de jute, comme en témoignent les valeurs du module d'Young, comme indiqué dans (Tableau III-1)

Les résultats obtenus sont résumés comme suit : Les éprouvettes de tissu de jute constitués de fibres orientées dans le sens chaîne présentent des caractéristiques mécaniques meilleures que les éprouvettes orientées dans le sens trame, et les fibres synthétiques présentent des caractéristiques mécaniques meilleures que les fibres d'origine naturelles

## **Les perspectives**

Notamment l'analyse des effets de la température sur la dégradation du composite.

La caractérisation mécanique en fatigue pour estimer sa durée de vie.

La modélisation de l'effet de la charge mécanique couplée à un chargement thermique sur le comportement du matériau par simulation numérique.

Ainsi que l'étude de la maintenance mécanique et la possibilité d'entretien du matériau.



**Références  
Bibliographiques**

## Références Bibliographiques

- [1] J.M.BERTHELOT, (2002).matériaux composites: comportement mécanique et analyse des structures, TEC et DOC 4eme édition.
- [2] Lionel,G,(2011),Matériaux composites et structures composites. CACHAN Ecole normale supérieure. Université Paris-SACLAY.
- [3] Berthelot, J.M. (2005).Matériaux composites, comportement mécanique et analyse des structures Livre, éditions : Lavoisier.
- [4] Dr. Taqiyeddine MOUMENE (2023)cours Les composites(Spécialité: Master I Chimie des Matériaux) Université Ibn Khaldoun- Tiaret
- [5] RAHMANE, A. (2018).Étude du comportement dynamique des composites stratifiés et sandwichs. Thèse de doctorat, Université Des FreresMantouri-Constantine 1.
- [6] Vasconcellos, D, Touchard S, F. Chocinski-Arnault,L.(2014).Tension–tension fatigue behaviour of wovenhempfibrereinforcedepoxy composite: A multiinstrumented damage analysis, Int. J. Fatigue.
- [7] DJELBOUN, Y. (2018).généralités sur les matériaux composites, université de Biskra.
- [8] Goret,L. (6 Apr 2010).Généralités sur les matériaux composites. cel-00470296, version1.
- [9] BOUDJEMA, H. (2016).Elaboration de matériaux composites biodégradables issus de ressources renouvelables, thèse de doctorat, Institut de Maintenance et de sécurité Industrielle- Université d’Oran 2.
- [10] Glossai des matériaux composites, Carma, Actualsation octobre 2006
- [11] El Hadji B, LY. (2008)Nouveaux matériaux composites thermo-formables à base de fibres de cellulose, thèse de doctorat, institut national polytechnique de Grenoble.
- [12] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre\\_de\\_jute](https://fr.wikipedia.org/wiki/Fibre_de_jute)
- [13] <https://www.tissushop.fr/blog/culture-jute/> (16 décembre 2020)
- [14] Ghorab,S. (2005).Comportement viscoélastique des matériaux orthotropes, mémoire de magister, université Mentouri-Constantine.

- [15] cours Hamza Cherif sidi Mohamed 2023
- [16] J. Müssig, "Cotton fibre-reinforced thermosets versus ramie composites: a comparative study using petrochemical- and agro-based resins", *Journal of Polymers and the Environment*, 16 (2008), pp:94–102.
- [17] C. G. Long, L. P. He, Z. H. Zhong and S. G. Chen, "Studies on the polypropylene composites reinforced by ramie fiber and K<sub>2</sub>Ti<sub>6</sub>O<sub>13</sub> whisker", *Research Letters in Materials Science*, ID 87072 (2007), pp: 1–4. - 102
- [18] K. G. Satyanarayana, K. Sukumaran, and R. S. Mukherjee, "Natural Fibre Polymer Composites," *Cément& Concrète Composites*, 12 (1990), pp: 117-136.
- [19] B. Fairouz. (2016) .étude du comportement mécanique de structure sandwiches à différents matériaux de revêtements. Mémoire de magister. Université Mentouri-Constantine.
- [20] Irisarri,F,X.(2009).Stratégies de calcul pour l'optimisation multi objectif des structures composites Université de Toulouse III-Paul Sabatier.
- [21] TOUMI, W. (2019).Optimisation de la configuration des tubes en matériaux composites sous pression. Mémoire de master, Université Mohamed Khider -Biskra,
- [22] 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.
- [23] MELLE KHELASSI AMINA.(JUNE 2014) Eute du vieillissement d'un dechetsolide:fibre de jute dons l'eau de mer et dons l'eau de pluie. Mémoire Master. Laboratoire des sciemces et techniques de l'environnement
- [24] <https://www.tradeindia.com/products/pre-63-tab-general-purpose-polyester-resin-3205523.html>
- [25] LÉVESOUE, M. (2000). L'essai de traction de matériaux composites unidirectionnels à fibres continues. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de maitrise des sciences appliquées. Université de Montréal école polytechnique de Montréal-Canada.



# **Annexes**

## Annexe A

FICHE TECHNIQUE MAT de VERRE 225/300/450/600/900 g/m<sup>2</sup>

### MAT de VERRE 225/300/450/600/900 g/m<sup>2</sup>

**SOLOPLAST**  
VOSSCHERME

#### ■ DESCRIPTION

**MAT de VERRE** est composé de fibres de verre coupées, agglomérées par un liant pour le renforcement des matières synthétiques en fibres de verre.

#### ■ DOMAINE D'APPLICATION

Approprié aux pièces sensibles aux changements climatiques et au revêtement. Imprégnation des résines polyester, vinylester et époxy.

#### ■ CARACTERISTIQUES PRODUIT

Poids au m <sup>2</sup>	225, 300, 450, 600 et 900 g/m <sup>2</sup>
Matériau	Verre F.
Longueur des fils	50 mm
Finesse des fils	30 tex
Diamètre du filament	12/10000 mm
Matière des fils	silane

#### ■ MISE EN ŒUVRE

Pour la mise en œuvre des moulages au contact, des feuilles, des procédés sous vide et par injection. Renforcement des résines polyester, vinylester et époxy.

#### ■ UTILISATION - SECURITE

Vous pouvez consulter les instructions relatives à la manipulation des produits et à leur élimination.

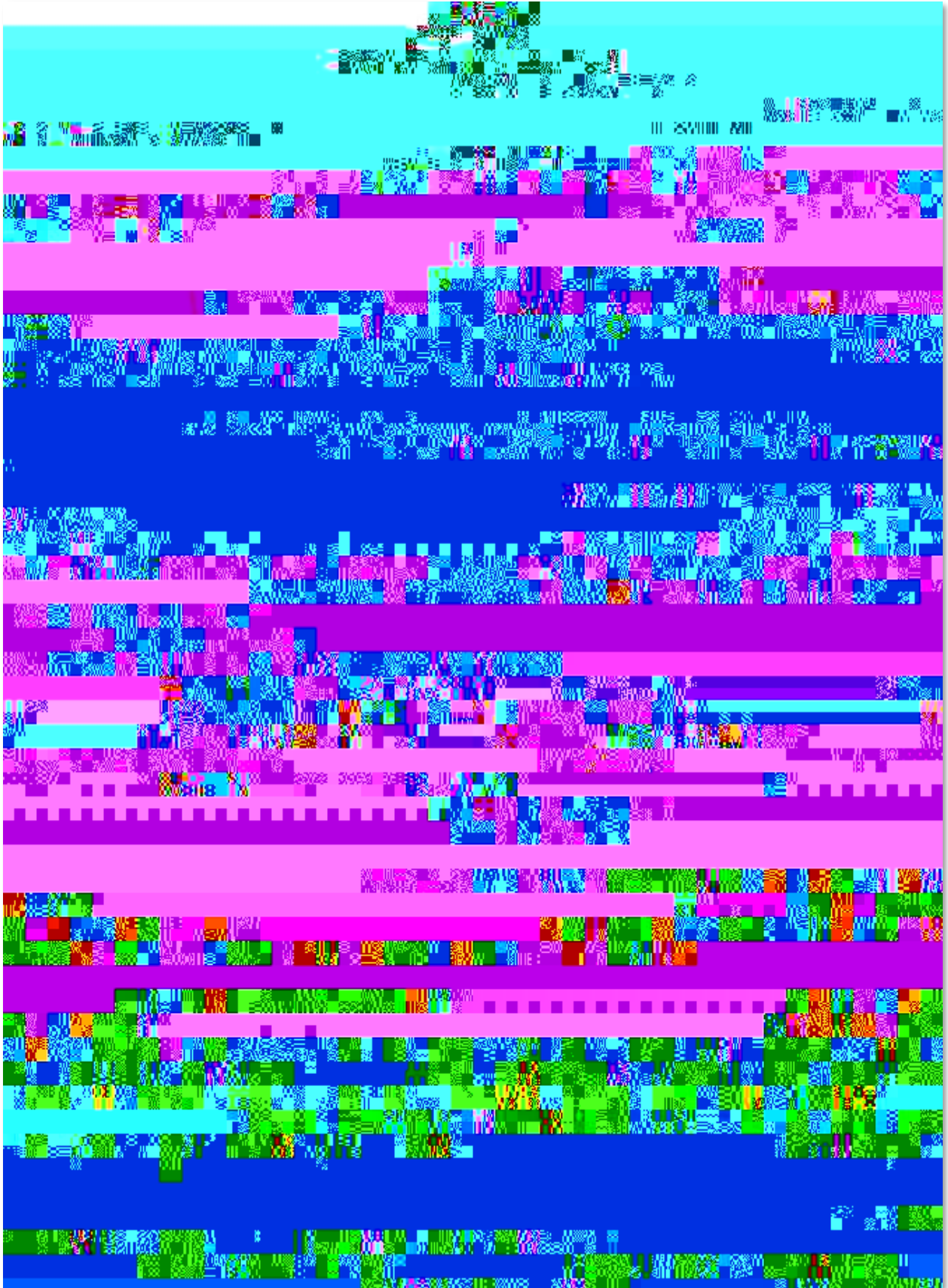
FICHE TECHNIQUE

MAT de VERRE 225/300/450/600/900 g/m<sup>2</sup>

**SOLOCAR PRO**

ou à la responsabilité, quel que soit le rapport juridique, ne peut être fondée sur ce

PLAST  
17 10000



## FICHE TECHNIQUE

Tissu de verre roving 300 g/m<sup>2</sup>

Les informations contenues dans le présent document, en particulier les recommandations relatives à la mise en œuvre et l'utilisation de nos produits, sont fournies en toute bonne foi et reposent sur l'état actuel de nos connaissances et notre expérience dans un cas normal. En raison de la diversité des matériaux et des substrats ainsi que des différentes conditions de travail, aucune garantie quant au résultat du travail ou à la responsabilité, quel que soit le rapport juridique, ne peut être fondée ni sur ces indications ni suite à un conseil verbal, à moins qu'une faute intentionnelle ou une grave négligence ne puisse nous être imputée. Dans ce cas, il faudra que l'utilisateur apporte la preuve qu'il a porté à notre connaissance par écrit, en temps voulu et de manière exhaustive, toutes les informations nécessaires à un examen objectif.

Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de ventes et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la dernière version de la fiche technique relative au produit concerné et qui leur sera remise sur demande auprès de nos services.



SOLOPLAST-VOSSCHEMIE  
Z.I. Le Fontanil-Cornillon  
38120 Saint-Egrève  
Rue du Pré Didier

Téléphone : 04 76 75 42 38  
Télécopie : 76 56 14 49  
E-Mail : [info@soloplast.fr](mailto:info@soloplast.fr)  
Internet : [www.soloplast.fr](http://www.soloplast.fr)



	<b>PRE-631 TAB(2)</b>
<b>Description</b>	<b>Thixotropic</b>
<b>Chemical Content</b>	<b>Orthophytalic / Standard Glycol</b>
<b>Properties in Liquid Form</b>	
Accelerator	<b>Yes</b>
Reactivity	<b>Middle</b>
Thixotropy	<b>Yes</b>
Viscosity (cPs)	<b>250-350</b>
Gel Duration (Min).	<b>24-26</b>
Monomer Rate %	<b>35-45</b>
<b>Solid Properties</b>	
HDT °C	<b>65-75</b>
Barkol Hardness (934-1)	<b>42-47</b>
Trend Resistance (mPa)	<b>110-130</b>
Tensile Strength (mPa)	<b>70-80</b>
Impact Resistance (kj/m2)	<b>5-15</b>
	<b>Low volumetric shrinkage</b>
	<b>Contains paraffin</b>
<b>Features</b>	<b>Bright and vibrant appearance</b>
	<b>Easy rolling</b>
	<b>Quick and easy fiber wetting</b>
	<b>Contains Mek-P indicator</b>

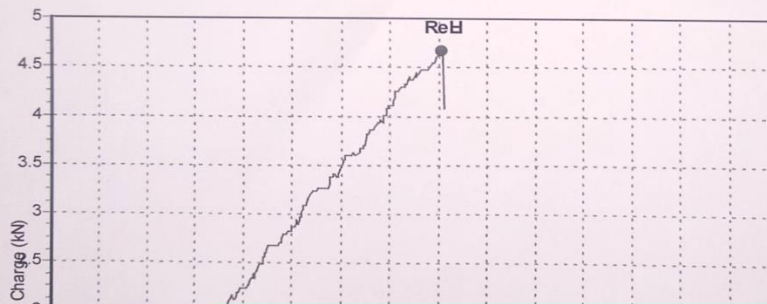
# ANNEXE D



# ANNEXE E

## PROVA DI TRAZIONE NORMATIVA EN 10002/1

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale		Temperatura Amb.	
Massa Lineica		Posizione Prelievo	
Provetta Lavorata		Direzione Prelievo	
Provetta Proporzionale			
Eprouvette	Carrée	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm <sup>2</sup> /s
Largeur	19.00 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	2.00 mm	Lo	90.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	38.000 mm <sup>2</sup>	Lu	.00 mm



### Résultats d'essais

Rm	122.759 N/mm <sup>2</sup>
A	%
Fm	4.665 kN
FeL	4.665 kN
ReL	122.759 N/mm <sup>2</sup>
FeH	4.665 kN

## ANNEXE F

### PROVA DI TRAZIONE NORMATIVA EN 10002/1

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale		Temperatura Amb.	
Massa Lineica		Posizione Prelievo	
Provetta Lavorata		Direzione Prelievo	
Provetta Proporzionale			
Eprovette Carrée		Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm <sup>2</sup> /s
Largeur	22.00 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	6.00 mm	Lo	90.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	132.000 mm <sup>2</sup>	Lu	.00 mm

**Résultats d'essais**

# ANNEXE G

## PROVA DI TRAZIONE NORMATIVA EN 10002/1

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale		Temperatura Amb.	
Massa Lineica		Posizione Prelievo	
Provetta Lavorata		Direzione Prelievo	
Provetta Proporzionale			

Eprouvette	Carrée			Vitesse de l'exécution 1	6.00	N/mm <sup>2</sup> /s
Largeur		23.00	mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00	mm/min
Epaisseur		6.00	mm	Lo	90.00	mm
				Le	0.00	mm
Temps de préessai	0.00	sec	Lc	0.00	mm	temps de préessai
Temps de traction	138.000	mm <sup>2</sup>	Lu	0.00	mm	So