

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية  
الشعبية

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

**Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

جامعة أبي بكر بلقايد - تلمسان -

Université Aboubakr Belkaïd – Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



## **MEMOIRE**

Présenté pour l'obtention du **diplôme** de **MASTER**

**En** : Génie Mécanique

**Spécialité** : Construction Mécanique

**Par** : Ouhadj Chaimae

**Sujet**

**ELABORATION ET CARACTERISATION D'UN MATERIAU  
COMPOSITE**

Soutenu publiquement, le 29 / 06 / 2022 , devant le jury composé de :

M.Belalia Sid Ahmed	Pr	Univ. Tlemcen	Président
M. Benmansour Sid Ahmed	MCB	ESSA. Tlemcen	Encadreur de mémoire
M. Hamza Cherif Sidi Mohamed	MCA	Univ. Tlemcen	Co-Encadreur de mémoire
M. Boukhalfa Abdelkrim	Pr	Univ. Tlemcen	Examineur

Année universitaire : 2021 /2022

# Sommaire

Sommaire .....	i
REMERCIEMENT .....	v
DEDICACES .....	vii
Résumé: .....	viii
Abstract: .....	viii
:ملخص .....	viii
Liste des figures : .....	ix
Liste des tableaux .....	x
Liste des abréviations .....	xiii
Introduction générale.....	xiv

## Chapitre I:Généralités sur les matériaux composites

1 Définition .....	1
2 Les caractéristiques générales .....	1
3 Classification des matériaux composites.....	3
3.1 Classification effectuée par rapport au constituant de la matrice .....	3
3.2 Classification effectuée par rapport à la géométrie .....	4
3.2.1 Composites à fibres .....	4
3.2.2 Composites à particules.....	4
3.2.3 Composites structuraux .....	4
3.2.4 Les stratifiés .....	5
3.2.5 Les Composites tissés.....	5
3.2.6 Les sandwiches.....	6
4 Constituants des matériaux composites.....	6
4.1 Les matrices .....	7
4.1.1 Les résines thermoplastiques.....	8
4.1.2 Les résines thermodurcissables .....	8
4.1.3 Les résines en céramique.....	9
4.1.4 Les résines métalliques.....	9
4.2 Les renforts .....	10
4.2.1 Les fibres de verre .....	10
4.2.2 Fibres de carbone .....	12
4.2.3 Fibres d'aramide.....	13

4.2.4	Fibres céramiques.....	14
4.2.5	Autres types de fibres .....	14
4.3	Les charges : .....	15
4.4	Les additifs : .....	15
4.5	L'interface fibre/matrice:.....	16
5	La mise en œuvre des matériaux composites .....	16
5.1	Les technologies en moule ouvert .....	16
5.1.1	Moulage au contact : .....	16
5.1.2	Moulage par projection simultanée : .....	17
5.2	Les technologies en moule fermé .....	18
5.2.1	Moulage sous vide.....	18
5.2.2	Moulage par injection a basse pression de résine (RTM) .....	19
5.2.3	Moulage à froid .....	20
5.2.4	Moulage par injection de compound BMC .....	20
5.2.5	Compression thermodurcissable SMC: (Sheet Molding Compound).....	21
5.2.6	Enroulement filamentaire (ou bobinage).....	22
6	Mécanismes d'endommagement des composites.....	22
6.1	Décohésion fibre-matrice .....	24
6.2	Fissuration Matricielle .....	25
6.3	Délaminage .....	25
6.4	Rupture de la Fibre .....	26

## **Chapitre II: Elaboration de matériau composite**

1	Introduction .....	29
2	Matériau d'étude .....	29
2.1	Renfort (fibre de verre).....	29
2.1.1	Composition chimique .....	29
2.1.2	Le mat de verre.....	30
2.1.3	Tissu de verre (roving) : .....	30
2.2	Matrice.....	31
3	Mise en œuvre des matériaux stratifiés .....	34
3.1	Matériel et produits utilisés : .....	34
3.2	Modèle de moulage utilisé durant l'élaboration de notre matériau : .....	35
4	Réalisation du composite .....	36
4.1	Elaboration des plaques de composites : .....	36

5	Découpage des éprouvettes : .....	38
5.1	Géométrie des éprouvettes : .....	39

### **Chapitre III: caractérisation de matériau composite**

1	Introduction .....	42
2	Essai mécanique .....	42
2.1	Essai de traction : .....	42
2.2	Dispositif expérimental pour l'essai de traction : .....	43
3	Etude du comportement mécanique en statique de traction .....	44
4	Etude du chargement mécanique en fonction du déplacement .....	47
5	Etude du contrainte mécanique en fonction de la déformation .....	48
6	Analyse des résultats .....	50
	Conclusion générale .....	53
	Annexe A.....	60
	Annexe B.....	62
	Annexe C.....	64
	Annexe D.....	66

# REMERCIEMENT

**Au nom d'Allah le Très Miséricordieux, le Tout Miséricordieux, à qui on doit tout**

Je remercie infiniment avant tous le tout puissant DIEU ALLAH qui m'a donné le courage, la volonté et la force pour mener à terme ce travail.

J'offre premièrement des sincères et chaleureux remerciements à mon directeur de ce mémoire, **M. Benmansour Sid Ahmed**, directeur a été d'un soutien et d'une attention exceptionnels. La confiance qu'il m'a accordée ainsi que le soutien moral, sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils.

Je tiens à adresser également mes vifs remerciements à mon co-directeur **M. Hamza Cherif Sidi Mohamed** pour leurs conseils bienveillants, et pour la confiance qu'il m'a accordé ce qui m'a encourager à fournir plus d'efforts pour être à la hauteur de leur attente.

Mes remerciements à **M. Belalia Sid Ahmed** d'avoir accepté de me faire l'honneur de présider le jury de ce mémoire et de bien vouloir l'examiner.

J'adresse aussi mes vifs remerciements à **M. Boukhalfa Abdelkrim** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Un grand merci à ma mère et mon père, pour leur amour, leurs conseils ainsi que leur soutien inconditionnel, à la fois moral et économique, qui m'a permis de réaliser les études que je voulais et par conséquent ce mémoire.

Je voudrais exprimer ma reconnaissance envers les amis et collègues qui m'ont apporté leur soutien moral et intellectuel tout au long de ma démarche.

Un grand merci à tous nos enseignants, que ce soit de cette année ou bien des années précédentes, et tous ceux qui de près ou de loin ont apporté leur contribution à la réalisation de ce travail, on vous prie de trouver l'expression de notre profonde reconnaissance.

## 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 mes frères Mohamed Ismail Ibrahim et Abd El madjid et ma chère sœur Nora pour leurs soutiens.*

*A tous mes amies Nehla Sebbih, Wafaa Youcefi Et Hadjer Laribi, Amel Bouregueba .*

*A tous ceux que j'aime.*

*Je dédie ce mémoire.*

## **Résumé:**

Ce mémoire a pour objet d'étudier les caractéristiques mécaniques en traction statique et le comportement mécanique des stratifiés élaborés en fibre de verre (mat de verre, roving) renforcé par une résine polyester. Une étude a été menée sur l'effet de l'orientation des fibres de verre ainsi que leurs associations sur la qualité et le comportement du composite obtenu. L'analyse des résultats des essais de traction sur le matériau d'étude a mis en évidence le choix de la meilleure variante présentant les bonnes performances mécaniques.

Mots clés : matériaux, composites, stratifiés, traction, fibres de verres, résine polyester, mat, roving (tissu de verre).

## **Abstract:**

The purpose of this thesis is to study the mechanical characteristics in static traction and the mechanical behavior of laminates made of fiberglass (glass mat, roving) reinforced with a polyester resin. A study was carried out on the effect of the orientation of the glass fibers (as well as their associations on the quality and behavior of the composite obtained. The analysis of the results of the tensile tests on the study material put highlighting the choice of the best variant with good mechanical performance.

Key words: materials, composites, laminates, traction, fiberglass, polyester resin, mat, roving (glass fabric).

## **ملخص:**

غرض من هذه الرسالة هو دراسة الخصائص الميكانيكية للجر الساكن والسلوك الميكانيكي للرقائق المصنوعة من الألياف الزجاجية (حصيرة زجاجية، منتقلة) معززة براتنج بوليستر. تم إجراء دراسة حول تأثير اتجاه الألياف الزجاجية (وكذلك ارتباطاتها على جودة وسلوك المركب الذي تم الحصول عليه. وضع تحليل نتائج اختبارات الشد على مادة الدراسة تسليط الضوء على اختيار أفضل خيار مع أداء ميكانيكي جيد.

الكلمات الرئيسية: المواد، المركبات، رقائق، الجر، الألياف الزجاجية، راتنجات البوليستر، حصيرة، قماش زجاجي.



## Liste des figures :

Figure I-1:Schéma de matériau composite.....	2
Figure I- 2:Classification des matériaux composites. ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
Figure I-3:Schéma d'un matériau composites.....	4
Figure I-4:composite stratifié .....	5
Figure I- 5:Représentation d'un pli unidirectionnel.....	6
Figure I-6:Structure sandwich .....	6
Figure I-7:Différents constituants d'un matériau composite .....	7
Figure I- 8:Organigramme des différentes familles de matrice. ....	7
Figure I- 9:Les différents types de renfort de base .....	10
Figure I- 10:Les différents types de renfort de base.....	11
Figure I- 11:Fibres de Graphite (a), fibre de Carbone (b).....	12
Figure I- 12:Caractéristiques mécaniques des fibres de carbone .....	12
Figure I- 13:Fibres d'aramide. ....	13
Figure I- 14:Procédé de moulage par contact .....	16
Figure I-15:Moulage par projection simultanée .....	18
Figure I- 16:Moulage par projection simultanée .....	19
Figure I- 17:principe de moulage par injection de résine .....	20
Figure I- 18:Principe de moulage à la presse à froid .....	20
Figure I- 19:Moulage par injection de compound BMC.....	21
Figure I- 20:Compression thermodurcissable SMC.....	21
Figure I- 21:Enroulement filamentaire (ou bobinage) .....	22
Figure I- 22:Phase de l'endommagement d'un matériau .....	23
Figure I- 23:Décohésion fibre-matrice .....	24
Figure I- 24:Fissuration de la matrice. ....	25

Figure I- 25:Délaminage d'un composite. ....	26
Figure I- 26:Rupture de la fibre .....	27
Figure II- 1:mat de verre 300g/m <sup>2</sup> .....	30
Figure II-2:tissu de verre 300g/m <sup>2</sup> . ....	31
Figure II- 3:la résine utilisé PRE-631 TAB.....	34
Figure II-4 : matériels et produit utilisé pour l'élaboration du matériau.....	51
Figure II-5:le principe de moulage au contact. ....	35
Figure II-6:le moule utilisé pour la fabrication des éprouvettes. ....	36
Figure II- 7:Application de gelcoat sur le moule. ....	36
Figure II-8:Etalement de la résine sur le renfort.....	53
Figure II-9:Procéder d'élaboration du matériau.....	37
Figure II- 10 :Structure stratifié. ....	38
Figure II- 11:éprouvettes tissu de verre (roving) (a), éprouvettes mat de verre (b). ....	39
Figure II-12:Géométrie des éprouvettes.....	40
Figure III- 1:Dispositif d'essais de traction.....	44
Figure III- 2:Essai statique de traction sur une éprouvette. ....	44
Figure III- 3:Essai de traction statique sur une éprouvette. ....	47
Figure III- 4:Eprouvette de mat après la ruptur.....	47
Figure III- 5:Eprouvette de tissu de verre (roving) après la rupture. ....	47
Figure III- 6:Chargement de traction en fonction de déplacement pour l'éprouvette de Tissu du verre (Roving).....	48
Figure III- 7:Chargement de traction en fonction de déplacement pour l'éprouvette de Mat du verre.....	48

Figure III- 8:Contrainte de traction en fonction de déformation pour les éprouvettes de Roving (tissu de verre).....49

Figure III- 9:Contrainte de traction en fonction de déformation pour les éprouvettes de mat..... 49

Figure III- 10:Contrainte de traction en fonction de déformation pour les éprouvettes de mat et Roving.....50

## Liste des tableaux

Tableau I- 1:Caractéristiques des résines thermoplastiques .....	8
Tableau I- 2:Caractéristiques des résines thermodurcissables .....	9
Tableau I- 3:Caractéristiques mécaniques des fibres de verre .....	11
Tableau II- 1:Composition chimique du verre E utilisé comme renfort.....	29
Tableau II- 2:Tableau des caractéristiques du produit .....	30
Tableau II- 3:Tableau des caractéristiques du produit .....	31
Tableau II- 4:caractéristiques des résines polyester selon la fiche technique.....	32
Tableau II- 5:le taux de fibre des plaques élaboré.....	38
Tableau II- 6:Tabeau des dimensions des éprouvettes.....	39
Tableau III- 1:Les caractéristiques mécaniques des deux variantes des matériaux composites.....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>

## Liste des abréviations

PMC : Composites à matrice polymère.

MMC : Composites à matrice métallique.

CCM : Composites à matrice céramique.

CMC : Composites à matrices de carbone.

OMC : Composite à matrice organique.

PMC : Composites à matrice polymérique.

CMC : Composites à matrice de carbone.

RTM: Moulage par transfert de résine (Résine Transfert Molding).

BMC: (Bulk Molding Compound).

SMC: Composé de moulage en feuille (Sheet Molding Compound).

PRE : Pré-accélérer (Pre-accelerated)

T: Thixotropique (Thixotropic)

A : Accélérateur de cobalt (Cobalt Accelerator)

B: indicateur bleu (Blue Indicator)

L: Longueur (mm).

l : Largeur (mm).

e : Epaisseur (mm).

$\sigma$  : La contrainte de traction (N/mm<sup>2</sup>).

$\varepsilon$  : Déformation.

S : La Section utile (mm<sup>2</sup>).

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

$\Delta l$  : Déplacement (mm).

## **Introduction générale**

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 mécanique. Ils offrent d'excellentes propriétés en traction, flexion, compression...etc. ; D'un 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. Bien que leur façonnable (facilité de mise en forme) à volonté au gré du concepteur et doués d'un potentiel illimité qui offre un large éventail de possibilités en termes d'utilisation, de design, de géométrie et d'intégration de fonctions.

Ce travail a pour but d'élaborer et caractériser un matériau composite, ce dernier est un stratifié de fibre de verre renforcé par une résine polyester.

Dans le premier chapitre on a défini le terme matériaux composites d'une façon générale basé sur une étude bibliographique, ces caractéristiques mécaniques générales, classifications des matériaux composites, ces différents constituants, ainsi que la mise en oeuvre et les mécanismes d'endommagement des composites.

Dans le deuxième chapitre on a abordé les constituants, les instruments et les appareils utilisés pour l'élaboration du stratifié composé de fibre de verre et de résine polyester.

Le troisième chapitre traite le comportement mécanique en traction statique en donnant les caractéristiques mécaniques des deux types de stratifiés élaborés avec une interprétation des résultats obtenus.

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

*Chapitre I :*

**Généralités sur les matériaux  
composites**



## **1 Définition**

Dans un sens large, le mot " composite " signifie, un matériau constitué de deux ou plusieurs parties différentes. Certains auteurs emploient parfois le terme multi-matériaux pour désigner les composites, En fait l'appellation "matériau composite" ou "composite" est utilisée dans un sens beaucoup plus restrictif, qui sera précisé tout au long de ce mémoire.

Dans un sens plus précis, un matériau composite utilisé dans la réalisation des structures est par définition, toute matière première comportant un renfort associé à au moins deux autres composants, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau hétérogène dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément. Le renfort et la matrice, qui doivent être compatibles entre eux et se solidariser, ce qui introduit la notion d'un agent de liaison [1].

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 [2].

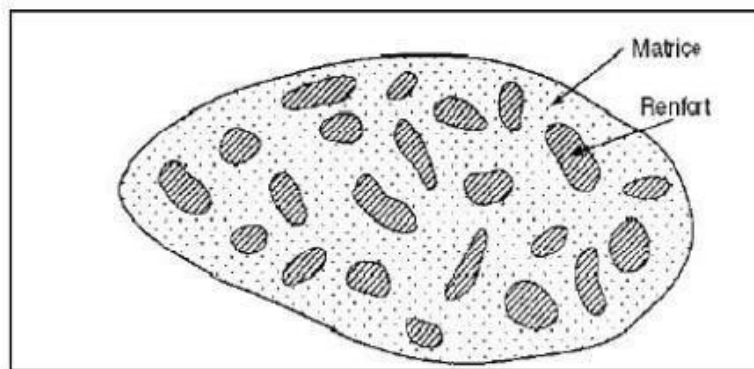
## **2 Les caractéristiques générales**

Un matériau composite dans le cas général est constitué d'une ou plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue. La phase discontinue est habituellement plus dure avec des propriétés mécaniques supérieures à celles de la phase continue. La phase continue est appelée " la matrice ", la phase discontinue est appelée "le renfort ". Les propriétés des matériaux composites se définissent par :

- Les propriétés des matériaux constituants.
- Leurs distributions géométriques.
- Leurs interactions.

Ainsi, pour accéder à la description d'un matériau composite, il sera nécessaire de spécifier:

- La nature des constituants et leurs propriétés.
- La géométrie du renfort, et sa distribution.
- La nature de l'interface: matrice-renfort.



**Figure I-1:**Schéma de matériau composite.

La géométrie du renfort sera caractérisée par : sa forme, sa taille, sa concentration et sa disposition (son orientation).

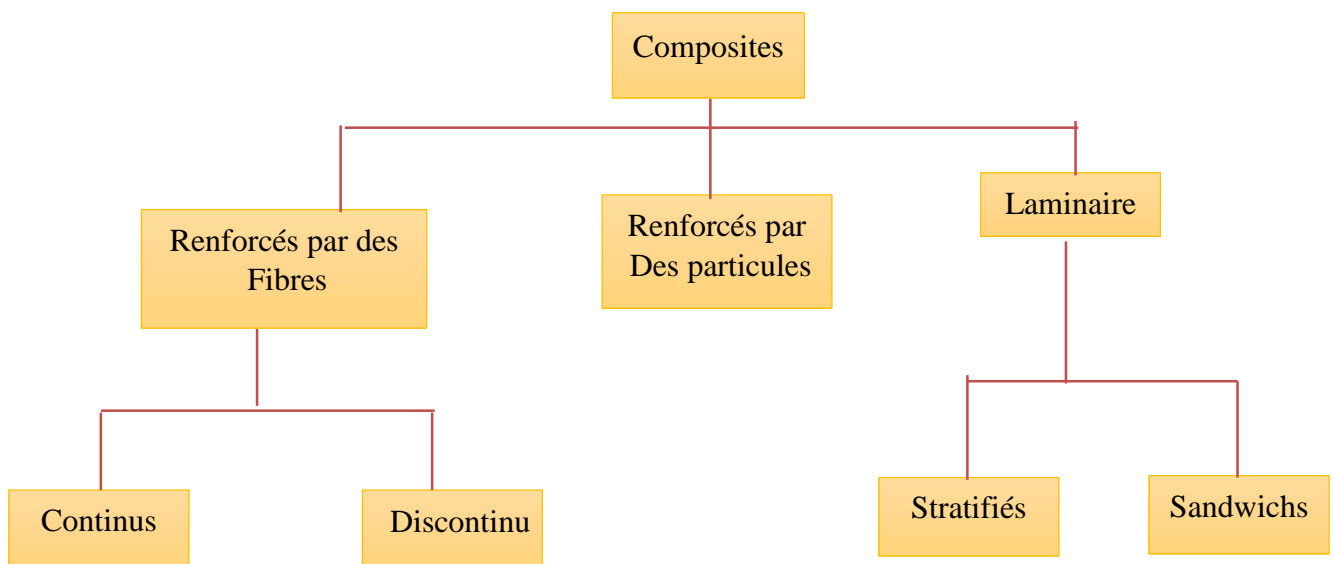
La concentration du renfort est habituellement mesurée par la fraction volumique (concentration en volume) ou par la fraction massique (concentration en masse), la concentration du renfort est un paramètre déterminant des propriétés mécaniques du matériau composite.

Pour une concentration donnée, la distribution du renfort dans le volume du composite est également un paramètre important, sa distribution uniforme assurera une homogénéité du matériau composite.

Dans le cas d'une distribution non uniforme du renfort, la rupture du matériau sera initiée dans des zones pauvres en renfort, diminuant ainsi la résistance du composite. Dans le cas des matériaux composites dont le renfort est constitué de fibres, l'orientation des fibres détermine l'isotropie du matériau composite. Cet aspect constitue une des caractéristiques fondamentales.

Des composites et aussi la possibilité de contrôler l'anisotropie du produit fini par une conception et une fabrication adaptée aux propriétés souhaitées [3] [4].

### 3 Classification des matériaux composites



**Figure I- 2:**Classification des matériaux composites.

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

Les principales classes des composites comprennent les composites à matrice polymère (PMC), les composites à matrice métallique (MMC), les composites à matrice céramique (CCM) et les composites à matrices de carbone (CMC). Le terme composite à matrice organique (OMC) est généralement présent les deux classes de composites, à savoir les composites à matrice polymérique (PMC) et les composites à matrice de carbone (CMC) [5].

## 3.2 Classification effectuée par rapport à la géométrie

### 3.2.1 Composites à fibres

Un matériau composite est un composite à fibres si le renfort se trouve sous forme de fibres. Les fibres utilisées se présentent soit sous forme de fibres continues ou bien sous forme de fibres discontinues (fibres coupées, fibres courtes). L'arrangement des fibres, leur orientation permettent de moduler la carte des propriétés mécaniques des matériaux composites afin d'obtenir des matériaux allant de matériaux fortement anisotropes à des matériaux isotropes dans un plan [6].

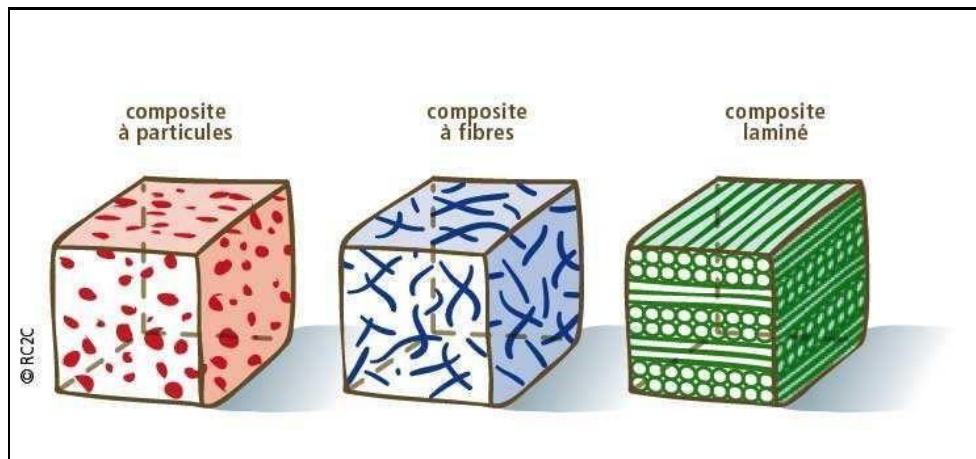


Figure I-3:Schéma d'un matériau composite [7].

### 3.2.2 Composites à particules

Un matériau composite est un composite à particules lorsque le renfort se trouve sous forme de particules. Une particule, par opposition aux fibres, ne possède pas de dimension privilégiée. Les particules sont généralement utilisées pour améliorer certaines propriétés des matériaux ou des matrices, comme la rigidité, la tenue à la température, la résistance à l'abrasion, la diminution du retrait, etc. Dans de nombreux cas, les particules sont simplement utilisées comme charges pour réduire le coût du matériau, sans en diminuer les caractéristiques [6].

### 3.2.3 Composites structuraux

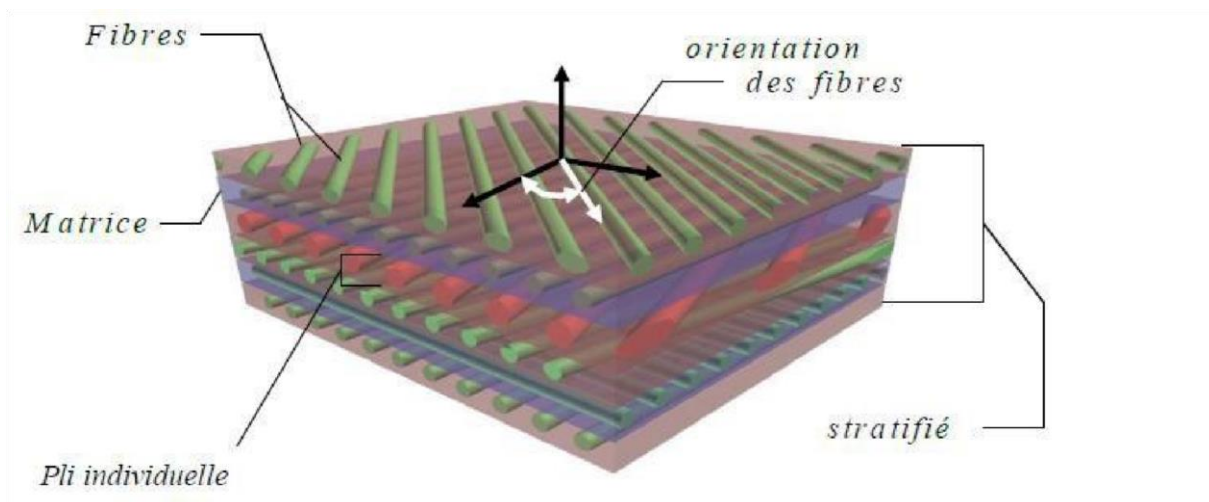
La fabrication d'un renfort peut se faire avec des fibres dispersées aléatoirement ou orientées dans une ou plusieurs directions. Des axes de renforcement peuvent être définis par le croisement de fils (le tissage). Des structures 3D ont également été développées afin

d'améliorer le renforcement du matériau et d'apporter une solution aux problèmes de délaminage [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.

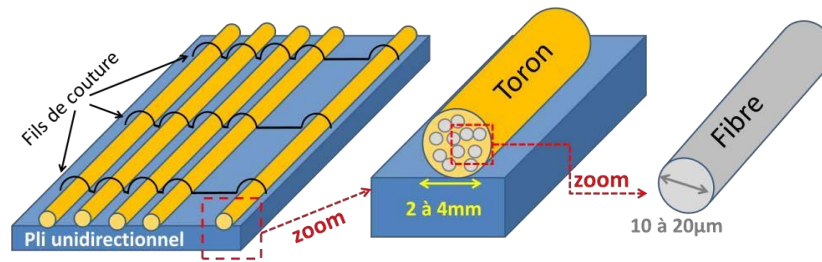
En jouant sur l'ordre et l'orientation de ces couches, il est possible d'adapter finement les propriétés mécaniques du stratifié aux sollicitations extérieures, et donc atteindre un haut niveau d'optimisation en mettant la matière là où elle est le plus utile [6].



**Figure I-4:**composite stratifié [5].

**3.2.5 Les Composites tissés**

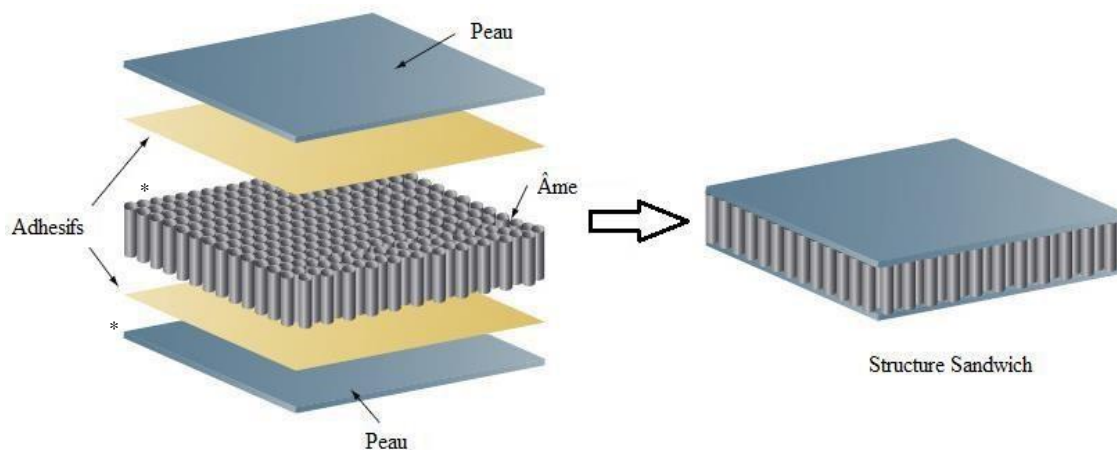
Dans ces structures, les fibres sont tressées ou alignées en « câbles » nommés torons ou simplement fils, comptant chacun quelques centaines ou milliers de fibres. Ces fils sont ensuite tissés selon des motifs plus ou moins sophistiqués, les motifs du tissu peuvent être extrêmement variés selon les caractéristiques désirées du matériau [6].



**Figure I- 5:**Représentation d'un pli unidirectionnel.

### 3.2.6 Les sandwichs

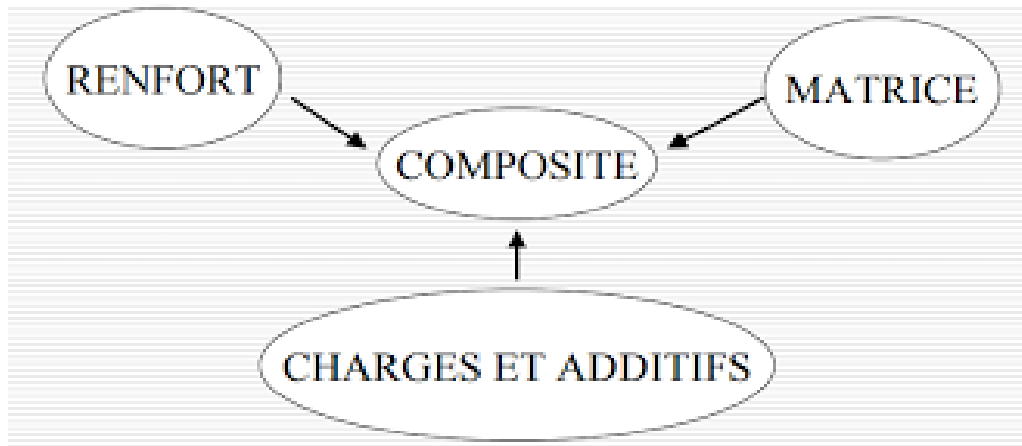
Matériaux composés de deux semelles (ou peaux) de grande rigidité et de faible épaisseur enveloppant une âme (ou cœur) de forte épaisseur et faible résistance. L'ensemble forme une structure d'une grande légèreté. Le matériau sandwich possède une grande légèreté en flexion [6].



**Figure I-6:**Structure sandwich [9].

## 4 Constituants des matériaux composites

Un matériau composite résulte de l'association d'une matrice, d'un élément renforçant et de différents additifs et adjuvants (agents de démoulage stabilisant etc.) Lorsque le matériau composite est non endommagé, les renforts et la matrice sont parfaitement liés et il ne peut pas y avoir ni glissement ni séparation entre les différentes phases de la structure pour obtenir de bonnes caractéristiques mécaniques.

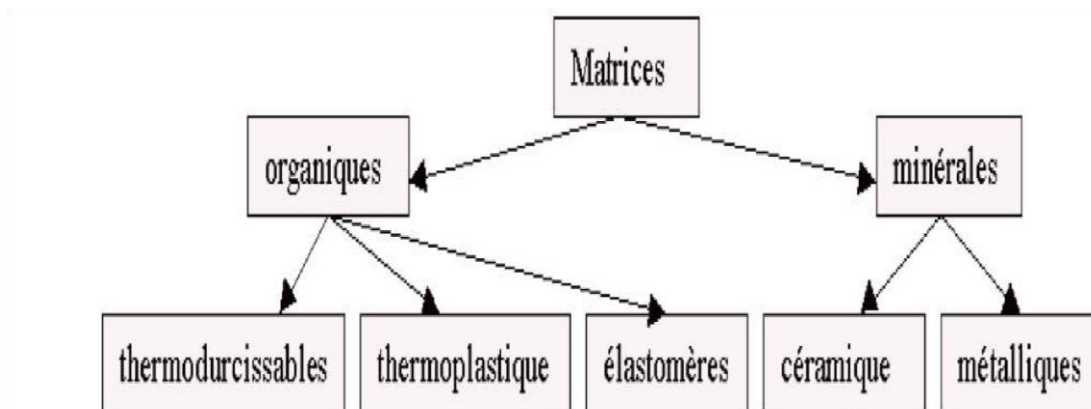


**Figure I-7:**Différents constituants d'un matériau composite [10].

**4.1 Les matrices**

Du fait de leurs faibles sections (des diamètres aux environs de 10 à 20 µm), 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.

On désigne généralement sous le nom de matrice, un liant polymérique qui, associé à un renfort, permet de le maintenir dans ses formes en assurant la cohésion de l'ensemble et le transfert des efforts. C'est elle qui apporte les propriétés physico-chimiques du produit final. Le premier rôle de la matrice est de maintenir les renforts dans une forme compacte et de donner la forme voulue au produit. Elle sert également à protéger les fibres contre l'abrasion et les agressions extérieures et d'assurer le transfert de charges entre les fibres. Selon la nature de la matrice, les matériaux composites sont classés suivant des composites à matrice organique, composites à matrice métallique ou composites à matrice minérale [11].



**Figure I- 8:**Organigramme des différentes familles de matrice [11].

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.

#### **4.1.1 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 [6].

**Tableau I- 1:**Caractéristiques des résines thermoplastiques [23].

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 thermodurcissables sont des polymères qui ne peuvent être mis en forme qu'une seule fois (non recyclable) mais possèdent des propriétés mécaniques et thermomécaniques élevées par rapport aux thermoplastiques [8]. Ils se présentent sous forme liquide visqueux et que l'on met en forme en

Déclenchant une réaction chimique de polymérisation par ajout d'un durcisseur, ce qui entraîne une solidification. Les plus connus sont les polyesters insaturés (vinyle ester, les dérivés



allyliques, les polyesters condensés, etc.), les résines époxydes, les résines de condensation (les phénoliques, les aminoplastes,...etc.)[6]. Ils offrent beaucoup d'avantages fondamentaux importants par rapport aux thermoplastiques tels que la résistance à la fatigue et à l'impact, la longévité et la résistance à la corrosion.

**Tableau I- 2:**Caractéristiques des résines thermodurcissables [23].

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

#### **4.1.3 Les résines en céramique**

Les matrices céramiques sont composées d'un ou plusieurs métaux combinés à un élément dont le plus courant est l'oxygène comme par exemple AL<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Alumine), SiO<sub>2</sub> (Silice), MgO (Magnésie). Beaucoup moins répandus que leurs homologues à matrice organique en raison d'un coût élevé, ces CMC s'adressent aux applications à très hautes températures. Ils sont principalement utilisés dans l'industrie spatiale et l'aéronautique militaire, ainsi que pour la conception d'organes haut de gamme comme des disques ou plaquettes de freins [6]. Les céramiques possèdent de nombreux atouts pour de telles applications : elles peuvent résister à des températures très élevées, sont plus légères que de nombreux métaux, et présentent une bonne stabilité chimique. Leur grande fragilité limite fortement leur domaine d'utilisation.

#### **4.1.4 Les résines métalliques**

Composites à matrice en métal sont des matériaux qui combinent la dureté des métaux et la rigidité de la céramique. Ce type de résines est utilisé comme liant dans des applications nécessitant un matériau aux bonnes propriétés spécifiques et possédant une bonne tenue en température. A l'heure actuelle, ces applications restent peu nombreuses et sont limitées aux secteurs de pointe à cause du coût de mise en œuvre et de la complexité d'imprégnation. Les matrices les plus utilisées à ce jour sont les alliages d'aluminium. Les fibres utilisées sont le carbone et les fibres céramiques [6].

## 4.2 Les renforts

Les renforts Souvent sous forme de fibres, le but des renforts dans les matériaux composites est essentiellement d'accroître leurs propriétés mécaniques (rigidité, résistance à la rupture, dureté, etc.) et d'améliorer des propriétés physiques, tels les comportements au feu et à l'abrasion, la tenue en température ou les propriétés électriques. Les caractéristiques recherchées dans les renforts sont une masse volumique faible, une compatibilité avec les matrices et une facilité de mise en œuvre. Les renforts constitués de fibres se présentent sous les formes suivantes : linéique (fils, mèches), tissus surfaciques (tissus, mats), multidirectionnelle (tresse, tissus complexes, tissage tri directionnel) [11]. La classification des types de renforts couramment rencontrés est indiquée sur la figure I-9 [20].

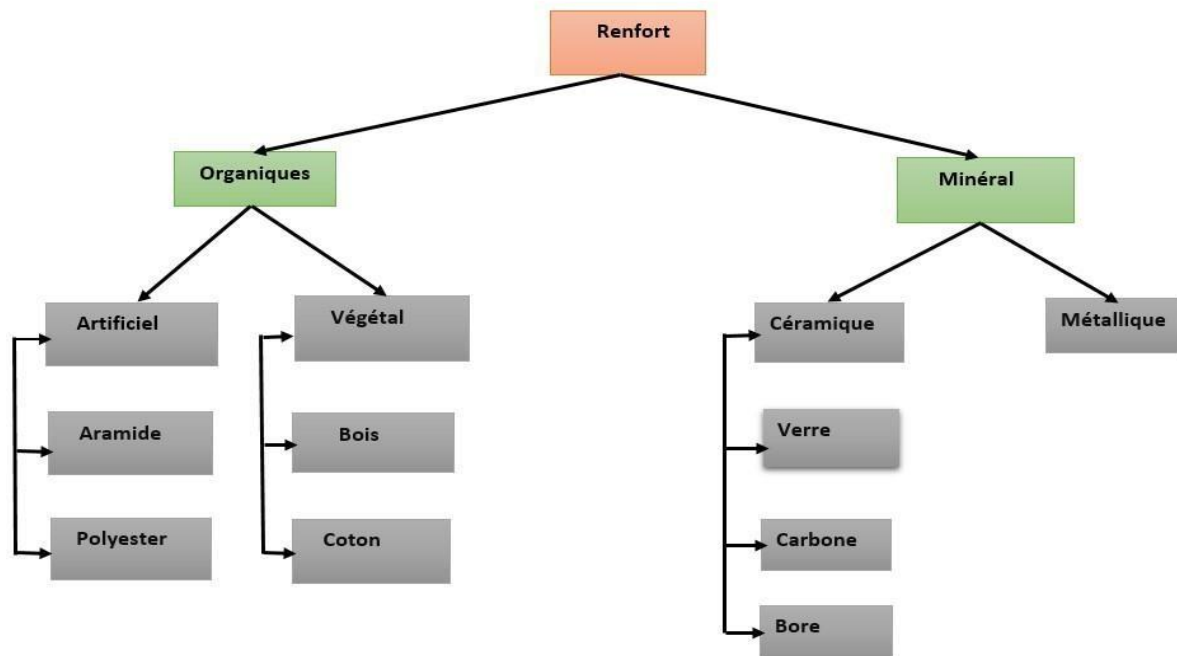


Figure I- 9: Les différents types de renfort de base [20].

### 4.2.1 Les fibres de verre

Les fibres de verre ont un excellent rapport performance-prix qui les placent de loin au premier rang des renforts utilisés actuellement dans la construction de structures composites. Ces derniers présentent un module de traction faible, mais une résistance en traction intéressante [13]. Elles sont constituées de silicates et considérées 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 haut résistance mécanique pour la réalisation des pièces structurales.



a-Roving de verre



c – Mat de verre



b – Tissu de verre

**Figure I- 10:**Les différents types de renfort de base [21]

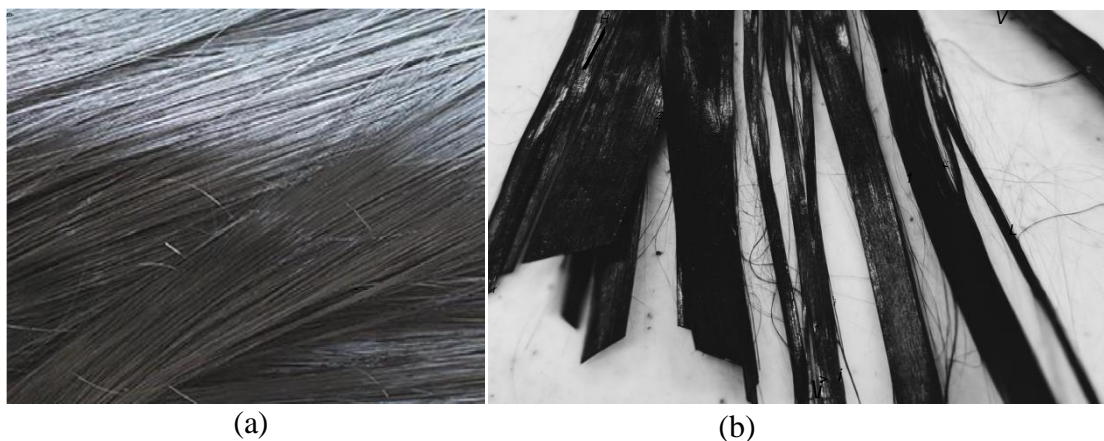
**Tableau I- 3:**Caractéristiques mécaniques des fibres de verre [22].

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 sont des filaments minces faites de carbone élémentaire avec les structures qui changent de ceux du carbone amorphe à ceux du graphite cristallin. Ces fibres sont élaborées à partir d’un polymère de base appelé précurseur, les propriétés chimiques et physiques des fibres de carbone finales dépendent fortement des qualités du précurseur [7].

Les fibres de carbone possèdent de très fortes propriétés mécaniques, leur résistance peut atteindre entre 200 et 300 GPa, elles sont souvent employées comme renfort dans les composites polymères rigides [14].



**Figure I- 11:**Fibres de Graphite (a), fibre de Carbone (b) [6].

**Figure I- 12:**Caractéristiques mécaniques des fibres de carbone [22].

<b>Caractéristique</b>	<b>Fibres HR</b>	<b>Fibres HM</b>	<b>Fibres IM</b>
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 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).



**Figure I- 13:**Fibres d’aramide.

#### 4.2.4 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 Carbone de Silicium.
- fibres de Bore.
- fibres de Bore carbure de silicium.

#### 4.2.5 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'élasticité relativement faibles par rapport aux autres fibres déjà citées [8]. Les fibres concernées sont :

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

### **4.3 Les charges :**

L'objet de la charge renforçant est d'améliorer les caractéristiques mécaniques de la résine, ou diminuer le coût des résines en conservant les performances des résines. En générales ces charges sont des microbilles ou des particules (poudre) [12].

Les principales charges utilisées sont :

- microbille en (verre, carbone, époxyde, phénolique, polystyrène, ...ect).
- des poudres ou paillettes métalliques : (cuivre, fer, aluminium, ...ect).
- des particules de carbone (noir de carbone).

### **4.4 Les additifs :**

Ils sont nécessaires pour assurer une adhérence suffisante entre le renfort fibreux et la matrice et de modifier l'aspect ou les caractéristiques de la matière à laquelle ils sont ajoutés [12]. Les additifs se trouvent en faible quantité (quelques % et moins) et interviennent comme:

- lubrifiants et agents de démoulage.
- pigments et colorants.
- agents anti-retraits.
- agents anti-ultraviolets.
- accélérateur.
- catalyseur.

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

En plus de ces fibres et la matrice, il faut rajouter une interface qui assure la compatibilité renfort/matrice, qui transmet les contraintes de l'un à l'autre sans déplacement relatif assurant une bonne adhérence en couche fine. Des produits chimiques entre aussi dans la composition du composite, l'interphase,...etc; qui peut influencer sur le comportement mécanique, mais n'interviennent pratiquement jamais dans le calcul de structure composite [12].

### 5 La mise en œuvre des matériaux composites

De nombreuses méthodes de fabrication ont été développées pour répondre aux besoins de l'industrie, leurs choix dépend surtout des caractéristiques mécaniques et de la géométrie du produit.

#### 5.1 Les technologies en moule ouvert

##### 5.1.1 Moulage au contact :

Le principe consiste à disposer dans un moule les renforts (sous forme de mat ou de tissu) imprégnés manuellement d'une matrice therm durcissable [15].

Les pièces de formes quelconques peuvent être réalisées avec une cadence très faible.

Les renforts sont déposés sur le moule et imprégnés de résine liquide, accélérée et catalysée. Après durcissement de la résine, la pièce est démoulée.

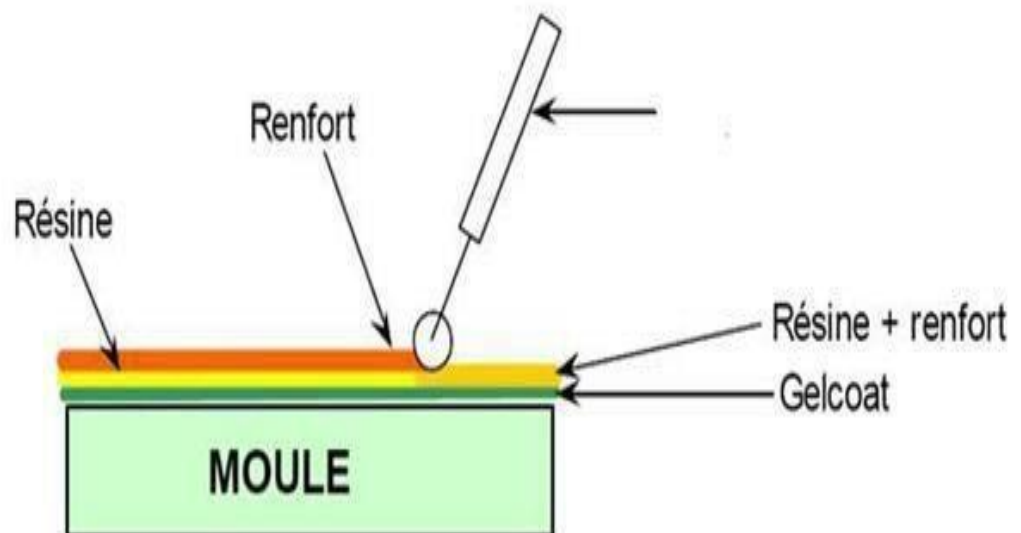


Figure I- 14: Procédé de moulage par contact [15].



On utilise cette technologie de moulage dans le cas de fabrication de petites séries de pièces (1 à 1000 pièces / an et des pièces de très grandes dimensions).

Ce type de moulage présente des avantages tels que :

- Très larges possibilités de formes ;
- Pas de limite dimensionnelle ;
- Une surface lisse gelcoatée (aspect, tenue à la corrosion) ;
- Propriétés mécaniques moyennes à bonnes ;
- Investissements spécifiques très faibles ;
- Moules simples, peu onéreux, rapide à réaliser en interne.

Mais aussi il se limite à :

- Une seule face lisse ;
- Nécessité de finition (détourage, perçage, etc.) ;
- Qualité tributaire de la main d'œuvre ;
- Faible cadence de production par moule ;
- Espace de travail important ;
- Conditions de travail médiocres ;

### **5.1.2 Moulage par projection simultanée :**

Les matières premières sont mises en œuvre à l'aide d'une machine de projection. Le dispositif de projection est composé de :

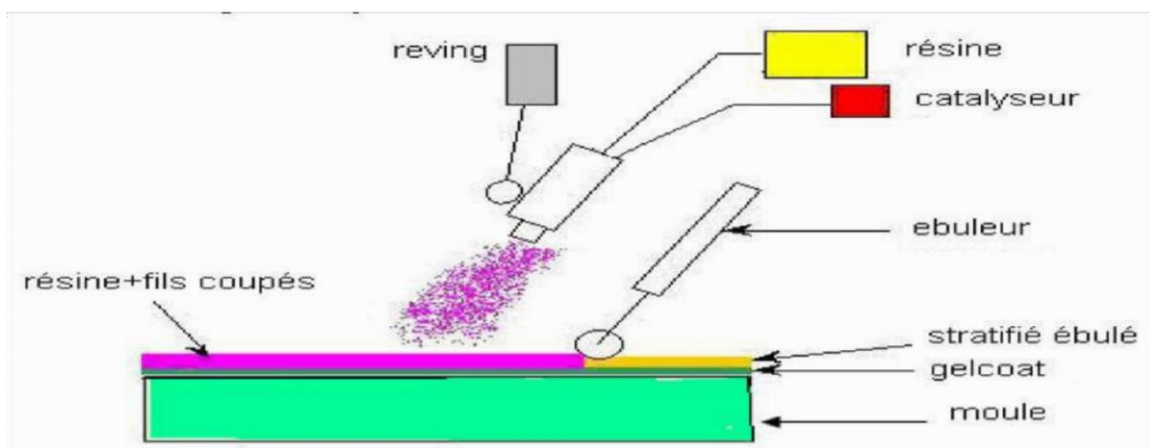
- Un dispositif de coupe.
- Projection du renfort (roving).
- Un ou deux pistolets projetant simultanément la résine.

Les fils coupés et la résine sont projetés sur la surface du moule puis compactés et éboulés à l'aide de rouleaux et d'ébulleurs. La résine pré-accélérée est catalysée en continu lors de sa projection.

Parmi les avantages associés à ce type de moulage on retrouve :

- Très larges possibilités de forme et dimensions.
- Travail simplifié, suppression de la mise en forme obtenue directement par la projection.
- Investissements très modérés.
- Moules simples, peu onéreux, rapides à réaliser en interne.

En plus des limites rencontrées par le moulage au contact, celui-ci se limite à des propriétés mécaniques moyennes [15].



**Figure I-15:**Moulage par projection simultanée [15].

## 5.2 Les technologies en moule fermé

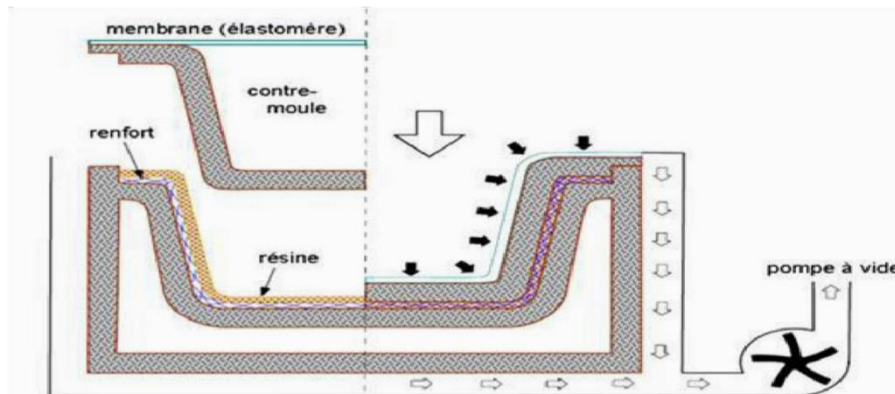
### 5.2.1 Moulage sous vide

Le moulage sous vide s'effectue en utilisant un moule ouvert sur lequel on dispose les couches de renfort imprégné.

Le renfort est placé à l'intérieur du moule et la résine catalysée est versée sur ce dernier, un sac de plastique souple vient couvrir le tout hermétiquement (technique du sac), l'étanchéité est

assurée au moyen d'un joint placé sur le périmètre. Le vide est fait sous la feuille de plastique des bulles d'air, fluage de l'excédent de résine qui est absorbé par un tissu de pompage.

L'ensemble est ensuite soumis à polymérisation en étuve ou en autoclave. La résine peut également être injectée par l'aspiration consécutive au vide. On utilise ce type de moulage dans le cas d'une production en petites séries de pièces nécessitant deux faces lisses [15].



**Figure I- 16:**Moulage sous vide [16].

**5.2.2 Moulage par injection a basse pression de résine (RTM)**

Le moulage par injection de résine liquide RTM (Résine Transfert Molding) s'effectue entre moule et contre-moule rigides. Le renfort (mats, préforme, éventuellement tissus) est mis en place dans le moule, ensuite, la résine, accélérée et catalysée, est injectée sous faible pression (1.5 à 4 bars) à travers le renfort jusqu'au remplissage complet de l'empreinte. La pression de moulage est faible et le procédé convient pour des cadences jusqu'à 30 pièces par jour [15].

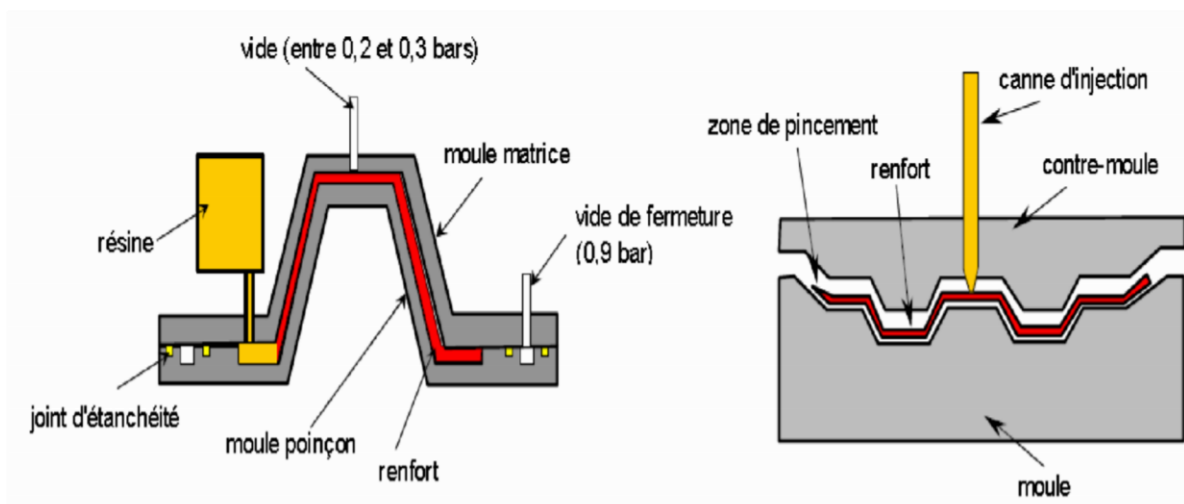


Figure I- 17:principe de moulage par injection de résine [15].

### 5.2.3 Moulage à froid

C'est un moulage dans lequel on se sert d'une presse à compression entre moule est contre moule rigides initialement sans apport thermique extérieur. Le renfort (mat) est posé sur la partie inférieure du moule, la résine dotée d'un système catalytique très réactif, est tout de suite versée en vrac. La fermeture du moule sous pression (2 à 4 bars) entraîne la répartition de la résine dans l'empreinte et l'imprégnation du renfort. Le durcissement de la résine est accéléré progressivement par l'élévation de température du moule [15].

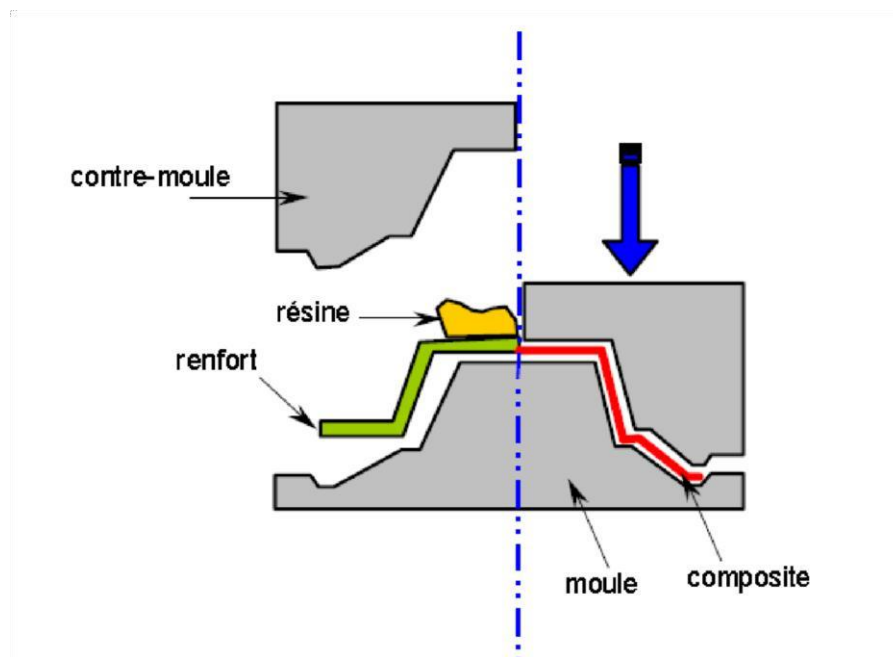
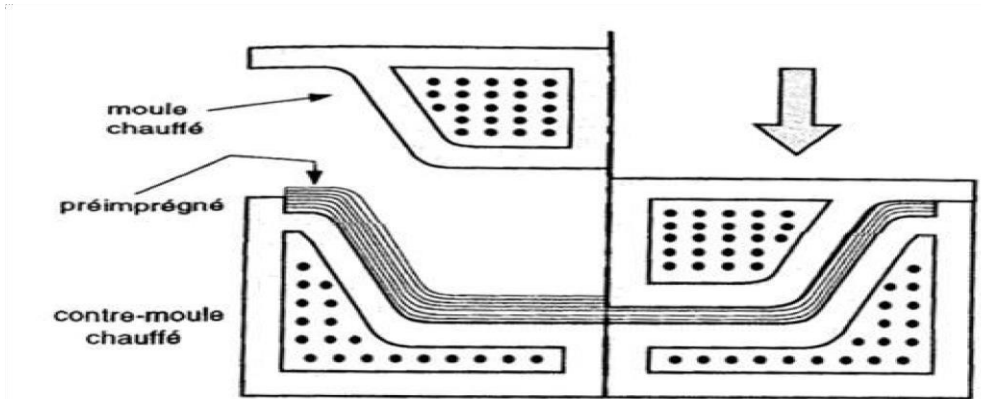


Figure I- 18:Principe de moulage à la presse à froid [15].

### 5.2.4 Moulage par injection de compound BMC

Le compound (Bulk Molding Compound), est une masse à mouler constituée de résine, de charges et d'adjuvants divers, renforcé par des fils de verre coupés. Cette masse est préparée dans un malaxeur. Le moulage se fait à chaud (130-150 °C) par injection (principalement) entre moule et contre moule en acier usiné. La pression (50 à 100 bars) de fermeture du moule entraîne le fluage de la matière préalablement dosée et le remplissage de l'empreinte. Le temps de durcissement très court permet un démoulage rapide. On utilise ce type de moulage pour une

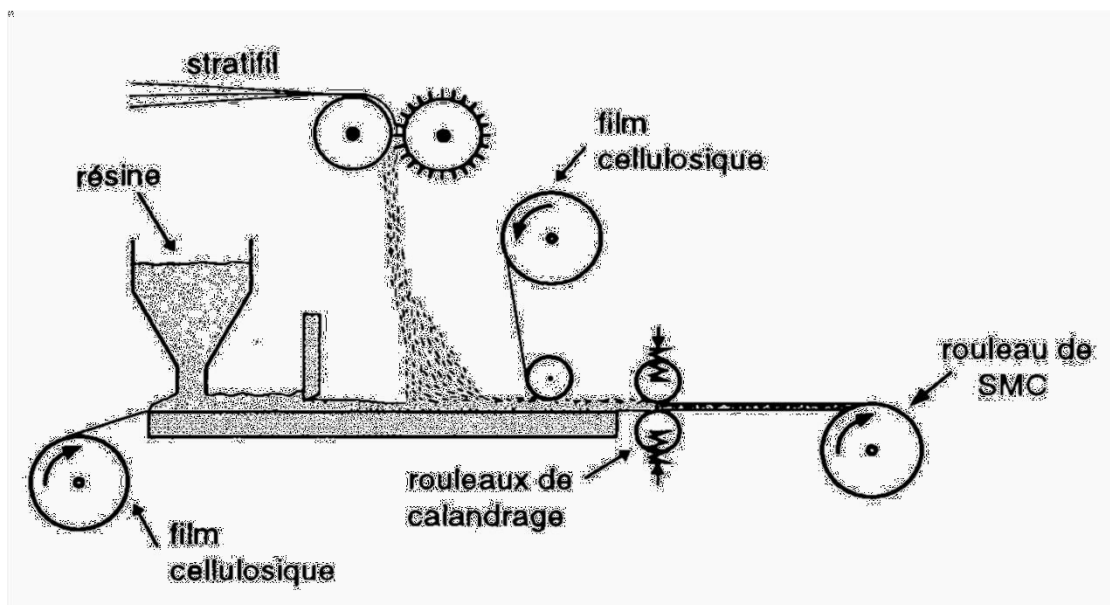
production en grandes séries, et pour des pièces de taille petite et moyenne, plus ou moins épaisses [15].



**Figure I- 19:**Moulage par injection de compound BMC [12].

**5.2.5 Compression thermodurcissable SMC: (Sheet Molding Compound)**

Le principe consiste à déposer des feuilles de pré imprégnés dans un contre moule chauffé, de comprimer le matériau avec un moule chauffé, puis polymérisation suivi de l'éjection de la pièce. Les avantages de cette technique sont: coût matière, propriétés mécaniques et thermiques. Les limites sont l'aspect, le dimensionnement des presses et la finition [17].



**Figure I- 20:**Compression thermodurcissable SMC [12].

### 5.2.6 Enroulement filamentaire (ou bobinage)

Suivant la figure ci-après, il peut être intégré dans une chaîne de fabrication en continu, et ainsi autoriser l'obtention de tubes de grande longueur [18]. Pour des pièces de révolution à méridienne quelconque, l'enroulement est réalisé sur un mandrin de forme démontable, puis polymérisé en étuve ou en autoclave. Ce procédé est utilisé pour la fabrication de pièces devant résister aux pressions internes, (réservoirs, corps de propulseur etc.) [17].

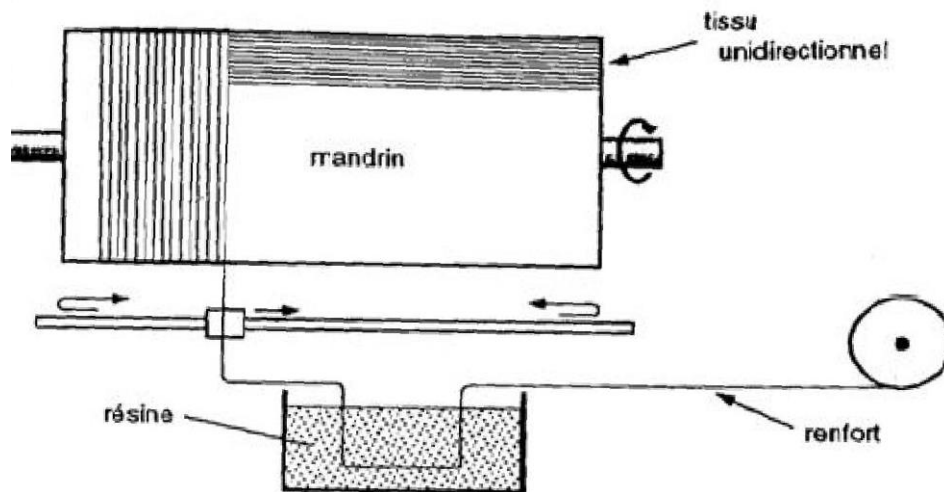


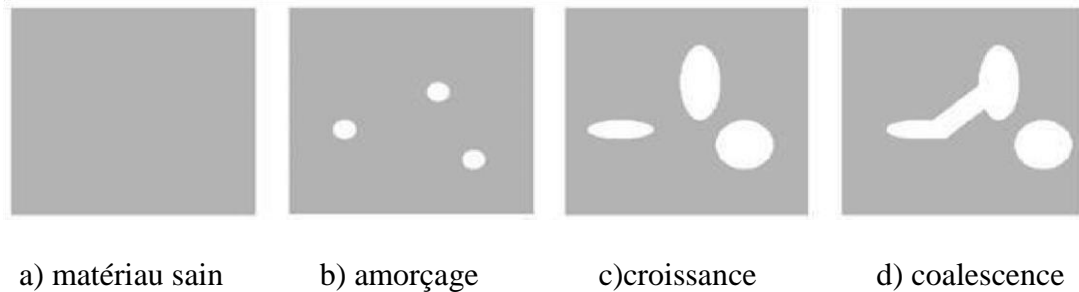
Figure I- 21:Enroulement filamentaire (ou bobinage) [12].

Aussi il existe d'autres procédés tels la pultrusion, drapage en autoclave, centrifugation, stratification en continu...ect.

## 6 Mécanismes d'endommagement des composites

L'endommagement désigne les phénomènes de création de nouvelles surfaces au sein d'un matériau sous l'effet d'une sollicitation. L'endommagement est défini comme une augmentation de la taille ou du nombre de fissures. Ceci engendre une diminution des caractéristiques mécaniques du système qui mène à sa ruine. Trois mécanismes sont généralement observés lors de processus d'endommagement (Figure I-21) :

- ✓ **L'amorçage** : qui correspond à l'apparition de la cavité au sein du matériau.
- ✓ **L'accroissance** : au cours de laquelle des volumes de cavités augmentent.
- ✓ **La rupture** : phase qui correspond à l'apparition de microcavités par coalescence des microcavités existantes.



**Figure I- 22:**Phase de l'endommagement d'un matériau [19].

Lorsqu'ils sont soumis à des contraintes externes, les matériaux composites subissent des différents types de dégradation résultant de l'endommagement local au niveau de la matrice des fibres et de l'interface. Généralement ces mécanismes se produisent simultanément réduisant ainsi les propriétés mécaniques des matériaux composites. Les mécanismes de dégradation se développent suivant la nature des matériaux et les conditions de sollicitations mécaniques imposées. Dans un matériau composite, la redistribution des contraintes et par conséquent le processus de rupture résultant, dépend principalement de la contrainte à la rupture des fibres, de la capacité de la matrice à absorber l'énergie libérée de la propriété, de l'interface de fibre-matrice de la fraction volumique ainsi que de l'état et des conditions des sollicitations mécaniques imposées [20]. Les modes de dégradation des composites stratifiés ont fait l'objet de nombreuses études expérimentales et sont aujourd'hui clairement identifiés. De façon générale, on distingue plusieurs phases dans le scénario d'endommagement d'une éprouvette constituée de l'empilement de plis unidirectionnels.

- ✓ L'apparition de fissures transverses, parallèles aux fibres et traversant le pli, résultant de la coalescence de micro dommages.
- ✓ L'apparition et l'évolution micro délaminages en pointe de fissure transverse au niveau des interfaces entre plis.
- ✓ La ruine finale du stratifié par rupture de sollicitations et la stratification [19].

## 6.1 Décohésion fibre-matrice

Dans la pratique même après avoir choisi les constituantes fibres et matrice avec soin en les soumettant à des contrôles précis, dont leur interface issue de leur interaction ne peut être totalement maîtrisée par les efforts d'analyse et de prévision. Dans le cas particulier où les fibres sont discontinues, la zone inter faciale est le siège d'initiation de fissures devient critique à l'accumulation de l'endommagement (Figure I-22). Cela est dû essentiellement à l'efficacité du transfert de charges à l'interface fibre-matrice ainsi qu'à la concentration des contraintes aux extrémités des fibres. Le comportement de l'interface fibre-matrice dépend essentiellement de ses propriétés mécaniques comparées à celles des fibres et de la matrice. Généralement la décohésion a lieu dans deux cas :

- ✓ Lorsque la cohésion est inférieure à la contrainte de cisaillement à la rupture de la matrice.
- ✓ Lorsque l'adhérence fibre-matrice est faible : dans ce cas, la rupture de la matrice traverse sans qu'il y ait rupture de fibre mais avec décohésion de l'interface fibre matrice

Dans le cas d'une adhérence fibre-matrice élevée la rupture initiée soit par rupture de fibre soit par rupture de la matrice, induit en front de fissure des concentration de contraintes conduisant à une propagation de la rupture successivement dans les fibres et dans les matrices.

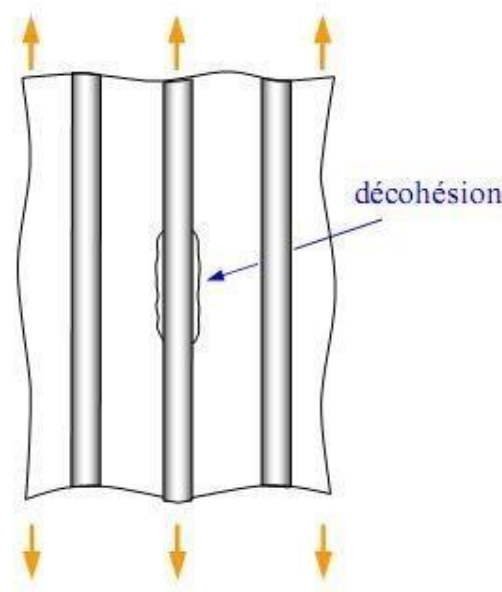


Figure I- 23: Décohésion fibre-matrice [1].



## 6.2 Fissuration Matricielle

Dans la matrice, la fissuration peut être transverse ou longitudinale. La première se produit lorsque la contrainte en traction dans la matrice atteint la contrainte de rupture de la matrice, alors que la seconde a lieu lorsque la contrainte de cisaillement dans la matrice atteint la contrainte en cisaillement à la rupture généralement au voisinage d'une fibre. Ce dernier mode de rupture appelé « Splitting » se produit lorsque la contrainte de décohésion est supérieure à la contrainte de cisaillement à la rupture de la matrice. Dans le cas des composites industriels à fibres de verre, les performances à la rupture peuvent être limitées par une déformabilité trop faible de la matrice. Il apparaît donc nécessaire d'adapter au mieux les propriétés de la matrice à celles des fibres pour optimiser les performances à la rupture des matériaux composites.

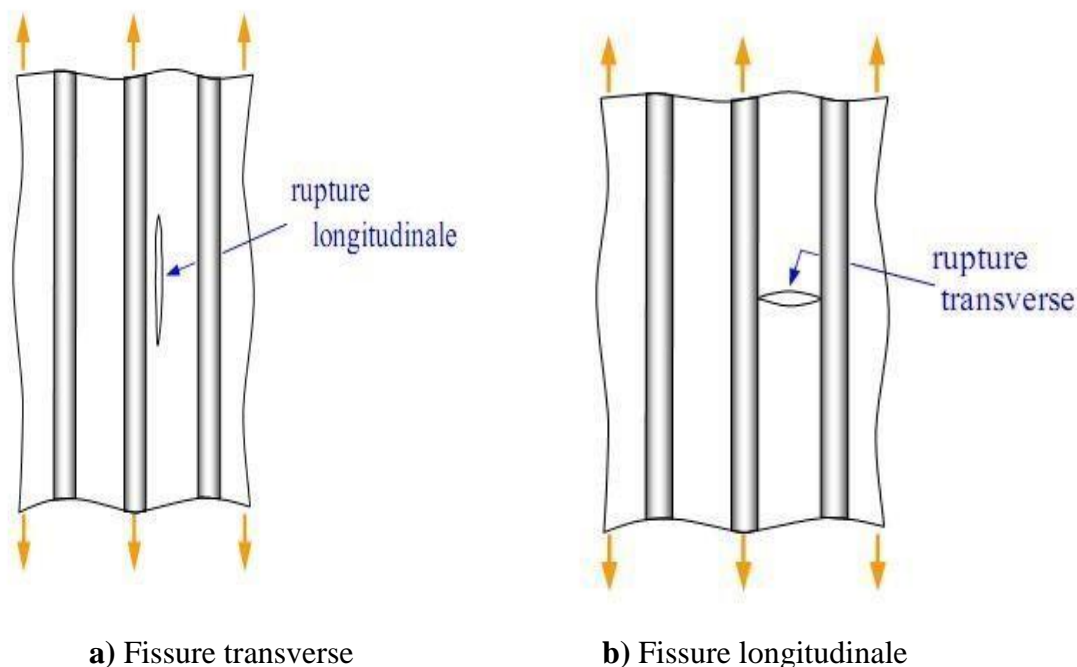


Figure I- 24:Fissuration de la matrice [1].

## 6.3 Délaminage

Dans le cas d'un stratifié ou multicouche, aux mécanismes élémentaires précédemment décrits s'ajoute un mécanisme de rupture entre couches appelé rupture par « délaminage » ce type d'endommagement dépend de la nature de constituants, de l'architecture des couches et du mode de sollicitation mécanique imposé. Le délaminage qui apparaît après la phase d'endommagement intra laminaire commence souvent sur les bords avant de s'étendre sur toute

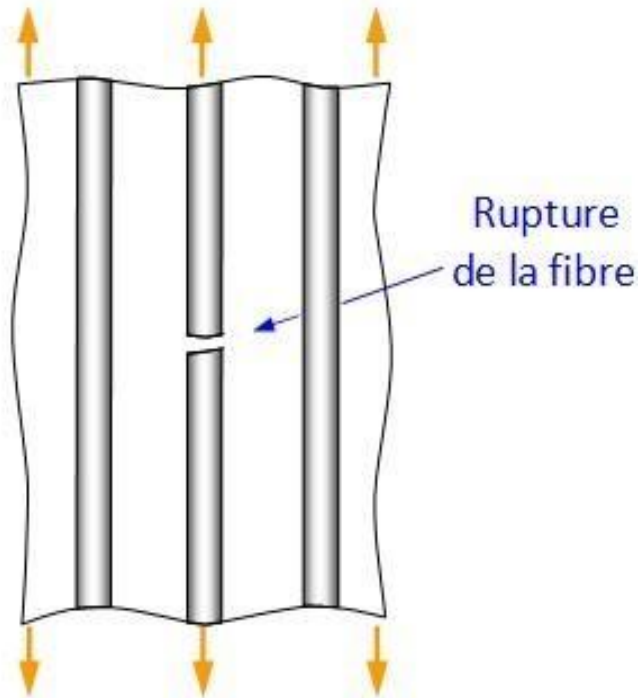
l'éprouvette. Il correspond d'une fissuration qui a tendance à séparer les plis ou les couches du composites [1].



**Figure I- 25:**Délaminage d'un composite [1].

#### **6.4 Rupture de la Fibre**

Dans certains cas, l'endommagement dans les composites est initié par une rupture de la fibre. Cela se produit en générale lorsque l'orientation des fibres coïncide plus ou moins avec l'axe de sollicitation du matériau composite. La rupture aura lieu lorsque la contrainte de rupture de la fibre est atteinte. L'endommagement se produit et ne cesse de se progresser à mesure que la contrainte est appliquée ce qui provoque ainsi la rupture de la matrice et de la fibre jusqu'à la rupture totale du matériau.



**Figure I- 26:**Rupture de la fibre [1].

*Chapitre II :*

**Elaboration de matériau  
composite**

## 1 Introduction

Dans cette partie, on s'intéresse principalement à l'étude purement expérimentale. Nous allons aborder dans cette partie les constituants et les appareils, instruments utilisés pour l'élaboration du matériau composite (résine, fibre de verre, le moule...). En commençant par la présentation de la procédure de mise en œuvre et d'élaboration des éprouvettes composites, il s'agit du procédé dit moulage par contact. L'étude sera donc réalisée sur deux variantes de composites (fibre de verre tissées, mat de verre) renforcés par une résine polyester PRE-631 TAB produit par l'entreprise POLERS POLYESTER.

## 2 Matériau d'étude

Le matériau étudié est composé d'une matrice de résine PRE-631 TAB THIXOTROPIC POLYESTER, une résine polyester thermodurcissable et deux type de renfort en forme de tissu de verre (300g/m<sup>2</sup>) et mat de verre (300g/m<sup>2</sup>).

### 2.1 Renfort (fibre de verre)

#### 2.1.1 Composition chimique

Le renfort est constitué de fibre de verre utilisé comme fibres en textiles qui est très différente de celle employée pour les verres courants. Les fibres doivent pouvoir résister aux agressions des agents chimiques et avoir une résistance mécanique à la traction exceptionnellement élevée.

Leur composition, très pauvre en oxydes alcalins, contient des quantités importantes d'alumine, d'anhydride borique et d'oxydes alcalinoterreux (voir tableau II-1).

**Tableau II- 1:**Composition chimique du verre E utilisé comme renfort [23].

<b>Composition chimique de verre E</b>	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)
<b>Teneur en %</b>	54,5	8,5	14,5	22

Nous avons utilisé deux types de fibres de verre (le mat et le tissé).

### 2.1.2 Le mat de verre

MAT de verre est composé de fibres de verre coupées et arrangé aléatoirement, agglomérées par un liant pour le renforcement des matières synthétiques en fibres de verre (voir tableau II-2) [25].

**Tableau II- 2:**Tableau des caractéristiques du produit [25].

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

Il existe plusieurs types de mat de verre, dans notre travail nous avons utilisé le mat de verre de masse surfacique 300g/m<sup>2</sup>



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

### 2.1.3 Tissu de verre (roving) :

Tissu de verre symétrique à structure sergée du type Taffetas tissé, et de masse surfacique 300 g/m<sup>2</sup>. Avec un traitement de finish à base époxy-silane donnant une bonne qualité d'imprégnation. Egalement bonne déformabilité lors de la mise en place (voir tableau II-3) [26].

**Tableau II- 3:**Tableau des caractéristiques du produit [26].

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

Dans notre travail nous avons utilisé roving de masse surfacique 300g/m<sup>2</sup>



**Figure II-2:**tissu de verre 300g/m<sup>2</sup>.

**2.2 Matrice**

Le PRE-631 TAB est une résine polyester insaturée à base ortho-phtalique, à réactivité moyenne, à viscosité moyenne-élevée, thixotrope, pré-accélérée avec un indicateur bleu pour les applications GRP, FRP et coulée transparente (Figure II-3). PRE-631 TAB convient aux systèmes de pose à la main et par pulvérisation ainsi qu'à la production de pièces automobiles, de bateaux de mer, de yachts, de cabines de modules, de réservoirs d'eau et de production de marbre artificiel. Le produit est offert en seau de 18 kg, en fût métallique de 230 kg et en réservoir IBC de 1 mt [27].

<b>PRE</b>	<b>pre-accelerer (Pre-accelerated)</b>
<b>T</b>	<b>Thixotropique (Thixotropic)</b>
<b>A</b>	<b>Accélérateur de cobalt (Cobalt Accelerator)</b>
<b>B</b>	<b>indicateur bleu (Blue Indicator)</b>

Tableau II- 4:caractéristiques des résines polyester selon la fiche technique.

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- 3:la résine utilisé PRE-631 TAB.

### 3 Mise en œuvre des matériaux stratifiés

#### 3.1 Matériel et produits utilisés :

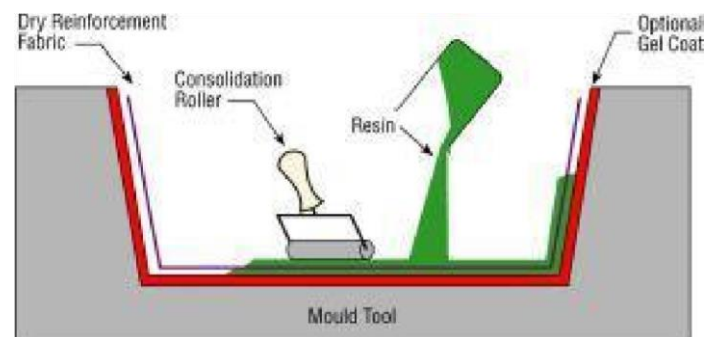
- Moule et contre moule ;
- Pinceau ;
- D'ébullieur ;
- Agitateur ;
- Masques protecteurs jetables ;
- Gents jetables ;
- Pots pour mélanger la résine ;
- Diluant ;
- Balance électronique ;



**Figure II-4 :** matériels et produit utilisé pour l'élaboration du matériau

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

Le procédé de moulage par contact auquel nous allons nous intéresser est le plus simple procédé (Figure II-4). Le renfort sous forme de tissu est manuellement placé dans un moule puis on étale la résine afin de l'imprégner et on compacte l'ensemble à l'aide d'un rouleau (d'égoutteur) afin de chasser les bulles d'air et éviter la formation de porosité. Ce type de procédé permet de traiter uniquement de très petites séries de pièces de grandes dimensions. En effet, la manière de déposer le renfort dans le moule et la pression qu'il faut exercer sur le rouleau requière un certain professionnalisme lors de la mise en œuvre du composite, ce qui influe grandement sur les propriétés mécaniques finales de la pièce.



**Figure II-5:** le principe de moulage au contact [30].

## 4 Réalisation du composite

Pour le besoin de notre travail, nous avons utilisé deux plaques en bois (moule et contre moule) figure II-6. Ensuite nous avons coupés les six couches de tissu de verre et de mat de dimensions (062×260) mm<sup>2</sup> et peser chaque couche des deux variantes (mat et roving).



**Figure II-6:**le moule utilisé pour la fabrication des éprouvettes.

### 4.1 Elaboration des plaques de composites :

L'élaboration a été réalisée au niveau d'atelier de fabrication mécanique de département de génie mécanique de l'Université de Tlemcen.

La réalisation du matériau s'est faite manuellement, on a commencé par nettoyer d'abord le moule et le contre moule, puis appliquer une couche fine de gelcoat sur les deux plaques lisse à l'aide d'un pinceau afin de pouvoir démouler facilement le composite après séchage (figure II-7).



**Figure II-7:**Application de gelcoat sur le moule.

Six feuilles de fibres 260 x 260 mm<sup>2</sup> sont prédécoupées pour chaque plaque à élaborer (plaque de mat/polyester et plaque roving/polyester).

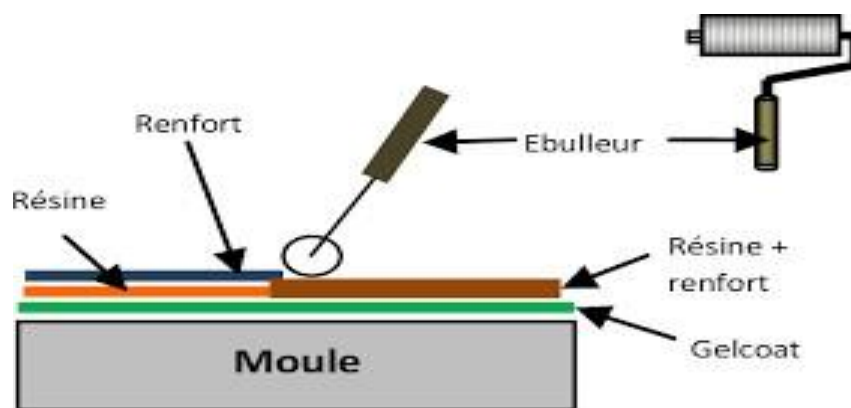
On pèse 400g de résine, à laquelle on ajoute 3% de durcisseur qu'on mélange soigneusement afin d'éviter la formation des bulles d'air.

Ensuite on verse une quantité de résine sur la plaque du moule, et après on étale la résine sur toute la surface de renfort (figure II-8).



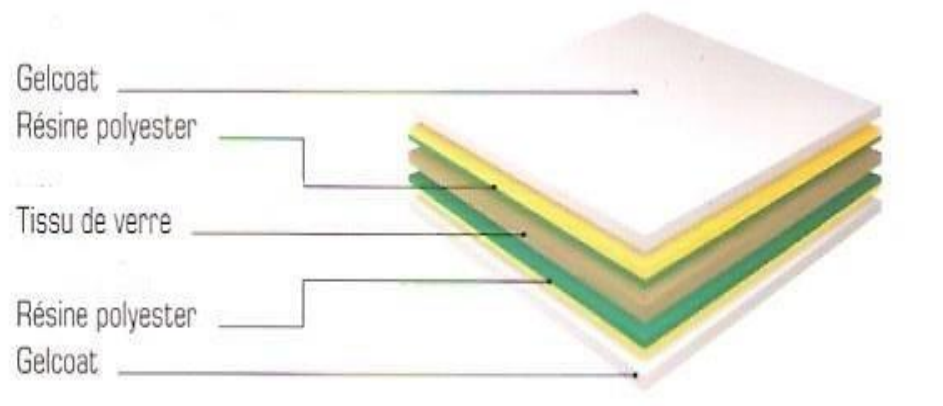
**Figure II-8:**Étalement de la résine sur le renfort.

On procède à l'empilement des différentes couches imbibées de résine et les compactées manuellement à l'aide d'un rouleau d'ébulleur pour chasser les bulles d'air, jusqu'à obtention de la séquence désirée.



**Figure II- 9:**Procéder d'élaboration du matériau [31].

Cette opération est répétée autant de fois qu'il y a de couches de renfort afin d'obtenir l'épaisseur de plaque désirée. Dans notre cas 6 plis des deux matériaux choisis, Le contre-moule est mis en place après la pose du dernier pli.



**Figure II- 10:**structure stratifié [28].

Dans ce travail, la fabrication des plaques a été faite moyennant 6 plis de de deux types de renfort de dimensions 260x260 mm<sup>2</sup>. Le tableau ci-dessous présent le taux de fibre de ces plaques d'épaisseur nominale 3 mm.

$$\rho = \frac{m}{v}$$

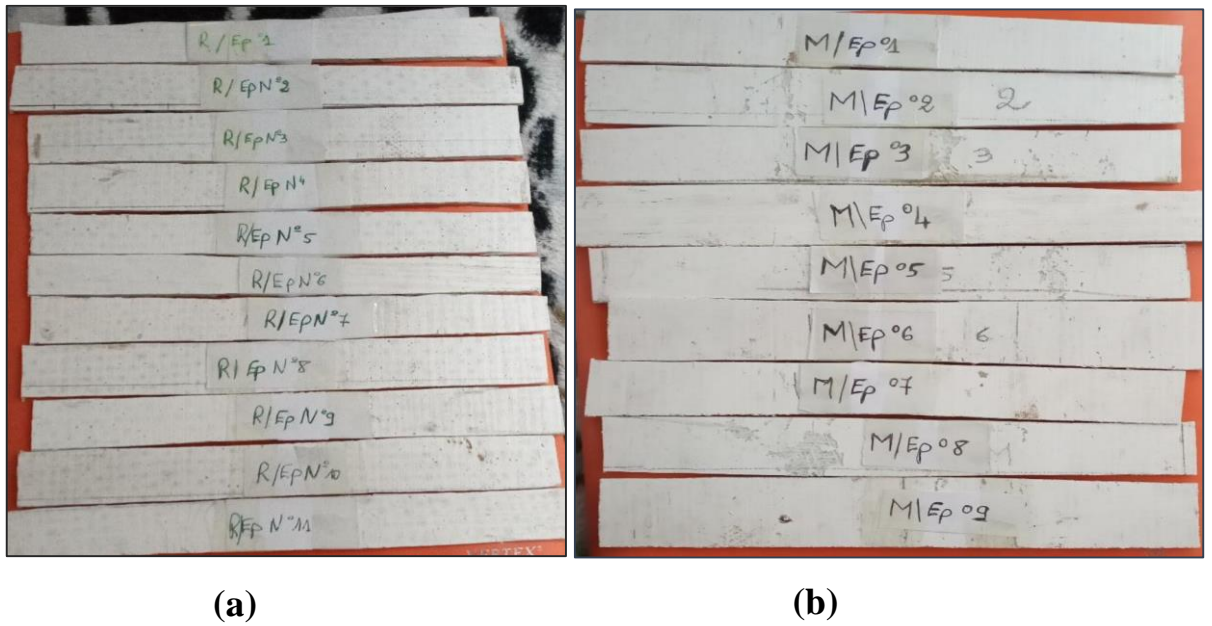
La masse volumique de composite du mat est : 1110 kg/ m<sup>3</sup>

**Tableau II- 5:**le taux de fibre des plaques élaboré.

Type de renfort	Mat	
	Fibre	Matrice
<b>Le taux</b> (%)	56.20	43.80

## 5 Découpage des éprouvettes :

Les plaques du matériau d'étude élaboré en composite verre /polyester insaturé sont de dimensions (260×260) mm<sup>2</sup> et d'épaisseur 3 mm .Elles sont découpées à l'aide d'une tronçonneuse a disque diamanté en éprouvettes de dimensions 250x25mm<sup>2</sup> selon la norme ISO 527- 4 (figure II-9).



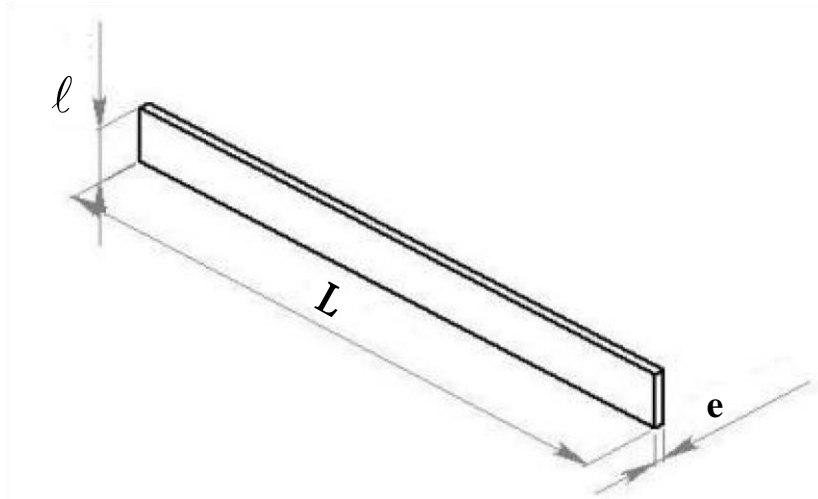
**Figure II- 11:**épreuves tissu de verre (roving) (a), épreuves mat de verre (b).

**5.1 Géométrie des épreuves :**

Les dimensions des épreuves sont présentées sur le tableau suivant :

**Tableau II- 6:**Tableau des dimensions des épreuves.

<b>Les différentes dimensions</b>	<b>Les valeurs en « mm »</b>
<b>L</b> : Longueur totale	<b>250 ±1</b>
<i>ℓ</i> : Largeur moyenne	<b>25 ±2</b>
<b>e</b> : Epaisseur	<b>3 ±0.2</b>
<b>L<sub>0</sub></b> : Longueur recommandé pour les extensomètres	<b>130</b>



**Figure II- 12:**Géométrie des éprouvettes.



*Chapitre III :*

**Caractérisation du matériau  
Composite**

## **1 Introduction**

L'étude sur le comportement mécanique de deux variantes de composites stratifiés constitués d'une résine PRE-631 TAB THIXOTROPIC POLYESTER renforcée par un tissu de verre (roving 300g/m<sup>2</sup>) et mat de verre (résine +mat 300g/m<sup>2</sup>) sera développée dans ce chapitre.

Elle comporte une caractérisation des propriétés mécaniques menée à partir des essais de traction sur des éprouvettes du matériau d'étude en développant le comportement mécanique en statique du matériau jusqu'à la rupture.

Les composites stratifiés sont soumis à des essais mécaniques, l'endommagement se manifeste par plusieurs modes : la fissuration matricielle, la décohésion inter-plies, le délaminage et enfin la rupture des fibres. Ces endommagements peuvent aussi survenir à la suite des imperfections dans le processus de fabrication, des charges externes au cours de la vie d'opération, l'impact par des objets étrangers [24].

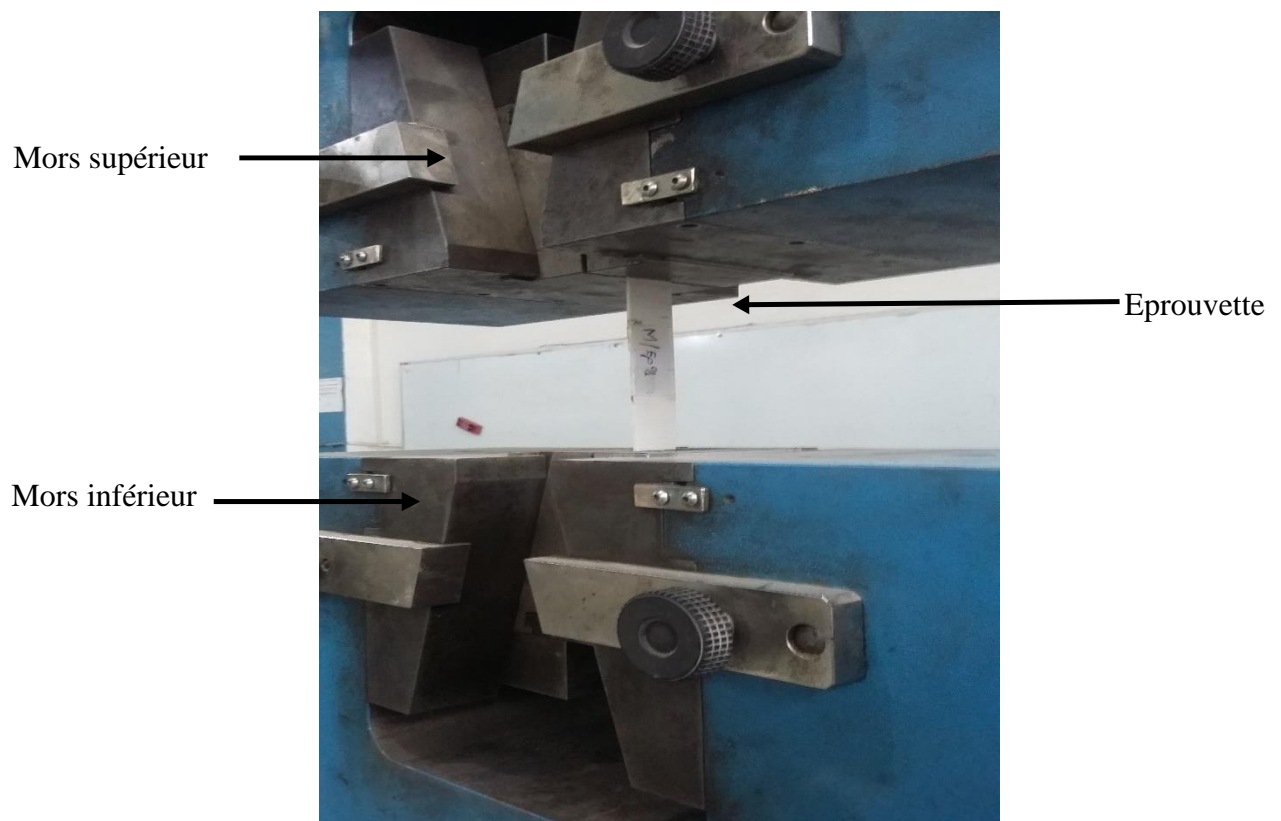
## **2 Essai mécanique**

### **2.1 Essai de traction :**

L'essai de traction mécanique est le plus classique et le mieux étudié qui permet d'obtenir des informations sur le comportement élastique, le comportement plastique et le degré de résistance à la rupture d'un matériau, lorsqu'il est soumis à une sollicitation uni-axiale. Elle est réalisée en introduisant une éprouvette dans une machine de traction universelle. Cette machine consiste en une base plane et un piston hydraulique ayant un mouvement linéaire perpendiculairement à cette même base. De plus, Des mâchoires (hydrauliques ou manuelles) se trouvent sur le piston ainsi que sur la base. Ces dernières sont installées de manière à ce que leurs axes soient colinéaires avec celui du piston. Alors, une fois l'éprouvette insérée entre les mâchoires, le piston se déplace verticalement par la force axiale nécessaire à ce déplacement.

La collecte des mesures de déplacement et les déformations vont nous permettre d'exploiter les notes de calcul sur les propriétés mécaniques, généralement développées de la manière suivante : Premièrement, la contrainte axiale de traction est obtenue en divisant la force axiale mesurée par l'aire de la section utile de l'éprouvette au début de l'essai. Deuxièmement, le module élastique en tension est calculé en divisant la contrainte par la déformation mesurée. Finalement, la contrainte à la rupture est habituellement identifiée comme étant la contrainte

maximale enregistrée durant tout l'essai. Ceci étant établi, les différentes géométries d'éprouvettes ainsi que les manières d'introduire la charge axiale proposées dans la littérature [28].



**Figure III- 1:**Essai de traction sur une éprouvette.

## **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 est pilotée par un ordinateur équipé du logiciel permettant le pilotage, la mémorisation et le tracé des courbes force/déformation pour chaque essai.

Elle est reliée à une chaîne d'acquisition qui permet l'enregistrement simultané de la contrainte et de l'allongement. De plus, elle est équipée d'une tête de serrage inférieur déplaçable par motoréducteur avec une distance maxi entre mors de 550mm, et d'un capteur d'effort à jupes de 600 kN avec une vitesse de déplacement de 30mm/mn (Figure III-1).



**Figure III- 2:**Dispositif d'essais de traction et acquisition des résultats.

### **3 Etude du comportement mécanique de traction en statique**

Les propriétés mécaniques sont généralement calculées de la manière suivante. Premièrement, la contrainte axiale  $\sigma$ , dans l'éprouvette est obtenue en divisant la force axiale  $F$  mesurée par l'aire de la section utile  $S$  de l'éprouvette au début de l'essai [équation (1)].

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

Deuxièmement, le module élastique en tension est calculé en divisant la contrainte par la déformation mesurée par la jauge [équation (2) ;(3)].

$$\sigma = E \times \varepsilon \dots \dots \dots (2)$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l} \dots \dots \dots (3)$$

**$\sigma$**  : La contrainte de traction.

**$S$**  : La Section utile (h×e).

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

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

Enfin, la contrainte à la rupture est habituellement identifiée comme étant la contrainte maximale ( $\sigma_{max}$ ) enregistrée durant tous les essais.

Les résultats des essais statiques sur le matériau stratifié sont reportés dans les tableaux suivantes représentant l'évolution du le chargement en fonction de la déformation pour les deux types du composites.

Les paramètre de traction sont calculés et présentés dans le tableau ci-dessous :

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

Type de renfort	Eprouvettes	$F_{\max}$ (N)	$\sigma_{\max}$ (N/mm <sup>2</sup> )	E (MPa)	$\epsilon$
ROVING	1	25418 (1)	350.591	7853,8	0,0566
	2	27107	386.559	7319,2	0,0601
	3	25932	340.584	7595	0,0578
	4	20422	301.349	6266,2	0,0576
MAT	1	9881	128.437	2733	0,0481
	2	8118	119.675	2569,1	0,0485
	3	8081	116,016	2955,2	0,0442
	4	8301	122,977	2726	0,0463

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

Les éprouvettes du mat et de roving après la rupture (figure III-4 ; figure III-5) :

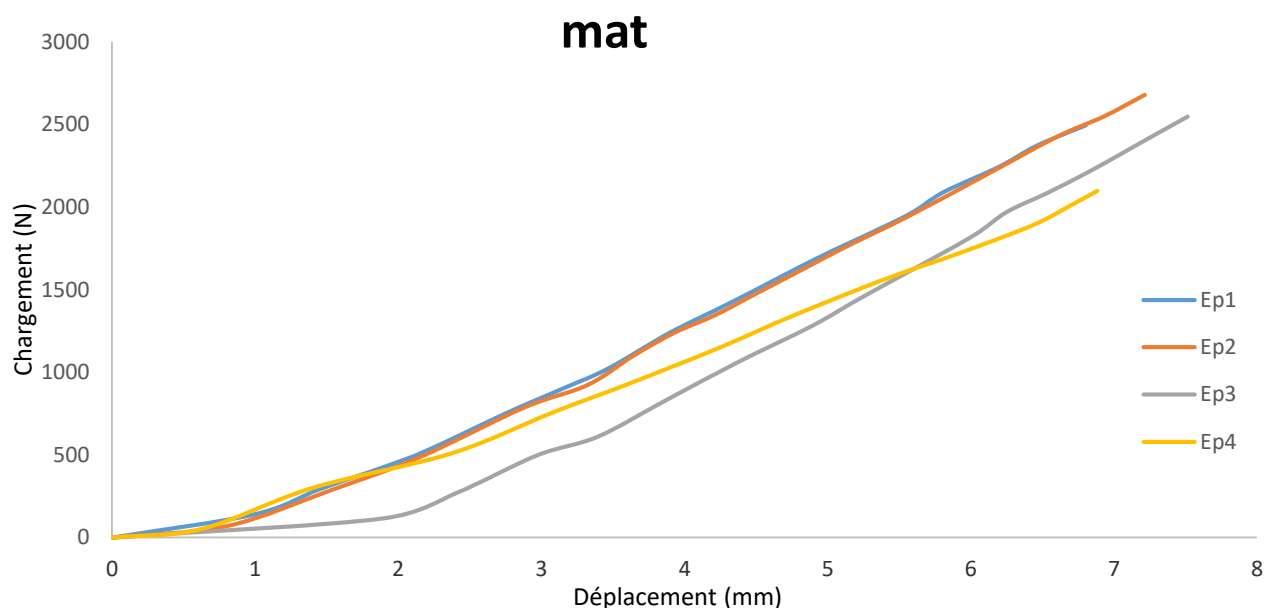


**Figure III- 3:**Epreuve de mat après la rupture

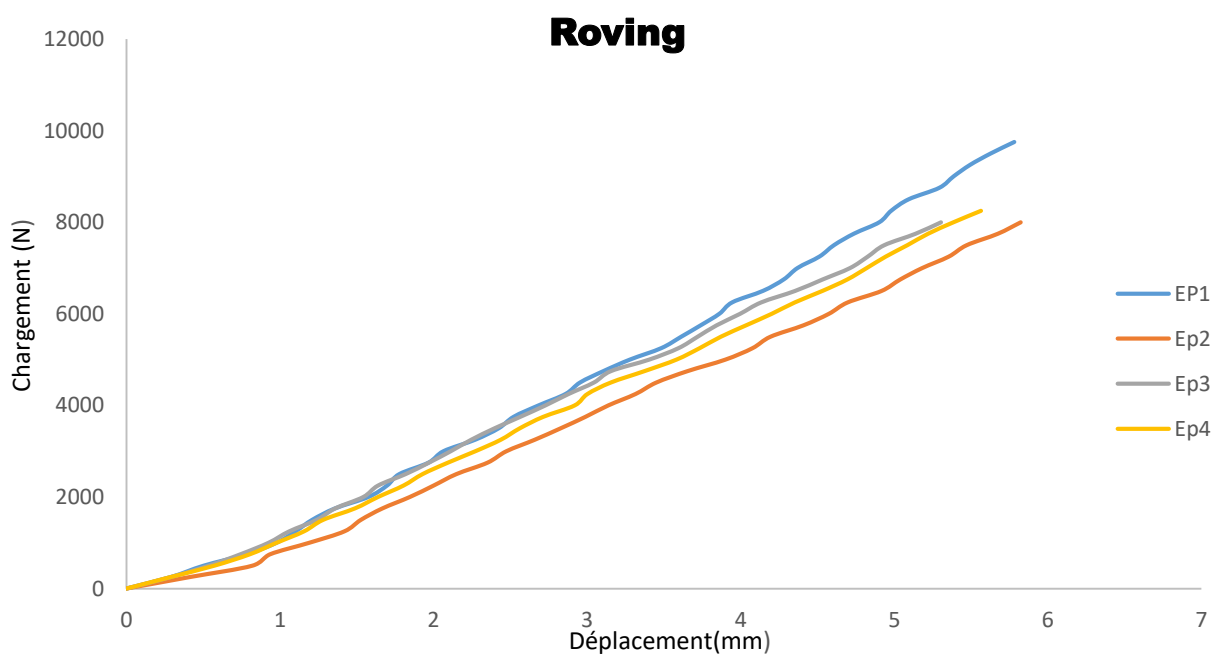


**Figure III- 4:**Epreuve de tissu de verre (roving) après la rupture.

Les graphes de chargement en fonction de déplacement du mat et de roving sont illustrés sur les figures III- 5 et III-7:



**Figure III- 6:**Chargement de traction en fonction de déplacement pour l'éprouvette de Tissu du verre (Roving).



**Figure III- 7:**Chargement de traction en fonction de déplacement pour l'éprouvette de Mat du verre.

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

Les graphes de contrainte de traction du mat et de roving en fonction de déformation :



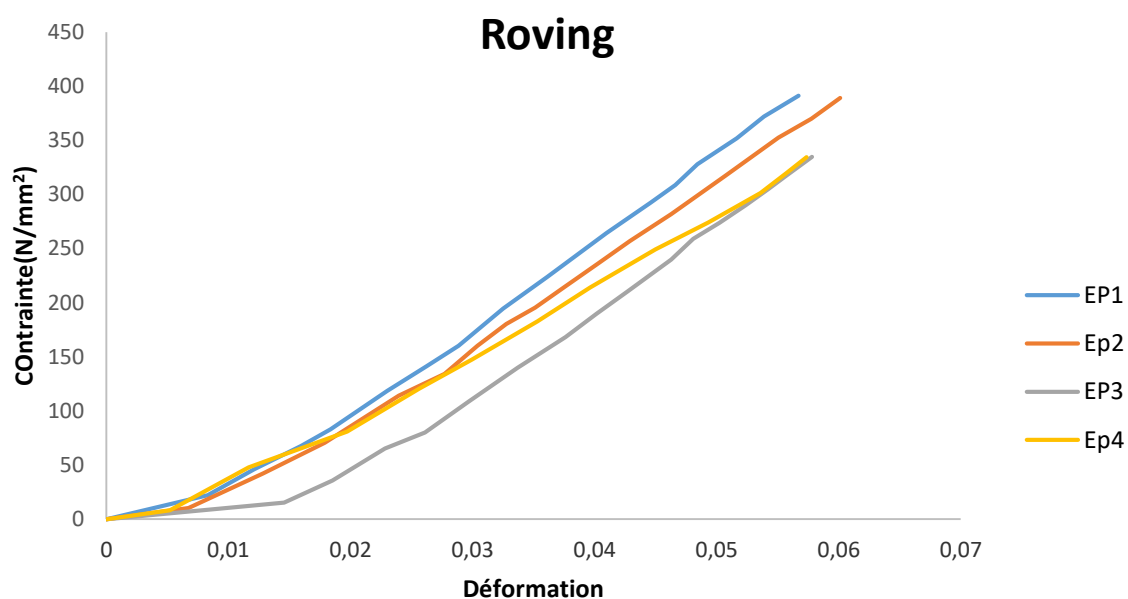


Figure III- 8:Contrainte de traction en fonction de déformation pour les éprouvettes de Roving (tissu de verre).

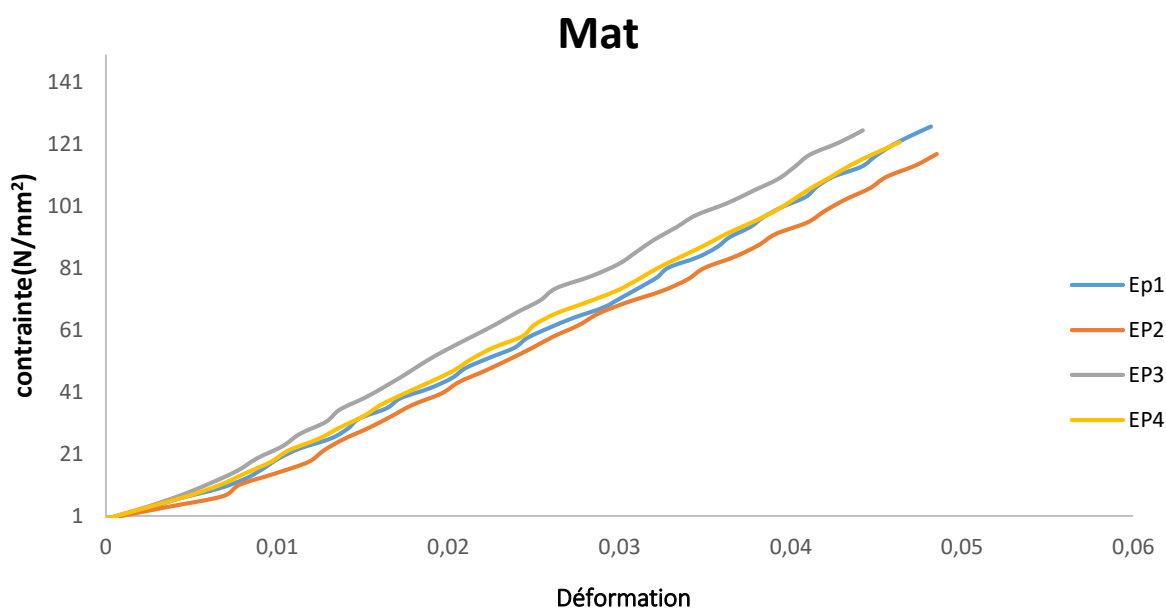
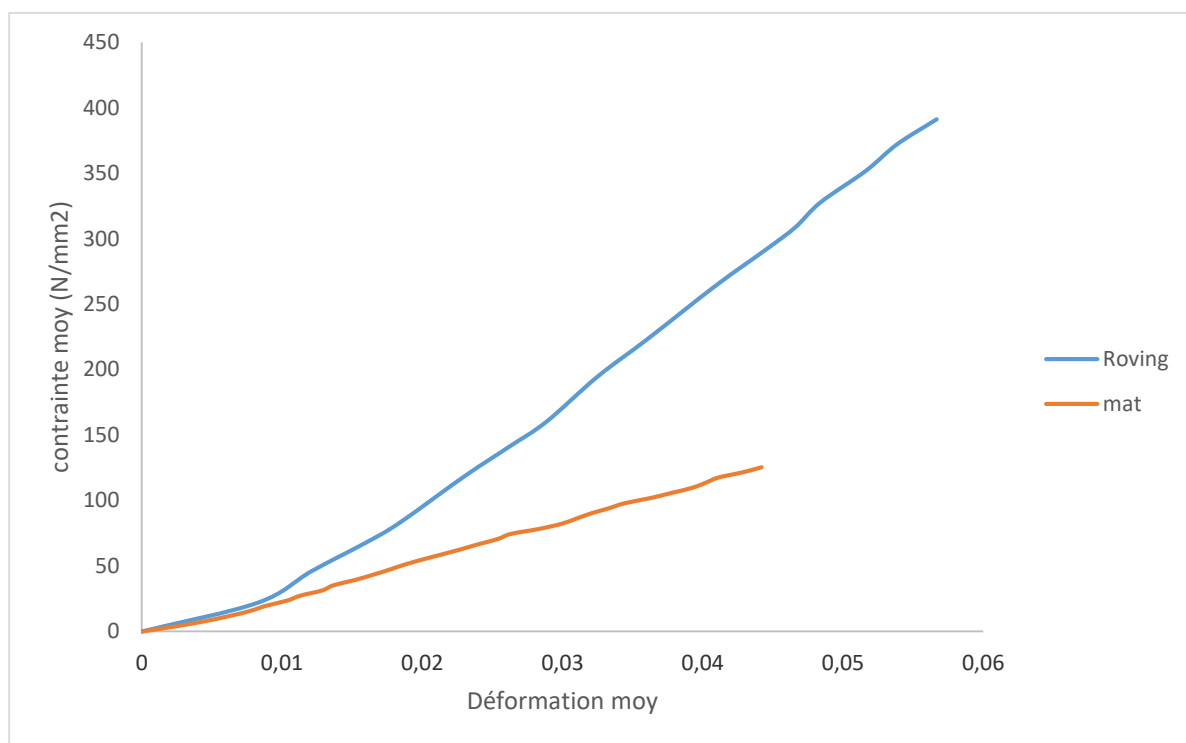


Figure III- 9:Contrainte de traction en fonction de déformation pour les éprouvettes de mat.

Le comportement en traction du composite en fibre verre /polyptère est représenté par le figure III-10 pour les deux variantes (mat et roving).



**Figure III- 10:** Contrainte de traction en fonction de déformation pour les éprouvettes de mat et Roving.

La figure III-10 illustre le comportement des éprouvettes du composite en fibre de verre mat et roving. Les courbes traduisent un même comportement qu'on peut décomposer en trois phases: deux phases linéaires en début et fin de sollicitation intercalées d'une phase non linéaire. La première phase traduit un comportement monolithique de toute la section du composite. Quant à la deuxième phase, elle traduit l'endommagement des plis mats et roving.

En fin de la troisième phase, les plis mats ne contribuent plus dans la résistance et seul le pli roving résiste à l'effort.

## 6 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 élaborés.

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

de l'éprouvette 1 est évalué à 7853.8 MPa avec une contrainte de 350.591N/mm, et pour le mat, elle est de 2955.2MPa pour l'éprouvette 3 avec une contrainte de 116,016 N/mm ce qui représente une diminution de l'ordre de 58%.

D'après les graphes, les plis 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 augmente linéairement e 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.

# **Conclusion générale et perspectives**

## Conclusion générale

Ce travail présente une étude des caractéristiques mécaniques de deux types de matériaux composites à matrice polymère, elle porte essentiellement sur la caractérisation mécanique des matériaux en tissu de verre /résine polyester et mat de verre/résine polyester.

Cette étude comparative sur le comportement mécanique des deux stratifiés par l'essai de traction en statique nous a permis de connaître l'influence de l'orientation des fibres de verre sur les propriétés de rupture du matériau composite verre /polyester et nous pouvons conclure que le stratifié tissu de verre/polyester présente les meilleures performance et caractéristiques mécaniques en traction par rapport au stratifié renforcé par un mat de verre ,ce qui est confirmé par les valeurs importantes de module de Young du roving.

Les résultats obtenus se résument comme suit:

- Un gain en résistance a été enregistré pour le composite roving.
- Une diminution des propriétés mécaniques du mat qui peut être expliquée par la détérioration de l'interface fibre /matrice.
- L'orientation aléatoire des fibres dans le matériau fragilise l'interface fibre-matrice et engendre des décohésions fibre-matrice.

L'analyse des éprouvettes rompues montre que, sous des conditions de chargement statique de traction, les décohésions fibre/matrice et la rupture des fibres (individuelles et/ou collectives (torons)) sont des mécanismes communs aux deux matériaux stratifiés étudiés, et que l'endommagement des stratifiés est fortement influencé par la nature de l'orientation des fibres et qui dépendent aussi essentiellement du type du polymère, de la réticulation, des défauts structuraux, de la nature des renforts , des charges et des techniques d'élaboration...etc.

Ces résultats ouvrent également de nouvelles perspectives :

- Une analyse de l'effet de la température sur la dégradation du composite.
- Une caractérisation mécanique de notre matériau en fatigue et pour avoir une idée sur la durée de vie du matériau;
- Une modélisation de l'effet de chargement mécanique couplé à un chargement thermique sur le comportement du matériau par simulation numérique.
- Une étude de la possibilité d'entretien et de réparation du matériau dégradé.

# **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] HERMES.D.G. (2005).matériaux composites, 5eme édition.
- [4] C.BATHIAS, matériaux composites, édition DUNOD, année 2005
- [5] RAHMANE, A. (2018).Étude du comportement dynamique des composites stratifiés et sandwichs. Thèse de doctorat, Université Des Freres Mantouri-Constantine 1.
- [6] 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.
- [7] Goret,L. (6 Apr 2010).Généralités sur les matériaux composites. cel-00470296, version1.
- [8] El Hadji B, LY. (2008)Nouveaux matériaux composites thermo-formables à base de fibres de cellulose, thèse de doctorat, institut national polytechnique de Grenoble.
- [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] Berthelot, J.M. (2005).Matériaux composites, comportement mécanique et analyse des structures Livre, éditions : Lavoisier.
- [11] 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.
- [12] DJELBOUN, Y. (2018).généralités sur les matériaux composites, université de Biskra.
- [13] 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.



- [14] Ghorab,S. (2005).Comportement viscoélastique des matériaux orthotropes, mémoire de magister, université Mentouri-Constantine.
- [15] Glossaire des matériaux composites, carma, Actualisation octobre 2006.
- [16] Berthelot, J M. (2010).matériaux composites, comportement mécanique et analyse des structures. 4ème édition. TEC &DOC. Le Mans.
- [17] Laurent gormet. (2008). Généralités sur les matériaux composites .ECN, Centre Nantes.
- [18] B. Fairouz. (2016) .étude du comportement mécanique de structure sandwiches à différents matériaux de revêtements. Mémoire de magister. Université Mentouri-Constantine.
- [19] Irisarri,F,X.(2009).Stratégies de calcul pour l'optimisation multi objectif des structures composites Université de Toulouse III-Paul Sabatier.
- [20] TOUMI, W. (2019).Optimisation de la configuration des tubes en matériaux composites sous pression. Mémoire de master, Université Mohamed Khider -Biskra,
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] BENMANSOUR, S, A. (2020).Contribution à l'étude du comportement mécanique et à l'évaluation des mécanismes d'endommagement d'un éco-composite, thèse de doctorat. Université Abou Bakr Belkaid-Tlemcen.
- [25] SOLOPLAST-VOSSCHEMIE, Fiche Technique Mat De Verre 225/300/450/600/900 g/m<sup>2</sup>, France
- [26] SOLOPLAST-VOSSCHEMIE, Fiche Technique Tissu De Verre Roving 300 g/m<sup>2</sup>, France.

- [27] <https://www.tradekorea.com/product/detail/P593567/PRE-63-TAB-GENERALPURPOSE-POLYESTER-RESIN.html#>. Consulté le 28/03/2022.
- [28] LÉVESOUE, M. (2000). L'essai de traction de matériaux composites unidirectionnels à fibres continues. Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de maîtrise des sciences appliquées. Université de Montréal école polytechnique de Montréal-Canada.
- [29] <http://www.afric-composite.com/index.php/le-composite/mousse-pu-hd-stratifiee/> consulté le 15/04/2022
- [30] BOUBEKER, R. (2016). Matériaux et structures Etude Expérimentale et Numérique du Comportement des Plaques Trouées. Thèse de Doctorat. Université Mohamed Khider – Biskra.

# **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>****■ 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 E
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 dans la dernière version de la fiche de données de sécurité et dans les fiches techniques correspondantes des Groupements des industries chimiques.

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.

**SOLOCAR PRO**

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 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

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

Téléphone : 04 76 75 42 38  
Télécopie : 04 76 56 14 49  
Internet : [www.soloplast.fr](http://www.soloplast.fr)  
E-Mail : [info1@soloplast.fr](mailto:info1@soloplast.fr)

Page 2/2

## **Annexe B**

### **FICHE TECHNIQUE**

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

# **TISSU DE VERRE ROVING**

**300 g/m<sup>2</sup>**

01-2011

#### **:: DESCRIPTION**

Tissu de verre symétrique à structure sergée avec un traitement de finish à base époxy-silane donnant une bonne qualité d'imprégnation.

Egalement bonne déformabilité lors de la mise en place.

#### **:: DOMAINE D'APPLICATION**

Matériau de renforcement avec les résines polyester, époxy ou vinylester. Pour modélisme, maquettes, planches à voile, compétition.

#### **:: CARACTERISTIQUES PRODUIT**

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

#### **:: MISE EN ŒUVRE**

Consommation résine de stratification :

Tissu de verre 300 g = env. 300 g/m<sup>2</sup> pour une épaisseur de couche d'env. 0,2 mm.

#### **:: UTILISATION - SECURITE**

Vous pouvez consulter les instructions relatives à la manipulation des produits et à leur élimination dans la dernière version de la fiche de données de sécurité et dans les fiches techniques correspondantes des Groupements des industries chimiques.

# SOLOCAR PRO

## 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 : [info1@soloplast.fr](mailto:info1@soloplast.fr)  
Internet : [www.soloplast.fr](http://www.soloplast.fr)

**Annexe C**

**Propriétés techniques de résine PRE -631TAB**

Resin Name	Viscosity (CPS)	Gel Time (Min)	Barcol	Features	Application	Description
PRE-60 General Purpose Polyester Resin	180-200	25-30	40-45	Fast curing High filler of calcium carbonate, aluminium hydroxide, marble powder acceptance for casting Low volumetric shrinkage Good handling characteristics	FRP and casting	Orthophthalic based, high reactivity, low viscosity polyester resin.
PRE-62 General Purpose Polyester Resin	300-450	5-8	40-45	Good wetting property of fiber Low volumetric shrinkage. Good handling properties and stable jel time Versatile use Accepts high filler loads(Calcium Carbonate, Aluminium Hydroxide and marble powder) for casting applications.	GRP, FRP and casting	Orthophthalic based, medium reactivity, medium-low viscosity, medium cure, resilient polyester resin
PRE-63 General Purpose Polyester Resin	340-460	5-8	40-45	Good wetting property of fiber Low volumetric shrinkage. Good handling properties and stable jel time Versatile use Accepts high filler loads(Calcium Carbonate, Aluminium Hydroxide and marble powder) for casting applications.	FRP and casting	Orthophthalic based, medium reactivity, medium-low viscosity, medium cure, resilient polyester resin.
PRE-9000 GENERAL PURPOSE POLYESTER RESIN	180-200	25-30	40-45	Fast curing High filler of calcium carbonate, aluminium hydroxide, marble powder acceptance for casting Low volumetric shrinkage Good handling characteristics	GRP, FRP and casting	Orthophthalic based, high reactivity, low viscosity polyester resin.
PRE-9000A GENERAL PURPOSE POLYESTER RESIN	180-200	25-30	40-45	Fast curing High filler of calcium carbonate, aluminium hydroxide, marble powder acceptance for casting Low volumetric shrinkage Good handling characteristics	GRP, FRP and casting	Orthophthalic based, high reactivity, low viscosity polyester resin.
PRE-6309TAB WV Thixotropic Polyester Resin	300-400	20-23	42-47	Low volumetric shrinkage, Brightness an Fast and easy fiber wetting d a vivid look, Easy rolling, Paraffin free	General Purpose Laminating, Hand Lay-up, Spray-up, Specially designed for fiber glass parts	Orthophthalic, medium reactivity,high viscosity,medium cure, thixotropic, pre-accelerated polyester resin.
PRE-6309TAB (2) LSE Thixotropic Polyester Resin	300-400	19-21	42-47	Low volumetric shrinkage,Brightness and a vivid look,Fast and easy fiber wetting,Easy Rolling,Easy Rolling,Fast cure,Paraffin,Low Styrene emulsion	Hand Lay-up,Spray-up	Orthophthalic based, high reactivity, low viscosity, thixotropic, pre-accelerated with blue indicator polyester resin.
PRE-6309TAB WV White Thixotropic Polyester Resin	300-400	22-25	42-47	Low volumetric shrinkage, Brightness an Fast and easy fiber wetting d a vivid look, Easy rolling, Paraffin free	Hand Lay-up,Spray-up	Orthophthalic based, high reactivity, low viscosity, thixotropic, pre-accelerated with blue indicator polyester resin
PRE-631TAB (1) Thixotropic Polyester Resin	1200-1400	20-25	42-47	Low volumetric shrink,Excellent fiber wet-out and easy Rolling,Thixotropic, does not flow on vertical surfaces, gives homogeneous products with no waves and smooth surfaces,Paraffin free	Hand Lay-up,Spray-up	Orthophthalic, medium reactivity, low viscosity, thixotropic, pre-accelerated, Polyester resin.
PRE-631TAB (2) Thixotropic Polyester Resin	250-350	24-26	42-47	Low volumetric shrinkage, Brightness a and a vivid look, Fast and easy fiber wetting, Easy Rolling, Paraffin free	Hand Lay-up,Spray-up	Orthophthalic, medium reactivity, low viscosity, thixotropic, pre-accelerated, polyester resin.
PRE-6502TAB Dcpd Based Thixotropic Polyester Resin	450-550	27-30	40	Low volumetric shrinkage, It is suitable for the production of thick parts, Excellent glass fiber wet out, Easy Rolling, Its high thixotropic feature prevents the product from flowing when applied on vertical surfaces	Hand Lay-up,Spray-up	DICPD based, medium reactivity, low viscosity, thixotropic, medium-fast curing, pre-accelerated polyester resin.
PRE-6901TAB Thixotropic Polyester Resin	800-1000	15-20	40-45	Low volumetric shrinkage Brightness and a vivid look Fast and easy fiber wetting Easy rolling Paraffin free High mechanical value	General Purpose Laminating Hand Lay-up Spray-up Specially designed for fiber glass parts	Teraphthalic based, medium - high reactivity, medium viscosity, pre-accelerator, thixotropic polyester resin
PRE-52TA GRP Type Acrylic Backing Polyester Resin	180-200	10-13	40-45	Excellent adhesion to Acrylic and ABS sheet Excellent fiber wetting High fill removal, Includes Mek-P indicator	It is used in bathroom counter, shower cabin, sink, acrylic bath tub applications.	Orthophthalic based, medium reactivity, low viscosity, thixotropic, pre-accelerated, white, unfilled polyester resin.
PRE-52AB GRp Type Acrylic Backing Polyester Resin	200-250	10-12	40-45	Excellent adhesion to Acrylic and ABS sheet Excellent fiber wetting High fill removal,Includes Mek-P indicator	It is used in bathroom counter, shower cabin, sink, acrylic bath tub applications.	Orthophthalic based, medium reactivity, low viscosity, pre-accelerated, unfilled polyester resin.



	<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

### Les graphs des éprouvettes

### Roving

### Éprouvette 1

**PROVA DI TRAZIONE  
NORMATIVA EN 10002/1**

<b>Certificato N.</b>	du	<b>Provetta N.</b>	du
<b>Lotto di Consegna</b>			
<b>Natura del Materiale</b>		<b>Temperatura Amb.</b>	
<b>Massa Lineica</b>		<b>Posizione Prelievo</b>	
<b>Provetta Lavorata</b>		<b>Direzione Prelievo</b>	
<b>Provetta Proporzionale</b>			
<b>Eprouvette</b>	Carrée	<b>Vitesse de l'exécution 1</b>	6.00 N/mm <sup>2</sup> /s
<b>Largeur</b>	25.00 mm	<b>Vitesse de l'exécution 2</b>	30.00 mm/min
<b>Epaisseur</b>	2.90 mm	<b>Lo</b>	120.00 mm
<b>Temps de précharge</b>	.00 sec	<b>Le</b>	.00 mm
<b>So</b>	72.500 mm <sup>2</sup>	<b>Lc</b>	.00 mm
		<b>Lu</b>	.00 mm

<p>Charge (kN)</p> <p>Déplacement Traverse (mm)</p>	<b>Résultats d'essais</b>															
	<table> <tr> <td><b>Rm</b></td> <td>350.591 N/mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td><b>A</b></td> <td>%</td> </tr> <tr> <td><b>Fm</b></td> <td>25.418 kN</td> </tr> <tr> <td><b>FeL</b></td> <td>14.766 kN</td> </tr> <tr> <td><b>ReL</b></td> <td>203.667 N/mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td><b>FeH</b></td> <td>25.418 kN</td> </tr> <tr> <td><b>ReH</b></td> <td>350.591 N/mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td><b>Z</b></td> <td>%</td> </tr> </table>	<b>Rm</b>	350.591 N/mm <sup>2</sup>	<b>A</b>	%	<b>Fm</b>	25.418 kN	<b>FeL</b>	14.766 kN	<b>ReL</b>	203.667 N/mm <sup>2</sup>	<b>FeH</b>	25.418 kN	<b>ReH</b>	350.591 N/mm <sup>2</sup>	<b>Z</b>
<b>Rm</b>	350.591 N/mm <sup>2</sup>															
<b>A</b>	%															
<b>Fm</b>	25.418 kN															
<b>FeL</b>	14.766 kN															
<b>ReL</b>	203.667 N/mm <sup>2</sup>															
<b>FeH</b>	25.418 kN															
<b>ReH</b>	350.591 N/mm <sup>2</sup>															
<b>Z</b>	%															

Opérateur	Responsable
_____	_____

## Éprouvette 2

**PROVA DI TRAZIONE  
NORMATIVA EN 10002/1**

<b>Certificato N.</b>	du	<b>Provetta N.</b>	du
<b>Lotto di Consegna</b>			
<b>Natura del Materiale</b>			
<b>Massa Lineica</b>		<b>Temperatura Amb.</b>	
<b>Provetta Lavorata</b>		<b>Posizione Prelievo</b>	
<b>Provetta Proporzionale</b>		<b>Direzione Prelievo</b>	
<b>Eprouvette</b>	Carrée	<b>Vitesse de l'exécution 1</b>	6.00 N/mm <sup>2</sup> /s
<b>Largeur</b>	25.50 mm	<b>Vitesse de l'exécution 2</b>	30.00 mm/min
<b>Epaisseur</b>	2.75 mm	<b>Lo</b>	120.00 mm
		<b>Le</b>	.00 mm
<b>Temps de précharge</b>	.00 sec	<b>Lc</b>	.00 mm
<b>So</b>	70.125 mm <sup>2</sup>	<b>Lu</b>	.00 mm

The graph plots Load (kN) on the y-axis (0 to 40) against Displacement (mm) on the x-axis (0 to 25). A linear curve starts at the origin and reaches a point labeled 'ReH' at approximately 27.5 kN and 7.5 mm displacement. The grid lines are spaced every 5 units on both axes.

**Résultats d'essais**

<b>Rm</b>	386.559 N/mm <sup>2</sup>
<b>A</b>	%
<b>Fm</b>	27.107 kN
<b>FeL</b>	27.107 kN
<b>ReL</b>	386.559 N/mm <sup>2</sup>
<b>FeH</b>	27.107 kN
<b>ReH</b>	386.559 N/mm <sup>2</sup>
<b>Z</b>	%

<b>Opérateur</b>	<b>Responsable</b>
_____	_____

### Éprouvette 3

**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	27.00 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	2.82 mm	Lo	220.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	76.140 mm <sup>2</sup>	Lu	.00 mm

The graph plots Charge (kN) on the y-axis (0 to 40) against Déplacement Traverse (mm) on the x-axis (0 to 25). A solid line shows a linear increase in load with displacement, reaching a peak labeled 'ReH' at approximately 25.9 kN and 7.6 mm. The grid lines are spaced every 5 units on both axes.

**Résultats d'essais**

Rm	340.584 N/mm <sup>2</sup>
A	%
Fm	25.932 kN
FeL	25.932 kN
ReL	340.584 N/mm <sup>2</sup>
FeH	25.932 kN
ReH	340.584 N/mm <sup>2</sup>
Z	%

Opérateur	Responsable
-----------	-------------

## Éprouvette 4

PROVA DI TRAZIONE  
NORMATIVA EN 10002/1

Certificato N.	du	Provetta N.	du
Lotto di Consegna			
Natura del Materiale			
Massa Lineica		Temperatura Amb.	
Provetta Lavorata		Posizione Prelievo	
Provetta Proporzionale		Direzione Prelievo	
Eprouvette	Carreé	Vitesse de l'exécution 1	6.00 N/mm <sup>2</sup> /s
Largeur	27.00 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	2.51 mm	Lo	120.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	87.770 mm <sup>2</sup>	Lu	.00 mm

	<b>Résultats d'essais</b>															
	<table> <tr> <td>Rm</td> <td>301.349 N/mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>%</td> </tr> <tr> <td>Fm</td> <td>20.422 kN</td> </tr> <tr> <td>FeL</td> <td>20.422 kN</td> </tr> <tr> <td>ReL</td> <td>301.349 N/mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>FeH</td> <td>20.422 kN</td> </tr> <tr> <td>ReH</td> <td>301.349 N/mm<sup>2</sup></td> </tr> <tr> <td>Z</td> <td>%</td> </tr> </table>	Rm	301.349 N/mm <sup>2</sup>	A	%	Fm	20.422 kN	FeL	20.422 kN	ReL	301.349 N/mm <sup>2</sup>	FeH	20.422 kN	ReH	301.349 N/mm <sup>2</sup>	Z
Rm	301.349 N/mm <sup>2</sup>															
A	%															
Fm	20.422 kN															
FeL	20.422 kN															
ReL	301.349 N/mm <sup>2</sup>															
FeH	20.422 kN															
ReH	301.349 N/mm <sup>2</sup>															
Z	%															

Opérateur	Responsable
_____	_____

Mat

Eprouvette 1

**PROVA DI TRAZIONE  
NORMATIVA EN 10002/1**

<b>Certificato N.</b>	du	<b>Provetta N.</b>	du
<b>Lotto di Consegna</b>			
<b>Natura del Materiale</b>		<b>Temperatura Amb.</b>	
<b>Massa Lineica</b>		<b>Posizione Prelievo</b>	
<b>Provetta Lavorata</b>		<b>Direzione Prelievo</b>	
<b>Provetta Proporzionale</b>			
<b>Eprouvette</b>	Carée	<b>Vitesse de l'exécution 1</b>	6.00 N/mm <sup>2</sup> /s
Largeur	31.40 mm	<b>Vitesse de l'exécution 2</b>	30.00 mm/min
Epaisseur	2.45 mm	<b>Lo</b>	120.00 mm
		<b>Le</b>	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	<b>Lc</b>	.00 mm
<b>So</b>	76.930 mm <sup>2</sup>	<b>Lu</b>	.00 mm

<p>Charge (kN)</p> <p>Déplacement Traverse (mm)</p>	<b>Résultats d'essais</b>	
	<p><b>Rm</b> 128.437 N/mm<sup>2</sup></p> <p><b>A</b> %</p> <p><b>Fm</b> 9.881 kN</p> <p><b>FeL</b> kN</p> <p><b>ReL</b> N/mm<sup>2</sup></p> <p><b>FeH</b> 9.881 kN</p> <p><b>ReH</b> 128.437 N/mm<sup>2</sup></p> <p><b>Z</b> %</p>	

Opérateur	Responsable
_____	_____

Eprouvette 2

**PROVA DI TRAZIONE  
NORMATIVA EN 10002/1**

<b>Certificato N.</b>	du	<b>Provetta N.</b>	du
<b>Lotto di Consegna</b>			
<b>Natura del Materiale</b>		<b>Temperatura Amb.</b>	
<b>Massa Lineica</b>		<b>Posizione Prelievo</b>	
<b>Provetta Lavorata</b>		<b>Direzione Prelievo</b>	
<b>Provetta Proporzionale</b>			
<b>Eprouvette</b>	Carrée	<b>Vitesse de l'exécution 1</b>	6.00 N/mm <sup>2</sup> /s
<b>Largeur</b>	26.60 mm	<b>Vitesse de l'exécution 2</b>	30.00 mm/min
<b>Epaisseur</b>	2.55 mm	<b>Lo</b>	120.00 mm
		<b>Le</b>	.00 mm
<b>Temps de précharge</b>	.00 sec	<b>Lc</b>	.00 mm
<b>So</b>	67.830 mm <sup>2</sup>	<b>Lu</b>	.00 mm

	<b>Résultats d'essais</b>	
	<b>Rm</b>	119.675 N/mm <sup>2</sup>
	<b>A</b>	%
	<b>Fm</b>	8.118 kN
	<b>FeL</b>	8.118 kN
	<b>ReL</b>	119.675 N/mm <sup>2</sup>
	<b>FeH</b>	8.118 kN
	<b>ReH</b>	119.675 N/mm <sup>2</sup>
<b>Z</b>	%	

<b>Opérateur</b>	<b>Responsable</b>
_____	_____

Eprouvette 3

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	24.70 mm	Vitesse de l'exécution 2	30.00 mm/min
Epaisseur	.30 mm	Lo	120.00 mm
		Le	.00 mm
Temps de précharge	.00 sec	Lc	.00 mm
So	7.410 mm <sup>2</sup>	Lu	.00 mm

Résultats d'essais	
Rm	1090.528 N/mm <sup>2</sup>
A	%
Fm	8.081 kN
FeL	8.081 kN
ReL	1090.528 N/mm <sup>2</sup>
FeH	8.081 kN
ReH	1090.528 N/mm <sup>2</sup>
Z	%

Opérateur	Responsable
_____	_____



**Eprouvette 4**

**PROVA DI TRAZIONE  
NORMATIVA EN 10002/1**

<b>Certificato N.</b>	du	<b>Provetta N.</b>	du
<b>Lotto di Consegna</b>			
<b>Natura del Materiale</b>		<b>Temperatura Amb.</b>	
<b>Massa Lineica</b>		<b>Posizione Prelievo</b>	
<b>Provetta Lavorata</b>		<b>Direzione Prelievo</b>	
<b>Provetta Proporzionale</b>			
<b>Eprouvette</b>	Carrée	<b>Vitesse de l'exécution 1</b>	6.00 N/mm <sup>2</sup> /s
<b>Largeur</b>	27.00 mm	<b>Vitesse de l'exécution 2</b>	30.00 mm/min
<b>Epaisseur</b>	.30 mm	<b>Lo</b>	120.00 mm
		<b>Le</b>	.00 mm
<b>Temps de précharge</b>	.00 séc	<b>Lc</b>	.00 mm
<b>So</b>	8.100 mm <sup>2</sup>	<b>Lu</b>	.00 mm

The graph plots Charge (kN) on the y-axis (0 to 10) against Déplacement Traverse (mm) on the x-axis (0 to 25). A solid line shows a linear increase in load with displacement, reaching a peak labeled 'ReH' at approximately 8.3 kN and 5.5 mm. The grid lines are spaced at 1 mm intervals on the x-axis and 1 kN intervals on the y-axis.

**Résultats d'essais**

<b>Rm</b>	1024.839 N/mm <sup>2</sup>
<b>A</b>	%
<b>Fm</b>	8.301 kN
<b>FeL</b>	kN
<b>ReL</b>	N/mm <sup>2</sup>
<b>FeH</b>	8.301 kN
<b>ReH</b>	1024.839 N/mm <sup>2</sup>
<b>Z</b>	%

Opérateur	Responsable
_____	_____

**Résumé:** Ce mémoire a pour objet d'étudier les caractéristiques mécaniques en traction statique et le comportement mécanique des stratifiés élaboré en fibre de verre (mat de verre, roving) renforcé par une résine polyester. Une étude a été menée sur l'effet de l'orientation des fibres de verre ainsi que leurs associations sur la qualité et le comportement du composite obtenu. L'analyse des résultats des essais de traction sur le matériau d'étude a mis en évidence sur le choix de la meilleure variante présentant les meilleures performances mécaniques.

Mots clés : matériaux, composites, stratifiés, traction, fibres de verres, résine polyester, mat, roving (tissu de verre).

**Abstract:** The purpose of this thesis is to study the mechanical characteristics in static traction and the mechanical behavior of laminates made of fiberglass (glass mat, roving) reinforced with a polyester resin. A study was carried out on the effect of the orientation of the glass fibers (as well as their associations on the quality and behavior of the composite obtained). The analysis of the results of the tensile tests on the study material put highlighting the choice of the best variant with good mechanical performance.

Key words: materials, composites, laminates, traction, fiberglass, polyester resin, mat, roving (glass fabric).

**ملخص:** الغرض من هذه الرسالة هو دراسة الخصائص الميكانيكية للجر الساكن والسلوك الميكانيكي للرقائق المصنوعة من الألياف الزجاجية (حصيرة زجاجية، منتقلة) معززة براتنج بوليستر. تم إجراء دراسة حول تأثير اتجاه الألياف الزجاجية (وكذلك ارتباطاتها على جودة وسلوك المركب الذي تم الحصول عليه. وضع تحليل نتائج اختبارات الشد على مادة الدراسة تسليط الضوء على اختيار أفضل خيار مع أداء ميكانيكي جيد.

الكلمات الرئيسية: المواد، المركبات، رقائق، الجر، الألياف الزجاجية، راتنجات البوليستر، حصيرة، قماش زجاجي.