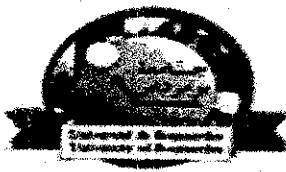


REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE M'HAMED BOUGUERRA BOUMERDES



UNIVERSITE  
DE BOUMERDES

UNIVERSITE DE BOUMERDES  
FACULTE DES SCIENCES  
DE L'INGENIEUR.  
DEPARTEMENT DE GENIE DES  
MATERIAUX  
LABORATOIRE DES MATERIAUX  
MINERAUX ET COMPOSITES  
(LMMC)



Matériaux  
Minéraux et  
Composites

MEMOIRE DE MAGISTER

SPECIALITE : SCIENCES ET GENIE DES MATERIAUX

Option : Physique et Mécanique des Matériaux

Présenté par :

M<sup>me</sup>: BELKACEMI Chérifa

**THEME**

*Etude expérimentale du comportement mécanique des stratifiés à renfort en matière végétale.*

Soutenu publiquement le :

ZERIZER A.  
BEZZAZI B.  
AIT TAHAR K  
MEDDAHI A.  
AYADI A.

Pr. Université de Boumerdès  
Pr. Université de Boumerdès  
Pr. Université de Tizi Ouzou  
M.C. Université de Boumerdès  
M.C. Université de Boumerdès

devant le jury composé de :

Président  
Rapporteur  
Membre  
Membre  
Membre

Boumerdès 2006

## REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements et reconnaissances à mon encadreur Pr. BEZZAZI. B pour m'avoir accepté, suivi et dirigé pour la concrétisation de ce travail, ainsi que pour ses précieux conseils.

Mes remerciements particuliers et sincères vont à Monsieur Mir .A pour leur aide et leur soutien précieux, que je le souhaite une bonne continuité.

Ce travail et un travail de groupe pour cela je remercie sincèrement tous les membres du groupe mécanique du laboratoire LMMC, qui m'ont aidé et soutenu au cours de l'année : le professeur M.T ABADLIA et messieurs, HACHEMANE.B, BENLOKRICHI.B, AIBA. Ainsi que le Dr .MEDDAHI .H et sans oublier le personnel du laboratoire CNTC (laboratoire textile, cuire et chimie de Boumerdes) et les laborantins au niveau de LMMC.

Je tiens à exprimer ma gratitude aux membres de jury pour le temps qu'ils ont bien voulu consacrer à examiner ce travail : en premier lieu le Pr. ZERIZER A. de l'université de Boumerdès , qui m'a fait l'honneur d'accepter la présidence du jury.

Enfin, je remercie mon mari pour son soutien et son encouragement et surtout son empathie tout au long de ce travail ainsi que ma famille et à tous ceux et celles qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail.

# DEDICACES

Je dédie ce travail à :

- **La mémoire de mes chères, père, frère et sœur.**
- **Mon mari.**
- **Ma mère pour leurs sacrifices**
- **Mon fils Abdeldjalil.**
- **Mes sœurs en particulier Nawal.**
- **Mes nièces et mes neveux. en particulier Tarek.**
- **Mes beaux : pères, frères et sœurs.**
- **Toutes mes amies et toute la promotion.**

## Table des matières

<b>Introduction générale</b> .....	<b>1</b>
<b>Chapitre 1 Etude théorique des matériaux composites</b>	
1.1. Introduction: .....	4
1.2. Généralités: .....	4
1.2.1 Caractéristiques générales des matériaux composites : .....	4
1.2.2 Intérêt des matériaux composites .....	5
1.3. Matériau composite .....	7
1.3-a. Composites de grande diffusion (G D) : .....	8
<b>1.3-b.</b> Composites à haute performances (HP) : .....	8
1.4. Composants .....	9
1.4-1. Renfort .....	9
1.4.2 Matrice .....	14
1.5. Architecture de renforcement .....	15
1.6. Technologies de mise en œuvre.....	17
1.6.1. Les technologies dites en « moule ouvert » .....	18
1.6.2. Les technologies dites en « moule fermé » .....	19
1.7. Classification des matériaux composites .....	<b>20</b>
1.7 1 Classification suivant la forme des constituants .....	20
1.7 2. Classification suivant la nature des constituants .....	21
1.8. Architecture des matériaux composites .....	22
1.8.1. Stratifiés .....	<b>22</b>
1.8-2. composites hybrides .....	<b>23</b>

1.8-3. Sandwichs .....	23
------------------------	----

## **Chapitre 2 Comportement mécanique des composites stratifiés**

2.1 Introduction .....	25
2.2 Qu'est ce qu'un composite stratifié .....	25
2.3. Comportement élastique d'un stratifié .....	26
2.3.1 Matrice de souplesse .....	26
2.3.2. Matrice de rigidité .....	27
2.4 Les mécanismes d'endommagement des composites stratifiés .....	28
2.4.1 Cas des plis unidirectionnels .....	28
2.4.2 Cas des plis <i>tissés</i> équilibrés .....	31

## **Chapitre 3 Fibres naturelles pour matériaux composites**

### **Stratifiés**

3.1 Introduction .....	34
3.2 Intérêt de l'utilisation des fibres naturelles .....	34
3.3 Classification des différentes fibres naturelles .....	36
3.3.1 les fibres végétales .....	36
3.3.2 Les fibres animales .....	36
3.3.3 Les fibres minérales .....	38
3.4 Comparaison des propriétés mécaniques en traction de diverses fibres..	37
3.5 Fibre d'origines végétales .....	38
3.5.1 Présentation de différentes fibres végétales .....	38
3.5.1. a Lin .....	38
3.5.1. b Ramie .....	38

3.5.1. c Chanvre .....	38
3.5.1. d Sisal .....	38
3.5.1. e Coir de la noix de coco.....	39
3.5.1. f Kenaf (ou Hibiscus hema).....	39
3.5.1. g Jute .....	39
<b>3.5.2</b> Structure d'une fibre végétale .....	<b>39</b>
3.5.3 Données économiques sur quelque fibres végétai comparée avec des fibres de verre .....	41
3.5.4 Choix du renfort naturel (leJute) .....	41
3.5.4.1 Description de jute .....	42
3.5.4.2 Technologie .....	42

## **Chapitre 4**    **Caractérisation du renfort naturel (jute)**

4 .1. Etude du comportement mécanique du renfort .....	46
4.2. Essais de traction .....	<b>46</b>
4.3. Essais de traction sur différents types de jute .....	47
4.4. Techniques expérimentales .....	47
4.4.1. Fabrication des éprouvettes .....	47
4.4.2. Dispositif d'essai .....	48
4.4.3. Résultats des essais de traction .....	50

## Chapitre 5 Elaboration et étude du comportement mécanique des stratifiés à renfort naturel

<b>5.1</b> Introduction .....	71
<b>5.2</b> Elaboration Des Stratifiés .....	71
<b>5.3.</b> Essais de flexion 3 points sur les stratifiés élaborés .....	72
5.3.1 Définition .....	72
5.3.2 Principe .....	72
<b>5.4.</b> Techniques expérimentales .....	73
5.4.1. Fabrication des éprouvettes .....	73
5.4.2. Dispositif d'essai .....	74
<b>5.4.3.</b> Résultats des essais de flexion 3 points .....	76
<b>5.5.</b> Analyse des résultats du point de vue comportement .....	85
<b>5.6.</b> Étude comparative .....	86
<b>CONCLUSION</b> .....	89
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	92
Annexe A Bulletins d'analyse de jute Par CNTC .....	97
Annexe B Essais de traction des éprouvettes de jute .....	102
Annexe C Résines utilisées .....	115
Annexe D Essais de flexion des stratifiés .....	121

## Liste des figures et tableaux

	Page
Figure. 1.1 : Matériau composite.	5
Figure. 1.2 : Constituants des matériaux composites	8
Figure. 1.3 : Les différents types de renfort de base.	9
Figure. 1.4 : fibres de verre	11
Figure. 1-5 : fibres de carbone	12
Figure. 1-6 : fibres naturelles	13
Figure .1.7 : Différentes familles de matrices.	14
Figure. 1.8 : Architecture du renfort	16
Figure. 1.9 : armure sergé 1/4 et taffetas 1/2	16
Figure .1.10 : Stratifié à base de plis	22
Figure ,1.11: Pli bidirectionnel	22
Figure ,1.12 : Composite sandwich.	23
Figure 2.1. Composition d'un stratifié quasi-isotrope	25
Figure 2.2. Exemple de pli tissé et de pli unidirectionnel .	26
Figure 2.3. Évolution des endommagements	30
Figure 2.4. Illustration de la décohésion fibre matrice.	33
Figure 2.5. Illustration des différents endommagements macroscopiques pour une plaque trouée.	31
Figure 2.6. Comportement d'un pli unidirectionnel.	31
Figure 2.7. Comportement d'un pli tissé équilibré.	32
Figure 2.8. Blocage des fissures par le tissage.	32
Figure 3 -1 Classification des fibres naturelles en fonction de leur origine	36
Figure. 3.2 – Schéma de principe de la structure d'une fibre végétale	40



	Page
Figure 3.3. : Les différentes étapes de la production de la fibre et les produits du jute	43
Figure 3.4 - Les principales exportations et importations de produits de jute	44
Figure 4. 1 : Eprouvettes de traction de renfort en jute tissé.	47
Figure 4.2 – Machine universelle de traction ZWICK 250/SN5A	48
Figure 4.3 : Position de l'éprouvette entre les deux mâchoires.	49
Figure 4.4 : (a) jute filé, tressé, (b) mailles serrées, (c) grosses mailles.	50
Fig. 4.5: Essais de traction du jute utilisé non ensimé grosse maille à 0° (a)	52
Figure 4.6 Essais de traction du jute utilisé ensimé grosse maille à 0" (a).	53
Figure 4.7 Essais de traction du jute utilisé non ensimé grosse maille à 90".	54
Figure 4.8 Essais de traction du jute utilisé ensimé grosse maille à 90" (b).	55
Figure 4.9 Essais de traction du jute neuf non ensimé grosse maille à 0".	56
Fig4.10 Essais de traction du jute neuf ensimé grosse maille à 0°).	57
Figure 4.1 1 : Essais de traction du jute neuf non ensimé grosse maille à 90°.	58
Figure 4.12 Essais de traction du jute neuf ensimé grosse maille à 0".	59
Figure 4.13 Essais de traction du jute utilisée non ensimé maille Fine à 0" (c).	61
Figure 4.14 Essais de traction du jute utilisée ensimé maille Fine à 0" (c).	62
Figure 4.15 Essais de traction du jute utilisée non ensimé maille Fine à 90° (c).	63
Figure 4.16 Essais de traction du jute utilisée ensimé maille Fine à 90° (c).	64
Figure 4.17 Essais de traction du jute neuf non ensimé maille Fine à 0° (c).	65
Figure 4.18 Essais de traction du jute neuf ensimé maille Fine à 0° (c).	66
Figure 4.19 Essais de traction du jute neuf non ensimé maille Fine à 90° (c).	67
Figure 4.20. Essais de traction du jute neuf ensimé maille Fine à 90° (c).	68

	Page
Figure 5.1: Aptitude à la déformation d'un matériau composite.	72
Figure 5.2 : exemple de découpage de plaquettes de composite.	73
Figure 5.3 : éprouvette de flexion.	74
Figure 5.4 : Machine universelle de flexion.	74
Figure 5.5: Essai de flexion sur un stratifié à renfort végétal (jute)	75
Figure 5.6 : a courbe de flexion ST1, b courbe moyenne :	77
Figure 5.7 : a courbe de flexion ST2, b courbe moyenne	78
Figure 5.8 : a courbe de flexion ST3, b courbe moyenne	79
Figure 5.9 : a courbe de flexion ST4, b courbe moyenne	80
Figure 5.10 : a courbe de flexion ST5, b courbe moyenne	81
Figure 5.11 : a courbe de flexion ST6, b courbe moyenne	82
Figure 5.12 : a courbe de flexion ST7, b courbe moyenne	83
Figure 5.13 : a courbe de flexion ST8, b courbe moyenne	84
Figure 5.14: Représentation de deux courbes (flexion 3 points) renfort naturel/métallique	86
Tableau 1. 1 : Caractéristiques de quelques renforts	10
Tableau 1.2 : Caractéristiques des résines thermodurcissables et des résines thermoplastiques.	15
Tableau 1.3. Performances comparées des différents types d'architectures	16
Tableau 1.4. Synthèse d'utilisation des résines et renfort.	17'
Tableau 3.1 : Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts de matériaux composites.	35
Tableau 3.2 : Propriétés mécaniques moyennes en traction de différentes	37
Tableau 3.3 : Composition et propriétés de différentes fibres végétales	40
Tableau 3.4 : information de prix au kilo pour différentes fibres végétales.	41

	Page
Tableau 5.2 : stratifie ST1	77
Tableau 5.3 : Résultats d'essai de flexion 3 points de stratifie ST2	78
Tableau 5.4 : Résultats d'essai de flexion 3 points de stratifie ST3	79
Tableau 5.5 : Résultats d'essai de flexion 3 points de stratifie ST4	80
Tableau 5.6 : Résultats d'essai de flexion 3 points de stratifie ST5	81
Tableau 5.7 : Résultats d'essai de flexion 3 points de stratifie ST6	82
Tableau 5.8 : Résultats d'essai de flexion 3 points de stratifie ST7	83*
Tableau 5.9 : Résultats d'essai de flexion 3 points de stratifie ST8	84
Tableau 5.10 : Valeurs moyenne des contraintes et des modules d'élasticité calculés en flexion 3 points.	85
Tableau 5.11 : Valeurs de la contrainte à la rupture et le module d'élasticité	87

# Introduction Générale

**Introduction générale :**

Depuis les années 90, de nouveaux matériaux composites ont émergé dans le paysage industriel. Les matériaux composites ne cessent d'évoluer vers des produits qui sont, d'un côté soit les moins coûteux possible soit les plus performants, ou bien les deux à la fois et de l'autre côté ils doivent satisfaire les nouvelles exigences notamment celles relatives au respect de l'environnement.

Le nombre d'études concernant ces nouveaux matériaux est en continuelle augmentation et leur développement représente un enjeu important.

Les performances mécanique élevées, le gain de poids, les caractéristiques spécifiques élevées... etc sont autant d'avantages connus des matériaux composites utilisant des fibres traditionnelles (verre). Toutefois l'avènement de nouvelles exigences en matière de respect de l'environnement et de la santé publique constituent à la fois des impératifs à respecter et une contrainte à considérer, désormais, lors de la mise en œuvre de tout produit y compris les matériaux composites.

Ces contraintes environnementales et les nouvelles réglementations sur le recyclage des matériaux composites ont poussé les industriels à développer de nouveaux matériaux issus de ressources naturelles. D'où la mise en œuvre des matériaux composites à fibres naturelles.

Parmi les fibres naturelles se trouvent les fibres végétales, matériaux de qualité, qui se fabriquent et se recyclent naturellement sur terre depuis très longtemps (matériaux biodégradables et renouvelables par culture (jute)).

Dans cet esprit, la tendance est d'étudier la possibilité de remplacer les fibres de verre par des fibres naturelles (jute), non seulement pour faire des économies mais aussi parce que les matières premières renouvelables présentent des avantages écologiques.

L'introduction de fibres naturelles dans des matrices polymères (biodégradables ou non) peut apporter des avantages notoires par rapport aux fibres traditionnellement utilisées dans les composites (comme les fibres de verres) : faibles densités, bonnes propriétés mécaniques, faibles coûts etc... Les matériaux composites renforcés par des fibres végétales sont en cours de développement leurs applications sont encore limitées mais ils sont amenés à jouer un rôle dans l'industrie future, notamment dans le domaine de la construction.

De ce fait la connaissance des performances de ce type de matériaux en particulier le comportement mécanique, constitue une préoccupation de premier degré, des industriels.

Dans cette optique nous nous intéresserons dans cette étude à mettre en évidence le comportement mécanique des stratifiés à renfort végétal (jute) sollicités en flexion trois points. \*

Notre étude est composée de 05 chapitres.

Le chapitre 1 consistera en une synthèse sur les matériaux composites visant à fournir un aperçu sur les caractéristiques générales, classification, constituants et procédés de fabrication de ces matériaux.

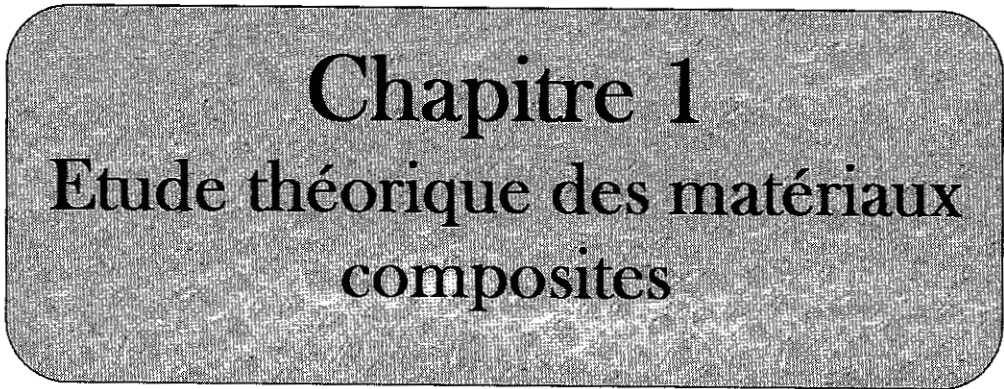
Dans le deuxième chapitre nous présenterons le comportement mécanique des composites stratifiés, nous insisterons les mécanismes d'endommagement dans le cas des plis unidirectionnels et le cas des plis tissés équilibrés \*

Les Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites stratifiés sont exposés dans le troisième chapitre, l'accent est mis sur l'intérêt de l'utilisation des fibres naturelles et la classification des différentes fibres naturelles. Egalement une présentation de différentes fibres végétales ainsi que les particularités (le choix) du renfort naturel (Jute) sont exposés dans ce chapitre.

Le quatrième chapitre est consacré à la caractérisation expérimentale du renfort naturel du jute, utilisé dans l'élaboration du matériau composite stratifié.

Le chapitre 5 décrira le processus de nos travaux d'élaboration des éprouvettes du composite stratifié à base des fibres de jute ainsi que des essais en flexion trois points réalisés dans le laboratoire des matériaux minéraux et composites (LMMC), département Génie des Matériaux, faculté des sciences de l'ingénieur de l'université de Boumerdes. . Les résultats obtenus sont comparés aux résultats des travaux publiés sur les stratifiés conçus avec: fibre de verre/époxyde et fibre de kevlar/époxyde et fibre métalliques/époxyde.

Pour finir une conclusion récapitule les résultats essentiels de notre travail tout en évoquant les perspectives à venir de l'utilisation des composites à fibres végétales comme matériaux de substitution des composites déjà utilisés dans de nombreux domaines.



**Chapitre 1**  
**Etude théorique des matériaux**  
**composites**

## 1.1. Introduction :

Les matériaux composites sont des matériaux qui associent deux matériaux différents, appartenant parfois à deux classes distinctes, pour obtenir une combinaison de propriétés qui tire avantage de chacun.

On peut distinguer au moins quatre grandes familles de matériaux composites suivant la nature de leur matrice et le type de renforts qu'ils contiennent. [4]

Les plus fréquemment utilisés sont les composites à matrices polymère et à renfort fibreux qui présentent des propriétés spécifiques exceptionnelles ou non suivant le tissage.

Les composites céramique/céramique qui sont moins fragiles que les céramiques massives sont très intéressants pour leur tenue en température. Les composites à matrice métallique à renfort céramique ont pour vocation de tirer à la fois de la ductilité des métaux et de la raideur du renfort céramique ;

Enfin il convient de citer d'autres matériaux tels que le bois, les ciments et bétons, qui sont tous en quelque sorte des matériaux composites.

## 1.2. Généralités:

Comme le terme matériau composite, évoque un matériau différent des matériaux macroscopiquement homogènes habituels d'où un matériau composite résulte de l'association intime d'au moins deux matériaux non miscibles, dont les qualités se combinent avec synergie. [2]

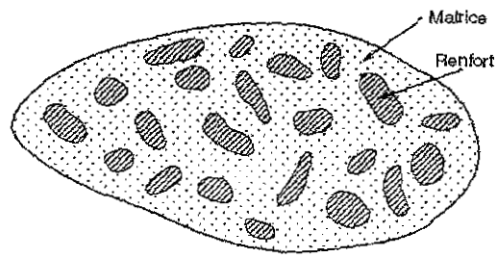
### 1.2.1 Caractéristiques générales des matériaux composites :

Un matériau composite consiste dans le cas le plus général d'une ou plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue.

Dans le cas de plusieurs phases discontinues de matrices différentes, le composite est dit hybride. 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 ou matériau renforçant. (Figure 1.1).





*Figure 1.1 Matériau composite,*

Les propriétés des matériaux composites dépendent de beaucoup de facteurs et seront différentes selon les divers types de matériaux composites, ces propriétés résultent :

- Des propriétés de la nature et de la quantité des matériaux constituants.
- De la géométrie et de la distribution du renfort.
- De leurs interactions, de la nature de l'interface matrice – renfort, etc.

Les principales caractéristiques des pièces fabriquées en matériaux composites sont :

- Le gain de masse ;
- La bonne tenue en fatigue (durée de vie augmentée);
- L'absence de corrosion;
- L'absence de plasticité (leur limite élastique correspond à la limite de rupture)
- Le vieillissement sous l'action de l'humidité et de la chaleur ;
- L'insensibilité à certains produits chimiques courants (solvants, peinture, huiles, pétroles...);
- Tenue aux impacts et aux chocs très moyenne ;
- Très forte anisotropie.

### **1.2.2 Intérêt des matériaux composites**

L'utilisation des matériaux traditionnels à des fins technologiques implique des choix restreints conditionnés par les performances propres au matériau appliqué et par les procédés de mise en œuvre. Une autre contrainte des matériaux traditionnels, d'ordre économique, est le coût de la performance (matériaux nobles, alliages, céramiques, aciers inoxydables, aciers réfractaires).

En recherchant des solutions intermédiaires, l'idée qui a été exploitée est d'associer dans une même masse des matériaux différents par leur nature chimique et leur présentation afin de tenter une sommation des performances soit au niveau de la facilité de mise en œuvre, soit au niveau des résistances physiques, chimiques ou mécaniques.

Des charges à renforts fibreux ont été ainsi introduites et mélangées à des matrices métalliques, céramiques ou plastiques.

Les premières techniques visent à associer la facilité de mise en œuvre de la matrice à l'apport de résistance mécanique des charges et renforts. Puis ces techniques ont été rapidement perfectionnées pour déboucher sur des technologies spécifiques à des matériaux hétérogènes (nouvelles méthodes de dimensionnement et de mise en forme).

Les structures de ces matériaux sont généralement de type à deux dimensions principales, plates ou lamellaires, isotropes ou anisotropes.

La conception est réalisée selon la démarche suivante :

- Définition d'une géométrie qui tient compte de nombreux paramètres telles la nécessité d'une épaisseur constante, orientation des renforts dans le sens des efforts principaux, identification des zones à fort retrait, conséquence de l'anisotropie de la sollicitation, etc.
- Choix des taux de renfort et des empilements (ordre et orientation) pour une détermination locale des caractéristiques mécaniques : pour chaque couche du composite et selon les axes principaux des couches ; pour l'empilement des couches. L'ensemble doit aboutir à une loi complexe de comportement propre aux matériaux composites.
- Utilisation de méthodes de calcul évoluées du type éléments finis et simulations numériques.

L'association matrice – renfort dépend :

- De la comptabilité chimique des matériaux en contact qui implique une interface de transmission d'efforts où les liaisons peuvent être du type physique ou chimique ;
- Du procédé de mise en œuvre choisi en relation avec la géométrie de la pièce ;
- De la résistance mécanique ou chimique attendue ;
- Des coûts de fabrication, du prix des produits de base, de la technique de transformation et de finition, enfin éventuellement du coût des contrôles.

On peut donc définir une classification de matériaux composites en se référant soit à la nature des composants, soit au type de performance apportée.

Les avantages de cette nouvelle classe de matériaux sont multiples et peuvent se résumer aux points suivants :

- Possibilités étendues d'adapter le matériau aux fonctions de la pièce.

- Optimisation sur le poids et sur les contraintes pour obtenir des solutions technologiques qui répondent au cahier de charge par :

- La sélection du matériau et de ses composants.
- Les définitions géométriques.
- Le dimensionnement.
- La mise au point de nouveaux procédés de transformation.
- Simplification de la conception des mécanismes.
- Obtention de performances nouvelles telles que :
  - Allégement sans concession sur les propriétés.
  - Tenues mécaniques particulières (fatigue, résilience, ...).
  - Résistance chimique, tenue électrique.
  - Abaissement des coûts de production.
  - Adéquation possible entre le choix des matériaux, les séries envisagées et le procédé de fabrication retenu.

### 1.3. Matériau composite

A l'opposé des matériaux traditionnels, le composite de par ses propriétés, doit s'adapter aux exigences de conception, alors que la conception découle des propriétés des matériaux employés dans la pratique traditionnelle ; Acier, Bois, etc. On réalise en quelque sorte, en une même fois le matériau et le produit, d'où un concept nouveau.

En effet, tandis que pour les plastiques, les quels possèdent des caractéristiques isotropes, on réalise le dessin de la pièce à fabriquer avec une approche assez voisine de celle que l'on utilise pour les métaux, à l'inverse pour les composites. Il faut construire la structure à la demande. [3]

Le résultat étant un système qui inclut :

- La nature de la texture et la forme du renfort, le taux de renforcement.
- La nature de la résine et des charges ou additifs.
- La quantité de l'interface renfort matrice.
- La géométrie de la pièce à réaliser.
- Le procédé de mise en œuvre utilisé.

Pour fabriquer des pièces en composites, une quinzaine de technologies mise en œuvre sont aujourd'hui disponible, de quoi répondre à toutes les exigences en termes de formes et de cadences.

De nombreux procédés peuvent être utilisés : contact, projection, moulage sous vide, drapage autoclave, moulage basse pression.

On distingue deux grandes familles de composites :

**1.3-a. Composites de grande diffusion (G D):** constitués principalement par le couple résine (polyester)/fibre de verre.

**1.3-b. Composites à haute performances (HP):** constitués par les couples résine/fibre de verre, de carbone ou d'aramide. [4]

Les composites GD, représentent 95 % des matériaux composites utilisés. En général, ce sont des plastiques armés ou des plastiques renforcés dont le **taux** volumique de renfort avoisine 30 %. Les principaux constituants de base sont les résines polyesters (95 % des résines thermodurcissables) avec des fibres de verre (plus de 99 % des renforts utilisés).

Les composites HP sont principalement utilisés dans l'aéronautique. Les renforts utilisés sont plutôt des fibres longues dont le taux de renfort est supérieur à 50 %. Contrairement aux composites GD, leurs propriétés mécaniques, résistance mécanique et rigidité, sont largement supérieures à celles des métaux.

Les principaux constituants des matériaux composites sont résumés dans l'organigramme figure 1-2.

La maîtrise de l'élaboration de matériaux composites nécessite la connaissance des propriétés individuelles des constituants de base des matériaux.

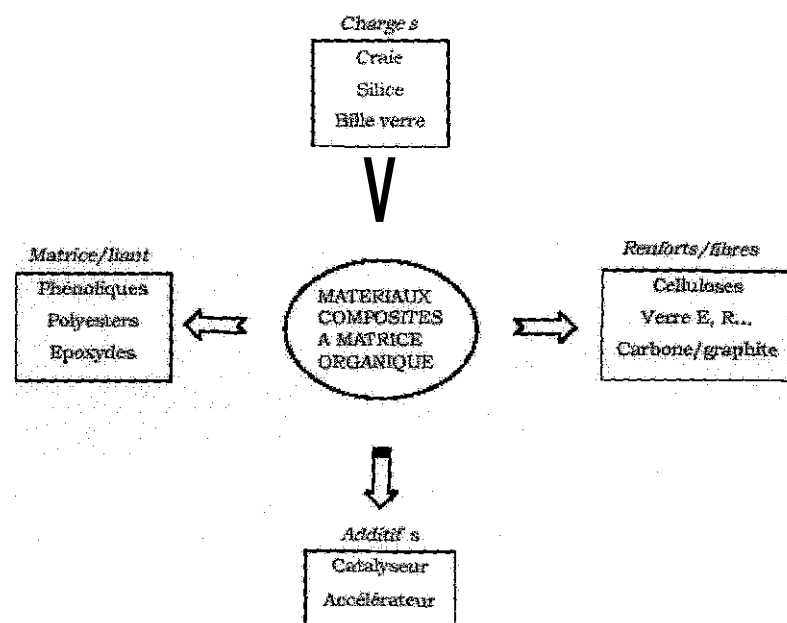


Figure. 1. 2 : Constituants des matériaux composites.

## 1.4. Composants

Un matériau composite est constitué d'une matrice et d'un renfort, constitué de fibres.

La matrice elle-même composée d'une résine (polyester, époxydes) et de charge dont le but est d'améliorer les caractéristiques de la résine tout en diminuant le coût de production. D'un point de vue l'ensemble résine charges se comporte comme un matériau homogène, et le composite est constitué d'une matrice *et* d'un renfort. [5]

### 1.4-1. Renfort

Le renfort a pour rôle d'assurer la tenue mécanique du composite, il est souvent de nature filamentaire : fibres organiques ou inorganiques [6].

Les fibres sont constituées par plusieurs centaines ou milliers de filaments de diamètres variant de 5 à 15  $\mu\text{m}$ , ce qui permet de traiter les mèches sur des machines textiles.

Les différents types de renforts [6] sont cités dans l'organigramme ci-dessous [fig.1.3].

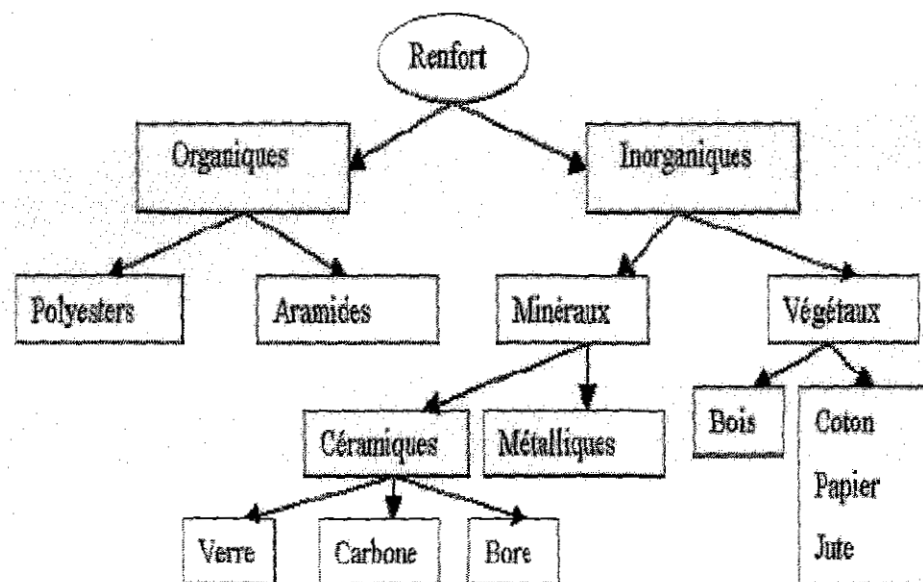


Figure. 1.3 : Les différents types de renfort de base.

Le tableau suivant présente les principales caractéristiques mécaniques de quelques renforts [1-1]

**Tableau 1 - 1 : Caractéristiques de quelques renforts**

Fibre	Densité (kg/dm <sup>3</sup> )	Charge de rupture en traction (Mpa)	Charge de rupture en compression (Mpa)	Allongement a la rupture (%)	Module d'élasticité (Mpa)	Diagramme du filament élémentaire (µm)
Verre E	2.54	3400	1200	4.8	73000	3 - 30
Verre R	2.48	4400	1300	5.4	86000	3 - 30
Aramide haut module	1.45	3100	500	1	130000	12
Carbone haut module	1.8	2200	1300	1.8	400000	7
Bore	2.63	3500	3500	0.8	400000	100 - 200

#### 1.4.1.1 Natures des renforts

Les principaux matériaux actuellement utilisés comme renforts [7] sont les fibres de verre, d'aramide et de carbone. D'autres fibres sont également commercialisées, mais elle restent peu utilisées du fait de leur mise en œuvre plus complexe et de leur coût plus élevé : fibres de bore, carbure de Silicium, alumine, silice, zircone. Des renforts plus atypiques tels que les fibres naturelles ou les fibres de basalte peuvent également trouver leur place dans le renforcement des composites [8].

Il faut noter que les fibres sont plus résistantes que les matériaux dont elles sont constituées, dans la mesure où elles ont très peu de dislocations.

##### a) Fibres de verre

Les fibres de verre (fig.1.4) sont les renforts les plus utilisés actuellement du fait de leur excellent rapport qualité/prix. La fibre de verre est obtenue par fusion directe de la composition mère et passage dans des filières pour obtenir un monofilament d'un

diamètre de 3,6 à 20  $\mu\text{m}$  après étirement. Le fil est constitué de 800 monofilaments revêtus d'une mince pellicule d'ensimage à base de silane ou d'organosilane, destinée à les protéger et à assurer une meilleure interface avec la matrice. Les propriétés des composites dépendent également de la composition de l'ensimage.

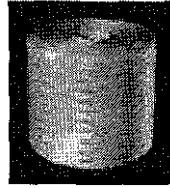


Figure. 1.4: fibres de verre

De manière générale, les fibres de verre présentent une résistance à la rupture élevée, une masse volumique moyenne (voisine de 2,5), une bonne inertie chimique en milieu neutre ou acide, mais une dégradation rapide en milieu basique.

Il existe différentes familles de verres parmi lesquelles :

- **Verre E** : c'est le plus utilisé dans le renforcement des composites. Ses composants principaux, en dehors de la silice, sont l'alumine et l'oxyde de bore, avec un maximum de 1% d'oxydes alcalins.
- **Verres S et R** : à base d'aluminosilicate de magnésium, ils possèdent une bonne ténacité et une bonne tenue à la fatigue. Ils sont très utilisés dans des domaines nécessitant de hautes performances mécaniques tels que l'aéronautique.
- **Verre C** : à base de borosilicate de calcium et d'alumine, ce verre a une bonne tenue dans les milieux chimiques corrosifs. Il est utilisé dans les composites en contact avec des acides.
- **Verre D** : composé essentiellement de silice et d'oxyde de bore, il a de très bonnes propriétés diélectriques qui permettent son utilisation pour des applications électroniques à hautes performances (radômes, circuits imprimés hautes capacités).
- **Verre ECR** : dérivé du verre E avec une plus forte concentration en trioxyde d'aluminium et toujours très peu d'oxydes alcalins ce qui lui donne de bonnes performances vis à vis des acides,

### b) Fibres de carbone

Ces fibres (fig.1.5) présentent d'excellentes propriétés mécaniques notamment en traction et une faible densité ( $\approx 1,5$ ). Les composites renforcés de fibres de carbone se distinguent par leur rigidité et leur excellente tenue en fatigue.

Les principales applications des fibres de carbone dans les composites se trouvent dans l'industrie aéronautique et les articles de sports et loisirs.

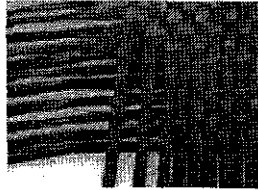


Figure. 1 -5 :fibres de carbone

### c) Fibres d'aramide

Les fibres d'aramide sont obtenues à partir de polyamide aromatique. Elles possèdent une grande résistance à la rupture associée à une très faible densité (environ 1,45) ainsi qu'une excellente résistance aux chocs et à la fatigue. Leurs principaux inconvénients résident dans une reprise d'humidité importante, une tenue au feu limitée (décomposition à 400 °C), et une sensibilité aux UV. Les composites renforcés de fibres d'aramide possèdent une résistance à la compression plus modeste comparée à celle des composites renforcés de fibres de verre ou de carbone.

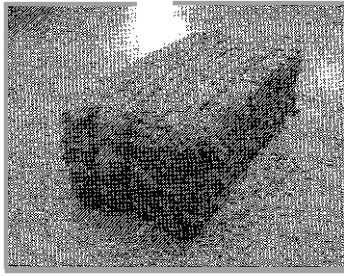
La variation dimensionnelle de la fibre dans le sens transversal engendre des contraintes mécaniques internes qui se libèrent par la formation de micro-fissures dans la résine. Ce phénomène existe aussi pour la fibre de carbone, mais les effets se développent plus lentement.

Les fibres d'aramide sont employées, au même titre que les fibres de carbone et de verre, dans la fabrication de matériaux composites pour l'industrie aéronautique, l'armement, la construction navale, les articles de sports, ainsi que dans d'autres domaines, comme l'automobile de compétition.

### d) Fibres naturelles

Les fibres naturelles (fig. 1-6) telles que le lin, le coton, le chanvre ou le sisal commencent à être utilisées de plus en plus souvent comme fibres de renfort dans les composites. C'est surtout dans le secteur automobile, où le souci de dégager une image plus écologique et de réaliser des économies de poids a abouti à une utilisation croissante des fibres naturelles,





*Figure. 1 -6: fibres naturelles*

**e) Polymères biodégradables à base d'acide polylactique PLA :**

Ils sont utilisés pour des composites à fibres et à matrice PLA pour des applications médicales d'ostéosynthèse ; ils pourraient constituer de nouvelles alternatives aux fibres existantes. [6]

### 1.4-2. Matrice

La matrice permet de lier les fibres du renfort fibreux entre elles, ainsi que de répartir les efforts (résistance à la compression ou à la flexion). La matrice est facilement déformable et assure la protection chimique des fibres [fig.I-7]. Généralement, c'est un polymère ou une résine organique.

On peut retrouver dans l'organigramme ci-dessous, les différentes familles de matrice :

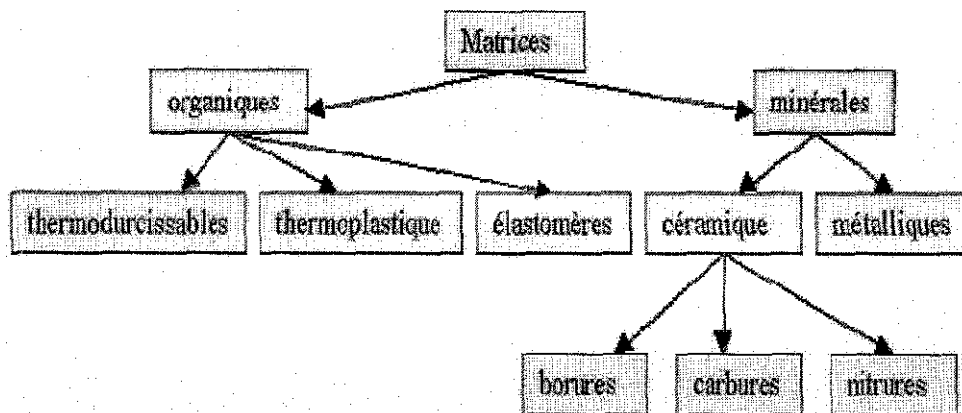


Figure 1.7 : Différentes familles de matrices.

Les résines les plus employées dans les matériaux composites sont les résines thermodurcissables et les résines thermoplastiques.

La matrice constituant le matériau composite de cette étude est une matrice thermodurcissable.

Une comparaison entre quelques caractéristiques des résines thermodurcissables et celles des résines thermoplastiques est présentée dans le tableau 1-2 :

*Tableau 1 - 2 : Caractéristiques des résines thermodurcissables et des résines thermoplastiques.*

Critères essentiels	Matrices thermoplastiques	Matrices thermodurcissables
Etat de base	Solide (prêt à l'emploi : polymérisé)	Liquide visqueux à polymériser
Stockage matière de base	illimité	Temps réduit (précaution à prendre)
Mouillabilité des renforts	difficile	Aisée
Moulage	Chauffage (fusion + refroidissement de fixation)	Chauffage continu
Cycle	Plus long (refroidissement)	court
<b>Critère spécifique</b>		
Tenue au choc	Assez bonne	Limitée
Tenue thermique	réduite	Meilleure
Chute et déchets	recyclables	perdus

### 1.5. Architecture de renforcement

Les propriétés mécaniques des matériaux composites dépendent fortement de l'architecture du renfort utilisé (figure 1-8). Celle-ci doit être adaptée aux modes de sollicitation de la structure finale. La fabrication d'un renfort peut se faire avec des fibres dispersées au hasard ou orientées dans une ou plusieurs directions.

Des axes de renforcement peuvent être définis par le croisement de fils : le tissage chaîne et trame pour des renforts orthogonaux, le tissage triaxial pour des renforts à  $60^\circ$  et le tissage multiaxial qui permet jusqu'à neuf axes de renforcement. Face à ces structures traditionnelles, des structures 3D ont également été développées afin d'améliorer le renforcement du matériau et d'apporter une solution aux problèmes de délaminage [9].



Figure. 1.8 : Architecture du renfort

Un exemple d'armure des tissus est présenté par la figure 1-9.



Architecture des fibres	Comportement mécanique	Orientation de la tenue mécanique	Taux maximal de renfort	Type de fibres
Fibres coupées et broyées	Moyen	Quelconque	30%	Verre
Mats fibres coupées	Moyen	Quelconque	30%	Verre
Mats fibres continues	Moyen	Orientée	30%	Verre
Fibres continues	Intermédiaire	Unidirectionnelle	50 à 70%	Toutes
Tissu	Fort	Bi ou tri directionnelle	30 à 70%	Toutes
Nappe	Très fort	Unidirectionnelle bidirectionnelle	50 à 85%	toutes

Le tableau 1-4 donne une synthèse de l'utilisation des résines et renforts avec :

GD: grande diffusion

HP: haute performance

TD: thermodurcissable

TP: Thermoplastique

Tableau 1.4. Synthèse d'utilisation des résines et renfort.

Résines		Fibres de renfort				
		Verre E	Verre D	Verre R	Carbone	Aramide
<b>Thermodurcissables</b> <b>TD</b>	Polyesters	GD	GD			
	Phénoliques	GD				
	Polyuréthanes	GD				
	Epoxy		HP	HP	HP	HP
<b>Thermoplastiques</b> <b>TP</b>	Polypropylène	GD				
	PA 6 et 6-6	GD		HP		
	PA 12, Peek(mofinal)			HP	HP	HP

### 1.6. Technologies de mise en œuvre.

Il existe des procédés de moulage spéciaux pour la fabrication de différentes pièces suivant la demande spécifique attendue, quelle soit mécanique, esthétique, de rendement ou autres. [5]

La plupart des procédés font appel à un moule. On distingue les technologies en moule ouvert dans lesquels la résine est en contact avec l'atmosphère, des technologies en moule fermé dans lesquels la résine n'est pas en contact avec l'atmosphère. Les moyens de mise en œuvre des résines conduisent à des émissions plus ou moins importantes.

On distingue principalement :

### 1.6.1. Technologies dites en « moule ouvert »

**Moulage au contact** : des mats et des tissus de verre sont disposés dans un moule et imprégnés de résine accélérée et catalysée

L'imprégnation se fait à l'aide d'outils appropriés tels que rouleaux, pinceaux, pistolets. Les inclusions d'air doivent être éliminées (phase de bullage réalisée avec des rouleaux).

La polymérisation s'effectue à une température comprise entre 17 et 25 °C ou en étuve chauffée à 50-60 °C.

Le moulage par projection simultanée :

La résine, l'accélérateur, le catalyseur et la fibre de verre sont projetés simultanément sur un moule. Les pistolets utilisés sont de natures diverses : à mélange interne ou externe, pneumatique ou hydraulique, haute pression ou basse pression.. .

La projection peut être robotisée mais elle est le plus souvent manuelle. La nature des pistolets et l'adresse de l'opérateur influencent les émissions de styrène.

#### a. Moulage en continu.

Le moulage en continu est utilisé pour obtenir des matériaux de très grande dimension telle que les plaques ondulées, les panneaux éclairants.. . Un dépôt de gelcoat/résine a lieu sur une feuille plastique en mouvement.

Le dépôt de résine catalysée et additionnée de tous les éléments nécessaires, se fait par une goulotte de dépôt. La fibre de verre est également déposée. L'imprégnation se fait à l'aide de rouleaux ébulleurs. Le stratifié est recouvert d'une autre feuille plastique de façon à obtenir un sandwich et il passe ensuite dans un four de cuisson chauffé entre 60 et 100 °C.

#### b. Moulage par enroulement filamentaire :

Le moulage par enroulement filamentaire est utilisé pour la fabrication de tubes, tuyaux, viroles.. . par dépôt sur un moule en rotation autour de son axe (mandrin) d'un renfort imprégné de résine (préimprégnation ou imprégnation in situ). Ce procédé permet d'atteindre des taux massiques de verre élevés (60 à 75 %) conduisant à des pièces de très bonnes caractéristiques mécaniques.

### 1.6.2. Technologies dites en « moule fermé »

Le moulage par injection : procédé RTM (Resin Transfert Molding). L'injection de résine dans un moule et son empreinte sur laquelle a été déposée au préalable la fibre de verre, peut se faire sous l'effet de la pression ou en combinant l'injection et la mise sous vide. Le moule est ouvert dès la fin de la polymérisation.

Cette méthode limite très fortement les émissions de COV par rapport aux précédentes. Le procédé RTM classique demande des niveaux de production de pièces élevés. Le procédé RTM a été développé pour des niveaux de production de quelques pièces par jour de petite taille.

#### a. Moulage par compression de mat pré imprégné ou SMC (Sheet Molding Compound) :

Ce moulage utilise un matériau directement prêt à l'emploi sous forme d'un préimprégné en feuille appelé SMC. Cette technique nécessite des pressions sur matière de l'ordre de 50 à 200 bars et des températures de l'ordre de 140 à 160°C. Les usines qui emploient cette technique peuvent ou non fabriquer le SMC de base. Le moulage conduit à des émissions très faibles.

b. **Moulage par compression de BMC (Bulk Moulding Compound):** Le moulage par compression de BMC se différencie du moulage par compression de SMC par la présentation de la matière à mouler. Celle-ci ne se présente plus en feuilles mais en vrac. Les paramètres de moulage sont analogues à ceux utilisés pour le SMC.

c. **Pultrusion** : la pultrusion est utilisée pour fabriquer des profilés de section constante de façon continu. Les longueurs continues de fibre de verre sont plongées dans un bain de résine et pénètrent ensuite dans une filière chauffée, où le profilé est mis en forme et polymérisé en continu.

a. **Infusion** : cette technique consiste à recouvrir les pièces à fabriquer de feuille plastique, à rendre étanche l'enceinte ainsi créée et à utiliser le vide pour introduire la résine.

La mise en œuvre de l'une ou l'autre de ces techniques, dépend des pièces que l'on veut produire et du niveau de production requis. Ainsi en fonction des procédés, la production des pièces est la suivante :

## 1.7. Classification des matériaux composites

Les matériaux peuvent être classés suivant la forme des composants ou suivant la nature des composites. [10]

### 1.7.1 Classification suivant la forme des constituants

En fonction de la forme des constituants, les composites sont classés en deux grandes classes : les matériaux composites à particules et les matériaux composites à fibres.

#### a) Composites à fibres :

Un matériau composite est un composite à fibre si le renfort se trouve sous forme de fibres, les fibres utilisées se présentent *soit* sous forme de fibres continues, soit sous forme de fibres discontinues ; fibres coupées, fibres courtes, etc. L'arrangement des fibres, leur orientation permet de moduler à la carte les propriétés mécaniques des matériaux composites, pour obtenir des matériaux allant de matériaux fortement anisotropes à des matériaux isotropes dans un plan. Le concepteur possède donc là un type de matériau dont il peut modifier et moduler à volonté les comportements mécaniques et physiques en jouant sur :

- La nature des constituants,
- La proportion des constituants,
- L'orientation des fibres,
- Suivant le cahier des charges imposées.

L'importance des matériaux composites à fibres justifie une étude exhaustive de leurs comportements mécaniques.

#### b) Composites à particules :

Un matériau composite à particules lorsque le renfort se trouve sous forme de particules. Une particule, par opposition aux fibres, ne possède pas de dimensions privilégiées 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.

Le choix de l'association matrice-particules dépend des propriétés souhaitées, par exemple, des inclusions de plomb dans des alliages de cuivre augmentant leur facilité d'usinage.

Les composites à particules recouvrent un domaine étendu dont le développement s'accroît sans cesse.



### 1.7.2. Classification suivant la nature des constituants :

Selon la nature de la matrice, les matériaux composites sont classés à : des composites à matrice organique, à matrice métallique ou à matrice minérale.

Divers renforts sont associés à ces matrices, seuls certains couples d'associations ont actuellement un usage industriel, d'autres faisant l'objet d'un développement dans les laboratoires de recherche. Nous pouvons citer :

Composites à matrice organique (résine, charge), avec :

- Des fibres minérales : verre, carbone...
- Des fibres organiques : kevlar, polyamides...
- Des fibres métalliques : bore, aluminium...

Composites à matrice métallique (alliages légers et ultralégers d'aluminium, de magnésium, de titane) avec :

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

Composites à matrice minérale, (céramique), avec :

- Des fibres métalliques : bore.
- Des particules métalliques : cermets (métal-céramique).
- Des particules minérales : carbure, nitrures.

Les matériaux composites à matrice organique ne peuvent être utilisés que dans le domaine des températures ne dépassent pas 200 à 300°C, alors que les matériaux composites à matrice métallique ou minérale sont utilisés au-delà ; jusqu'à 600°C pour une matrice métallique, jusqu'à 1000°C pour une matrice céramique. [11]

### 1.8. Architecture des matériaux composites :

L'ensemble des procédés de mise en œuvre montre la prépondérance d'une conception des pièces en matériaux composites :

**Par** surface : plaques, coques, etc.

**Par** stratification de couches successives.

### 1.8-1. 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 (Figure 1.10).

On appelle ainsi ce qui résulte de la superposition de plusieurs couches ou plis de nappes unidirectionnelles, de tissus ou de mats avec des orientations propres à chaque pli (Figure 1.11) un stratifié. [4]

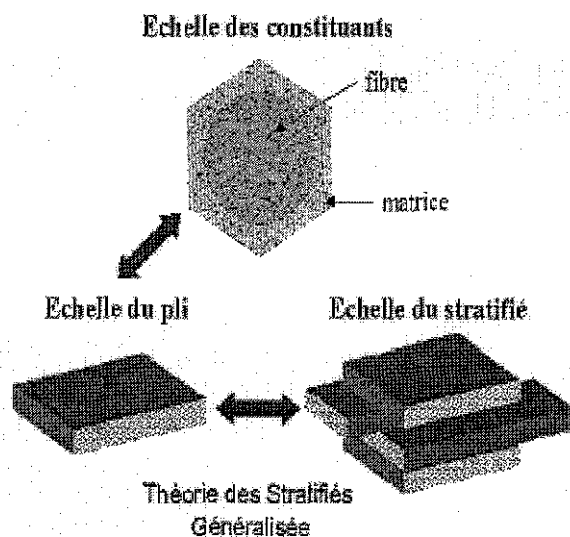


Figure 1.10. Stratifié à base de plis

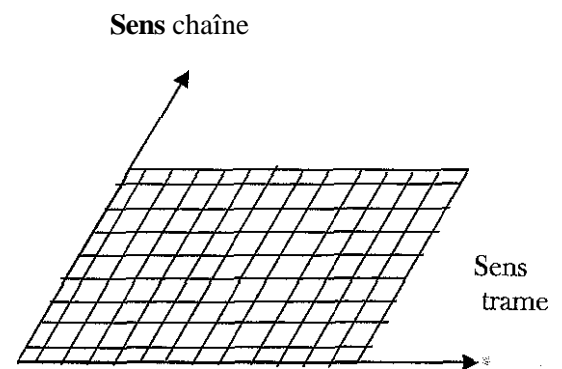


Figure 1.11. Pli bidirectionnel

Le choix de l'empilement et plus particulièrement des orientations permettra d'avoir des propriétés mécaniques spécifiques.

**Notation « composite »** : on prend l'exemple suivant

Un stratifié possédant l'empilement  $(0, +45, +90, -45)_2s$  est un stratifié avec 4 couches dans les directions  $0^\circ$ ,  $-45^\circ$ ,  $90^\circ$  et  $+45^\circ$ , l'orientation  $0^\circ$  coïncidant avec la direction 1 du repère principal du composite. Ces plans seront répartis symétriquement par rapport au plan moyen du stratifié.

On pourra avoir des stratifiés de type :

- Equilibré : stratifié comportant autant de couches orientée suivant la direction  $+\theta^\circ$  que de couches orientée suivant la direction  $-\theta^\circ$ .
- Symétrique : stratifié comportant des couches disposées symétriquement par rapport à un plan moyen.
- Orthogonal : stratifié comportant autant de couches à  $0^\circ$  que de couches à  $90^\circ$ .

### 1.8-2. Composites hybrides

Les composites hybrides pourrait être défini comme des matériaux contenant au moins deux types distincts de renfort ou de matrice ces éléments se différencient par leurs propriétés mécanique, leurs propriétés physiques, leurs formes de présentation ou par leurs compositions chimiques.

Les matériaux hybrides sont réalisés pour diverses raisons : obtenir un matériau composite ayant de meilleurs propriétés que celles de chacun des composants séparés, pour obtenir un matériau composite répondant aux caractéristiques mécaniques attendues à un prix raisonnable, pour obtenir des effets esthétiques agréables résultant du mélange des fibres utilisées.

### 1.8-3. Sandwichs

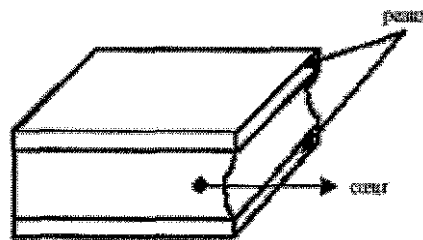



Figure 1.12. Composite sandwich.

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 et c'est un excellent isolant thermique (Figure 1.12).



**Chapitre 2**  
**Comportement mécanique**  
**des composites stratifiés**

## 2.1. Introduction

Les stratifiés sont constitués de couches de matériaux composites unidirectionnels ou de composites à base de tissus. généralement, les tissus sont constitués de fils unidirectionnels croisés à  $90^\circ$ . l'un dans le sens chaîne, l'autre dans le sens trame. Ces couches possèdent trois plans de symétrie orthogonaux deux à deux.

## 2.2. Qu'est ce qu'un composite stratifié

On distingue différents types de stratifiés. Les monolithiques sont constitués uniquement de plis composite fibres/résine, les sandwiches sont constitués de deux couches monolithiques appelées peaux, séparées par une âme en mousse ou en nid d'abeille [12].

Un stratifié monolithique est constitué de plusieurs plis caractérisés par leur orientation. La Figure 2.1 présente la composition d'un stratifié dit quasi isotrope

Il existe différents types de pli (Figure 2.2). Lorsque les fibres sont toutes dans la même direction, le pli est dit unidirectionnel ; lorsque les fibres se présentent sous forme de tissu, le pli est dit tissé, il comporte des fibres dans deux directions appelées sens chaîne et sens trame. S'il y a autant de fibres dans les sens chaîne et trame le pli est dit tissé équilibré.

Les fibres peuvent être en verre ou en carbone, les résines les plus utilisées sont les époxydes et les polyesters insaturés.

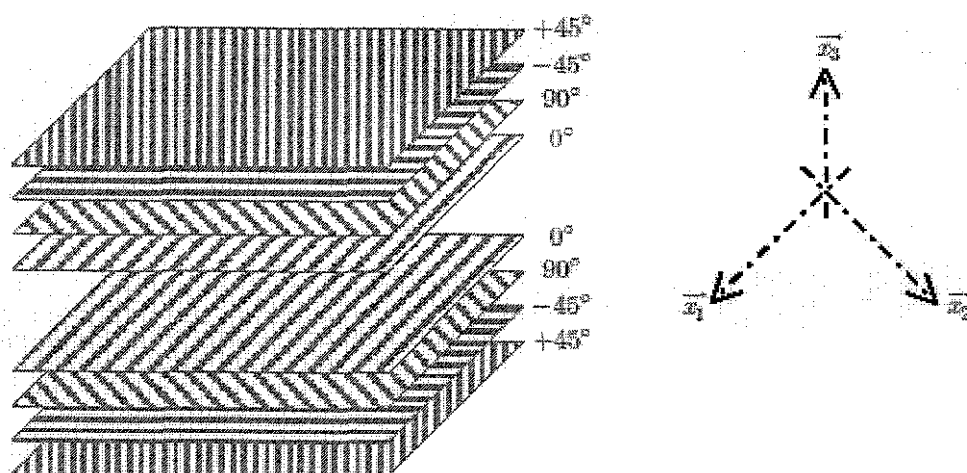
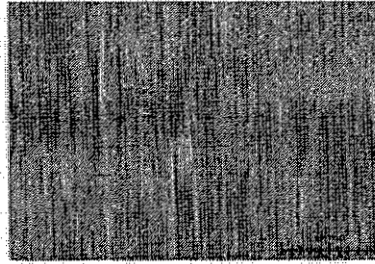
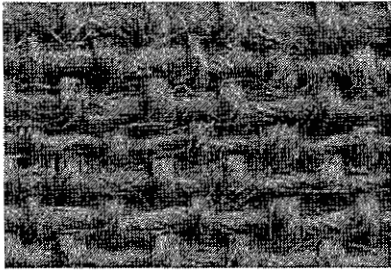


Figure 2.1. Composition d'un stratifié quasi-isotrope



(a) toile de jute

(b) Nappe de fibre de verre

Figure 2.2. Exemple de pli tissé (a) et de pli unidirectionnel (b).

### 2.3. Comportement élastique d'un stratifié

Le comportement élastique d'un pli est bien évidemment anisotrope, mais l'anisotropie dépend du type de pli. Un pli unidirectionnel a un comportement isotrope transverse, son tenseur de souplesse est de la forme :

#### 2.3.1 Matrice de souplesse

$$S = \begin{pmatrix} \frac{1}{E_1} & \frac{-\nu_{12}}{E_1} & \frac{-\nu_{12}}{E_1} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\nu_{12}}{E_1} & \frac{1}{E_2} & \frac{-\nu_{23}}{E_2} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\nu_{12}}{E_1} & \frac{-\nu_{23}}{E_2} & \frac{1}{E_2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1+\nu_{23}}{E_2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2G_{12}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2G_{12}} \end{pmatrix}_{(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{x}_3)} \quad (21)$$

Un pli tissé équilibré a un comportement orthotrope, son tenseur de souplesse est de la forme :

$$S = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & \frac{-\nu_{12}}{E_1} & \frac{-\nu_{13}}{E_1} & 0 & 0 & a \\ \frac{-\nu_{12}}{E_1} & \frac{1}{E_1} & \frac{-\nu_{13}}{E_1} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{-\nu_{13}}{E_1} & \frac{-\nu_{13}}{E_1} & \frac{1}{E_3} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2G_{13}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2G_{13}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{2G_{12}} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

ou :

$E_1$  : Module de Young longitudinal et transversal en GPa

$\nu$  : Coefficient de Poisson

$G$  : Module de cisaillement initial GPa

### 2.3.2. Matrice de rigidité

La relation d'élasticité linéaire peut s'écrire sous la forme matricielle suivante :

$$\begin{bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} & C_{15} & C_{16} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} & C_{25} & C_{26} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} & C_{35} & C_{36} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} & C_{45} & C_{46} \\ C_{51} & C_{52} & C_{53} & C_{54} & C_{55} & C_{56} \\ C_{61} & C_{62} & C_{63} & C_{64} & C_{65} & C_{66} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Ou sous la forme considérée :

$$s = CE \quad (2.4)$$

Cette loi, généralement appelée loi de Hook généralisée, introduit la matrice de rigidité  $C$  symétrique.

Les coefficients  $C_{ij}$  sont appelés les constantes de rigidité.

Le comportement élastique d'un composite stratifié est plus complexe à décrire, il dépend de l'orientation de chacun des plis qui le compose. Les structures composites stratifiées étant le plus souvent minces et donc assimilables à des plaques ou des coques,

#### **2.4. Les mécanismes d'endommagement des composites stratifiés.**

Dans les matériaux composites, qui sont nettement plus résistants aux sollicitations cycliques que les métaux, la rupture est très souvent précédée par des endommagements de types divers, liés à la constitution du matériau. Par exemple, pour les composites stratifiés, l'endommagement se manifeste par les phénomènes suivants, par ordre chronologique :

- Apparition de microfissures dans la matrice (craquement);
- Ruptures localisées de la liaison fibre- matrice;
- Micro flambage des renforts avec apparition et progression de délaminages;
- Rupture des fibres parallèles à la direction de la charge;
- Rupture de la structure.

Il est important de souligner que l'endommagement n'est pas seulement caractéristique des constituants mais avant tout de la stratification.

L'endommagement du matériau composite se manifeste par la diminution de la rigidité qui est mesurable et peut être corrélée à la diminution de la contrainte admissible.

Donc, contrairement aux matériaux homogènes, les composites peuvent en général supporter encore une charge après un premier endommagement.

L'objectif de cette partie est de présenter les différents types d'endommagement pouvant se développer dans une structure composite stratifiée. Comme pour la plupart des matériaux, l'endommagement dans les matériaux composites est dû aux hétérogénéités qui engendrent des concentrations de contrainte. C'est le cas à l'interface entre fibre et matrice où on peut voir apparaître des décohésions.

L'anisotropie provoque également des concentrations de contrainte, notamment à l'interface entre deux plis d'orientations différentes, provoquant des délaminages.

Pour comprendre les mécanismes d'endommagement, décrivons de manière chronologique l'évolution typique de l'état d'endommagement d'une structure composite stratifiée. Et pour mettre en évidence l'influence de la microstructure, c'est à dire de



l'agencement entre fibres et matrice, présentons ce scénario pour des plis unidirectionnels et des plis tissés.

#### **2.4.1. Cas des plis unidirectionnels**

Il est difficile de définir un scénario type qui mènerait à la ruine des structures composites stratifiées tant les mécanismes d'endommagement sont nombreux et complexes [13]. Cependant nous pouvons décrire l'ordre d'apparition des différents endommagements.

Dans un premier temps et pour des niveaux de chargement faible on voit apparaître des décohésions entre les fibres et la matrice (Figure 2.3.a). Cet endommagement microscopique, à l'échelle de la fibre, est réparti de manière homogène et il évolue progressivement ; nous l'appelons endommagement diffus.

La deuxième étape est marquée par l'apparition de ruptures transverses, c'est à dire de fissure traversant la totalité d'un pli et se propageant le long des fibres (Figure 2.3.b). Suivait la configuration de la structure : orientations des plis, zones de concentration de contrainte, on peut voir apparaître des délaminages sur les bords de la structure (Figure 2.3.c).

Dans la dernière étape les fissures transverses et les délaminages se propagent, des fibres cassent (Figure 2.3.d). Alors, une rupture complète de stratifié apparaît et conduit rapidement à la ruine de la structure. La photo présentée sur la Figure 2.4 illustre les décohésions fibre matrice. Les photos présentées sur la Figure 2.5 illustrent les différents endommagements macroscopiques

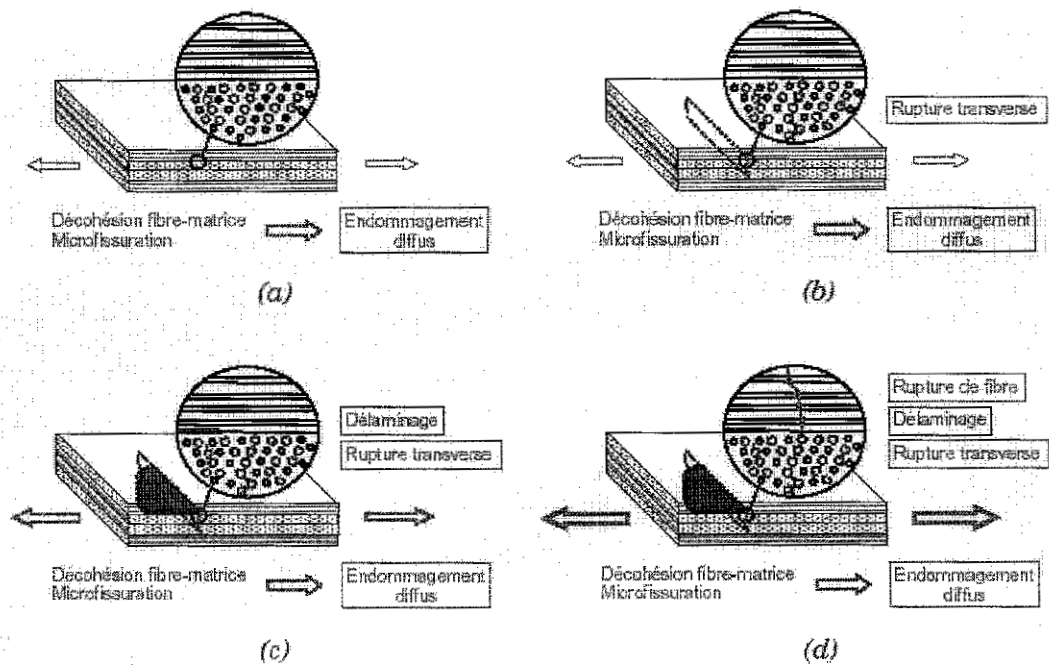


Figure 2.3. Évolution des endommagements.

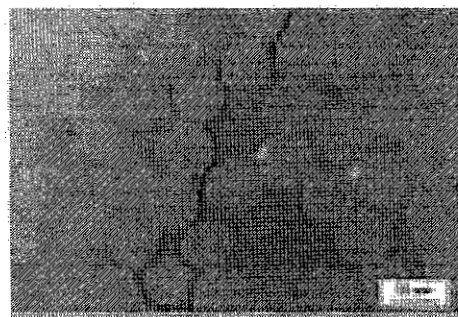


Figure 2.4. Illustration de la décohésion fibre matrice.

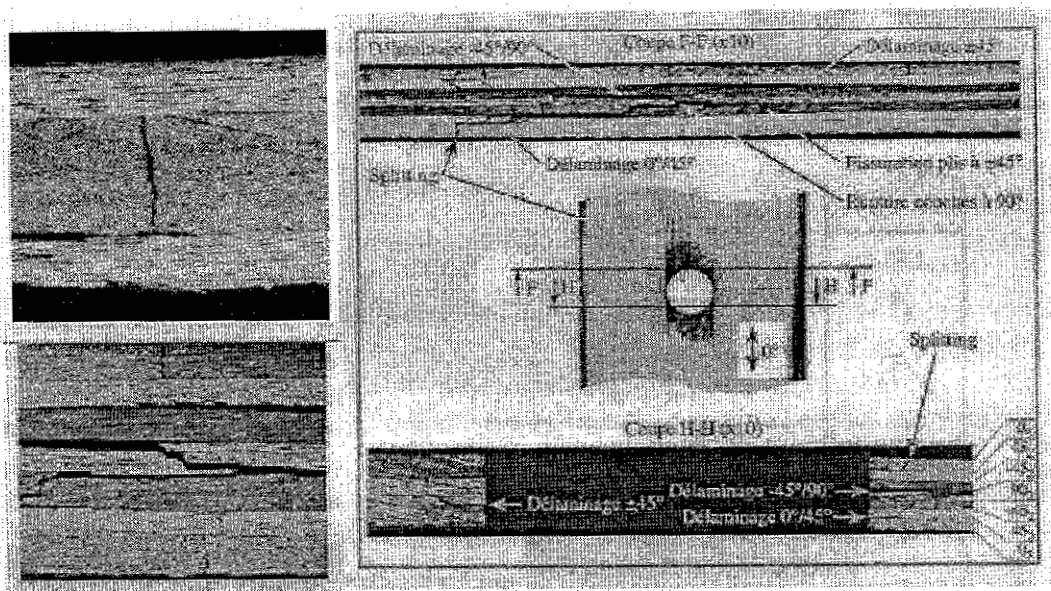


Figure 2.5. Illustration des différents endommagements macroscopiques pour une plaque trouée [4].

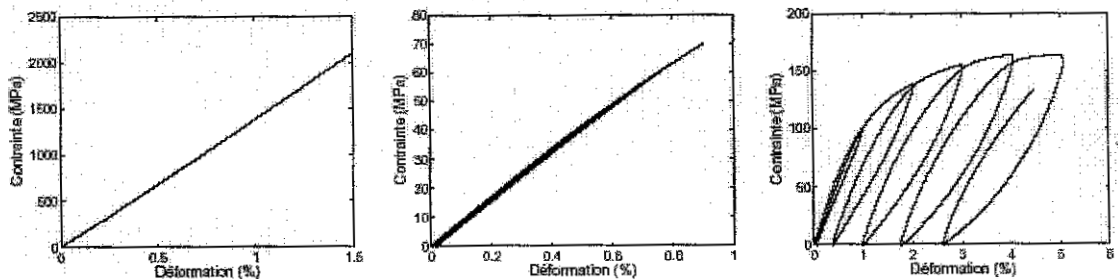


Figure 2.6. Comportement d'un pli unidirectionnel. (a) direction longitudinale, (b) direction transverse, et (c) direction à 45° (cisaillement).

### 2.4.2. Cas des plis tissés équilibrés

La Figure 2.7 présente un essai de traction dans les deux directions caractérisant le comportement d'un pli tissé équilibré. On observe un comportement élastique fragile dans la direction des fibres (à 0° et 90°) et élastique endommageable avec déformation résiduelle en cisaillement (à 45°). L'endommagement diffus affecte donc uniquement le comportement en cisaillement.

Le lissage propre à ce type de pli présente deux avantages. D'abord, comme le montre la Figure 2.8, il bloque l'apparition et la progression des fissures, il n'y a donc pas de rupture transverse [14]. De plus, il augmente la résistance au délaminage.

Toutefois des imperfections sur la réalisation des stratifiés, par l'introduction des micro-ondulations au niveau du croisement des fibres tissés, pourraient présenter un inconvénient consistant en la diminution de la résistance de la fibre ondulée et ainsi favoriser les propagations des dommages.

En fait, un modèle 2D en contraintes planes, qui intègre le comportement endommageable à l'échelle du pli, permet de décrire la rupture de tout stratifié.

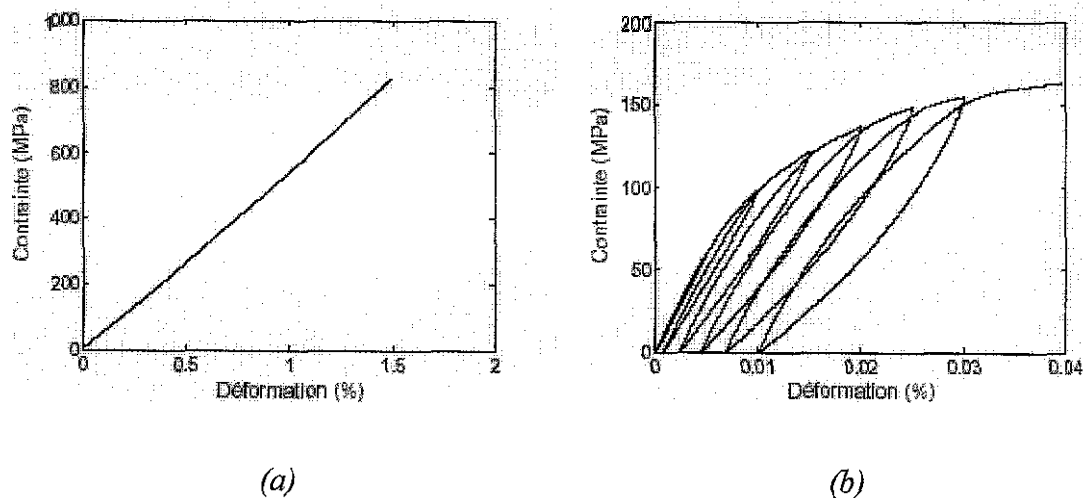


Figure 2.7. Comportement d'un pli tissé équilibré.

(a) directions longitudinale et transverse, (b) direction à 45° (cisaillement)

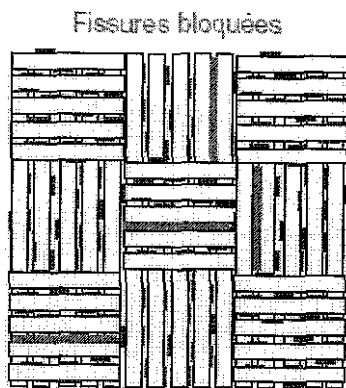


Figure 2.8. Blocage des fissures par le tissage.



**Chapitre 3**  
Fibres naturelles pour  
matériaux composites  
stratifiés

### 3.1 Introduction :

Un matériau composite se définit comme un arrangement de fibres, continu ou non d'un matériau résistant (le renfort), noyé dans une matrice dont la résistance mécanique est beaucoup plus faible. La matrice (le liant) conserve la disposition géométrique du renfort et lui transmet les sollicitations auxquelles est soumise la pièce. Elle peut appartenir à la famille des polymères, des métaux ou des céramiques.

Sous le terme « fibres naturelles » se trouvent des fibres organiques, d'origine végétale (cellulosique) et animale (protéinique), et des fibres minérales telles que l'amiante.

Dans ce chapitre ne sont abordées que les fibres végétales parmi les fibres naturelles.

Les fibres végétales sont couramment utilisées car ce sont les fibres les plus disponibles. Leur structure complexe est assimilable à celle de matériaux composites renforcés par des fibrilles de cellulose disposées en hélice. (Les paramètres les plus importants sont le pourcentage de cellulose (renfort) et l'angle micro fibrillaire (orientation du renfort)).

### 3.2 Intérêt de l'utilisation des fibres naturelles :

D'une manière générale, l'utilisation des fibres naturelles comme renfort de matériaux composites se justifie pour:

- valoriser une ressource locale dans des pays peu industrialisés, les composites à fibres naturelles ouvrant de nouveaux débouchés aux produits agricoles ;
- développer des matériaux et des technologies prenant en compte les impacts sur l'environnement. Les fibres naturelles sont des matériaux de qualité qui se fabriquent et se recyclent naturellement sur terre depuis des millions d'années (matériaux biodégradables et renouvelables par culture). Dans cet esprit, on envisage de remplacer les fibres de verre par des fibres naturelles, pour faire des économies, et parce que les matières premières renouvelables présentent des avantages écologiques.

Les principaux avantages des fibres naturelles (Tableau 3 -1) sont leur coût, leur légèreté, leur disponibilité et leurs propriétés mécaniques spécifiques élevées. Grâce à un compromis idéal rigidité/résistance/légèreté, les composites renforcés par des fibres végétales concurrencent efficacement les matériaux traditionnels contenant des charges ou fibres minérales.

**Tableau 3 –1** : Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts de matériaux composites.

AVANTAGES	INCONVENIENTS
Faible coût	Absorption d'eau
Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité)	Faible stabilité dimensionnelle
Biodégradabilité	Biodégradabilité
Non abrasif pour les outillages	Faible tenue thermique (200 à 30°C max)
Neutre pour l'émission de CO2	Fibres anisotropes
Demande peu d'énergie pour être produite	Variation de qualité en fonction du lieu de croissance. de la météo...
Pas de résidus après incinération	Pour des applications industrielles, demande la gestion d'un stock
Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres	Renfort discontinu
Bonne isolation thermique et acoustique	
Ressource renouvelable	

Ces matériaux font notamment une percée importante dans le domaine de l'automobile en raison de leur légèreté.

Les fibres naturelles peuvent apporter un gain de poids de 40 % par rapport aux fibres de verre, ce qui représente 10 à 20 % de poids en moins dans un compound. De plus, les fibres naturelles sont issues de ressources renouvelables et elles représentent un atout dans les démarches de conception des constructeurs.

Actuellement, plusieurs types de fibres sont utilisés : le verre, le carbone, le kevlar, aussi le lin, le chanvre, le sisal, le kénaf, le bois ou les charges céréalières.

### 3.3 Classification des différentes fibres naturelles :

On peut subdiviser les fibres naturelles en trois grands groupes selon leur origine (figure 1). [15]

**3.3.1 les fibres végétales** qui comprennent les fibres provenant des poils séminaux, de graines (coton, kapok) ; les fibres libériennes extraites de tiges de plantes (lin, chanvre, jute, ramie) ; les fibres dures extraites de feuilles (sisal), de troncs (chanvre de Manille), d'enveloppes de fruits (noix de coco)

**3.3.2 Les fibres animales** qui proviennent des poils, telle que la toison animale, et des sécrétions telle que la soie ;

#### 3.3.3 Les fibres minérales

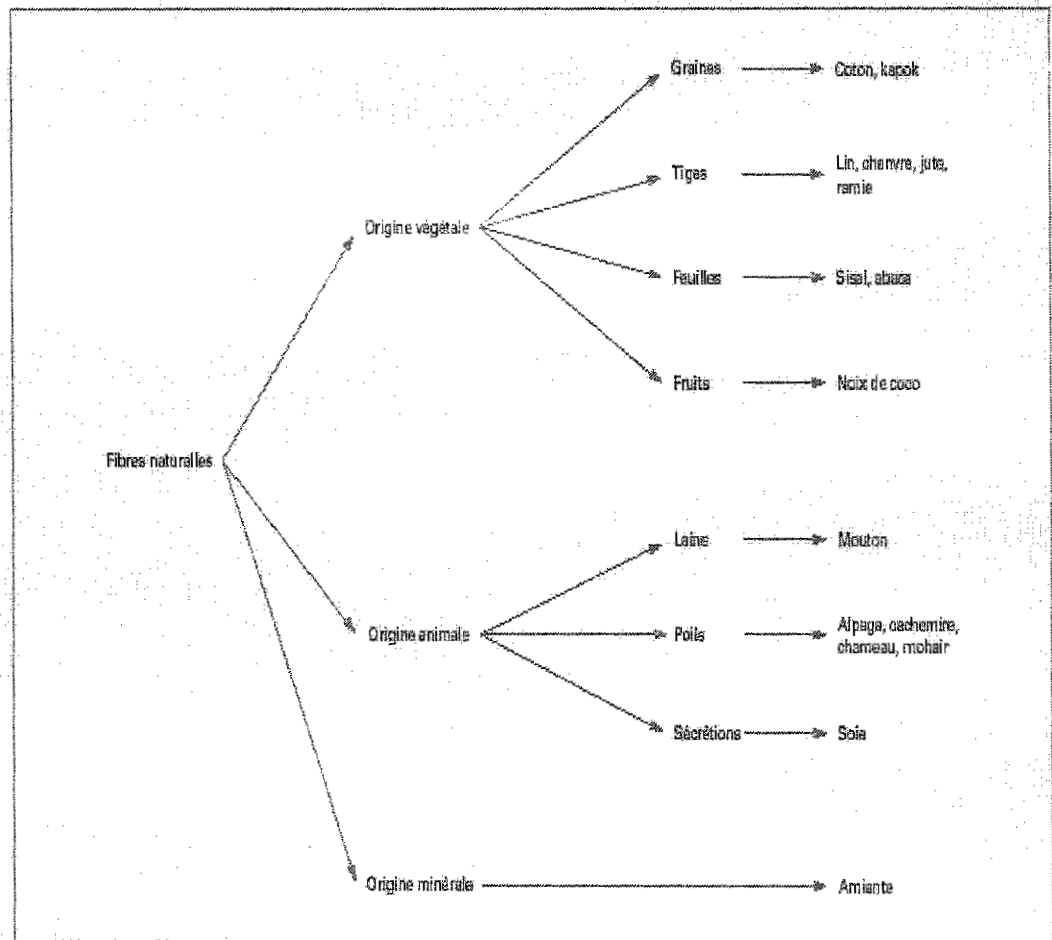


Figure 3 -1 Classification des fibres naturelles en fonction de leur origine



### 3.4 Comparaison des propriétés mécaniques en traction de diverses fibres

Le tableau 1 présente les caractéristiques mécaniques en traction de différentes fibres d'origine naturelle [16], [17] ainsi que celles des fibres de renfort couramment utilisées pour le renforcement de matériaux composites courants [33], [34].

*Tableau 3.2 — Propriétés mécaniques moyennes en traction de différentes fibres naturelles comparées aux fibres de renfort habituellement utilisées dans l'industrie des matériaux composites [18]*

Fibre	E (GPa)	A (%)	$\sigma_u$ (MPa)	Densité
<b>Fibres synthétiques</b>				
Verre E				
Filament vierge	72-73	4,6- 4,8	3200 – 3400	2,54
Filament industriel	72-73	3	200_2400	2,54
Carbone Toray				
T300 Thorneel P-	230	1,5	3530	1,7 – 1,9
120S	825	0,3	2350	1,87 – 2
Aramide Kevlar 49	124	2,9	3620	1,44
<b>Fibres végétales</b>				
Lin	12 – 85	1- 4	600 – 2000	1,54
Lin: moyenne	58 ± 15	3,27 ± 0,84	1339 ± 486	
Mini – maxi	27- 91	1,6 – 5,9	531 – 3282	1,53
Ramie	61,4 – 128 27 65 ± 18	1,8 – 3,8 3,2	400 – 938 755 800 – 1000	1,56
Chanvre	35	1,6	389	1,07
<b>Jute</b>	<b>26,5</b>	<b>1,5 – 1,8</b>	<b>393 – 773</b>	<b>1,44</b>
Sisal	9 – 21	3 – 7	350 – 700	1,45
Noix de coco	4 – 6	15- 40	131 – 175	1,15
Coton	5,5 – 12,6	7 – 8	287 – 597	1,5 – 1,6
<b>Fibres animaux</b>				
Vers à soie				
Atakus atlas	5	18	200	
Ver à soie				
<b>Bombyx mori</b>	16	15	650	
Araignée				
Argiope trifasciata	7	30	600	
<i>E : module de Young en traction ; A : Allongement à rupture en traction ; <math>\sigma_u</math> : Contrainte à rupture en traction</i>				

### 3.3 Fibre d'origines végétales

#### 3.5.1 Présentation de différentes fibres végétales

##### 3.5.1. a Lin

Le lin appartient à la famille des linacées. C'est une plante annuelle dont la tige atteinte de 0,60 à 1,20 m de hauteur pour un diamètre de 1 à 3 mm [35], [36].

Le lin textile est une culture septentrionale. En Europe, on le trouve en Russie, en Pologne, en Belgique et en France (principalement en Normandie). Le lin est soit coupé, soit arraché. On récupère la matière textile qui se trouve être la tige de la plante, sous forme de faisceaux qui constituent la fibre technique. Cela requiert trois opérations : le rouissage, le teillage et le peignage. La cellule élémentaire (ou « fibre ultime ») de lin apparaît comme un cylindre imparfait polygonal, généralement à six côtés, comportant éventuellement un lumen (cavité centrale d'une fibre végétale).

##### 3.5.1.b Ramie

La ramie (*bochneria nivea*) est un arbuscule de la famille des urticacées (en anglais China grass). Elle se présente sous la forme d'une touffe formée de tiges d'environ 1,5 à 3 m de hauteur avec de grandes feuilles. L'extraction de la fibre nécessite un décorticage et un dégomunage très poussés [43], [44]. La cellule élémentaire, ressemblant davantage à celle du coton qu'à celle du lin, peut atteindre 17cm de longueur ; elle présente une concentration en cellulose importante, une haute cristallinité et un degré de polymérisation élevé. Sa blancheur et son aspect soyeux la destinent à l'habillement [37], [38].

##### 3.5.1. c Chanvre

Le chanvre (*canabis sativa*) est une plante annuelle dont la hauteur varie de 1 à 3m. cultivée dans les pays à climat tempéré, on en trouve dans l'est de l'Europe en France et en Italie. Le processus d'obtention de la fibre du chanvre est identique à celui du lin. La fibre ultime est moins régulière, plus aplatie et légèrement plus lignifiée que celle du lin [41].

##### 3.5.1. d Sisal

Ses fibres sont extraites des feuilles de la plante sisal (*agave sisalana*). Originaires de Yucatan, elles sont produites en Amérique du sud, en Afrique, aux Antilles et en Extrême Orient [42]. Les fibres mécaniques sont surtout extraites de la périphérie de la feuille. Un plant de sisal produit environ 200 à 250 feuilles et chaque feuille contient 1000 à 1200 paquets de fibres. Les méthodes de traitement pour l'extraction des fibres de sisal sont le

rouissage et le teillage. Les fibres sont ensuite lavées à grande eau pour enlever les déchets en surplus [19].

### **3.5.1. e Coir de la noix de coco.**

Le cocotier (*Cocos nucifera*) est un palmier poussant dans les pays tropicaux. Les fibres sont prélevées dans le coir (mésocarpe fibre) de la noix de coco et sont utilisées en corderie et en sparterie (objet tisse, vanné ou tressé).

### **3.5.1.f Kenaf (ou Hibiscus hema).**

Il provient d'une plante, appelée aussi **Dah**, cultivée aux Indes, en Afrique et dans l'île de Java. D'une couleur blanche dorée, la fibre de kenaf a des qualités comparables à celles du jute.

### **3.5.1.g Jute.**

Le jute est une plante des régions tropicales (genre *Corchorus*) appartenant à la famille liliacées. La tige atteint une hauteur de 4 à 6m avec un diamètre d'environ 3 cm. Le jute pousse essentiellement au Bangladesh qui détient un quasi-monopole de son commerce. Il en existe deux variétés (une blanche et une rouge), ce qui exige un triage préalable avant l'utilisation. La fibre ultime est très courte et très lignifiée. L'extraction de la fibre technique est obtenue par rouissage et décorticage. Après le rouissage, on détache la fibre, on nettoie la filasse et on rince à l'eau [39], [40].

## **3.5.2 Structure d'une fibre végétale**

En première approche, une fibre végétale est assimilable à un matériau composite renforcé par des fibrilles de cellulose (fig. 2) [20]. La matrice est principalement composée d'hémicellulose et de lignine.

Les fibrilles de cellulose sont orientées en hélice suivant un angle nommé angle microfibrillaire. Habituellement, dans un matériau composite, le taux de renfort et l'orientation des fibres conditionnent les caractéristiques élastiques et à rupture [28]. De même, dans une fibre végétale, les propriétés physiques des fibres naturelles sont principalement déterminées selon la composition chimique et physique, la structure, le pourcentage de cellulose, l'angle microfibrillaire, la section et le degré de polymérisation [26].

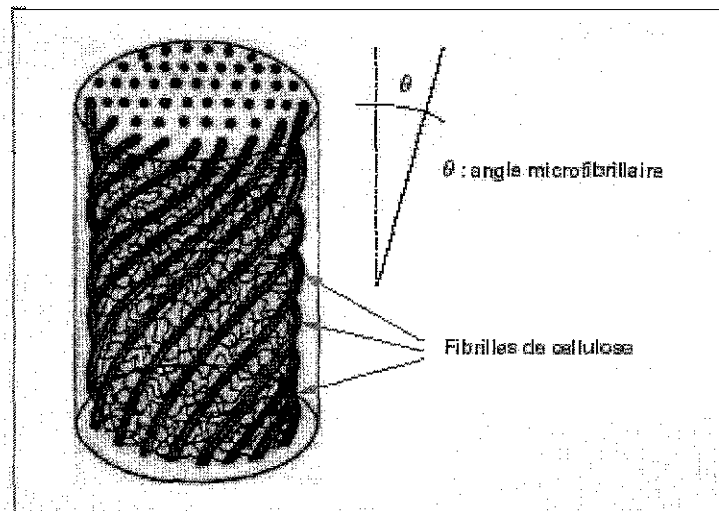


Figure. 3.2 – Schéma de principe de la structure d'une fibre végétale.

En simplifiant, pour un pourcentage de cellulose donné, plus l'angle micro fibrillaire sera faible et plus la rigidité et la résistance de la fibre seront élevées [21] ; plus l'angle micro fibrillaire sera important et plus l'allongement à rupture sera important.

Le tableau 2 présente, pour différentes fibres végétales, le pourcentage de cellulose, l'angle micro fibrillaire, les dimensions des fibres et le rapport d'aspect  $L/d$  (longueur/diamètre) [31], [18].

Tableau 3. 3 – Composition et propriétés de différentes fibres végétales [45].

Nature des fibres	% de la cellulose	Angle micro fibrillaire (degrés)	Diamètre ( $\mu\text{m}$ )	Longueur (mm)	Rapport $l/d$
Lin	64 – 71	10	5 – 76	4 – 77	1687
Ramie	83	7,5	1,6 – 126	40 – 250	3500
Chanvre	78	6,2	10 – 51	5 – 55	960
Jute	61 – 71	8	25 – 200	–	110
Sisal	67 – 78	20	7 – 47	0,8 – 8	100
Noix de coco	43	45	12 – 24	0,3 – 1	35

### 3.5.3 Données économiques sur quelque fibres végétal comparée avec des fibres de verre :

Les informations de prix données (tableau 3) sont indicatives [22]. En effet, le prix des fibres est fonction de la présentation, de la qualité, des quantités et des traitements de surface. Par ailleurs, il est difficile de comparer des prix au kilo de fibres dont la masse volumique et les propriétés mécaniques sont différentes [23].

*Tableau 3.4 : information de prix au kilo pour différentes fibres végétales.*

Nature des fibres	Prix au kilo en comparaison avec des fibres de verre exprime en %	Densité	Production mondiale en 2002 en milliers de tonnes /an
Verre E	100 (1,5 euro/kg)	2,45	2200
Carbone	2000	1,85	17
Lin	130	1,53	750
<b>Jute</b>	<b>18</b>	<b>1,46</b>	<b>3200</b>
Sisal	21	1,33	345
Coir	17	1,25	636
Chanvre	93	1,48	78
Ramie	–	–	202

La fibre utilisée pour notre travail est la fibre de jute, pour ce la on donne une aperçu sur cette dernière.

### 3.5.4 Choix du renfort naturel (le Jute)

L'utilisation de fibres naturelles comme renfort de matériaux composite se justifie en partie : pour développer des matériaux et des technologies prenant en compte les impacts sur l'environnement. Le choix des fibres, de la matrice et le type de procédé de fabrication peut influencer fortement les propriétés mécaniques du matériau élaboré [24].

Dans notre étude, nous allons nous intéresser à une fibre naturelle d'origine végétale présentant l'avantage d'être biodégradable du point de vue environnement que l'on utilisera comme renfort pour l'élaboration d'un matériau composite.

En effet, cette matière étant tissée artisanalement, et en l'absence d'essais normalisés notre étude portera à priori sur le comportement mécanique en traction du jute tissé.

L'expérience montre que l'utilisation de matériaux traditionnels homogènes reste limitée dans un domaine d'application restreint et dont il doit s'adapter aux caractéristiques intrinsèques de ces matériaux.

De nouvelles perspectives sont apparues avec l'apport des matériaux composites dans ce domaine, de plus, nous pouvons adapter le matériau aux exigences des contraintes mécaniques qui se présentent en faisant, bien entendu, un choix judicieux de renforts et de matrice.

#### 3.5.4.1 Description de jute:

Jute nom masculin (mot anglais, du bengali jhuto).

Fibre textile extraite des tiges d'une plante de la famille des tiliacées.  
*D'après Larousse.*

**Botanique :** Jute est le nom commun des plantes du genre *Corchorus*, plantes tropicales annuelles de la famille des Tiliacée.

Plusieurs espèces du genre peuvent être exploitées pour produire de la fibre de jute, mais les deux espèces principalement cultivées à cet effet sont *Corchorus capsularis* et *Corchorus olitorius*.

La plante, de type herbacée mesure 3 à 4 mètres de haut avec une tige de la grosseur d'un doigt humain. Les feuilles mesurent de 10 à 15 cm de long et 5 cm de large. Les fleurs sont de petites tailles et de couleur jaune.

Le jute pousse dans un climat chaud et humide, sur un sol de type alluvial ou argilo sableux. Il nécessite des précipitations moyennes de 75 à 100 mm pendant la phase de croissance. Les régions historiquement les plus prospères sont les vallées du Gange et du Brahmapoutre, mais le jute peut pousser dans tout autre milieu satisfaisant à ces conditions.

#### 3.5.4.2 Technologie

La culture et la récolte de la fibre de jute sont un long processus qui requiert une main d'oeuvre abondante. La préparation du sol peut nécessiter jusqu'à cinq ou six labours. La coupe et l'extraction des fibres se fait entièrement à la main. Le schéma ci-dessous reprend les différentes étapes de la production de la fibre de jute et des produits du jute.

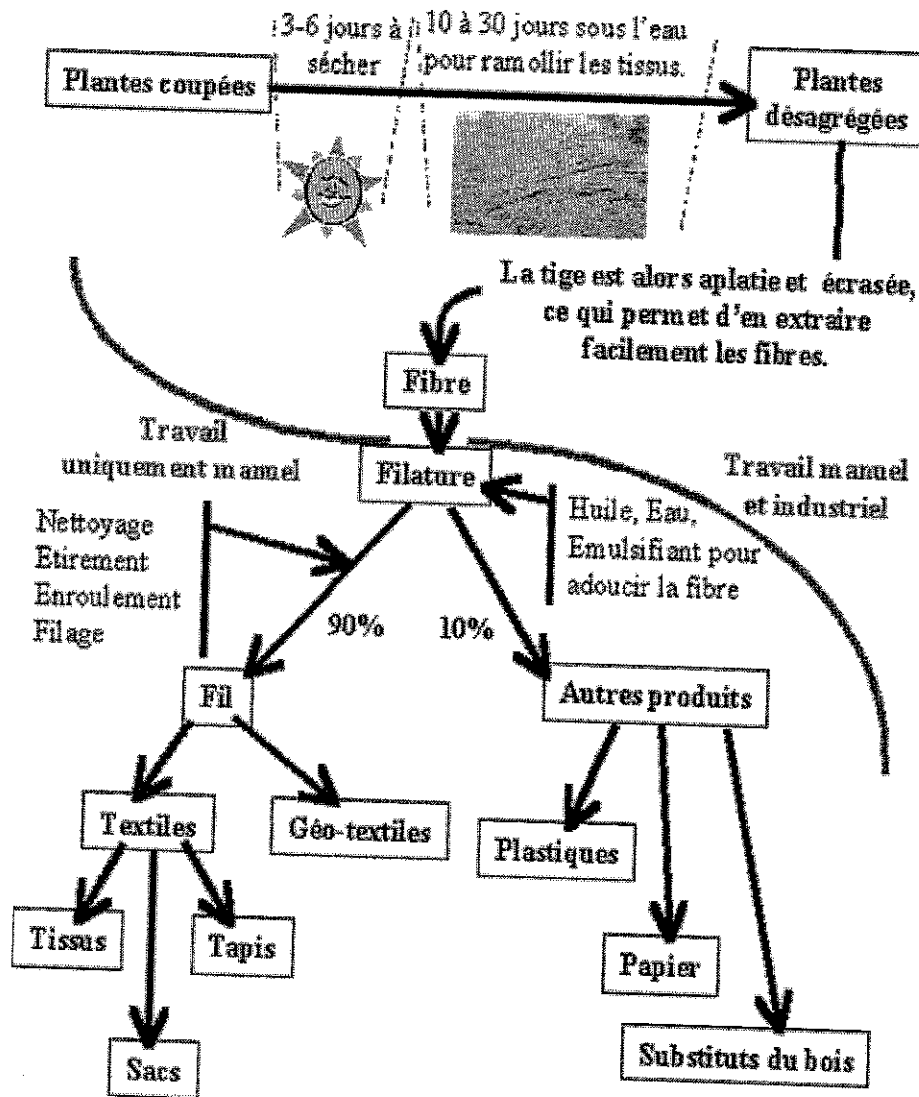


Figure 3.3. : les différentes étapes de la production de la fibre et les produits du jute.

Les principales exportations et importations de produits de jute, moyennes de 1993 à 2002 en milliers de tonnes sont présentées par la figure suivante.

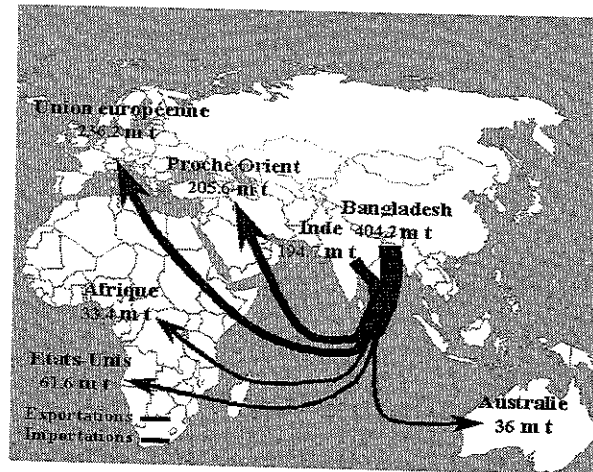


Figure 3.4 - Les principales exportations et importations de produits de jute [25]

Les avantages que présentent les fibres végétales utilisées comme renforts pour se substituer aux matériaux classiques sont énormes d'où leur application dans différents domaines (aéronautique, spatial, automobile, naval, bâtiment), nous pouvons citer leur faible coût, leurs propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité), biodégradables, non abrasifs pour les outillages, neutre pour l'émission de CO<sub>2</sub>, demande peu d'énergie pour être produite, c'est pour ces raisons qu'on s'est intéressé au jute comme substitut pour pouvoir l'utiliser comme renfort dans les composites stratifiés.



**Chapitre 4**  
**Caractérisation du**  
**renfort naturel (jute)**

### 4.1. Etude du comportement mécanique du renfort.

Avant l'élaboration des stratifiés nous avons procédé à la caractérisation des fibres de renfort utilisé qui est le jute. Cette caractérisation consiste à des essais de traction réalisés dans le laboratoire LMMC ainsi que la mesure des poids et des densités en chaîne et en trame effectuées au niveau du laboratoire textiles de (CNTC) de Boumerdes (voir annexe A). Les résultats sont données dans le tableau suivant :

Tableau 4-1 : Propriétés physiques de jute.

Echantillons	Poids au m <sup>2</sup> (g/m <sup>2</sup> )	Densité en chaîne (fil/10cm)	Densité en trame (fil/10cm)
A	517	40	80
B	421	50	40
C	418	60	60
D	457	60	60

Où :

A : jute à grosse maille utilisée.

B : jute à grosse maille non utilisée.

C : jute à maille fine non utilisée.

D : jute à maille fine utilisée.

Dans ce qui suit nous allons décrire la procédure expérimentale pour la réalisation des éprouvettes de jute destinées aux essais de traction.

### 4.2. Essais de traction

L'essai de traction permet, à lui seul, de définir les caractéristiques mécaniques courantes des matériaux. Les résultats issus de cet essai, permettent de prévoir le comportement d'une pièce sollicitée en Traction, Cisaillement / Flexion et Compression.  
[27]

#### 4.4.2. Dispositif d'essai

L'essai de traction a été effectué sur une machine universelle de type Zwick 250 KN de capacité, équipée par logiciel Test-Xpert permettant d'obtenir le graphe (F-  $\epsilon$ ) automatiquement (fig.4.2).

Les échantillons à tester sont maintenus entre deux mâchoires. La mâchoire supérieure est liée à la traverse supérieure mobile et l'autre mâchoire est liée à la traverse inférieure fixe (fig.4.3). La vitesse de déplacement de la traverse est injectée directement au programme d'essai, elle est choisie selon la norme NF T 57-105. dans notre cas elle est constante et égale à 2 mm/min.

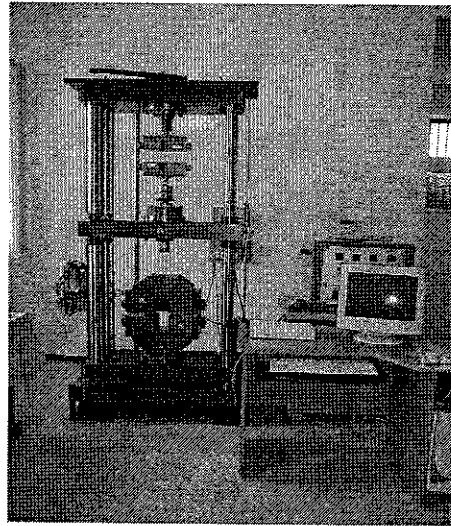


Figure 4.2 – Machine universelle de traction *ZWICK 250/SN5A*

La contrainte à la rupture en traction est donnée par la formule (1) suivante :

$$\sigma_{\text{rup}} = F/S . \quad (1)$$

F et S sont respectivement la force appliquée à l'éprouvette au moment de la rupture et la section de l'éprouvette.

Le module d'élasticité est déterminé à partir de la loi de Hooke, cette dernière est exprimée par la relation (2) suivante :

$$\sigma_{\text{rup}} = E. \epsilon \quad (2)$$

Ou:  $\varepsilon$  : la déformation,

$$\varepsilon = \Delta l / l_0$$

$\Delta l$  : le déplacement,

$l_0$  : la longueur initiale.

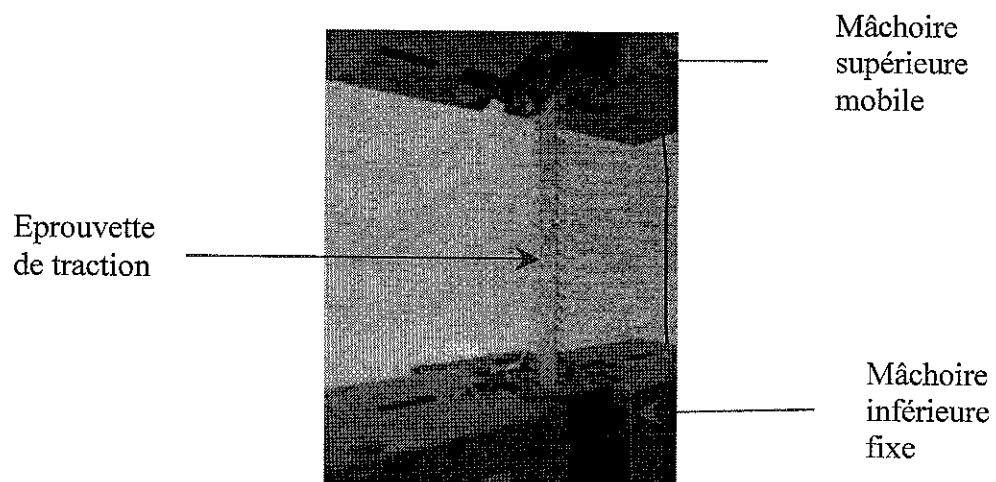


Figure 4.3 : Position de l'éprouvette entre les deux mâchoires.

Nous présentons ci-dessous des échantillons de jute unifilaires et tissés pour considérer la diversité de ce renfort naturel et ainsi mettre en relief la fluctuation de son comportement mécanique en fonction de ses caractéristiques physiques.

Le jute unifilaire se présente sous deux formes distinctes à savoir filé ou tressé (a), quant à sa forme tissée, peut être soit à mailles serrées (b) ou à grosses mailles (c).

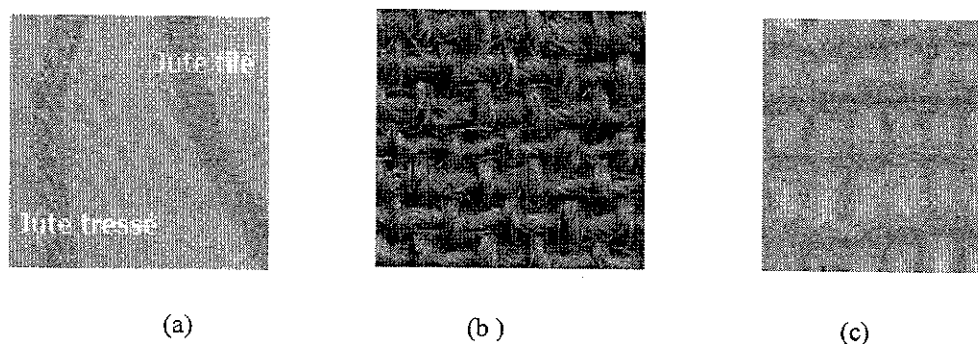


Figure 4.4 : (a) jute filé, tressé, (b) mailles serrées, (c) grosses mailles.

La matière du jute étant naturelle, sensible à l'humidité, tissée artisanalement, nous considérons les essais de traction des séries d'éprouvettes à sec, humide à l'eau, ensimée à l'huile de lin.

Le dimensionnement des échantillons répond à la norme AFNOR NF T 57-105 équivalente à la norme ASTM D 790-84 a, ces normes prévoient une longueur totale de l'éprouvette de 20 fois l'épaisseur  $h$  ( $h = 3$  mm), une largeur  $b$  de 15 mm.

#### 4.4.3. Résultats des essais de traction:

Nous considérons les types de jute tissé les plus répandus à l'état neuf et utilisé, ensimés et non ensimés. Les échantillons de jute grosses mailles seront désignés de JT1 à JT 8. Tandis que les JT9 à JT16 désignent les échantillons de jute à mailles fines.

Les tableaux 4.3 et 4.10, ci-après, présentent respectivement les échantillons à grosses mailles et à mailles fines objet des essais de traction.

Chaque échantillon subi cinq essais de traction, pour le quel une feuille de relevés est établi, indiquant un tableau des valeurs trouvées, des courbes de traction fournies par le dispositif d'essai (machine- logiciel), ainsi qu'un bref commentaire sur la lecture des données établies.

Remarque : les échantillons qui sont soumis sous l'eau ont subit un pourrissement.

Tableau 4.3 : Jute tissé à grosse maille

<b>GROSSES MAILLES</b>	UTILISE	0°	Non ensimé	JT 1
			Ensimé	JT 2
		90°	Non ensimé	JT 3
			Ensimé	JT 4
	Neuf	0°	Non ensimé	JT 5
			Ensimé	JT 6
		90°	Non ensimé	JT 7
			Ensimé	JT 8

### Essai de traction Jute 1 (JT 1) :

Dans ce premier cas, nous considérons une série de cinq essais de traction sur la machine universelle Zwick 250 KN équipée d'un capteur de 2.5 KN (fig.4.2). Ces essais sont effectués sur un jute utilisé, non ensimé et suivant la direction zéro degré. (Fig. 4.5).

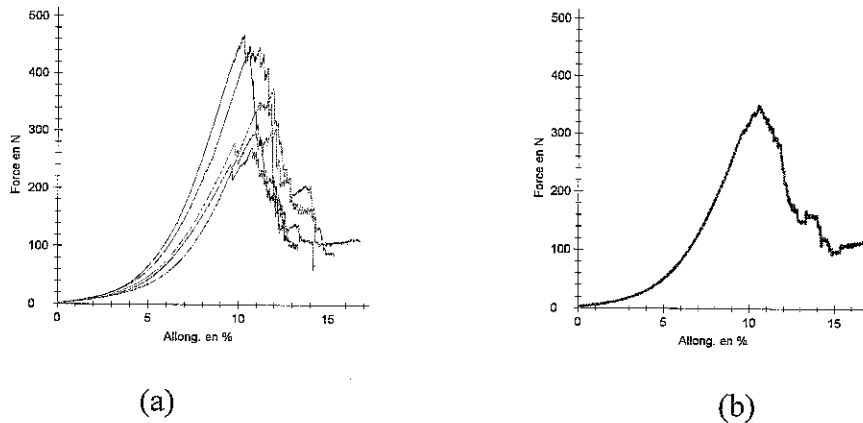


Fig. 4.5: Essais de traction du jute utilisé non ensimé grosse maille à 0° (a)

Tableau 4.4 : Jute utilisé non ensimé grosse maille à 0° (a)

	a0	b0	L0	F <sub>max</sub>	F <sub>Rupt.</sub>	ε <sub>Rupt.</sub>	ε-F <sub>max</sub>	E
Nr	mm	mm	mm	N	N	%	%	N/mm <sup>2</sup>
1	1	15	101,37	448,28	94,49	13,32	10,64	2,8
2	1	15	101,92	377,48	85,11	15,33	11,94	2,1
3	1	15	101,94	468,67	146,88	12,59	10,28	3,0
4	1	15	101,17	304,49	110,19	16,75	12,08	1,7
5	1	15	101,80	270,00	70,861	14,27	10,73	1,6
<b>Moy</b>				<b>373.78</b>	<b>101.51</b>	<b>14.45</b>	<b>11.13</b>	<b>2,2</b>

Les courbes obtenues montrent une variation importante de la force F allant de 270 à 468 Newtons et une faible variation dans l'allongement, avec une variation de module d'élasticité E de 1,6 à 2,8 N/mm. Ceci est dû à la variation du diamètre de fils de jute tissé. Nous avons présenté dans la figure (4.5.b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

### Essai de traction Jute JT 2 :

Dans le deuxième cas, nous considérons toujours une série de cinq essais de traction sur la même machine (fig. 4.2), les essais sont effectués maintenant sur un jute utilisé, ensimé à l'huile de lin pendant deux jours et toujours suivant la direction zéro degré. (Fig. 4.6).

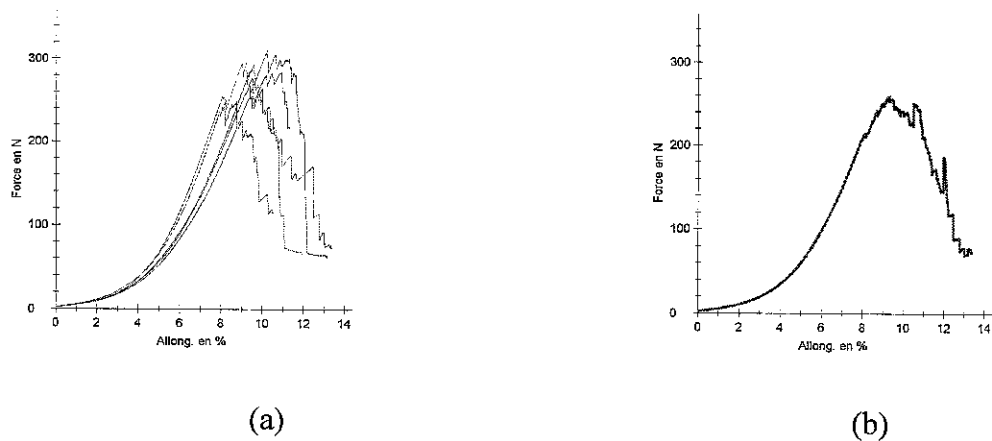


Figure 4.6 Essais de traction du jute utilisé ensimé grosse maille à 0° (a).

Tableau 4.5 : Jute utilisé ensimé grosse maille à 0° (a).

Nr	a0 Mm	b0 mm	L0 mm	F <sub>max</sub> N	F <sub>Rupt.</sub> N	ε-Rupt. %	ε-F <sub>max</sub> %	E N/mm <sup>2</sup>
1	1	15	101,47	310,95	62,13	13,14	10,24	2,0
2	1	15	101,51	254,71	115,62	10,52	8,08	2,1
3	1	15	101,66	283,91	216,08	11,29	9,37	2,0
4	1	15	101,12	296,53	65,61	11,94	9,23	2,1
5	1	15	101,14	276,85	72,30	13,42	9,51	1,9
<b>Moy</b>				<b>284.40</b>	<b>106.35</b>	<b>12.06</b>	<b>9.29</b>	<b>2,0</b>

Les courbes obtenues montrent une faible variation de la force F allant de 254 à 310 Newtons et une variation conséquente dans l'allongement avec une variation de module d'élasticité E de 1,9 à 2,1 N/mm. Nous avons présenté dans la figure (fig. 4.6.b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.



### Essai de traction Jute (JT 3) :

Dans ce troisième cas, nous considérons toujours une série de cinq essais de traction sur la même machine (fig.4.2), les essais sont effectués maintenant sur un jute à grosse maille, utilisé, non ensimé mais cette fois-ci suivant la direction 90 degrés. (fig.4.7)

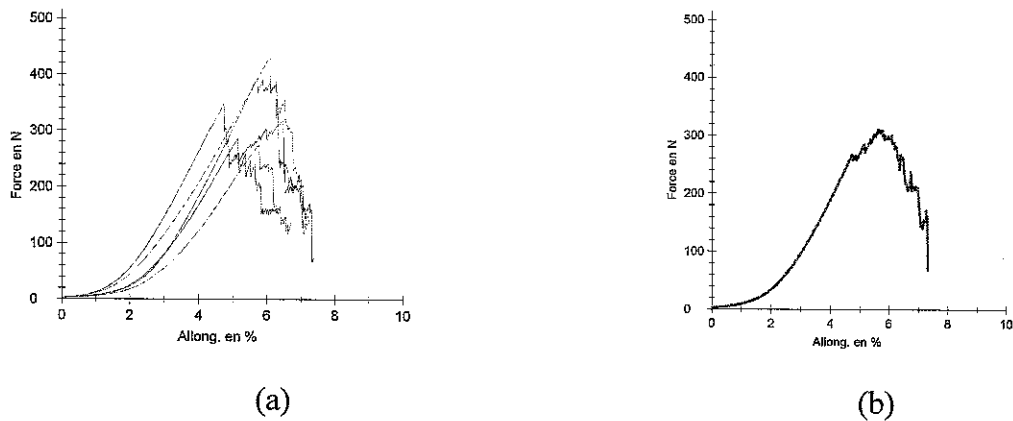


Figure 4.7 Essais de traction du jute utilisé non ensimé grosse maille à 90° (a).

Tableau 4.6 : Jute utilisé non ensimé grosse maille à 90° (a).

	a0	b0	L0	F <sub>max</sub>	F <sub>Rupt.</sub>	ε <sub>Rupt.</sub>	ε-F <sub>max</sub>	E
N°	mm	mm	mm	N	N	%	%	N/mm <sup>2</sup>
1	1	15	101,02	347,01	157,44	6,37	4,74	4,8
2	1	15	102,04	275,06	137,94	6,71	5,77	3,1
3	1	15	101,41	316,94	71,63	7,37	6,47	3,2
4	1	15	101,20	431,26	138,80	7,24	6,09	4,7
5	1	15	101,53	393,16	135,51	7,17	5,72	4,5
<b>Moy</b>				<b>352.69</b>	<b>128.26</b>	<b>6.97</b>	<b>5.76</b>	<b>4,0</b>

Les courbes obtenues montrent une variation importante de la force F allant de 275 à 431 Newtons avec une variation de module d'élasticité E de 3,1 à 4,7 N/mm, et une variation conséquente dans l'allongement. Nous avons présenté dans la figure (4.7.b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

### Essai de traction Jute (JT 4) :

Dans ce quatrième cas, nous considérons toujours une série de cinq essais de traction sur la même machine (fig.4.2), les essais sont effectués sur un jute à grosse maille, utilisé, ensimé à l'huile de lin pendant deux jours et suivant la direction 90 degrés.(fig. 4.8)

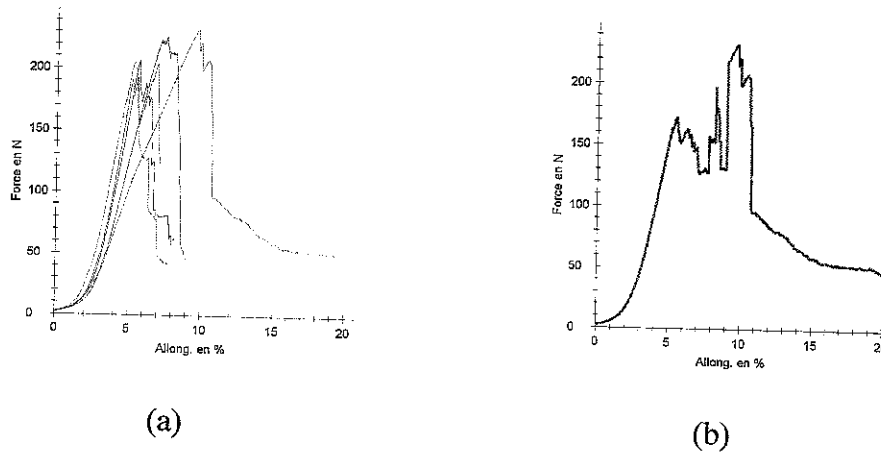


Figure 4.8 Essais de traction du jute utilisé ensimé grosse maille à 90° (b).

Tableau 4.7 : jute utilisé ensimé grosse maille à 90°.

	a0	b0	L0	F <sub>max</sub>	F <sub>Rupt.</sub>	ε-Rupt.	ε-F <sub>max</sub>	E
Nr	Mm	mm	mm	N	N	%	%	N/mm <sup>2</sup>
1	1	15	101,78	226,41	45,28	9,04	7,55	1,9
2	1	15	101,52	232,11	46,42	20,01	9,73	1,5
3	1	15	101,81	206,76	61,88	8,21	5,65	2,4
4	1	15	101,89	206,55	41,32	7,77	5,42	2,5
5	1	15	101,78	204,13	123,27	7,15	6,94	1,9
<b>Moy</b>	1	15	101,78	<b>215.19</b>	<b>63.63</b>	<b>10.44</b>	<b>7.06</b>	<b>2,0</b>

Les courbes obtenues montrent une valeur supérieure faible avec une variation de la force F allant de 204 à 232 Newtons et une variation importante dans l'allongement avec une variation de module d'élasticité E de 1,5 à 2,5 N/mm<sup>2</sup>. Nous avons présenté dans la figure (4. 8. b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

**Essai de traction Jute (JT 6) :**

Dans le sixième cas, nous considérons une série de cinq essais de traction sur la même machine (fig.4.2), les essais sont effectués sur un jute à grosse maille, neuf, ensimé à l'huile de lin pendant deux jours et suivant la direction 0 degrés. (fig.4.10).

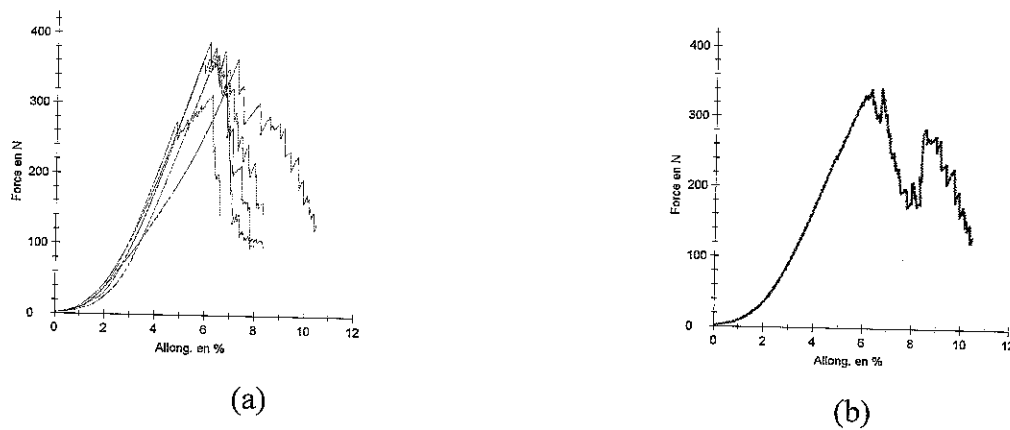


Fig4.10 Essais de traction du jute neuf ensimé grosse maille à 0° (b).

Tableau 4.9 : jute neuf ensimé grosse maille à 0°.

	a0	b0	L0	F <sub>max</sub>	F <sub>Rupt.</sub>	ε <sub>Rupt.</sub>	ε-F <sub>max</sub>	E
Nr	Mm	mm	mm	N	N	%	%	N/mm <sup>2</sup>
1	1	15	101,14	364,56	129,80	10,48	7,26	3,3
2	1	15	101,43	364,75	143,96	8,37	6,39	3,8
3	1	15	101,17	<b>388,36</b>	<b>96,89</b>	<b>8,33</b>	<b>6,13</b>	<b>4,2</b>
4	1	15	101,32	312,85	144,88	6,63	6,25	3,3
5	1	15	101,27	371,89	98,26	7,97	6,35	3,9
<b>Moy</b>				<b>366.42</b>	<b>122.75</b>	<b>8.36</b>	<b>6.48</b>	<b>3,7</b>

Les courbes obtenues montrent une variation de la force F allant de 312 à 388 Newtons et une variation importante dans l'allongement notamment de 2 à 6 %, avec une variation de module d'élasticité E de 3,3 à 4,2 N/mm<sup>2</sup>. Nous avons présenté dans la figure (4.10. b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

### Essai de traction Jute (JT7) :

Dans le septième cas, nous considérons une série de cinq essais de traction sur la même machine (fig.4.2), les essais sont effectués sur un jute à grosse maille, neuf, non ensimé et suivant la direction 90 degrés. (fig.4.11).

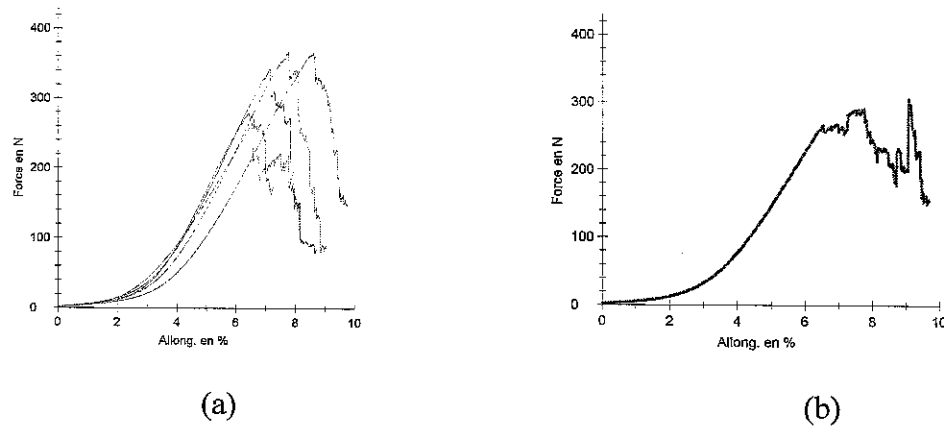


Figure 4.11 : Essais de traction du jute neuf non ensimé grosse maille à 90° (b).

Tableau 4.10 : jute neuf non ensimé grosse maille à 90°.

	a0	b0	L0	F <sub>max</sub>	F <sub>Rupt.</sub>	ε <sub>Rupt.</sub>	ε-F <sub>max</sub>	E
Nr	mm	mm	mm	N	N	%	%	N/mm <sup>2</sup>
1	1	15	102,61	365,66	148,89	9,74	8,61	2,8
2	1	15	102,88	264,61	116,24	8,14	6,53	2,7
3	1	15	101,64	343,08	83,58	8,71	7,13	3,2
4	1	15	102,55	366,44	92,69	9,07	7,75	3,1
5	1	15	102,29	279,09	174,77	7,25	6,40	2,9
<b>Moy</b>				<b>323,78</b>	<b>123,23</b>	<b>8,58</b>	<b>7,28</b>	<b>2,9</b>

Les courbes obtenues montrent une variation de la force F allant de 264 à 366 Newtons avec une variation de module d'élasticité E de 2,7 à 3,2 N/mm, et une variation importante dans l'allongement. Nous avons présenté dans la figure (4.11. b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

**Essai de traction Jute (JT8) :**

Dans le huitième cas, nous considérons une série de cinq essais de traction sur la même machine (fig.4.2), les essais sont effectués sur un jute à grosse maille, neuf, ensimé à l'huile de lin pendant deux jours et suivant la direction 90 degrés.(fig.4.12).

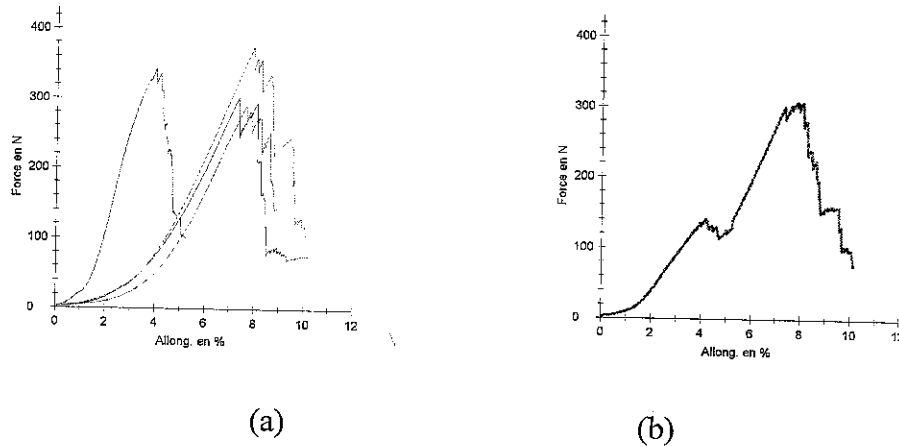


Figure 4.12 Essais de traction du jute neuf ensimé grosse maille à 0° (c).

Tableau 4.11 : jute neuf ensimé grosse maille à 0°.

	a0	b0	L0	F <sub>max</sub>	F <sub>Rupt.</sub>	ε-Rupt.	ε-F <sub>max</sub>	E
Nr	mm	mm	mm	N	N	%	%	N/mm <sup>2</sup>
1	1	15	101,65	342,25	100,15	5,28	4,00	5,7
2	1	15	102,81	290,54	141,15	8,97	7,64	2,5
3	1	15	102,25	302,30	73,01	10,20	7,36	2,7
4	1	15	101,41	<b>374,80</b>	<b>94,73</b>	<b>10,10</b>	<b>7,93</b>	<b>3,1</b>
<b>Moy</b>				<b>327.47</b>	<b>102.26</b>	<b>8.64</b>	<b>6.73</b>	<b>3,2</b>

Les courbes obtenues montrent une variation de la force F allant de 290 à 360 Newtons et une variation importante dans l'allongement notamment entre la courbe marron et les quatre autres avec une variation de module d'élasticité E de 2,5 à 5,7 N/mm<sup>2</sup>. Nous avons présenté dans la figure (4.12.b)) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

Quant aux échantillons à mailles fines et désignés par JT 9 à JT 16, ils sont représentés dans le tableau ci-dessous :

*Tableau 4.12 : Jute tissé maille fine.*

<b>MAILLES FINES</b>	UTILISE	0°	Non ensimé	JT 9
			Ensimé	JT 10
		90°	Non ensimé	JT 11
			Ensimé	JT 12
	Neuf	0°	Non ensimé	JT 13
			Ensimé	JT 14
		90°	Non ensimé	JT 15
			Ensimé	JT 16

**Essai de traction Jute (JT9) :**

Dans ce cas, nous considérons une série de cinq essais de traction sur la même machine, utilisée précédemment, les essais sont effectués sur un jute à maille fine, utilisé non ensimé suivant la direction 0 degrés.

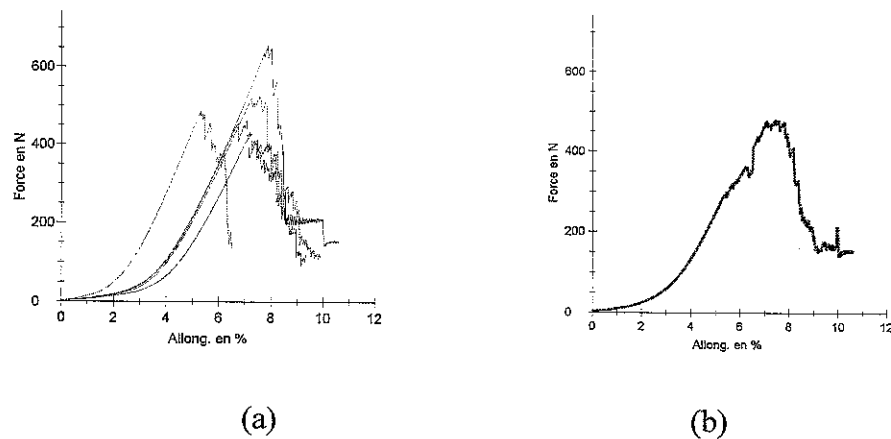


Figure 4.13 Essais de traction du jute utilisée non ensimé maille Fine à 0° (c).

Tableau 4.13 : jute utilisée non ensimé maille Fine à 0° (c).

	a0	b0	L0	F <sub>max</sub>	F <sub>Rupt.</sub>	ε <sub>Rupt.</sub>	ε-F <sub>max</sub>	E
Nr	Mm	mm	mm	N	N	%	%	N/mm <sup>2</sup>
1	1	15	101,67	654,97	151,56	10,63	7,89	5,5
2	1	15	100,63	525,75	119,47	9,94	7,61	4,6
3	1	15	101,02	417,43	118,48	9,34	7,14	3,7
4	1	15	100,66	485,27	141,07	6,53	5,31	6,0
5	1	15	100,84	462,06	213,14	8,57	7,09	4,3
Moy				509,09	148,74	9,00	7,01	4,8

Les courbes obtenues montrent une variation de la force F allant de 417 à 654 Newtons et une variation importante dans l'allongement avec une variation de module d'élasticité E de 3,7 à 5,5 N/mm<sup>2</sup>. Nous avons présenté dans la figure (4.13. b) la courbe moyennée représentant les cinq essais.

**Essai de traction Jute (JT10) :**

Dans ce cas, nous considérons une série de cinq essais de traction sur la même machine (fig.4.2), les essais sont effectués sur un jute à maille fine, utilisé, ensimé à l'huile de lin pendant deux jours et suivant la direction 0 degrés. (fig.4.14)

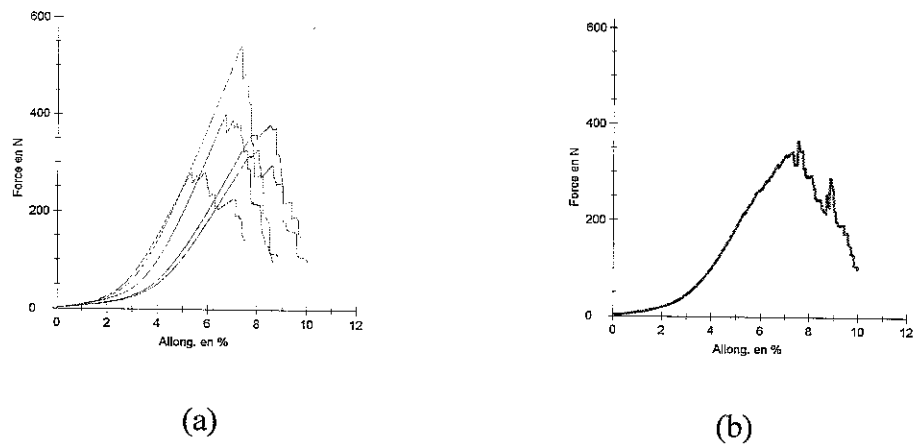


Figure 4.14 Essais de traction du jute utilisée ensimé maille Fine à 0° (c).

Tableau 4.14 : jute utilisée ensimé maille Fine à 0° (c).

	a0	b0	L0	F <sub>max</sub>	F <sub>Rupt.</sub>	ε-Rupt.	ε-F <sub>max</sub>	E
Nr	Mm	mm	mm	N	N	%	%	N/mm <sup>2</sup>
1	1	15	100,89	328,11	148,83	9,76	8,04	2,7
2	1	15	100,79	282,05	143,14	7,53	5,87	3,2
3	1	15	100,89	379,96	98,43	10,01	8,50	2,9
4	1	15	100,65	<b>541,24</b>	<b>108,25</b>	<b>8,82</b>	<b>7,35</b>	<b>4,9</b>
5	1	15	100,60	400,49	93,95	8,69	6,72	3,9
<b>Moy</b>				<b>386,37</b>	<b>119,52</b>	<b>8,96</b>	<b>7,29</b>	<b>3,5</b>

Les courbes obtenues montrent une variation de la force F allant de 282 à 541 Newtons et une variation importante dans l'allongement avec une variation de module d'élasticité E de 2,7 à 4,9 N/mm<sup>2</sup>. Nous avons présenté dans la figure (4.14. b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.



**Essai de traction Jute (JT11) :**

Dans ce cas, nous considérons une série de cinq essais de traction sur la même machine (fig.4.2), les essais sont effectués sur un jute à maille fine, utilisé, non ensimé et suivant la direction 90 degrés. (fig.4.15).

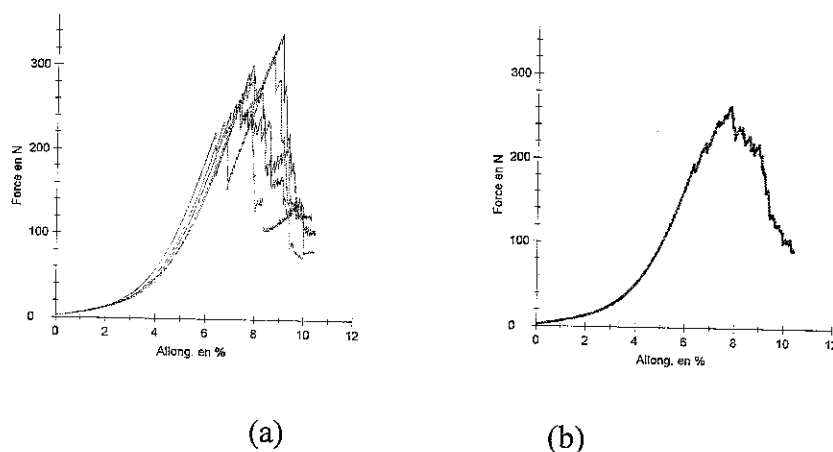


Figure 4.15 Essais de traction du jute utilisée non ensimé maille Fine à 90° (c).

Tableau 4.15 : jute utilisée non ensimé maille Fine à 90° (c).

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	F <sub>max</sub> N	F <sub>Rupt.</sub> N	ε-Rupt. %	ε-F max %	E N/mm <sup>2</sup>
1	1	15	100,71	<b>339,67</b>	<b>100,26</b>	<b>10,47</b>	<b>9,10</b>	<b>2,4</b>
2	1	15	101,05	260,20	81,33	10,42	7,34	2,3
3	1	15	101,22	260,75	140,36	9,81	7,40	2,3
4	1	15	100,65	312,20	72,96	9,98	8,66	2,4
5	1	15	101,08	270,40	120,08	10,31	8,24	2,1
<b>Moy</b>				<b>288.64</b>	<b>102.99</b>	<b>10.19</b>	<b>8.14</b>	<b>2,3</b>

Les courbes obtenues montrent une variation de la force F allant de 417 à 654 Newtons et une variation importante dans l'allongement avec une variation de module d'élasticité E de 2,1 à 2,4 N/mm, Nous avons présenté dans la figure (4.15. b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

**Essai de traction Jute (JT12) :**

Dans ce cas, nous considérons une série de cinq essais de traction sur la même machine (fig.4.2), les essais sont effectués sur un jute à maille fine, utilisé, non ensimé à l'huile de lin et suivant la direction 90 degrés. (fig4.16).

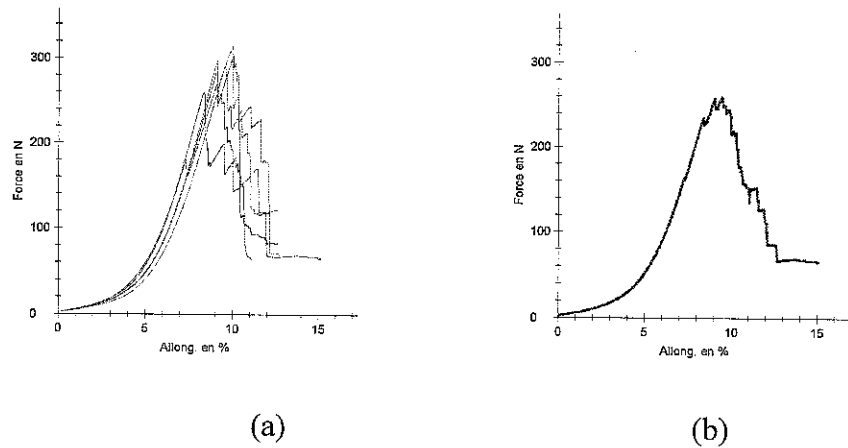


Figure 4.16 Essais de traction du jute utilisée ensimé maille Fine à 90° (c).

Tableau 4.16: jute utilisée ensimé maille Fine à 90° (c)

	a0	b0	L0	F <sub>max</sub>	F <sub>Rupt.</sub>	ε <sub>Rupt.</sub>	ε <sub>F max</sub>	E
Nr	Mm	mm	mm	N	N	%	%	N/mm <sup>2</sup>
1	1	15	101,32	302,90	63,78	11,11	10,06	2,0
2	1	15	102,16	291,08	64,51	15,15	9,57	2,0
3	1	15	101,47	259,39	81,97	12,64	8,36	2,0
4	1	15	101,32	<b>314,16</b>	<b>66,34</b>	<b>12,79</b>	<b>10,02</b>	<b>2,0</b>
5	1	15	101,32	270,16	120,55	12,60	9,12	1,6
<b>Moy</b>				<b>287.53</b>	<b>79.43</b>	<b>12.85</b>	<b>9.42</b>	<b>1,9</b>

Les courbes obtenues montrent une variation de la force F allant de 259 à 314 Newtons et une variation dans l'allongement de 8 à 10, avec une variation de module d'élasticité E de 1,4 à 2,0 N/mm. Nous avons présenté dans la figure (4.16. b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

**Essai de traction Jute (JT13) :**

Dans ce cas, nous considérons une série de cinq essais de traction sur la même machine (fig.4.2), les essais sont effectués sur un jute à grosse maille, neuf, non ensimé à l'huile de lin et suivant la direction 0 degrés.

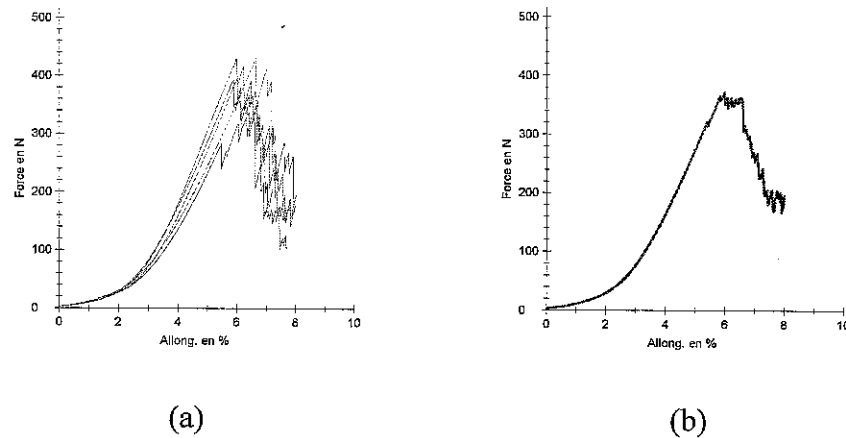


Figure 4.17 Essais de traction du jute neuf non ensimé maille Fine à 0° (c).

Tableau 4.17: jute neuf non ensimé maille Fine à 0° (c).

	a0	b0	L0	F <sub>max</sub>	F <sub>Rupt.</sub>	ε-Rupt.	ε-F <sub>max</sub>	E
Nr	Mm	mm	mm	N	N	%	%	N/mm <sup>2</sup>
1	1	15	100,55	392,78	104,72	7,69	5,88	4,4
2	1	15	100,67	415,41	172,57	7,95	6,21	4,4
3	1	15	102,04	347,32	177,67	7,98	6,66	3,4
4	1	15	100,66	<b>430,48</b>	<b>197,03</b>	<b>8,03</b>	<b>6,64</b>	<b>4,3</b>
5	1	15	100,97	429,62	205,96	7,21	5,98	4,7
<b>Moy</b>				<b>403.12</b>	<b>171.59</b>	<b>7.77</b>	<b>6.27</b>	<b>4,2</b>

Les courbes obtenues montrent une variation de la force F allant de 347 à 430 Newtons et une variation légère dans l'allongement avec une variation de module d'élasticité E de 3,4 à 4,7 N/mm. Nous avons présenté dans la figure (4.17. b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

**Essai de traction Jute (JT14) :**

Dans ce cas, nous considérons une série de cinq essais de traction sur la même machine (fig.4.2), les essais sont effectués sur un jute à maille fine, neuf, ensimé à l'huile de lin pendant deux jours et suivant la direction 0 degrés.

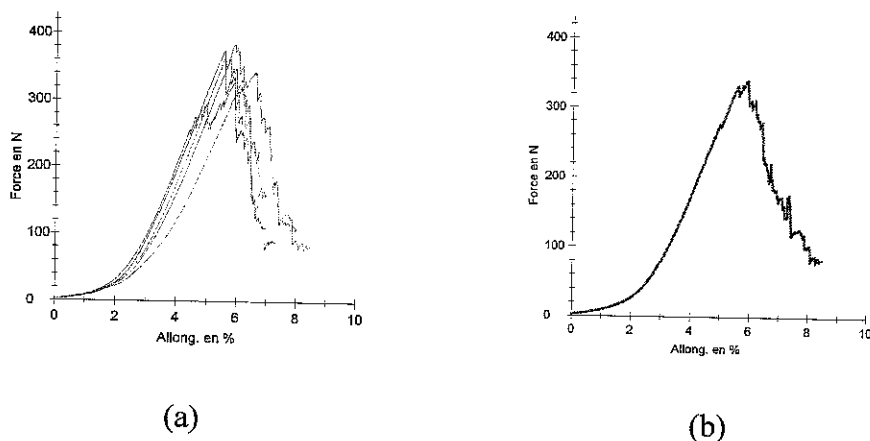


Figure 4.18 Essais de traction du jute neuf ensimé maille Fine à 0° (c).

Tableau 4.18: jute neuf ensimé maille Fine à 0° (c).

Nr	a0 mm	b0 mm	L0 mm	F <sub>max</sub> N	F <sub>Rupt.</sub> N	ε-Rupt. %	ε-F <sub>max</sub> %	E N/mm <sup>2</sup>
1	1	15	101,81	375,04	265,17	6,17	5,57	4,4
2	1	15	101,50	331,59	82,34	8,49	6,17	3,5
3	1	15	102,20	327,84	88,04	7,29	5,92	3,6
4	1	15	101,53	<b>383,75</b>	<b>142,67</b>	<b>6,71</b>	<b>5,91</b>	<b>4,3</b>
5	1	15	103,24	362,28	111,31	8,06	5,77	4,1
<b>Moy</b>				<b>356.10</b>	<b>137.90</b>	<b>7.34</b>	<b>5.86</b>	<b>4,0</b>

Les courbes obtenues montrent une variation de la force F allant de 327 à 383 Newtons et une variation légère dans l'allongement avec une variation de module d'élasticité E de 3,5 à 4,3 N/mm<sup>2</sup>. Nous avons présenté dans la figure (4.18. b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

**Essai de traction Jute (JT15) :**

Dans ce cas, nous considérons une série de cinq essais de traction sur la même machine (fig.4.2), les essais sont effectués sur un jute à maille fine, neuf, non ensimé et suivant la direction 90 degrés.

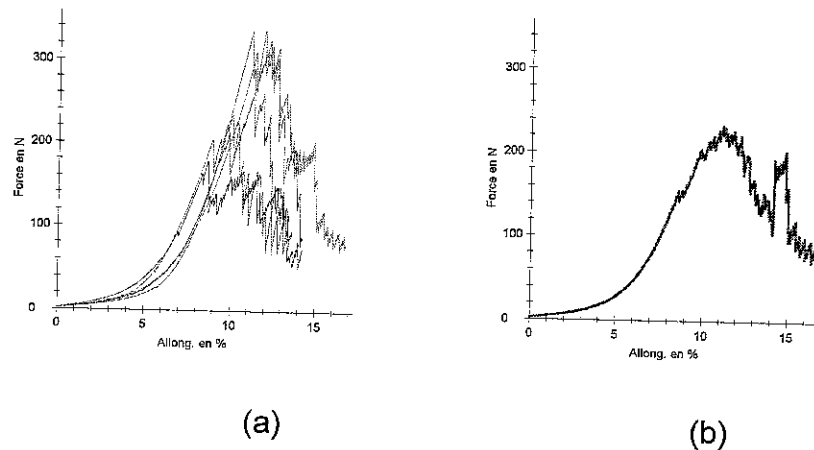


Figure 4.19 Essais de traction du jute neuf non ensimé maille Fine à 90° (c).

Tableau 4.19: jute neuf non ensimé maille Fine à 90° (c).

	a0	b0	L0	F <sub>max</sub>	F <sub>Rupt.</sub>	ε <sub>Rupt.</sub>	ε-F <sub>max</sub>	E
Nr	mm	mm	Mm	N	N	%	%	N/mm <sup>2</sup>
1	1	15	101,53	324,30	86,75	14,22	12,28	1,7
2	1	15	101,84	235,31	95,49	13,62	10,09	1,5
3	1	15	101,80	178,47	73,51	14,22	8,67	1,3
4	1	15	101,43	<b>336,63</b>	<b>78,02</b>	<b>16,78</b>	<b>11,96</b>	<b>1,8</b>
5	1	15	101,96	335,39	114,47	13,46	11,21	1,9
<b>Moy</b>				<b>282.02</b>	<b>89.64</b>	<b>14.46</b>	<b>10.44</b>	<b>1,8</b>

Les courbes obtenues montrent une variation de la force F allant de 178 à 336 Newtons et une variation importante dans l'allongement avec une variation de module d'élasticité E de 1,3 à 1,9 N/mm<sup>2</sup>. Nous avons présenté dans la figure (4.19. b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

**Essai de traction Jute (JT16) :**

Dans ce cas, nous considérons une série de cinq essais de traction sur la même machine (fig.4.2), les essais sont effectués sur un jute à maille fine, neuf, ensimé à l'huile de lin pendant deux jours et suivant la direction 90 degrés.

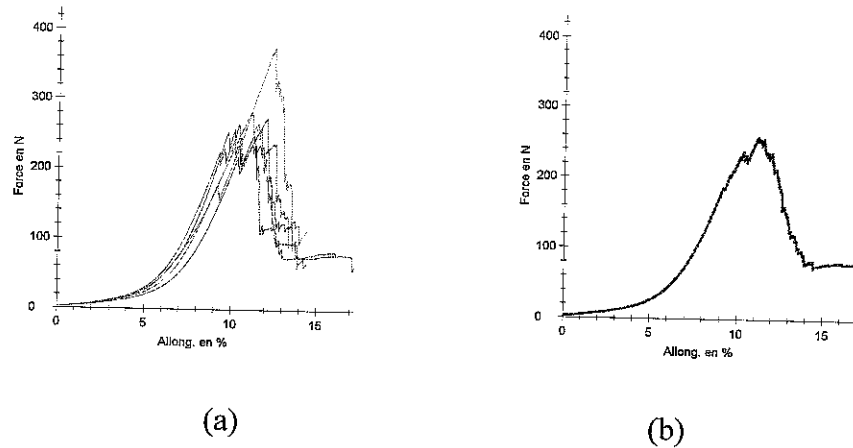


Figure 4.20. Essais de traction du jute neuf ensimé maille Fine à 90° (c).

Tableau 4.20: jute neuf ensimé maille Fine à 90° (c).

	a0	b0	L0	F <sub>max</sub>	F <sub>Rupt.</sub>	ε-Rupt.	ε-F <sub>max</sub>	E
Nr	Mm	mm	Mm	N	N	%	%	N/mm <sup>2</sup>
1	1	15	101,69	273,48	92,44	13,64	12,08	1,5
2	1	15	101,30	282,54	66,05	14,45	11,15	1,6
3	1	15	102,33	249,41	62,47	17,23	11,28	1,4
4	1	15	101,64	<b>374,86</b>	<b>112,32</b>	<b>14,48</b>	<b>12,49</b>	<b>2,0</b>
5	1	15	101,60	245,79	80,36	16,14	10,20	1,6
<b>Moy</b>				<b>285.21</b>	<b>82.72</b>	<b>15.18</b>	<b>11.44</b>	<b>1,6</b>

Les courbes obtenues montrent une variation de la force  $F$  allant de 245 à 374 Newtons et une variation importante dans l'allongement avec une variation de module d'élasticité  $E$  de 1,5 à 2,0 N/mm. Nous avons présenté dans la figure (4.20.b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

Tableau 4.21: Valeurs moyennes de la force maximale, module d'élasticité et de la déformation.

VARIANTES	F MAX (N)	E (N/mm)	$\epsilon$ (mm)
JT1	373.78	2.2	11.13
JT2	284.40	2.0	9.29
JT3	352.69	4.0	5.76
JT4	215.19	2.0	7.06
JT5	366.42	3.7	6.48
JT6	306.07	3.3	6.03
JT7	327.47	3.2	6.73
JT8	323.78	2.9	7.28
JT9	509.09	4.8	7.01
JT10	386.37	3.5	7.29
JT11	288.64	2.3	8.14
JT12	287.53	1.9	9.42
JT13	403.12	4.2	6.27
JT14	356.10	4.0	5.86
JT15	282.02	1.8	10.44
JT16	285.21	1.6	11.44

Les courbes moyennes obtenues montrent une variation force \_allongement qui se déroule en trois étapes : linéaire puis non linéaire passant par la force maximale suivi d'une légère diminution de la force et enfin la rupture totale et obtenue suite a une chute très rapide de celle-ci.

D'après ces valeurs nous remarquons que les résultats donnés par les tissus non ensimés sont meilleures que ceux ensimés pour toutes les variantes. Aussi les résultats donnés par les variantes selon la direction  $0^\circ$  sont meilleurs que ceux donnés par la direction  $90^\circ$ .

# Chapitre 5

Elaboration et étude du  
comportement mécanique des  
stratifiés à renfort naturel



## 5.1 Introduction

Nous présentons dans cette partie un certain nombre de combinaison relatives aux différents types de jute : Tissu de jute comportant des fibres dans deux directions appelées sens chaîne et sens trame, Tissu de jute comportant autant de fibres dans les sens chaîne et trame le pli est dit tissé équilibré.

## 5.2 Elaboration Des Stratifiés :

Nous avons utilisé trois types de résines sur un nombre limité de stratifiés, et en le faisant sur des échantillons de cinq stratifiés par type de résine.

Nous avons commencé par essayer le jute à mailles fines, en trois couches avec résines et durcisseurs. Les trois types de résines ont été utilisés avec durcisseurs dans des rapports bien distincts pour mettre en évidence le meilleur pourcentage résine/durcisseur pour le bon choix du stratifié, et sélectionner deux type de résines qui seront utilisées pour l'élaboration des stratifiés.

Les deux types de résines que nous avons utilisées pour la réalisation des stratifiés sont les suivantes :

- La résine MEDAPOXY INJECT.
- La résine MEDAPOXY STR

Les fiches techniques de ces résines, communiquées par la société GRANITEX NOUVEAUX PRODUITS, sont présentées en annexe C.

Il existe différents procédés (voire chapitre 1) mais le plus utilisé est le procédé par moulage. La mise en œuvre des stratifiés étudiés est réalisée par moulage au contact. Les plis sont stratifiés et imprégnés à température ambiante, puis moules pendant 24 à 48 heures entre le moule et le contre moule (moule métallique et moule en bois). Sous l'influence d'un poids soumis sur le moule. le rapport renfort /résine est de 70/30%.

Après cette durée les éprouvettes sont extraites du moule et mettent dans un séchoir ( $\approx 80^{\circ}\text{c}$ ), laisser reposer pendant un mois puis découpées selon la norme AFNOR NF T 57-105.

### 5.3. Essais de flexion 3 points sur les stratifiés élaborés.

#### 5.3.1 Définition

L'essai de flexion statique est un test mécanique statique, qui fait partie de la famille des essais indépendants du temps (comme le choc, la dureté...).

#### 5.3.2 Principe

L'essai de flexion détermine l'aptitude à la déformation d'un matériau sur deux appuis avec une application de l'effort à mi-distance des appuis (figure 5.1).

Les contraintes varient de façon continue de part et d'autre de l'axe neutre, où elles sont nulles; d'un côté, elles sont en compression (coté concave de l'éprouvette) (figure 5.1) et de l'autre, en tension. Durant cet essai, la charge supportée par l'éprouvette est mesurée.

On impose à une éprouvette normalisée, une déformation, ou flèche, à vitesse de déformation constante, et on mesure la force qu'oppose l'éprouvette à cette déformation.

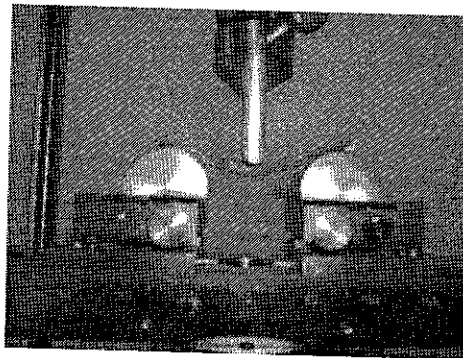


Figure 5.1: Aptitude à la déformation d'un matériau composite.

Cet essai permet de connaître :

- Le comportement mécanique du matériau ;
- Les propriétés du matériau ;
- Les valeurs des caractéristiques du matériau.

### **Mécanisme de rupture**

La rupture est due à la création et à la propagation de fissure(s), généralement localisée(s) sur la fibre externe la plus sollicitée en extension. [30]

Quand une contrainte locale devient égale à la résistance de cohésion de la matière, les liaisons interatomiques de cette région se rompent.

Des imperfections structurales ou géométriques augmentent de façon significative la sensibilité à la rupture (par exemple, impuretés, bavures, traces d'éjecteurs...).

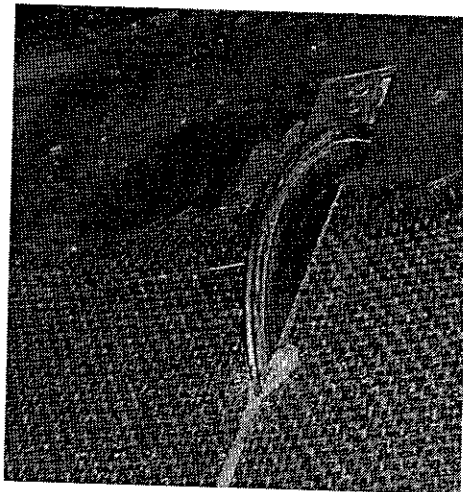
On qualifie de fragile le comportement d'un matériau si la rupture intervient dans le domaine élastique sous une forte contrainte et une petite déformation. [32]

## **5. 4. Techniques expérimentales**

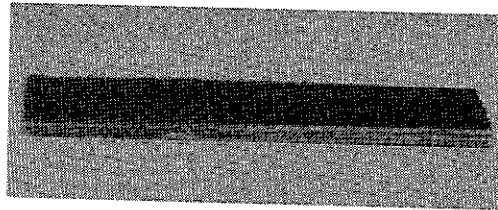
### **5.4.1. Fabrication des éprouvettes**

Les stratifiés utilisés sont élaborés et expérimentés au laboratoire LMMC (laboratoire des matériaux minéraux et composites) de l'Université de Boumerdes

Les éprouvettes utilisées en flexion sont des barreaux de forme prismatique découpés de plaquettes de composite (figure 5.2). Les éprouvettes de flexion sont celles recommandées par les normes AFNOR NF T 57-105 et ASTM D 790-84a. (Fig. 5.3).



*Figure 5.2 : exemple de découpage de plaquettes de composite.*

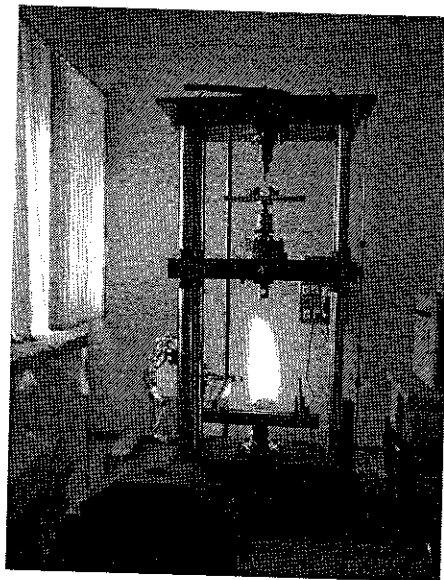


*Figure 5.3 : éprouvette de flexion.*

#### **5.4.2. Dispositif d'essai**

La plupart des machines de flexion sont aujourd'hui dites universelles (traction, flexion, compression, voire fluage...).

Une machine universelle est constituée d'un bâti rigide qui comprend une traverse fixe à laquelle est fixée la base du montage de flexion sur laquelle repose l'éprouvette (fig. 5.5).



*Figure 5.4 : Machine universelle de flexion.*

La partie du complément du montage qui va appuyer sur l'éprouvette est fixée à une traverse mobile. La figure 5.5 représente un essai de flexion sur une éprouvette du matériau étudié.

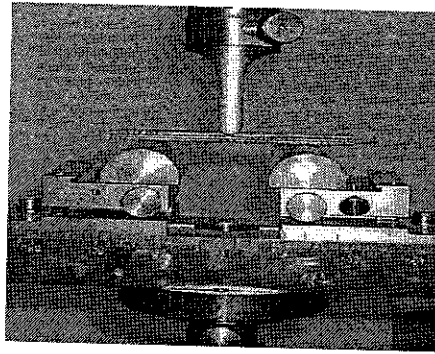


Figure 5.5: Essai de flexion sur un stratifié à renfort végétal (jute).

Le dialogue homme/machine, la saisie et le traitement des valeurs s'effectuent à l'aide d'un micro-ordinateur.

Pour notre travail la machine de flexion est la même que celle de traction.

La distance entre appuis est réglée de telle façon à satisfaire la condition imposée par les normes AFNOR NF T 57-105 et ASTM D 790-84a.

$$L_0 = 16xh$$

$L_0$  et  $h$  sont respectivement la distance entre appuis et l'épaisseur de l'éprouvette.

La contrainte à la rupture en flexion est calculée par la formule suivante :

$$\sigma_{rupt} = 3FL_0 / 2bh^2$$

Avec :

$\sigma_{rupt}$  = contrainte de rupture maximale (N/mm<sup>2</sup>)

F = force maximale au moment de la rupture (N)

b = largeur de l'éprouvette (mm)

h = épaisseur de l'éprouvette dans le sens de la flexion (mm)

$l_0$  = distance entre les axes des cylindres d'appuis (mm)

### 5.4.3. Résultats des essais de flexion 3 points

En règle générale, un minimum de cinq éprouvettes est suffisant pour l'essai de flexion.

Les stratifiés élaborés (voir annexe D) sont désignés de ST1 à ST 8 représentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5.1 : variantes des stratifiés élaborés.

<b>Grosses mailles</b>	NEUF	0° ----- <b>ST1</b>
		90° ----- <b>ST2</b>
	Utilisé	0° ----- <b>ST3</b>
		90° ----- <b>ST4</b>
<b>Mailles fines</b>	Neuf	0° ----- <b>ST5</b>
		90° ----- <b>ST6</b>
	Utilisé	0° ----- <b>ST7</b>
		90° ----- <b>ST8</b>

Les stratifiés considérés sont ST1 à ST8 possédant tous le même nombre de plis.

Nous considérons une série de cinq essais de flexion sur la machine universelle Zwick 250 KN équipée d'un capteur de 2.5 KN figure 5.4. (la même machine utilise pour la traction).

**Essai de flexion 3 point du Stratifié ST1 :**

Ces essais sont effectués sur un stratifié en jute neuf à grosse maille non ensimé et suivant la direction zéro degré. (Fig. 5.6).

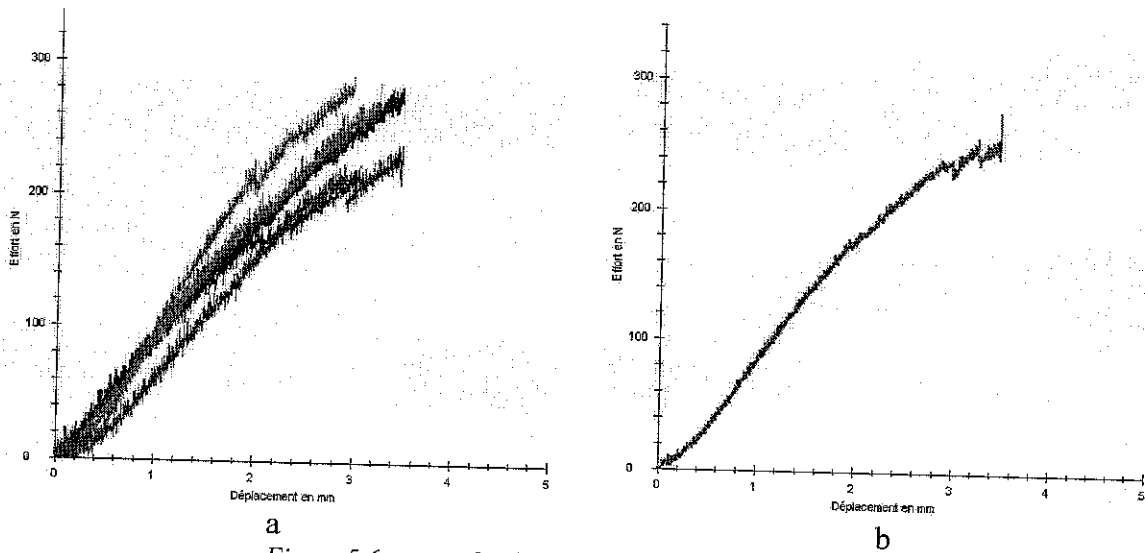


Figure 5.6 : a courbe de flexion ST1, b courbe moyenne :

Tableau 5.2 : Résultats d'essai de flexion 3 points de stratifié ST1

N	$a_0$ mm	$b_0$ mm	$F_{max}$ N	$\epsilon F_{max}$ mm
1	4	16	282,93	3,47
2	4	16	291,20	2,97
3	4	16	225,04	3,04
4	4	16	286,41	3,24
5	4	16	240,27	3,48
<b>Moy</b>	4	16	<b>265,17</b>	<b>3,24</b>

Les courbes obtenues montrent une variation de la force F allant de 240 à 291 Newtons et une variation dans l'allongement de 2,97 à 3,48. Nous avons présenté dans la figure (5.6.b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

**Essai de flexion 3 point du Stratifie ST2 :**

Ces essais sont effectués sur un stratifie en jute neuf à grosse maille non ensimé et suivant la direction 90 degré. (Fig. 5.7).

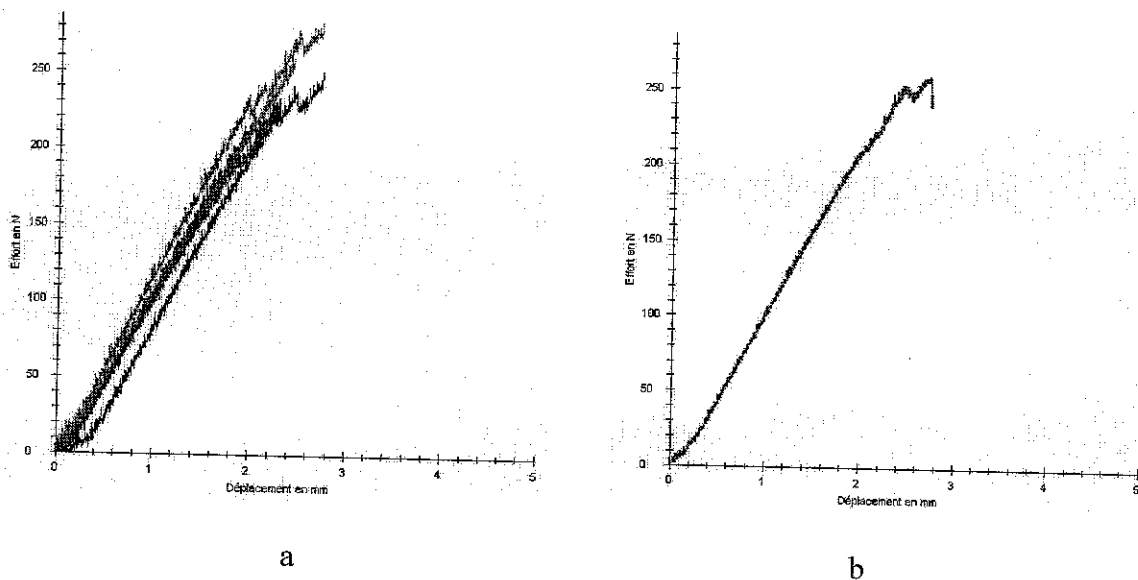


Figure 5.7 : a courbe de flexion ST2, b courbe moyenne

Tableau 5.3 : Résultats d'essai de flexion 3 points de stratifie ST2

N	$a_0$ mm	$b_0$ mm	$F_{max}$ N	$\epsilon F_{max}$ mm
1	4	16	232,86	2,29
2	4	16	282,92	2,73
3	4	16	251,58	2,74
4	4	16	259,85	2,43
5	4	16	226,77	2,23
<b>Moy</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	<b>250,79</b>	<b>2,23</b>

Les courbes obtenues montrent une variation de la force F allant de 226 à 282 Newtons et une variation dans l'allongement de 2,23 à 2,74. Nous avons présenté dans la figure (5.7.b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.



**Essai de flexion 3 point du Stratifie ST3 :**

Ces essais sont effectués sur un stratifie en jute utilisé à grosse maille non ensimé et suivant la direction zéro degré. (Fig. 5.8).

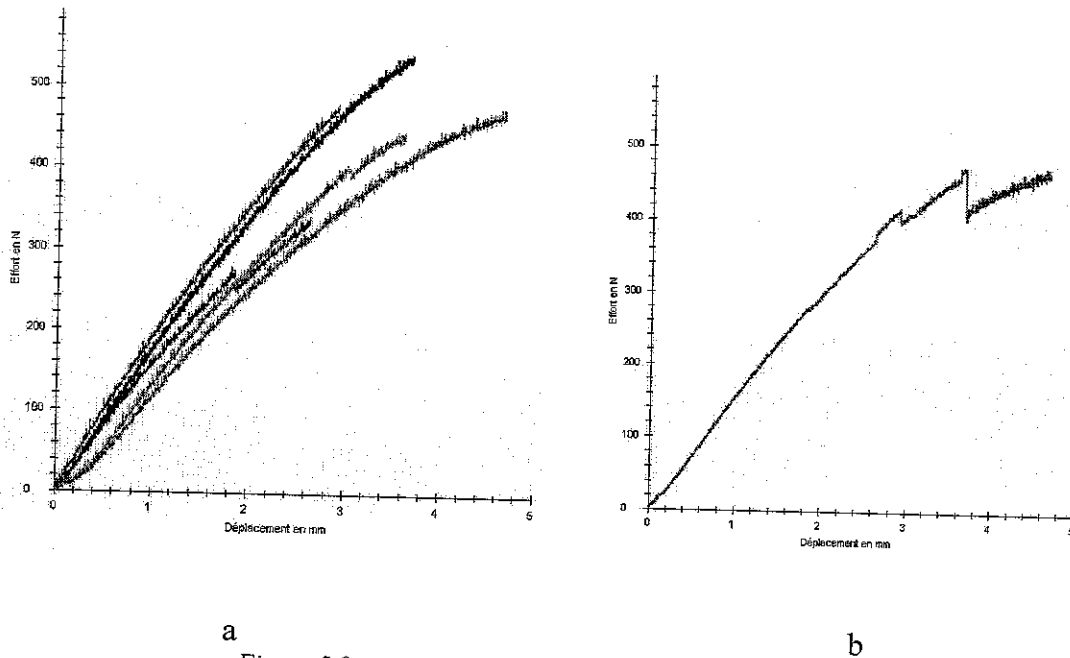


Figure 5.8 : a courbe de flexion ST3, b courbe moyenne

Tableau 5.4 : Résultats d'essai de flexion 3 points de stratifie ST3

N	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm	F <sub>max</sub> N	ε F <sub>max</sub> mm
1	4	16	541,02	3,69
2	4	16	475,74	4,68
3	4	16	342,55	2,63
4	4	16	447,88	3,62
5	4	16	480,96	2,92
<b>Moy</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	<b>457,63</b>	<b>3,51</b>

Les courbes obtenues montrent une variation de la force F allant de 342 à 541 Newtons et une variation dans l'allongement de 2,63 à 4,68. Nous avons présenté dans la figure (5.8.b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

**Essai de flexion 3 point du Stratifie ST4 :**

Ces essais sont effectués sur un stratifie en jute utilisé à grosse maille non ensimé et suivant la direction 90 degré. (Fig. 5.9).

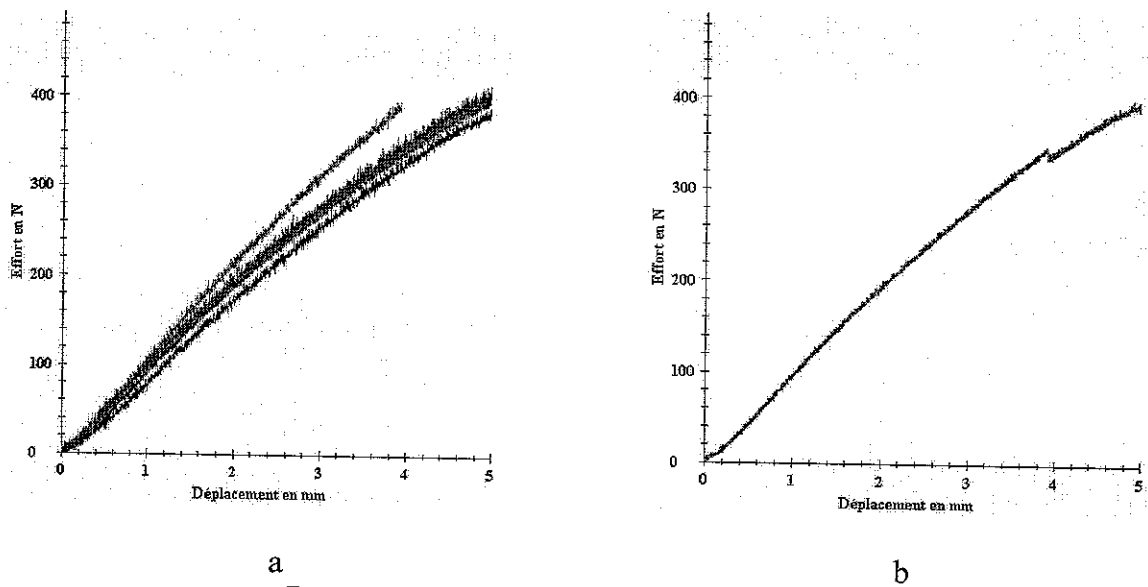


Figure 5.9 : a courbe de flexion ST4, b courbe moyenne

Tableau 5.5 : Résultats d'essai de flexion 3 points de stratifie ST4

N	$a_0$ mm	$b_0$ mm	$F_{max}$ N	$\epsilon F_{max}$ mm
1	5,75	16	402,19	4,96
2	5,75	16	396,09	3,92
3	5,9	16	390,44	4,98
4	5,7	16	413,50	4,93
5	5,7	16	414,81	4,98
<b>Moy</b>	<b>5,76</b>	<b>16</b>	<b>403,41</b>	<b>4,75</b>

Les courbes obtenues montrent une variation de la force  $F$  allant de 390 à 414 Newtons et une variation dans l'allongement de 3,92 à 4,98. Nous avons présenté dans la figure (5.9.b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

**Essai de flexion 3 point du Stratifie ST5 :**

Ces essais sont effectués sur un stratifie en jute neuf à maille fine non ensimé et suivant la direction zéro degré. (Fig. 5.10).

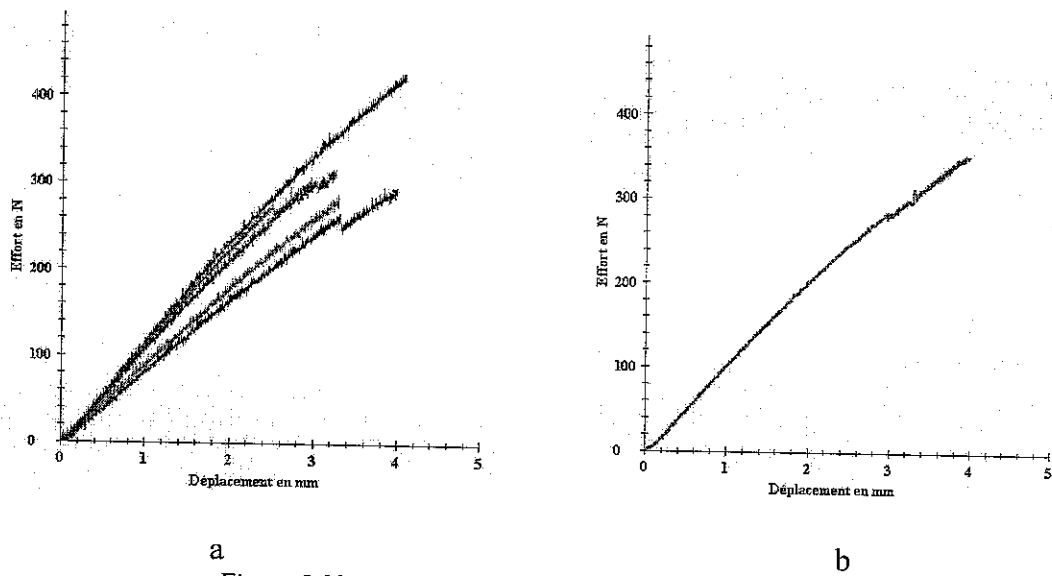


Figure 5.10 : a courbe de flexion ST5, b courbe moyenne

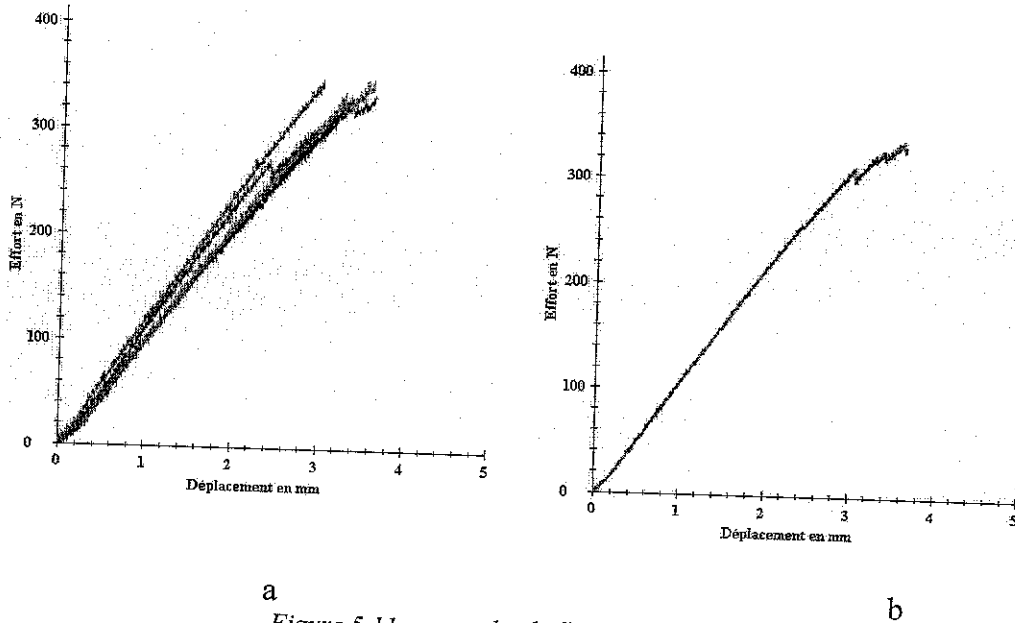
Tableau 5.6 : Résultats d'essai de flexion 3 points de stratifie ST5

N	$a_0$ mm	$b_0$ mm	$F_{max}$ N	$\epsilon F_{max}$ mm
1	6	16	429,17	4,08
2	6	16	308,60	2,96
3	5,5	16	297,29	3,99
4	5,6	16	288,58	3,29
5	57,3	16	317,31	3,26
<b>Moy</b>	<b>5,766</b>	<b>16</b>	<b>328,19</b>	<b>3,51</b>

Les courbes obtenues montrent une variation de la force F allant de 288 à 429 Newtons et une variation dans l'allongement de 2,96 à 4,08. Nous avons présenté dans la figure (5.10.b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

**Essai de flexion 3 point du Stratifie ST6 :**

Ces essais sont effectués sur un stratifie en jute neuf à maille fine non ensimé et suivant la direction 90 degré. (Fig. 5.11).



a b  
Figure 5.11 : a courbe de flexion ST6, b courbe moyenne

Tableau 5.7 : Résultats d'essai de flexion 3 points de stratifie ST6

N	$a_0$ mm	$b_0$ mm	$F_{max}$ N	$\epsilon F_{max}$ mm
1	5,9	16	332,10	3,32
2	6	16	350,38	3,02
3	5,78	16	336,02	3,63
4	5,78	16	350,38	3,61
5	6,3	16	302,50	2,95
<b>Moy</b>	<b>5,952</b>	<b>16</b>	<b>334,27</b>	<b>3,31</b>

Les courbes obtenues montrent une variation de la force F allant de 302 à 350 Newtons et une variation dans l'allongement de 2,95 à 3,61. Nous avons présenté dans la figure (5.11.b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

**Essai de flexion 3 point du Stratifie ST7 :**

Ces essais sont effectués sur un stratifie en jute neuf à maille fine non ensimé et suivant la direction zéro degré. (Fig. 5.12).

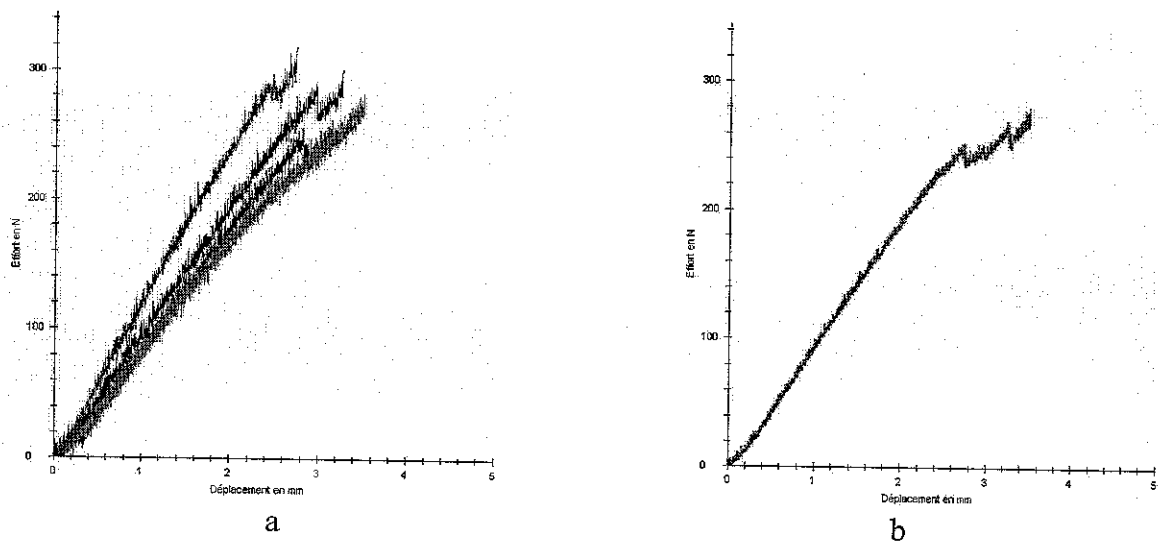


Figure 5.12 : a courbe de flexion ST7, b courbe moyenne

Tableau 5.8 : Résultats d'essai de flexion 3 points de stratifie ST7

N	a <sub>0</sub> mm	b <sub>0</sub> mm	F <sub>max</sub> N	ε F <sub>max</sub> mm
1	4	16	262,91	3,15
2	4	16	280,32	3,47
3	4	16	301,21	3,26
4	4	16	282,93	3,51
5	4	16	319,06	2,74
<b>Moy</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	<b>289,28</b>	<b>3,22</b>

Les courbes obtenues montrent une variation de la force F allant de 262 à 319 Newtons et une variation dans l'allongement de 2,74 à 3,47. Nous avons présenté dans la figure (5.12.b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

**Essai de flexion 3 point du Stratifié ST8 :**

Ces essais sont effectués sur un stratifié en jute neuf à maille fine non ensimé et suivant la direction 90 degré. (Fig. 5.13).

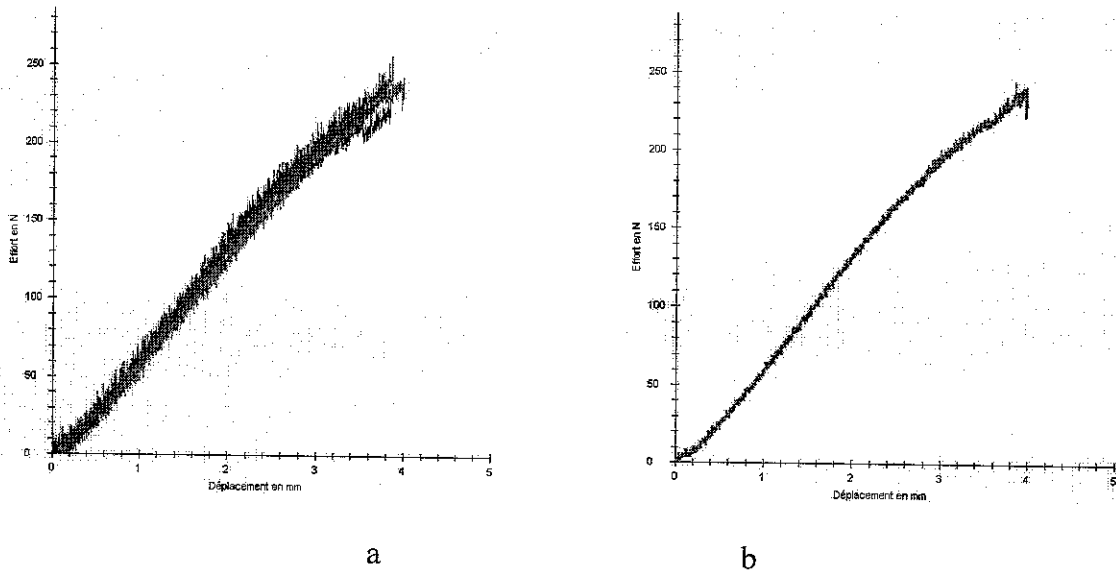


Figure 5.13 : a courbe de flexion ST8, b courbe moyenne

Tableau 5.9 : Résultats d'essai de flexion 3 points de stratifié ST8

N	$a_0$ mm	$b_0$ mm	$F_{max}$ N	$\epsilon F_{max}$ mm
1	4	16	230,25	3,84
2	4	16	243,75	3,99
3	4	16	230,25	3,53
4	4	16	190,21	2,81
5	4	16	257,24	3,86
<b>Moy</b>	<b>4</b>	<b>16</b>	<b>238,96</b>	<b>3,60</b>

Les courbes obtenues montrent une variation de la force F allant de 190 à 257 Newtons et une variation dans l'allongement de 2,81 à 3,99. Nous avons présenté dans la figure (5.13.b) la courbe moyenne représentant les cinq essais.

Tableau 5.10. Valeurs moyenne des contraintes à la rupture et des modules d'élasticité calculés en flexion 3 points.

EPROUVETTES	$F_{MAX}$ (N)	$\sigma_F$ (N/MM <sup>2</sup> )	$E_F$ (GPA)
ST1	265,17	111,37	15,56
ST2	250,79	105,33	20,48
ST3	403,41	163,43	16,87
ST4	457,63	192,20	16,38
ST5	328,19	137,83	19,98
ST6	334,27	140,39	16,38
ST7	289,28	121,49	19,66
ST8	238,96	100,36	16,87

### 5.5. Analyse des résultats du point de vue comportement

A partir des résultats obtenus nous remarquons que les valeurs calculées des contraintes à la rupture et des modules d'élasticité en flexion 3 points, varient d'une éprouvette à l'autre suivant le renfort, utilisé ou neuf et suivant la section des mailles (grosse maille et maille fine).

- La valeur de la contrainte à la rupture en flexion 3 points pour les huit types de stratifiés (ST1, ST2 à ST8) varie de 100,36 à 192,20 (N/mm<sup>2</sup>).
- Le module d'élasticité varie de 15,56 à 20,48 (Gpa).

Nous constatons que les meilleurs résultats ont été obtenus avec le stratifié STF1, ce matériau possède le plus haut module d'élasticité et le stratifié STF5 qui possède le plus haut module d'élasticité la plus grande résistance à la rupture. Pour les autres stratifiés, les valeurs sont sensiblement les mêmes.

Les courbes obtenues montrent que les stratifiés testés présentent une phase linéaire élastique légèrement courbée en s'approchant du début de rupture qui correspond à l'apparition de la première fissure.

Nous constatons que d'un stratifié à l'autre, les valeurs de la contrainte de rupture et des modules d'élasticité différents, cela peut être expliqué par la présence de défauts d'élaboration et de réalisation des éprouvettes ainsi que la variation de diamètre et la direction à 0° et à 90° des fibres.

## 5.6. Etude comparative

### Comparaison avec un stratifié à renfort métallique :

Les premiers résultats sur les essais en flexion 3 points sur les stratifiés ont été comparés aux stratifiés à base de renfort métallique (plusieurs couches de grillage), réalisés par une autre équipe de recherche au laboratoire LMMC, et nous remarquons que le stratifié à base de jute se comporte mieux (voir les courbes ci-dessous) :

Courbe verte : stratifié à base de renfort métallique ;

Courbe bleue : stratifiés à base de renfort naturel (jute).

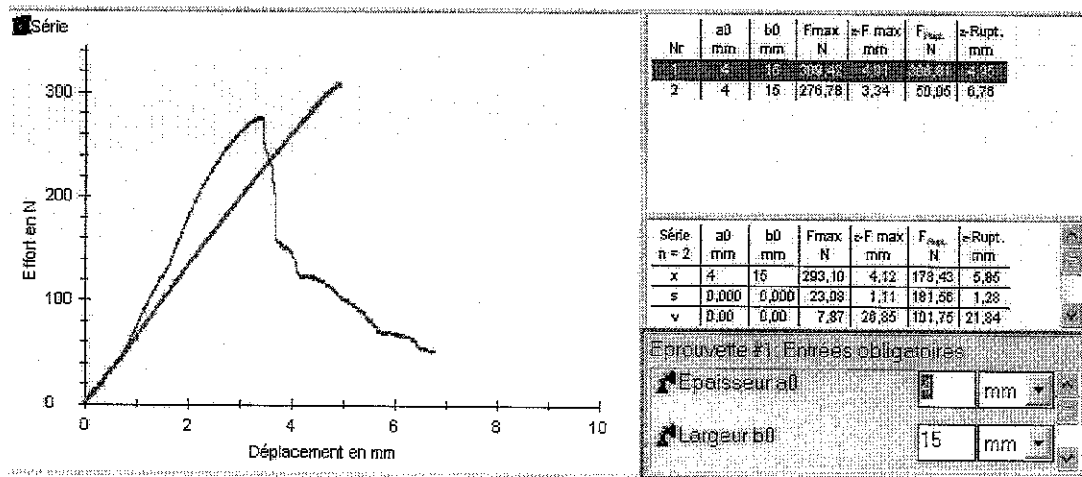


Figure 5.14 : Représentation de deux courbes (flexion 3 points) renfort naturel/métallique.



Les résultats obtenus sont comparés aux résultats des travaux publiés sur les stratifiés conçus avec : fibre de verre/époxyde et fibre de kevlar/époxyde et fibré métalliques /époxyde.

Le tableau suivant montre les valeurs de la contrainte à la rupture et le module d'élasticité pour les quatre types de stratifiés.

Avec :

- STRJ: stratifié à renfort végétal (jute).
- STRM: stratifié à renfort métallique.
- STRV: stratifié à renfort en fibre de verre.
- STRK: stratifié à renfort en fibre de kevlar.

Tableau 5.11. Valeurs de la contrainte à la rupture et le module d'élasticité

Matériau	Contrainte à la rupture $\sigma_f$ (N/mm <sup>2</sup> )	Module d'élasticité $E_f$ (Mpa)
STRJ	192,20	20480,00
STRM	260,82	21723,24
STRV	145,84	2849,15
STRK	71,81	2538,58

Les quatre types de stratifiés ont les même dimensions (la longueur  $L=100\text{mm}$ , la largeur  $b=15\text{mm}$ , l'épaisseur  $h=4\text{mm}$ ), la même fraction volumique de fibres (70% de renfort et 30% de matrice).

Des valeurs obtenues, nous remarquons une amélioration importante des valeurs de la contrainte à la rupture et le module d'élasticité en flexion 3 points en utilisant la fibre végétale comme renfort.

D'après les données techniques publiées, nous remarquons l'importance environnementale de la fibre végétale, aussi leur coût, leur légèreté, leur disponibilité et leurs propriétés mécaniques spécifiques élevées. Grâce à un compromis idéal rigidité/résistance/légèreté, les composites renforcés par des fibres végétales concurrencent efficacement les matériaux traditionnels contenant des charges ou des fibres minérales.

Ces matériaux font notamment une percée importante dans le domaine de l'automobile en raison de leur légèreté (Comme le cas des stratifiés faisant l'objet de cette étude), ils peuvent même être utilisés dans plusieurs domaines d'application tel que peaux d'un panneau sandwich etc.



**Conclusion générale**

Cette étude, qui se veut une recherche dans le domaine des nouveaux matériaux s'inscrit dans le cadre d'un domaine de recherche actuel, les composites stratifiés à renfort végétal sont assez récent et en pleine expansion.

L'étude expérimentale du présent travail, a porté sur l'étude du comportement mécanique des stratifiés à renfort végétal en flexion trois points, et nous a permis de mettre en relief les performances mécaniques de ce nouveau type de matériau.

Les avantages que présentent les fibres végétales utilisées comme renforts pour se substituer aux matériaux classiques d'une part et aux matériaux composites à fibres traditionnels, ne se résument pas uniquement sur le caractère écologique et économique (ressources renouvelables), mais présentent aussi des performances physiques en général et mécaniques en particulier, comparables à celles déjà obtenues par des fibres traditionnels. Par conséquent les applications des composites à fibres végétales sont déjà présentes dans bon nombre de domaines, et sont appelé à jouer un rôle plus important en intégrant d'autres domaines.

Avant d'élaborer les stratifiés on a caractérisés les différentes variantes de jute tissé par l'essai de traction, cette caractérisation nous a permis de conclure :

- Le pré traitement des fibres par ensimage n'amène aucun résultat milleures par rapport à ceux non ensimés.
- Les résultats donnés par le sens chaîne ( $0^\circ$ ) du tissu sont mieux que ceux donnés par le sens trame ( $90^\circ$ ) du tissu.
- Les résultats donnés sont influencés par la section des mailles, car plus la section et fine plus les résultats sont milleures.
- Le tissu de jute neuf présente des résultats milleures que ceux donnes par le tissu utilisé.

Pour les stratifiés élaborés l'étude expérimentale, nous a permis de conclure:

- Les caractéristiques mécaniques des stratifiés à renfort végétal tissé, varient en fonction de la section des mailles (maille fine ou grosse maille), de la variation de diamètre des fils composant le tissu et de l'état de ce dernier (neuf ou utilisé).
- Les meilleurs résultats ont été obtenus avec le tissu neuf a mailles fine dans la direction de couche  $0^\circ$ .
- Les résultats obtenus par cette technique montrent une variation du comportement en deux phases, dans un premier temps, la courbe se présente sous une forme linéaire élastique légèrement courbée en s'approchant du début

de rupture, puis l'on assiste à la diminution de la rigidité jusqu'à la rupture totale.

- Ainsi la résistance mécanique, dépend-elle à la fois du taux de renfort et de la nature de ce renfort.

Le problème quand on a rencontré, ces le problème de variation d'épaisseur des plaques qui est due à l'élaboration manuelle des stratifiés.

D'une façon générale on peut résumer les propriétés essentielles des stratifiés renforcés de jute comme suivant.

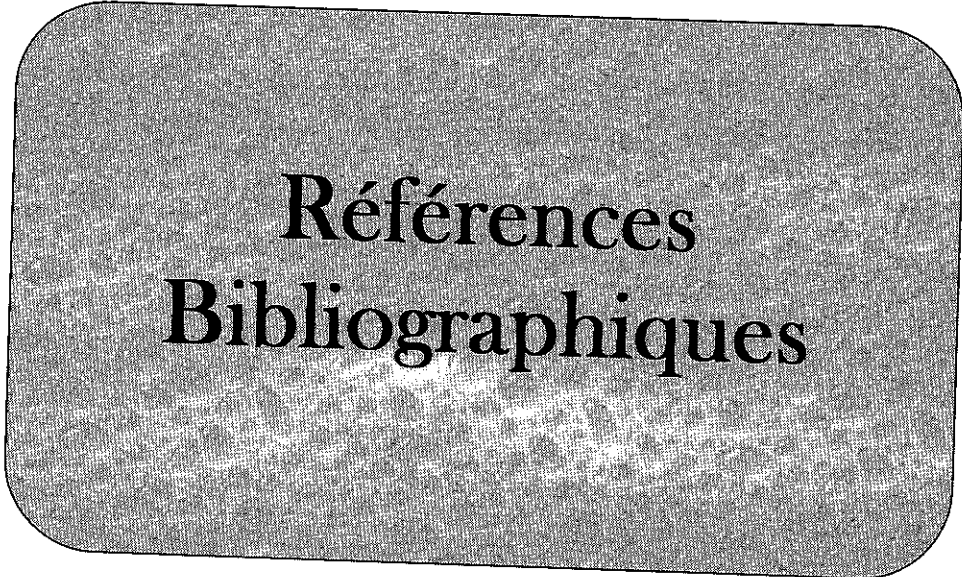
Au point de vu **économiques** on peut citer le faibles coûts, la réduction importante des temps de cycle de production, le gains énergétiques à la transformation et la densité faible par rapport aux autres renforts.

Au point de vu **techniques** on peut citer les propriétés mécaniques presque identiques aux renforts traditionnels, l'absence d'abrasion, la tenue thermique améliorée, l'absence de déformation et retraits, la grande stabilité géométrique des pièces produites et les bonnes propriétés d'isolation phonique et thermique.

Au point de vu **écologiques** on peut citer l'absence de toxicité du renfort, l'abaissement du contenu en matériaux d'origine fossile, l'utilisation d'une plante à fort caractère écologique, l'absence de résidus après incinération ultime en fin de vie, la fabrication de produits avec un "aspect naturel" aussi elles sont entièrement recyclables.

Ces caractéristiques amènent de plus en plus d'industriels à adopter ces nouvelles matières.

Mais Par contre la faible stabilité thermique des fibres naturelles d'origine végétale constitue également une limitation. Celles-ci commencent à se dégrader à 200°C. Les stratifiés renforcés avec ces fibres doivent alors impérativement être mis en oeuvre aux températures les plus faibles possibles.



**Références  
Bibliographiques**

## Références Bibliographiques

- [1] J-Y. BUFFIERE, M. DUPEUX. Les grandes familles de matériaux et de procédés de mise en œuvre .matériaux & techniques N° 3-4 1998.
- [2] J.-M. Berthelot. Comportement mécanique et analyse des structures. 3<sup>ème</sup> édition TEC, Paris 1999, p641.
- [3] A. Jardon, M. Costes. Composites de grande diffusion. European conference on composites materials-londres, Juillet 1987.
- [4] O.Allix, N. Bahlouli, P. Ladeveze, L. Perret. Comportement thermomécanique des stratifiés carbone/époxyde : validation d'un modèle du pli élémentaire. Proceedings du 12<sup>ème</sup> congrès Français de mécanique, édition AUM (strasbourg, Septembre) 1995.
- [5] Daniel.Gay. Matériaux composites. 4<sup>ème</sup> édition Hermès, Paris, 1997, p 672.
- [6] R.Talreja. Fatigue of composite matériels: Damage mecanisms and fatigue-life diagrams. Pro. Roy. So. c. London A(378) ,pp461-475,1981.
- [7] A. Gargon. Technique de construction: le système composite, édition TEC 2001 p541.
- [8] AMBUA (P), IVENS (J.) et VERPOEST (I.)- Natural fibres : can they replace glass in reinforced plastics ? Composites Science and Technology, 63, p.1259-1264 (2003).
- [9]: V.REYNAUD, G.SUBRA , M.CALDERINI. ENSCM : 1992-93 . *LES MATERIAUX COMPOSITES*
- [10] Daniel.Gay. Matériaux composites. 3<sup>ème</sup> édition Hermès, Paris 1991 p569.
- [11] Maurice Reyne. Les plastiques. Édition Hermès, paris, 1990. p 189
- [12]Christophe BOIS , Thèse de doctorat.- mesure et prévision de l'évolution des endommagements dans les Composites stratifiés décembre 2003
- [13] Ladevèze, P. and G. Lubineau, On a damage mesomodel for laminates: micromechanics basis and improvement. Mechanics of Materials, 2003. p. 763–775.

- [14] Toshiko, O., N. Asami, and H. Hiroyuki, Initial fracture behavior of satin woven fabric composites. *Composite Structures*, 2003. p. 333–339.
- [15] OUDET (C.). – Polymères. Structure et propriétés. Masson, Paris (1993).
- [16] BISANDA (E.T.N.) et ANSELL (M.P.). – Properties of sisal/CNSL composites. *Journal of Materials Science*, vol. 27, p. 1690-1700(1992).
- [17] ROE (P.J.) et ANSELL (M.P.). – Jute-reinforced polyester composite. *J. Mater. Sci.*, vol. 20, issue 11, p. 4015-4020 (1985).
- [18] AGRICE-ADEME. – Produits renouvelables : vers un nouvel âge d'or du végétal. *Communication Agrice (Agriculture pour la chimie et l'énergie)* du 15 janvier 2002. <http://www.Ademe.fr>
- [19] LI (Y.), MAI (Y.W.) et YE (L.) .– Sisal fibre and its composites: a review of recent developments. *Composites Science and Technology*, vol. 60, issue 11, p. 2037-2055, août 2000.
- [20] LUYCKX (J.). – Fibres de carbone. *Techniques de l'Ingénieur A 2 210, Plastiques et Composites* (1995).
- [21] BATRA (S.K.). – Other long vegetable fibers. In: Lewin (M.), Pearce (E.M.), editors. *Handbook of fibre Science and Technology*. New York. Marcel Dekker, vol. IV, *Fibre Chemistry*, p. 505-575 (1998).
- [22] MUKHERJEE (P.S.) et SATYANARAYANA (K.G.). – Structure and properties of some vegetable fibers. II. Pineapple fibre. *Journal of Materials Science*, vol. 21, p. 51-56 (1986).
- [23] JEC composites no 1, avril -mai 2002.
- [24] BEZAZI A.R. Thèse de doctorat.- Etude théorique et expérimentale du comportement mécanique en statique et en fatigue des matériaux composites stratifiés et sandwichs en flexion 3 points 193 pages 2003.
- [25] Source : Secrétariat de la CNUCED, d'après des données de la FAO.
- [26] HEARLE J.W.S. – The fine structure of fibers and crystalline polymers. III. Interpretation of the mechanical properties of fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 7, p. 1207-1223 (1963).



- [27] BALEY C. – Analysis of the flax fibres tensile behaviour and analysis of the tensile stiffness increase. *Composites Part A*, 33, p. 939-948 (2002).
- [28] SPATZ H.CH., KOHLER L. et NIKLAS K.J. – Mechanical behaviour of plant tissue : composite materials or structures ? *The Journal of Experimental Biology*, 202, p. 3269-3272 (1999).
- [29] KOHLER L. et SPATZ H.C. – Micromechanics of plant tissues beyond the linear-elastic range. *Planta*, 215, p. 33-40 (2002).
- [30] EL MAHI A, BEZAZI A, BERTHELOT J-M. - Comportement des stratifiés croisés en flexion 3 points. Congrès Matériaux 2002, Tours (France) 21 – Octobre 2002.
- [31] BISANDA E.T.N. et ANSELL M.P. – Properties of sisal/CNSL composites. *Journal of Materials Science*, vol. 27, p. 1690-1700(1992).
- [32] ROE P.J. ET ANSELL M.P. – Jute-reinforced polyester composites. *J. Mater.* vol. 20, issue 11, p. 4015-4020 (1985).
- [33] GUILLON (D.). – Fibres de verre de renforcement. *Techniques de l'Ingénieur A 2 110, Plastiques et Composites* (1995).
- [34] LUYCKX (J.). – Fibres de carbone. *Techniques de l'Ingénieur A 2 210, Plastiques et Composites* (1995).
- [35] GANSTER (J.), et FINK (H.P.). – Physical constants of cellulose. In : Brandrup (J.), Immergut (E.H.), Grulke (E.A.), editors. *Polymer Hand-book*. New York ; John Wiley and Sons (1999).
- [36] TROGER (F.), WEGENER (G.), et SEEMANN (C.). – Miscanthus and flax as raw material for reinforced particleboards. *Industrial Crops and Products*, 8, p. 113-121 (1998).
- [37] BATRA (S.K.). – Other long vegetable fibers. In : Lewin (M.), Pearce (E.M.), editors. *Hand-book of fibre Science and Technology*. New York. Marcel Dekker, vol. IV, *Fibre Chemistry*, p. 505-575 (1998).
- [38] DAVIES (G.C.) et BRUCE (D.M.). – Effect of environmental relative humidity and damage on the tensile properties of flax and nettle fibers. *Textile Res. J.*, 68 (9), p. 623-629 (1998).
- [39] ROE (P.J.) et ANSELL (M.P.). – Jute-reinforced polyester composites. *J. Mater. Sci.*, vol. 20, issue 11, p. 4015-4020 (1985).

- [40]NABI SAHEB (D.) et JOG (J. P.) . – Natural fiber polymer composites : a review. *Advances in Polymer Technology*, vol. 18, issue 4, p. 351-363 (1999).
- [41]MWAIKAMBO (L. Y.) et ANSELL (M.P.). – The effect of chemical treatment on the properties of hemp, sisal, jute and kapok for composite reinforcement. *die Angewandte Makro-molekulare Chemie*, vol. 272, issue 1, p. 108-116, décembre 1999.
- [42]ISHIKAWA (A.), KUGA (S.) et OKANO (T.). – Determination of parameters in mechanical model for cellulose III fibre. *Polymer*, vol. 39, issue 10, p. 1875-1878, 10 mai 1998.
- [43]ANGELINI (L.G.), LAZZERI (A.), LEVITA (G.), FONTANELLI (D.) et BOZZI (C.). – Ramie (*Boehmeri nivea* (L.) Gaud.) and Spanish Broom (*Spartium junceum* L.) fibres for composites materials : agronomical aspects, morphology and mechanical properties. *Industrial Crops and Products*, 11, p. 145-131 (2000).
- [44]WANG (H.H.), DRUMMONT (J.G.), REATH (S.M.), HUNT (K.) et WATSON (P.A.). – An improved fibril angle measurement method for wood fibres. *Wood Science and Techno-logy*, 34, p. 493-503 (2001)
- [45]MUKHERJEE (P.S.) et SATYANARAYANA (K.G.). – Structure and properties of some vegetable fibers. II. Pineapple fibre. II. Pine-apple fibre. *Journal of Materials Science*, vol. 21, p. 51-56 (1986).

# ANNEXES




**Annexe A**

## Bulletins d'analyse de jute Par CNTC

Cette figure représente une analyse sur un tissu de jute utilisé à grosse maille au niveau de CNTC de Boumerdes.

SGP - DIPREST

**CNTC** Route du Marché B.P. 65 M. Boumerdes 35000  
 Tél : (024) 81 15 66/67 - (024) 81 96 66  
 Fax : (024) 81 13 52 - (024) 81 65 09  
 E-mail: cntc@generat.com.alger.dz Site Web: www.generat.com  
 SPA AU CAPITAL DE : 20.000.000 DA

  
CNTC

Direction des Laboratoires  
Textiles, Cuirs et Chimie  
Laboratoire Textiles

Boumerdes le 06/06/2005

**Bulletin d'analyses**

> Client : BELKACEMI - Université de Boumerdes -

> Code échantillon : A

Nature de l'essai	Unités	Résultats
Poids au m <sup>2</sup>	G/m <sup>2</sup>	517
Densité en Chaîne Trame	Fils/10cm	40
		80

Signature





Figure .B. Jute grosse maille utiliser.

Cette figure représente une analyse sur un tissu de jute utilisé à maille fine au niveau de CNTC de Boumerdes.

SGP - DIPREST

**CNTC**      Route du Marché B.P. 65 M Boumerdes 35000  
 Tél : (024) 81 13 65 87 - (024) 81 96 66  
 Fax : (024) 81 13 57 - (024) 81 65 09  
 E-mail : [info@cntc.dz](mailto:info@cntc.dz) Site Web : [www.cntc.dz](http://www.cntc.dz)  
 SPA-SI CAPITAL DE : 20 000 000 DA

  
CNTC

Direction des Laboratoires  
Textiles, Cuirs et Chimie  
Laboratoire Textiles

Boumerdes le, 06/06/2005

**Bulletin d'analyses**

➤ Client : BELKACEMI - Université de Boumerdes -

➤ Code échantillon : E

Nature de l'essai	Unités	Résultats
Poids au m <sup>2</sup>	G/m <sup>2</sup>	45
Densité en Chaine	Fils/10cm	60
Trame		60

Signature





Figure .B.2. Jute maille fine utiliser.

Cette figure représente une analyse sur un tissu de jute neuf à maille fine au niveau de CNTC de Boumerdes.

SGP - DIPREST

**CNTC**   
CNTC

Route de Marche B.P. 65 Al Boumerdes 38000  
Tel : (+24) 31 15 66 67 - (+24) 31 96 66  
Fax : (+24) 31 13 57 - (+24) 31 65 09  
E-mail : [contact@cntc.com](mailto:contact@cntc.com) Site Web : [www.cntc.diprest.com](http://www.cntc.diprest.com)  
SPR AU CAPITAL DE : 20.000.000 DA

Direction des Laboratoires Boumerdes le: 06/06/2005  
Textiles, Cuir et Chimie  
Laboratoire Textiles

**Bulletin d'analyses**

Client : BELKACEMI - Université de Boumerdes

Code échantillon : D

Nature de l'essai	Unités	Résultats
Poids au m <sup>2</sup>	G/m <sup>2</sup>	416
Densité en Chaîne	Fils/10cm	60
Trame		60

Signature





Figure .B.3. Jute maille fine neuf

Cette figure représente une analyse sur un tissu de jute neuf à grosse maille au niveau de CNTC de Boumerdes.

SGP - DIPRES I

**CNTC**      Route du Marché B.P. 6531 Boumerdes 35010  
 Tél. : (024) 81 15 66 67 - (024) 81 26 66  
 Fax : (024) 81 13 57 - (024) 81 65 09  
 E-mail: [clients@cntc.dipres.com](mailto:clients@cntc.dipres.com)    Site Web: [www.cntc.dipres.com](http://www.cntc.dipres.com)  
 SPA AU CAPITAL DE : 20.000.000 DA

  
CNTC

Direction des Laboratoires      Boumerdes le: 06/06/2006  
 Textiles, Cuirs et Chimie  
 Laboratoire Textiles

**Bulletin d'analyses**

> Client : BELKACEMI - Université de Boumerdes

> Code échantillon : B

Nature de l'essai	Unités	Résultats
Poids au m <sup>2</sup>	Gr/m <sup>2</sup>	421
Densité en Chaine	Fils/10cm	50
Trame		40

Signature

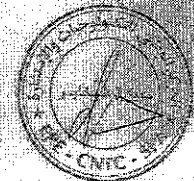
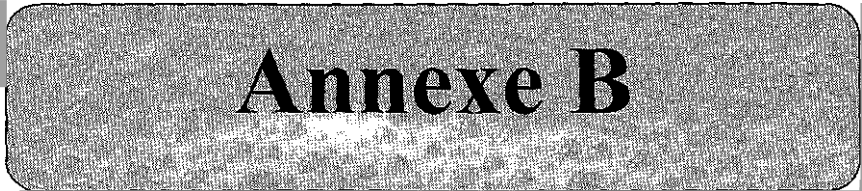


Figure .B.4. Jute grosse maille neuf:





**Annexe B**

## Essais de traction des éprouvettes de jute

Nous présentons les essais, résultats, courbes et tableaux des valeurs sur machine universelle pilotée par ordinateur :

Les essais à la traction sur éprouvettes de jute tissé effectués au laboratoire, porteront sur plusieurs séries de cinq éprouvettes chacune selon la norme AFNOR NF T 57-105 équivalente à la norme ASTM D 790-84a, avec une vitesse d'essai de  $2 \text{ mm} \times \text{min}^{-1}$ , les résultats sont données par une machine universelle de type Zwick 250kN avec un capteur de force de 2,5 kN , la machine est pilotée par ordinateur (logiciel TestXpert V 9.0)

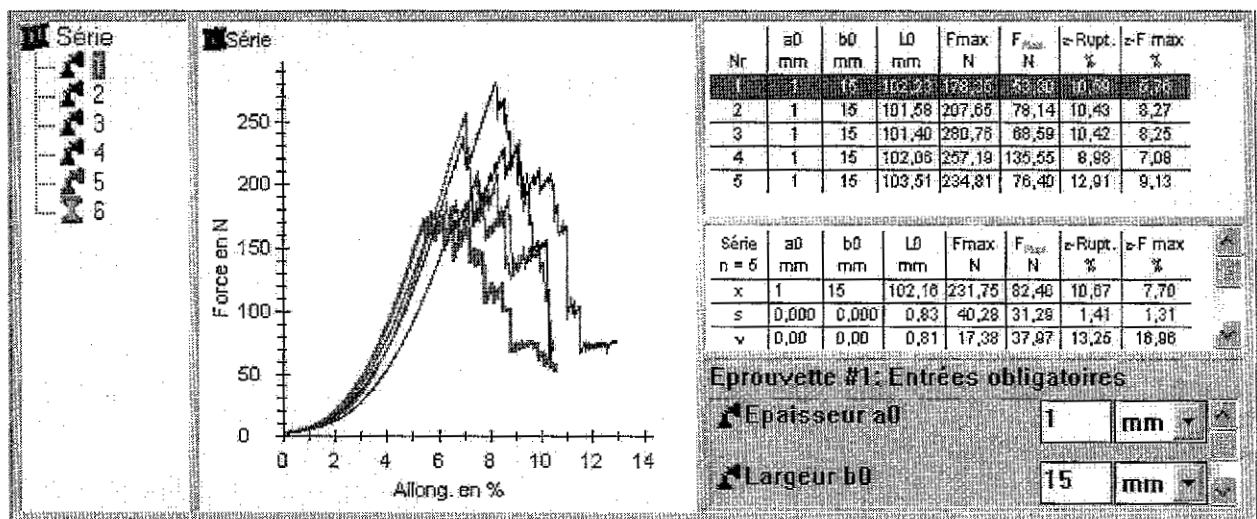


Figure. A. 4.1: Essais de traction du jute utilisé non ensimé grosse maille à 0" (a)

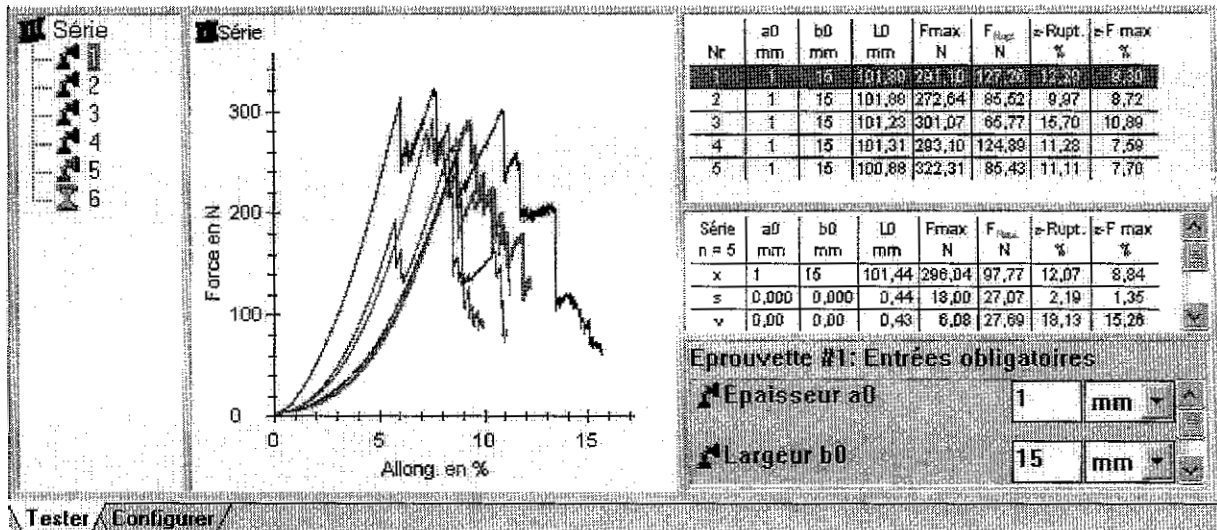


Figure A.4.2. Essais de traction du jute utilisé ensimé grosse maille à 0" (a).

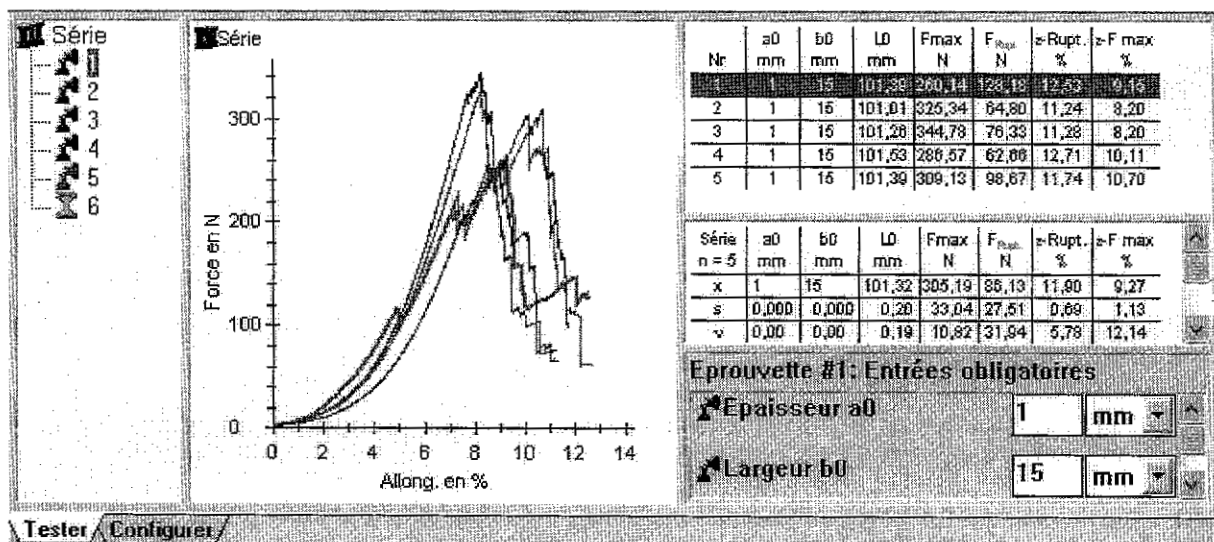


Figure A 4.3 Jute utilisé, non ensimé, grosse maille à 0"

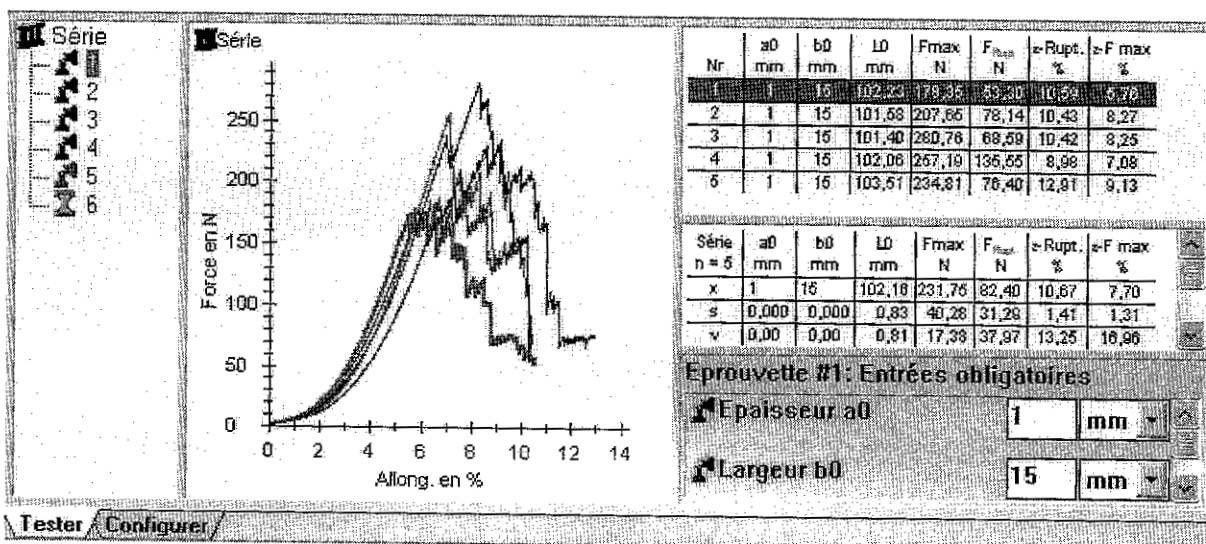


Figure A 4.4 Jute utilisé, non ensimé, grosse maille à 90°

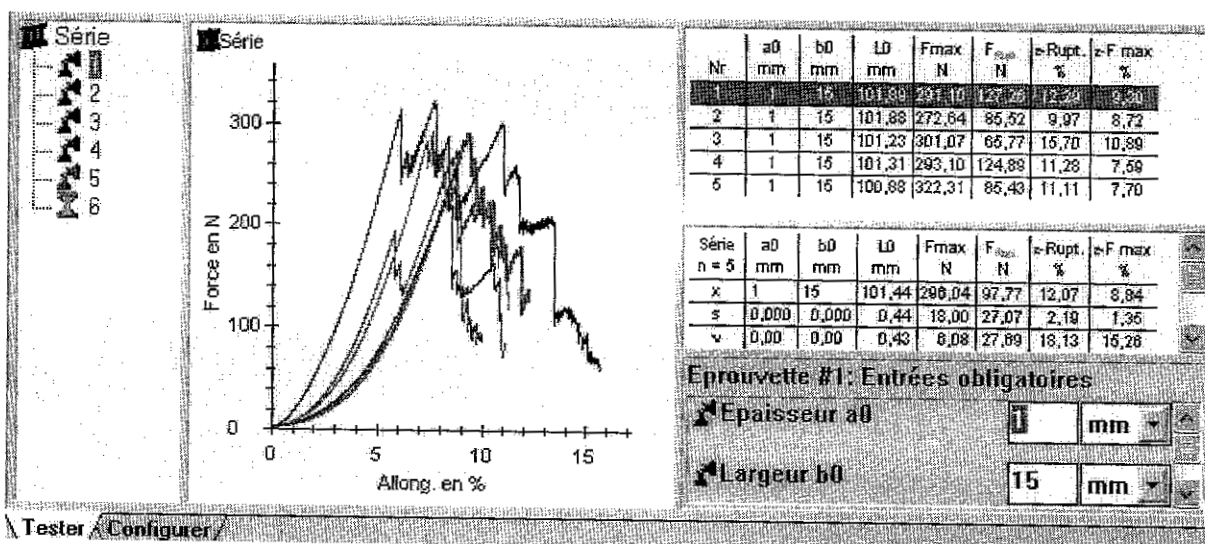


Figure A 4.5 Jute utilisé, non ensimé, grosse maille à 90°

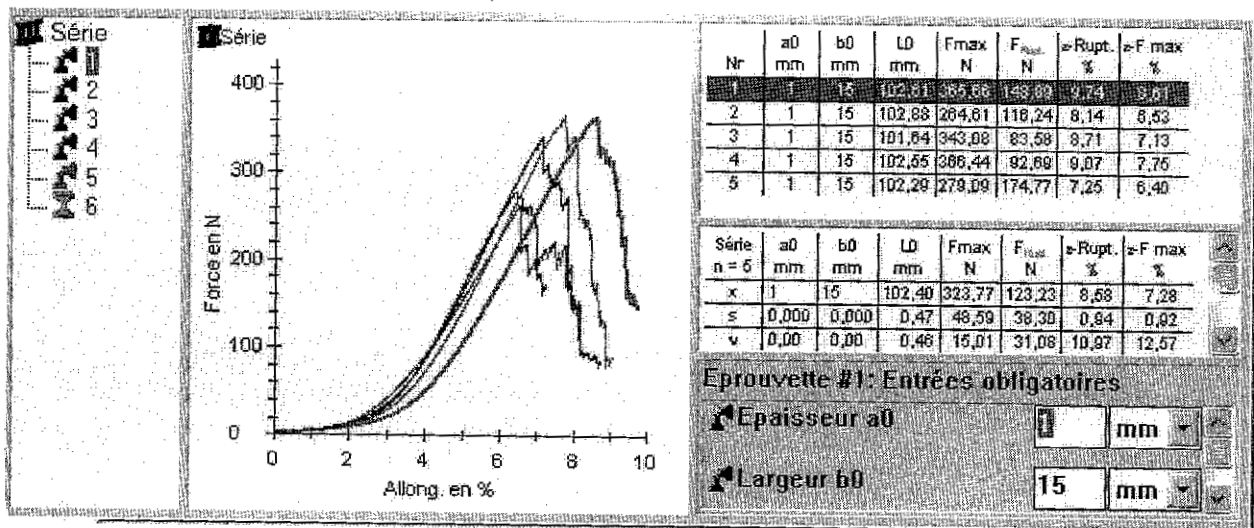


Figure A 4.6 : Jute neuf, non ensimé, grosse maille à 90°

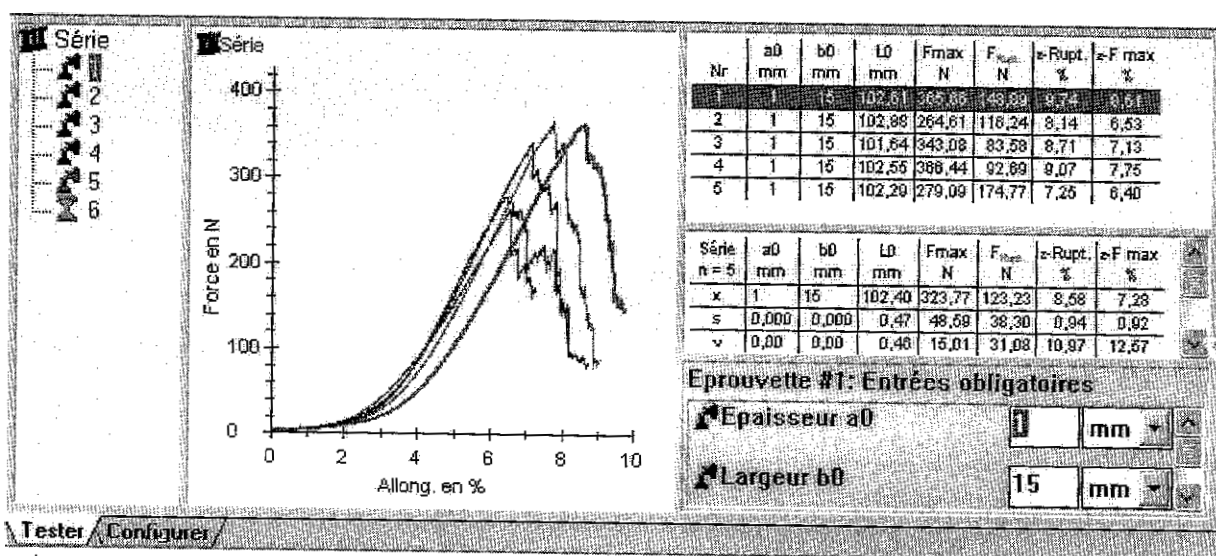


Figure A 4.7 : Jute neuf, ensimé, grosse maille à 90°

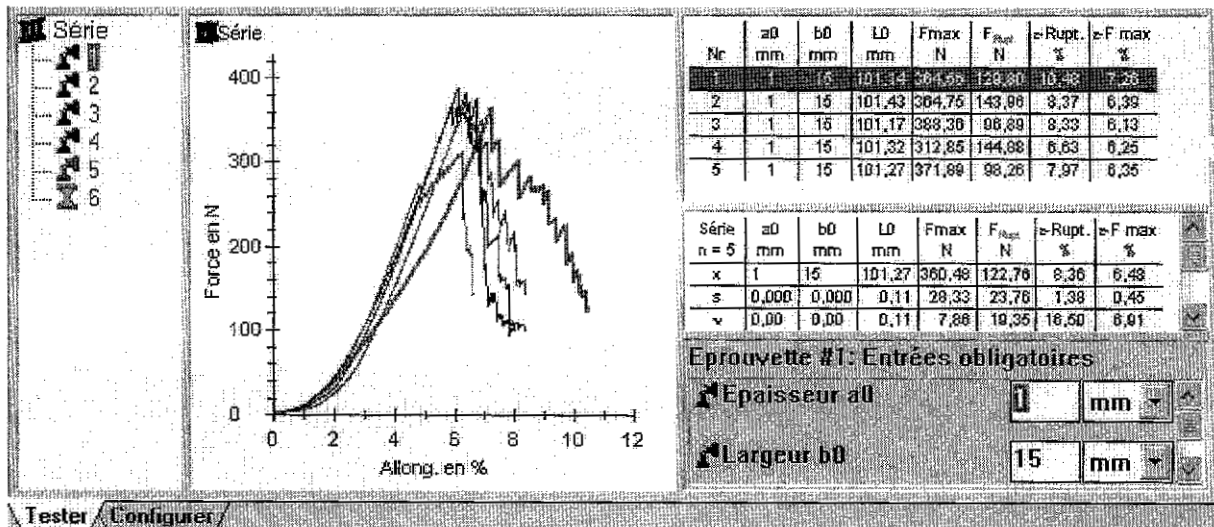


Figure A 4.8 : Jute neuf, ensimé, grosse maille à 0°

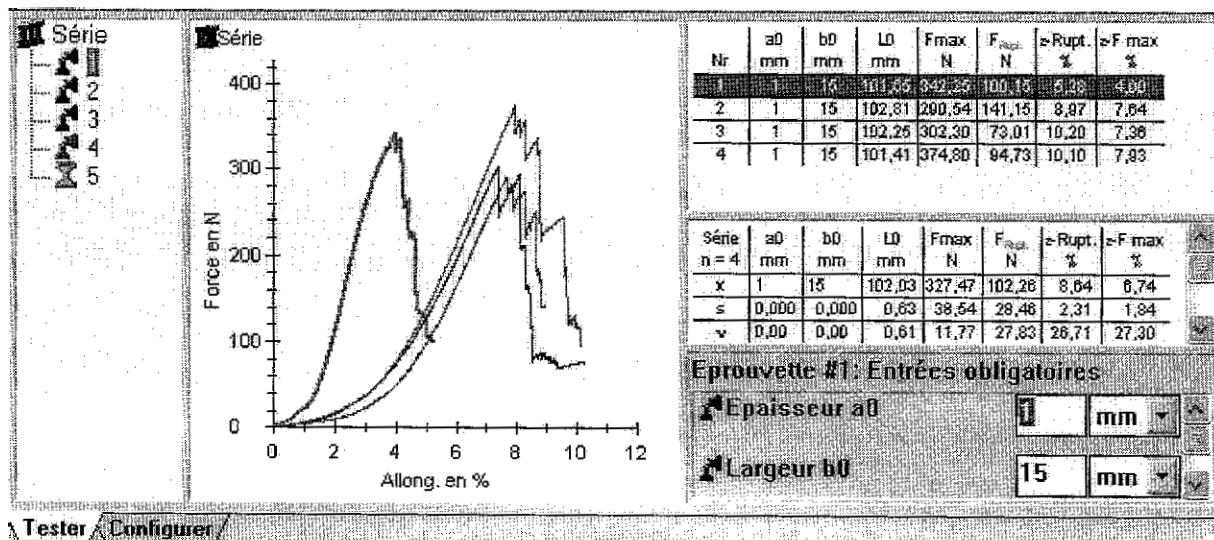


Figure A 4.9 : Jute neuf; ensimé, grosse maille à 90°

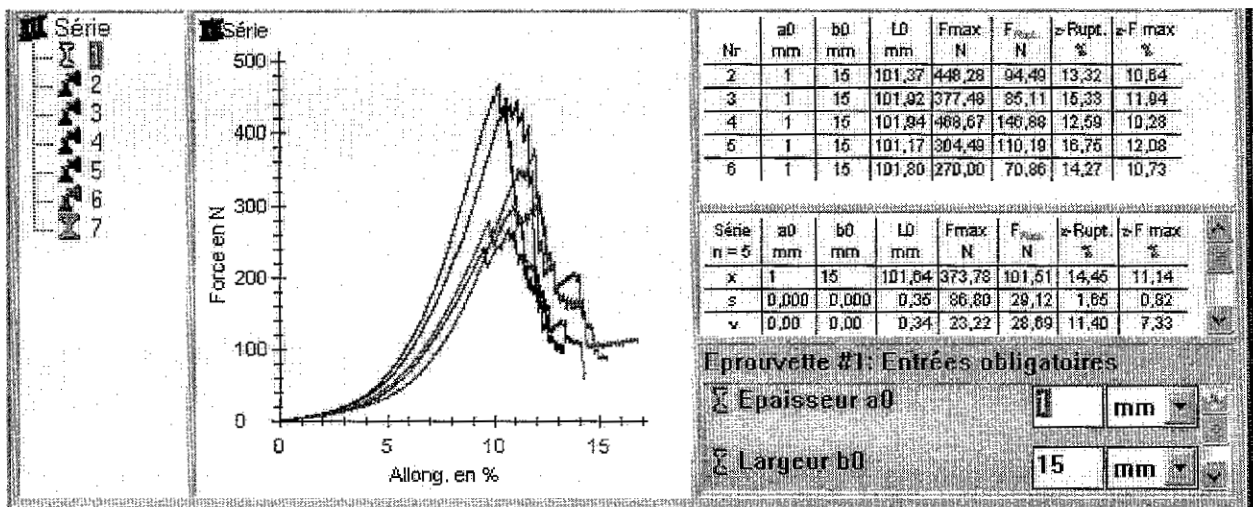


Figure A 4.10 : Jute neuf, non ensimé, grosse maille à 0" (c)

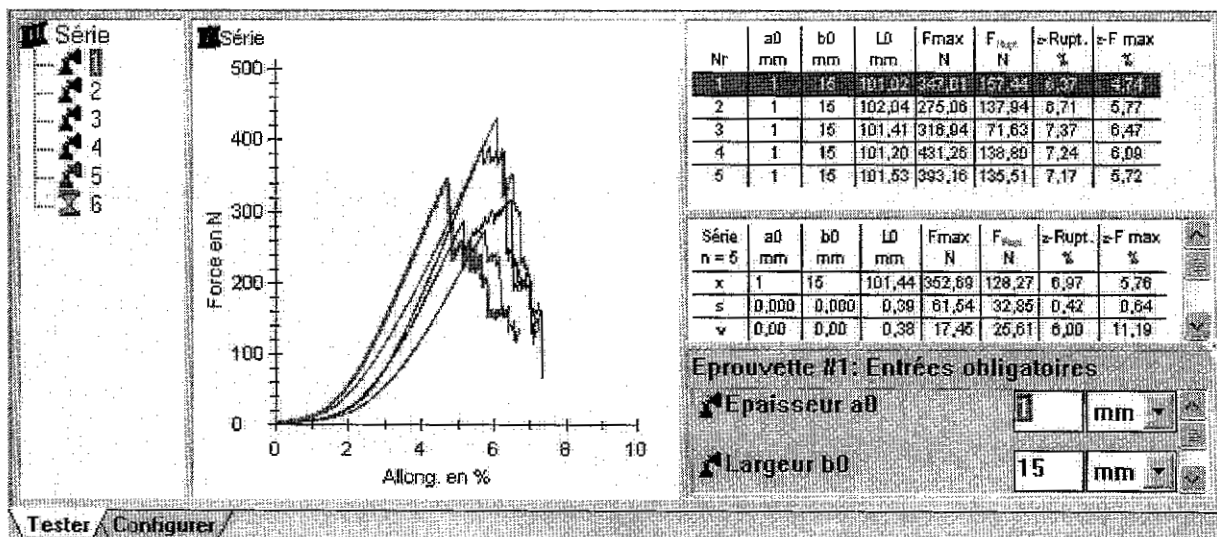


Figure A 4.11 : Jute utilisé, non ensimé, grosse maille à 0" (c)

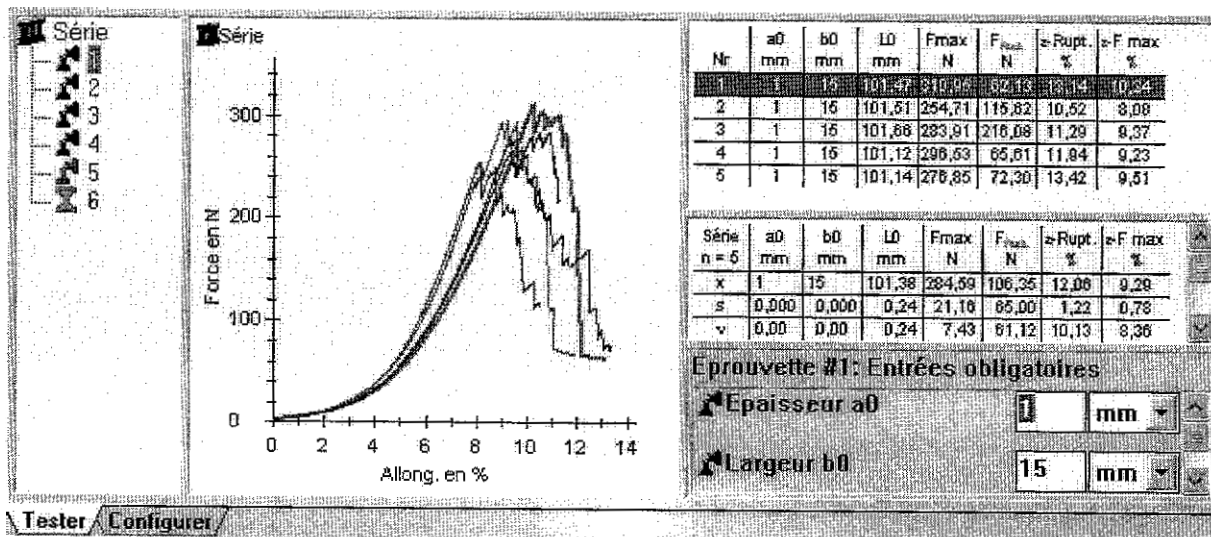


Figure A 4.12 :Jute utilisé, non ensimé, grosse maille à 0" (cj)

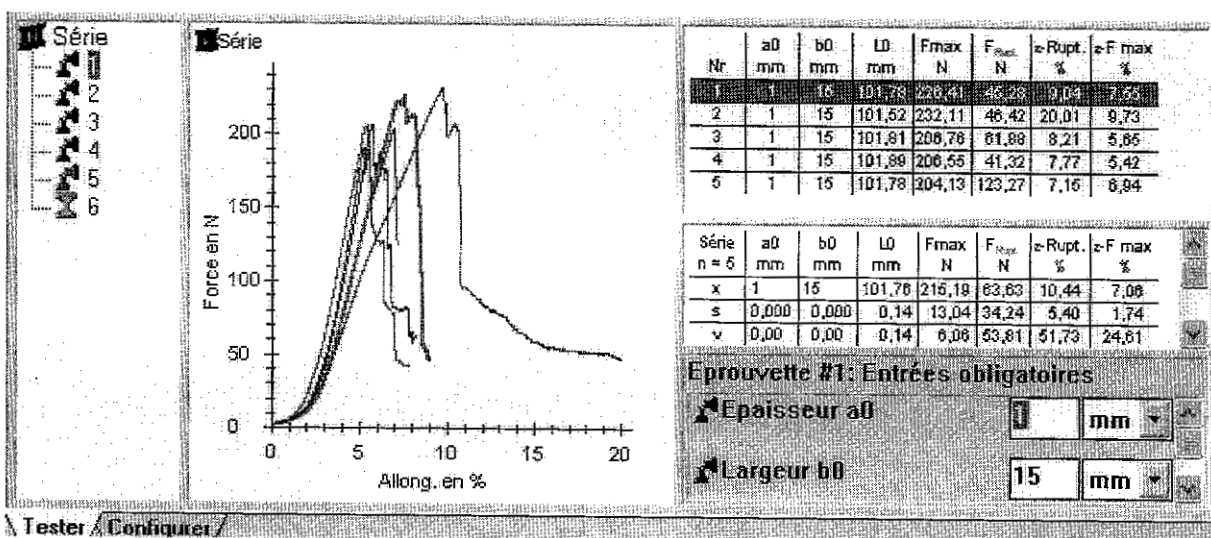


Figure A 4.13 :Jute utilisé, ensimé, grosse maille à 90" (cj)



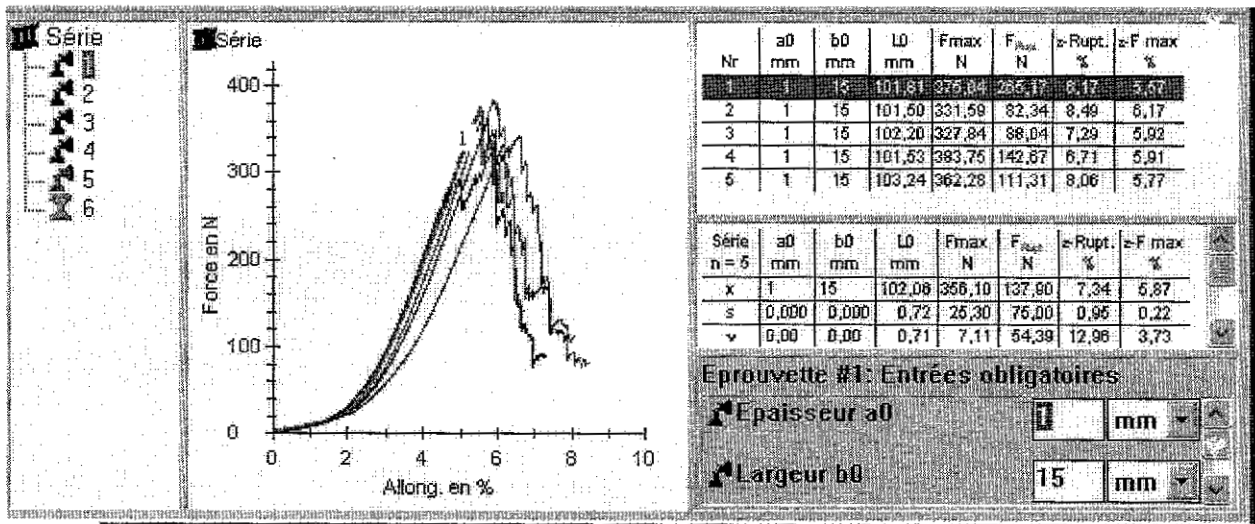


Figure A 4.14 : Jute neuf, ensimé, grosse maille à 0° (d)

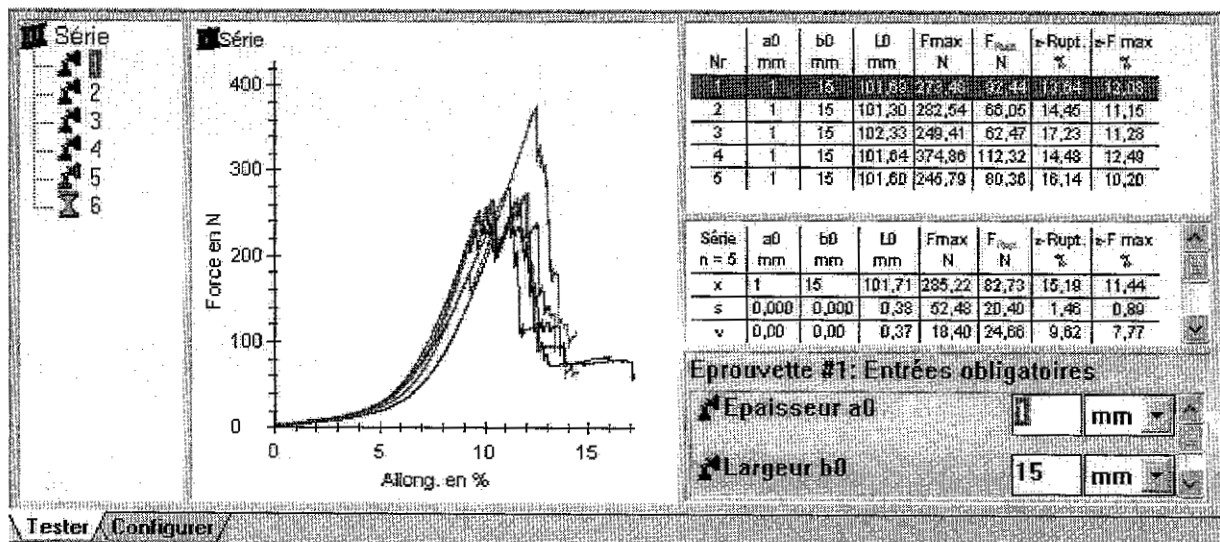


Figure A 4.15 : Jute neuf, ensimé, grosse maille à 90° (d)

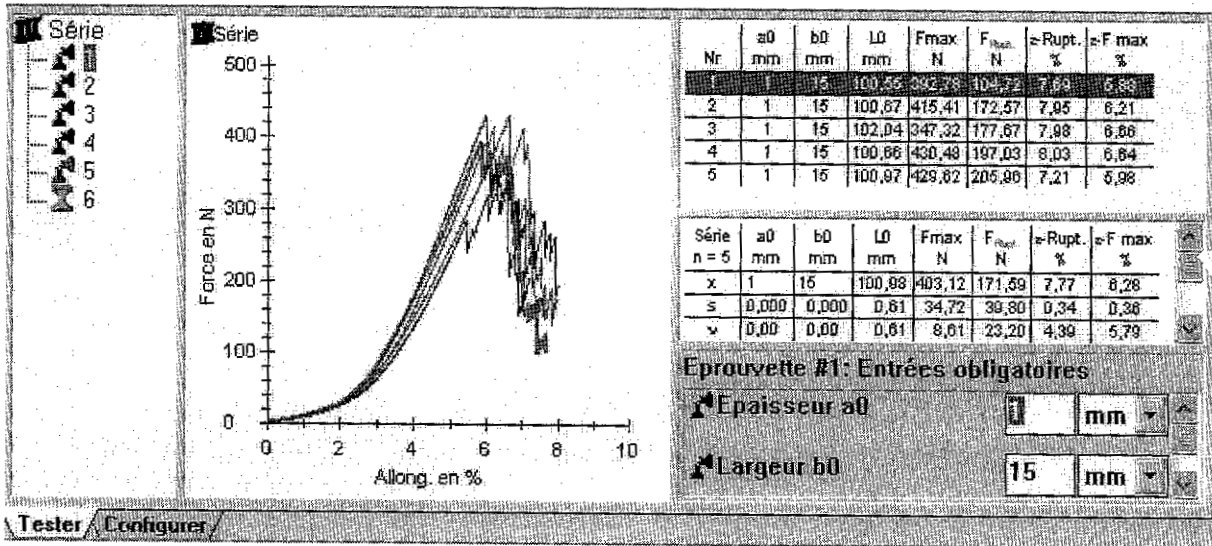


Figure A 4.16 Jute neuf, non ensimé, grosse maille à 0° (d)

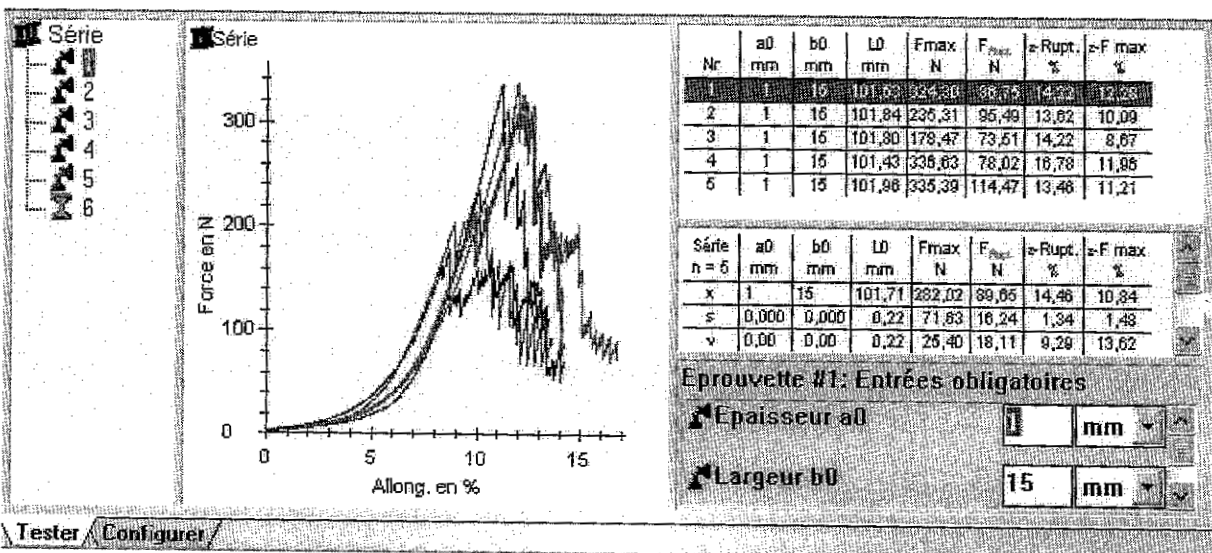


Figure A 4.17 : Jute neuf, non ensimé, grosse maille à 90° (d)

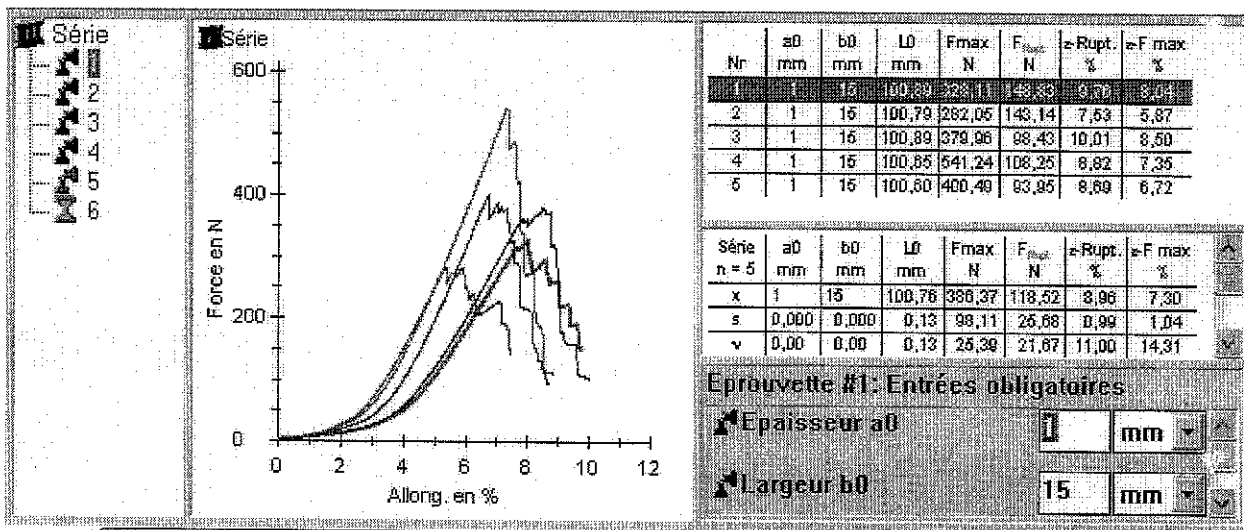


Figure A 4.18 :Jute utilisé, ensimé, maille fine à 0° (e)

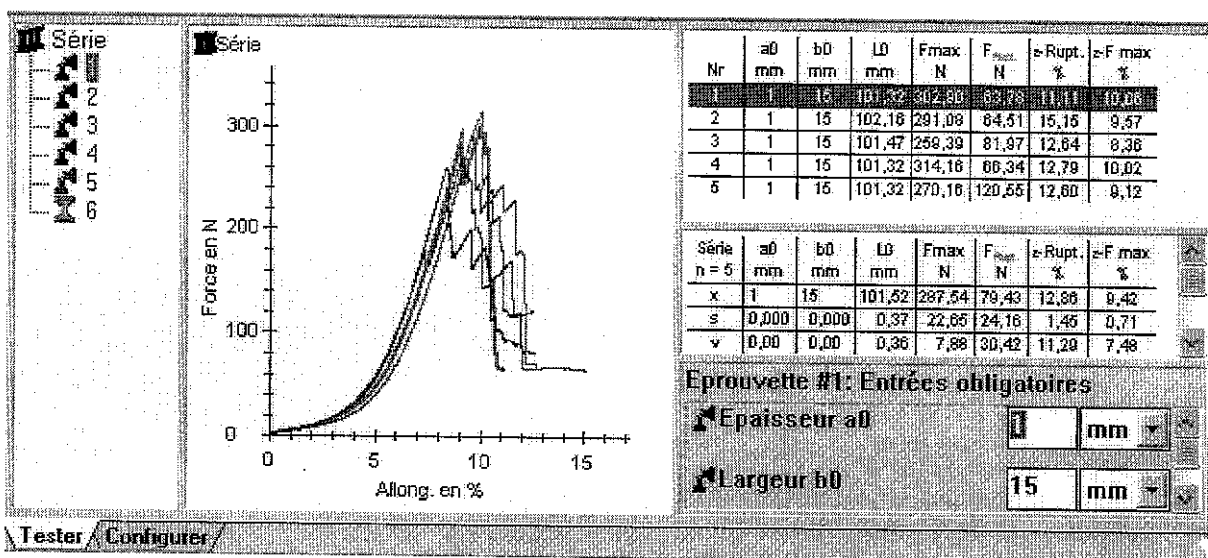


Figure A 4.19 :Jute utilisé, ensimé, maille fine à 90° (e)

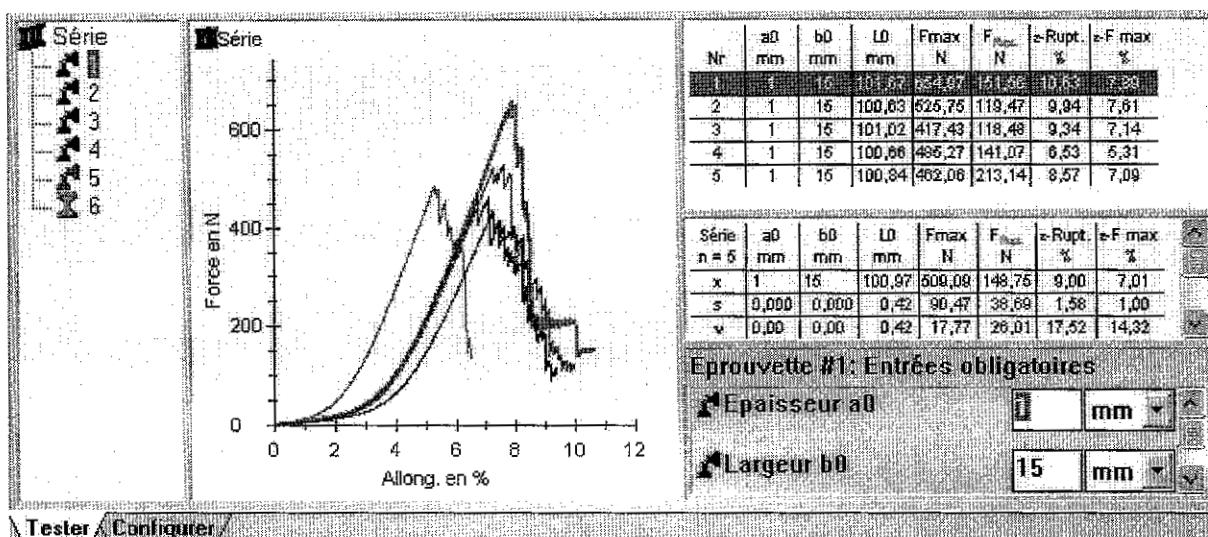


Figure A 4.20 : Jute utilisé, non ensimé, maillefine à 0° (e)

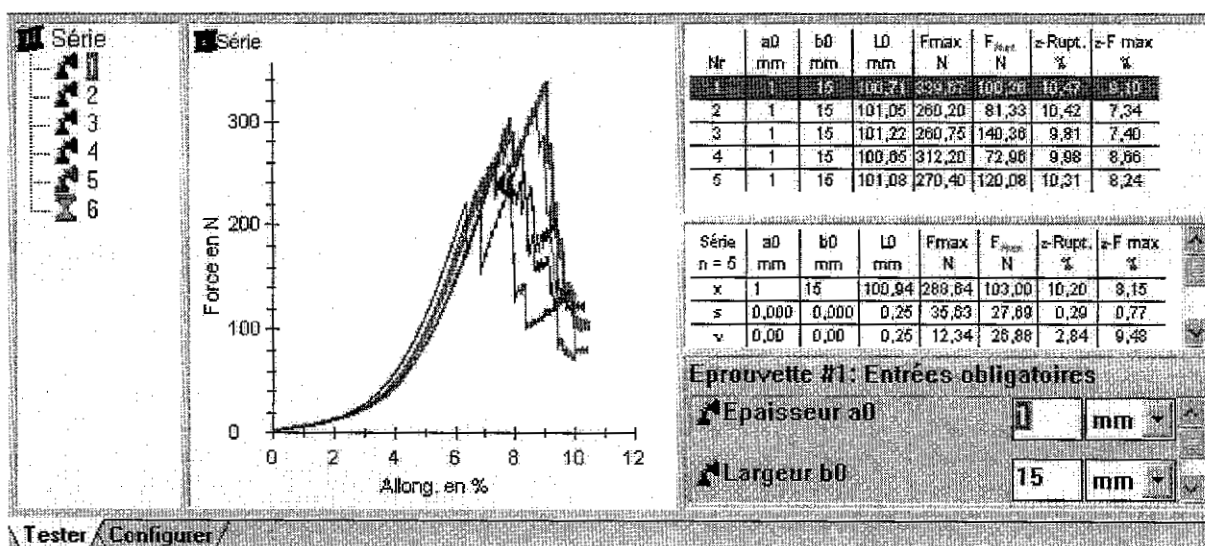


Figure A 4.21 : Jute utilisé, non ensimé, maillefine à 90° (e)

## Courbes des essais en flexion 3 points des stratifiés

### Stratifiés 1

Etude comparative en flexion 3 points entre un stratifié à base de renfort naturel (jute) et renfort métallique (grillage)

Courbe verte : stratifié à renfort métallique

Courbe bleue : stratifié à renfort naturel (jute)

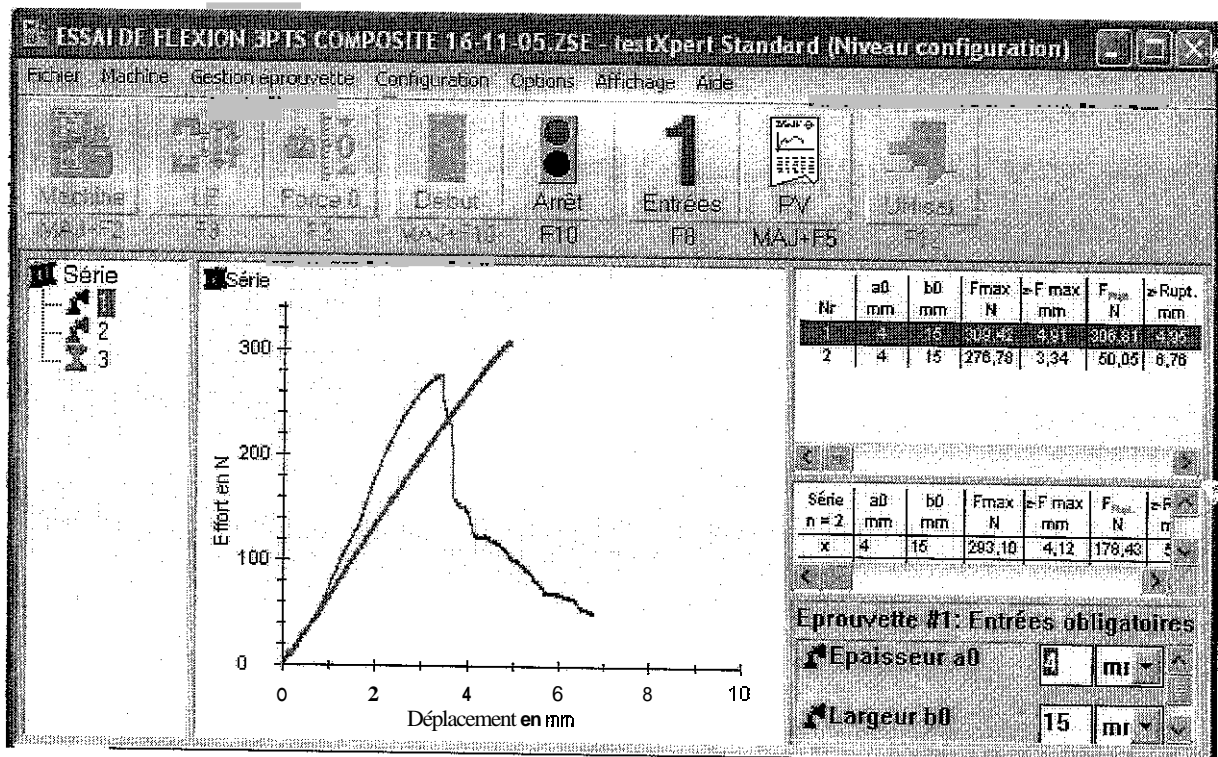


Figure A 4.22 : Essai deflexion 3 points entre un stratifié à base de renfort naturel (jute) et renfort métallique (grillage)



**Annexe C**

## Résines utilisées

Les différents types de résines que nous avons utilisé ont été fournis par la société Granitex située dans la zone industrielle de Oued Smar Alger :

**GRANITEX NOUVEAUX PRODUITS**

Adresse : Zone industrielle - B.P 85 - Oued Smar - 16270 Alger - Algérie

Tél.: 021.51.37.90 / 021.51.65.55 / 021.51.66.81 & 82

Fax : 021.51.64.22 / 021.51.65.23

E-mail : [granitex@granitex-np.com](mailto:granitex@granitex-np.com)

site web : [www.granitex-np.com](http://www.granitex-np.com)

### **MEDAPOXY INJECT** : Résine époxy sans solvant pour injection

Résine très fluide

La première résine utilisée est une résine utilisée dans le béton aussi, présentant les caractéristiques ci-dessous :

### **DESCRIPTION**

Le **MEDAPOXY INJECT** est une résine époxy livrée sous forme de kit prédosé à 2 composants :

- élément A : Résine
- élément B : Durcisseur

### **PROPRIETES**

- Excellente adhérence sur supports béton et mortier - Très bonne mouillabilité qui permet le passage du produit dans les interstices les plus fins :

- Absence totale de retrait au durcissement
- Très bonnes résistances mécaniques et chimiques

### **DOMAINES D'APPLICATION**

Le **MEDAPOXY INJECT** est spécialement conçu pour la réparation des microfissures sur béton et mortiers.

### **CARACTERISTIQUES**

Rapport du mélange :

Elément A : 3 kg Elément B : 2 kg

Densité : ..... 1,1 ± 0,1

Viscosité à 25°C : ..... .800 mPa.s

Durée de vie en pot après mélange : 30 minutes à 20 °C

Adhérence sur béton ..... > 3 Mpa

Résistance à la compression ..... 70 Mpa

Résistance à la traction par flexion...30 Mpa

## **MODE D'EMPLOI CONDITIONS D'UTILISATION**

- Ne pas appliquer lorsque la température ambiante ou celle du support est inférieure à 10°C ou supérieure à 35°C.

### **PREPARATION DU SUPPORT**

Les bétons ou mortiers 'injectés' doivent avoir au moins 28 jours d'âge. Ils doivent être secs, propres et débarrassés des parties non adhérentes. Nettoyer soigneusement et dépoussiérer.

### **MELANGE**

Le produit mélangé a une durée de vie en pot limitée La durée de vie en pot du mélange est de 30 minutes à 20°C; terminer tous les préparatifs avant la préparation du mélange et ne préparer que la quantité de mélange pouvant être utilisée durant ce temps.

Il est très important de bien remuer les deux éléments constituant le MEDAPOXY INJECT afin d'obtenir un mélange homogène et de complètement vider les récipients afin de respecter le rapport du mélange.

Verser l'élément B (durcisseur) dans l'élément A (résine) en veillant à respecter le rapport de mélange : 665 grammes d'élément B (durcisseur) pour 1 kg d'élément A (résine).

Ne pas mélanger manuellement. Remuer pendant 3 à 5 minutes avec un agitateur électrique à faible vitesse de rotation. Raclez plusieurs fois les parois du récipient afin d'assurer une dispersion totale.

### **APPLICATION**

Injection par pistolet Coulage (fissures larges):

- Réaliser des trous tous les 15 à 30 cm le long de la fissure. Etaler un mortier de ciment ou une bande adhésive sur la fissure en veillant à ne pas boucher les trous.
- Couler le **MEDAPOXY INJECT** dans le premier trou.
- Lorsque le **MEDAPOXY INJECT** ressort par le deuxième trou, boucher le premier trou et couler dans le deuxième trou.
- Continuer ainsi jusqu'au dernier trou.
- Laisser durcir pendant 24 heures

### **CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE**

Livré en kit de 30 kg : élément A : 18kg élément B : 12 kg



Le produit se conserve 1 année à l'abri de la chaleur et de l'humidité dans son emballage d'origine fermé hermétiquement.

## PRECAUTIONS D'EMPLOI

Les résines époxydiques peuvent irriter la peau et les muqueuses. En conséquence, il est conseillé de mettre des gants de caoutchouc lors de l'utilisation.

En cas de contact avec les yeux, laver à grande eau et consulter un médecin.

Nettoyer les outils après l'application à l'aide d'un diluant époxy (**MEDILWOX**).

La deuxième résine et la résine **MEDAPOXY STR** (verte)

## **MEDAPOXY STR : Revêtement époxy par stratification**

### DESCRIPTION

Le **MEDAPOXY STR** est une résine époxy livrée sous forme de kit prédosé de 2 composants :

- élément A : Résine
- élément B : Durcisseur

### PROPRIETES

- Très bonne tenue aux produits chimiques (nous consulter)
- Très bonne adhérence sur supports béton et acier
- Bonne mouillabilité du support et de la fibre de verre
- Bon durcissement et brillant

### DOMAINES D'APPLICATION

- 1- Stratification à la fibre de verre des réservoirs ou bassins contenant des produits chimiques agressifs (acides, bases, solvants, pétrole, etc.)
- 2- **Vitrification** (sans stratification) des bassins et réservoirs en béton et en acier.

**CARACTERISTIQUES** (à 20°C et 65% H.R. sauf indication contraire) Rapport du mélange :

Elément A : 1 kg

Elément B : 666 g

- Densité : ..... 1,1 ± 0,05
- Viscosité : ..... 11000 mPaS à 25°C
- Durée de vie en pot après mélange : ..1 heure 15 mn à 20 °C et 65% HR
- Temps de durcissement : Hors poisse : ....6 h
- Complet : ..... 16 h
- Aspect du film après durcissement : .....lisse et brillant
- Résistance à la compression .....> 70 Mpa
- Résistance à la flexion par traction....25 Mpa
- Adhérence sur béton ..... 2,5 Mpa
- Adhérence sur acier ..... 3 Mpa

## MODE D'EMPLOI CONDITIONS D'UTILISATION

- Ne pas appliquer lorsque la température ambiante ou celle du support est inférieure à 10°C ou supérieure à 35°C.
- L'humidité relative de l'air doit être inférieure à 80%.

## PREPARATION DU SUPPORT

### Support béton ou mortier

- Les bétons ou mortiers 'supports' doivent avoir au moins 28 jours d'âge.
- Le support doit être sec, propre et débarrassé des parties non adhérentes. Toutes traces d'huiles, graisses, peintures, laitance ou autres souillures doivent être éliminées. Nettoyer soigneusement et dépoussiérer.

### Supports métalliques

- Décaper les surfaces métalliques par grenailage ou sablage ou éventuellement avec un disque abrasif ou à la toile émeri.

## MELANGE

Le produit mélangé a une durée de vie en pot limitée La durée de vie en pot du mélange est de 1h à 20°C et 30 minutes à 30°C; terminer tous les préparatifs avant la préparation du mélange et ne préparer que la quantité de mélange pouvant être utilisée durant ce temps.

Il est très important de bien remuer les deux éléments constituant le MEDAPOXY STR afin d'obtenir un mélange homogène et de complètement vider les récipients afin de respecter le rapport du mélange.

Verser l'élément B (durcisseur) dans l'élément A (résine) en veillant à respecter le rapport de mélange : **666** grammes d'élément B (durcisseur) pour 1 kg d'élément A (résine).

Ne pas mélanger manuellement. Remuer pendant 3 à 5 minutes avec un agitateur électrique à faible vitesse de rotation. Raclez plusieurs fois les parois du récipient afin d'assurer une dispersion totale.

## IMPREGNATION

### Supports en béton ou mortier

Le primaire MEDA-IMPREGNATION est utilisé pour imprégner le support afin d'améliorer les caractéristiques et fermer la porosité de surface pour éviter le phénomène de bullage. Lorsqu'il a séché pendant environ **6** à **8** heures mais en aucun cas plus de 24 heures, le revêtement

**MEDAPOXY STR** peut être appliqué. Un séchage plus long du **MEDA-IMPREGNATION** rendra nécessaire son ponçage afin d'assurer une adhésion adéquate.

Par temps très chaud il faut réduire le temps de séchage du **MEDA-IMPREGNATION**.

### **Supports métalliques**

Tout de suite après le décapage du support, appliquer une couche de notre primaire anticorrosion **MEDAPOXY PRIMER AC** et pendant que cette couche est encore poisseuse appliquer le **MEDAPOXY STR**.

### **APPLICATION**

#### **STRATIFICATION :**

- 1- Appliquer une première couche de **MEDAPOXY STR** à l'aide d'un rouleau à raison de 1 kg/m<sup>2</sup> environ.
- 2- Poser immédiatement après une couche de mat de verre non tissé (**MEDAVER**) (300 à 450 g/m<sup>2</sup>) en la pressant bien dans la résine au moyen d'un rouleau. **Il est impératif d'éviter la formation de poches d'air.**
- 3- Un chevauchement de 3 à 5 cm des bandes de mat de verre est indispensable.
- 4- La première couche de stratifié ayant durci à l'état poisseux, appliquer une deuxième couche de **MEDAPOXY STR** (environ 1 kg/m<sup>2</sup>)
- 5- Procéder à la deuxième stratification (idem que 2)
- 6- Après durcissement à l'état poisseux de la 2<sup>ème</sup> stratification, appliquer une couche de finition de **MEDAPOXY STR** à raison de 1,5 kg/m<sup>2</sup> environ.
- 7- Laisser durcir 10 jours avant la mise en service.

### **CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE**

Livré en kit de 30 kg : élément A : 18 kg élément B : 12 kg

Le produit se conserve 1 année à l'abri de la chaleur et de l'humidité dans son emballage d'origine fermé hermétiquement.

### **PRECAUTIONS D'EMPLOI**

Les résines époxydiques peuvent irriter la peau et les muqueuses. En conséquence, il est conseillé de mettre des gants de caoutchouc lors de l'utilisation.

En cas de contact avec les yeux, laver à grande eau et consulter un médecin.

Nettoyer les outils après l'application à l'aide d'un diluant époxy (**MEDILUPOX**) .



**Annexe D**

## ESSAIS DE FLEXION DES STRATIFIES

Nous présentons les essais de flexion, résultats, courbes et tableaux des valeurs sur machine universelle pilotée par ordinateur :

Les essais de flexion sur stratifiée effectués au laboratoire, porteront sur plusieurs séries de cinq éprouvettes chacune selon la norme AFNOR NF T 57-105 équivalente à la norme ASTM D 790-84a, avec une vitesse d'essai de  $2 \text{ mm} \times \text{min}^{-1}$ , les résultats sont données par une machine universelle de type Zwick 250kN avec un capteur de force de 2,5 kN ,la machine est pilotée par ordinateur (logiciel TestXpert V 9.0)

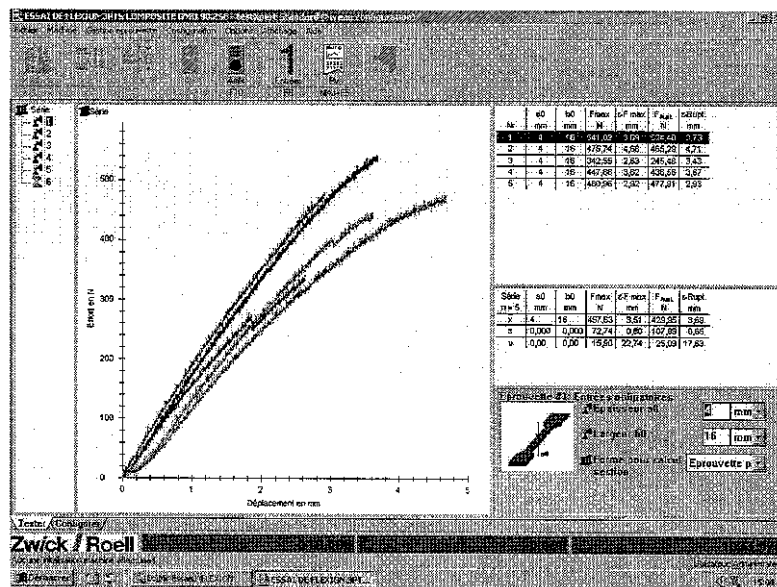


Figure D 1 : Stratifiée GMU 90

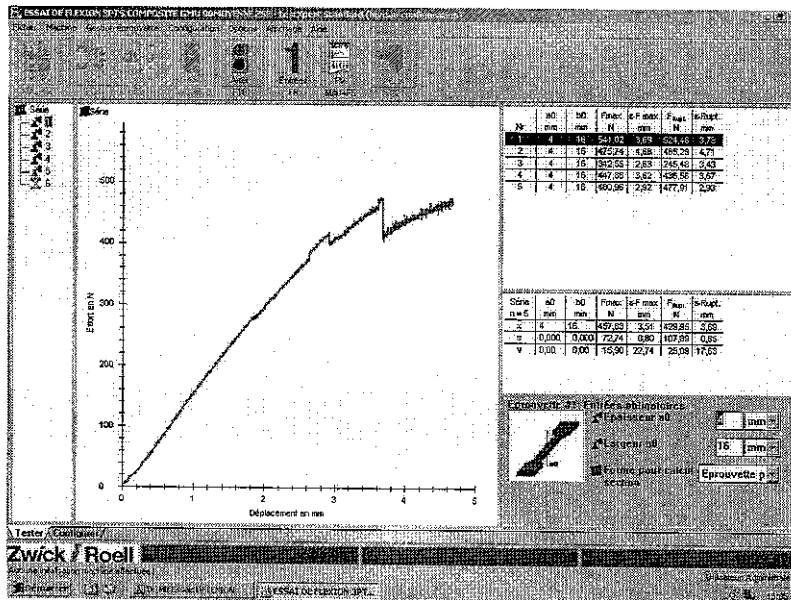


Figure D2 : Stratifié GMU 90 moyenne

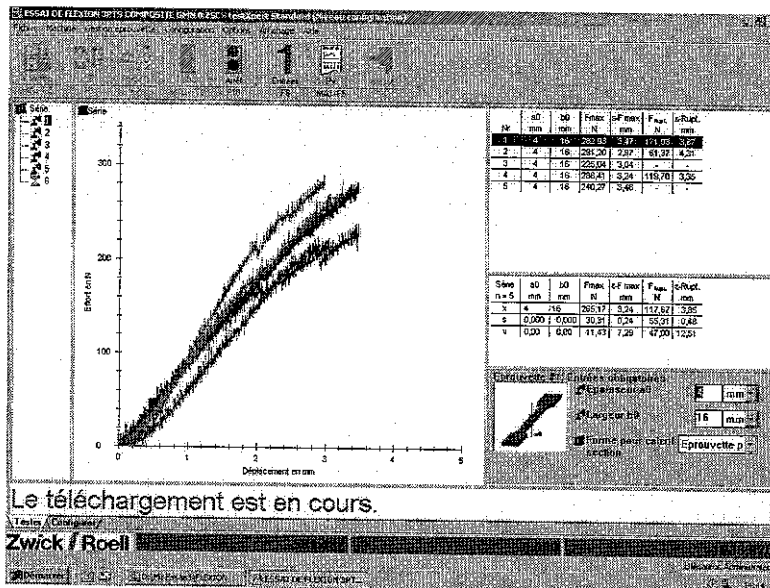


Figure D3 : Stratifié GMN 0°

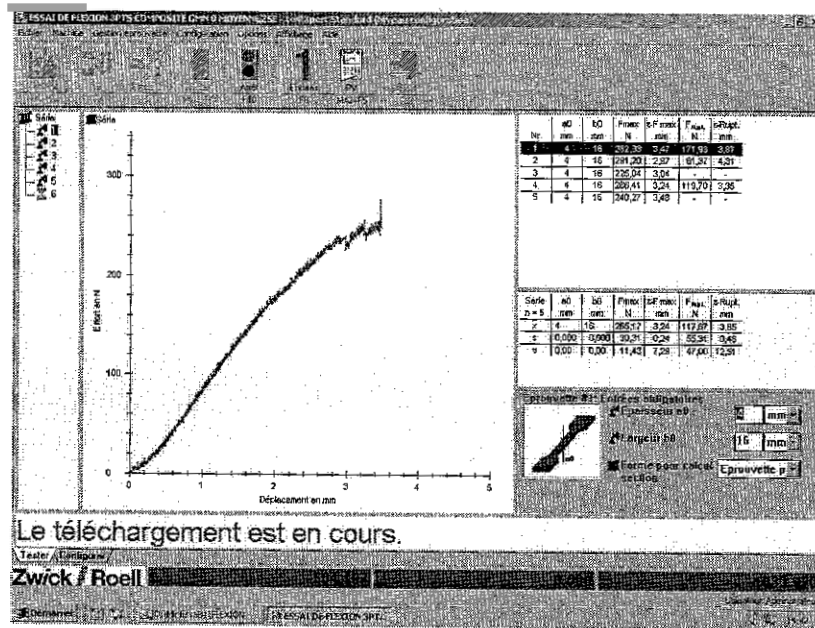


Figure D4 : Stratifié GMN 0° moyenne

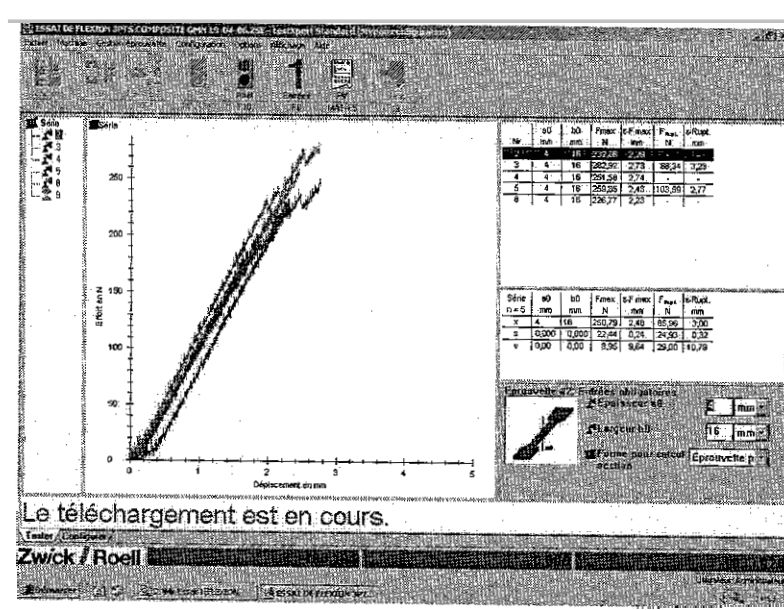


Figure D 5 : Stratifié GMN 90°

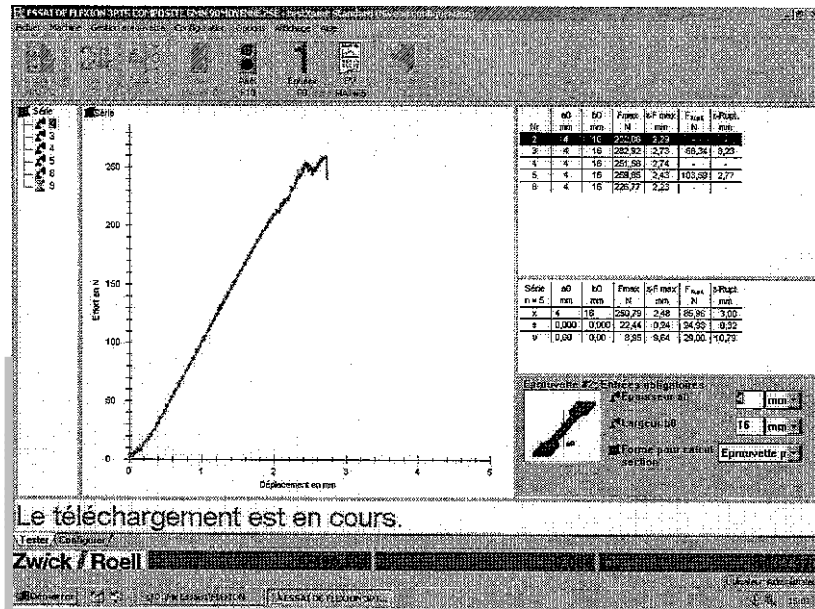


Figure D 6 : Stratifie GMN 90'' moyenne

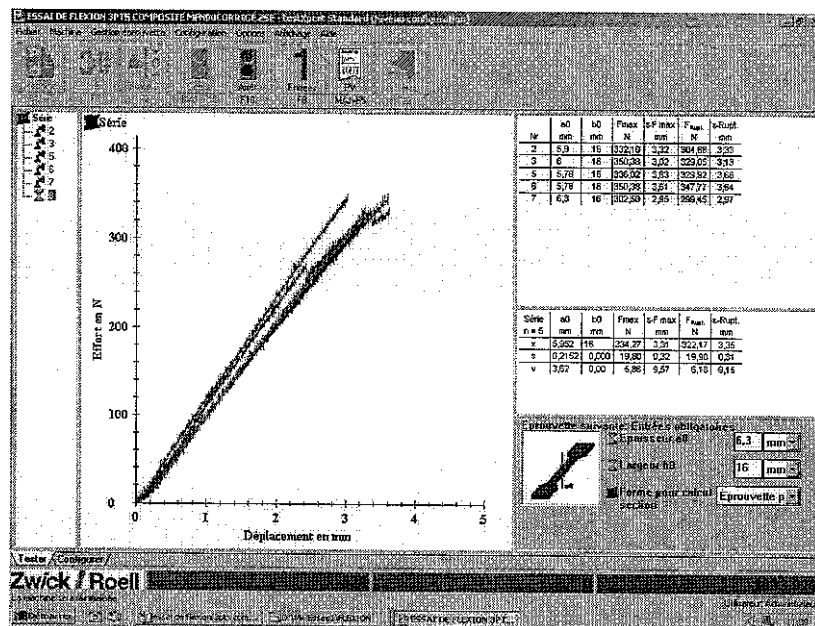


Figure D 7 : Stratifie MFN 90



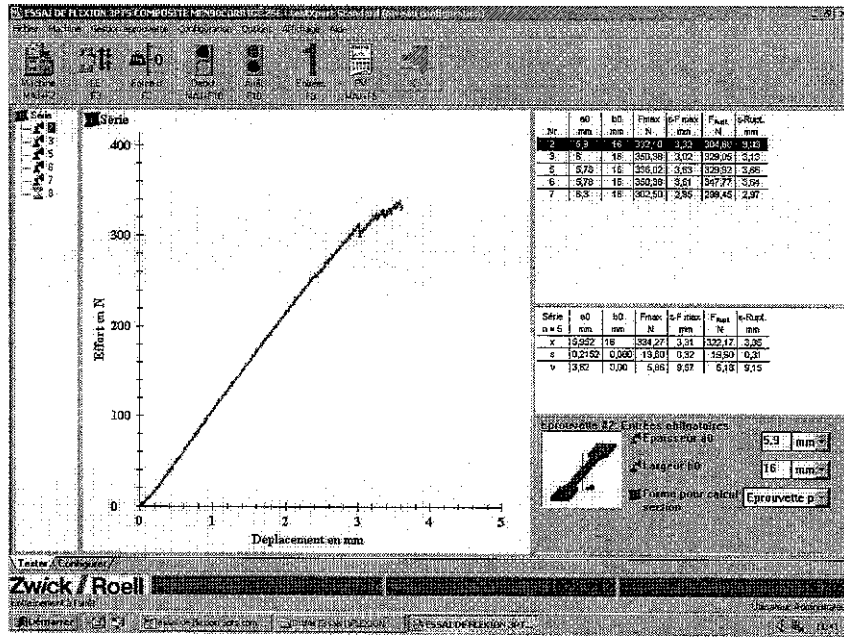


Figure D 8 : Stratifie MFN 90° moyenne

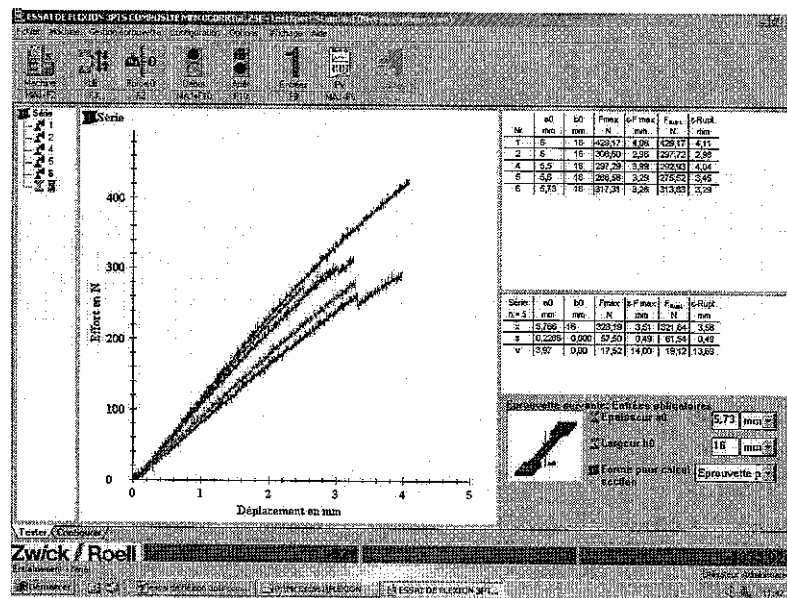


Figure D 9 : Stratifie MFN 0°

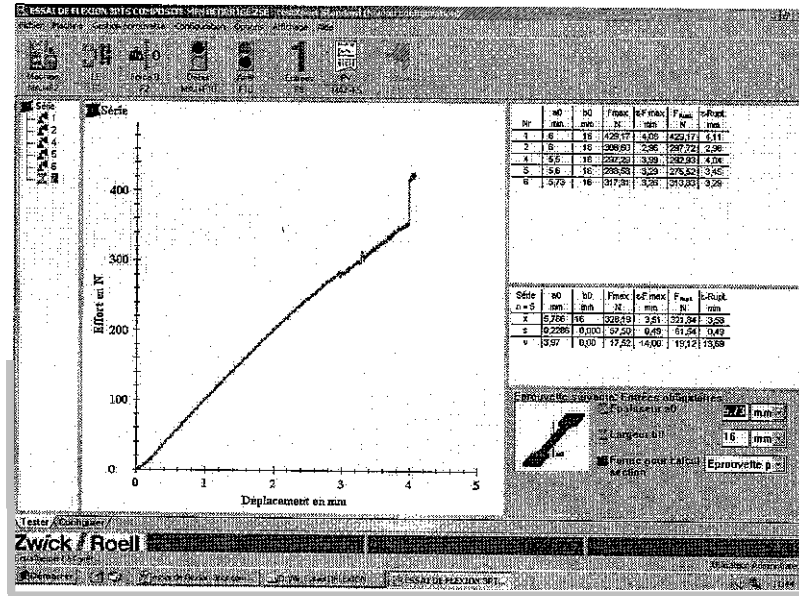


Figure D 10 : Stratifié MFN 0" moyenne

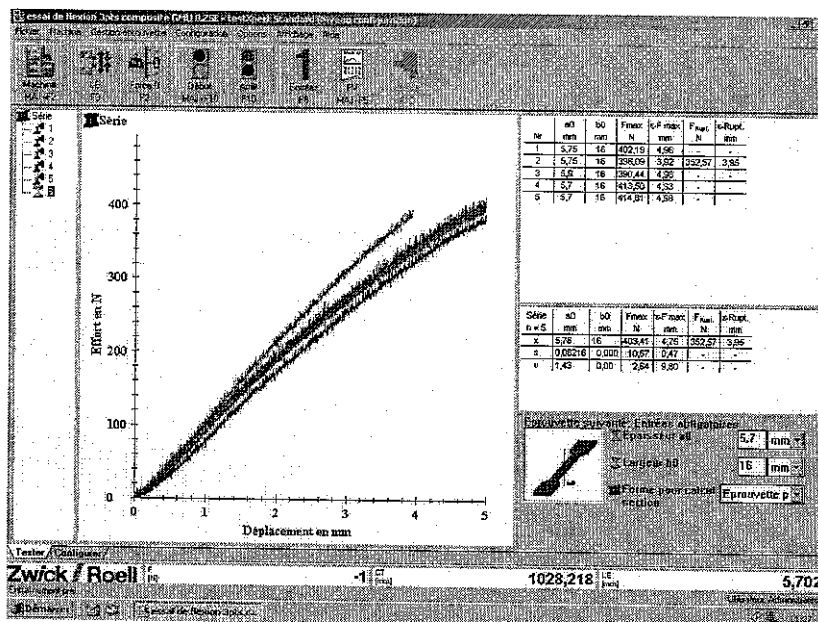


Figure D 11 : Stratifié GMU 0"

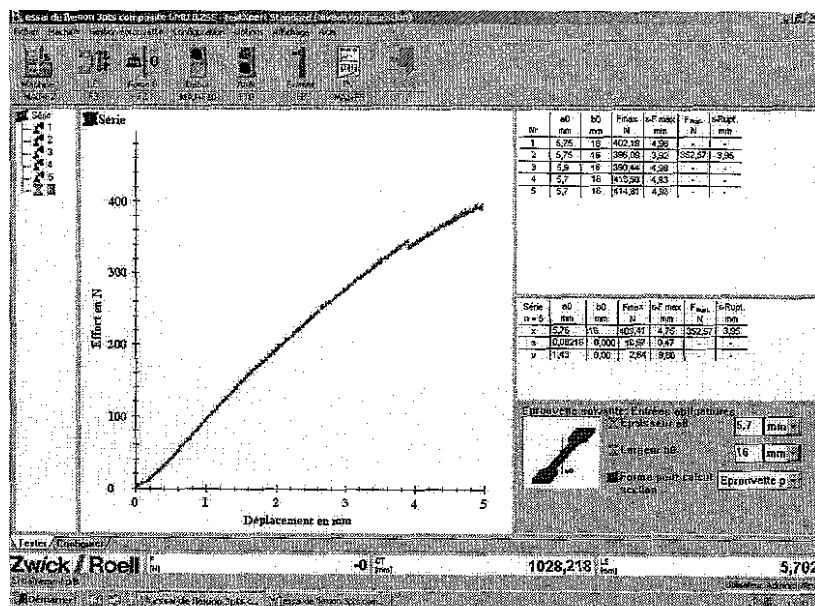


Figure D 12 : Stratifié GMU 0° moyenne

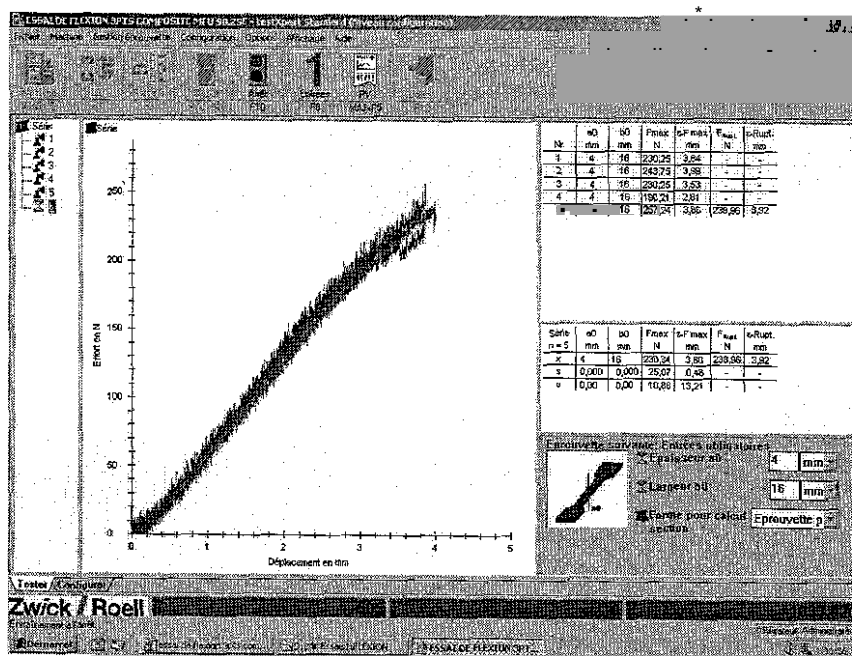


Figure D 13 : Stratifié MFU 90

Figure D 15 : Stratifié MFU 0°

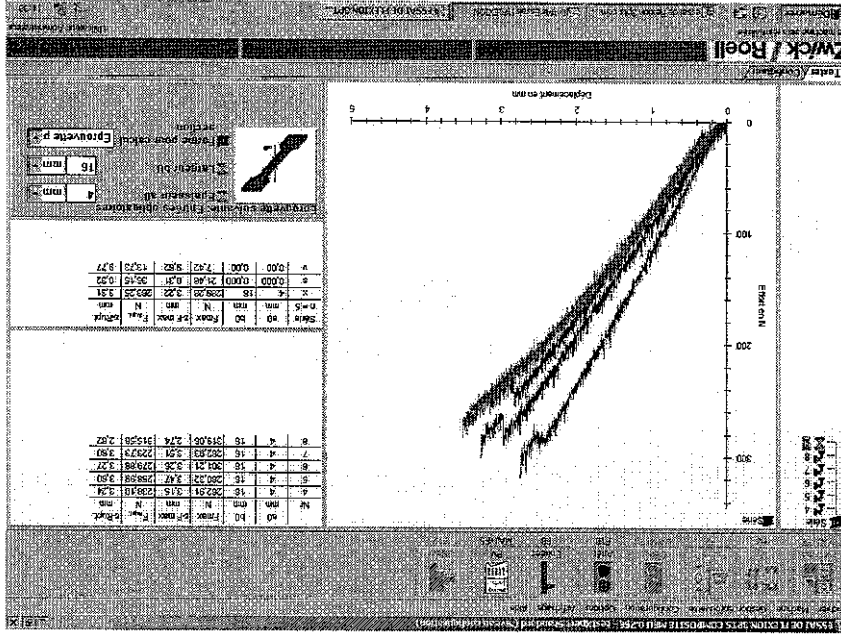
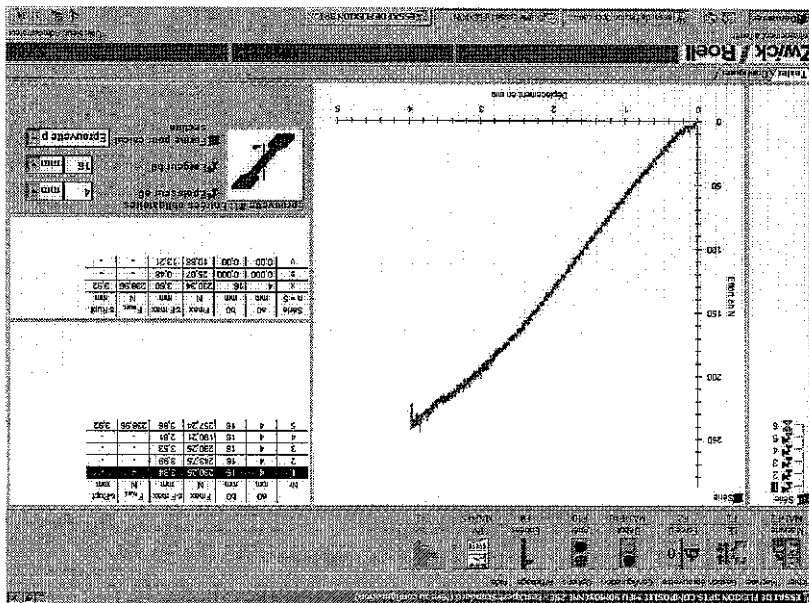


Figure D 14 : Stratifié MFU 90° moyenne



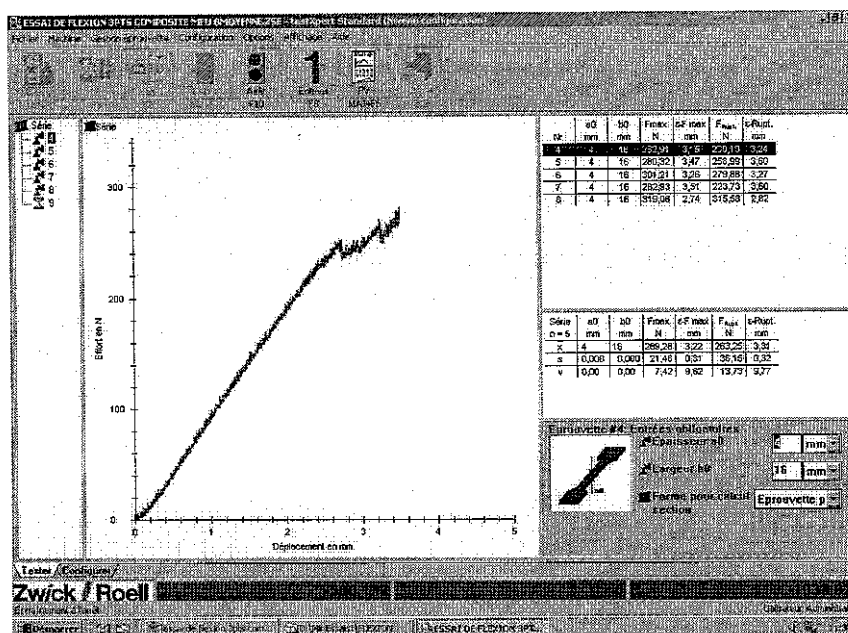


Figure D16 : Stratifie MFU 0" moyenne

Avec :

- Stratifie GMU 90 : Stratifie à grosse maille utilisée à 90"
- Stratifie GMU 90 moyenne : Stratifie à grosse maille utilisé à 90° moyenne
- Stratifie GMN 0" : Stratifie à grosse maille neuf à 0"
- Stratifie GMN 0° moyenne : Stratifie à grosse maille neuf à 0" moyenne
- Stratifie GMN 90" : Stratifie à grosse maille neuf à 90"
- Stratifie GMN 90° moyenne : Stratifie à grosse maille neuf à 90" moyenne
- Stratifie MFN 90 : Stratifie à maille fine neuf à 90°
- Stratifie MFN 90° moyenne : Stratifie à maille fine neuf à 90" moyenne
- Stratifie MFN 0" : Stratifie à maille fine neuf à 0"
- Stratifie MFN 0" moyenne : Stratifie à maille fine neuf à 0° moyenne

---

Stratifie GMU 0"	: Stratifie à grosse maille utilisée à 0"
Stratifie GMU 0" moyenne	: Stratifie à grosse maille utilisée à 0" moyenne
Stratifie MFU 90	: Stratifie à maille fine utilisé à 90"
Stratifie MFU 90° moyenne	: Stratifie à maille fine utilisé à 90° moyenne
Stratifie MFU 0°	: Stratifie à maille fine utilisé à 0"
Stratifie MFU 0" moyenne	: Stratifie à maille fine utilisé à ° moyenne