



Département de Génie Mécanique
MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Mécanique

Option : Fabrication mécanique et productique

Présenté par : Kechat Faïçal

Thème

**L'EFFET DU TRAITEMENT THERMIQUE SUR LES
PROPRIETES MECANIQUE D'UN MATERIAU COMPOSITE**

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
FARSI Chouki	Pr	Président
ELHADI Abdelmalek	MCA	Encadreur
MOUSSAOUI Nafissa	MCA	Examinatrice

Année Universitaire : 2024/2025

Remerciements

Je remercie Dieu, le tout puissant, qui m'a donné la force et le courage pour poursuivre mes études. De m'avoir inspirée pour mettre entre vos mains ce modeste travail.

Toute ma profonde gratitude et ma reconnaissance à mon encadreur Elhadi Abdelmalek pour son aide et le soutien qu'elle m'a apporté tout au long de ce travail de recherche Je le remercie pour son humanisme, et ses précieux conseils et ses encouragements, ce fut un immense plaisir de travailler sous sa direction.

Je remercier également aux membres de jury d'avoir accepté de juger ce modeste travail de recherche.

Je tiens à remercier aussi, tous les enseignants du département de français qui ont contribué à ma formation.





Dédicace

Tout d'abord, je remercie Dieu de m'avoir donné la force de mener à bien ce travail.

*Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers toutes les personnes qui m'a soutenues,
de près ou de loin, tant matériellement que moralement.*

Je dédie ce travail :

*À mes grands-parents, qui sont auprès de Dieu, et qui m'a souhaités bonne chance dans
ma vie.*

*À mes chers parents, à qui je dois tout, et qui, je l'espère, trouveront dans ce travail
l'expression de ma profonde gratitude et de mon affection pour toute la patience et
l'endurance dont ils ont fait preuve pour moi.*

*À ma chère épouse, ma compagne de route et mon soutien, qui a été la meilleure des aides
pour moi.*

Et à la prunelle de mes yeux, mes chers fils

" Adam et Ouais "

À mes frères et sœurs, à qui je souhaite bonne chance dans leurs vies.

À mes amis avec qui m'a partagés de bons moments.



Kechat Faiçal

Liste des figures

Figure I. 1: Matériau composite	5
Figure I. 2 : Construction des navires en matériaux composites.....	9
Figure I. 3 : Types de renfort.....	12
Figure I. 4 : La plante de jute.	13
Figure I. 5 : Les fibres de Jute.	14
Figure I. 6 : Les différents usages du jute.	17
Fig.II. 7: Epreuve de traction prismatique.....	23
Fig II. 8: Courbe conventionnelle de traction (efforts-allongements).	24
Figure II. 9 : Epreuve de traction utilisée.	27
Figure II. 10. (a)Fibres de jute; (b) Résine = Epoxy (75%) + Durcisseur (25%).	29
Figure .II. 11: Etapes de fabrication de la plaque.	30
Figure II. 12: Machine de CNC.....	31
Figure II. 13 : Les éprouvettes usinées par machine CNC.....	32
Figure.II. 14: Machine de traction TEST.....	33
Figure II. 15: Épreuve fixée entre les deux mors de la machine.....	34
Figure.III. 1: Courbe de traction (contrainte- déformation) du matériau en température (70°)	38
Figure.III. 2 : Courbe de traction (contrainte- déformation) du matériau en température (100°)	38
Figure.III. 3 : Courbe de traction (contrainte- déformation) du matériau en température (130°)	39
Figure.III. 4: Courbe de traction (contrainte- déformation) du matériau en température (160°)	39
Figure.III. 5 : Courbe de traction (contrainte- déformation) du matériau à la température (190°).....	40
Figure.III. 6. Histogramme de la variation de la résistance R_m en fonction de la température.....	43
Figure. III. 7. Histogramme de l'allongement $A\%$ en fonction de la température.	44
Figure. III. 8. Histogramme de la variation du coefficient de striction $Z\%$ en fonction de la température.....	45
Figure. III. 9. Histogramme de la variation du coefficient de striction $Z\%$ en fonction de la température.....	46

Listes des tableaux

Tableau.III. 1: Coefficient de striction (Z%).....	41
Tableau. III. 2 : Caractéristiques mécaniques en fonction de la température.	42

Sommaire

Remerciements

Dédicace

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale..... 1

chapitre I: GENERALITES SUR LES MATERIAUX COMPOSITES

I.1.introduction : 4

I.1. Les matériaux composites..... 4

I.3.Domains d’application des matériaux composites 6

I.3.1.Construction aéronautique 7

I.3.2 Construction automobile 8

I.3.3 Secteur du bâtiment..... 8

I.3.4 Construction navale en matériaux composites..... 8

I.4 - Constituants principaux d'un matériau composite 9

I.4.1 - Matrice..... 9

I.4.2.renforts 11

I.5.Le jute 13

I.6.Fabrication des matériaux composites 17

chapitre II: Matériaux et méthodologie

Introduction 22

II.1. Principe de l’essai de traction..... 22

II.2. Éprouvette de l’essai de traction..... 22

II.3- Courbe de traction conventionnelle : 23

II.4 – Vitesse d’essai de traction 25

II.5 – Caractéristiques mécaniques..... 25

II.5.1 – Résistance à la rupture..... 25

II.5.2 – Allongement 26

II.5.3 – Coefficient de striction (Z %)	26
II.5.4 – Module d'élasticité longitudinale (Module de Young, E).. Erreur ! Signet non défini.	
II.6 – Présentation des échantillons	27
II.7 – Préparation des éprouvettes	27

Chapitre III: Résultats Expérimentaux Obtenus Et Discussion

III.1. Introduction :	37
III.2. Comportement mécanique du matériau à une vitesse de traction donnée :	37
III.3. Comportement mécanique du matériau soumis à un essai de traction	40
III.4. Mesure des échantillons	41
III.5. Résultats obtenus :	41
III.6. Caractéristiques mécaniques du matériau analysé	42
Conclusion :	49

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

A L'évolution rapide de la technologie et des exigences industrielles a conduit à une recherche permanente de matériaux nouveaux, performants, économiques et respectueux de l'environnement. Dans ce contexte, les matériaux composites se sont imposés comme des solutions innovantes et polyvalentes, capables de répondre à des besoins mécaniques spécifiques tout en offrant une réduction de poids significative par rapport aux matériaux conventionnels. Grâce à la combinaison de deux ou plusieurs constituants de nature différente, généralement une matrice et un renfort, ces matériaux présentent des propriétés mécaniques, thermiques et chimiques supérieures à celles de chacun de leurs composants pris isolément.

Depuis plusieurs décennies, l'industrie s'est principalement tournée vers l'utilisation de renforts synthétiques, tels que les fibres de verre ou de carbone, en raison de leur haute performance. Toutefois, ces matériaux présentent des inconvénients notables, notamment un coût de production élevé, une dépendance aux ressources non renouvelables et une faible biodégradabilité, ce qui soulève des problématiques environnementales croissantes.

Face à ces limites, l'intégration de fibres naturelles dans les matériaux composites apparaît comme une alternative durable et prometteuse. Parmi ces fibres, le jute se distingue par sa disponibilité abondante, son faible coût, sa légèreté, sa bonne aptitude au tissage, ainsi que par ses qualités mécaniques acceptables pour de nombreuses applications. En outre, sa nature biodégradable en fait un matériau de choix dans un contexte de développement durable. Lorsqu'il est combiné à une matrice polymère telle que la résine époxy, le jute permet de fabriquer des matériaux composites à la fois résistants et respectueux de l'environnement, avec des applications dans des secteurs aussi variés que l'automobile, la construction, l'emballage ou encore l'agriculture.

Cependant, les performances mécaniques de ces composites naturels ne dépendent pas uniquement du choix des composants initiaux. Des traitements thermiques, peuvent avoir une influence significative sur les propriétés finales du matériau. Le traitement thermique consiste à exposer le composite à une température contrôlée pendant un certain temps, dans le but d'améliorer son comportement mécanique, sa stabilité dimensionnelle ou sa résistance à l'humidité et aux environnements agressifs. Dans certains cas, ce traitement peut également induire des modifications structurelles ou chimiques qui améliorent l'adhésion entre la matrice et le renfort, ou réduisent les contraintes internes générées durant la fabrication.

C'est dans ce cadre que s'inscrit la présente étude, qui a pour objectif principal d'analyser l'effet du traitement thermique sur les propriétés mécaniques d'un matériau composite à base de fibres de jute et de résine époxy. Il s'agira plus précisément d'évaluer comment différentes conditions de traitement thermique influencent des paramètres mécaniques clés tels que la résistance à la traction, l'allongement à la rupture ainsi que le coefficient de striction.

La méthodologie adoptée repose sur la fabrication de plaques composites Jute-Époxy selon un procédé manuel, suivie d'une série d'essais de traction mécanique normalisés sur des éprouvettes traitées thermiquement à différentes températures. Les résultats seront comparés afin de mettre en évidence l'impact du traitement sur le comportement mécanique global du matériau.

La structure de ce mémoire s'articule autour de trois chapitres principaux :

- Le premier chapitre est consacré à une revue générale sur les matériaux composites, les fibres naturelles et plus particulièrement le jute, ainsi que sur les traitements thermiques appliqués aux composites.
- Le deuxième chapitre présente les matériaux utilisés, la méthode d'élaboration des plaques composites, les conditions de traitement thermique appliquées et les techniques d'essai mises en œuvre.
- Le troisième chapitre expose et analyse les résultats expérimentaux obtenus, discute leur signification, et propose des interprétations par rapport à la littérature existante.

À travers cette étude, nous espérons contribuer à une meilleure compréhension des effets thermiques sur les performances des matériaux composites naturels et ouvrir des perspectives pour leur utilisation dans des domaines techniques exigeants.

CHAPITRE I
GENERALITES SUR LES MATERIAUX
COMPOSITES

I.1.introduction

Les matériaux composites ont toujours occupé une place importante dans l'évolution de l'humanité, que ce soit pour abriter les premières civilisations ou pour favoriser les innovations technologiques futures. Ils présentent de nombreux atouts tels que la résistance à la corrosion, la facilité de mise en forme, la durabilité, la légèreté et la robustesse. Ces matériaux sont omniprésents dans notre quotidien, notamment dans les secteurs du bâtiment, de la médecine, de l'industrie pétrolière, des transports, du sport, de l'aéronautique, entre autres.

Ce chapitre se consacre aux composites renforcés de fibres, en mettant particulièrement l'accent sur les polymères thermoplastiques renforcés par des fibres d'origine végétale. Il aborde également la possibilité d'intégrer des matériaux recyclés comme éléments de renfort ou matrices, dans une optique de durabilité environnementale.

I.2. Les matériaux composites

De façon générale, un matériau composite est défini comme étant une combinaison de deux ou plusieurs composants non miscibles, possédant des propriétés distinctes. L'objectif de cette association est de créer un matériau aux caractéristiques mécaniques ou physiques différentes, souvent supérieures à celles des constituants pris séparément (figure I.1).

Le concept de mélanger divers éléments pour obtenir un matériau aux propriétés nouvelles est utilisé par l'humanité depuis des millénaires [1]. Habituellement, un composite est constitué d'une phase discontinue, rigide et solide, appelée renfort (souvent sous forme de fibres), et d'une phase continue, plus souple et moins résistante, appelée matrice [2-4]. Cette dernière assure le transfert des charges mécaniques vers les fibres tout en les protégeant contre les agressions extérieures.

Au fil des dernières décennies, les composites ont suscité un intérêt croissant chez les chercheurs et les industriels. En fonction des domaines d'application, chaque secteur industriel impose des exigences techniques spécifiques, ce qui a conduit au développement accéléré de nouvelles fibres et matrices. Un soin particulier est également apporté à l'optimisation des interfaces entre les renforts et la matrice [5,6].

Trois facteurs principaux influencent les propriétés finales d'un matériau composite : la nature des constituants, leur répartition géométrique, ainsi que la fraction volumique du renfort [7]. En effet, la distribution du renfort conditionne les propriétés globales du composite. Plus cette distribution est hétérogène, plus le matériau devient instable ou irrégulier.

Par ailleurs, la géométrie et l'orientation des renforts influencent fortement l'anisotropie du matériau. À titre d'exemple, les fibres longues supportent la majeure partie des contraintes mécaniques, contrairement aux fibres courtes qui sont plus adaptées aux composites à faibles ou moyennes performances.

Même s'il existe plusieurs types de matériaux composites (comme le béton, le contreplaqué ou l'argile mélangée), l'usage actuel du terme s'applique principalement aux composants plastiques renforcés. Il s'agit d'une matrice polymère associée à un élément de renforcement de type fibreux, tel qu'illustré dans la figure (I.1). Bien que le matériau de renfort présente des performances mécaniques supérieures à celles de la matrice, cette dernière joue un rôle essentiel en assurant le maintien des fibres dans leur position et en conférant au composite sa forme finale lors de la fabrication

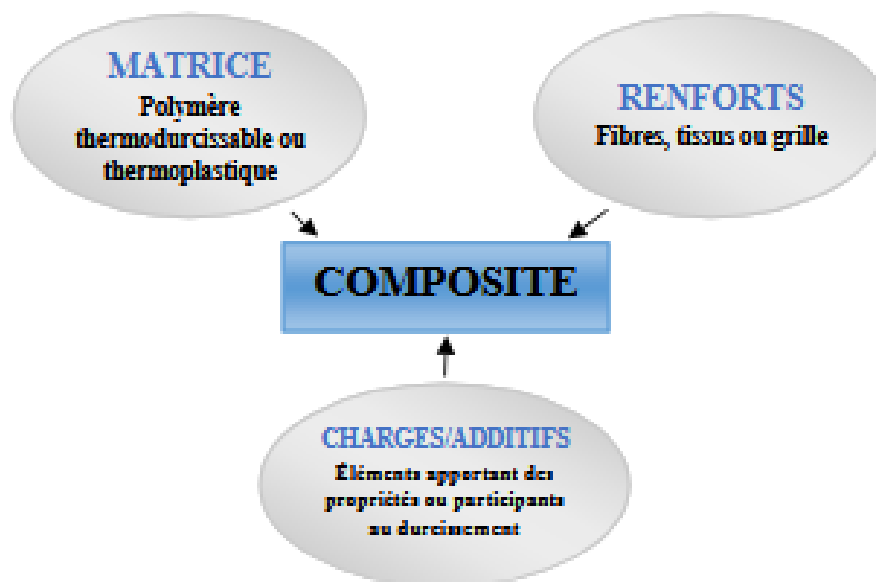


Figure I. 1: Matériau composite

I.2. Classification des matériaux composites

Les matériaux composites, dont l'utilisation s'est considérablement accrue au cours des dernières décennies, se répartissent généralement en deux grandes familles : les composites à grande diffusion (GD) et les composites à haute performance (HP).

I.2.1. Les composites à grande diffusion (GD)

Cette catégorie représente environ 95 % des matériaux composites employés à l'échelle industrielle. Il s'agit principalement de plastiques renforcés, notamment par des fibres de verre,

avec un taux de renfort avoisinant les 30 %. Dans la majorité des cas (environ 90 %), ces matériaux présentent une anisotropie non maîtrisée, les fibres étant courtes et orientées de manière aléatoire. Les résines les plus courantes utilisées comme matrices sont les polyesters, associées à des procédés de fabrication simples tels que le moulage au contact, le moulage SMC (Sheet Molding Compound), ou encore l'injection. Cette simplicité de mise en œuvre contribue à un coût de production relativement faible.

I.2.2. Les composites à hautes performances (HP)

Les matériaux composites à haute performance se distinguent par leurs propriétés mécaniques exceptionnelles, associées à un coût de fabrication élevé. Ils sont principalement utilisés dans des domaines où l'exigence technique est maximale, tels que l'aéronautique et l'aérospatial. Ces matériaux sont conçus de manière spécifique pour répondre aux contraintes précises de chaque application. En aéronautique, par exemple, différents types de composites sont sélectionnés pour chaque partie de la structure d'un avion, car aucun matériau unique ne peut offrir l'ensemble des caractéristiques requises pour tous les composants.

I.3. Domaines d'application des matériaux composites

Grâce à leurs excellentes propriétés mécaniques spécifiques, les matériaux composites à base de fibres et de résine s'imposent comme des solutions privilégiées pour la réalisation de structures performantes. Leur principal atout réside dans l'anisotropie contrôlable qu'ils offrent, permettant aux concepteurs d'ajuster la rigidité et la résistance en fonction des contraintes exercées sur la pièce.

L'un des avantages majeurs de ces matériaux est leur capacité à être optimisés pour chaque application spécifique, en positionnant le renfort exactement là où il est requis. Cette flexibilité aboutit à des performances élevées, tout en conservant une légèreté remarquable pour une résistance mécanique donnée. Toutefois, leur coût de fabrication demeure relativement élevé, ce qui limite leur usage à certains secteurs bien ciblés.

Parmi les principaux domaines d'application, on retrouve :

- L'électricité et l'électronique ;
- Le bâtiment et les travaux publics ;

- Les transports (routier, ferroviaire, maritime, aérien et spatial, notamment à usage militaire) ;
- Le secteur médical (appareils et équipements médicaux) ;
- Les sports et loisirs (skis, raquettes de tennis, planches à voile, surfs, clubs de golf, etc.)
- La construction navale.

Ainsi, les matériaux composites sont principalement employés dans des domaines où la recherche de hautes performances prime sur le coût de production.

I.3.1. Construction aéronautique

Dans des secteurs tels que l'aéronautique, l'aérospatiale, l'automobile, le ferroviaire, les sports et loisirs, le bâtiment ou encore le génie civil, le choix des matériaux représente un défi complexe, dominé par l'équilibre entre le coût et les performances.

Les composites à haute performance ont longtemps été réservés, dans l'aéronautique civile, à des composants de structure secondaire (habillages intérieurs, volets), et plus rarement à des structures primaires, encore moins aux ailes, en raison de deux limitations majeures :

- Des coûts nettement plus élevés que ceux de l'aluminium ;
- Le risque de délaminage, incompatible avec les contraintes exercées sur les structures aérodynamiques fortement sollicitées.

Les premières applications des composites dans le domaine spatial remontent à la fin des années 1970, avec leur utilisation sur les satellites. Les matériaux employés étaient principalement des fibres de carbone, associées à des résines époxydes. Dans le domaine des missiles balistiques, les composites ont été introduits dès le milieu des années 1960 sous forme de structures bobinées en fibres de verre/résine époxyde. Par la suite, les fibres d'aramide/époxyde ont fait leur apparition à la fin des années 1970, suivies par les fibres de carbone vers le milieu de la même décennie.

L'adoption des matériaux composites dans la construction aéronautique permet un allègement significatif des structures. À performances équivalentes, l'économie de masse peut varier entre 10 % et 20 %.

1.3.2 Construction automobile

L'intégration des composites dans l'industrie automobile remonte à la fin des années 1980, bien que leur adoption à grande échelle n'ait été réalisée que récemment par de grands constructeurs internationaux tels que Volvo ou Mercedes, notamment pour la fabrication de coffres et de hayons.

1.3.3 Secteur du bâtiment

En dehors du béton, les composites restent encore peu utilisés dans le secteur du bâtiment et des travaux publics (BTP), ce qui s'explique notamment par :

- Un coût relativement élevé comparé aux matériaux conventionnels (environ 6 €/kg contre 3 €/kg pour l'acier et 1 €/kg pour le bois) ;
- Une méconnaissance persistante de ces matériaux par les architectes et les bureaux d'études
- Un manque d'informations concernant le cycle de vie des composites, notamment en matière de recyclabilité et de durabilité, constitue également un frein à leur adoption plus large.

Cependant, les propriétés remarquables des composites – légèreté, résistance au feu, résistance mécanique et chimique – ouvrent la voie à un développement prometteur dans ce secteur. De nombreux fournisseurs spécialisés dans les solutions composites ont déjà mis sur le marché une large gamme de produits, tels que des fenêtres, portes, substituts d'ardoise, ou encore des renforts pour poutres, entre autres.

I.3.4 Construction navale en matériaux composites

Les matériaux composites modernes offrent la possibilité de construire des navires en série, ce qui permet de réduire significativement les coûts de production. Ce type de construction repose généralement sur l'utilisation d'un moule, sur lequel sont superposées plusieurs couches de fibres de verre imprégnées de résine [3].

Parmi les matériaux utilisés dans la construction navale, on retrouve le ferrociment, le polyester stratifié, divers plastiques ainsi que les structures sandwich. Pour les bateaux de

compétition, la fibre de verre est souvent remplacée par de la fibre de carbone, plus résistante et adaptée aux contraintes extrêmes



Figure I. 2 : Construction des navires en matériaux composites

I.4 - Constituants principaux d'un matériau composite

Dans cette section, nous détaillons les différents composants d'un matériau composite utilisés dans l'industrie. La matrice joue un rôle essentiel en assurant non seulement la protection chimique, mais aussi la répartition des charges mécaniques appliquées à la structure. Quant au renfort, il se manifeste sous forme de fibres, continues ou discontinues, dont la fonction principale est de garantir la résistance mécanique du matériau composite. Ces deux éléments principaux peuvent être accompagnés d'additifs ou de charges, qui sont des produits ajoutés à la résine afin de lui conférer des propriétés spécifiques ou de réduire son coût (par exemple : catalyseurs, durcisseurs, etc.) [3].

I.4.1 - Matrice

La matrice est l'un des éléments essentiels dans un matériau composite, car elle assure plusieurs fonctions cruciales pour la performance du matériau dans son ensemble. Tout d'abord, la matrice a pour rôle principal de lier les fibres de renfort. Sans cette liaison, les fibres, qui sont souvent plus résistantes que la matrice, ne pourraient pas transférer efficacement les charges appliquées au matériau. En d'autres termes, la matrice permet aux fibres de travailler ensemble pour supporter les contraintes mécaniques de l'ensemble du composite.

La matrice permet également de répartir les contraintes subies par le matériau. Ces contraintes peuvent être dues à différents types de sollicitations telles que la compression, la flexion, ou encore la traction. Par exemple, lorsque le composite est soumis à une force, la matrice transfère

cette force aux fibres de renfort de manière à optimiser la résistance à ces sollicitations. Cela permet au composite de maintenir son intégrité structurelle sous différentes conditions.

En plus de cela, la matrice joue un rôle fondamental dans la protection chimique des fibres. En effet, les fibres, qu'elles soient naturelles ou synthétiques, peuvent être sensibles aux conditions environnementales telles que l'humidité, les produits chimiques ou les rayons UV. La matrice agit comme une couche protectrice, empêchant les fibres de se dégrader ou de perdre leur efficacité mécanique. [4].

Enfin, la matrice contribue à donner la forme souhaitée au produit. Dans le processus de fabrication, c'est la matrice qui prend la forme du moule, permettant ainsi de créer des pièces composites aux géométries complexes et spécifiques. Elle assure la cohésion et la stabilité de la structure une fois le matériau durci ou solidifié.

En termes de composition, la matrice est généralement un polymère ou une résine organique. Ces matériaux peuvent être classés selon leurs propriétés de durcissement, leur température de déformation, et leur interaction avec les fibres de renfort.

Les matrices peuvent être déformables, ce qui signifie qu'elles peuvent subir une transformation de forme sous l'effet de la chaleur ou de la pression, ce qui est utile pour certains types de matériaux composites. Ce processus peut aussi faciliter le recyclage des matériaux composites.

I.4.1.1 - Types de Matrices

Il existe plusieurs types de matrices utilisées dans les matériaux composites, qui sont classées principalement en fonction de leur composition chimique et de leur comportement au chauffage. Ces matrices déterminent la manière dont le matériau composite se comporte sous différentes conditions. Les types de matrices sont les suivants [5].

a-Matrice Organique

La matrice organique est la plus couramment utilisée dans les matériaux composites. Elle est principalement composée de polymères ou de résines organiques, qui peuvent être thermoplastiques ou thermodurcissables.

_Thermoplastiques:

Les thermoplastiques sont des polymères qui deviennent malléables ou fondent à une température spécifique, permettant leur transformation sous forme de pièces à l'aide de moules. Une fois

refroidis, ces matériaux durcissent sans changer chimiquement. Les thermoplastiques sont largement utilisés dans les composites en raison de leur facilité de transformation et de leur capacité à être recyclés. Ils présentent également une bonne résistance aux chocs et peuvent être modifiés pour répondre à des exigences spécifiques [5,6].

_Thermodurcissables:

Les matrices thermodurcissables, une fois durcies par la chaleur, ne peuvent plus être ramollies ou refondues. Ces matrices sont idéales pour les applications nécessitant une haute résistance thermique et chimique. Elles offrent une meilleure stabilité dimensionnelle et une durabilité accrue que les thermoplastiques. Les résines époxy, les résines polyester, et les résines phénoliques font partie des thermodurcissables les plus courantes.

b-Matrice Minérale

Les matrices minérales sont utilisées dans des applications où des propriétés spécifiques, telles que la résistance à des températures extrêmement élevées, sont requises. Elles peuvent être constituées de céramiques ou de matériaux métalliques [6]

- **Matrice Céramique :**

Les matrices céramiques sont très résistantes aux températures élevées et sont utilisées principalement dans des environnements où les températures extrêmes ou l'usure sont des facteurs déterminants. Ces matrices trouvent des applications dans des domaines tels que l'aérospatiale, la défense et certaines industries de haute technologie [6].

- **Matrice Métallique :**

Les matrices métalliques, bien que moins courantes dans les composites traditionnels, sont utilisées dans des applications nécessitant une conductivité thermique ou une résistance à l'usure élevée. Elles sont particulièrement utiles dans des secteurs comme l'automobile, où des matériaux légers mais robustes sont recherchés

I.4.2. Renforts

Les renforts jouent un rôle essentiel dans la détermination des propriétés mécaniques des matériaux composites. Leur nature, leur forme et leur agencement influencent directement les performances du matériau final. Une large variété de fibres de renfort est disponible sur le

marché, permettant de répondre à des exigences de performance et de coût spécifiques selon l'application visée [1,3].

Les renforts fibreux peuvent se présenter sous différentes formes :

- **Forme linéaire** : tels que les fils ou mèches ;
- **Forme surfacique** : comme les tissus, ou les nappes non tissées ;
- **Forme multidirectionnelle** : incluant les tresses, les tissus complexes, ou encore les tissages tridirectionnels et au-delà. [8].

Chaque type de renfort est choisi en fonction des besoins mécaniques, de l'orientation des efforts, de la complexité géométrique des pièces à produire, et de la méthode de mise en œuvre. La figure 1.3 illustre une classification des principales catégories de renforts couramment utilisées dans l'industrie des composites

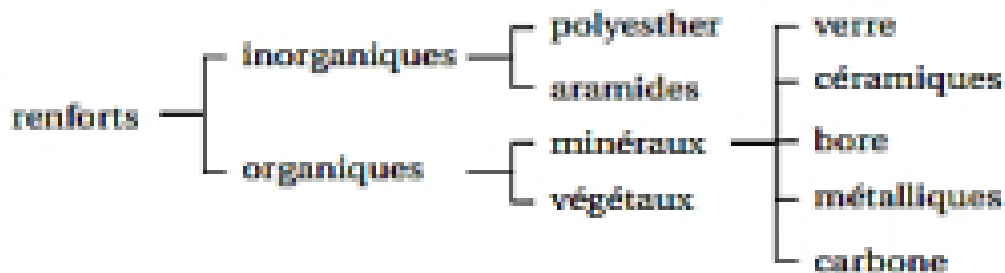


Figure I. 3 : Types de renfort

I.4.2.1. Types des renforts

a. Renforts inorganiques

Ils se divisent en deux familles principales :

- **Polyester**
- **Aramides**

Et comprennent plusieurs types de fibres, notamment :

- **Verre**
- **Céramiques**

- **Bore**

b. Renforts organiques

Ils se répartissent en deux sous-catégories :

- **Minéraux**
- **Végétaux**

Parmi les exemples de fibres organiques, on trouve :

- **Métalliques**
- **Carbone**

Cette classification permet de distinguer les types de renforts selon leur origine (organique ou inorganique) et d'orienter leur choix selon les propriétés mécaniques, thermiques ou chimiques souhaitées pour une application donnée [9].

I.5.Le jute

I.5.1 La plante de jute

Appelée communément jute, la plante *Corchorus capsularis* est une espèce tropicale utilisée pour l'extraction de fibres naturelles. [10,11]. Le jute figure, aux côtés du coton, parmi les plantes les plus exploitées à l'échelle mondiale. Bien que plusieurs espèces puissent produire des fibres de jute, les deux principales variétés cultivées à cet effet sont *Corchorus capsularis* et *Corchorus olitorius*.

Il s'agit d'une plante herbacée atteignant généralement entre 3 et 4 mètres de hauteur. Sa tige mesure environ deux centimètres de diamètre. Les feuilles sont pétiolées, de forme triangulaire, mesurant environ 15 cm de long pour 5 cm de large, et elles présentent une teinte jaunâtre caractéristique [12].



Figure I. 4 : La plante de jute.

I.5.2. La fibre de jute

La fibre de jute exploitable correspond aux vaisseaux de phloème situés sous l'écorce de la tige principale, elle est longue, douce et brillante. Sa longueur va de 1 à 4 mètres et son diamètre de 17 à 20 microns. Elle est essentiellement composée de cellulose et de lignine. Les méthodes de rouissage utilisées pour séparer l'écorce filamenteuse de la tige peuvent être biologiques ou chimiques, mais les premières sont plus répandues compte tenu du coût des produits chimiques. Le rouissage biologique englobe plusieurs techniques consistant à lier les tiges en faisceaux avant de les faire tremper afin de séparer plus facilement les fibres de la tige. On gratte ensuite la matière non fibreuse, ce qui permet enfin d'arracher les fibres [12,13]

Cette fibre naturelle d'aspect soyeux est surnommée « fibre d'or >> en raison de ses reflets. Il s'agit d'une culture annuelle qui prend environ 120 jours pour arriver à maturité. Le jute est caractérisé par une forte résistance à la traction, une faible extensibilité, une faible conductivité thermique et une bonne isolation. Il est de nos jours utilisé comme nouveau matériau de construction et d'emballages 100% recyclables [14].



Figure I. 5 : Les fibres de Jute.

I.5.3. Propriétés mécaniques de la fibre de jute

La fibre de jute, classée parmi les fibres naturelles lignocellulosiques, présente des propriétés mécaniques intéressantes qui en font un renfort potentiel dans les matériaux composites biosourcés. Issue de la tige de la plante du genre *Corchorus*, elle se compose principalement de

cellulose, d'hémicellulose et de lignine. Ces constituants lui confèrent une bonne rigidité spécifique et une légèreté notable [15,16].

Sur le plan mécanique, les fibres de jute offrent une résistance à la traction moyenne de 200 à 800 MPa, avec un module d'élasticité pouvant atteindre 10 à 30 GPa, selon les conditions de culture, de traitement et d'extraction. Leur allongement à la rupture reste relativement faible, variant entre 1,5 % et 2 %, ce qui indique un comportement plutôt fragile comparé aux fibres synthétiques comme le verre ou le carbone. Toutefois, leur densité relativement basse (environ 1,3–1,5 g/cm³) confère aux composites à base de jute un excellent rapport résistance/poids [17].

L'une des limitations majeures de la fibre de jute réside dans sa sensibilité à l'humidité, en raison de sa nature hydrophile. Cette caractéristique peut altérer les propriétés mécaniques du composite en conditions humides ou lors de cycles thermiques. Pour pallier cet inconvénient, plusieurs traitements chimiques (alcalins, silanes, acétylation) ou thermiques sont appliqués afin de réduire l'absorption d'eau et d'améliorer l'adhésion avec la matrice [18,19].

Malgré ces contraintes, la fibre de jute demeure une alternative durable et renouvelable aux fibres synthétiques, notamment dans les applications à faible ou moyenne contrainte, comme les panneaux automobiles, les matériaux d'isolation ou les éléments de mobilier. Elle constitue ainsi un choix privilégié dans la conception de composites écologiques, intégrant à la fois des performances mécaniques acceptables et une empreinte environnementale réduite.

I.5.4. Les usages du jute

Le jute est une fibre naturelle aux applications variées. Avec l'essor de la révolution industrielle, il a supplanté le lin et le chanvre dans la fabrication des sacs, qui demeurent aujourd'hui l'un des principaux produits issus de cette fibre. Le jute se distingue par sa grande polyvalence : il peut être utilisé seul ou combiné à d'autres fibres naturelles ou synthétiques [20,21]. Bien qu'il soit progressivement remplacé par des matériaux synthétiques dans de nombreuses applications, sa biodégradabilité constitue un avantage majeur dans certains domaines spécifiques.

Ainsi, le jute est particulièrement apprécié dans la fabrication de toiles horticoles utilisées pour enrober les mottes de jeunes plants, facilitant leur mise en terre sans nécessiter de retrait ultérieur. Il est également utilisé dans les géotextiles naturels, notamment pour la stabilisation des sols et la prévention de l'érosion. Ces produits se décomposent naturellement dans le sol, évitant toute intervention supplémentaire et contribuant à une gestion plus durable des écosystèmes.

Le jute possède également d'autres atouts. Il constitue un bon isolant thermique, présente des propriétés antistatiques notables et se caractérise par une faible conductivité thermique. Sa capacité à retenir l'humidité est modérée [14].

I.5.4.1 Textile

À l'état brut, la fibre de jute est peu adaptée à l'industrie textile en raison de sa teneur élevée en lignine. Toutefois, l'application de procédés de délignification, ainsi que son association avec d'autres fibres telles que le coton, permet d'obtenir des fils de qualité suffisante pour la confection de vêtements. En outre, les techniques utilisées pour le traitement de fibres naturelles similaires (telles que le chanvre, le raphia ou le lin) peuvent également être mises en œuvre pour rendre la fibre de jute compatible avec les usages textiles.

Les textiles intégrant du jute peuvent subir les mêmes traitements que les textiles classiques, notamment le blanchiment, la teinture ou encore les apprêts. Ainsi, le jute peut être utilisé pour la fabrication de tissus, de couvertures et de vêtements [14].

I.5.4.2 Géotextile

Parmi les usages récents du jute, son application dans le domaine des géotextiles représente une avancée notable. En raison de ses caractéristiques spécifiques – notamment sa forte teneur en lignine et la possibilité de tissage de ses fibres – le jute peut être transformé en un maillage souple destiné à être appliqué sur les sols.

Ce type de revêtement contribue à la stabilisation du sol en retenant les particules de terre, limitant ainsi le phénomène d'érosion. Entièrement biodégradable, ce matériau constitue également un apport organique bénéfique pour le sol, avec une contribution estimée à deux tonnes de matière organique par are sur une période de deux ans.

Ce maillage peut aussi jouer un rôle protecteur pour les racines et les graines en maintenant un niveau d'humidité minimal à la surface du sol. Les perspectives d'utilisation en agriculture sont par ailleurs multiples [22].

I.5.4.3 Plastiques

La fibre de jute peut être utilisée comme agent de renforcement dans les matériaux plastiques. Le mélange de fibres de jute avec des granulés de plastique permet de substituer le plastique pur dans la fabrication de divers produits à base de matériaux polymères [23]

Compte tenu du coût relativement bas du jute et de la possibilité d'en incorporer jusqu'à 40 % (en poids du produit fini), cette méthode constitue une alternative pertinente. Ce procédé a d'ailleurs été testé dans le secteur de la construction automobile [22].

I.5.4.4 Substitut du bois

Le jute peut être envisagé comme substitut au bois dans deux principaux domaines :

La papeterie et le mobilier.

La fabrication de panneaux à base de jute requiert l'utilisation d'une technologie d'assemblage par résine thermodurcissable. Les produits obtenus peuvent servir à la fabrication de portes, de cadres de fenêtres, de couvertures de toitures (en remplacement de la tôle ondulée), entre autres. Ces matériaux se distinguent par leur résistance aux insectes, au feu, ainsi que par leur stabilité face à l'humidité. De plus, ils peuvent être recouverts par des peintures conventionnelles [24].

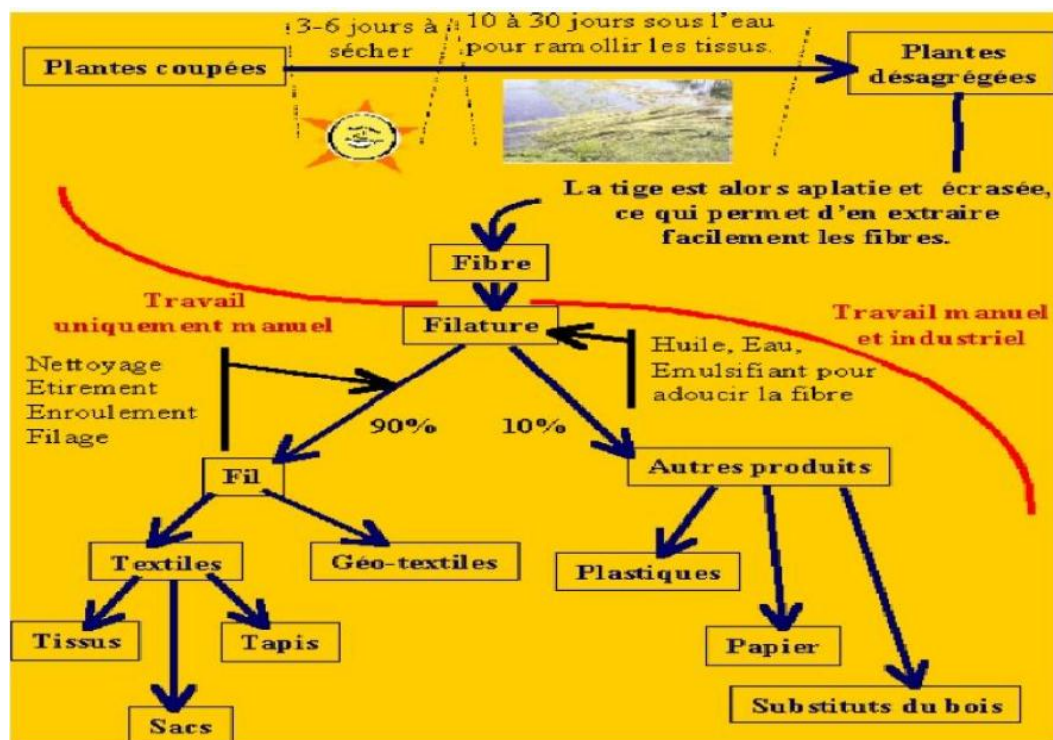


Figure I. 6 : Les différents usages du jute.

I.6.Fabrication des matériaux composites

La fabrication des matériaux composites est une étape déterminante dans la définition de leurs propriétés finales, notamment mécaniques, thermiques et physico-chimiques. Un matériau composite est constitué d'une matrice (polymère, métal ou céramique) qui enveloppe et maintient un renfort (généralement sous forme de fibres) dans une configuration donnée. L'objectif de la

fabrication est de garantir une répartition homogène du renfort, une bonne imprégnation de la matrice, et une interface solide entre les deux phases, afin d'assurer des performances élevées du matériau composite [10].

Les procédés de fabrication varient en fonction des matériaux utilisés, de la forme géométrique souhaitée et des exigences fonctionnelles. Parmi les techniques les plus utilisées, on distingue :

Le moulage au contact (hand lay-up) : il s'agit d'un procédé manuel où les fibres sont déposées dans un moule ouvert, puis imprégnées de résine à l'aide de rouleaux ou de pinceaux. Ce procédé est simple, économique et adapté à la production de pièces de grande taille mais de faible complexité [25].

L'infusion sous vide (vacuum infusion) : cette méthode consiste à placer les renforts dans un moule fermé sous vide, puis à injecter la résine par aspiration. Elle permet une meilleure compacité du matériau, une réduction de la porosité et une amélioration de la qualité finale.

Le moulage par transfert de résine (RTM) : dans ce procédé semi-automatisé, la résine est injectée sous pression dans un moule fermé contenant les renforts. Il permet de produire des pièces complexes avec une bonne répétabilité, et est souvent utilisé dans les industries automobile et aéronautique.

La pultrusion : c'est un procédé continu permettant de fabriquer des profilés à section constante. Les fibres, imprégnées de résine, sont tirées à travers une filière chauffée où a lieu la polymérisation.

L'enroulement filamentaire (filament winding) : il est utilisé pour produire des structures cylindriques creuses, comme les tuyaux ou les réservoirs. Les fibres sont enroulées autour d'un mandrin selon des angles précis, puis durcies [3].

Lorsque les composites sont renforcés par des fibres naturelles telles que le jute, certaines adaptations sont nécessaires. En raison de leur hydrophilie, les fibres naturelles doivent être séchées et parfois modifiées chimiquement (par exemple, par traitement alcalin) pour améliorer leur compatibilité avec la matrice polymère. De plus, la densité de compactage, la température de fabrication et le taux d'humidité sont des paramètres cruciaux à contrôler afin d'éviter la dégradation thermique des fibres végétales [25,26].

Ainsi, le choix du procédé de fabrication a une influence directe sur la microstructure du composite, l'adhésion interfaciale entre les constituants, la distribution des pores et, in fine, sur les propriétés mécaniques du matériau. Cela est d'autant plus important lorsque le composite est destiné à subir des traitements thermiques postérieurs, ce qui nécessite une excellente stabilité dimensionnelle et thermique dès la phase de fabrication.

Études antérieures sur l'impact du traitement thermique sur les composites naturels (ex. : jute).

- Dans l'étude intitulée "Effect of Heat Treatment on Mechanical Properties of Jute Fiber–Reinforced Polymer Composites for Concrete Confinement" réalisée par Tidarut Jirawattanasomkul et ses collègues en 2020, l'impact du traitement thermique sur les propriétés des composites renforcés de fibres de jute pour l'enfermement du béton a été étudié. Les résultats ont montré que le traitement thermique améliore la résistance à la traction et la flexibilité des fibres de jute, ce qui renforce la capacité du composite à supporter des charges lourdes et à résister à la pression, le rendant ainsi plus efficace dans les applications de génie civil nécessitant une résistance élevée. Cette étude a été publiée dans le Journal of Materials in Civil Engineering.
- Dans une autre étude publiée dans le Journal of Composite Materials en 2021 intitulée "Effect of Heat Treatment on the Mechanical Properties of Jute Yarns", Y. Ben Smail et ses collègues ont examiné l'impact du traitement thermique sur les fils de jute. Les résultats ont montré que le traitement thermique améliore de manière significative la résistance mécanique des fils de jute et leur capacité à résister à la traction. Cependant, il a été observé que des températures de traitement plus élevées pouvaient dégrader certaines propriétés physiques, comme l'élasticité des fibres [27].
- Dans l'étude "Improved Thermal Properties of Jute Fiber- Reinforced Polyethylene Nanocomposites" menée par Md. Faruk Hossen et al. en 2017, l'impact du traitement thermique sur les composites à base de fibres de jute renforcées de nanocomposites de polyéthylène a été étudié. L'étude a confirmé que le traitement thermique améliorait la stabilité thermique du composite, le rendant plus résistant à des températures élevées, ce qui augmente son efficacité dans les applications nécessitant une résistance thermique élevée.
- Dans l'étude intitulée "Effect of Pre- and Post-processing Thermal Treatments on Mechanical Behavior of Jute-Textile Reinforced Polymer Composites", Ahmed et ses collègues ont étudié en 2024 l'impact du traitement thermique avant et après sur les propriétés mécaniques

des composites renforcés de jute et de textiles. Les résultats ont montré que les traitements thermiques améliorent considérablement les propriétés mécaniques du composite, notamment en augmentant sa résistance à la pression et en renforçant sa durabilité face aux conditions environnementales extrêmes.

➤ Enfin, dans l'étude publiée en 2021 intitulée "An Extensive Analysis of Mechanical, Thermal and Physical Properties of Jute Fiber Composites with Different Fiber Orientations", les chercheurs ont examiné l'impact de l'orientation des fibres sur les propriétés des composites à base de jute. Les résultats ont démontré que l'orientation optimale des fibres améliore considérablement la résistance à la traction et la résistance thermique du composite, ce qui le rend plus performant dans des environnements à températures élevées. Cette étude a été publiée dans Case Studies in Thermal Engineering.

CHAPITRE II
MATERIAUX ET METHODOLOGIE

Introduction

Parmi les différents types d'essais mécaniques, l'essai de traction est considéré comme le plus fondamental. Il permet de déterminer les principales caractéristiques mécaniques d'un matériau telles que le module d'élasticité, le coefficient de Poisson, la limite d'élasticité, la résistance à la rupture, l'allongement à la rupture, ainsi que le coefficient de striction [17]. Ces propriétés jouent un rôle déterminant dans le choix des matériaux utilisés dans les composants d'un système mécanique, afin d'assurer leur bon fonctionnement, leur fiabilité et leur durabilité.

Les essais mécaniques représentent des outils expérimentaux essentiels dans le domaine des sciences de l'ingénieur. Leur but principal est de caractériser les lois de comportement des matériaux soumis à différentes sollicitations. L'essai de traction, notamment, est couramment employé dans le domaine de la résistance des matériaux (RDM) [27], en raison de sa capacité à révéler les performances mécaniques de base d'un matériau.

II.1. Principe de l'essai de traction

L'essai de traction consiste à appliquer une force axiale croissante sur une éprouvette jusqu'à sa rupture, tout en mesurant l'allongement produit. L'éprouvette est solidement fixée dans les mâchoires d'une machine de traction : l'une des extrémités est immobile, tandis que l'autre est soumise à une force de traction uniaxiale, agissant selon l'axe longitudinal de l'échantillon.

Un extensomètre (ou jauge de déformation) est utilisé pour mesurer la variation de longueur au fur et à mesure de l'application de la charge. L'allongement est alors défini comme la déformation relative de l'éprouvette, c'est-à-dire la proportion d'extension subie avant la rupture [15]. Ce type d'essai permet d'établir la courbe contrainte-déformation caractéristique du matériau testé.

II.2. Éprouvette de l'essai de traction

Pour garantir la fiabilité et la reproductibilité des résultats obtenus lors des essais de traction, l'utilisation d'éprouvettes normalisées est indispensable. Ces éprouvettes, généralement de forme prismatique ou en forme d'haltère, doivent respecter des dimensions spécifiques définies par des normes telles que la norme ASTM D638-03.

Ces normes précisent notamment les rapports à respecter entre la longueur de référence, la largeur et l'épaisseur de la section utile de l'éprouvette. Ces dimensions sont conçues pour favoriser une

rupture au centre de l'éprouvette, loin des zones de fixation, et éviter les concentrations de contraintes aux extrémités.

La figure II.1 présente un schéma type d'éprouvette de traction prismatique, utilisée dans le cadre de cette norme

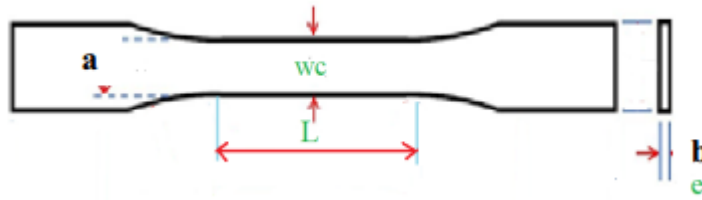


Fig.II. 1: Epreuve de traction prismatique.

Selon la norme ASTM-D638-03

Sachant que la section : $S_0 = ab$

L'allongement de l'éprouvette peut être mesuré en enregistrant le déplacement relatif des têtes de serrage à coin.

II.3- Courbe de traction conventionnelle :

La courbe de traction conventionnelle permet de représenter graphiquement la relation entre la force appliquée (F) sur une éprouvette et l'allongement (ΔL) qu'elle subit lors de l'essai de traction. Cette courbe est obtenue à partir de l'enregistrement simultané de la charge appliquée et de la déformation longitudinale mesurée pendant l'essai.

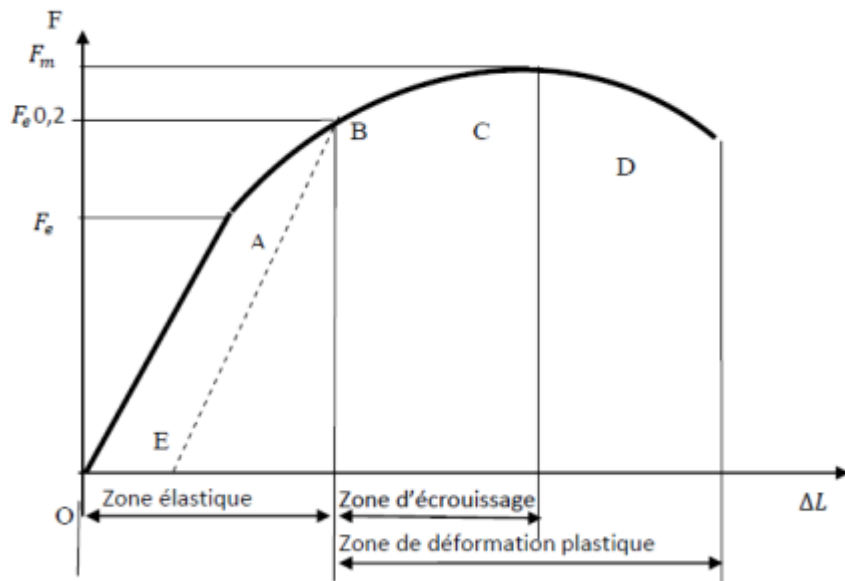


Fig II. 22: Courbe conventionnelle de traction (efforts-allongements).

Effectué en cours d'essai en rapportant la force à la section initiale pour raisonner en termes de contrainte :

$$\sigma = F / S_0$$

F: force normale en N

S₀: surface de la section en mm²

:contrainte normale en MPa (N/mm²) .

En rapportant l'allongement à la longueur initiale pour raisonner en termes d'allongement relatif :

$$\text{L'allongement} : \Delta L = L - L_0$$

Δ: allongement absolu ou extension .

L₀: longueur initiale de la poutre .

En résumé, la courbe de traction conventionnelle est un outil essentiel pour comprendre le comportement mécanique des matériaux sous contrainte.

II.4 – Vitesse d’essai de traction

La vitesse de traction correspond à la vitesse à laquelle une éprouvette est sollicitée mécaniquement pendant un essai de traction. Elle joue un rôle crucial dans la détermination des propriétés mécaniques des matériaux, en particulier dans le cas des matériaux composites renforcés par des fibres naturelles comme le jute.

Une vitesse de traction mal choisie peut entraîner des résultats non représentatifs du comportement réel du matériau en service. En effet, une vitesse trop élevée peut générer des effets dynamiques ou des échauffements locaux, tandis qu’une vitesse trop lente peut fausser le temps de réponse du matériau, notamment si celui-ci présente une certaine sensibilité au fluage ou à la relaxation.

Selon les normes ASTM D3039 (pour les composites polymères renforcés) ou ISO 527-1 (pour les plastiques), la vitesse de traction doit généralement être comprise entre 1 mm/min et 10 mm/min, afin d'assurer une sollicitation progressive et homogène.

Cette plage de vitesse est adaptée pour les essais sur les matériaux composites thermodurcissables, comme le système Jute-Époxy, garantissant ainsi des résultats fiables et reproductibles.

L₀ : longueur initiale de référence de l’éprouvette.

L’équipement de traction enregistre, pendant le test, une courbe liant la force appliquée à l’allongement mesuré entre les têtes de serrage. Cette courbe est essentielle pour extraire les propriétés mécaniques du composite testé.

II.5 – Caractéristiques mécaniques

Les caractéristiques mécaniques obtenues à partir d’un essai de traction sont fondamentales pour évaluer le comportement d’un matériau composite Jute-Époxy, en particulier après traitement thermique. Parmi ces caractéristiques, deux sont particulièrement importantes : la résistance à la rupture et l’allongement à la rupture.

II.5.1 – Résistance à la rupture

La résistance à la rupture (ou contrainte maximale) est la contrainte maximale que peut supporter un matériau lorsqu’il est soumis à une traction uniaxiale avant de se rompre. C’est un indicateur direct de la capacité portante du matériau.

Elle est obtenue à partir de la charge maximale enregistrée pendant le test et de la section initiale de l'éprouvette, selon la relation :

$$R_m = F_m / S_0$$

Où :

- R_m : résistance maximale à la traction (MPa ou N/mm²),
- F_m : charge maximale (N),
- S_0 : section initiale de l'éprouvette (mm²).

Dans le cas du composite Jute-Époxy, cette valeur permet de comparer l'effet du traitement thermique sur la résistance globale du matériau. Une variation significative de R_m peut indiquer une amélioration ou une dégradation de l'adhésion matrice-fibre due à la température.

II.5.2 – Allongement

L'allongement à la rupture mesure la déformation subie par l'éprouvette au moment de la rupture. Il reflète la ductilité du matériau, c'est-à-dire sa capacité à se déformer de manière plastique avant de se casser.

Il est exprimé généralement en pourcentage, selon la formule :

$$A\% = \Delta L * 100 / L_0.$$

II.5.3 – Coefficient de striction (Z %)

Le coefficient de striction est un indicateur clé dans l'évaluation de la ductilité d'un matériau composite soumis à un essai de traction. Dans le cas spécifique des composites à base de jute et résine époxy, cette propriété permet d'apprécier la manière dont le matériau se comporte au niveau microscopique lorsqu'il est soumis à une contrainte importante, jusqu'à la rupture.

Lors de l'essai, une réduction de la section transversale peut être observée dans la zone de rupture. Cette réduction est mesurée et traduite par le coefficient de striction, selon la formule suivante :

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

- S_0 : Section initiale (en mm^2), mesurée avant l'application de la contrainte.
- S_u : Section minimale mesurée à l'endroit de la rupture après l'essai.

Dans le cas des composites jute-époxy, une faible valeur de striction pourrait indiquer une rupture relativement fragile, typique des matériaux composites à fibres naturelles. Cependant, une striction modérée peut aussi signaler une bonne cohésion fibre-matrice, permettant une certaine dissipation d'énergie avant la rupture.

II.6 – Présentation des échantillons

Les échantillons destinés aux essais de traction ont été élaborés à partir d'une plaque de composite jute-époxy fabriquée en laboratoire. Afin de garantir la reproductibilité des résultats et la conformité aux normes, les éprouvettes ont été préparées selon la norme ASTM D638-03, qui définit les dimensions géométriques standard pour les essais de traction des matériaux polymères et composites.

Les spécimens ont été découpés à l'aide d'un outillage spécifique permettant de respecter les dimensions exactes imposées par la norme (longueur totale, largeur de la zone de test, rayon de courbure, etc.). La forme dite "en os de chien" assure une rupture contrôlée au centre de l'éprouvette, permettant une mesure précise des paramètres mécaniques.

Avant les essais, chaque éprouvette a été identifiée et mesurée avec soin (longueur initiale, section transversale) afin de garantir la fiabilité des calculs des propriétés mécaniques (contrainte, allongement, module...).

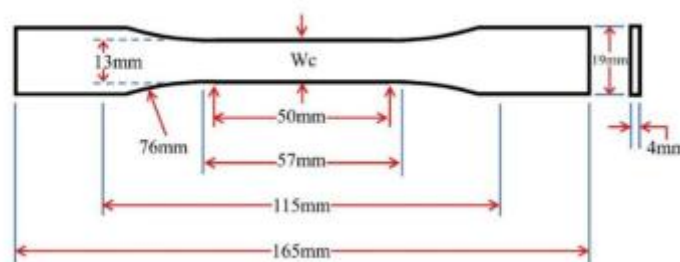


Figure II. 3 : Eprouvette de traction utilisée.

II.7 – Préparation des éprouvettes

II.7.1 – Introduction

Avant de procéder à la fabrication des éprouvettes pour les essais mécaniques, il est important de justifier le choix du système composite étudié. Le matériau sélectionné dans ce travail est un composite à matrice thermodurcissable (époxy) renforcé par des fibres naturelles de jute, connues pour leurs excellentes propriétés mécaniques et environnementales.

Le jute présente de nombreux avantages : il est renouvelable, biodégradable, léger, et possède une bonne résistance mécanique, notamment en traction. En plus de ses propriétés structurales, il offre une solution écoresponsable aux matériaux composites traditionnels renforcés par des fibres synthétiques, souvent coûteuses et non recyclables.

Ces qualités font du jute un matériau de choix pour la conception de structures composites destinées à des applications dans les domaines de l'automobile, du bâtiment, de l'ameublement ou encore de l'emballage durable.

Dans le cadre de cette étude, les éprouvettes sont élaborées à partir d'un composite jute-époxy, dans le but d'évaluer l'effet d'un traitement thermique sur leurs propriétés mécaniques, notamment la résistance à la traction et le comportement en déformation.

II.7.2 – Fabrication de la plaque (Jute-Époxy)

La fabrication des éprouvettes a nécessité, dans un premier temps, la réalisation d'une plaque composite à partir de fibres de jute et de résine époxy. Pour cela, un moule en bois a été conçu, avec des dimensions adaptées à la norme des échantillons d'essai (ASTM D638), et a été enduit de cire démoulante (type Colorado) afin de faciliter le retrait de la plaque après durcissement.

La formulation de la matrice a été préparée en mélangeant 75 % de résine époxy avec 25 % de durcisseur, selon un rapport poids/poids conforme aux recommandations du fournisseur.

Ensuite, plusieurs plis de tissu de jute ont été soigneusement découpés, puis imbibés manuellement de la résine préparée. Ces plis ont été superposés dans le moule selon une orientation uniforme pour garantir l'homogénéité du renfort.

Une fois tous les plis positionnés et imprégnés, la plaque a été compressée mécaniquement à l'aide d'un plateau rigide ou de charges uniformes afin d'éliminer les bulles d'air et de garantir un bon contact fibre-matrice. Le moule a été ensuite laissé à température ambiante pendant 24 heures pour permettre une polymérisation complète de la résine.

Après durcissement, la plaque composite obtenue a été démoulée avec précaution, puis préparée pour l'usinage des éprouvettes aux dimensions normalisées.



(a)



(b)

Figure II. 4. (a)Fibres de jute; (b) Résine = Epoxy (75%) + Durcisseur (25%).

Après la superposition des plis de tissu de jute imprégnés de résine, le remplissage du moule a été complété soigneusement à l'aide de la formulation époxy (75 % résine + 25 % durcisseur). La distribution homogène de la résine dans l'ensemble du moule est une étape critique pour assurer une bonne imprégnation des fibres et éviter la formation de vides ou de bulles d'air.

Une fois le moule rempli, une pression constante a été appliquée à l'aide d'une presse mécanique pendant une durée de 48 heures. Cette opération permet de consolider la stratification, d'assurer une meilleure compaction du matériau et d'optimiser l'adhésion entre la matrice époxy et les fibres de jute.

À la fin du cycle de polymérisation, la plaque composite a été soigneusement démoulée, révélant un panneau rigide et homogène, prêt à être découpé pour la confection des éprouvettes de traction.

Les différentes étapes de fabrication de la plaque composite à base de jute sont illustrées dans la Figure II. 5.



Figure .II. 5: Etapes de fabrication de la plaque.

II.7.3 – Usinage des éprouvettes

Après le démoulage de la plaque composite à base de fibres de jute et de résine époxy, celle-ci a été préparée pour la phase d'usinage des éprouvettes de traction. L'opération de découpe initiale a été réalisée au laboratoire des sciences des matériaux de la Faculté de technologie – Université de M'sila, à l'aide d'une scie circulaire de précision.

La plaque a été soigneusement découpée en quatre échantillons rectangulaires de dimensions adaptées, en veillant à minimiser les irrégularités de coupe et les éventuelles zones endommagées.

Dans un second temps, chaque échantillon a été usiné selon les dimensions normalisées spécifiées par la norme ASTM D638-03, qui définit la géométrie des éprouvettes pour les essais de traction des plastiques et composites. L'usinage final a permis d'obtenir des éprouvettes avec une forme "en os de chien", assurant une répartition uniforme des contraintes lors de l'essai.

Ensuite, les plaques composites renforcées par des fibres de jute sont usinées à l'aide d'une machine CNC disponible au Laboratoire des Sciences des Matériaux de la Faculté de Technologie de l'Université de M'sila (figure II.6). Cette étape permet de découper les éprouvettes selon les dimensions normalisées requises, garantissant ainsi une géométrie conforme pour les essais mécaniques ultérieurs (figure II.7).



Figure II. 6 Machine de CNC



Figure II. 7: Les éprouvettes usinées par machine CNC.

Machine de traction

Les essais de traction ont été réalisés à l'aide d'une machine de traction universelle située au Laboratoire des Sciences des Matériaux. Cette machine est équipée d'un capteur de force de haute précision et d'un système d'acquisition de données permettant d'enregistrer en temps réel les efforts appliqués ainsi que les déformations subies par les éprouvettes. Elle permet de caractériser les propriétés mécaniques du composite Jute-Époxy, telles que la résistance maximale à la traction, le module d'élasticité longitudinal et l'allongement à la rupture. La machine fonctionne à une vitesse de déplacement contrôlée conformément aux normes internationales (par exemple ASTM D3039), assurant ainsi la reproductibilité et la fiabilité des résultats obtenus.



Figure.II. 8: Machine de traction TEST.

L'essai de traction a été réalisé en suivant une procédure précise visant à assurer la fiabilité des résultats obtenus. Les différentes étapes sont décrites comme suit :

a) Fixation de l'éprouvette

L'éprouvette est solidement fixée entre les deux mors de la machine de traction (figure II.9), de manière à garantir un bon alignement et éviter tout glissement ou déséquilibre durant l'essai.



Figure II. 9: Éprouvette fixée entre les deux mors de la machine.

b) Paramétrage de la machine

Les paramètres relatifs à l'essai sont saisis via l'interface de la machine, notamment les caractéristiques du matériau, le type d'éprouvette, la vitesse de traction, ainsi que les conditions de rupture attendues.

c) Vérification des données

Avant de lancer l'essai, une vérification minutieuse des données saisies est effectuée afin d'assurer la conformité des paramètres expérimentaux avec le protocole prévu.

d) Lancement de l'essai

Une fois l'éprouvette correctement positionnée et les données confirmées, l'essai est lancé. Le mors mobile se déplace à une vitesse constante de 2 mm/min, tandis que l'interface affiche en temps réel l'évolution de la courbe force-allongement, jusqu'à la rupture complète de l'éprouvette.

e) Enregistrement des résultats

Les courbes obtenues sont automatiquement enregistrées par le système, notamment :

- Allongement en fonction de la force appliquée ;
- Contrainte en fonction de la déformation.
- Ces données permettront ensuite d'extraire les paramètres mécaniques essentiels tels que la résistance maximale, le module d'élasticité, et l'allongement à la rupture.

Traitement thermique :

Dans le cadre de ce travail, un traitement thermique spécifique a été appliqué afin d'étudier son influence sur les propriétés mécaniques du matériau composite à base de fibres naturelles. Cette opération a été conduite selon des paramètres thermodynamiques bien définis (température, durée, atmosphère) visant à optimiser l'adhésion matrice-renfort, à améliorer la stabilité dimensionnelle et à réduire les contraintes internes du composite.

L'étude thermodynamique de ce traitement permet d'analyser les phénomènes de transfert de chaleur, de diffusion thermique au sein du matériau, ainsi que les transformations physico-chimiques intervenant au niveau de la matrice polymère. Ces transformations ont une incidence directe sur la structure du composite et, par conséquent, sur ses performances mécaniques finales

Nous avons exposé les échantillons à différentes températures (70-100-130-160-190 °C) pendant 4 heures, puis nous les avons laissés refroidir naturellement à température ambiante.

CHAPITRE III

RESULTATS EXPERIMENTAUX OBTENUS ET DISCUSSION

III.1. Introduction :

Dans le but d'optimiser les propriétés mécaniques des matériaux composites, il est essentiel d'évaluer leur comportement sous sollicitation mécanique, notamment par le biais des essais de traction.

Ce chapitre est dédié à la présentation et à l'analyse des résultats expérimentaux obtenus suite à des essais de traction réalisés sur des échantillons composites Jute/Époxy, ayant subi différents traitements thermiques.

L'objectif est de mettre en évidence l'impact du traitement thermique sur des paramètres mécaniques clés tels que la résistance à la rupture, l'allongement à la rupture, et le coefficient de striction.

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

Les essais de traction ont été réalisés à une vitesse constante de 2 mm/min, sur des éprouvettes composites Jute/Époxy traitées thermiquement à différentes températures. Les courbes obtenues lors de ces essais représentent la relation contrainte-déformation, permettant de caractériser la réponse mécanique du matériau.

Les résultats sont présentés dans les figures ci-après, accompagnés d'une analyse comparative des différentes conditions de traitement thermique appliquées.

Les courbes représentées dans la figures III.1 à La figure III.5(contrainte- déformation) montrent le comportement du matériau étudié en traction en fonction de la température.

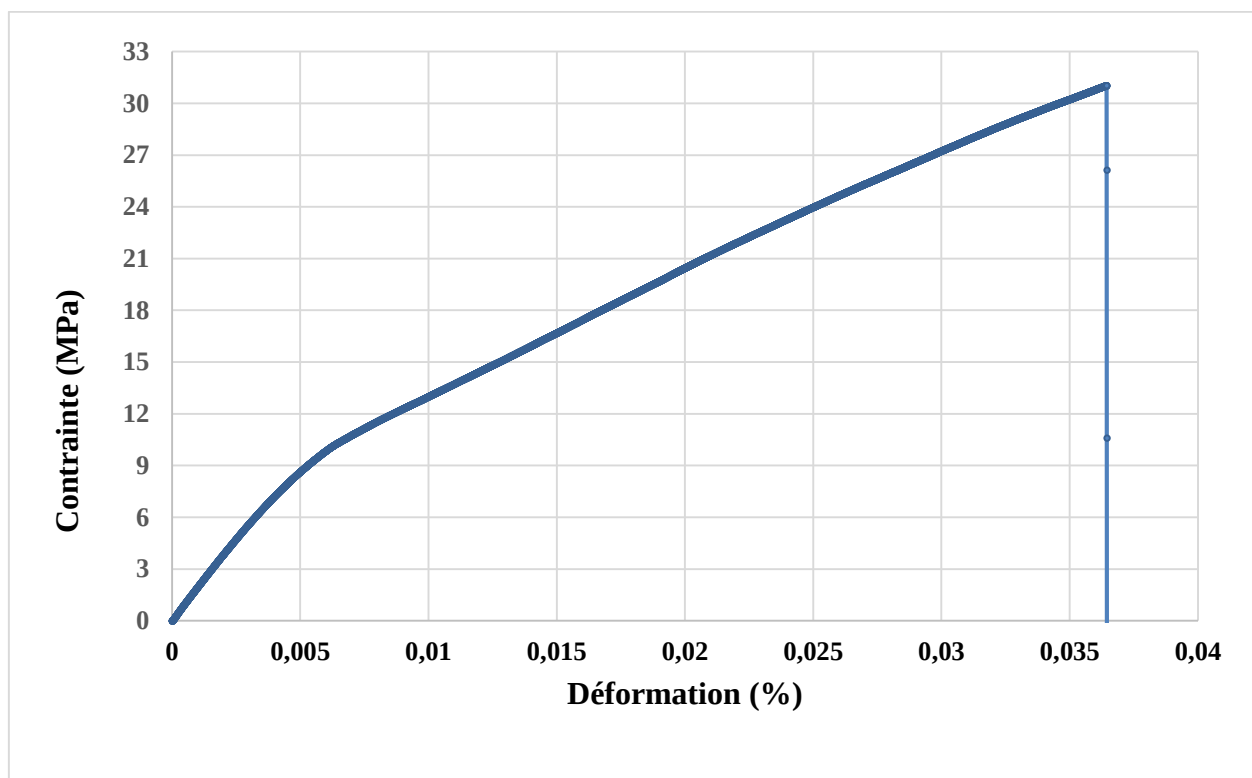


Figure.III. 7: Courbe de traction (contrainte- déformation) du matériau à la température (70°C)

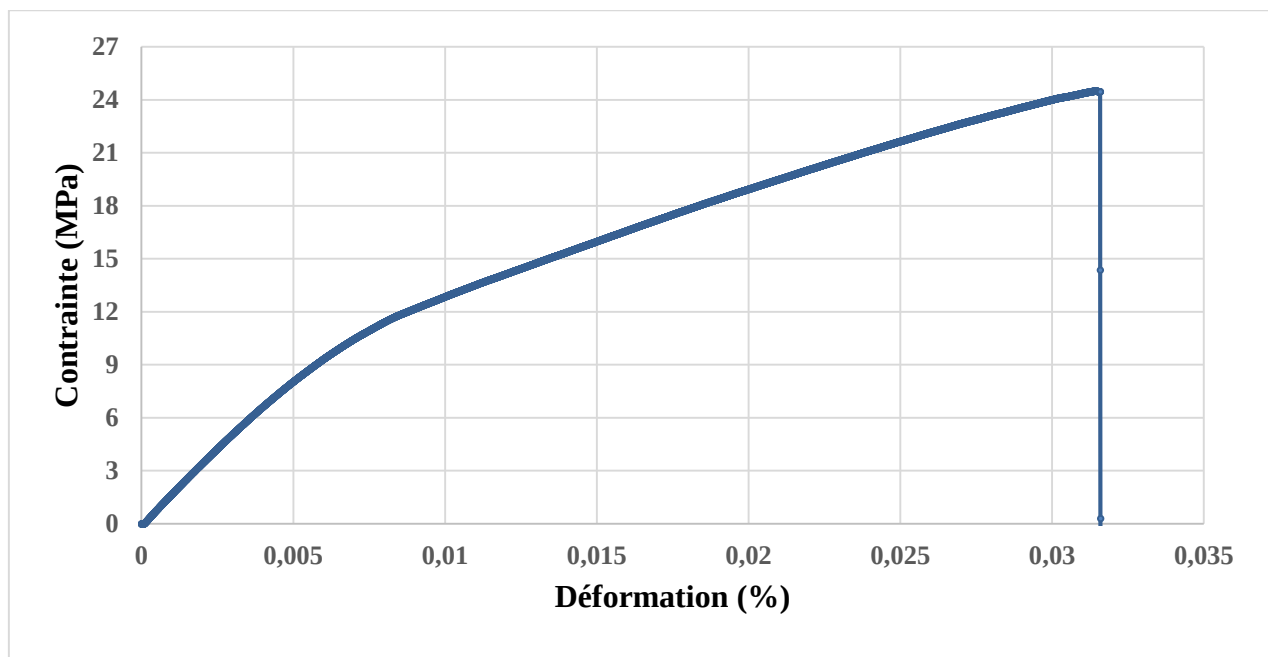


Figure.III. 2 : Courbe de traction (contrainte- déformation) du matériau à la température (100°C)

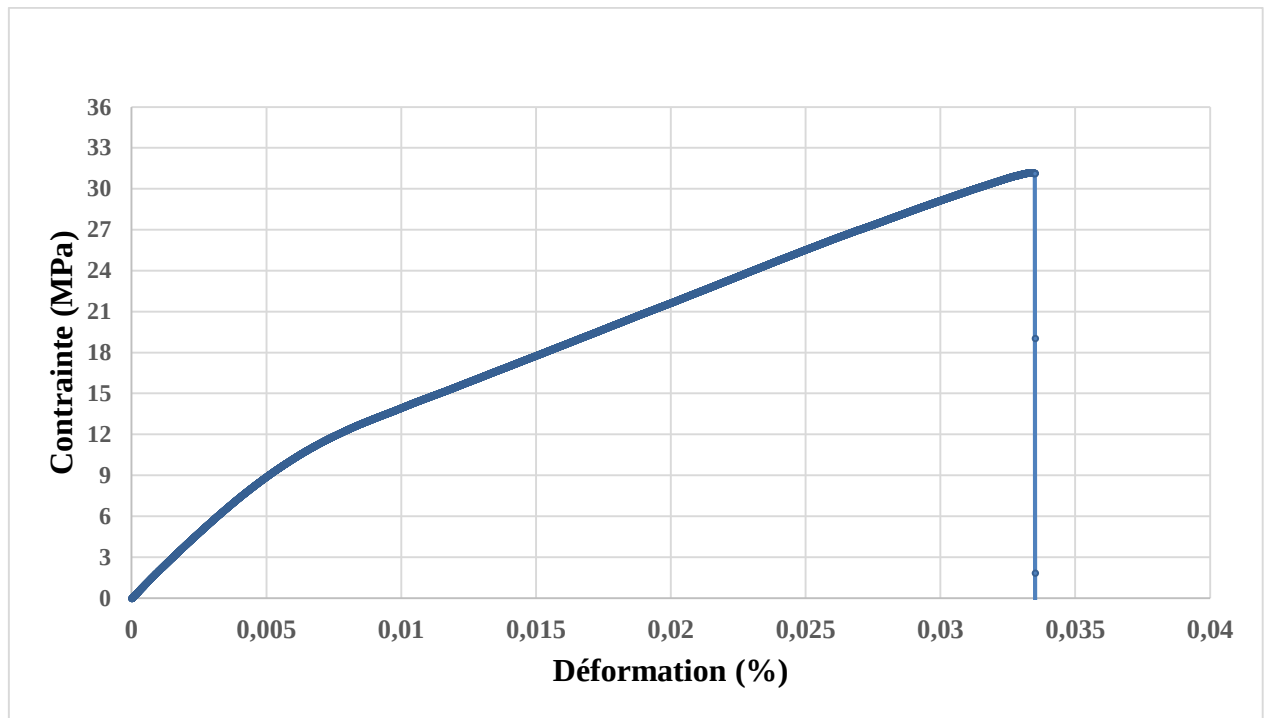


Figure.III. 3 : Courbe de traction (contrainte- déformation) du matériau à la température (130°C)

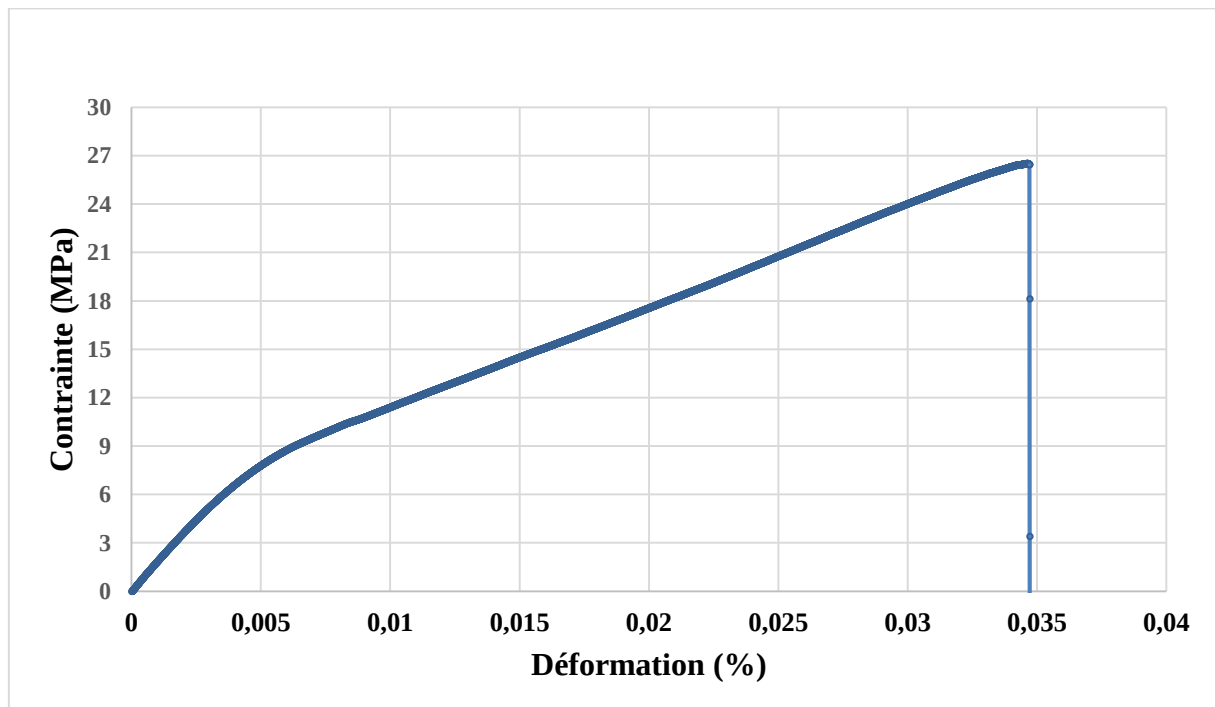


Figure.III. 4: Courbe de traction (contrainte- déformation) du matériau à la température (160°C)

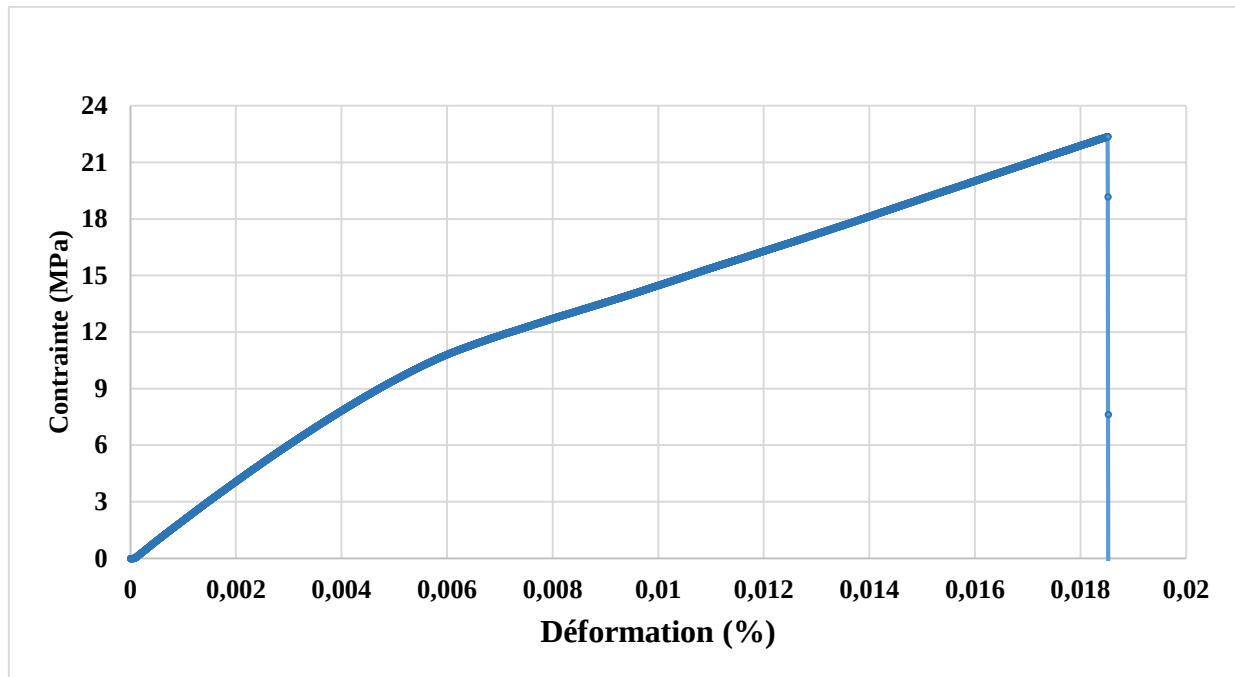


Figure.III. 5 : Courbe de traction (contrainte- déformation) du matériau à la température (190°C).

III.3. Comportement mécanique du matériau soumis à un essai de traction

Les courbes obtenues lors des essais de traction montrent un comportement mécanique similaire pour l'ensemble des échantillons, indépendamment des conditions de traitement thermique appliquées. Cela suggère que le matériau composite Jute/Époxy présente une réponse cohérente en traction, avec des phases caractéristiques bien définies.

L'analyse des courbes contrainte-déformation permet de distinguer les différentes zones du comportement mécanique :

Domaine élastique :

Le domaine élastique est représenté par la partie linéaire initiale de la courbe. Dans cette zone, la relation entre la contrainte (σ) et la déformation (ϵ) est linéaire et obéit à la loi de Hooke. Toute déformation subie est réversible : si la charge est retirée, l'éprouvette retrouve sa longueur initiale.

Domaine plastique homogène :

Lorsque la contrainte dépasse la limite d'élasticité, le matériau entre dans une phase de déformation plastique. Dans ce domaine, la déformation devient irréversible. Le sommet de la courbe correspond à la contrainte maximale ou charge ultime, au-delà de laquelle la striction se produit. Cette dernière se manifeste par une concentration locale de la déformation jusqu'à la rupture de l'échantillon

III.4. Mesure des échantillons

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

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

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

III.5. Résultats obtenus :

Coefficient de striction Z%

On utilise les résultats du tableau précédent pour calculer le coefficient de striction de chaque éprouvette à partir de la relation Z% :

$$Z\% = (S_0 - S_u) 100 / S_0$$

Tableau.III. 1: Coefficient de striction (Z%).

Température de traitement [°C]	S ₀ [mm ²]	S _u [mm ²]	Z%
70	56.53	53.58	5.21
100	55.03	53.37	3.01
130	57.23	54.17	5.34
160	53.79	52.17	3.01
190	57.43	55.08	4.09

III.6. Caractéristiques mécaniques du matériau analysé

Les essais de traction réalisés à une vitesse constante de 5 mm/min ont permis d'évaluer un ensemble de propriétés mécaniques essentielles du matériau composite Jute/Époxy, traité thermiquement sous différentes conditions.

Les paramètres mécaniques mesurés sont les suivants :

- **Résistance maximale à la rupture (R_m)** : C'est la contrainte maximale que le matériau peut supporter avant la rupture.
- **Allongement à la rupture ($A \%$)** : Représente la capacité du matériau à s'allonger plastiquement avant la rupture. Elle donne une indication sur la ductilité du composite.
- **Coefficient de striction ($Z \%$)** : Mesure la réduction de la section transversale du matériau au niveau de la rupture, ce qui permet d'évaluer la localisation de la déformation plastique.

L'ensemble de ces résultats est présenté dans le Tableau III.2, qui regroupe les valeurs moyennes obtenues pour chaque échantillon soumis à un traitement thermique spécifique. Ces données constituent la base de l'analyse comparative qui suit, visant à déterminer l'impact du traitement thermique sur le comportement mécanique global du matériau.

Tableau. III. 2 : Caractéristiques mécaniques en fonction de la température.

Température de traitement [°C]	R_m [MPa]	$A\%$	$Z\%$	E [MPa]
70	27.5	4	5.21	600
100	26.5	3.47	3.01	533
130	28.54	4	5.34	733
160	27	3.02	3.01	666
190	21	1.72	4.09	1000

III.6.1. Variation de la résistance à la traction en fonction de la température

La résistance à la traction (R_m) représente la contrainte maximale que peut supporter le matériau composite Jute/Époxy avant de se rompre. C'est un indicateur clé de la performance mécanique du composite, influencé directement par la qualité d'adhésion entre la matrice (époxy) et les fibres de renfort (jute), ainsi que par l'état interne du matériau.

Les résultats des essais montrent que la résistance à la traction varie en fonction du traitement thermique appliqué. On observe généralement que:

- Un traitement thermique modéré permet une meilleure réticulation de la matrice époxy, favorisant ainsi l'adhésion aux fibres de jute et augmentant la résistance à la rupture.
- À l'inverse, des températures trop élevées peuvent entraîner une dégradation des fibres naturelles (jute), provoquant une chute des performances mécaniques.
- La résistance maximale a été enregistrée pour les échantillons traités à une température optimale (à préciser selon tes résultats), au-delà de laquelle une diminution de R_m a été observée.

Ces variations s'expliquent par la sensibilité thermique des fibres de jute, qui peuvent perdre partiellement leur intégrité structurale sous l'effet d'une température excessive, affectant négativement leur capacité à transmettre les efforts à la matrice.

Les résultats sont résumés dans la figure III.6, mettant en évidence l'évolution de R_m en fonction de la température de traitement thermique appliqué.

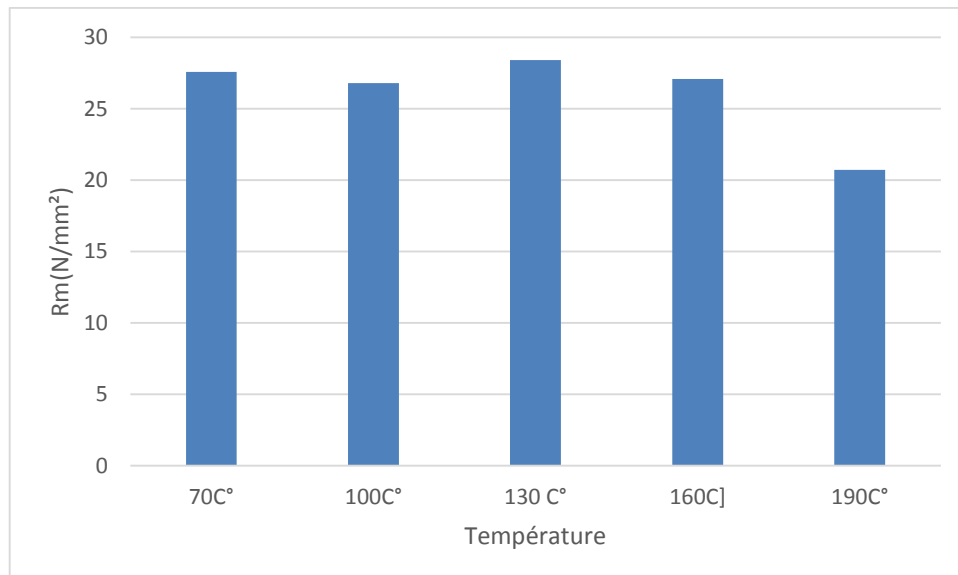


Figure. III. 6. Variation de la résistance R_m en fonction de la température.

III.6.2. Variation de l'allongement à la rupture (A%) en fonction de la température

L'allongement à la rupture (A%) est un paramètre fondamental issu de l'essai de traction, permettant de caractériser la capacité du matériau à se déformer plastiquement avant la rupture. Il est souvent utilisé pour évaluer la ductilité du matériau composite.

Dans le cadre de cette étude, l'évolution de l'allongement à la rupture a été analysée pour des éprouvettes de composite Jute/Époxy soumises à différents traitements thermiques. Les résultats obtenus montrent que:

- À des températures modérées, l'allongement à la rupture augmente légèrement, ce qui peut s'expliquer par une meilleure réticulation de la matrice et une meilleure interaction avec les fibres de jute.
- En revanche, à des températures élevées, on observe une réduction significative de l'allongement, ce qui traduit une perte de ductilité du matériau composite.

Cette baisse peut être attribuée à la dégradation thermique des fibres de jute, qui deviennent plus cassantes sous l'effet de la chaleur excessive, réduisant ainsi la capacité globale du matériau à se déformer avant rupture.

Les valeurs correspondantes sont présentées dans figure III.7, et confirment que la température de traitement a un impact direct sur la capacité de déformation du composite.

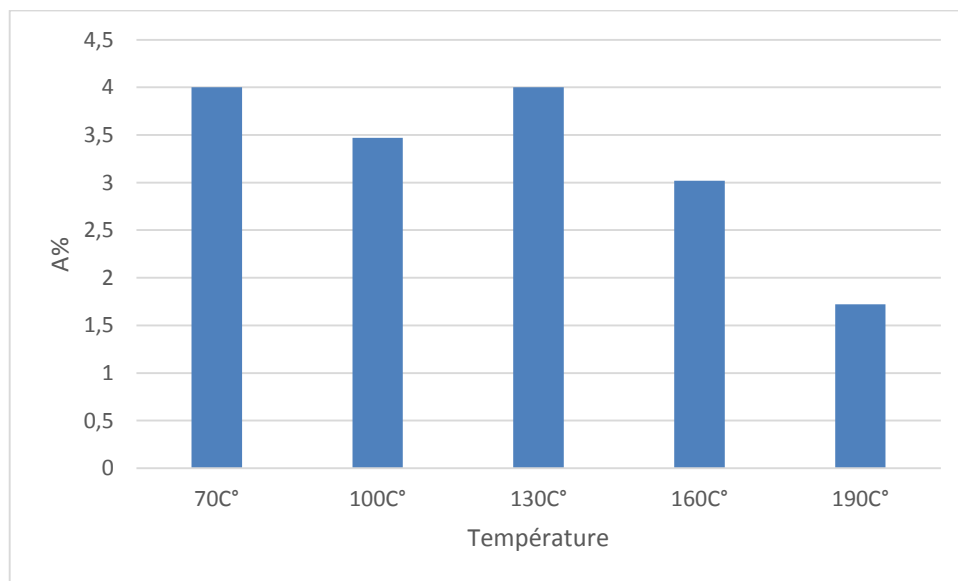


Figure. III. 7. Evolution de l'allongement A% en fonction de la température.

III.6.3. Variation du coefficient de striction (Z%) en fonction de la température

Les résultats de Z% obtenus pour chaque condition de traitement thermique sont présentés dans la figure III.8 confirme l'effet significatif de la température sur la capacité de striction du matériau composite

Le coefficient de striction (Z%) correspond à la réduction relative de la section transversale d'un matériau au niveau de la zone de rupture après un essai de traction. Cette valeur exprime la capacité du matériau à subir une déformation plastique localisée avant la rupture. Il est défini par la formule suivante :

L'analyse expérimentale des éprouvettes composites Jute/Époxy montre que le coefficient de striction varie sensiblement en fonction du traitement thermique appliqué :

- À des températures de traitement modérées, la striction augmente légèrement, indiquant une bonne cohésion entre la matrice et les fibres, ce qui permet une déformation plastique localisée plus marquée.
- À des températures plus élevées, on observe une diminution de Z%, ce qui peut être dû à la fragilisation des fibres de jute causée par la dégradation thermique. Cela rend la rupture plus nette et réduit la capacité du matériau à se contracter transversalement.

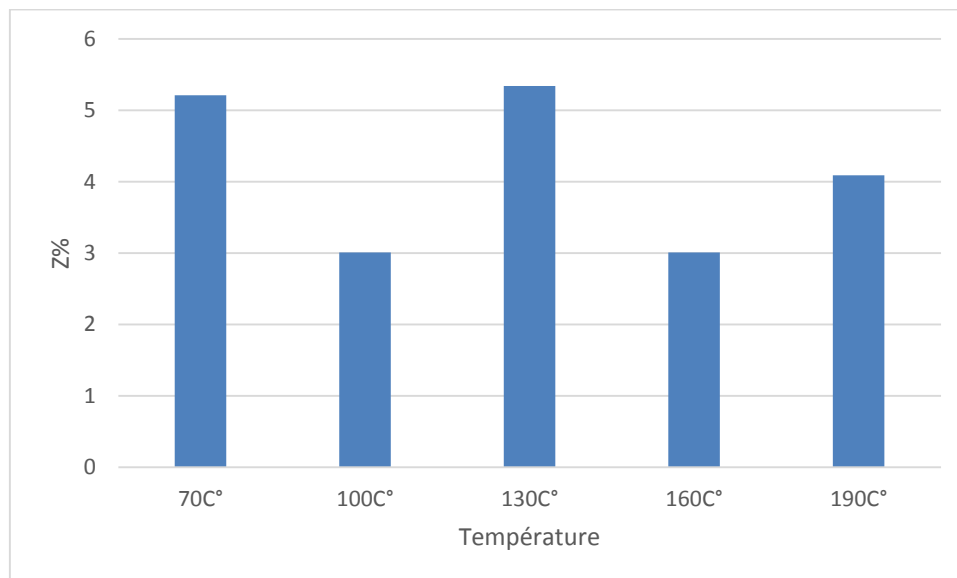


Figure. III. 8. Variation du coefficient de striction Z% en fonction de la température.

Ce comportement s'explique par la structure des fibres de jute, qui sont disposées en faisceaux parallèles et possèdent une rigidité naturelle. Sous une sollicitation mécanique, une

dégradation thermique de ces fibres compromet leur capacité à se déformer de manière progressive, ce qui se traduit par une striction moins importante.

III.6.4. Variation du module d'élasticité longitudinale (module de Young) en fonction du traitement thermique

Le module d'élasticité longitudinale, ou module de Young (E), est une constante mécanique qui caractérise la rigidité du matériau dans sa phase élastique. Il correspond à la pente de la courbe contrainte-déformation dans la zone linéaire, et exprime la capacité du matériau à résister à une déformation élastique sous contrainte.

Dans le cadre des essais menés sur les composites Jute/Époxy, on observe que le module de Young varie significativement en fonction des conditions de traitement thermique appliquées aux éprouvettes.

Les résultats expérimentaux montrent que :

- Lorsque le matériau est soumis à un traitement thermique optimal, le module de Young tend à augmenter, ce qui traduit une meilleure cohésion interfaciale entre la matrice époxy et les fibres de jute. Cela se traduit par une meilleure transmission des efforts et donc une rigidité accrue.
- En revanche, à des températures de traitement élevées, on observe une baisse du module d'élasticité, probablement due à une dégradation thermique des fibres de jute, entraînant une perte d'intégrité structurelle et une réduction de la capacité du composite à résister à la déformation.

Ainsi, le module de Young est fortement influencé par la température du traitement thermique, ce qui met en évidence l'importance du contrôle thermique dans le processus de fabrication des matériaux composites à base de fibres naturelles.

Les valeurs correspondantes sont synthétisées dans le tableau III.4, et confirment l'existence d'un lien direct entre la température de traitement et la rigidité mécanique du matériau.

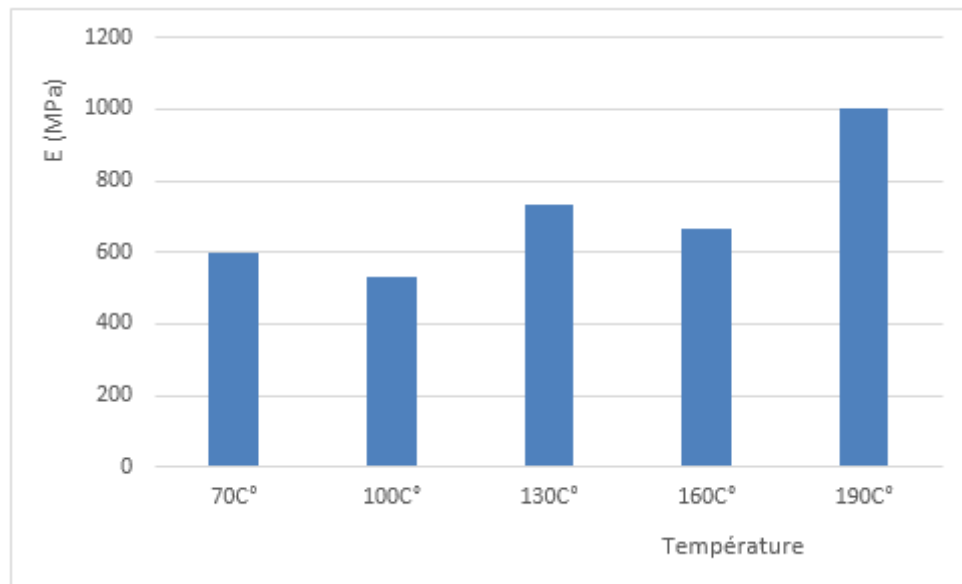


Figure. III. 9. Variation du module de Young en fonction de la température.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Notre étude a mis en lumière le rôle prépondérant et intrinsèque du traitement thermique dans la modulation et l'amélioration significative des propriétés mécaniques des matériaux composites. Dans un contexte industriel et technologique en constante évolution, où la quête de matériaux performants, économiquement viables et respectueux de l'environnement est primordiale, les composites se sont imposés comme une solution de choix. Toutefois, la nécessité de s'affranchir des contraintes environnementales et économiques liées aux renforts synthétiques a mis en exergue le potentiel inexploité des fibres naturelles.

Notre travail s'est spécifiquement concentré sur le jute, une fibre reconnue pour son abondance, son faible coût, sa légèreté et ses qualités mécaniques prometteuses, notamment lorsqu'elle est associée à une matrice polymère telle que la résine époxy. L'introduction avait parfaitement souligné que les performances d'un composite ne sont pas uniquement déterminées par le choix de ses constituants initiaux, mais qu'elles peuvent être considérablement affinées par des processus secondaires comme le traitement thermique.

Les résultats de cette recherche confirment que l'application contrôlée d'une température, en modifiant la microstructure du composite Jute-Époxy, peut influencer de manière décisive des paramètres mécaniques essentiels tels que la résistance à la traction, l'allongement à la rupture, le coefficient de striction et le module de Young. Que ce soit par l'amélioration de la polymérisation et de la réticulation de la matrice, la réduction des contraintes internes générées durant la fabrication, ou l'optimisation de l'adhésion interfaciale entre la fibre et la matrice, le traitement thermique s'avère être un levier puissant pour débloquent le plein potentiel de ces matériaux biosourcés.

En définitive, cette étude contribue non seulement à une meilleure compréhension des effets thermiques sur le comportement des matériaux composites naturels, mais elle ouvre également des perspectives concrètes pour leur intégration dans des applications techniques exigeantes, traditionnellement dominées par des matériaux plus conventionnels. Le développement de ces matériaux hybrides, alliant performance et durabilité, est une étape cruciale vers une ingénierie des matériaux plus responsable et innovante. Ainsi, les propriétés mécaniques, telles que, la résistance à la rupture, l'allongement et le module de Young sont fortement influencés par la température du traitement thermique, ce qui met en évidence

Conclusion générale

l'importance du contrôle thermique dans le processus de fabrication des matériaux composites à base de fibres naturelles.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques :

- [1] Berthelot J.M., Matériaux composites - Comportement mécanique et analyse des structures, Ed. Tec & Doc, Lavoisier, Paris, 2005.
- [2] D. Matériaux composites. 3^e édition. Paris: Hermès, 1991. 569 p. Hhl.D. An introduction to composite materials: combridge university press, 1985.
- [3] J. Jordan, K. I. Jacob, R. Tannenbaum, M. A. Sharaf, and I. Jasiuk, "Experimental trends in polymer nanocomposites a review," Mater. Sci. Eng. A, vol. 393, no. 1-2, pp. 1-11, Feb. 2005.
- [4] Baroumes L." Comportement de composites à matrice métallique : du processus de fabrication à la tenue en service".Thèse de doctorat, Université Paris VI, 1998.
- [5] Nadia Bahlouli, Cours Composites sur le site Internet <http://www.wipst.ustrasbg.fr/cours/materiaux-composites> ".
- [6] Cherouali.H, Reynaud. P, Rouby. D, Cardinal. S, R'Mili. M & Merle. P," Elaboration de Composites Monofilamentaires à Matrice Céamique et à Matrice Méallique", numéro hors-serie de la Revue des Composites et des Matériaux Avancée, Vol. 7, p. 13-30, novembre 1997
- [7] Courbiere. M." Etude des liaisons céramique-métal, application au couple cuivre alumine". Thèse doctorat, école centrale de Lyon, 1986.
- [8] F.François & J.Jaroslav "Analyse des structures et milieux continus 'méthode des éléments finis"Ecole polytechnique fédérale de Lausanne 2001.
- [9] L. Rockey & W. Griffiths "Introduction à la méthode des éléments finis " Eyrolles, paris 1979.
- [10] A. J. M. Ferreira "Matlab codes for Finite Element analysis" Portugal: Springer, 2009 Vol. 157: Solid Mechanics and Its Applications.
- [11] T. Kant, K. Swaminathan "Analytical solutions for free vibration of laminated composite and sandwich plates based on ahigher-ordre refined theory. Composite Structures, 53 (2001)73-85.
- [12] M. Shaira, Caractérisation non destructive de la transformation martensitique de l'acier 304L induite par déformation cyclique, Thèse de doctorat, INSA de Lyon, Lyon 2006
- [13] J. Roget, Essai non destructif par l'émission acoustique. Mise en œuvre et application. AFNOR, CETIM Center technique des industries mécaniques. Paris: AFNOR, 1988, 196p.

Références Bibliographiques

- [14] A. Marec, Contrôle de santé des matériaux hétérogènes par émission acoustique et acoustique non linéaire Discrimination des mécanismes d'endommagement et estimation de la durée de vie restante, Thèse de doctorat, Université du Maine, Le Mans, France, 2008.
- [15] A.G. Beattie, Acoustic emission, principles and instrumentation. Journal of Acoustic Emission, 1983; 95-128.
- [16] K. Yamaguchi, H. Oyaizu, J. Johkaji, Acoustic Emission: Current Practice and Future Directions. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1991, 123p.
- [17] K. Ono, Trends of recent acoustic emission literature. Journal of Acoustic Emission, 1994; 12:177-98.
- [18] S.M.C. Van Bohemen, An acoustic emission study of martensitic and bainitic transformation in carbon steel, Thèse de doctorat, Netherlands: Delft University of Technology, 2004.
- [19]. Thakur, V.K. (2014). Green Composites from Natural Resources, (p. 207-241). CRC Press. United States of America.
- [20]- Pickering, P. (2008). Properties and Performance of Natural-Fibre Composites, (p. 67-128). CRC Press. United Kingdom.
- [21]- Lee, S.M. (1993). Handbook of Composite Reinforcements, (p. 90). Wiley-VCH. United States of America.
- [22]- Ehrburgeret, P., Donnet, J.B. (1980). Interface in composite materials. Philosophical Transactions of the Royal Society A, 294(1411), 495-505.
- [23] Park, S.J., Seo, M.-K. (2011). Interface Science and Composites, (p. 2-9). Elsevier.
- [24]- Hsu., J.-P. (1999). Interfacial Forces and Fields: Theory and Applications, (p. 387). Marcel Dekker Inc. Netherlands.
- [25]- Desiraju, G.R., Steiner, T. (2001). The Weak Hydrogen Bond: In Structural Chemistry and Biology, (p. 1). Oxford university press. United Kingdom.
- [26] Sofien Bouzouita. Optimisation des interfaces fibre/matrice de composites à renfort naturel.décembre 2011
- [27] C. Pomel, C. Baley et B. Lamy, «Influence de prétraitements et traitements chimiques sur l'adhérence fibre de lin / résine thermodurcissable polyester. », XVème Congrès Français de Mécanique Nancy, 2001,

Résumé :

Ce travail étudie l'effet du traitement thermique sur les propriétés mécaniques d'un matériau composite à base de fibres de jute et de résine époxy, en tant qu'alternative durable aux fibres synthétiques. Il vise à évaluer l'influence de différentes températures de traitement thermique sur la résistance à la traction, l'allongement à la rupture et le coefficient de striction. Les échantillons ont été fabriqués manuellement, puis soumis à des essais de traction après traitement thermique. Les résultats ont montré que, dans certains cas, le traitement thermique améliore les performances mécaniques et fonctionne dans l'autre sens dans d'autres cas. Il ouvre ainsi de nouvelles perspectives pour l'utilisation de composites naturels dans des applications industrielles respectueuses de l'environnement.

Mots-clés : Fibres naturelles, matériaux composites, traitement thermique, essai de traction, propriétés mécaniques

ملخص:

يتناول هذا العمل دراسة تأثير المعالجة الحرارية على الخواص الميكانيكية لمادة مركبة مكونة من ألياف الجوت والإيبوكسي، كبديل مستدام للألياف الصناعية. تهدف إلى تقييم مدى تأثير درجات حرارة مختلفة على مقاومة الشد، الاستطالة عند الكسر، ومعامل الانكماش وكذا معامل يونغ. تم تحضير مادة العينات يدوياً وإخضاعها لاختبارات شد بعد معالجتها حرارياً. وقد أظهرت النتائج أن المعالجة الحرارية تحسّن الأداء الميكانيكي في بعض الحالات وتعمل العكس في حالات أخرى، مما يفتح آفاقاً جديدة لاستخدام المواد المركبة الطبيعية في التطبيقات الصناعية الصديقة للبيئة.

الكلمات المفتاحية: ألياف طبيعية، مواد مركبة، المعالجة الحرارية، تجربة الشد، الخواص الميكانيكية