

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département de Métallurgie

Mémoire de master en génie des matériaux

**Etude comparative entre deux
composites renforcés en fibres de
jute et fibres de verre**

Réalisé par : - Imad ZEMOURI

Sous la direction de : - M. Abd El Madjid KASSER

- M. Djamel KARI

Présenté et soutenu publiquement le (01/07/2017)

Composition du Jury :

| | | | |
|-----------------------|-------------------------|---------|-----------|
| Président | Mme Kechoud NADIA | Docteur | ENP Alger |
| Rapporteur/ Promoteur | M. Abd El Madjid KASSER | Docteur | ENP Alger |
| Examineur | M. Abadli KAMEL | Docteur | ENP Alger |

ENP 2017

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département de Métallurgie

Mémoire de master en génie des matériaux

**Etude comparative entre deux
composites renforcés en fibres de
jute et fibres de verre**

Réalisé par : - Imad ZEMOURI

Sous la direction de : - M. Abd El Madjid KASSER

- M. Djamel KARI

Présenté et soutenu publiquement le (01/07/2017)

Composition du Jury :

| | | | |
|-----------------------|-------------------------|---------|-----------|
| Président | Mme Kechoud NADIA | Docteur | ENP Alger |
| Rapporteur/ Promoteur | M. Abd El Madjid KASSER | Docteur | ENP Alger |
| Examineur | M. Abadli KAMEL | Docteur | ENP Alger |

ENP 2017

Remerciements

En premier lieu, Mes vifs remerciements et profondes gratitude à DIEU tout puissant qui m'a comblé des bienfaits de l'Islam et de la science.

C'est pour nous un réel plaisir de remercier toutes les personnes qui nous ont inspiré, de près ou de loin, d'une manière ou d'une autre, de leur collaboration, leur soutien et leur avis judicieux, de mener à bien ce travail.

Que mon promoteur, le Docteur KASSER Abd El Madjid, trouve ici ma profonde gratitude pour ses précieux conseils, aide, orientation et disponibilité.

Je voudrais exprimer mes remerciements ainsi que ma profonde gratitude à mon co-promoteur, le doctorant « Kari Djamel el dine » qui nous à accorder sa confiance en nous permettons d'apprendre notre projet fin d'études dans son atelier à « Haïzer willaya de Bouira ». Il a été un grand secours et une aide pour nous dans la réalisation de ce travail.

Je tiens plus particulièrement à remercier la direction de l'entreprise MAGHREB PIPE Msila Algérie de leur collaboration positive en fournissant l'accès a l'atelier de préparation des échantillons pour les essais, et en particulier Monsieur BAALI Brahim, Directeur de l'usine pour son accueil et son accompagnement durant le déroulement de nos essais effectuer au sein du laboratoire de l'usine.

J'adresse aussi mes vifs remerciements aux membres de jury pour avoir accepté d'examiner et juger ce travail.

Dédicace

*Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut. . .
Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la
reconnaissance. . Aussi, c'est tout simplement que je dédie ce projet de fin d'étude...*

A mes chers parents

*Autant de phrases et d'expressions aussi éloquentes soient- elles ne sauraient exprimer ma
gratitude et ma reconnaissance. Vous avez su m'inculquer le sens de la
Responsabilité, de l'optimisme et de la confiance en soi face aux difficultés de la vie.
Je vous dois ce que je suis aujourd'hui et ce que je serai demain et je ferai toujours de
mon mieux pour rester votre fierté et ne jamais vous décevoir. Que Dieu, le tout
puissant, vous préserve, vous accorde santé, et bonheur.*

*A mes adorables sœurs : Hadjira et Loubna ainsi que mon cher frère : Roujdi
Merci d'être toujours à mes côtés, par votre présence, par votre amour dévoué et votre
tendresse.*

Et à tous ceux qui ont collaboré de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

I.ZEMOURI

ملخص

هذا العمل هو دراسة مفهوم لتطوير الأنابيب المركبة عن طريق لف خيوط. لاحظ أنه يتم استخدام هذه التقنية في مختلف المجالات (السيارات والطيران والفضاء والصناعات العسكرية، وأنابيب الخ...).
تعد الأنابيب المركبة في زاويتين لف مختلفة باستخدام تعزيز الألياف الزجاجية ومصفوفة راتنجيات الأيبوكسي. وتظهر النتائج أن معامل يونغ الضغط ليتناسب مع زاوية من الألياف.
في الجر، نستنتج أن الأنابيب المصنوعة من زاوية 55 درجة هي الأكثر فعالية مقارنة مع آخر.
وتظهر المقارنة بين الأنابيب القائمة على الألياف للجوت وأنبوب القائمة على الألياف الزجاجية أن أنابيب الألياف الزجاجية أكثر كفاءة وجها لوجه مع الجهود الخارجية السهام.
كلمات البحث: راتنجيات الأيبوكسي، ألياف الجوت، الألياف الزجاجية، لف زاوية، في الملعب المتعرج، معامل يونغ

Abstract

The work carried out is a conceptual study for the production of composite pipes by filament winding. Note that this technique is used in various fields (automotive industry, aeronautics, aerospace, military industry, pipeline, etc.).

Composite pipes are produced in 2 different winding angles using fiberglass reinforcement and epoxy resin matrix.

The results obtained in compression show that the Young's modulus is proportional to the angle of the fibers.

In tension, it can be deduced that the pipes produced with an angle of 55 ° are the best performers compared to the other.

A comparison between the jute fiber pipes and the fiberglass-based pipes shows that the fiberglass pipes are more efficient.

Key words: epoxy resin, Jute fiber, fiberglass, winding angle, winding pitch, Young's modulus.

Résumé

Le travail réalisé est une étude conceptuelle pour l'élaboration des pipes composites par enroulement filamentaire. A noter que cette technique est utilisée dans différents domaines (industrie automobile, aéronautique, aérospatiale, industrie militaire, canalisation etc...).

Les tubes composites sont élaborés en 2 différentes angles d'enroulement à l'aide de renfort en fibre de verre et de matrice en résine époxy.

Les résultats obtenus en compression montrent que le module de Young est proportionnel avec l'angle des fibres.

En traction, On déduit que les tubes élaborée avec un angle 55° sont les plus performants par rapport à l'autre.

Une comparaison entre les tubes à base de fibre de jute et les tube à base de fibre de verre montre que les tubes en fibre de verre sont plus performants.

Mots clés : résine époxy, fibre de Jute, fibre de verre, angle d'enroulement, le pas d'enroulement, module de Young.

Sommaire

| | |
|---|---|
| Liste des figures | |
| Liste des tableaux | |
| Introduction générale | 8 |
| Chapitre I | Généralités sur les matériaux composites |
| I-1-Introduction | 10 |
| I-2-Quelques définitions | 10 |
| I-3-Types de matériaux composites | 12 |
| I-4-Principaux avantages des matériaux composites | 13 |
| I-5-Les fibres de verre | 14 |
| I-5-1-Domains d'applications de la fibre de verre | 14 |
| I-5-2-Matière première | 14 |
| I-5-3-Fabrication | 15 |
| I-5-4-Utilisation (Usages) | 16 |
| I-6-Les résines époxyde (EP) | 17 |
| I-7-Enroulement filamentaire | 18 |
| Chapitre II | Elaboration et caractérisation |
| II-1.INTRODUCTION | 20 |
| II-2.Caractéristiques de la résine | 20 |
| II-3. Caractéristique du renfort | 21 |
| II-4.Caractérisation des tubes | 23 |
| II.4.1. Essai de compression | 23 |
| II.2.2. Essai de traction | 27 |
| II-4-3.Comparaison entre les Modules de Young des tubes époxy/Jute et les tubes époxy/verre | 31 |
| II.5.Conclusion | 32 |
| Conclusion générale | 33 |
| Références bibliographiques | 34 |

Liste des figures

Figures chapitre I

| | |
|--|----|
| <i>Figure I-1 : Evolution de la proportion de composites dans les avions</i> | 10 |
| <i>Figure I-2 : Les différentes matrices</i> | 11 |
| <i>Figure I-3 : Les différents renforts</i> | 11 |
| <i>Figure I-4 : Les trois types de renfort</i> | 12 |
| <i>Figure I-5: Les structures géométriques des composites : (a) fibres longues, (b) fibres courtes, (c) particules</i> | 12 |
| Figure I-6 : fibre de verre | 13 |
| <i>Figure I-8 : Principe de l'enroulement filamentaire</i> | 18 |

Figures chapitre II

| | |
|---|----|
| Figure. II.1 Comportement de résine G 35 en traction | 20 |
| Figure. II.2 Epreuve en fibre de verre | 23 |
| Figure II.3. Machine de compression Zwick/Roell | 24 |
| Figure II.4. Déroulement de l'essai d'un tube verre/époxy | 24 |
| Figure II.5. Comportement à la compression d'un tube époxy/verre (55°) | 25 |
| Figure II.6. Comportement à la compression d'un tube époxy/verre (90°) | 25 |
| Figure II.7: Module de Yong des éprouvettes époxy/verre | 26 |
| Figure II.8: Contrainte de cisaillement (rupture) des éprouvettes époxy/verre | 26 |
| Figure II.9: Déformation maximal des éprouvettes époxy/verre | 27 |
| Figure II. 10. Machine de traction Zwick/Roell | 28 |
| Figure II.11. Comportement à la traction d'un tube époxy/verre (55°) | 29 |
| Figure II.12. Comportement à la traction d'un tube époxy/verre (90°) | 29 |
| Figure II.13: Module de Yong des éprouvettes époxy/verre | 30 |
| Figure II.14: Déformation maximal des éprouvettes époxy/verre | 30 |
| Figure II.15: Contrainte de cisaillement (rupture) des éprouvettes époxy/verre | 31 |
| Figure II.16: comparaison entre les Modules de Young en traction des tubes | 32 |

Liste des tableaux

Tableaux chapitre I

| | |
|--|----|
| Tableau I-1 : exemple de la composition verrière | 15 |
| Tableau I-2 : Caractéristiques mécaniques de la matrice époxy (données à 25°C après cuisson de 8h à 80°C) | 17 |

Tableaux chapitre II

| | |
|--|----|
| Tableau II.1. Caractéristiques de la résine | 20 |
| Tableau II.2. Caractéristiques de la résine | 21 |
| Tableau II.3. Caractéristiques des fibres | 21 |
| Tableau II.4. Architecture des différents tubes réalisés | 21 |
| Tableau II.5. Paramètres des essais de compression des tubes époxy/verre | 26 |
| Tableau II.6. Paramètres des essais de traction des tubes époxy/verre | 29 |
| Tableau II.7 : comparaison entre les Modules de Young en traction des tubes | 31 |

De nos jours, les matériaux composites ont connu une évolution très remarquable. Ils ne cessent d'évoluer et gagner en importance, d'ailleurs, ils s'imposent dans beaucoup de domaines, par exemple, l'industrie automobile, l'aéronautique, l'industrie militaire, etc. ...

Vu les exigences toujours croissantes du consommateur, le domaine des matériaux composites se trouve immédiatement concerné, d'où la nécessité de développer des nouveaux produits qui répondent à ces exigences.

L'objectif d'un matériau composite est de combiner deux ou plusieurs matériaux tout en créant une synergie entre ces différents matériaux afin qu'il en résulte un composite plus performant que chacune des composantes prises individuellement.

Le choix du procédé de transformation est guidé à la fois par la nature du matériau (thermoplastique ou thermodurcissable), la forme de la pièce à réaliser, les performances visées, et les impératifs de production en termes de quantité et de qualité.

La réalisation de pièces en composites destinées aux marchés de grande diffusion (Automobile, aéronautique, électricité, bâtiment, canalisation...) nécessite la mise en œuvre de procédés de transformation fortement automatisés, à productivité élevée.

D'où une réflexion sur le procédé d'enroulement filamentaire pouvant répondre aux besoins du consommateur en termes de matériaux composites. Ce procédé apporte même une solution, en effet, il permet de réaliser des pièces en composite à partir de fibres enroulées sur un cylindre. Malheureusement, un grand retard est à signaler dans l'application de ce procédé dans notre pays.

Pour projeter l'importance de cette réflexion étant donné qu'aucune université algérienne ne dispose de cet équipement pour la pédagogie ou la recherche scientifique, nous nous sommes fixés comme objectif dans le cadre de ce Master l'élaboration et la caractérisation de tubes composites par le procédé d'enroulement filamentaire.

Dans le présent travail, l'étude présentée est subdivisée en 2 chapitres :

Le premier chapitre est réservé aux généralités sur les matériaux composites, ces éléments constitutifs, les différents procédés de mise en forme, ensuite leur domaines d'utilisations.

Le deuxième chapitre porte sur la partie pratique, réalisation et caractérisation du produit.

CHAPITRE I
GENERALITES SUR LES MATERIAUX
COMPOSITES

I-1-Introduction

Un matériau composite est constitué de différentes phases nommées renforts et matrice. Lorsque le matériau composite est non endommagé, les renforts et la matrice sont parfaitement liés et il ne peut pas y avoir ni glissement ni séparation entre les différentes phases. Les renforts se présentent sous forme de fibres continues ou discontinues. Le rôle du renfort est d'assurer la fonction de résistance mécanique aux efforts. La matrice assure quant à elle la cohésion entre les renforts de manière à répartir les sollicitations mécaniques. L'arrangement des fibres, leur orientation permettent de renforcer les propriétés mécaniques de la structure. Nous étudions plus particulièrement les matériaux composites à renfort fibre longue continue utilisés dans l'industrie nautique, automobile, aéronautique et spatiale. Les pièces structurales sont réalisées par empilement de nappes en optimisant les directions des renforts en fonction des charges qu'elles doivent subir. La nature de la résine ou du renfort est choisie en fonction de l'application final visée.

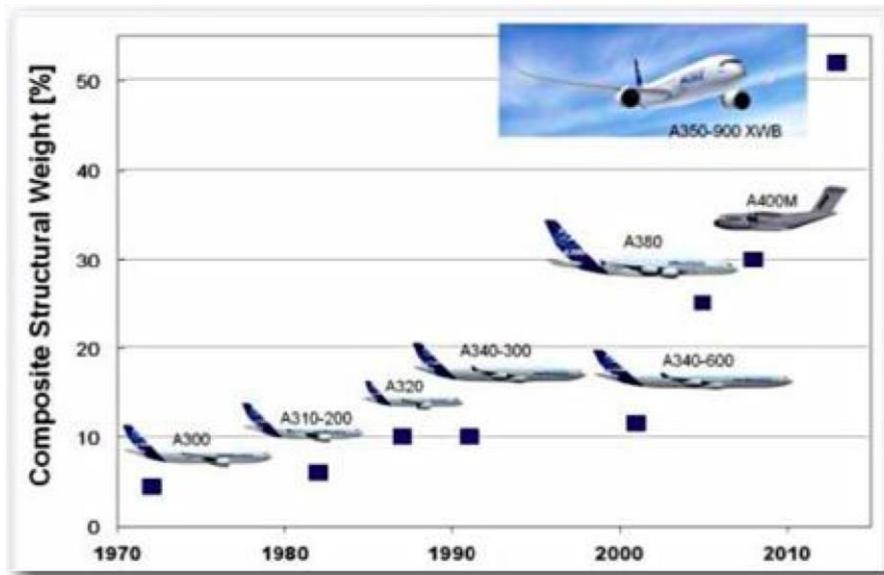


Figure I-1 : Evolution de la proportion de composites dans les avions commerciaux (document Airbus).

I-2-Quelques définitions

I-2-1-Matrice

Phase continue qui assure la cohésion, transfère et répartit les contraintes, protège des agressions extérieures les renforts et commande la mise en œuvre [1].

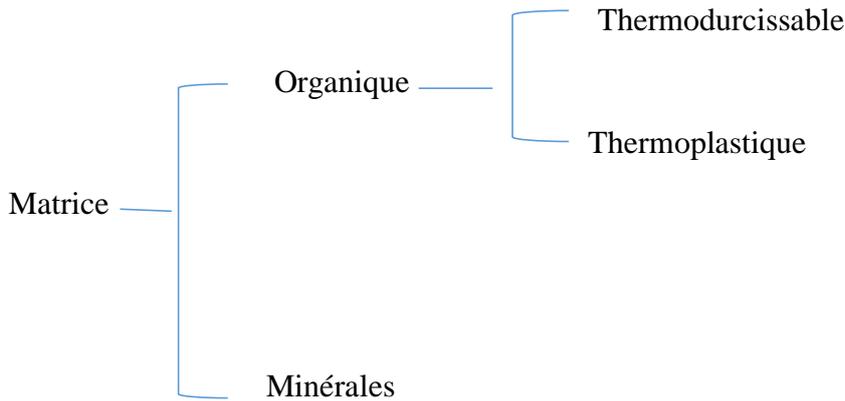


Figure I-2 : Les différentes matrices

I-2-2-Renfort

Phase discontinue et souvent filamentaire à très hautes caractéristiques mécaniques, qui assure le principal des contraintes mécaniques, du composite (résistance et rigidité, tenue aux chocs) [1].

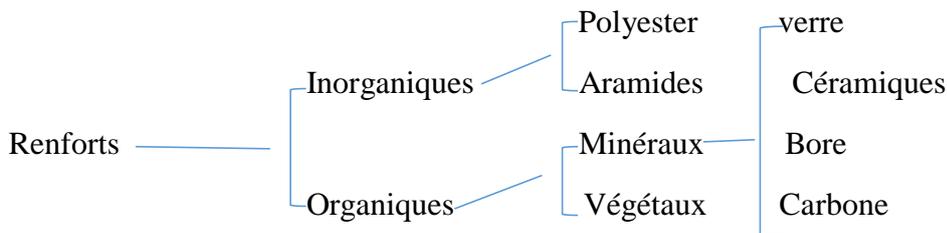


Figure I-3 : Les différents renforts

Charges et additifs

Adhérence fibre/matrice, pigments de coloration, agents anti-UV [1].

I-3-Types de matériaux composites

Généralement, les composites sont employés sous forme de corps bidimensionnels, plaques ou coques, et en ce qui concerne leur comportement mécanique et l'usage structurel, peuvent être distingués en :



Figure I-4 : .Les trois types de renfort. [6]

Composites à fibres courtes

Les fibres sont dispersées aléatoirement dans une matrice isotrope; le comportement mécanique macroscopique est isotrope;

Composites à fibre longues

Les fibres sont disposées de façon ordonnée et orientée dans une matrice isotrope; le comportement mécanique macroscopique est globalement anisotrope [2].

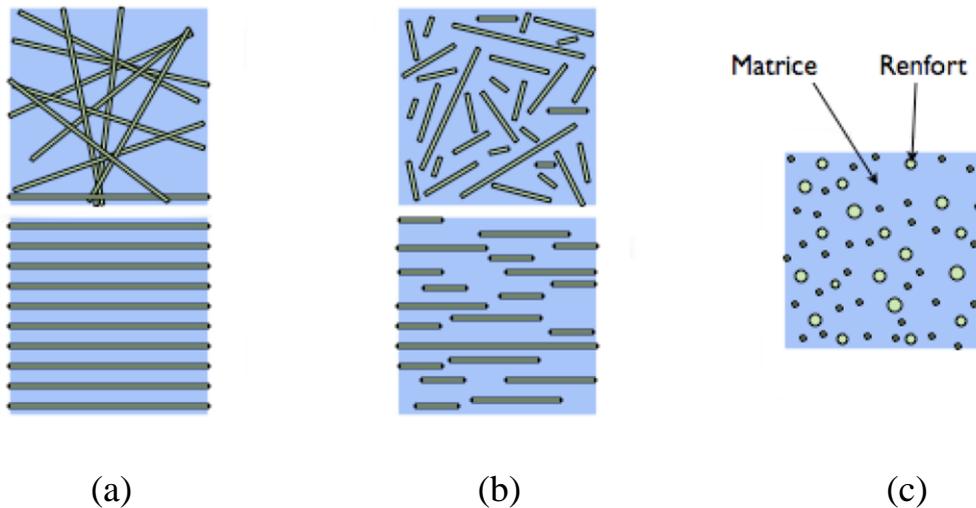


Figure I-5: Les structures géométriques des composites : (a) fibres longues, (b) fibres courtes, (c) particules.

I-4-Principaux avantages des matériaux composites

- Légèreté;
- Résistance;
- Rigidité;
- Bonne résistance à la fatigue;
- Possibilité de concevoir le matériau selon le besoin (pour les sandwichs et les stratifiés);
- Réduction des coûts de fabrication;
- Réduction du poids et du coût des jonctions.

Le défaut principal, surtout pour le matériau à fibres longues, est le coût et, d'un point de vue mécanique, le comportement à la rupture, qui est généralement fragile.

I-5-Les fibres de verre

La fibre de verre est un filament de verre. Par extension, les matériaux composites renforcés de cette fibre sont aussi appelés fibre de verre. Les fibres de verre, constituent avec les verres creux, les verres plats et les verres cellulaires, les principales familles de verre.

La fibre de verre est, historiquement, plus ancienne que la fibre optique de 30 ans. Elle fut en effet brevetée en 1930, contre les années 1960 pour la fibre optique. Ce n'est toutefois que récemment qu'elle a révolutionné l'industrie verrière, utilisée pour ses qualités mécaniques et optiques.



Figure I-6 : fibre de verre.

Elle est présente sous plusieurs formes, en fonction des applications prévues :

Mat de verre, fils simples ou mêlés à des plastiques ;

Voiles non tissées pour les chapes bitumineuses ;

Tissus pour les avions, les moustiquaires ;

Grilles pour renforcer les ciments, le bitume.

I-5-1-Domains d'applications de la fibre de verre

La fibre de verre est intéressante à plus d'un titre. Ainsi elle permet des réductions de poids en améliorant les performances, pour un prix compétitif : on peut en faire une fabrication en séries. Elle permet par exemple un allègement des structures d'environ 30 % par rapport à l'acier [3].

Parmi les autres propriétés, citons l'inertie chimique, la résistance aux chocs, l'isolation, ...

Les principales utilisations de la fibre sont, par ordre d'importance :

Les bâtiments et les infrastructures (29 %) ;

Les transports (25 %) ;

L'électricité et l'électronique (16 %) ;

Les sports et loisirs (14 %) ;

Les équipements industriels (11 %).

I-5-2-Matière première

Plusieurs types de compositions verrières sont utilisés comme matières premières, en fonction de l'usage spécifique qu'il sera fait de la fibre. Pour les fibres de renforcement, les principaux verres utilisés sont résumés dans le tableau I-1 :

Tableau I-1 : exemple de la composition verrière.

| Exemples de compositions verrières | | | |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| | Verre de type E | Verre de type C | Verre de type AR |
| SiO ₂ | 53-55 % | 60-65 % | 61 % |
| Al ₂ O ₃ | 14-15 % | 3,5- 6 % | / |
| CaO | 17-23 % | 14 % | 5 % |
| MgO | 1 % | 3 % | / |
| Na ₂ CO ₃ | 0,8 % | 10 % | 17 % |
| B ₂ O ₃ | 0-8 % | 5 % | / |
| Fe ₂ O ₃ | 0,3 % | 0,5 % | 0,3 % |
| TiO ₂ | 0,5 % | / | / |
| ZrO ₂ | / | / | 10 % |

I-5-3-Fabrication

Ce procédé se déroule en cinq étapes principales :

-Affinage à 1 500 °C : la composition est chauffée ; elle devient visqueuse (vers 800 °C), puis liquide, et finalement se vitrifie. À 1 500 °C, elle est homogène, et les dernières bulles et impuretés disparaissent.

-Filage par étirement : le verre en fusion se transforme en filament en étant étiré à grande vitesse ; la filature des filaments s'apparente en fait à la filature textile classique pour produire un fil. Ce fil de verre se bobine ensuite autour d'une broche.

-Ensimage : l'étirage et le bobinage n'ont pas suffisamment d'effet pour rassembler durablement les centaines de filaments en un fil (le verre est trop lisse pour s'agglomérer). L'ensimage consiste à ajouter un revêtement protecteur pour permettre l'agglomération des filaments et faciliter l'intégration dans les polymères.

-Finition : les fils sont ensuite bobinés ou coupés selon les finalités.

-Séchage (oven drying) : les fils sont finalement séchés à des températures de 700 à 800 °C.

I-5-4-Utilisation (Usages)

La fibre de verre trouve des applications en renforcement, Renforcement Fibre Glass (RFG) en anglais, isolation, Insultions Fibre Glass (IFG) en anglais, et optique.

I-5-4-1-En renforcement

Cette application des fibres de verre est de loin la plus importante : la fibre de verre est alors utilisée pour renforcer les bétons ou les polymères en vue de fabriquer des matériaux composites. Ceux-ci sont alors capables de se substituer à l'acier ou au carton.

Si la matrice est faite de résine, les matériaux composites résultant sont appelés plastiques à renfort de verre, connu aussi sous le nom de glass-reinforced plastic (GRP) ou « fibre de verre » en langage courant.

Dans 9 cas sur 10, la fibre de verre est utilisée comme armature dans des matériaux composites à résine généralement thermodurcissables, polyester insaturé, vinylester ou encore époxy (« fibre de verre époxy », GRE). Dans ces matériaux, comme pour le béton armé, les deux matériaux se complètent, compensant les faiblesses de l'autre. Les fibres apportent la résistance en traction alors que la matrice leur permet de supporter des charges de compression. On utilise soit le moulage au contact, soit le moulage par compression dans la plupart des cas. Mais avec l'arrivée de nouvelles machines ainsi que de nouvelles normes concernant la santé de nouveaux moyens de mise en œuvre apparaissent. Dans les deux cas précédent, l'utilisation de moules requiert l'utilisation d'un modèle.

Dans le moulage au contact, le tissu (c'est un exemple) de fibre de verre est posé au fond du moule ; de la résine est ajoutée, puis un rouleau comprime le tout. L'opération est répétée autant de fois que nécessaire pour obtenir l'épaisseur souhaitée.

Le moulage par compression utilise un moule et un contre-moule chauffés (pour accélérer la polymérisation). Une presse hydraulique assure une bonne répartition de la résine et des fibres de verre, tout comme leur compression.

Les plastiques à renfort de verre sont utilisés, entre autres, dans la fabrication de matériel de sport, comme les perches d'athlétisme, les skis, les bateaux, les planches de surf, etc.

La fibre de verre est également utilisée dans les techniques de réhabilitation sans tranchées des canalisations (réparation de l'intérieur), où la canalisation existante sert de coffrage à la fibre de verre imprégnée de résine.

I-6-Les résines époxyde (EP)

Les résines époxy furent découvertes presque simultanément à la fin des années 30 par le Suisse Castan et l'Américain Greenlee. Ces polymères thermodurcissables ont connu une recherche intensive et sont utilisés dans de nombreux domaines tels que les revêtements, les adhésifs ou encore dans la composition de matériaux structuraux [4].

Les résines époxydes présentent de bonnes propriétés mécaniques et une bonne adhésion sur les fibres et matériaux divers en particulier sur le jute. Cependant certaines de ces résines se polymérisent à des températures suffisamment élevées pour affecter les caractéristiques du renfort. La résine LY5052 est une résine qui se polymérise à une température relativement basse (80°C dans une étuve pendant 8 heures ou bien à température ambiante pendant 17 jours) [5].

I-6-1-Avantage

Tenue mécanique, thermique, chimique et fatigue

Faible retrait (1 à 2 %)

Excellente adhérence sur fibres Auto-extinguibilité

Mise en œuvre facile, sans solvant

I-6-2-Inconvénients

Prix élevé

Sensibilité à l'humidité et aux UV

Vieillessement sous température

Sensibilité aux chocs

Temps de polymérisation

I-6-3-Propriétés mécaniques des résines époxy

Les principales caractéristiques physiques des résines époxy sont présentées dans le tableau I-2.

Tableau I-2 : Caractéristiques mécaniques de la matrice époxy (données à 25°C après cuisson de 8h à 80°C)

| matrice | E(Gpa) | $\alpha(10e(-10)/k)$ | δ_u (Mpa) | Densité | ν | Tg(C°) | Références |
|--------------|------------|----------------------|------------------|---------|-------|--------|------------|
| résine époxy | 3.2 – 3.55 | 1,5-1,8 | 70-75 | 1,27 | 0.35 | 118 | [7] |

I-6-4-Enroulement filamentaire :

Le renfort (fil continu, ruban, etc.) imprégné de résine catalysée est enroulé avec une légère tension, sur un mandrin cylindrique ou de révolution en rotation (Figure I-8).

Ce type de moulage est bien adapté aux surfaces cylindriques et sphériques, et permet une conception avancée des pièces.

Les stratifiés obtenus peuvent comporter des proportions élevées de renfort (jusqu'à 80 % en volume), permettant donc d'obtenir de hautes caractéristiques mécaniques. L'investissement en matériel est très important.

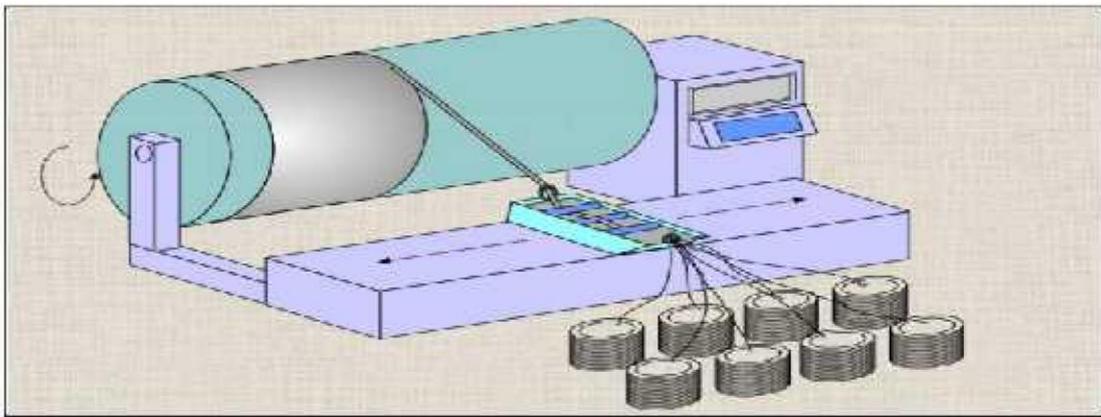


Figure I-8 : Principe de l'enroulement filamentaire

CHAPITRE II

ELABORATION ET CARECTERISATION

DES TUBES

II-1.INTRODUCTION

Dans ce chapitre, on va citer la méthode suivie pour l'élaboration des tubes composites réalisés par enroulement filamentaire qui est une méthode bien adaptée aux surfaces cylindriques et sphériques.

On a conçu ces tubes dans le but de faire une caractérisation, pour cela nous avons confectionné 2 catégories de tubes, la première d'un angle de 55° et la deuxième d'un angle de 90° (l'angle d'enroulement est l'angle compris entre l'axe du mandrin et la fibre).

Tous les tubes sont faits à base de renfort de fibres de verre et de matrice thermodurcissable qui est la résine époxy.

II-2.Caractéristiques de la résine

Tableau II.1. Caractéristiques de la résine

| Résine EPOXY LORN | Résine | Durcisseur |
|---------------------------|--------|------------|
| Densité à 23°C | 1.5 | 1.01 |
| Viscosité à 23°C | 12000 | 800 |
| Rapport d'emploi en poids | 65 % | 35 % |

Pour caractériser cette matrice, nous avons élaborés des éprouvettes en haltère selon la modalité de la norme ISO 527, les essais de traction sont effectués sur une machine Zwick/Roel de capacité 10 KN et dotée d'un extensomètre de haute résolution. Les résultats des essais de traction sont présentés dans la figure II.1.

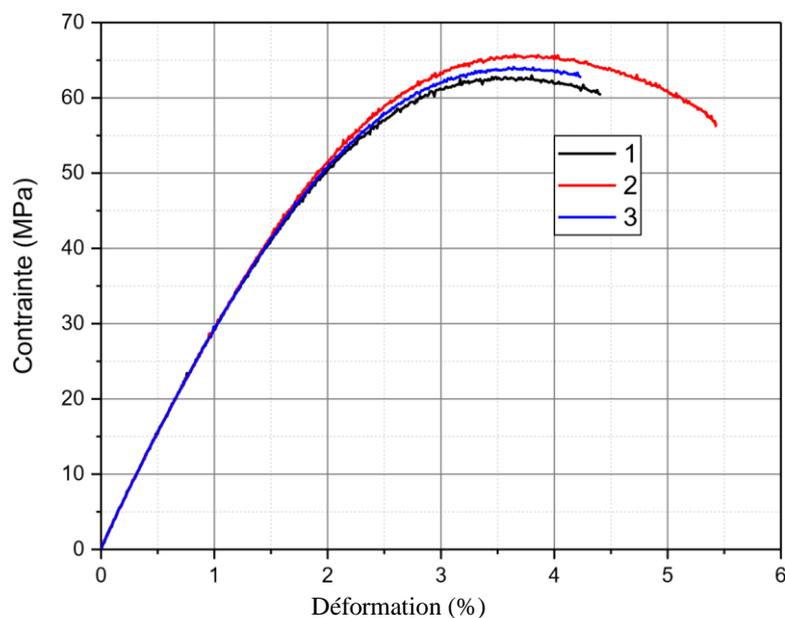


Figure. II.1 Comportement de résine G 35 en traction

Les propriétés élastiques sont présentées dans le tableau II-2.

Tableau II.2. Caractéristiques de la résine

| Paramètre | Module de Young GPa | Contrainte max |
|-----------|---------------------|----------------|
| Essai 01 | 2,84 | 65,67 |
| Essai 01 | 2,85 | 63,87 |
| Essai 01 | 2,84 | 62,97 |

II-3. Caractéristique du renfort

Tableau II.3. Caractéristiques des fibres

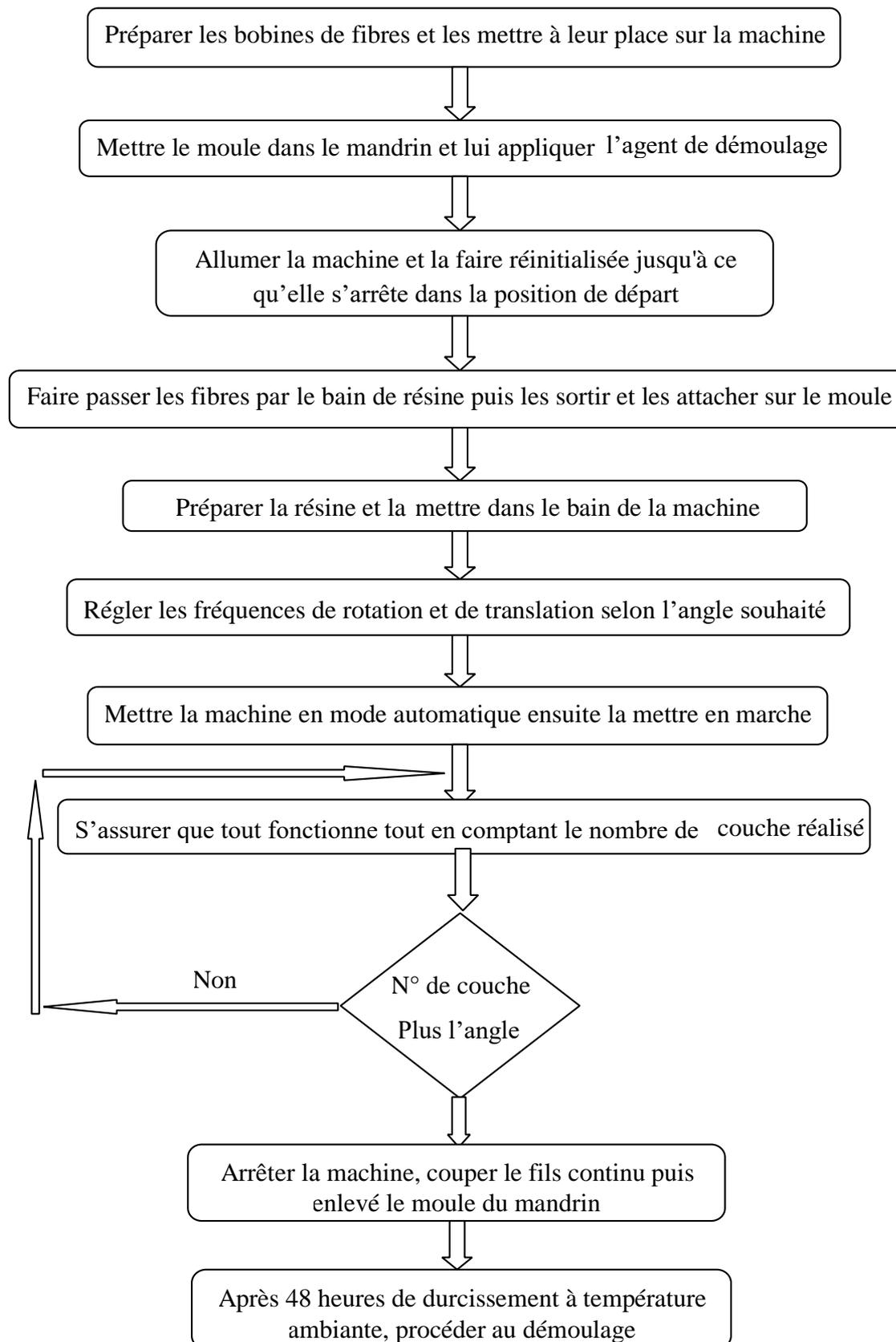
| Renfort | Verre |
|-------------------------|---------|
| Densité à 23°C | 2.54 |
| Module de Young E (GPa) | 72 – 73 |

Le tableau II.4 nous explique l’architecture et la composition de chaque tube :

Tableau II.4. Architecture des différents tubes réalisés

| Nbre de couche | Angle | Architecture | Renfort | Matrice |
|----------------|-------|---|----------------|--------------|
| 08 | 55° | 1 couche primaire de 90° + 6 couches ± 55° + 1 couche de finition 90° | Fibre de verre | Résine Epoxy |
| | 90° | 1 couche primaire de 90° +6 couches ± 90° + 1 couche de finition 90° | | |

Schéma descriptif de la méthode d’élaboration des tubes en fibre de verre/époxy par l’enroulement filamentaire



II-4. Caractérisation des tubes

Pour la caractérisation de ces tubes, on a procédé à des essais de compression, de traction et de flexion. Ces essais sont effectués au niveau de l'unité de recherche UR-MPE.

Après essais, on va donc avoir des courbes de contrainte déformation pour chaque tube, qui vont nous aider à déterminer les 3 paramètres qui sont : module de Young, la contrainte maximale et l'allongement à la rupture.

II.4.1. Essai de compression

Préparation des éprouvettes

Nous avons coupé tous les tubes pour avoir des éprouvettes qui s'adaptent à la machine de compression, puis on a mis ces éprouvettes dans la machine.

La figure II-2 qui nous montre l'un des tubes prêts à passer à l'essai :



Figure II. 2. Eprouvette en fibre de verre

Les essais de compression sont effectués à température ambiante sur une machine universelle de type ZwickZ010 (figures II.3,4) au niveau de l'unité de recherche UR-MPE, dotée d'un capteur de force de capacité 10 KN. Cette machine est pilotée par ordinateur à l'aide du logiciel TextXpert 9.0.



Figure II.3. Machine de compression Zwick/Roell

Les figures II.4 représentent différents tubes pendant la réalisation des essais :

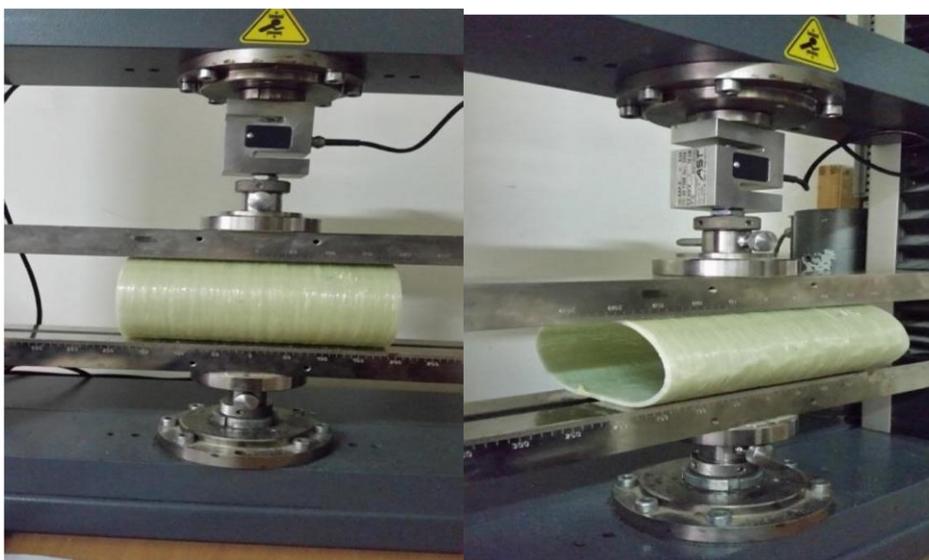


Figure II.4. Déroulement de l'essai d'un tube verre/époxy

Les courbes contraintes-déformations des tubes à base de matrices époxy sont représentées dans les figures II.5, 6.

Ces courbes permettent de calculer le module de Young, la contrainte et l'allongement à la rupture. Ces paramètres sont présentés dans le tableau II.5.

- Les courbes des tubes à base époxy/verre

:

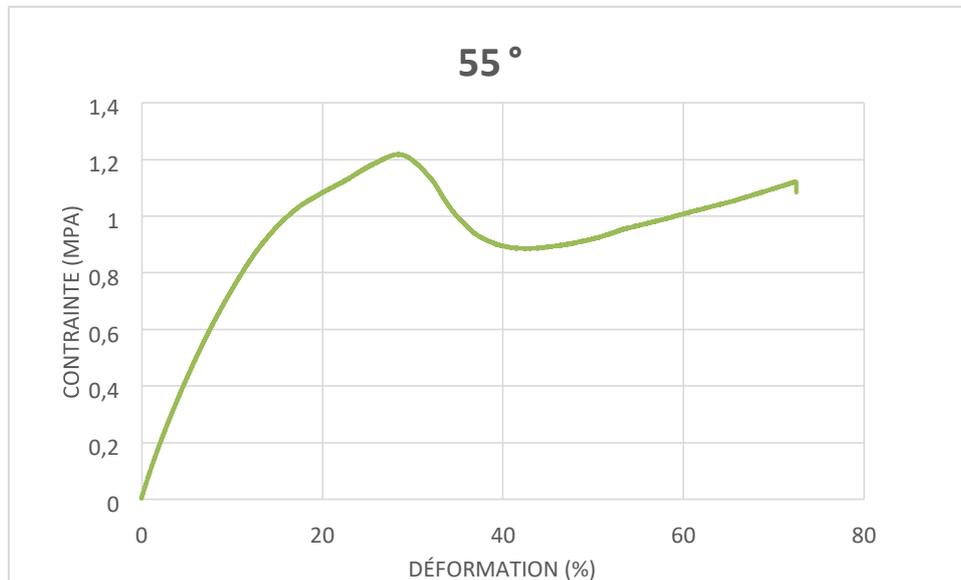


Figure II.5. Comportement à la compression d'un tube époxy/verre (55°)

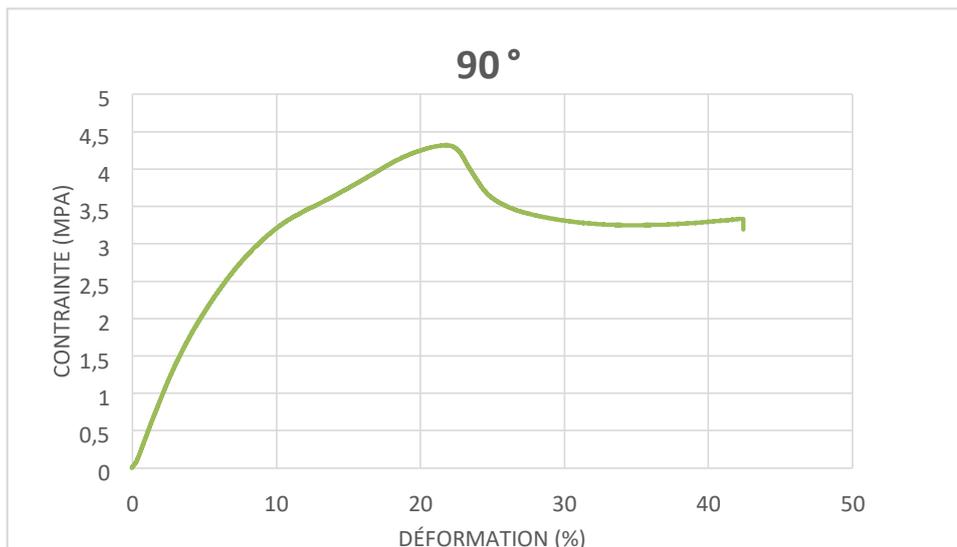


Figure II.6. Comportement à la compression d'un tube époxy/verre (90°)

Le tableau II.5 représente les paramètres des essais de compression de ces tubes :

Tableau II.5. Paramètres des essais de compression des tubes époxy/verre.

| Angle | σ_{\max} (MPa) | $\epsilon_{F_{\max}}$ (%) | E (MPa) |
|-------|-----------------------|---------------------------|---------|
| 55° | 1.2136 | 27.80 | 7.3425 |
| 90° | 4.2663 | 20.33 | 46.1707 |

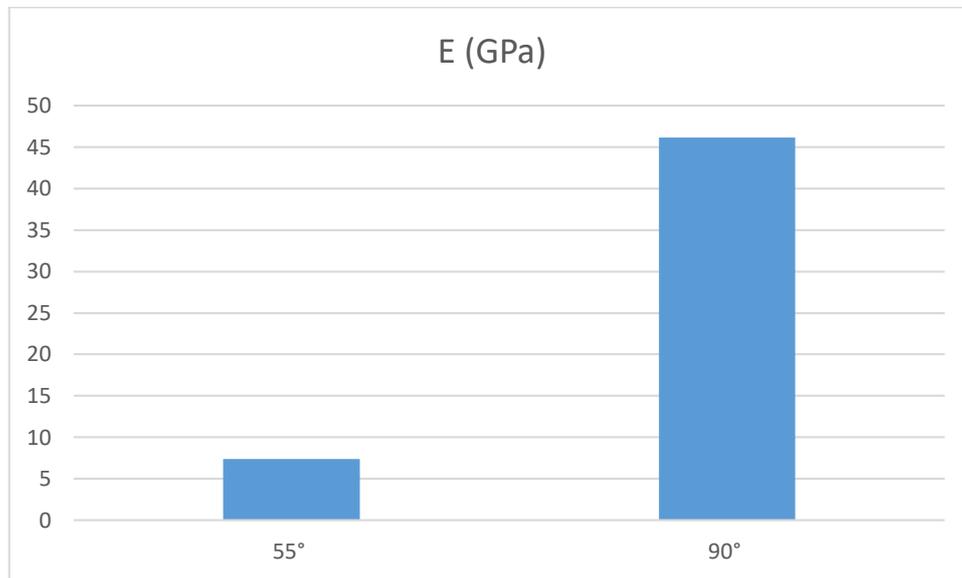


Figure II.7: Module de Young des tubes époxy/verre.

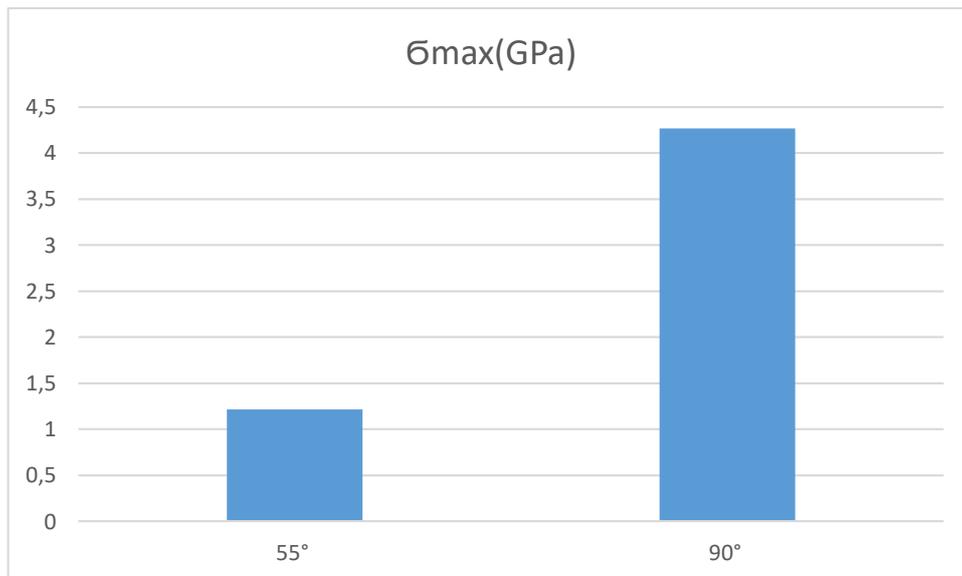


Figure II.8: Contrainte de cisaillement (rupture) des tubes époxy/verre.

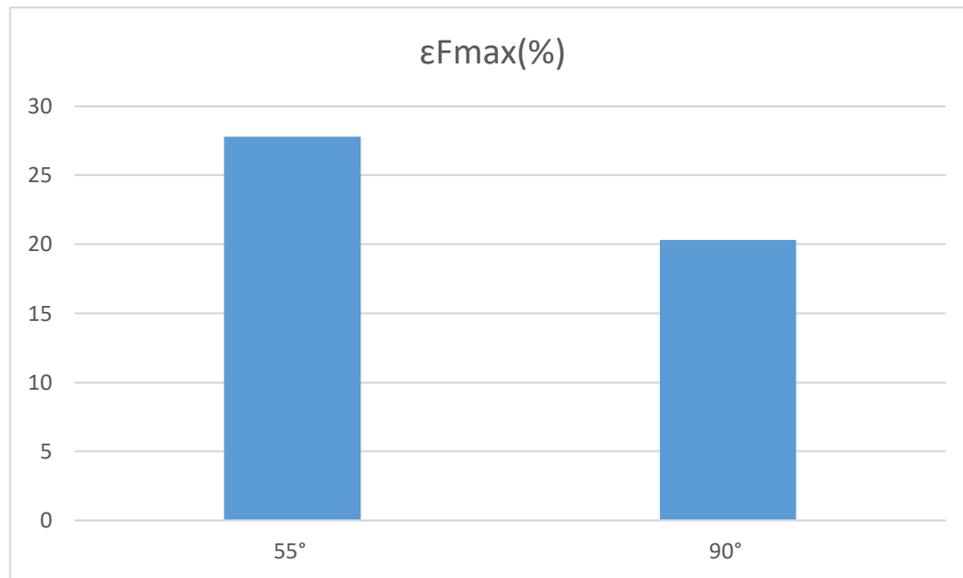


Figure II.9: Déformation maximale des tubes époxy/verre.

On remarque que dans l'essai de compression les tubes à 90° ont des caractéristiques plus performantes que les tubes à 50°.

Cela est expliqué par l'application des contraintes perpendiculaires à l'angle d'enroulement.

II.2.2. Essai de traction

Préparation des éprouvettes

Les éprouvettes sont préparées sous forme parallélépipédique de dimension (25mm×250mm) de façon qu'ils répondent aux exigences des conditions de l'essai de traction, ils sont découpés à partir des tubes élaborés.

Les essais de traction sont effectués à température ambiante sur une machine universelle de type Zwick/Roell Z250 au niveau de l'unité de recherche UR-MPE, dotée d'un capteur de force de capacité 250 KN et d'un extensiomètre. Cette machine est pilotée par ordinateur à l'aide du logiciel TextXpert 9.0.

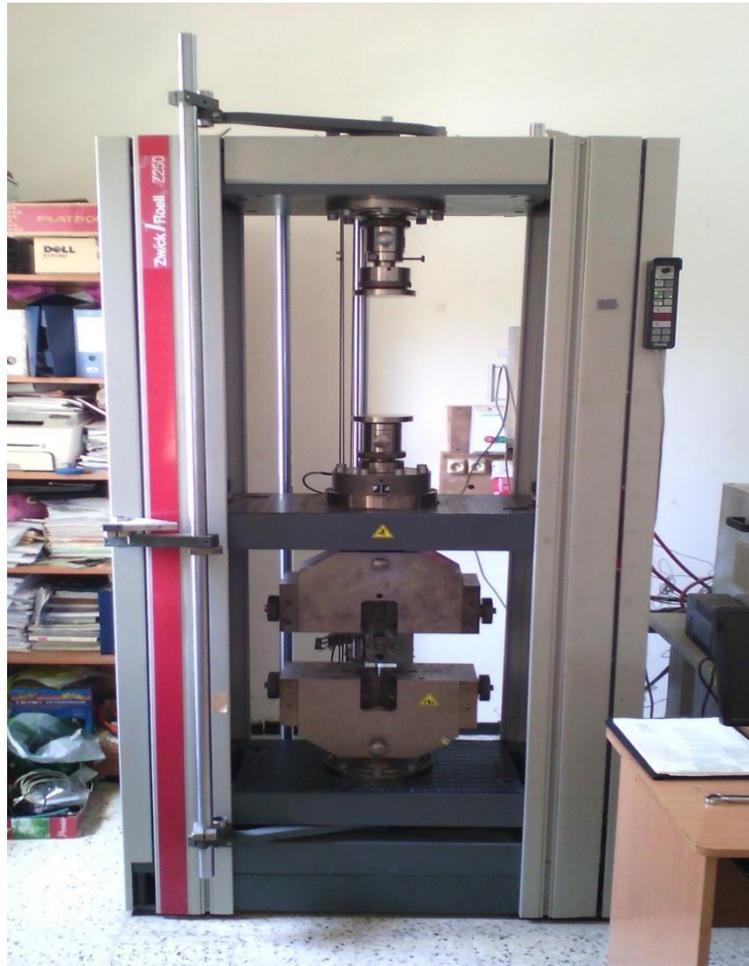


Figure II. 10. Machine de traction Zwick/Roell

Les courbes contraintes-déformations des éprouvettes à base de matrices époxy sont représentées dans les figures II.11 ,12.

Ces courbes permettent de calculer le module de Young, la contrainte et l'allongement à la rupture. Ces paramètres sont présentés dans le tableau II.6.

Les courbes des tubes à base époxy/verre

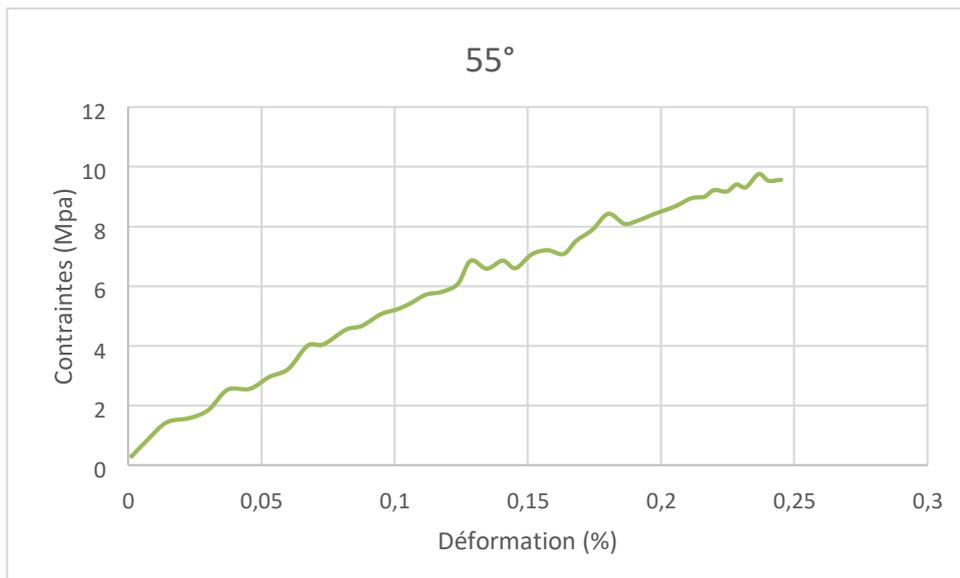


Figure II.11. Comportement à la traction d'un tube époxy/verre (55°)

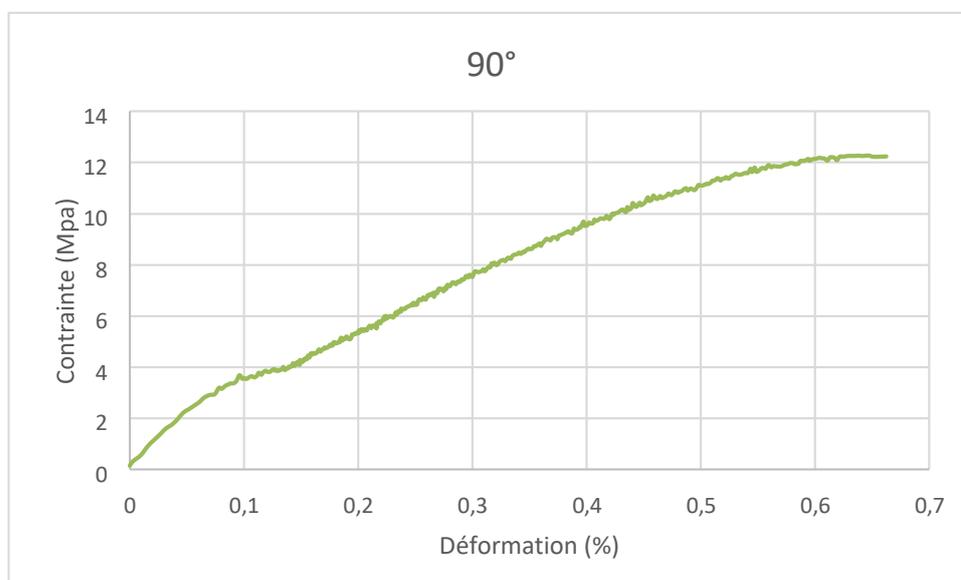


Figure II.12. Comportement à la traction d'un tube époxy/verre (90°)

Le tableau II.6 représente les paramètres des essais de traction de ces tubes.

Tableau II.6. Paramètres des essais de traction des tubes époxy/verre.

| Angle | $\sigma_{max}(MPa)$ | $\epsilon_{Fmax}(\%)$ | E (MPa) |
|-------|---------------------|-----------------------|---------|
| 55° | 12.25 | 0.23 | 5702.46 |
| 90° | 9.7589 | 0.64 | 3651.95 |

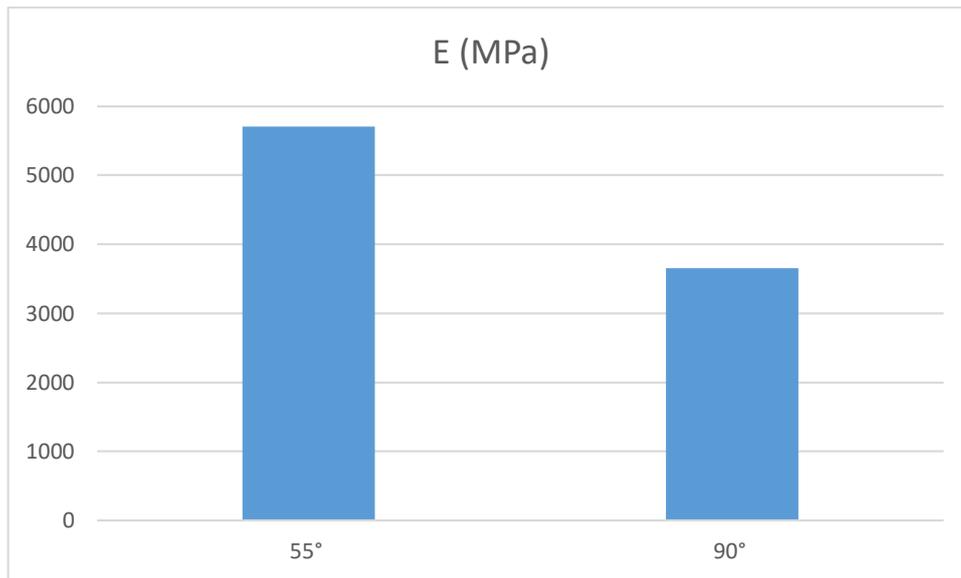


Figure II.13: Module de Yong des éprouvettes époxy/verre.

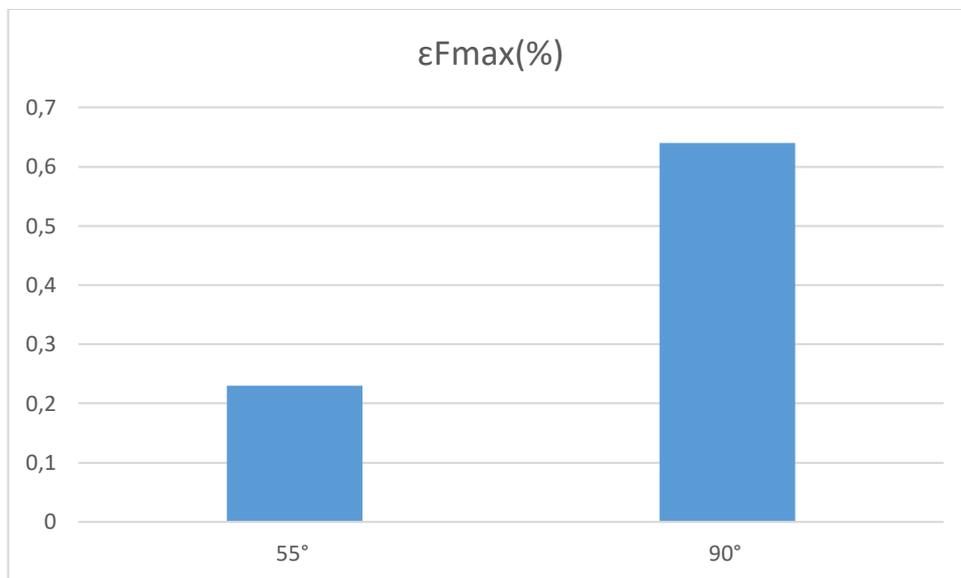


Figure II.14: Déformation maximal des éprouvettes époxy/verre.

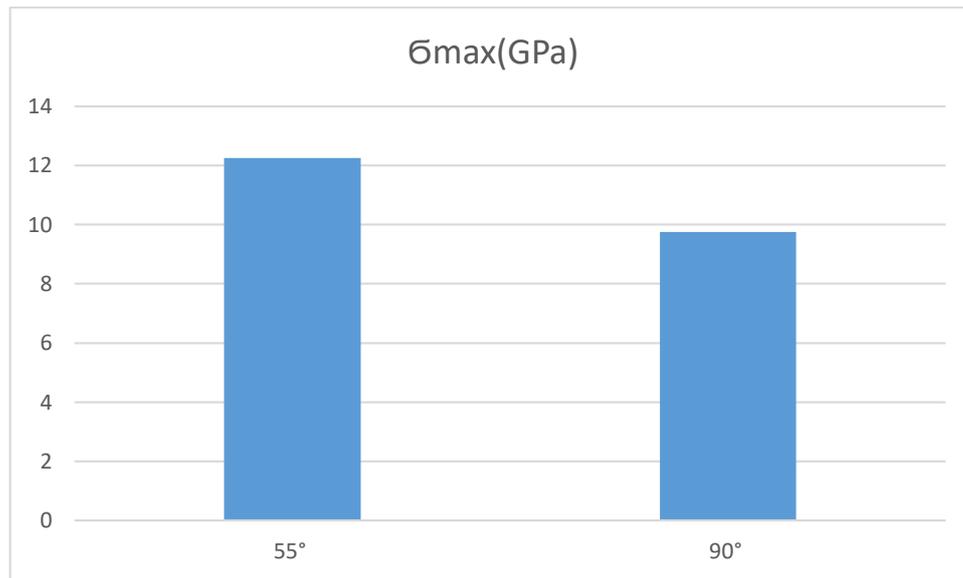


Figure II.15: Contrainte de cisaillement (rupture) des éprouvettes époxy/verre.

On remarque que dans l'essai de traction les tubes à 55° ont des caractéristiques plus performantes que les tubes à 90°.

Cela est expliqué par la bonne répartition des contraintes sur le composite a fibre de verre.

Comparaison entre les Modules de Young des tubes époxy/Jute et les tubes époxy/verre.

Dans cette partie on va comparer les modules de Young en traction pour les deux fibres jute (ces les résultats de notre projet fin d'étude intitulé : élaboration et caractérisation mécanique d'un composite par enroulement filamentaire avec une fibre naturelle) et verre pour un angle de 55° qui a donné de meilleurs résultats.

Tableau II.7 : comparaison entre les Modules de Young en traction des tubes.

| Angle | E_{verre} (GPa) | E_{jute} (GPa) |
|-------|-------------------|------------------|
| 55° | 5702,46 | 3139,6 |

La figure II.16 représente un histogramme de comparaison entre les Modules de Young en traction des tubes époxy/Jute et les tubes époxy/verre pour 55°.

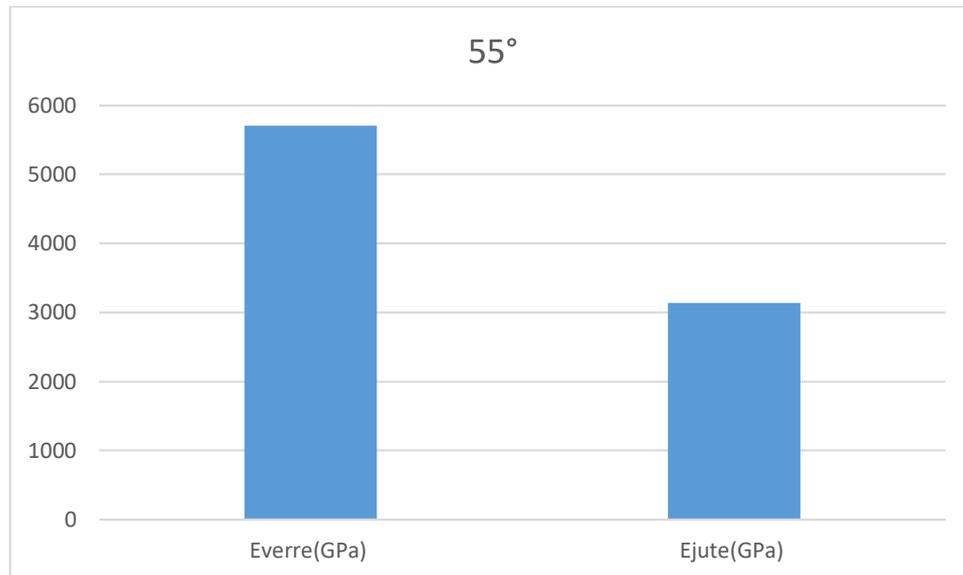


Figure II.16: comparaison entre les Modules de Young en traction des tubes

On remarque que le composite a fibres de verre a un module de Young plus élevé que celui de jute cela est attendu vu que les fibres de verre ont un module de Young plus élevé que celui de fibre de jute.

II.5.Conclusion :

Ces essais montrent que l'angle d'enroulement est très important lors de l'élaboration des matériaux composites et pour le cas verre/époxy l'angle 55° donne de meilleurs résultats.

D'après nous résultat on déduit que l'angle d'enroulement est choisi selon la fonction de la pièce par exemple pour des usages en compression on choisit l'angle 90° si non pour d'autre fonctionnalité on choisit les angles entre 55°.

Conclusion générale

Le domaine des composites est très vaste et demande beaucoup d'effort, le travail que nous avons réalisé nous a permis de connaître quelque difficulté que rencontre le fabricant de RPV. Cette expérience nous a permis de nous faire connaître à cette activité.

La fabrication des canalisations en PRV est une industrie nouvelle en Algérie utilisant le procédé d'enroulement filamentaire. Notre idée basée sur l'exploitation de cette technique pour l'élaboration des matériaux dits bio-composites, en remplaçant les fibres de verre par des fibres de jute, a aussi fait une comparaison entre les deux. Dans ce cadre une machine a été fabriquée l'année passée à Haizer wilaya de Bouira par monsieur Kari djamel eddine docteur à l'UR-MPE, pour la fabrication des tuyaux de différents diamètres. Dans notre cas nous avons utilisé un diamètre nominal de 91 mm avec différents angles d'enroulement, on changeant les vitesses du mandrin ainsi que les vitesses du système de translation. Le pas de l'enroulement utilisé dans cette machine est de 3 fils.

Les essais de contrôle et de caractérisation sont réalisés au niveau de l'UR-MPE, les résultats trouvés permettent de tirer la conclusion suivante :

- Pour un angle d'enroulement 55° les performances en traction des tubes obtenus en fibre de verre sont les plus élevées.
- Pour la compression on a trouvé que l'angle 90° est plus performant.
- Les composites à fibres de verre sont plus performants que ceux de fibres de jute, mais du côté économique et protection de l'environnement on préfère les bio-composites tels que les composites à fibre de jute.

Les Références

- [1] : Laurent Gornet « Généralités sur les matériaux composites » Engineering school. 2008. <ce100470296v1>
- [2] : Lionel GENDRE, Université Paris Saclay « Matériaux composites et structures composites » mai 2011.
- [3] : P. Vannucci Master DSME – Dimensionnement des Structures Mécaniques dans leur Environnement Université de Versailles et Saint-Quentin-en-Yvelines.
- [4] : CENTRE D'ANIMATION REGIONAL EN MATERIAUX AVANCES « GLOSSAIRE DES MATERIAUX COMPOSITES » décembre 2004.
- [5] : Abdallah MIR, thèse doctorat 'Etude mécanique, thermomécanique et hygrothermique d'un matériau composite sandwich à âme en liège et peaux en jute/époxy', p37, Université M'HAMED BOUGARA – BOUMERDES –.
- [6] : R.G. Weatherhead (1980). FRP Technology. Fibre Reinforced Resin Systems. Applied Science Publishers, Londres.