

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUES
FILIERE : Génie Civil
OPTION : Matériaux

N° :

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Par : LATELLI Hanane

Intitulé

**Etude du comportement mécanique du béton
polymère renforcé par des fibres végétales et
déchets minéraux**

Le : 01 Juin 2017

Soutenu devant le jury composé de :

Dr BELLAGRAA Larbi	Université de M'sila	Président
Pr. RAHMOUNI Zine El Abidine	Université de M'sila	Encadreur
Dr. ROKBI Mansour	Université de M'sila	Co-Encadreur
Mme. DJEBRI Noura	Université de M'sila	Examinateur

Année universitaire : 2016 /2017

Remerciements

En premier lieu nous tenons à remercier le bon dieu tout-puissant miséricordieux de la bonne santé, de la volaté et de la patience qu'il nous a accordé tout au long de notre étude.

Tout d'abord je à exprimer mes remerciements et ma profonde remerciements et ma profonde reconnaissance envers mon encadreur

Dr. RAHMOUNI ZINELABBIDINE.

Maitre de conférences à l'université de m'sila

Dr .ROKBI MANSOURE.

J'ai eu le grand plaisir de travailler sous votre direction.

Un grande merci également à **Mr.Baali Brahim** niveau pour son aide permanente, ainsi que la prise en charge de tous les besoins au du laboratoire de **maghreb Pip.**

Je remercie responsable de laboratoire de moulage **khaldoune abdlrraouf** et **belouadeh Zouhir** de tout conseils.

Je remercie mes collègues : **ben kerrouche alaa** et **ourida mohamed** pour me aider dans laboratoire .

Je remercie les membres des jurys, et tous mes enseignants du département du génie civil.

Mes derniers remerciements vont à mes parents

Pour avoir toujours poussé dans mes études : de m'avoir transmis les bonnes valeurs.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

A mes très chers parents qui sont la source de ma réussite

KAMEL et **REMJIA**

A tous mes frère filles et garçons (**Naim , Hamza,
Hadjer, Djemei , Aya , Fadhel , Tassnim**)

Aux épouses de mes frères (**Djoud donnia , Saadallah
salima , Ekibani kanane , Oued Boukhaitain sara . Souida
saida , Sarrai nedjma**)

Et toutes mes amies de spécialités **MATERJAUX DE
CONSTRUCYJON ET MATERJAUX.**



Résumé

Le renforcement de matériaux composites, en particulier en béton polymère en fibres végétales et de la technologie de déchets minéraux est très utilisé, pour le but d'améliorer les propriétés mécaniques, en particulier la résistance du béton à la traction et à la flexion et à la rupture. Les propriétés mécaniques des polymères en béton avec des couches renforcées de Nviac de fibres végétales et minérales liées à plusieurs facteurs et conditions de l'orientation et la distribution des fibres et marbre dans le béton polymère .dans ce travail ,nous avons utilisé les échantillons par quatre les angles de flexion trios point et de traction ,nous avons utilisé fibre de jute et marbre renforcé le béton polymère .

afin d'aboutir à la formulation optimum, les résultats de ce travail ; Le matériau BP-90 à enregistré une résistance maximale à la flexion, et le matériau BP-55 donne la valeur maximale à la traction.

Mots clés: Béton polymère, matrice thermodurcissable, résine polyester, fibre végétale, déchet minéraux .

Abstract

The reinforcement of composite materials, in particular polymeric concrete made of vegetable fibers and mineral waste technology is widely used for the purpose of improving the mechanical properties, in particular the strength of the concrete in terms of tensile and flexural strength and breaking. The mechanical properties of concrete polymers with Nviac reinforced layers of vegetable and mineral fibers related to several factors and conditions of orientation and distribution of fibers and marble in polymer concrete. Four bending angles trios point and traction, we used jute fiber and reinforced marble polymer concrete.

In order to arrive at the optimum formulation, the results of this work; The BP-90 material has a maximum resistance to bending, and the BP-55 material gives the maximum value to the traction.

Key words: Polymer concrete, thermosetting matrix,, polyester resin,vegetable fiber ,mineral waste .

ملخص

جد تقنية المعدنية نفايات و النباتية الالياف بواسطة البوليمرية الخرسانة خاصة و المركبة المواد تقوية الشد و الانحناء في الخرسانة مقاومة خاصة و الميكانيكية الخصائص تحسين هدف اجل من مستعملة، وذلك . الكسر .

المعدنية نفايات و النباتية بالالياف المعززة الطبقات ذات البوليمرية للخرسانة الميكانيكية الخصائص العمل هذا في. البوليمرية الخرسانة في الرخام و الالياف توزيع و الاتجاه منها شروط و عوامل بعدة تتعلق الرخام و الجون الالياف استعملنا شد و نقط ثلاث الانحناء في زوايا باربع عينات اربع باخذ بالاستعمال قمنا البوليمرية للخرسانة كمقوي

العاطفة، قوة المواد أقصى كحد -BP 09 سجلت العمل؛ هذا ونتائج أفضل، وضع تحقيق أجل من وتوفر المواد

.الشد قوة أقصى -BP 55

كلمات البحث: الخرسانة بالحرارة البوليمر المصفوفة، بالحرارة الراتنج مصفوفة البوليمر

نفايات معدنية والالياف النباتية

Sommaire

Introduction générales	1
------------------------------	---

Chapitre I ; Généralité sur les matériaux composites

introduction.....	3
I. 2.Constituants des matériaux composites.....	4
I.2.1 Renforts.....	4
a)Les fibres de verre.....	4
b) Les fibres de carbone	5
e)Fibre d'aramide.....	5
f) Fibre céramiques.....	6
I.2.2 Lesmatrices.....	6
I.2.2.1. Les résines thermodurcissables.....	7
I.2.2.2. Les matrices thermoplastiques.....	7
I.2.3. Les charge	8
I.2.4. Additifs	8
I.3.Classification des matériaux composite.....	9
1.3.1. Classification suivant la nature des constituants.....	9
I.3.2 Classification suivant la nature de la matrice.....	9
I.4.1. Monocouches.....	10
I.4.2. Stratifiés.....	10
1.4.3. Sandwichs.....	11
I.5..Architecture des fibres.....	12
1.6. Technologie de la mise en œuvre.....	13
1.7. Avantages et inconvénients des matériaux composites.....	15
1.8. Domaines d'utilisation des matériaux composites.....	16
Conclusion.....	16

Chapitre II ; Généralites sur les fibres végétales

II .1.Fibres naturelles	17
II .2.Définition de la fibre végétale.....	17
II. 3.Classification des fibres végétales	18
A. Les Fibres de Feuilles.....	18
B. Les Fibres de Tiges.....	18
C. Les Fibres de Bois.....	18
D. Les Fibres de Surface.....	18
II.4.Caractéristiques Chimiques des Fibres Végétales.....	19

La Cellulose.....	19
Hémicellulose	19
Lignine.....	19
II.5.Propriétés usuelles des fibres végétales.. ..	20
II.5.1. Propriétés physiques des fibres végétales.....	20
II.5.2. Propriétés mécaniques des fibres végétales.....	20
II.5.3. Propriétés chimiques des fibres végétales.....	21
II.5.4. Propriétés écologiques des fibres végétales.....	21
II.6.Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts de matériaux composites.....	21
II.7. Présentations des différentes fibres végétales.....	22
Le chanvre.....	22
Le lin.....	23
Le Coton.....	23
L'Abaca.....	24
Le Kénaf.....	24
Le Jute.....	25
La ramie.....	25
Le coco.....	26
Le Sisal.....	26
Palmier dattier.....	26
Alfa.....	27
II.8.Utilisation des Fibres dans la Construction.....	27
Conclusion.....	28

Chapitre III ; Généralités sur les béton polymère

Introduction:.....	39
III.1.Définition du béton polymère	39
III.2.La composition principale d'un béton polymère	40
a. Le liant (la résine).....	40
b. Les agrégats.....	40
III.3. Caractéristiques intrinsèques du béton polymère	41
Chimiques.....	41
Hydrauliques.....	41
Physiques.....	41
III.4. Propriétés de béton polymère.....	42
III.5. Avantages du Béton Polymère.....	42
III.6. Les différentes applications d'un béton polymère	43

III.6.1.L'utilisation des bétons polymère dans les bâtiments domaine de génie civil.....	44
III.6.2. L'utilisation des bétons polymère dans l'horticulture.....	44
III.6.3. L'utilisation des bétons polymère pour les revêtements des chaussés et planchers..	45
III.6.4. L'utilisation des bétons polymère dans les travaux de drainage et hydrauliques.....	45
III.6.5.L'utilisation des bétons polymère dans l'industrie.....	46
7. Exemples de réalisations.....	47
Conclusion.....	47

CHAPITRE IV : Matériaux et techniques expérimentales

IV. Matériaux utilisés.....	48
IV.1. Résines:.....	48
a. Test de propriété rhéologique de la résine	49
b. Test de réactivité (temps de gélification)	49
c. Propriétés de résine isophtalique.....	50
IV.2. Silice.....	51
a. Tests sable de silice.....	52
Test d'analyse granulométrique.....	52
IV.3. Fibres de jute.....	53
IV.2.5 Le filler utilisé (marbre).....	54
A) Caractéristiques physiques et chimiques du marbre.....	54
IV.4. Techniques expérimentales	;;55
IV.4.1. Choix des éprouvettes.....	55
IV.4.2. Obtention des plis de tissu de Jute.....	55
IV.4.3.Préparation des moules.....	56
IV.4.4.Elaboration des plaques en Béton Polymère.....	56
IV.4.5.Traitement des plaques.....	57
IV.4.6. Obtention des éprouvettes.....	58
IV.5.Essais mécaniques	59
IV.5.1.L a flexion.....	59
IV.5.1.1.Principe de l'essai en flexion trois points.....	60
IV.5.1.2.Paramètres d'étude	60
IV.5.2.La Traction	61
IV.5.2.1.Paramètres d'étude.....	61

CHAPITRE V : Résultats et discussions

Introduction.....	64
V .1.Propriétés mécaniques en flexion.....	64

V .1.1. Analyse des courbes charge/ déplacement des éprouvettes FTP.....	64
V .1.2. Analyse des contraintes à la rupture des éprouvettes FTP	66
V .1.3. Analyse des modules en flexion des éprouvettes FTP.....	67
V .1.4. Analyse des Faciès de rupture	68
V .2.A analyse et résultat du béton des polymères en traction.....	69
V .2.1. Analyse des contraintes à la rupture des éprouvettes.....	70
V .2.2. Analyse des modules en traction des éprouvettes.....	71

List de figure

Figure I.1 ; matériau composite.....	4
Figure I.2 : Types de renfort.....	4
Figure 1-3. On distingue trois types de fibres	4
Figure I.3 : différent type de fibre de verre.....	5
Figure1.4 : différents types des fibres de carbone.....	5
Figure I.5 : Différent type des résines.....	6
Figure I.6: composite monocouche.....	10
Figure 1.7 : Exemples de stratifiés à base de plis unidirectionnels. Les nombres entre crochets désignent l'angle de chaque pli (en degrés) par rapport à une direction de référence	
Figure .1.8 :Exemples de multi-matériaux stratifiés.....	10
Figure.1.9 : Composite sandwichs.....	11
Figure. I.16: Serge.....	12
Figure. I.17 : Satin.....	12
Figure. I.18: Technique de moulage.....	16
Figure I.19 : principe de moulage au contact [8].....	18
Figure II.1 : Les différents constituants d'une fibre végétale.....	19
Figure II.2 : Plante de chanvre et les fibres de chanvre.....	22
Figure II .3 : Plante du lin et les fibres de lin.....	23
Figure II.4 : Plante et fibres naturelles de coton.....	23
Figure II.5 : Plante de l'abaca et fibres de l'abaca.....	24
Figure II.6 : Plante de Kénaif avec ces fibres.....	24
Figure II.7 : Jute :(a) plante, (b) tisse, (d) fibre.....	25
Figure II.8 : Plante de Ramie et les fibres naturelles de la Ramie.....	25
Figure II .9 : Fibre naturelles de la plante du coco.....	26
Figure II.10: fibre naturelles du sisal.....	26
Figure II.11 : Palmier et les fibres de palmier dattier.....	27
FigureII.12 : La plante et les fibres l'Alfa.....	27
Figure. III.1 : composition du béton polymère.....	41
Figure. III.3: Façades et marches d'escalier en béton polymère pour bâtiment.....	44
Figure.III.4: Quelques applications du béton polymères (Bacs de fleurs –chaise).....	44

Figure. III.5: Le pont mythique (New York Mania).....	45
Figure. III.6: Plancher en béton polymère.....	45
Figure. III.7: Quelques applications du béton polymères, Quelques applications du béton polymères (drainage et hydrauliques).....	46
Figure. III.8: Quelque application de béton polymère pour l'isolation.....	46
Figure .III. 9: Balustre - Chantier de Sète (France).....	47
Figure. III. 9: Habillage du littoral de Cagnes sur mer (France).....	47
Figure. IV.1. Appareil pour la mesure de la viscosité.....	49
Figure. IV.2. : Test de réactivité de la résine.....	50
Figure. IV.3 : Cycle de polymérisation de résine polyester (isophtalique).....	50
Figure. IV.4 : Silice.....	51
<i>Figure V.5 :Tamiseuse electronique</i>	52
Figure. IV.3 : Courbe d'analyse granulométrique de la silice utilisée	52
Figure IV.5 : Plante de jute Typique a, b et c botte de fibres extraite de la tige de jute.....	53
<i>Figure. IV.6 : Fibres de jute coupées (Après préparation)</i>	56
Figure. IV.7 : Moule en bois utilisé durant l'élaboration.....	56
Figure. IV.8 : Moulage de contact.....	57
Figure IV.9: Plaque de béton polymère : polyester /silice /marbre/jute.....	58
Figure IV.10 : Plaque de béton polymère : polyester /silice /marbre/jute.....	58
Figure IV.11 : Découpage des éprouvettes.....	59
Figure IV.12 : des éprouvettes de traction	59
Figure IV.13 : des éprouvettes de flexion.....	59
Figure IV.14 : Machine d'essais YL Universel Testing Machines /20kN.....	60
Figure IV.15 : Machine d'essais YL Universel Testing Machines /20KN.....	63
Figure. V.1 : Evolution de la charge en fonction la déformation du composite béton polymère.	64
Figure V.2 : Paramètres de flexion des éprouvettes testées (Charge maximale).....	65
<i>Figure V.3 : Paramètres de flexion des éprouvettes testées (Contrainte maximale)</i>	66
Figure V.4 : superposition des évaluations de la contrainte en fonction de déformation du type béton polymère.....	67
Figure. V .5: Paramètres de flexion des éprouvettes testées (module de Young).....	68

Figure .V.6 : Faciès de rupture du BP-45	68
Figure .V.7 : Faciès de rupture du BP-90.....	68
Figure .V.8 : Faciès de rupture du BP-55.....	69
Figure .V.9 : Faciès de rupture du BP-60.....	69
Figure .V.10 : Evaluation de la charge en fonction du déplacement du béton polymère stratifié en traction.....	69
Figure .V.9 : Paramètres de traction des éprouvettes testées (Charge maximale).....	70
Figure. V .11: Paramètres de traction des éprouvettes testées (module de Young).....	71

List de tableaux

Tableau. I.1: Principales différences entre les thermodurcissables et les thermoplastiques.....	8
Tableau II .1 : Composition chimique de quelques fibres végétales.....	20
Tableau II .2 : Propriétés usuelles des fibres végétales.....	20
Tableau II.3 : Composition chimique de quelques fibres végétales.....	21
Tableau II.4 : Principaux avantages et les inconvénients des fibres végétales.....	22
Tableau. III.1 : Propriétés mécaniques des différents types de bétons de résine et du béton de Ciment.....	42
Tableaux. IV.1 : Propriétés mécaniques de la résine orthophtalique	51
Tableaux. IV.2 : Principales caractéristiques physiques des fibres de jute.....	54
Tableaux. IV. 3 : Caractéristiques physiques du marbre.	54
Tableau IV.4: Caractéristiques chimiques du marbre.....	55
Tableaux IV.5 différents stratifié élaboré.....	55
Tableau. V .1 : Valeurs critiques des Charges durant le test en flexion trois points.....	65

Introduction générale

Introduction générale

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 structurelles 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 finale visée.

L'utilisation des fibres naturelles s'avère une alternative plus respectueuse de l'environnement. La substitution des fibres synthétiques par des fibres biodégradables et issues de ressources renouvelables contribue à la protection de l'environnement.

Les fibres naturelles telles que le chanvre, le lin, le jute, le sisal, le bambou ou encore le palmier et l'alfa sont introduits dans l'industrie des composites. Par conséquent de lourds investissements sont faits dans le secteur de production agricole de ces fibres.

L'utilisation des fibres végétales prend de plus en plus d'ampleur. Les propriétés spécifiques intéressantes, la faible densité et la biodégradabilité de ces fibres ouvrent des perspectives prometteuses. Ces nouveaux matériaux ont connu un essor très important au cours de ces dernières décennies.

Le béton polymère qui est un matériau composite dont le liant est constitué entièrement d'un polymère organique commence à prendre place dans le marché des matériaux de construction de grande diffusion. Désigné sous l'appellation de béton de résine synthétique, de béton de résine plastique ou de béton de polymère, il est ainsi constitué d'une charge minérale et d'un liant de polymère, parfois thermoplastique mais généralement thermodurcissable. Lorsque la charge est constituée de sable, le composite obtenu est appelé mortier de résine.

De façon générale, le béton polymère est obtenu en mélangeant à la charge, un polymère, un durcisseur (agent de réticulation) et un catalyseur. Différents produits peuvent aussi être ajoutés à la résine pour améliorer ses caractéristiques mécaniques et physiques, faciliter sa mise en oeuvre ou simplement pour en diminuer le coût. Des agents de pontage à base de silane sont parfois utilisés pour augmenter la cohésion entre la matrice de polymère et la charge.

L'objectif de ce travail est une contribution à l'étude du comportement mécanique de béton polymère renforcé par les fibres végétales et déchet minéraux.

Ce travail est divisé en cinq chapitres. Dans la première, les matériaux composites sont introduits, ainsi que leurs différents types, leurs utilisations et leurs principaux avantages. Le deuxième chapitre est consacré aux fibres végétales, leur composition, leur propriété ainsi que leurs principaux avantages et inconvénients, Le troisième chapitre introduit les bétons polymères, leur intérêt par rapport au béton classiques et les différents domaines d'application, Le quatrième chapitre représente une étude expérimentale sur la formulation et la caractérisation du béton polymère renforcé par les fibres végétales et déchet minéraux.

Le dernier chapitre est consacré à la discussion du résultat expérimental obtenu.

Enfin une conclusion générales avec quelques perspectives .

Chapitre I :
**Généralité sur les matériaux
composites**

Introduction

Les origines des matériaux composites sont inconnues mais tous les écrits historiques contiennent des références à certaines formes des matériaux. Par exemple, la paille a été utilisée par les arabes pour renforcer les briques ; le contreplaqué a été utilisé par les anciens Egyptiens afin d'obtenir une meilleure résistance tant aux chargements mécaniques qu'à l'environnement, les épées et les armures médiévales ont été fabriquées par des couches des différents matériaux. Aujourd'hui, les matériaux composites font partie courante de notre vie que cela soit des objets très excitants et à la mode comme la canne de golf et le kayak, ou beaucoup plus usuels tels que le contreplaqué et le béton [1].

I.1.Définitions des composites

Un matériau composite peut être défini comme une combinaison d'au moins deux matériaux différents à l'échelle macroscopique ou plusieurs matériaux non miscibles (mais ayant une forte capacité d'adhésion), l'assemblage final ayant des propriétés supérieures aux propriétés de chacun des matériaux constitutifs. On appelle maintenant de façon courante "matériaux composites" des arrangements de fibres, les *renforts* qui sont noyés dans une *matrice* dont la résistance mécanique est beaucoup plus faible (figure I.1). La matrice assure la cohésion et l'orientation des fibres, elle permet également de transmettre les sollicitations auxquelles sont soumises les pièces. Les matériaux ainsi obtenus sont très *hétérogènes* et *anisotropes* [1].

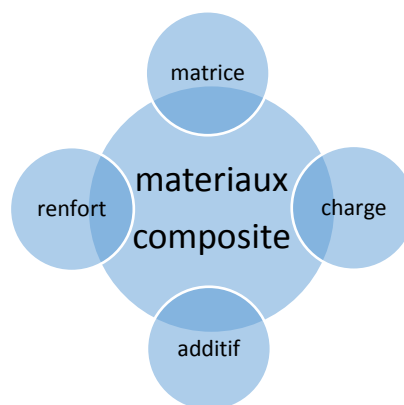


Figure I.1 ; matériau composite.

I. 2. Constituants des matériaux composites

I.2.1 Renforts

Les renforts assurent les propriétés mécaniques du matériau composite et un grand nombre de fibres sont disponibles sur le marché en fonction des coûts de revient recherchés pour la structure réalisée. Les renforts constitués de fibres se présentent sous les formes suivantes : Linéique (fils, mèches) , tissus surfaciques (tissus, mats), multidirectionnelle (tresse , tissus Complexes, tissage tri directionnel ou plus)[2].

La classification des types de renforts couramment rencontrés est indiquée sur la (Figure I.2)

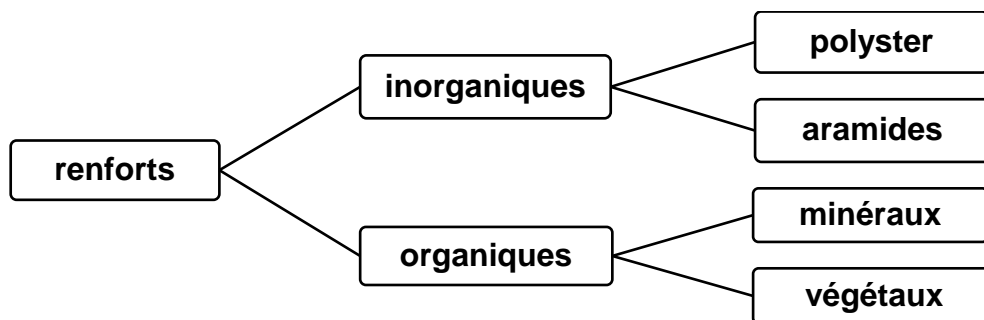


Figure I.2 : Types de renfort.

Parmi le différent type de renforts (Figure I.2), on peut citer :

a) Les fibres de verre : Elles constituent le renfort essentiel des composites de grande diffusion. Elle est obtenue à partir de sable (silice) et (alumine, carbonate de chaux, magnésie, oxyde de bore)(Figure 1-3). On distingue trois types de fibres :[3]

E : pour les composites de grande diffusion et les applications courantes.

R : pour les composites hautes performances.

D : pour la fabrication de circuits imprimés (propriétés diélectriques).

Les meilleures propriétés étant obtenues pour les plus fortes proportions de silice (verre 65%).



Figure 1.3 : différent type de fibre de verre.

b) Les fibres de carbone : Elles sont fabriquées à partir de fibres de polymère (par exemple polyacrylonitrile) préalablement tissées, et carbonisées sous tension en plusieurs étapes, oxydation (100 à 200 C°), puis pyrolyse (1500-2500 C°). on distingue deux types de fibres (Figure I .4) :[1]

- fibres haute résistance (HR) : pour une combustion de 1000 à 1500 °C ;
- fibres haut module (HM) : pour une température de combustion de 1800 à 2000 °C.



Figure1.4 : différents types des fibres de carbone.

e)Fibre d'aramide : Souvent appelée KEVLAR® de prix élevé (20 euros/kg), la fibre d'aramide est issue de la chimie des polyamides aromatiques. Il est possible de trouver deux types de fibres d'aramide de rigidités différentes:[1]

- les fibre basse module : utilisées pour les câbles et les gilets pare-balles.
- les fibres haut module : employées dans le renforcement pour les composites hautes Performances.

f) Fibre céramiques:

composites de type céramiques sont souvent constitués de renforts et dematrice en céramique. Les fibres sont élaborées par dépôt chimique en phase vapeur sur un fil support. Ces fibres sont rencontrées dans des applications où la température est très élevée entre 500°C et 2 000°C. Ces matériaux sont utilisés notamment dans les parties chaudes des moteurs d'avions. Quelques exemples de fibres céramiques : [2]

- fibres de Carbone de Silicium
- fibres de Bore
- fibres de Bore carbure de silicium

I.2.2 Les matrices

Dans un matériau composite, le terme matrice désigne la matière solide qui entoure les renforts pour former une masse compacte. Le premier rôle de la matrice est de maintenir les renforts dans une forme compacte et de donner la forme voulue au produit final. Elle sert également à protéger les fibres contre l'abrasion et un environnement agressif, contrôler le fini de surface et assurer le transfert de charges entre les fibres. Le solide formant la matrice peut être d'origine métallique, céramique ou polymère [4].

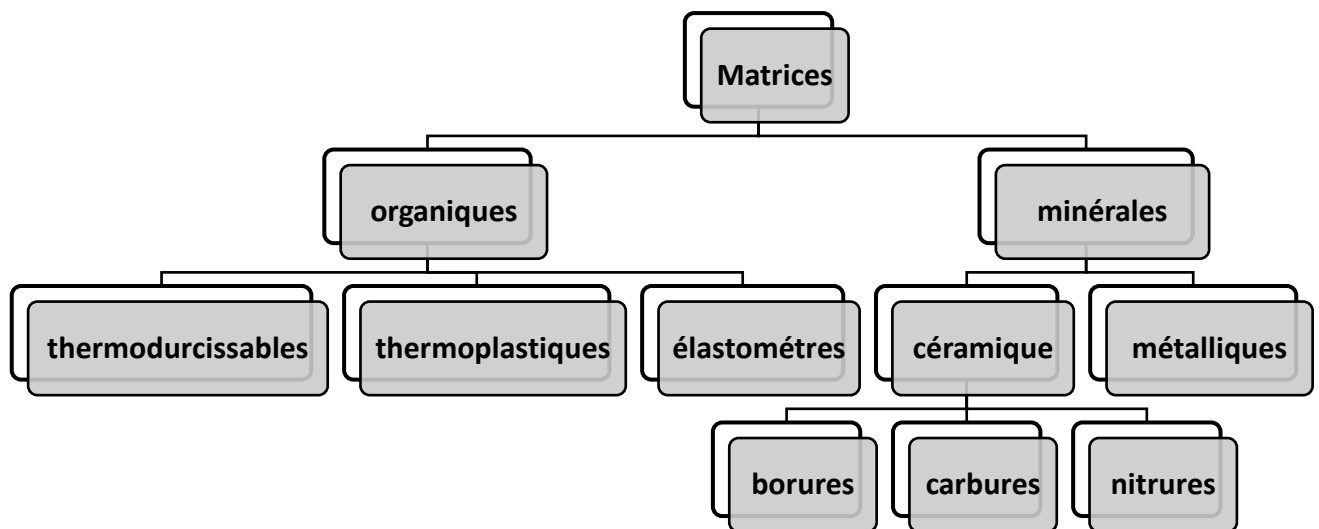


Figure I.5 : Différent type des résines.

I.2.2.1. Les résines thermodurcissables

Les résines thermodurcissables principalement utilisées actuellement sont :[5]

- les **polyesters insaturés** ; ce sont les résines les plus utilisées dans les applications. Elles se présentent sous la forme d'une solution polyacide + polyalcool qui se rigidifient sous l'action d'un catalyseur et de l'action de la chaleur. Elles présentent le grand défaut d'émettre des vapeurs de styrène au cours de la polymérisation et d'être difficile à stocker.
- les **vinylesters** : ce sont des variantes des polyesters obtenues à partir d'acide acrylique. Elles ont une bonne tenue à la fatigue et un bon comportement à la corrosion mais sont combustibles.
- les **résines époxy** (ou époxydes) constituent la résine type des composites.
- les **résines phénoliques** sont obtenues par la polycondensation du phénol et du formol ; elles présentent une très bonne tenue au feu, sans fumée (d'où leur utilisation dans le ferroviaire). Elles sont fragiles, sensibles à l'humidité, difficiles à mettre en oeuvre.
- les **polyuréthanes** ont une faible viscosité qui facilite un bon remplissage du moule.

I.2.2.2. Les matrices thermoplastiques

Les polymères utilisés sont essentiellement des thermoplastiques techniques qui présentent à l'état vierge de bonnes caractéristiques mécaniques.

Un renforcement à l'aide de fibres courtes leur confère une tenue thermique et mécanique améliorée et une bonne stabilité dimensionnelle. Les principales matrices TP utilisées (possédant tous une tenue en température supérieure à 100 °C) sont les suivantes : [1]

- Polyamide (PA) : tenue au choc, bonne résistance à la fatigue et aux hydrocarbures ;
- Polytéréphtalate éthylénique et (PET, PBT): bonne rigidité, bonne ténacité
- Polycarbonate (PC) : tenue au choc ;
- Polysulfure de phénylène (PPS) : résistance à l'hydrolyse ;
- Polyoxyméthylène (POM) : bonne tenue à la fatigue ;
- Polysulfurés (PSU et PPS): bonne stabilité chimique et à l'hydrolyse, peu de fluage, tenue au chaud ;
- Polypropylène (PP) : peu onéreux et assez stable en température, mais combustible.

Propriétés	Matrices	
	TD	TP
Etat de base	Liquide visqueux à polymériser	Solides prêt à l'emploi
Stockage	Réduit	Illimité
Mouillabilité des renforts	Aisée	Difficile
Moulage	Chauffage continu	Chauffage+refroidissement
Cycle	Long (polymérisation)	Court
Tenue de choc	Limitée	Assez de bonne
Tenue thermique	Meilleure	Reduit(sauf nouveaux TP)
Chutes de dechet	Perdus ou utilisée en charge	Recyclables
Conditions de travail	Emandations de solvants	Proprete

Tableau. I.1: Principales différences entre les thermodurcissables et les thermoplastiques.

I.2.3. Les charge

I.2.3.1. Charges renforçantes : L'objet de l'incorporation de charges renforçantes est d'améliorer les caractéristiques **mécaniques de la résine**. Ces charge peuvent être classées **suivant leur forme géométrique** en : [6]

- charges sphériques.
- Charges non sphériques.

I.2.3.2. Charges non renforçantes : Les charges non renforçantes ont pour rôle soit de déminer le cout des résines en conservant les performances des résines, soit d'améliorer certaines propriétés des résines.

Parmi ces classes on trouve :

- Charges de faible cout.
- Charges ignifugeantes.
- Charges conductrices et antistatiques.

I.2.4. Additifs

Les additifs se trouvent en faible quantités (quelques % et moins) et interviennent comme : [6]

- Lubrifiants et agents de démoulage
- Pigments et colorants.
- Agents anti-retrait.
- Agents anti-ultraviolets.

I.3. Classification des matériaux composites

Les composites peuvent être classés suivant la forme des constituants ou suivant la nature des Composants [1].

1.3.1. Classification suivant la nature des constituants : En fonction de la forme des constituants, les composites sont classés en deux grandes classes :

-Composites à fibres : On appelle composite à fibre, si le renfort se trouve sous forme de fibre (soit fibres continues, soit fibres discontinues, coupées ou courtes)

- Composites à particules : On appelle composite à particule, lorsque le renfort se trouve sous forme de particule. Au contraire d'une fibre, la particule n'a pas de dimension privilégiée. Les particules sont généralement utilisées pour améliorer certaines propriétés des matériaux ou des matrices, comme la rigidité, la tenue à la température, la résistance à l'abrasion...etc. mais dans de nombreux cas, les particules sont simplement utilisées comme charges pour réduire le coût du matériau, sans en diminuer les caractéristiques.

Ce type de composite recouvre un domaine étendu dont le développement s'accroît sans cesse.

I.3.2 Classification suivant la nature de la matrice

Selon la nature de la matrice, les matériaux composites sont classés :

- Composites à matrice organique (résine, charges) : peuvent être utilisés dans le domaine des températures ne dépassant pas 300°C.

- Composites à matrice métallique (alliages légers et ultra légers d'aluminium, de magnésium, de titane) : domaine des températures jusqu'à 600°C.

- Composites à matrice minérale (céramique) : domaine des températures jusqu'à 1000°C.

Ce type de composite (matrice) peut être associé à divers renforts.

I.4. Matériaux composites structuraux

Les structures des matériaux composites peuvent être classées en trois types :[7]

- Les monocouches
- Les stratifiées
- Les sandwiches

I.4.1. Monocouches : représentent l'élément de base de la structure composite (**Figure I.6**). Les différents types de monocouches sont caractérisés par la forme du renfort : à fibres longues (unidirectionnelles UD, réparties aléatoirement), à fibres tissées, à fibres courtes.

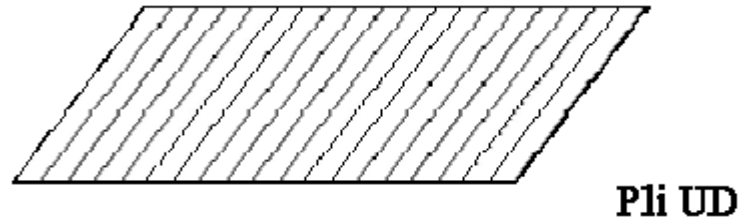


Figure I.6: composite monocouche.

I.4.2. Stratifiés : Un stratifié est constitué d'un empilement de monocouches ayant chacun une orientation propre par rapport à un référentiel commun aux couches et désigné comme le référentiel du stratifié (**Figure 1.7**). Le choix de l'empilement et plus particulièrement des orientations permettra d'avoir des propriétés mécaniques spécifiques.

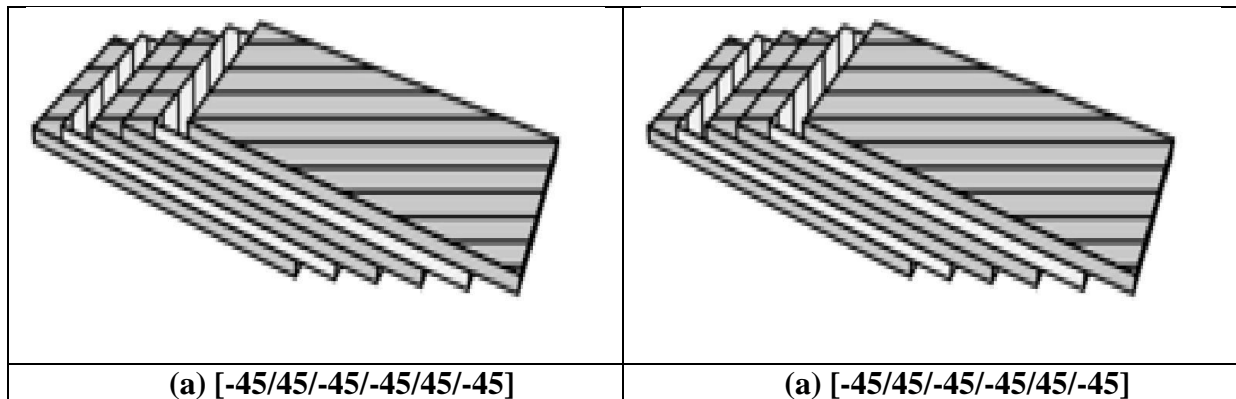


Figure 1.7 : Exemples de stratifiés à base de plis unidirectionnels. Les nombres entre crochets désignent l'angle de chaque pli (en degrés) par rapport à une direction de référence.

Notation " composite " : Un stratifié possédant l'empilement $(0, +45, +90, -45)_2s$ est un stratifié avec 4 couches dans les directions 0° , -45° , 90° et $+45^\circ$, l'orientation 0° coïncidant avec la direction 1 du repère principal du composite. Ces plans seront réparties symétriquement par rapport au plan moyen du stratifié [5].

On pourra avoir des stratifiés de type :

1. Equilibré : stratifié comportant autant de couches orientées suivant la direction $+\theta$ que de couches orientées suivant la direction $-\theta$.

2. Symétrique : stratifié comportant des couches disposées symétriquement par rapport à un plan moyen.

3. Orthogonal : stratifié comportant autant de couches à 0° que de couches à 90° .

1.4.3. Sandwichs

Matériaux composés de deux semelles (ou peaux) de grande rigidité et de faible épaisseur enveloppant une âme (ou cœur) de forte épaisseur et faible résistance (**Figure.1.8**). L'ensemble forme une structure d'une grande légèreté. Le matériau sandwich possède une grande légèreté en flexion et c'est un excellent isolant thermique [5].

$$10 \leq e_c / e_p \leq 100$$

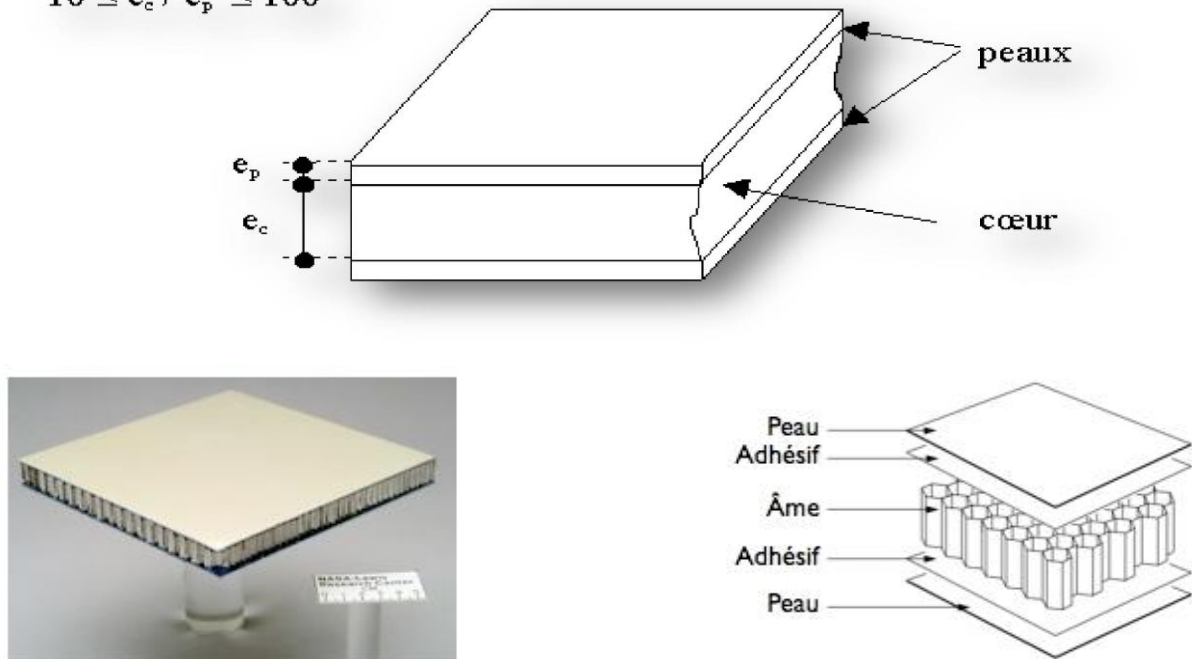


Figure.1.9 : Composite sandwichs.

I.5..Architecture des fibres

Les structures composites sont anisotropes. La plupart des renforts travaillent bien en traction, mais offrent des performances médiocres en compression et en cisaillement. Il est donc impératif de jouer sur la texture et la géométrie des renforts pour créer une architecture adaptée.

Il existe différentes géométries et textures de renforts. [7]

a).Les unidirectionnels (1D) : Dans une nappe 1D, les fibres sont assemblées parallèlement les unes par rapport aux autres à l'aide d'une trame très légère.

b).Toile ou taffetas : Chaque fil de chaîne passe dessus puis dessous chaque fil de trame, et réciproquement. Le tissu présente une bonne planéité et une relative rigidité, mais est peu déformable pour la mise en oeuvre. Les nombreux entrecroisements successifs génèrent un embuvage important et réduisent les propriétés mécaniques.

c).Serge : Chaque fil de chaîne flotte au-dessus de plusieurs (n) fils de trame et chaque fil de trame flotte au-dessus de (m) fils de chaîne. Armure de plus grande souplesse que le taffetas ayant une bonne densité de fils. Ci -dessous, un sergé 2/2.

d).Satin : Chaque fil de chaîne flotte au-dessus de plusieurs (n-1) fils de trame et réciproquement. Ces tissus ont des aspects différents de chaque côté. Ces tissus sont assez souples et adaptés à la mise en forme de pièces à surfaces complexes. Ce type de tissus présente une forte masse spécifique.

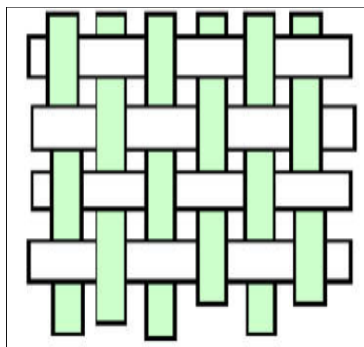


Figure. I.15 : Toile.

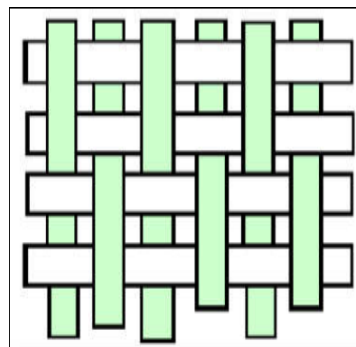


Figure. I.16: Serge.

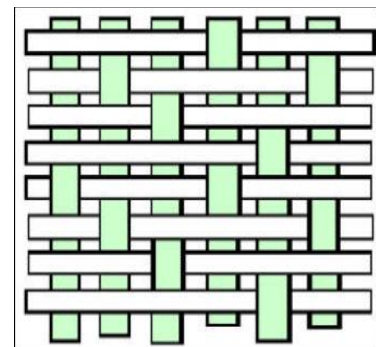


Figure. I.17 : Satin.

1.6. Technologie de la mise en oeuvre

Trois opérations sont indispensables : [6]

1. Imprégnation du renfort par le système résineux.
2. Mise en forme à la géométrie de la pièce.
3. Durcissement du système
 - soit par polycondensation et réticulation pour les matrices thermodurcissables,
 - soit par simple refroidissement pour les matières thermoplastiques.

Il existe différentes techniques mais la plus utilisée est par moulage.

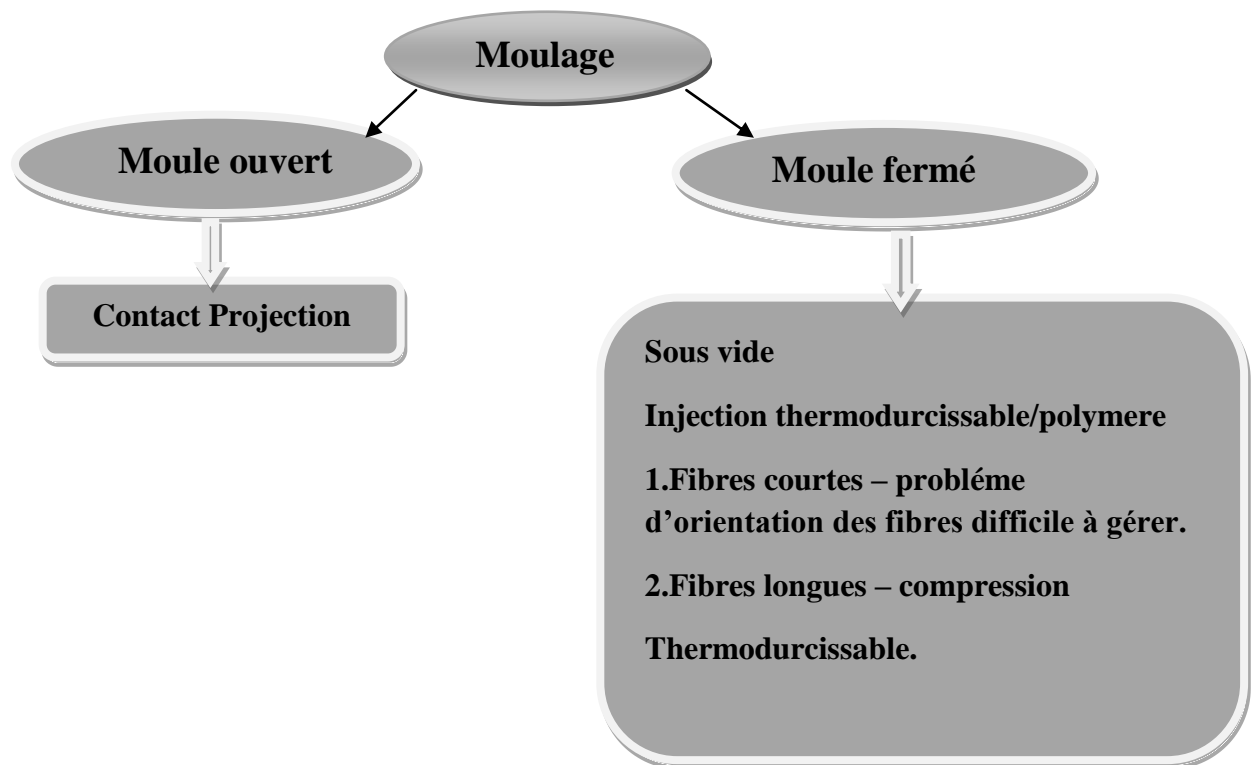


Figure. I.18: Technique de moulage.

Les procédés les plus importants sont : [6]

- **Moulage au contact** : technologie de réalisation de pièces prototypes ou de simulation. Le principe consiste à imprégner manuellement les renforts disposés dans un moule. C'est peu onéreux et des pièces de formes quelconques peuvent être réalisées mais cadence très faible.

- **Moulage par projection simultanée** : technologie similaire mais les fibres coupées sont projetées au pistolet.

- **Injection thermosable BMC** (Bulk Molding Compound ou préimprégné en vrac). Procédé discontinu haute pression (100 bars). Alimentation et dosage du Compound, Injection-pression, maintien et polymérisation, puis éjection. Les avantages sont : réalisation de grande série, faible coût matière, peu de finition, temps de cycle. Les limites sont : le taux et la longueur des renforts et les propriétés mécaniques du composite obtenu.

• **Compression thermodurcissable SMC** (Skeet Molding Compound ou préimprégnés en feuille. Le principe consiste à déposer des feuilles de préimprégnés dans un contre moule chauffé, de comprimer le matériau avec un moule chauffé, polymérisation puis éjection de la pièce. Avantages : coût matière, propriétés mécaniques et thermiques. Les limites sont l'aspect, le dimensionnement des presses et la finition.

• **Pultrusion** : Utilisation pour les composites hautes performances industrielles. Le principe est : tirage, mise en forme et polymérisation de fibres continues imprégnées. Les avantages sont la production en continue, possibilité de réaliser des sections très complexes, et d'avoir un taux de renfort élevé. Les limites sont la lenteur du procédé, uniquement des profilés droits à section constante.

• **Enroulement filamentaire (ou bobinage)**: technologie pour les HP. Le principe consiste en un enroulement sous tension sur un mandrin tournant autour de son axe de fibres continues préalablement imprégnées d'un liant. Les avantages sont la disposition optimale des renforts, les très bonnes propriétés mécaniques, possibilité de réaliser des pièces de grandes dimensions avec des surfaces internes lisses. Les limites sont que formes uniquement convexes et investissements importants.

Il existe d'autres procédés : drapage en autoclave, centrifugation, stratification en continu, thermoformage sous vide, estampage...

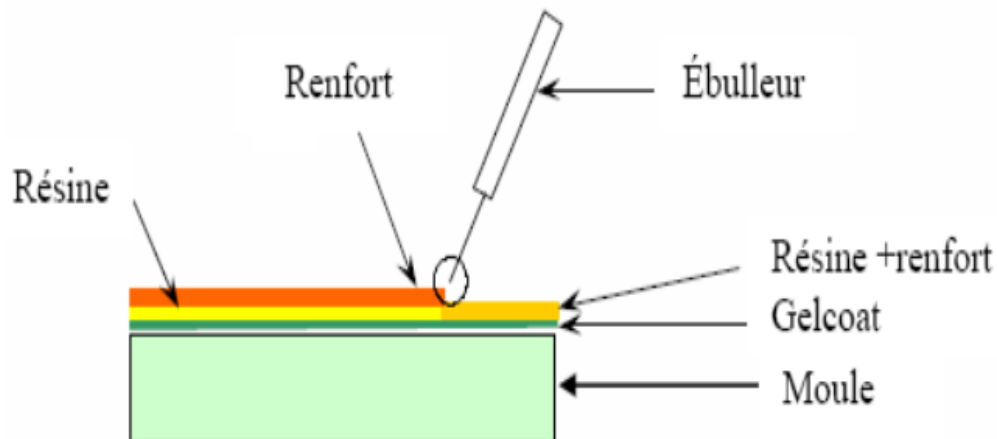


Figure I.19 : principe de moulage au contact [8].

1.7. Avantages et inconvénients des matériaux composites:

Les composites sont préférés à d'autres matériaux parce qu'ils offrent des atouts liés à : [6]

- Leur légèreté.
- Leur résistance à la corrosion et aussi à la fatigue.
- Leur insensibilité aux produits comme les graisses, les liquides hydrauliques, les

Peintures et les solvants.

- Leur possibilité de prendre plusieurs formes, d'intégrer des accessoires et permettre la réduction de bruit.

Inconvénients qui freinent leur diffusion :

- les coûts des matières premières et des procédés de fabrication.
- la gestion des déchets engendrés et la réglementation de plus en plus stricte.

L'industrie des matériaux composites doit donc aujourd'hui relever certains défis tels que :

- la maîtrise des émanations de produits organiques volatiles, par exemple le styrène.
- La maîtrise des procédés de transformations et des performances des matériaux qui sous entend une très bonne connaissance des constituants mis en place.
- La mise en place de technologies et des filières pour la gestion des déchets en fin de
- vie qui est la partie la plus difficile à satisfaire en raison du caractère thermostable de
- la plupart des composites.

De plus, dans ce dernier point, le recyclage est actuellement très limité parce que le broyage ou les autres procédés sont très coûteux et fournissent une matière de faible qualité. Ces quelques inconvénients et défis à relever, ont poussé les chercheurs et les pouvoirs publics à investi et orienter les recherches vers les ressources renouvelables et biodégradables [1].

1.8. Domaines d'utilisation des matériaux composites

Les matériaux composites de nos jours prennent une place prépondérante dans différents domaines de par leur simplicité d'élaboration, leur légèreté ainsi que leurs caractéristiques mécaniques. Contrairement aux matériaux classiques qui présentent des caractéristiques mécaniques intrinsèques, les matériaux composites peuvent répondre aux exigences des différents types de contraintes à partir d'une élaboration et d'un choix judicieux de matrice et renfort, et ceci, dans différents domaines [1].

Conclusion

L'objectif des producteurs des matériaux composites est de concurrencer et de surpasser les métaux qui, de leur côté, ne cessent d'optimiser leurs propres caractéristiques. La diversité des matériaux composites et leur souplesse, qui permet de fabriquer ou de composer des caractéristiques à la carte, rendent cet objectif légitime. Pour atteindre ces objectifs, ce secteur doit se développer par l'innovation [1].

Chapitre II :
Généralité sur les fibres
végétales

Introduction

L'utilisation des fibres naturelles d'origine végétales dans la construction remonte aux années où l'on fabriquait des briques renforcées par la paille ou des roseaux. Dans le temps moderne (depuis l'année 1970), le premier composite liant avec les fibres végétales était le plâtre. De ce fait, plusieurs ouvrages sont réalisés avec le plâtre renforcé de fibres végétales. Actuellement le monde connaît de récents développements dans le domaine de renforcement du ciment et béton avec des fibres végétales. Suite aux problèmes de santé posés par les fibres d'amiante, plusieurs axes de recherches sont orientés vers la substitution de celles-ci par les fibres végétales [9].

II .1.Fibres naturelles :

On peut subdiviser les fibres naturelles en trois grands groupes selon leur origine :

- ❖ les fibres végétales qui comprennent : [6]
 - les fibres provenant des poils séminaux de gaines (coton kapok).
 - les fibres libériennes extraites de tiges de plantes (lin, chanvre, jute, ramie).
 - les fibres dures extraites de feuilles (sisal), de troncs (chanvre de manille) d'enveloppes de fruits (noix de coco).
- ❖ les fibres animales qui proviennent des poils, telle que la toison animale, et sécrétions telle que la soie.
- ❖ les fibres minérales telles que le basalte.

II .2.Définition de la fibre végétale

Les fibres végétales sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine. En proportion relativement faible d'extractibles non azoté, de matière protéique brute, de lipide et de matières minérales. Les proportions de ces constituants dépendent énormément de l'espèce, de l'âge et des organes de la plante. Ils sont assimilables à un empilement de plis dont la structure est constituée d'une lamelle mitoyenne, d'une paroi primaire et d'une paroi secondaire[6].

II. 3. Classification des fibres végétales :

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance. A s'avoir : les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface : [10]

A. Les Fibres de Feuilles

Ces fibres sont obtenues grâce au rejet des plantes monocotylédones. Les fibres sont fabriquées par chevauchement de paquet qui entoure le long des feuilles pour les renforcer ces fibres sont dures et rigides.

Les types de fibres de feuilles les plus cultivées sont la fibre de sisal, de Henequen et d'abaca .

B. Les Fibres de Tiges

Les fibres de tige sont obtenues dans les tiges des plantes dicotylédones. Elles ont pour rôle de donner une bonne rigidité aux tiges de plantes.

Les fibres de tige sont commercialisées sous forme de paquet de cor et en toute longueur. Elles sont par la suite séparées individuellement par un défilage. Les fibres, une fois séparées, sont utilisées dans la fabrication des cordes ou de textile ou bien dans le renforcement du ciment et béton.

Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, de lin, de ramie de Sunn, de kennaf, de urena et de chanvre.

C. Les Fibres de Bois

Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes. Plusieurs chercheurs ont montré l'efficacité de ces fibres dans le renforcement des ciments.

D. Les Fibres de Surface

Les fibres de surface entourent en général la surface de la tige, de fruits ou de grains. Les fibres de surface des grains constituent le groupe le plus important dans cette famille de fibres. Nous citons entre autre le coton et la noix de coco. Les fibres de coco ont donné de bons résultats pour la résistance à la flexion du ciment de fibre.

II.4. Caractéristiques Chimiques des Fibres Végétales

Les fibres végétales sont caractérisées par leur composition chimique (**Tableau II .1**) qui influe énormément sur leur durabilité et spécialement dans les milieux alcalins.

La composition chimique des fibres végétales est formée de trois principaux constituants à savoir : la cellulose, l'hémicellulose et la lignine.

❖ Les différents constituants des fibres végétales sont (**Figure II.1**) : [9]

La Cellulose

C'est la principale composante des fibres végétales. C'est un polymère naturel du premier plan. Généralement, les fibres végétales sont constituées par une chaîne de fibres en cellulose.

Hémicellulose :

L'hémicellulose présente dans toutes les parois de ces fibres. C'est le constituant responsable de l'élasticité des fibres et qui permet aux parois de s'allonger pendant la croissance.

Lignine

La lignine constitue la colle qui lie les fibres végétales entre elles ainsi que leurs parois. C'est un polymère tridimensionnel provenant de la copolymérisation de trois alcools phénylpropénoïques.

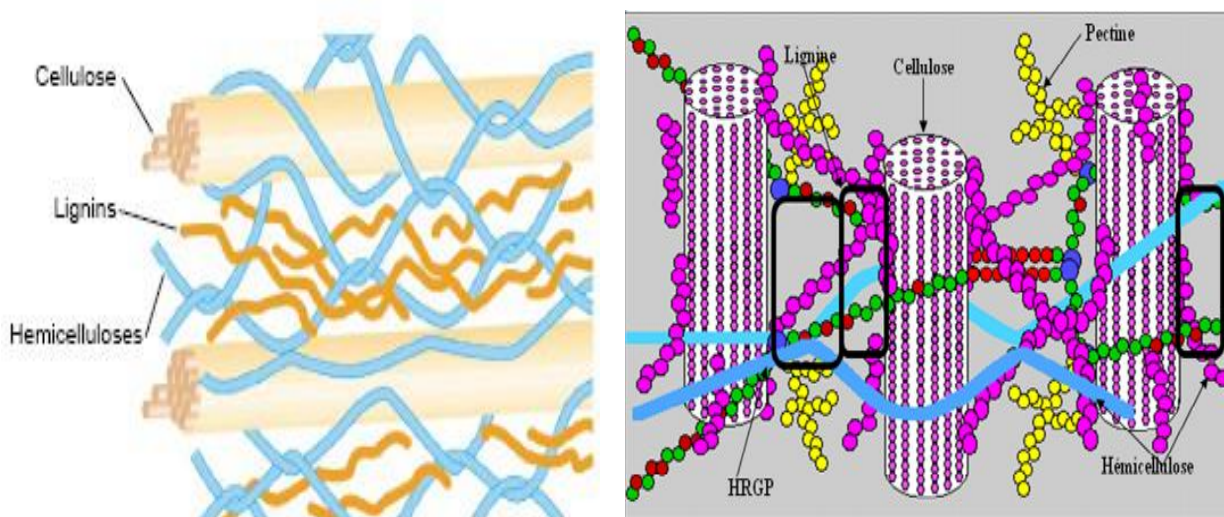


Figure II.1 : Les différents constituants d'une fibre végétale.[11].

Fibres naturelles	% Cellulose	% Hémicellulose	% Lignine	% Pectine	% Graisses	% Eau	Angle de microfibrille (°)
Chanvre	70 - 74	17,9-22,4	3,7-5,7	0,9	0,8	6,2-12	2-6,2
Lin	71	18,6-20,6	2,2	2,3	1,7	8-12	5-10
jute	61-71,5	13,6-20,4	12-13	0,2	0,5	12,5-13,7	8
Coton	85-90	5,7	-	0-1	0,6	7,85-8,5	-
Sisal	66-78	10-14	10-14	10	2	10-22	10-22
Ramie	68,6-76,2	13,1-16,7	0,6-0,7	1,9	7,5-17	0,3	7,5
Kénaf	45-57	21,5	8-13	3-5	-	-	-

Tableau II .1 : Composition chimique de quelques fibres végétales [2].

II.5. Propriétés usuelles des fibres végétales : [12]

II.5.1. Propriétés physiques des fibres végétales:

Généralement une fibre végétale est caractérisée par son diamètre, sa densité, son teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau.

II.5.2. Propriétés mécaniques des fibres végétales:

Elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, son élongation à la rupture et son module d'élasticité. Le (Tableau. III.2) présente les propriétés usuelles des fibres végétales.

Propriétés	Type de fibres							
	lin	Chanvre	Jute	Ramie	Coco	Sisal	Abaca	Coton
Densité	1,4	1,48	1,46	1,5	1,25	1,33	1,5	1,51
Résistance à la traction (MPa)	800-1500	550-900	400-800	550	220	600 -700	980	400
Module d'élasticité (E) [GPa]	60-80	70	10-30	44	6	38		12
(E/densité) spécifique	26-46	47	7-21	29	5	29		8
Allongement à la rupture (%)	1,2-1,6	1,6	1,8	2	15-25	2-3		3-10
Absorption d'eau (%)	7	8	12	12-17	10	11		8-25
Production mondiale en 2002 en milliers de tonnes/an	750	78	3200	202	654	345	104	21200

Tableau II .2 : Propriétés usuelles des fibres végétales.

II.5.3. Propriétés chimiques des fibres végétales

Les fibres végétales sont caractérisées par leur composition chimique (**Tableau II.3**) qui influence énormément sur leur durabilité et spécialement dans les milieux alcalins.

Fibres naturelles	Cellulose %	Hémicellulose %	Lignine %	Pectine %	Graisses %	Eau %	Angle de Microfibrille (°)
Chanvre	70-74	17.9-22.4	3.7-5.7	0.9	0.8	6.2-12	2-2.6
lin	71	18.6-20.6	2.2	2.3	1.7	8-12	5-10
Jute	61-71.5	13.6-20.4	12-13	0.2	0.5	12.5-13.7	8
Coton	85-90	5.7	-	0-1	0.6	7.85-8.5	-
Sisal	66-78	10-14	10-14	10	2	10-22	10-22
ramie	68.6-76.2	13.1-16.7	0.6-0.7	1.9	7.5-17	0.3	7.5
Kenaf	45-57	21.5	8-13	3-5	-	-	-
Palmier	41-45	6-10	30-40	-	1.2	-	-
Dattier							
Alfa	45	24	24	5	-	-	-

Tableau II.3 : Composition chimique de quelques fibres végétales.

II.5.4. Propriétés écologiques des fibres végétales

- La fibre végétale est naturelle et ne cause pas d'irritation pour la peau.
- Plus de confort pendant la manipulation et renouvelables.

II.6. Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts de matériaux composites

Ces fibres présentent de nombreux avantages comme renfort de matériaux composites. En revanche, certains inconvénients peuvent être un frein au niveau du développement industriel qui est indiquées dans le (**Tableau. III-4**) ci-dessous : [\[13\]](#)

Avantages	Inconvénients
Faible cout	Absorption d'eau
Biodégradabilité	Faible stabilité dimensionnelle
Neutre pour l'émission de Co2	Mauvaise tenue thermique (200à230°C Max)
Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation des fibres	Faible tenue en vieillissement
Pas de résidus après incinération	Fibres anisotropes
Ressource renouvelable	Variation de qualité en fonction du lieu de croissance, de la météo.....
Demande peu d'énergie pour être produite	Pour des applications industrielles, demande la gestion d'un stock
Propriété mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité,)	Renfort discontinue
Bonne isolation thermique et acoustique	
Non abrasif pour les outillages	

Tableau II.4 : Principaux avantages et les inconvénients des fibres végétales.

II.7. Présentations des différentes fibres végétales : [3]

Le chanvre

Le chanvre est une fibre libérienne, tout comme le lin, le kenaf, le jute et la ramie. Les plantes de cette famille présentent toutes des fibres externes longues et étroites et des fibres internes ligneuses. Par ses possibilités techniques, la fibre de chanvre répond à des besoins textiles traditionnels tout en ouvrant la voie à une foule d'innovations. Cultivé dans les pays à climat tempéré, on en trouve dans l'est de l'Europe, en France et en Italie.



Figure II.2 : Plante de chanvre et les fibres de chanvre.

Le lin

Le lin est une plante annuelle qui pousse dans le monde entier, aussi bien en Asie qu'en Europe. La fibre de lin vient des tiges de la plante mais aussi de l'huile extraite des graines. L'avantage de cette fibre est sa longueur élevée, en moyenne 25 mm et sa bonne résistance. Le lin peut être utilisé comme substitut au coton. De plus, le rendement de cette fibre est très nettement supérieur à la production de coton (jusqu'à 2 t/an/ha).

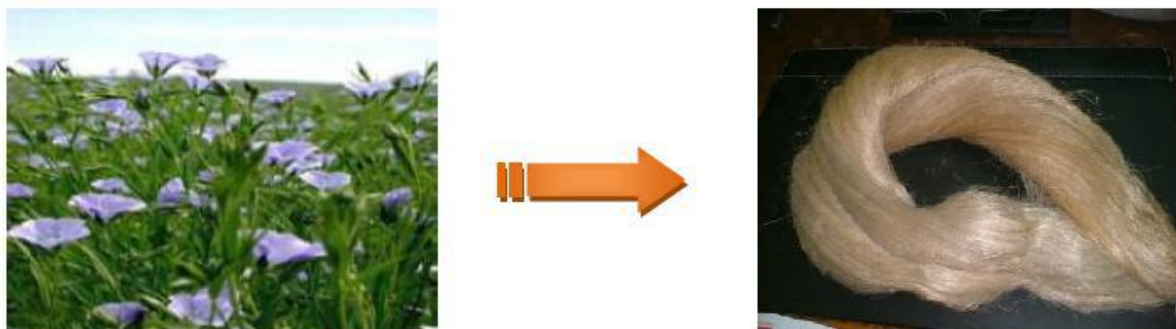


Figure II.3 : Plante du lin et les fibres de lin.

Le Coton

Le cotonnier est un petit arbuste annuel de 1 à 1,50 m de haut. Il est cultivé dans les zones chaudes d'Amérique, d'Afrique, d'Asie et mêmes d'Europe (Espagne). Les fibres de coton proviennent des graines, et sont appelés linters. Le rendement en linters de coton est de seulement 0,05 t/ha/an. Cette fibre est utilisée pour ses bonnes caractéristiques physique et mécanique. En effet, les linters de coton mesurent 2 à 5 mm et ont une largeur de 18 μm . Elle est utilisée pour des papiers dits de luxe. Elles sont également utilisées pour les papiers fiduciaires et principalement pour les billets de banques, papiers pour lesquels la caractéristique essentielle est la résistance au pliage. Cette fibre est aussi beaucoup utilisée dans le domaine du textile.

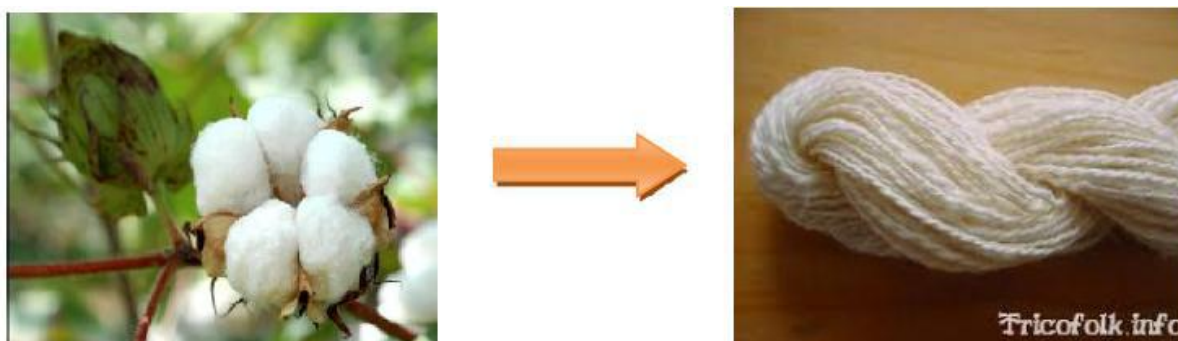


Figure II.4 : Plante et fibres naturelles de coton.

L'Abaca

L'Abaca ou chanvre de Manille est un bananier textile (Musacées) qui pousse aux Philippines : les fibres dans les gaines foliaires forment un pseudo tronc très recherché pour la fabrication de cordages légers et insubmersibles, pour des rabanes, des nappes, des stores ou des vêtements. La fibre d'Abaca a une longueur de 6 mm pour un diamètre de 22 μm . Elle est utilisée principalement dans la composition des papiers filtres, des sachets de thé. Ce sont des papiers poreux demandant une bonne résistance, en particulier au déchirement.



Figure II.5 : Plante de l'abaca et fibres de l'abaca.

Le Kénaf

Le Kenaf est une plante herbacée dont la tige peut atteindre 3 m de haut. Il se trouve principalement dans les régions tropicales et en Amérique du Sud.

La production de kénaf en Europe est rare. Elle est destinée uniquement pour le domaine papetier. Le rendement en fibre atteint près de 10 t/an/ha. La longueur moyenne des fibres (1,5 mm) est comprise entre celle des fibres de feuillus et celle des fibres de résineux.



Figure II.6 : Plante de Kénaf avec ces fibres.

Le Jute

Le jute est une plante buissonnante originaire du sud-est asiatique. Les principaux producteurs sont l'Inde et le Bangladesh. Le rendement en fibres est de 2 t/ha/an. Les fibres utilisées en papeterie sont les déchets de culture et de filature. La longueur moyenne des fibres est de 2 mm, avec une largeur de 20 μm . Les caractéristiques de ces fibres sont généralement assimilées à celles du kenaf.



Figure II.7 : Jute :(a) plante, (b) tisse, (d) fibre.

La ramie

La ramie est une plante arbustive. Originaire d'Asie de l'Est, la ramie a pour principaux producteurs la Chine, le Japon et l'Amérique. Le rendement en fibres est d'environ 2 t/ha/an.

La longueur moyenne des fibres est comprise entre 40 et 250 mm, pour un diamètre moyen de 45 μm . Ces fibres ressemblent aux fibres de lin mais sont encore plus longues, plus solides et plus rigides.



Figure II.8 : Plante de Ramie et les fibres naturelles de la Ramie.

Le coco

Les fibres de coco proviennent de la couche fibreuse qui entoure la noix de coco. Elles sont filées et tissées après avoir été assouplies dans l'eau. Le filage grossier et irrégulier donne au coco un aspect rustique. Le coco est très résistant, il est isolant, imputrescible et antibactérien. On utilise plutôt dans des pièces spacieuses et lorsqu'on veut mettre en avant son côté rustique.



Figure II.9 : Fibre naturelles de la plante du coco.

Le Sisal

Le sisal est une plante vivace constituée par une rosette de grandes feuilles à section triangulaire allant jusqu'à 2 m de long. Il s'agit d'une plante tropicale, principalement cultivé en Amérique du sud et en Afrique. La longueur moyenne de ces fibres est de 3 mm.

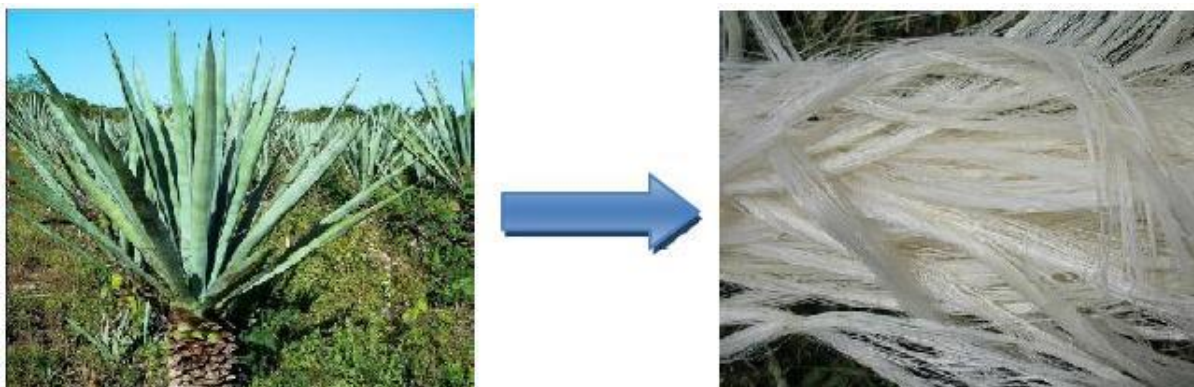


Figure II.10: fibre naturelles du sisal.

Palmier dattier

Le palmier dattier il a un stipe solitaire de couleur marron ou gris qui atteint jusqu'à 20 mètres de hauteur et 60 cm de diamètre à l'âge adulte (**Figure. II-11**). Leur couronne se compose de plus d'une centaine de feuilles pennées qui mesurent plus de 5 mètres de longueur. Le pétiole peut mesurer jusqu'a un mètre, et est recouvert d'épines sur ses bords.

Les folioles sont de couleur verte. Elles sont étroites, rigides et disposées de manière irrégulière sur le rachis. Les types les plus connus sont : Nour, Dokar, Elghers (appellation locale).



Figure II.11 : Palmier et les fibres de palmier dattier.

Alfa

L'Alfa est une herbe vivace typiquement méditerranéenne, elle pousse en touffes d'environ 1m à 1m20 de haut formant ainsi de vastes nappes (**Figure. II-12**). Elle pousse spontanément notamment dans les milieux arides et semi arides, elle délimite le désert, là où l'Alfa s'arrête, le désert commence. Elle est employée dans la fabrication de sparterie, des cordages, des espadrilles, des tissus grossiers, des papiers d'imprimerie.....etc



Figure II.12 : La plante et les fibres l'Alfa.

II.8.Utilisation des Fibres dans la Construction

Les fibres de toute nature sont très employées dans différents ouvrages dans le but d'améliorer leurs performances mécaniques et physiques. L'utilisation des fibres végétales dans le renforcement des ciments est relativement récente. En effet, beaucoup de recherches sont en cours dans le but d'arriver à substituer les fibres d'amiante par les fibres végétales.

Actuellement, les fibres végétales sont de plus en plus utilisées dans les dalles et la production des tuiles et les dallages de parking ainsi que dans le renforcement du plâtre.

Par ailleurs, l'utilisation des fibres de polymère, de carbone et d'acier est de plus en plus pratiquée dans plusieurs domaines et spécialement dans la fabrication des panneaux et dans la restauration et la réparation des ouvrages anciens endommagés [12].

Conclusion

L'utilisation de fibres végétales dans le domaine de génie civil est expansée et prend un champ très large d'application, compte tenu des caractéristiques physiques, mécaniques, chimiques et écologiques, ainsi que grâce à leurs disponibilités dans la nature et trouvent des applications dans le domaine de la construction [12].

Chapitre III :
Généralité sur les béton
polymère

Introduction:

Le béton polymère (BP) est un matériau fabriqué en remplaçant totalement ou partiellement le ciment par un polymère. La recherche et le développement des bétons et mortiers polymères ont connu un grand essor dans différents pays occidentaux depuis les années 1980. Comme le remplacement du ciment Portland par un polymère entraîne une augmentation sensible du coût du béton, il ne faudrait le faire que si l'on recherche des caractéristiques supérieures, si le coût de la main d'œuvre est moins élevé ou si les besoins en énergie lors de la fabrication et de la mise en œuvre sont moindres. Actuellement, le BP est utilisé très efficacement de par sa résistance élevée et sa légèreté, en éléments préfabriqués dans le bâtiment, pour les tabliers de pont, pour les conteneurs de déchets dangereux, pour bases de machines industrielles, pour la fabrication des carreaux de planchers en marbre synthétique et les panneaux d'escaliers, des plaques et panneaux de parements de diverses structures, d'appuis de fenêtre[7].

Pour améliorer les propriétés physiques et mécaniques et permettre une bonne durabilité des bétons de résine renforcés ou non tout en satisfaisant les exigences économiques qui se rapportent au coût du produit fini, plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'optimisation de la formulation du BP par la diminution de la fraction massique de la résine et/ou par le remplacement ou l'ajout d'une partie du squelette granulaire par d'autres composantes, conférant aux bétons des qualités meilleures en abaissant le prix du matériau du produit fini [7].

III.1.Définition du béton polymère :

Le béton polymère est un matériau composé de différents types d'agrégats. Ces derniers sont liés par des résines de polyester pour assurer la solidité de chaque réalisation [16].

Cette combinaison se complète, pour les bétons préfabriqués, d'agrégats de silice, de quartz et de résines de polyester stable [16].

Preuve de sa performance, le béton polymère a déjà obtenu de très nombreuses certifications de qualité auprès d'organismes du bâtiment comptant parmi les plus réputés [16].

Le béton polymère n'est pas un béton traditionnel, bien que certains matériaux ont en commun. Il est utilisé pour des projets de construction tels que le traditionnel, mais les composants polymères de nous donner plusieurs caractéristiques qui le rendent plus sûr et plus durable que le béton ordinaire. Le polymère a tendance à être plus cher que d'habitude est mesurée et plus précisément en termes de densité et de retrait [17].

III.2.La composition principale d'un béton polymère :

Le béton de résine (polymère) est formé par un squelette granulaire (les agrégats) et un liant polymère (résine) parfois thermoplastique mais dans la plupart des cas thermodurcissable [18].

a. Le liant (la résine)

Les polymères sont des structures ayant une architecture le plus souvent linéaire ou tridimensionnelle constituée par l'enchaînement covalent de plusieurs unités chimiques de répétitions ou motifs unitaires appelées monomères possédant une ou plusieurs fonctions chimiques potentiellement réactives. Le nombre et la nature de ces fonctions permet de déterminer ce que l'on appelle la fonctionnalité du monomère, c'est-à-dire le nombre de liaisons qu'un monomère peut établir avec d'autres monomères lors de la réaction chimique appelée polymérisation.

La différence entre un polymère et une grosse molécule quelconque provient de cette Répétition de molécules identiques ou similaires constituant une chaîne ou une portion de chaîne. Les polymères peuvent être fabriqués à partir d'un seul type de monomère (on parle alors d'homo polymère, comme par exemple le polystyrène), ou bien à partir de plusieurs types [18].

b. Les agrégats

Ils forment le squelette du béton et ils jouent donc un rôle très important dans la composition et la fabrication des bétons en général et le béton de résine en particulier. Ils influent les propriétés mécaniques et physiques du produit fini.

Les agrégats utilisés dans la plupart des cas sont des sables de quartz de granulométrie différente. Le gravier utilisé (0,2 à 16 mm) et en partie le sable (0,1 à 0,7 mm) sont considérés comme des agrégats à granulométrie supérieure tandis que la farine (0,1 à 0,3 mm) et les particules encore plus petites (< 0,1 mm) sont considérées comme des agrégats fins.

Le bon choix des agrégats entraîne une augmentation du module d'élasticité, de la résistance en flexion et en compression ainsi que de la dureté [10].

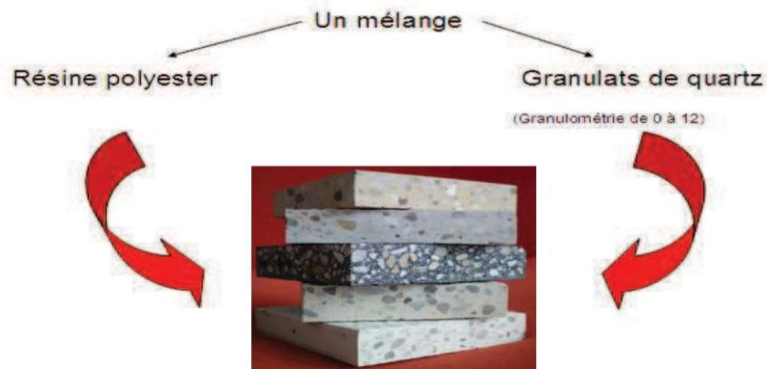


Figure. III.1 : composition du béton polymère.

III.3. Caractéristiques intrinsèques du béton polymère : [7]

Chimiques

- Résistance totale aux agressions des effluents sans aucun traitement : résistance du ph 1 à 14 ;
- Résistance totale à l'H₂S ainsi qu'aux produits chimiques ;
- Résistance totale aux hydrocarbures.

Hydrauliques

- Excellent coefficient d'écoulement : Manning Strickler de 108 moyen, offrant ainsi un matériau auto curant et augmentant le débit de l'ouvrage ;
- Totale étanchéité dans la masse grâce à la très faible porosité de surface du béton polymère ;
- Excellente tenue à l'abrasion : coefficient d'abrasion permettant de conserver les qualités hydrauliques des ouvrages durant des décennies.

Physiques :

- Insensible aux phénomènes de gel/dégel ;
- Légèreté accrue par rapport aux ouvrages en béton classique ;
- Résistance aux tags (se nettoie sans laisser de traces) ;
- Résistance au sel marin et au sel de déneigement ;

- Possibilité de teindre le produit en pleine masse ou de le colorer [19].

III.4. Propriétés de béton polymère

Les propriétés viscoélastiques du liant polymère sont responsables du taux élevé de fluage du béton de résine, ce qui restreint quelque fois son utilisation dans la construction de charpentes. Le taux de déformation du béton de résine varie selon le type de béton polymère . il existe une grande variété de bétons à base polymère parmi les quelles on trouve : le béton de polyester, le béton d'époxy, le béton de résine furanique [7].

Le (Tableau. III.1) donne les caractéristiques mécaniques des différents bétons polymère .

Type de liant	Polyméthacrylate de méthyle	Polyester	Époxyde	Résine furanique	Béton de ciment
Absorption d'eau (%)	0,05-0,60	0,30-1,0	0,02-1,0	0,20	5-8
Résistance en compression (MPa)	70-210	50-150	50-150	48-64	13-35
Résistance en traction (MPa)	9-11	8-25	14-25	7-8	1,3-3,5
Résistance en flexion (MPa)	30-35	15-45	15-50	-	2-8
E (GPa)	35-40	20-40	20-40	-	20-30
ν	0,22-0,33	0,16-0,30	0,30	-	0,15-0,20
Coefficient de dilatation thermique ($10^{-6}C^{-1}$)	10-19	10-30	10-35	38-61	10-12

Tableau. III.1 : Propriétés mécaniques des différents types de bétons de résine et du béton de Ciment.

III.5. Avantages du Béton Polymère

Voici quelques-unes des principales caractéristiques du béton polymère [20] :

- Le Béton Polymère possède des caractéristiques mécaniques supérieurs à un béton classique ce qui permet d'obtenir des épaisseurs et un poids moindre par rapport à des ouvrages en béton armé, facilitant ainsi la manutention et la pose.

- Capacité de production et de livraison très importante, le béton polymère est sec en 20 minutes et obtient sa résistance maximale en 16 heures .
- 100 % étanche dans la masse .
- 100 % recyclable ainsi qu'un bilan carbone plus faible qu'un béton traditionnel .
- Vieillesse lamellaire sans fissuration ni décrochage, ce qui rendra vos projets esthétiques durables dans le temps .
- Résistance totale au sel marin et au sel de déverglaçage .
- Résistance totale aux phénomènes de Gel/Dégel (aucune présence d'eau + parfaite étanchéité) .
- Aucune présence d'acier dans le béton polymère, de ce fait aucun risque d'éclatement, de chute de morceaux ou de coulure de rouille pour un aspect esthétique garantie à long terme.
- Résistance totale aux agressions et ce sans aucun traitement : résistance du pH 1 à 14, à l'H₂S, à un très grand nombre d'acides et aux hydrocarbures (voir tableau à la fin du dossier).
- Excellent coefficient d'écoulement : Manning Strickler de 108, évitant ainsi tout dépôt de matière et fournissant un matériau auto curant lors de la montée en charge de l'ouvrage.
- Le phénomène d'auto curage est accentué par un aspect parfaitement lisse sur les surfaces techniques évitant tout risque de dépôts, même lors de débits très faibles ;
- Excellente tenue à l'abrasion : notre coefficient d'abrasion (=1) permet de conserver les qualités hydrauliques de nos ouvrages durant des décennies. Le béton polymère est donc compatible avec des vitesses d'écoulement élevées.
- Possibilité de teinter le béton polymère en pleine masse et de la couleur voulu (selon classification RAL). La couleur du béton polymère est peu sensible aux UV et ce sur le long terme.

les inconvénients[7] :

- Le cout de la matière première (principalement le liant) est plus élevé (jusqu'à 8 fois).
- comparé à celui des bétons hydrauliques.
- Ces bétons se caractérisent par une mauvaise odeur et une toxicité provenant de la partie.
- liante du matériau c'est-à-dire la résine et le durcisseur pendant le malaxage et la mise en œuvre.

III.6. Les différentes applications d'un béton polymère :

Béton polymère est utilisé pour de nombreux types de projets de construction spécialisés. Comme d'autres types de béton, il peut être utilisé pour assembler deux composants différents ou de fournir une structure ou une base. Le matériau est utilisé dans la construction électrique ou industrielle où le béton doit durer longtemps et être résistant à de nombreux types de corrosion [18].

III.6.1.L'utilisation des bétons polymère dans les bâtiments domaine de génie civil

Utilisé essentiellement dans la production du marbre artificiel, l'industrie de façades, s'est enrichie avec l'utilisation du béton polymère comme matériau de revêtement avec des différentes formes de ces dernières de plus en plus complexes de point de vue architecturale et les exigences économiques et techniques plus stricts (Figure. II.3) [18].



Figure. III.3: Façades et marches d'escalier en béton polymère pour bâtiment.

III.6.2. L'utilisation des bétons polymère dans l'horticulture

Le béton polymère est utilisé pour fabriquer des petites formes et des bacs pour les plants. Ces conteneurs sont à déplacer selon les conditions météorologiques et c'est ici que réside l'avantage de profiter de béton polymère plus léger et robuste (Figure. II.4) [18].



Figure.III.4: Quelques applications du béton polymères (Bacs de fleurs –chaise).

III.6.3. L'utilisation des bétons polymère pour les revêtements des chaussées et planchers

Les planchers qui sont réalisées par le béton polymère dans les établissements industriels sont constamment exposés à des actions mécaniques permanentes exercées par les engins de transport, les vibrations, les impacts, l'abrasion, l'action des agents chimiques. De même pour les chaussées, le mouvement intensifs des véhicules lourds essentiellement réduit énormément le freinage à temps et cause l'usure de la surface du béton. Les investigations basées sur des essais en laboratoires et in-situ pour une période de 10 ans ont démontré l'efficacité de cette technique si la résine est bien choisie (**Figure. III.5**) et (**Figure. III .6**) [18].



Figure. III.5: Le pont mythique (New York Mania). Figure. III.6: Plancher en béton polymère.

III.6.4. L'utilisation des bétons polymère dans les travaux de drainage et hydrauliques

L'utilisation du béton polymère pour la fabrication des différents systèmes de drainage et le réseau de canalisation, est très répondeur comme résultat de la faible absorption d'eau et une résistance exceptionnelle au gel-dégel. Par conséquent, les éléments fabriqués en béton polymère peuvent avoir jusqu'à 15 mm d'épaisseur (réduction de 1/3 du poids par rapport au béton cimentaire) (**Figure. III.7**) [18].



Figure. III.7: Quelques applications du béton polymères, Quelques applications du béton polymères (drainage et hydrauliques).

III.6.5.L'utilisation des bétons polymère dans l'industrie

Le béton polymère est fortement recommandé dans la construction des usines chimiques et dans la fabrication des équipements minière (électrolytiques, réservoirs, puits) (**Figure. III.8**).



Figure. III.8: Quelques applications de béton polymère pour l'isolation.

7. Exemples de réalisations :



Figure .III. 9: Balustre - Chantier de Sète (France).



Figure. III. 9: Habillage du littoral de Cagnes sur mer (France).

Conclusion

On peut dire que le béton polymère n'est pas comme le béton traditionnel, même si elle utilise certains des mêmes types de matériaux. Il est également utilisé pour des projets de construction de la même manière.

Mais les composés polymères donner les concrètes plusieurs caractéristiques qui tendent à la rendre plus sûre et plus durable que le béton ordinaire. Le béton polymère tend à être plus chère que la version traditionnelle et est mesurée plus précisément en termes de densité et de retrait [7].

Chapitre IV :
Matériaux et techniques
expérimentales

Nous présentons dans ce chapitre les caractéristiques et techniques expérimentales des matériaux utilisés pour l'élaboration des bétons composites stratifiés étudié, ainsi que les essais exécutés.

IV.1. Matériaux utilisés

Les matériaux utilisés dans cette étude sont:

- ❖ La résine polyester insaturé.
- ❖ La silice.
- ❖ Les fibres de jute.
- ❖ Marbre.

IV.1.1. Résine:

Les résines polyester s'adaptent bien à la transformation des composites à usage naval et présentent les propriétés générales suivantes : une bonne facilité de mise en œuvre de la résine liquide (imprégnation des renforts), une copolymérisation rapide par rapport aux époxydes, de bonnes propriétés mécaniques et isolantes, et peuvent aussi être colorées. La réaction est exothermique et la résine passe successivement de l'état liquide à l'état de gel puis à l'état de solide infusible (**Figure. IV.3**). La température de la résine augmente à partir du point de gel pour atteindre un maximum (entre 80 et 130°C) et redescend ensuite à température ambiante. Le point important de la copolymérisation est le temps de mise en œuvre qui correspond au temps de transformation de la résine avant qu'elle ne se gélifie [10].

La résine polyester insaturée c'est la résine la plus utilisée dans l'élaboration des matériaux composites. On trouve deux types de résine polyester :

- ❖ Polyester insaturée isophtalique.
- ❖ Polyester orthophtalique.

Dans notre cas, nous avons utilisé la résine polyester orthophtalique vu sa bonne aptitude à résister [10].

a. Test de propriété rhéologique de la résine :

Ce test consiste à mesurer la viscosité de la résine isophtalique utilisant un dispositif de mesure de la viscosité. L'essai est effectué sur un échantillon de résine prise dans les conditions de température ambiante de mise en oeuvre.

Ce paramètre est indispensable pour contrôler les propriétés de mouillabilité de la résine. Il est très sensible à la température [7].

- Viscosité mesurée : 335CPa.s.



Figure. IV.1. Appareil pour la mesure de la viscosité.

b. Test de réactivité (temps de gélification) :

Le test de réactivité consiste à déterminer le temps de gel de la résine. Le taux de l'accélérateur et du catalyseur est choisi de manière à avoir un temps de gel suffisant pour la préparation et le moulage des éprouvettes [7].





Figure. IV.2. : Test de réactivité de la résine.

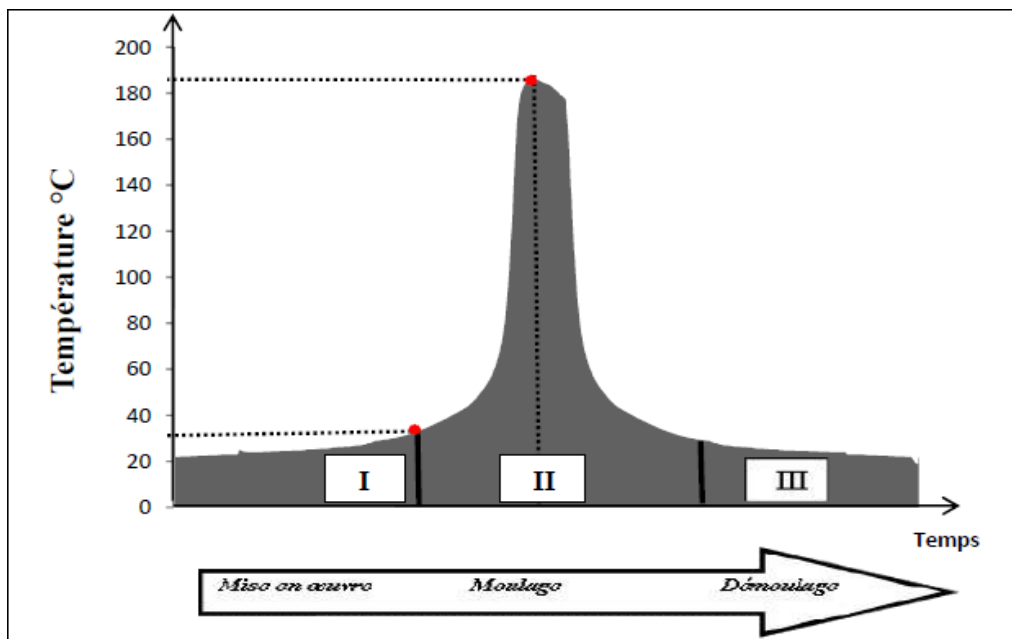


Figure. IV.3 : Cycle de polymérisation de résine polyester (isophtalique).

c. Propriétés de résine isophtalique:[7]

- ✓ Excellentes propriétés mécaniques.
- ✓ HDT haut.
- ✓ Longévité exceptionnelle.

Les caractéristiques de cette résine sont présentées par le **Tableaux. IV.1.**

	Module d'Young (GPa)	Contrainte de rupture (MPa)	Allongement à rupture (%)
Résine orthophtalique	1,3 – 1,4	40 – 50	1,2 – 1,8

Tableaux. IV.1 : Propriétés mécaniques de la résine orthophtalique [10].

IV.1.2. Silice

Le sable de silice ou sable de quartz est Tamisé, traité par lavage, classé en fonction de sa granulométrie puis séché (Fig.4.2). Il est de la région ouest Algérien.

Le traitement des sables s'effectue selon les différentes étapes suivantes : [10]

- extraction mécanisée sélective,
- homogénéisation,
- criblage,

- lavage et classification granulométrique.
- Attrition.
- Essorage.
- réduction et stabilisation finale de l'humidité (dewatering).
- séchage lorsque la définition du produit le nécessite.

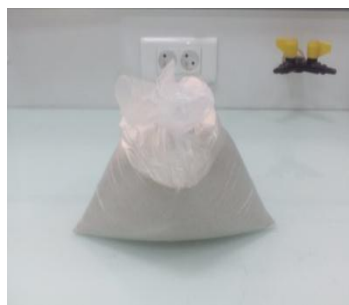


Figure. IV.4 : Silice.

a. Tests sable de silice :**➤ Test d'analyse granulométrique**

Figure. IV.5: Tamiseuse électrique.

La (Fig. IV.3) représenté la courbe d'analyse granulométrique de sable de silice (sable sèche 0,2-0,5mm).

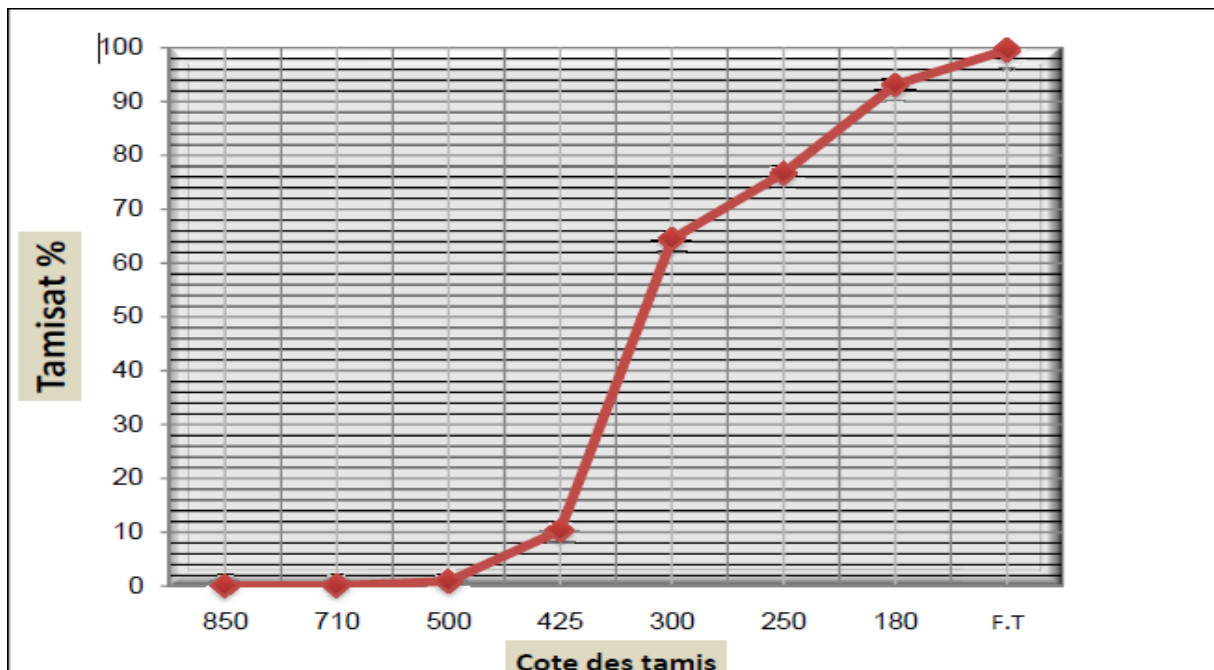


Figure. IV.3 : Courbe d'analyse granulométrique de la silice utilisée.

IV.1.3. Fibres de jute

Le jute est une plante herbacée de la famille des Malvacées, Il vient en deuxième position, après le coton, en termes de volume de production et d'utilisation. Le jute est très polyvalent. La plante mesure 3 à 4 mètres de haut (**Figure IV.13**). C'est une fibre libérienne, extraite des tiges de deux espèces végétales de la famille des Tiliacées : *Chorchorusolitorius* et *Chorchoruscapsularis* [8].



Figure IV.5 : Plante de jute Typique a, b et c botte de fibres extraite de la tige de jute.

La fibre de jute est constituée de 80 à 87 % de cellulose, le reste est de lignine. La longueur est de 1 à 5 mm et le diamètre est de 20 à 25 μm . Elle résulte de l'assemblage d'une dizaine ou plus de fibres élémentaires à section polygonale avec une ouverture centrale. Ces fibres sont ensuite tressées ou filées pour former les brins [8].

La transformation des fibres jute en fil passe par différentes opérations: [8]

- ❖ Ouverture du jute.
- ❖ Ensimage : projection d'une émulsion d'huile dans l'eau sur le jute servant à humidifier les fibres et de permettre un meilleur glissement des fibres les unes sur les autres.
- ❖ Obtention des fibres de longueur régulière par cardage.
- ❖ Parfaire le parallélisme des fibres par étirage.
- ❖ Filage et mise en forme en Rolls.

Les principales caractéristiques physiques des fibres de jute sont présentées dans le **Tableaux. IV.2**.

CARACTERISTIQUES	
Longueur de la fibre [mm]	2.5
Masse volumique g/cm-3	1,48 – 1.50
Reprise en humidité (20°C – 65% HR) [%]	16 – 18
Taux de sorption d'eau [%]	25.4
Ténacité à sec [N.Tex-1]	0,3 – 0,6
Perte de Ténacité au mouillé (%)	Gain de 15 - 25
Résistance aux UV	moyen
Résistance aux micro-organismes	moyen

Tableaux. IV.2 : Principales caractéristiques physiques des fibres de jute [8].

IV.1.4. Le filler utilisé (marbre) :

Le marbre est une roche métamorphique dérivant par écrasement, élévation de température de roche calcaire composé de calcite et de couleur blanche à l'état pur [12].

A) Caractéristiques physiques et chimiques du marbre

Caractéristiques physiques de ce filler (marbre) sont présentées au tableau : [12]

Propriété physiques	Fine marbre
Masse volumique apparent (g/cm ³)	0.83
Densité	2.67

Tableaux. IV. 3 : Caractéristiques physiques du marbre.

Composition chimique est établie en 12 avril 2010 à la cimenterie Lafarge de M'sila. Elle donnée par le tableau suivant :

Analyse chimique	Fines marbre
SiO ₂	1.47
CaO	55.3
MgO	0.01
Fe ₂ O ₃	0.14
Al ₂ O ₃	0.35
Na ₂ O ₃	0.12
K ₂ O	0.04
S ₀₃	0.01
Pert de feu	42.56

Tableau IV.4: Caractéristiques chimiques du marbre.

IV.2. Techniques expérimentales

IV.2.1. Choix des éprouvettes

Pour refléter l'effet d'orientation des plis de tissu de jute sur le comportement en flexion et en traction statique, nous avons élaboré quatre plaques stratifiés dont les plis de tissus de jute sont orientés selon quatre directions soit 90°, 45°, 60°, 55° (**Voir tableaux IV.5**)

BP : béton polymère silice/marbre/résine.

Orientation	composition	désignation
45°	[±45/BP/±45]	BP-45
90°	[±90/BP/±90]	BP-90
60°	[±60/BP/±60]	BP-60
55°	[±55/BP/±55]	BP-55

Tableaux IV.5 différents stratifié élaboré.

IV.2.1. Obtention des plis de tissu de Jute

- **Découpage:** on découpe les fibres de jute en longueur des fibres de (400×400×20) mm (**Figure. IV.6**) en angle (60°,45°,90°,55°).
- Nous avons repassé nos plis de tissus de Jute en utilisant un fer à repasser, Cette technique a pour but d'obtenir de plis repassés pour faciliter le moulage.



Figure. IV.6 : Fibres de jute coupées (Après préparation).

IV.2.2. Préparation des moules

On prépare des moules en bois comme indiqué par la (**Figure. IV.7**). Les dimensions de chaque moule sont (400 mm×400 mm x 20mm).



Figure. IV.7 : Moule en bois utilisé durant l'élaboration.

IV.2.3. Elaboration des plaques en Béton Polymère :

La technique utilisée dans ce travail est le moulage au contact. Le moulage au contact est le procédé le plus utilisé pour la mise en œuvre des composites. Le moulage est réalisé à température ambiante. On met de la cire démoulant pour faciliter le démoulage de nos plaques stratifiées.

Dans un premier temps, on procède au moulage de deux plis de tissu de jute par la technique de moulage au contact. Dans la deuxième étape, nous avons malaxé la silice, dans un taux de 20% de résine et 20% marbre. Le mélange obtenu est versé dans le moule pour l'obtention de la deuxième couche (Béton polymère en polyester/silice/marbre).

En dernier, nous avons réalisé la troisième couche qui est similaire à la première couche (Composite Polyester / fibres de jute) [10]. En fin nous avons obtenu un matériau stratifié.



Figure. IV.8 : Moulage de contact.

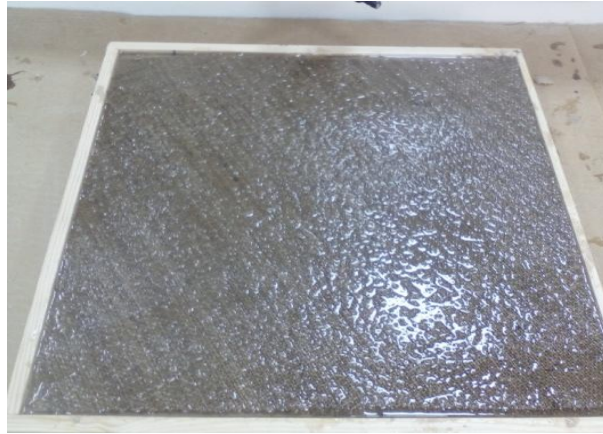


Figure IV.9: Plaque de béton polymère : polyester /silice /marbre/jute.

IV.2.4. Traitement des plaques :

Les éprouvettes sont traitées dans une étuve au sein du laboratoire de génie civil, à une température d'étuvage de 70°C durant 6 heures.

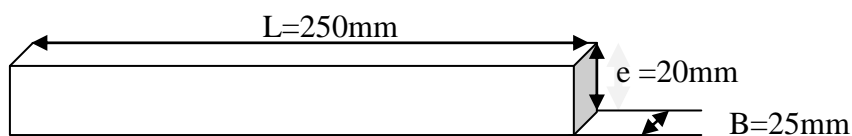


Figure IV.10 : Plaque de béton polymère : polyester /silice /marbre/jute.

IV.2.5. Obtention des éprouvettes

Pour la caractérisation de la rupture des différents bétons polymère renforcé par des fibres végétales et déchet minéraux en fonction on de jute, nous avons deux classes d'éprouvettes.

- Les éprouvettes de traction : se sont des éprouvettes prismatiques :



- Les éprouvettes de flexion : se sont des éprouvettes prismatiques :

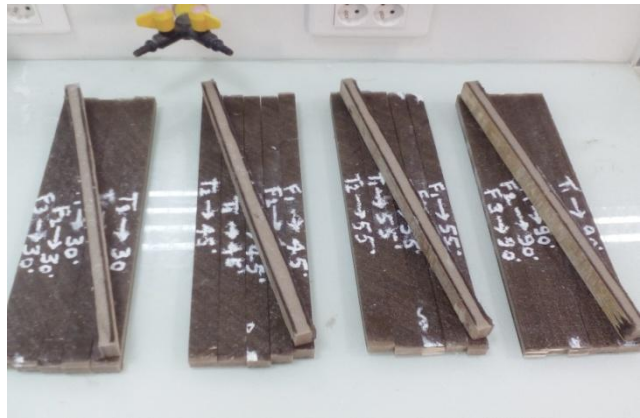
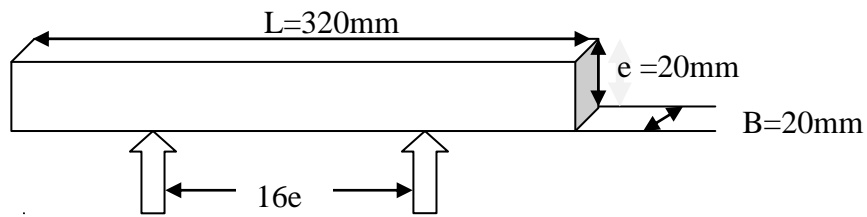


Figure IV.11 : Découpage des éprouvettes.

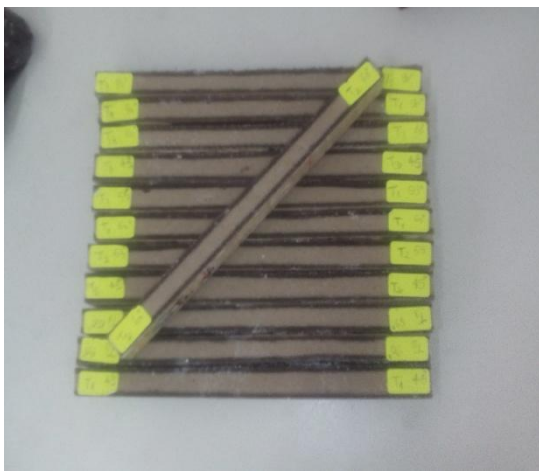


Figure IV.12 : des éprouvettes de traction.

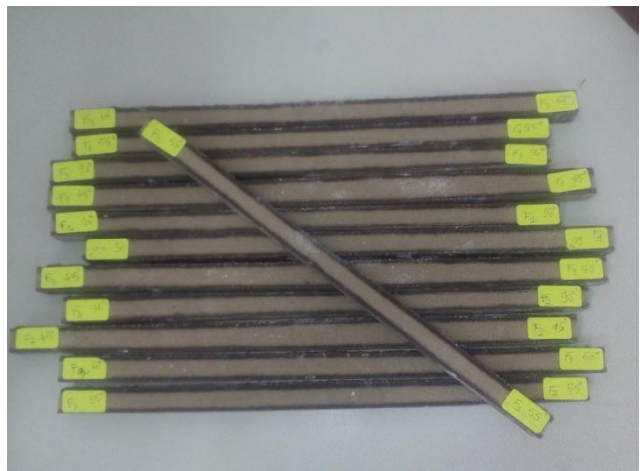


Figure IV.13 : des éprouvettes de flexion.

IV.3.Essais mécaniques :

IV.3.1.L a flexion

Les essais mécaniques, mènes sur les différents types d'éprouvettes, sont réalisées à température ambiante sur une machine de traction/compression (YL Universel Testing Machines /20KN) (**Figure IV.14**), au niveau de Maghreb Pipe.

Pour la caractérisation mécanique des différentes éprouvettes en Béton Polymère, nous avons testé les éprouvettes en flexion trois points. Un dispositif spécial est conçu pour ce type de test [\[10\]](#).



Figure IV.14 : Machine d'essais YL Universel Testing Machines /20kN.

IV.3.1.1.Principe de l'essai en flexion trois points:

L'essai de flexion détermine l'aptitude à la déformation d'un matériau sur deux appuis avec une application de l'effort à mi-distance. On impose à une éprouvette normalisée une déformation, ou flèche, à vitesse de déformation constante, et on mesure la force qu'oppose l'éprouvette à cette déformation.

L'essai de flexion est un test mécanique statique, qui fait partie de la famille des essais indépendants du temps (comme le choc, la dureté). Cet essai est largement utilisé dans les milieux industriels en raison de leur simplicité. Les contraintes de traction sont maximales dans la partie convexe, les contraintes de compression sont maximales dans la partie concave.

Pour les éprouvettes lisses en flexion trois points (FTP), la vitesse de la traverse mobile est de 5mm/mn [10].

IV.3.1.2. Paramètres d'étude : [10]

Les caractéristiques mécaniques déterminées de l'essai de flexion est :

❖ *La contrainte*

$$\sigma_f = \frac{3 \cdot P \cdot L}{2 \cdot b \cdot h^2}$$

Avec:

L : Distance entre les appuis (mm).

P : la charge maximale (N).

b : Largeur de l'éprouvette (mm).

h : Epaisseur de l'éprouvette (mm).

❖ *Module de flexion :*

$$Ef = \frac{L^3 \cdot m}{4 \cdot b \cdot h^3}$$

Avec:

L : Distance entre les appuis (mm).

m : Est la pente de la tangente à la partie linéaire initiale de la courbe charge-flèche (N/mm).

b : Largeur de l'éprouvette (mm).

h : Epaisseur de l'éprouvette (mm).

IV.3.2. La Traction :

Un essai de traction est une expérience de physique qui permet de mesurer le degré de résistance à la rupture d'un matériau quelconque.

Cet essai ou expérience consiste à placer une petite barre des matériaux à étudier entre les mâchoires d'une machine de traction qui tire sur la barre jusqu'à sa rupture (**Figure IV.15**). On enregistre l'allongement et la force appliquée, que l'on convertit en déformation et contrainte [22].

Pour les éprouvettes de traction (FTP), la vitesse de la traverse mobile est de 2mm/mn.

IV.3.2.1. Paramètres d'étude :

Les caractéristiques mécaniques déterminées de l'essai de traction est :

❖ Le module de traction E_y :

$$E_y = \frac{dF \cdot L}{A \cdot dx}$$

Avec :

(dF / dx) : Est l'expérience de la pente de la section linéaire sur les graphes.

L : distance entre mors (L=110 mm).

A : surface ou section (mm²), section rompue A=B×h.

❖ Le module de traction σ_τ [Mpa] :

$$\sigma_\tau = \frac{dF}{ds}$$

Avec :

F : Charge à la traction (N).

S : La section (mm²).



Figure IV.15 : Machine d'essais YL Universal Testing Machines /20KN.

Chapitre V :

Résultat et discussion

Introduction

Dans ce chapitre, une synthèse des essais mécaniques, menés sur les bétons polymères stratifiés renforcés par les fibres végétales de jute est présentée.

Nous débuterons par une analyse de l'évolution des courbes charge-déplacement (P- δ). Puis l'analyse des contraintes de nos composites en traction et en flexion

V .1.Propriétés mécaniques en flexion

V .1.1. Analyse des courbes charge/ déplacement des éprouvettes FTP

Les résultats des tests en flexion trois points reflètent le comportement mécanique des stratifiés. Nous avons testés les éprouvettes en flexion trois points relatifs aux Bétons Polymères confectionnés auparavant.

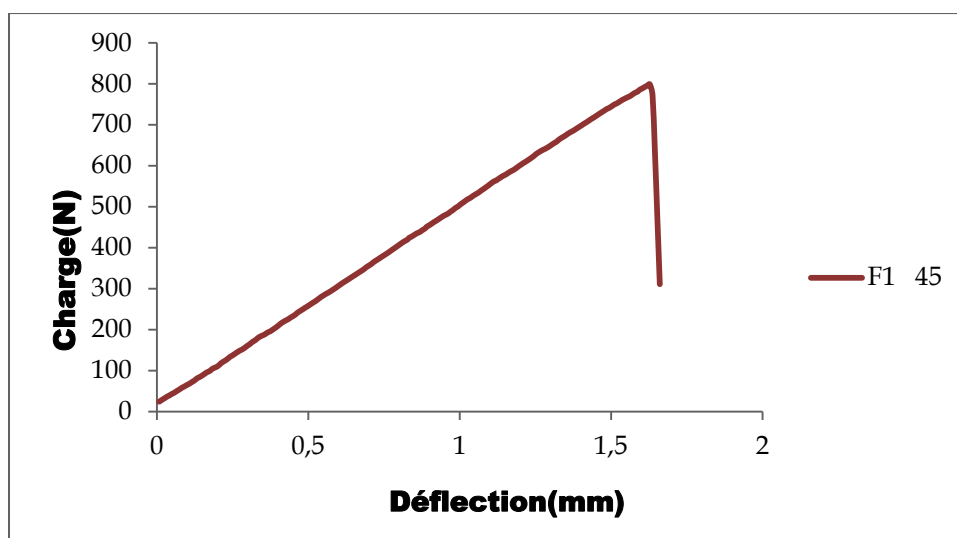


Figure. V.1 : Evolution de la charge en fonction la déformation du composite béton polymère.

La figure.5.1. Présente la courbe typique charge – déplacement (P- δ) des bétons polymères stratifiés testés en flexion trois points.

Ces courbes montrent un comportement pratiquement linéaire et fragile. Dans l'ensemble des courbes la charge croit pour atteindre un niveau maximal puis la charge chute brusquement provoquant la ruine de l'éprouvette testée.

Le tableau suivant montre l'ensemble des résultats obtenus comme charge maximale fonction de la nature des fibres.

Bétons Polymères	L'orientation de tissu jute	Charge maximale(N)
BP-45	F ₁ -45°	799
BP-90	F ₁ - 90°	640
BP-60	F ₁ -60°	602
BP-55	F ₂ -55°	487

L'histogramme de la figure 5.2 représente les barres de variation de la charge maximale durant le test.

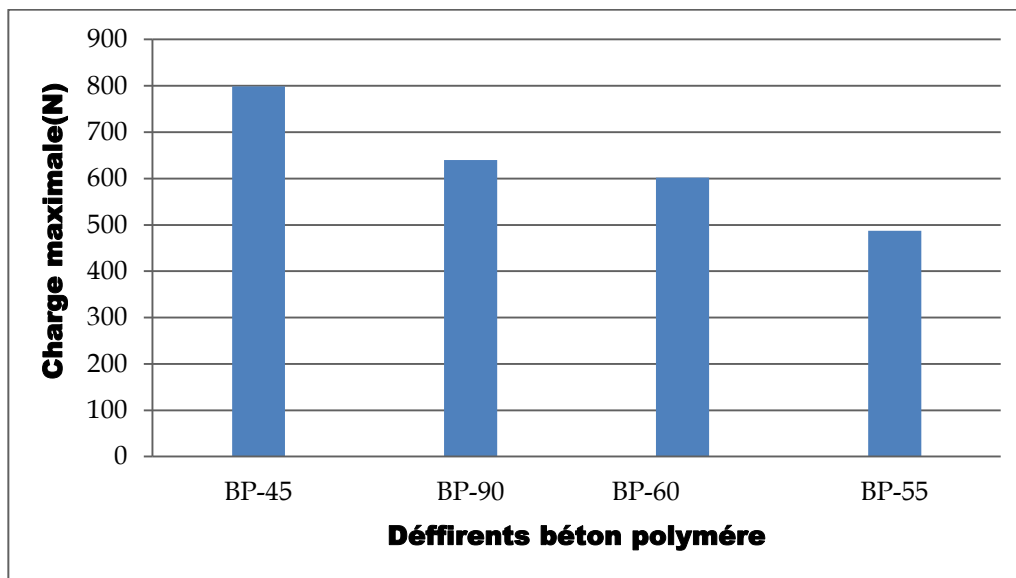


Figure V.2 : Paramètres de flexion des éprouvettes testées (Charge maximale).

De cette histogramme (*Figure V.2*), il semble que l'orientation de tissu de jute située à l'intervalle 45 ° et 90° améliore les caractéristiques mécaniques du Béton Polymère en flexion trois points.

Mais ces valeurs sont liées aussi à l'effet de taille (dimensions de l'éprouvette). Donc on ne peut pas donner une comparaison finale sans comparer les différentes contraintes et modules en flexion.

V.1.2. Analyse des contraintes à la rupture des éprouvettes FTP :

Pour pouvoir refléter l'effet de l'orientation de tissu de des jute sur le comportement mécanique des différents Bétons Polymères, nous avons dressé l'histogramme de la (*Figure V.3*) Des améliorations en contrainte de flexion des Bétons Polymères à fibres sont observées quand l'orientation de plis du jute est appliquée. de la (*Figure V.3*), il est clair que le Béton Polymère renforcé par des fibres de jute traitées à 90° de (BP-90) enregistre la valeur la plus élevée. Cette dernière est de l'ordre de $32,50 \pm 1,09$ MPa. Cette amélioration est de l'ordre de 4,57% plus importante que celle enregistrée par le Béton polymère (BP-45).

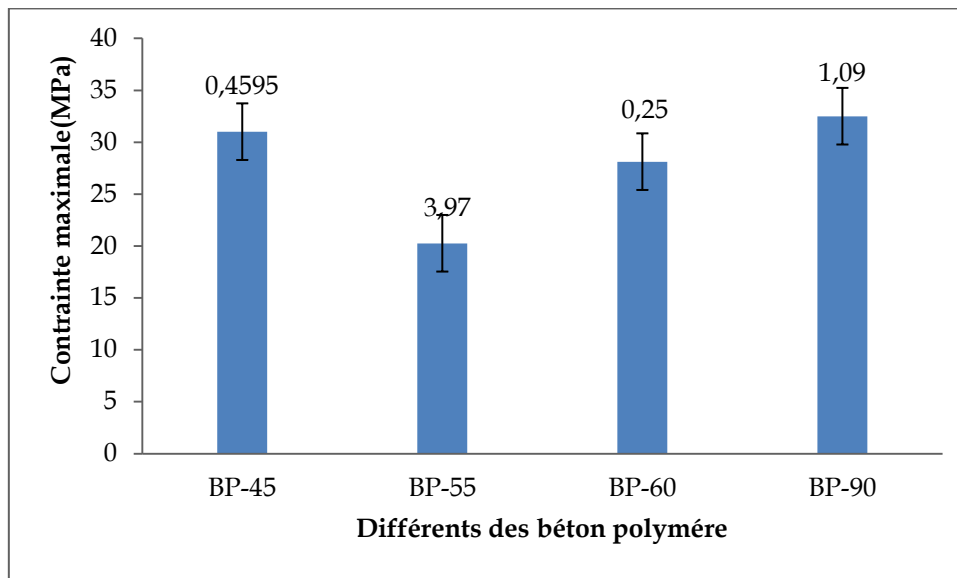


Figure V.3 : Paramètres de flexion des éprouvettes testées (Contrainte maximale).

Comparés au matériau BP-55 enregistre la valeur la plus faible, des améliorations des contraintes en flexion sont aussi observées pour les Bétons Polymères BP-60 et BP-45. Ces améliorations sont de l'ordre de 10,26%, alors la contrainte faible.

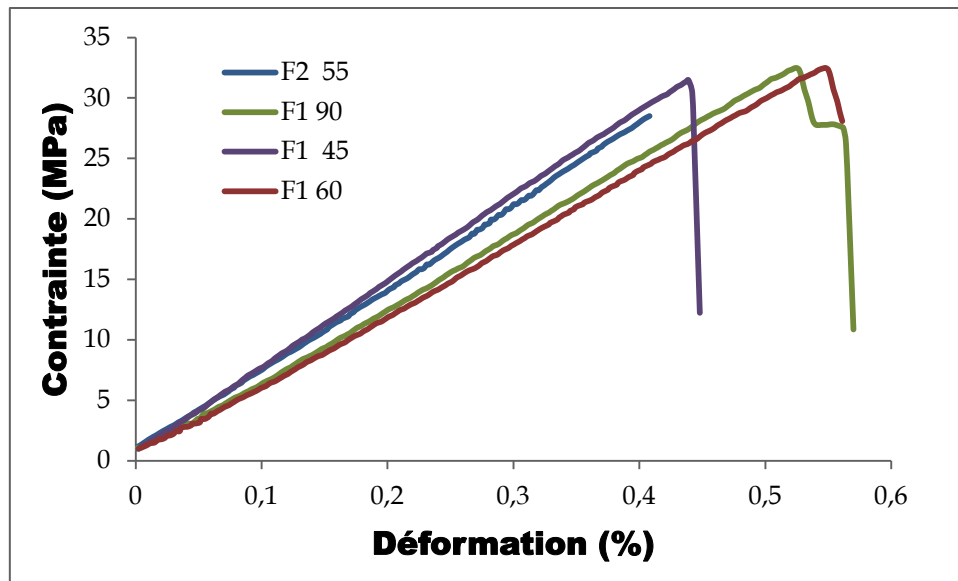


Figure V.4 : superposition des évaluations de la contrainte en fonction de déformation du type béton polymère,

Ces courbes montrent un comportement pratiquement linéaire et fragile. Dans l'ensemble des courbes la charge croit pour atteindre un niveau maximal puis la charge chute brusquement provoquant la ruine de l'éprouvette testée.

Dans l'ensemble des courbes, on constate que les différents bétons polymère testés ont un comportement fragile. La charge augmente graduellement jusqu'à la valeur maximale puis chute brusquement provoquant la ruine de l'éprouvette. La contrainte à l'éprouvette F1 45 et F2 55 plus élevée par rapport F1 90 et F1 55.

V.1.3. Analyse des modules en flexion des éprouvettes FTP

L'effet de l'orientation des plis du jute est représenté par la (Figure. V.5) Les résultats montrent que les propriétés mécaniques en flexion. Le matériau BP-45 montre le module en flexion le plus important (25,22 GPa). Comparé au matériau BP-90.

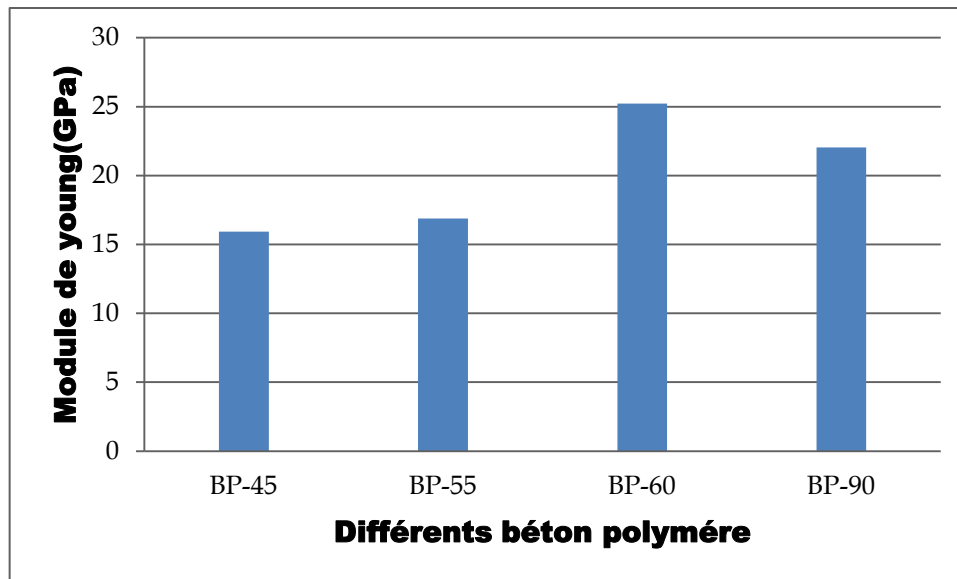


Figure. V.5: Paramètres de flexion des éprouvettes testées (module de Young).

L'effet de l'ajoute de différentes l'orientation de plis (45° , 55° , 60° , 90°) dans le béton polymère est représentée. le matériau BP-60 enregistre le module en flexion le plus important 25,22 GPa.

Cette différence de rigidité entre les matériaux BP-55 et BP-45 qui l'ordre 5,95% augmentation moyenne par rapport BP-90 et BP-60 plus rigide.

V.1.4. Analyse des Faciès de rupture :

L'observation microscopique des faciès de rupture (surface rompue de l'éprouvette) montre que la rupture des Bétons Polymères se distingue d'un matériau à l'autre selon l'orientation des plis, Bien que les bétons polymères présentent des modes de rupture similaires presque le même repture dans les l'éprouvettes.



Figure .V.6 : Faciès de rupture du BP-45



Figure .V.7 : Faciès de rupture du BP-90



Figure .V.8 : Faciès de rupture du BP-55 *Figure .V.9 : Faciès de rupture du BP-60*

V.2.A analyse et résultat du béton des polymères en traction

Afin de refléter le comportement mécanique des stratifiés, on a testé les éprouvettes de traction relatives aux béton polymère stratifiés. La figure représente l'évaluation de la charge en fonction du déplacement du béton polymère.

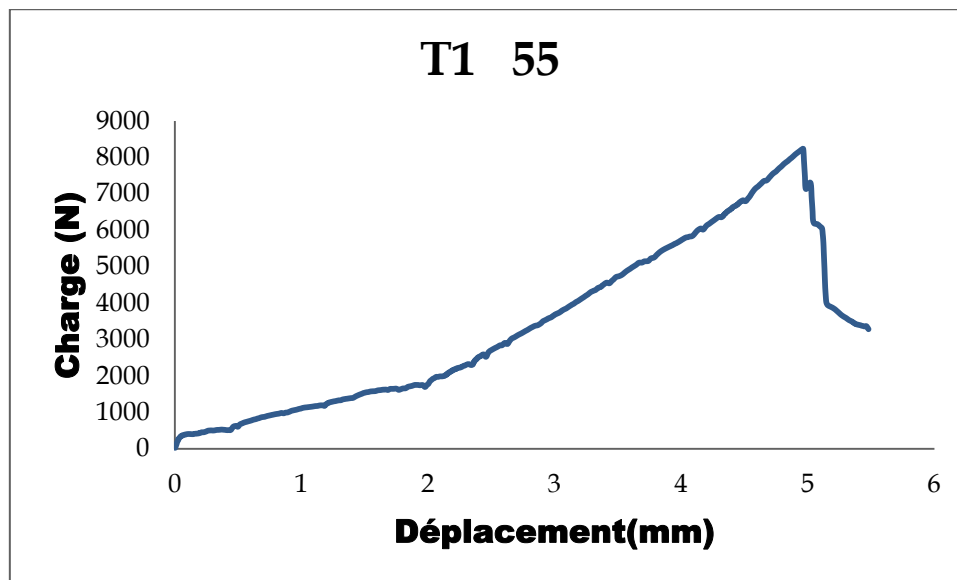


Figure .V.10 : Evaluation de la charge en fonction du déplacement du béton polymère stratifié en traction

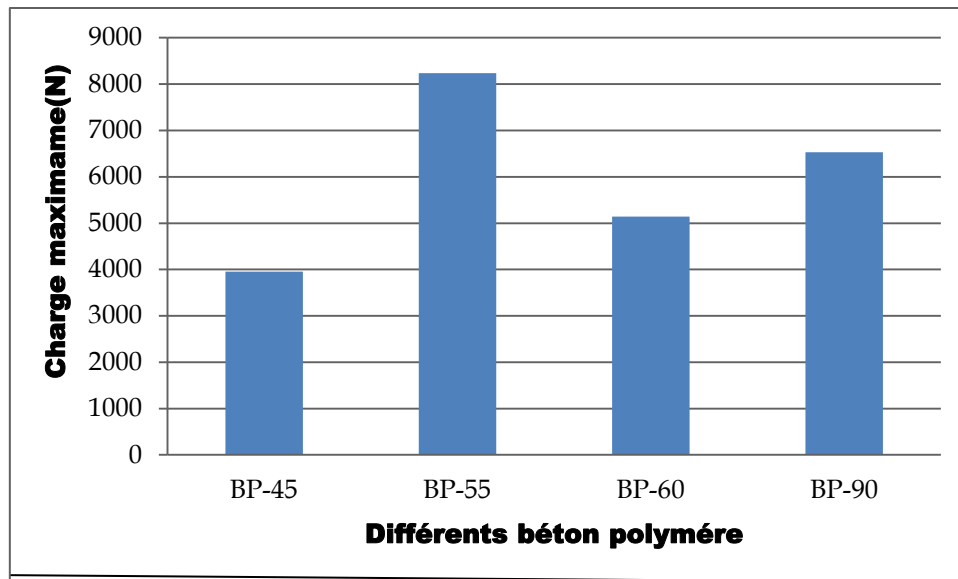


Figure .V.9 : Paramètres de traction des éprouvettes testées (Charge maximale).

De cette histogramme (*Figure V.9*), il semble que l'orientation de tissu de jute située à l'intervalle 55° et 90° améliore les caractéristiques mécaniques du Béton Polymère en traction. Mais ces valeurs sont liées aussi à l'effet de taille (dimensions de l'éprouvette). Donc on ne peut pas donner une comparaison finale sans comparer les différentes contraintes et modules en traction.

V.2.1. Analyse des contraintes à la rupture des éprouvettes

Pour pouvoir refléter l'effet du l'orientation de tissu de des jute sur le comportement mécanique des différents Bétons Polymères, nous avons dressé l'historgramme de la (*Figure V.10*) Des améliorations en contrainte de traction des Bétons Polymères à fibres sont observées quand l'orientation de plis du jute est appliquée. de la (*Figure V.10*), il est clair que le Béton Polymère renforcé par des fibres de jute traitées à 55° de (BP-55) enregistre la valeur la plus élevée. Cette dernière est de l'ordre de $14,95 \pm 1,99$ MPa. Cette amélioration est de l'ordre de 6,88% plus importante que celle enregistrée par le Béton polymère (BP-90).

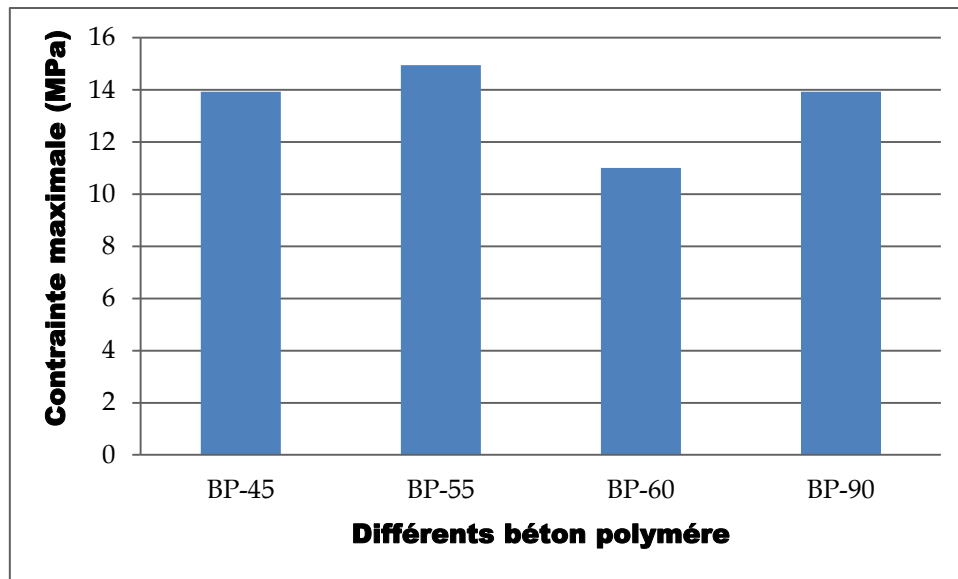


Figure V.10: Paramètres de traction des éprouvettes testées (Contraite maximale).

V.2.2. Analyse des modules en traction des éprouvettes

L'effet de l'ajoute de différentes l'orientation de plis ($45^\circ, 55^\circ, 60^\circ, 90^\circ$) dans le béton polymère est représentée. le matériau BP-55 enregistre le module en traction le plus important 0,629 GPa.

nous remarquons les éprouvette BP-60 et BP-90 ont le même module de young alors le même rigidité.

Cette différence de rigidité entre les matériaux BP-60 et BP-45 qui l'ordre 39,75% augmentation moyenne par rapport BP-90 et BP-45 et BP-60 plus rigide.

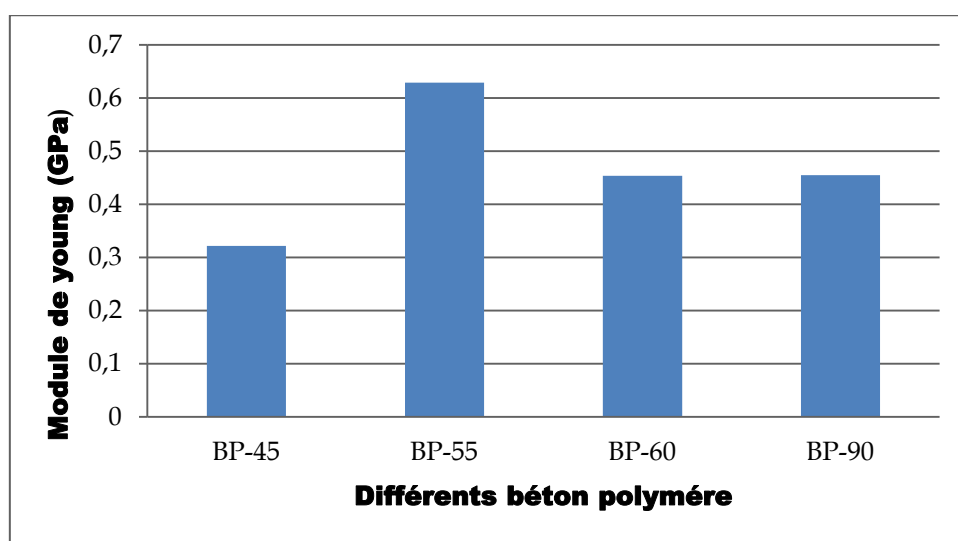


Figure. V.11: Paramètres de traction des éprouvettes testées (module de Young).

Conclusion générale

Notre travail s'intéresse à l'analyse du comportement du béton polymère stratifié à fibres végétales et déchets minéraux, et sa caractéristique en traction et flexion statiques.

Les résultats des tests menés sur les différentes éprouvettes stratifiées ont un comportement linéaire élastique jusqu'à rupture. Nous avons pu déterminer les caractéristiques du béton polymère stratifié.

Le résultat des tests sur les éprouvettes en béton polymère renforcé par les fibres de jute et filler de marbre ont montré que :

En flexion la contrainte à la rupture dans le Béton Polymère renforcé par des fibres de jute et marbre traitées à 90° de (BP-90) enregistre la valeur la plus élevée. Cette dernière est de l'ordre de $32,50 \pm 1,09$ MPa. Cette amélioration est de l'ordre de 4,57% plus importante que celle enregistrée par le Béton polymère (BP-45).

La valeur du module la plus élevée est obtenue par le composite BP-60 donné la meilleure valeur en rigidité. , la différence de rigidités entre les matériaux BP-55 et BP-45 qui l'ordre 5,95% augmentation moyenne par rapport BP-90 et BP-60 plus rigide.

Les résultats des tests en traction montrent que l'éprouvette (BP-55) enregistre la valeur la plus élevée. Cette dernière est de l'ordre de $14,95 \pm 1,99$ MPa. Cette amélioration est de l'ordre de 6,88% plus importante que celle enregistrée par le Béton polymère (BP-90).


Les références bibliographiques

- [1] saber benferdi, « *Caracterisation du comportement micromecanique d'un materiau composite par differents approches mathematiques* », mémoire magister, Université MENTOURI Constantine 2010.
- [2] Laurent Gornet, «**Généralites sur les materiaux composites**»,
- [3]CARMA, « *Glossaire des matériaux composites* », centre d'animation régional en matériaux avances, Décembre, 2006.
- [4]Jérémie Aucher, « *étude comparative du comportement composite à matrice thermoplastique ou thermodurcissable* », thèse de doctorat, INSA de Rouen, France, 2009.
- [5]Louis Berreur, Bertrand de Maillard, Stanislas Nösperger, «**L'industrie française des matériaux composites**», rapport final Rév 2 du 13 mai 2002.
- [6]Rouam kamila, «*Elaboration, caractérisation mécanique et hygrothermique d'un stratifié renforcé par des fibres naturelles* », mémoire magister, Université m'hamed bougara -Boumerdes 2014.
- [7] Cherchari Saadia, « *Étude comparative du comportement d'un béton polymère à matrice organique thermodurcissable et thermoplastique* », mémoire master, université de M'sila, 2016.
- [8]Mohamed El Hadi BOURAHILI, « **Caractérisation d'un composite verre / époxy** », mémoire Doctorat en science, université FERHAT ABBAS-Stif 2014.
- [9]Moukhtari abdessamed, «*Influence des ajouts de fines minérales sur les Performances Mécaniques des Bétons Renforcés de Fibres Végétales de Palmier Dattier* », Université de kasdi marbah-Ouargla 2006.
- [10] Baali Hafida, « *étude de l'effet du traitement chimique des fibres de palmier dattier sur Le comportement mécanique du béton polymère* », mémoire master, université de M'sila, juin 2014.
- [11]Yahiaoui Lamia, « **Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (Diss)** », mémoire magister, université FERHAT ABBAS-Stif 2011.
- [12] Kouici abir, « **Etude de l'effet de l'introduction des fibres végétales sur les propriétés des bétons autoplaçant (BAP) à l'état frais et durcis**», mémoire master, université de M'sila, juin 2016.
- [13]Floren ILCZYSZYN,«**Caractérisation expérimentale et numérique du comportement mécanique des agro-composites renforcés par des fibres de chanvre**»,*Thèse doctorat de l'UTT ,le 19 juillet 2013 .*

Les références bibliographiques

- [14] Djerar Zeyneb, « **Contribution à l'étude du comportement morphologique d'un béton polymère stratifié à base de silice et renforcé par des fibres végétales** », mémoire master, université de M'sila, juin 2013.
- [15] N. ZANACHEa, A. BEZAZIb, H. BOUCHELAGHEMb, c, M. BOUMAAZAa, S. AMZIANEd, F. SCARPA « **Etude statistique et Caractérisation Mécanique des Bétons Polymères Sollicités en Flexion** », *Congrès Français de Mécanique*, Lyon, 24 au 28 Août 2015.
- [16] Sites d'enternet : (<http://www.eti-construction.fr/le-béton-polymère-a-la-fois-leger-et-resistant-5014/>)
- [17] Sites d'enternet : (<http://icommentfaire.com/maison/quelle-est-béton-polymère.html>).
<http://www.aac-mo.com/qu-est-ce-que-beton-polymere.html>.
- [18] Oussama Elalaoui, « **optimisation de la formulation et de tenue aux hautes températures d'un béton à base d'époxyde** », thèse de doctorat, université de Tunis ELManar, février 2012.
- [19] Dossier-technique-[poly composite].
- [20] Dossier-technique-[poly composite, Le béton polymère sur mesure].
- [21] <http://www.aac-mo.com/qu-est-ce-que-beton-polymère.html>.
- [22] Rabia Soumia, « **caractérisation d'un béton polymère stratifié à base de silice et de fibres végétales longue** », mémoire master, université de M'sila, 2013.

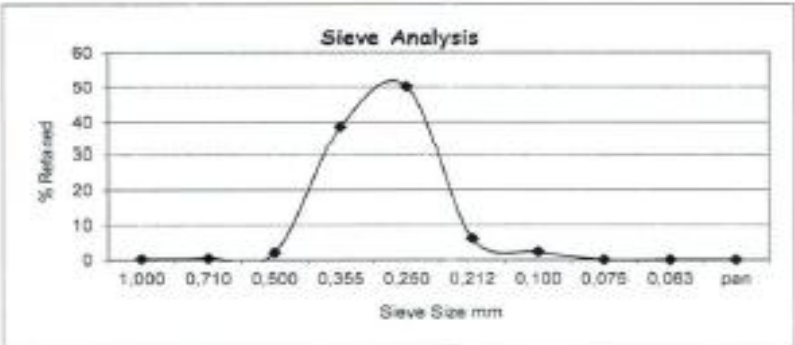
Annexes

 Spa, Adwan Chemicals. C Algeria	<h2>Bulletin d'analyse</h2>	Doc. Lab. 04 Version: 00 Date: 21/11/2010
---	-----------------------------	---

<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Product</td> <td>Sable sèche (0,2-0,5) mm</td> </tr> <tr> <td>Date</td> <td>24/03/2016</td> </tr> </table>	Product	Sable sèche (0,2-0,5) mm	Date	24/03/2016	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Client</td> <td>Maghreb pipe</td> </tr> </table>	Client	Maghreb pipe
Product	Sable sèche (0,2-0,5) mm						
Date	24/03/2016						
Client	Maghreb pipe						


SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	TiO ₂	CuO	H ₂ O
98,27%	0,660%	0,154%	0,014%	0,158%	0,272%	0,0018%	0,02%

Analyses granulometrie			
Diametres		% Ret.	Result
mm	Mesh		
1,000	18	0,17	94,98%
0,710	25	0,44	
0,500	35	2,09	
0,355	45	38,67	
0,250	60	50,25	
0,212	70	6,18	
0,100	150	2,31	
0,075	200	0,01	
0,063	230	0,00	
pan		0,00	



The graph shows the percentage of material retained on various sieve sizes. The x-axis represents Sieve Size in mm, ranging from 1,000 down to pan. The y-axis represents % Retained, ranging from 0 to 60. The curve shows a sharp peak at 0,250 mm, where approximately 50% of the material is retained. The data points correspond to the values in the granulometry table above.

Charge de laboratoire



Annexe 1 : Fiche technique de sable de silice.



TECHNICAL DATA SHEET

POLYESTER RESIN 716.09

TYPE

Unsaturated polyester resin for GRP, based on isophthalic acid and NPG (Neopentyl Glycol)

PROPERTIES AND APPLICATION

- excellent mechanical properties
- high HDT
- outstanding durability
- specially formulated resin as inner liners for tanks and pipes

PHYSICAL CHARACTERISTICS OF THE LIQUID RESIN

Test	Value	Unit	Method
Appearance	clear		
Density at 25°C	1050 – 1150	Kg/m ³	ISO 2811
Acid value	10 – 20	mgKOH/g	ISO 2114
Styrene content	41 – 45	%	MP 4221
Viscosity at 25°C	330 – 410	mPa.s	ISO 3219 Brookfield
Flash point	34	°C	DIN 51755
Storage life at 25°C in darkness	6	month	

CURING CHARACTERISTICS

Gel time at 25°C	8 – 12	min.	MP 471 100 g resin 0.25 % Co Acc. 8 % 1.5 % MEKP-60
Time gel – peak	10 – 20	min.	
Peak Exotherm	170 – 190	°C	

PHYSICAL CHARACTERISTICS OF CURED NON-REINFORCED RESIN

Density at 20°C	1150 - 1200	Kg/m ³	ISO 1183
Barcol hardness	35 - 45		EN 59
Tensile strength	50 – 70	Mpa	ISO R 527
Elongation at break	4 - 5	%	ISO R 527
Flexural strength	70 – 90	Mpa	ISO 178
E – modulus in tension	3200 – 3600	MPa	ISO R 527
Water absorption	< 1,5	%	ISO 62
Heat distortion temperature	80 – 100	°C	ISO 75 A
Glass transition temperature	95 – 115	°C	Internal method *

* Internal method: DSC 20, TC 11 K-Mettler

HANDLING AND SAFETY PRECAUTIONS

POLYESTER RESIN 716.09 is flammable liquid and should be kept away from naked flames. For further details, please see the relevant Safety Data Sheet.

Our data sheets are based on results achieved through laboratory experiments in our technical departments. The information contained is correct to the best of our knowledge and is supplied for the guidance of our customer involving no responsibility on our part.

Annexe 2 : Fiche technique de la résine polyester (isophtalique).

Résumé

Le renforcement de matériaux composites, en particulier en béton polymère en fibres végétales et de la technologie de déchets minéraux est très utilisé, pour le but d'améliorer les propriétés mécaniques, en particulier la résistance du béton à la traction et à la flexion et à la rupture. Les propriétés mécaniques des polymères en béton avec des couches renforcées de Nviac de fibres végétales et minérales liées à plusieurs facteurs et conditions de l'orientation et la distribution des fibres et marbre dans le béton polymère .dans ce travail ,nous avons utilisé les échantillons par quatre les angles de flexion trios point et de traction ,nous avons utilisé fibre de jute et marbre renforcé le béton polymère .

afin d'aboutir à la formulation optimum, les résultats de ce travail ; Le matériau BP-90 à enregistré une résistance maximale à la flexion, et le matériau BP-55 donne la valeur maximale à la traction.

Mots clés: Béton polymère, matrice thermodurcissable, résine polyester, fibre végétale, déchet minéraux .

Abstract

The reinforcement of composite materials, in particular polymeric concrete made of vegetable fibers and mineral waste technology is widely used for the purpose of improving the mechanical properties, in particular the strength of the concrete in terms of tensile and flexural strength and breaking. The mechanical properties of concrete polymers with Nviac reinforced layers of vegetable and mineral fibers related to several factors and conditions of orientation and distribution of fibers and marble in polymer concrete. Four bending angles trios point and traction, we used jute fiber and reinforced marble polymer concrete.

In order to arrive at the optimum formulation, the results of this work; The BP-90 material has a maximum resistance to bending, and the BP-55 material gives the maximum value to the traction.

Key words: Polymer concrete, thermosetting matrix,, polyester resin,vegetable fiber ,mineral waste .

ملخص

جد تقنية المعدنية نفايات و النباتية الالياف بواسطة البوليمرية الخرسانة خاصة و المركبة المواد تقوية الشد و الانحناء في الخرسانة مقاومة خاصة و الميكانيكية الخصائص تحسين هدف اجل من مستعملة،وذلك الكسر .

المعدنية نفايات و النباتية بالالياف المعززة الطبقات ذات البوليمرية للخرسانة الميكانيكية الخصائص العمل هذا في. البوليمرية الخرسانة في الرخام و الالياف توزيع و الاتجاه منها شروط و عوامل بعدة تتعلق الرخام و الجون الالياف استعملنا شد و نقط ثلاث الانحناء في زوايا باربع عينات اربع باخذ بالاستعمال قمنا البوليمرية للخرسانة كمقوي

العاطفة، قوة المواد أقصى كحد -BP 09 سجلت العمل؛ هذا ونتائج أفضل، وضع تحقيق أجل من وتوفر المواد

الشد قوة أقصى -BP 55

كلمات البحث: الخرسانة بالحرارة البوليمر المصفوفة، بالحرارة الراتنج مصفوفة البوليستر

نفايات معدنية والالياف النباتية