

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



N° :

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

**Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique**

**Par : - BENKERROUCHE Alaa Eddine
- OURIDA Mohammed**

Intitulé

**Formulation et caractérisation d'un béton
polymère renforcé par des fibres végétales et
filler de brique**

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	Examineur

Année universitaire : 2016 /2017





REMRECEIEMENTS

*Tout d'abord, nous tenons à remercier « **ALLAH** » Tout-Puissant de nous donner le courage et la volonté, la force et la patience de supporter ce travail.*

*Nous remercions « **Pr Rahmouni. Zain Abiddine** » et « **Dr Mansour Rokbi** » qui encadraient ce travail, de réserver et pour leur soutien au cours de ce projet*

*Ce travail de recherche a été dans l'usine « **Maghreb -pipe** », remercie son directeur, « **M. Baali Ibrahim** »*

Nous tenons également à remercier notre collègue de travail

*« **Latelli Hanan** »*

*Et tous mes amis spécialités « **matériaux de construction** » et*

*« **Structure** »*

Ce dernier merci à nos parents pour nous donner toujours un coup de pouce dans notre étude.



DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

Mes parents :

*Ma mère « **FATIHA** », qui a oeuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie, reçois à travers ce travail aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude.*

*Mon père « **AHMED** », qui peut être fier et trouver ici le résultat de longues années de sacrifices et de privations pour m'aider à avancer dans la vie. Puisse Dieu faire en sorte que ce travail porte son fruit ; Merci pour les valeurs nobles, l'éducation et le soutien permanent venu de toi.*

*À ma frère « **Abdelbasset** » et « **Seddik** »*

*À ma frères filles « **Amel** », « **Ikrame** », « **Aya** »*

*À ma fiancée « **Sara** »*

À ma grand-père et ma grand-mère

*« **Ahmed** » et « **Dawia** »*

*« **Mohamed** » et « **Messaouda** »*

*À ma oncles (**Omar, Ali, Abouamare, saad**) et ma tantes*

*À mes grande famille « **Ben kerrouche** ».*

Alaa eddine Ben Kerrouche



DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à :

A la mémoire de mon défunt père et ma mère.

À la plus belle créature que Dieu a créée sur terre ,,,

À cet source de tendresse, de patience et de générosité,,,

À tous mes frères et sœurs, ainsi que leurs enfants

À mes beaux parents et à toute ma famille

À ma oncles et ma tantes.

À tous ceux qui, par un mot, m ' ont donné la force de continuer

Ourida Mohamed

ملخص

الهدف من هذا العمل هو استغلال المواد الطبيعية مثل الالياف النباتية والطوب باستخدامها كتعزيزات ملموسة في الخرسانة البوليميرية لتقليل الاثر البيئي وتحسين السلوك الميكانيكية للخرسانة في الانحناء وضغط وتمزيق

في هذا العمل قمنا بدراسة تأثير إدخال ألياف الحلفاء على الخرسانة البوليميرية بالإضافة الى تأثير الحشوة على مقاومة الخرسانة وأظهرت نتائج الاختبارات على عينات مختلفة من الخرسانة البوليميرية المدعمة بالألياف ان حشوة الطوب داعم قوي للخرسانة البوليميرية مع الياف الحلفاء ولها تأثير كبير على سلوك هذه المواد في الانحناء الثلاثي

نتائج هذه الدراسة تشير الى ان الياف الحلفاء و يمكن مقارنتها مع الالياف الطبيعية الاخرى كتعزيزات في الخرسانة البوليميرية فهي مناسبة تماما لاستخدامها كتعزيز في الخرسانة البوليميرية

المفتاح: التدعيم الياف نباتية، الخرسانة البوليميرية، الياف الحلفاء, الحمولة الطوب

Résumé

L'objectif de ce travail est l'exploitation des matières naturelles telles que les fibres végétales et de briques utiliser le béton armé dans le béton de polymère pour réduire l'impact sur l'environnement et d'améliorer le comportement mécanique du béton en flexion et à la compression et à la déchirure

Dans ce travail, nous avons étudié l'effet de l'introduction des fibres alliées sur le béton de polymère, en plus de l'effet du remplissage de la résistance du béton a montré les résultats d'essais sur différents échantillons de béton polymère renforcé par des fibres que les briques de support de rembourrage solide polymère en béton avec des alliés de fibres et ont un impact significatif sur le comportement de ces matériaux dans le triple pliage

Les résultats de cette étude suggèrent que les alliés de la fibre et peuvent être comparés à d'autres renforcements de fibres naturelles en béton polymère sont parfaitement adaptés à une utilisation en tant que renfort en béton polymère

Clé: Fibres en fibre de végétales, béton polymère, fibres alfa, poudre de brique

Abstract

The objective of this work is the exploitation of natural materials such as plant fibers and bricks use reinforced concrete in polymer concrete to reduce the environmental impact and improve the mechanical behavior of concrete in flexion And compression and tear

In this work we studied the effect of the introduction of alloyed fibers on polymer concrete in addition to the effect of filling the strength of concrete showed the results of tests on different samples of reinforced polymer concrete By fibers that support solid cushioning polymer concrete bricks with fiber alloys and have a significant impact on the behavior of these materials in the triple folding

The results of this study suggest that the alloys of the fiber and can be compared to other reinforcements of natural polymer concrete fibers are perfectly suited for use as a polymer concrete reinforcement

Key: Fibers made of fiberglass, Polymer concrete, Allied fibers, Loaders, Brick



Liste des figures

Fig. I.1 : Les constituants d'un matériau composite.....	3
Fig.I.2 : Représentation schématique d'un matériau composite.....	3
Fig. I.3 : Représentation schématique d'un matériau composite de type particule – matrice, fibres courtes – matrice et fibres continues matrice	4
Fig.I.4 : Organigramme des différents composites renforcés	4
Fig.I.5 : Organigramme des différentes familles de matrice.....	5
Fig.I.6 : La classification des types de renforts.....	10
Fig. I.7 : Différents assemblages de textures.....	11
Fig.I.8 : Fibres de verre.....	12
Fig.I.9 : Fibres de carbone.....	13
Fig.I.10 : Fibres d'aramide.....	14
Fig.I.11 : Fibres de silice.....	14
Fig.I.2 : Exemples de charges utilisées :poudres de brique, (b) poudres de cellulose, (c) poudres de nickel.....	15
Fig.II.1 : Classification des fibres naturelles.....	20
Fig. II.2 : La plante de chanvre et les fibres de chanvre.....	21
Fig. II.3 : La plante du lin et les fibres de lin.....	22
Fig. II .4 : Les fibres naturelles de coton.....	22
Fig. II.5 : La plante de l'abaca et les fibres de l'abaca.....	23
Fig. II .6 : La plante de Kenaf avec ses fibres.....	23
Fig. II.7 : La plante de Jute avec ses fibres.....	24
Fig. II.8 : La plante de Sisal avec ses fibres.....	24

Fig. II.9 : La plante de ramie et les fibres naturelles de la ramie.....	24
Fig. II.10 : Les fibres naturelles de la plante du coco.....	25
Fig. II.11 : les fibres de palmier dattier.....	25
Fig. II.12 : les fibres d'alfa.....	26
Fig. II. 13 : les fibres de doum.....	27
Fig. II.14 : Structure du bois (observations multi échelles).....	27
Fig. II. 15 : Représentation schématique d'une fibre de bois.....	29
Fig. III.1 : béton polymère.....	34
Fig. III.2: Mise en œuvre d'une plaque de béton polymère [28].....	36
Fig. III.3: Façades et marches d'escalier en béton polymère pour bâtiment.....	40
Fig. III.4: Quelques applications du béton polymères (Bacs de fleurs –chaise).....	41
Fig. III.5: Le pont mythique (New York Mania).....	41
Fig. III.6: Plancher en béton polymère.....	41
Fig. III.7: Quelques applications du béton polymères (drainage et hydrauliques).....	41
Fig. III.8: Quelque application de béton polymère pour l'isolation.....	42
Fig.III.9 : Des balustres en béton polymère.....	42
Fig.III.10 : Des murs en béton polymère.....	42
Fig. III.11: Quelque application de béton polymère (industrie).....	42
Fig. IV.1: Les matériaux utilisés pour ce travail.....	45
Fig. IV.2: Sable de silice.....	46
Fig. IV.3: Tamiseuse électrique.....	47
Fig. IV.4 : Courbe d'analyse granulométrique de la silice utilisée.....	48
Fig. IV.5:Appareil pour la mesure de la viscosité.....	49
Fig. IV.6: Test de réactivité de la résine.....	50
Fig. IV.7: Cycle de polymérisation de résine polyester (isophtalique).....	50
Figure IV 8: a) immerssion des tiges dans l'eau b) Alfa après brossage.....	52

Figure IV. 9: Etuve de séchage à 70°C.....	52
Figure IV. 10: La fibre Alfa découpées en différentes longueurs (0.5 à 6 cm).....	53
Figure IV. 11: Brique creuse.....	53
Figure IV. 12: Broyage de déchets de brique.....	54
Figure IV. 13: Tamisage de la poudre de brique (tamis 0,08mm).....	55
Fig. IV.14: Moule utilisé pour éprouvettes lisses (FTP) de BP.....	55
Fig. IV.15: Etapes de moulage de béton polymère par contact.....	57
Fig. IV.16: Eprouvettes lissés en BP non chargé par filler de brique et non renforcé :BP-00.....	58
Fig. IV.17: Eprouvettes lissés en BP chargé par filler de brique et non renforcé : BP-30, BP-20, BP-10, BP-05, BP-03.....	58
Fig. IV.18: Eprouvettes lissés en BP chargé par 20 % filler de brique et renforcé 1% fibres de Alfa :,BPR1-20, BPR2-20, BPR3-20, BPR4-20, BPR5-20, BPR6-20.....	58
Fig. IV.19: Essai de FTP (YL Testing Machines/20Kn).....	59
Fig. IV.20: Essai de FTP sur des éprouvettes lissés en BP.....	60
Fig.V.1 : Principe de sollicitation de l'éprouvette en flexion trois points (FTP).....	64
Fig. V.2 : Evolution de la charge en fonction du béton polymère déformation de chargé par poudre de brique.....	65
Fig.V.3 : Paramètres de flexion des éprouvettes testées (Charge maximale).....	66
Fig.V.4: Evolution de la contrainte en fonction du béton polymère déformation de chargé par poudre de brique.....	67
Fig.V.5 : Evolution de la charge en fonction la même composite de béton polymère BP-20 et BPR-20	68
Fig.V.6 : Evolution de la contraintes en fonction la même composite de béton polymère BP-20 et BPR-20.....	69
Fig. V.7 : Effet de taux de type béton polymère non renforcé sur la variation de module de Young.....	70
Fig. V.8: Effet de taux de type béton polymère renforcé sur la variation de module de Young.....	71

Fig. V.9: Effet de taux de type béton polymère BP-00 et BP-20 et BPR-20 sur la variation de module de Young.....	71
Fig. V.10: Faciès de rupture : BP-00.	72
Fig. V.11: Faciès de rupture : BPR-20 (20%brique) non renforcé.....	73
Fig. V.12: Faciès de rupture : BPR-20 (1%Alfa), (20%brique).....	73



Liste des tableaux

Tableau. I.2 : Caractéristiques moyennes des matrices thermoplastiques (TP) non renforcées.....	7
Tableau. I. 3 : Principales différences entre matrices TP et TD.....	8
Tableau. I. 4 : Caractéristiques mécaniques des fibres de verre.....	12
Tableau.I. 5 : Caractéristiques mécaniques des fibres de carbone.	13
Tableau II.2 : Composition chimique de quelques fibres végétales.....	29
Tableau II.1 : Les propriétés usuelles des fibres végétales.....	30
Tableau II.3 : les principaux avantages et les inconvénients des fibres végétales.....	32
Taleau. III.1 : Propriétés mécaniques des différents types de bétons de résine et du béton de Ciment[28].....	37
Tableau.III.2 : Tableau comparatif béton polymère / béton traditionnel.....	39
Tableau. IV.1 : caractéristique de la résine polyester.....	51
Tableau. IV.2: Différents avantages et les inconvénients de résine polyester insaturée[37].....	51
Tableau. IV.3 : Taux de chaque composante 1.....	56
Tableau. IV.4 : Taux de chaque composante 2.....	56
Tableau. V.1 : Valeurs critiques des Charges durant le test en flexion trois points.....	66
Tableau.V.2 : Valeurs critiques des Charges durant le test en flexion trois points.....	69



Liste des abréviations

CMO Composite à matrice organique.

CMC Composite à matrice céramique.

CMM Composite à matrice minérale.

TD Matrice thermodurcissable.

TP Matrice thermoplastique.

BP Béton polymère non renforcé.

BP-ANT Béton polymère renforcé par fibres d'alfa non traite.

FTP Essai de flexion trois points.

BP-20 Béton polymère chargé par 20% brique.

BPR-20 Béton polymère charge par 20% poudre de brique et renforcé par les fibres de Alfa.

M-50 Catalyseur.

CO6 Cobalt.

HR Fibre haute résistance.

HM Fibre haute module.

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralité sur les matériaux composites	
I .1. Introduction.....	4
I.2. Constitution des matériaux composite.....	6
I .2. 1. La matrice	6
I .2.1.1. Matrices organiques	6
a) Résines thermodurcissables (TD)	6
b) Résines thermoplastiques (TP)	7
c) Résine thermostable	9
I .2.1.2. Matrices métalliques.....	10
I .2.1.3. Matrices céramiques	10
I .2.1.4. Le rôle de la matrice	10
I .3. Les renforts	10
I .3.1. Architecture de renforcement.....	11
I .3.2. Les différents types de fibre.....	13
a) Fibres de verre	13
b) Fibres de carbone	14
c) Fibres de bore.....	15
d) Fibres d'aramide	15
e) Fibre de silice (ou de quartz).....	15
f) Les fibres végétales	16
I.3.3. Les Charges et les additifs.....	16
I.3.3.1. Les charges.....	16
I.3.3.2. Les additifs	17
I .4. Les avantages et les inconvénients des matériaux composites	17
I .4.1. Avantages des matériaux composites.....	17
I .4.2. Inconvénients des matériaux composites.....	17
I.5. Conclusion.....	18

Chapitre II : Généralité sur les fibres végétales

II .1. Introduction	20
II.2. Définition des fibres naturelles	20
II.3. Classification des fibres naturelles	20
a) les fibres végétales	20
b) les fibres animales	20
c) les fibres minérales.....	20
II.4. Fibres végétales.....	21
II.4.1. Définition de la fibre végétale.....	21
II.4.2. Classification des fibres végétale.....	21
a) Les Fibres de Feuilles.....	21
b) Les Fibres de Tiges.....	21
c) Les Fibres de Bois.....	22
d) Les Fibres de Surface.....	22
II.4.3. Les différents renforcements à base des fibres végétales.....	22
II.4.3.1. Le chanvre.....	22
II.4.3.2. Le lin.....	22
II.4.3.3. Le Coton.....	23
II.4.3.4. L'Abaca.....	23
II.4.3.5. Le Kenaf.....	24
II.4.3.6. Le Jute.....	24
II.4.3.7. Le Sisal.....	25
II.4.3.8. La ramie.....	25
II.4.3.9. Le coco.....	26
II.4.3.10. Palmier dattier.....	26
II.4.3.11. Alfa.....	27
II.4.3.12. Doum.....	27
II.4.4. Structure de la fibre végétale.....	28
II.4.5. Propriétés usuelles des fibres végétales.....	29
II.4.5.1 Propriétés chimique des fibres végétales.....	29
II.4.5.2. Propriétés Mécaniques des Fibres Végétales.....	30

II.4.5.3. Propriétés physiques des fibres végétales:.....	31
II.4.5.4. Propriétés écologiques des fibres végétales.....	31
II.4.5.5. Des autres propriétés spéciales sur les fibres végétales.....	30
II.4.6. Les différentes techniques de l'extraction des fibres végétales.....	32
II .4.6.1. L'extraction mécanique.....	32
II .4.6.2. L'extraction chimique :.....	32
II.4.6.3. L'extraction biologique.....	32
II.4.7. Principaux avantages et inconvénients des fibres végétales comme renforts de matériaux composites.....	33
II.5. L'utilisation des fibres végétales dans le domaine de génie civil.....	33
II.5. Conclusion.....	33

Chapitre III : Généralités sur le béton polymère

III.1 Introduction.....	35
III.2 Définition du béton polymère.....	36
III.3 La composition principale d'un béton polymère.....	36
a) Le liant (la résine).....	36
b) Les agrégats.....	36
III.4 Caractéristiques intrinsèques du béton polymère.....	37
a) Chimiques.....	37
b) Hydrauliques.....	37
c) Physiques.....	37
d) Mécaniques.....	38
III.5 Propriétés de béton polymère :.....	38
III.6 Les principaux avantages et les inconvénients du béton polymère.....	39
a) Les avantages d'un béton polymère ([33], [34]).....	39
b) les inconvénients d'un béton polymère [34].....	39
III.7 Les différentes applications d'un béton polymère :.....	39
III.8 Comparaison entre béton polymère et béton classique :.....	39
III.9 Utilisations de béton polymère.....	40
a) Bâtiment - génie Civil	40
b) Aménagement urbain.....	41
c) Industrie	41

III.10 Exemples de réalisations	41
III.11 Conclusion	44

Chapitre IV : Matériaux et techniques expérimentales

IV.1. Introduction	46
IV.2. Caractéristiques des matériaux utilisés.....	47
IV.2.1. La Silice.....	47
a) Test sable de silice	48
IV.2.2 Résines	49
a) Test de propriété rhéologique de la résine	50
b) Test de réactivité (temps de gélification).....	50
c) Propriétés de résine isophtalique	51
IV.2.3. Fibres d'Alfa	52
a) Prétraitement des fibres Alfa	53
b) Traitement thermique des fibres Alfa	53
c) Longueur choisi pour fibres Alfa.....	54
IV.2.4 Poudre de brique	54
a) La brique creuse.....	55
b) Propriétés physiques	55
c) Broyage de brique	55
d) Tamisage poudre de brique.....	56
IV.3. Technique de moulage	56
IV.3.1. Préparation des moules utilisées	56
IV.3.2. Elaboration des éprouvettes en béton polymères	57
IV.3.4. Le traitement thermique du béton polymère élaboré.....	59
IV.4. Essais mécaniques appliqués sur le béton polymère	60
IV.4.1 Essai de flexion trois points (FTP).....	61
a) Paramètres d'étude.....	62
IV.5. Conclusion.....	63

Résultats et discussions : Chapitre V

V.1. Introduction.....	65
V.2. Propriétés mécanique des bétons polymères en flexion trois points	65
V.3. Analyse des courbes charge/ déplacement des éprouvettes FTP chargé et non renforcé .	65
V.4. Analyse des courbes contrainte-déformation des éprouvettes lisses FTP en béton polymère non renforcée	68
V.5. Analyse des courbes charge/déplacement des éprouvettes FTP renforcé.....	69
V.6. Analyse des courbes contrainte-déformation des éprouvettes lisses FTP en béton polymère chargé et renforcée	70
V.7. Analyse des modules en flexion	71
V.8. Faciès de rupture des bétons polymères	73
V.9. Conclusion	75
Conclusion générale Perspectives.....	76
Références bibliographiques	
Annexes	

Introduction générale

Les matériaux innovants à crée une compétition dans tous les domaines de l'industrie tels que le transport aéronautique, l'industrie automobile et surtout dans la construction. Le béton polymère, fabriqué avec des matériaux composites consolidés par des renforts synthétique, est caractérisé par un bon comportement mécanique par rapport au béton traditionnel. De plus, l'utilisation de fibres synthétiques provoque des effets néfastes sur l'environnement et la santé publique, donc pour limiter ces problèmes on cherche un caractère éco-environnemental. Pour remédier, on utilise des ressources naturelles et renouvelables comme renfort telles que les fibres cellulosiques .Ces fibres peuvent conduire à des produits ayant de bonnes performances ainsi de bonne aptitude à la mise en forme. Le nombre d'étude concernant ces nouveaux matériaux est en continuelle augmentation et leur développement représente un enjeu important. Les travaux antérieurs ont pu mettre en évidence leurs avantages et leurs limitations intrinsèques.

L'objectif ce travail consiste à apporter une contribution à la valorisation des ressources naturelles locales, qui sont le fibre Alfa grâce à leur faible cout et leur disponibilité. Dans ce prétexte, nous avons pensé à l'utilisation les fibres Alfa, disponibles dans notre région djebel messaad , comme renforts du béton polymère Nous avons étudié particulièrement l'influence pourcentage de ces fibres sur le comportement mécanique du béton polymère et l'utilisation de déchets de briques tombant dans les usines et les lieux de stockage dans soutien de béton polymère sur le comportement mécanique du béton polymère. De plus, le comportement à la rupture de ce produit obtenu est aussi analysé pour déterminer la résistance et l'aptitude de tel matériau à la propagation de la fissure.

Notre mémoire comporte six chapitres :

- ❖ Le premier chapitre est une étude bibliographique sur les matériaux composites dans le cas général

Introduction générale

- ❖ Dans le deuxième chapitre, nous présentons une synthèse bibliographique sur la classification et les propriétés essentielles des fibres végétales utilisées comme renforts.
- ❖ Le troisième chapitre présente une étude sur le béton polymère de point de vue caractéristique, utilisation ainsi qu'une comparaison avec les bétons ordinaires.
- ❖ Le quatrième chapitre est une étude expérimentale présentant la préparation et la procédure du traitement des fibres végétales. D'autre part, la formulation du béton polymère, les protocoles et ainsi que les conditions des tests sont établis.
- ❖ Le cinquième chapitre les résultats expérimentaux obtenus avec des discussions.

Enfin une conclusion générale et quelques perspectives pour travaux futurs.

Remarque :

Les photos des machines d'essais ont été prises avec l'accord des responsables de l'usine de Maghreb Pipe M'sila .

Les schémas explicatifs et illustrations sont réalisés par l'étudiante.

Chapitre I

Généralité sur les matériaux composites

I.1. Introduction

Un matériau composite est un assemblage d'au moins de deux matériaux non miscibles, mais pouvant se combiner (Fig.I.1). En combinant deux phases différentes ou plus nommées renforts et matrice [1]. 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.

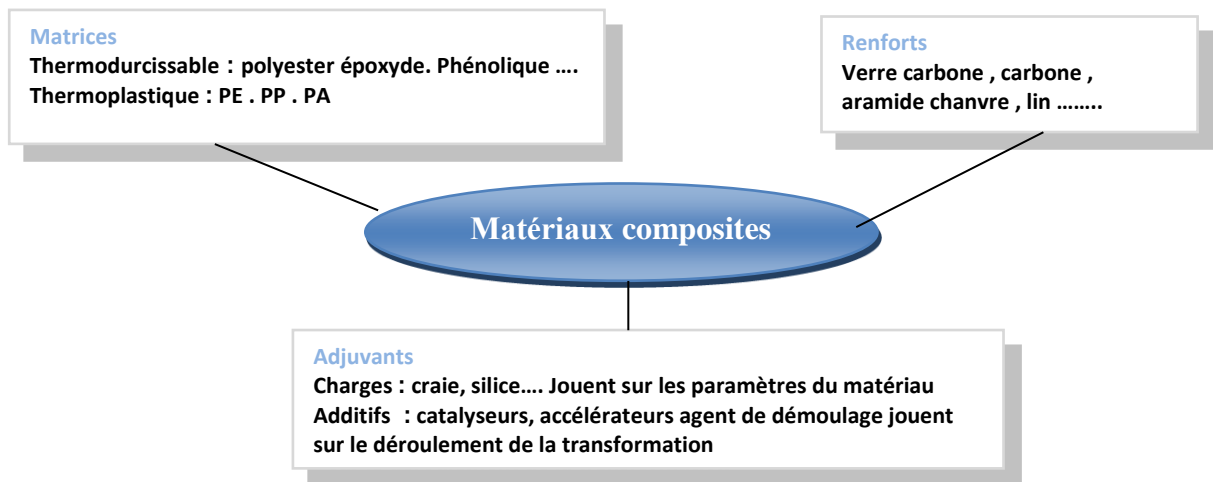


Fig. I.1 : Les constituants d'un matériau composite.

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 (Fig.I.2). L'arrangement des fibres, leur orientation permettent de renforcer les propriétés mécaniques de la structure, ces performances remarquables sont à l'origine de solutions technologiques innovantes [2].

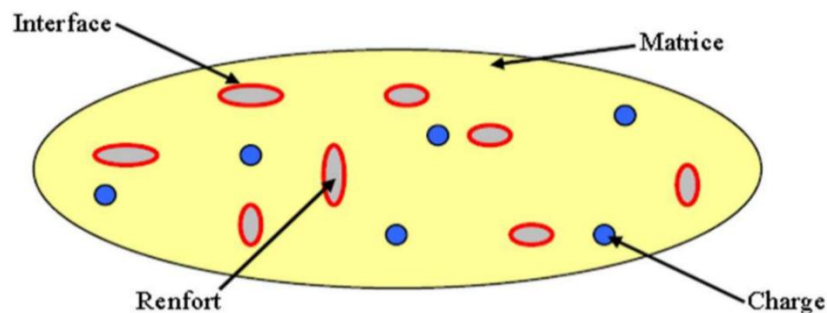


Fig.I.2 : Représentation schématique d'un matériau composite.

Selon la nature de la matrice, les matériaux composites sont classés en trois catégories [3]:

- Les composites à matrice polymère ou organique (CMO);
- Les composites à matrice métallique (CMM);
- Les composites à matrice céramique (CMC);

Schématiquement, les propriétés des matériaux composites dépendent [1]:

- Des propriétés des constituants élémentaires.
- De la distribution géométrique des renforts ; par exemple s'ils sont constitués de fibres, de leur orientation.
- Des interactions éventuelles entre les constituants : qualité de l'adhésion entre la matrice et les renfort.

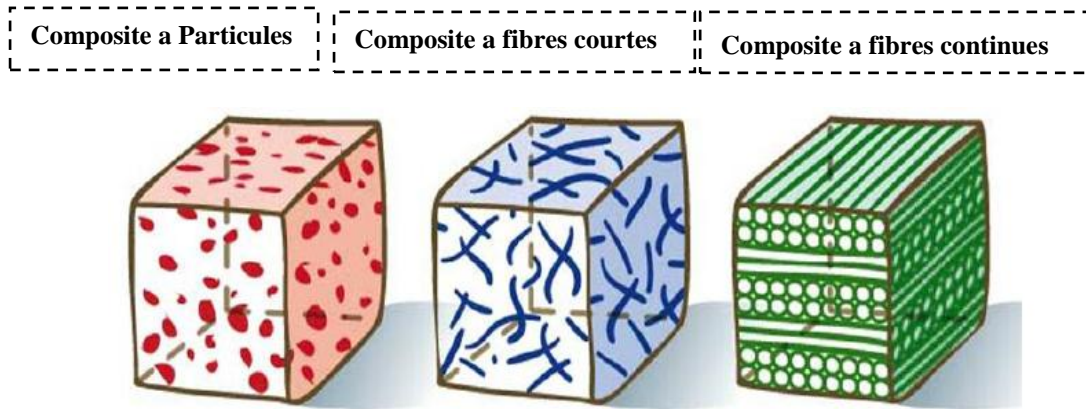


Fig. I.3 : Représentation schématique d'un matériau composite de type particule – matrice, fibres courtes – matrice et fibres continues matrice .

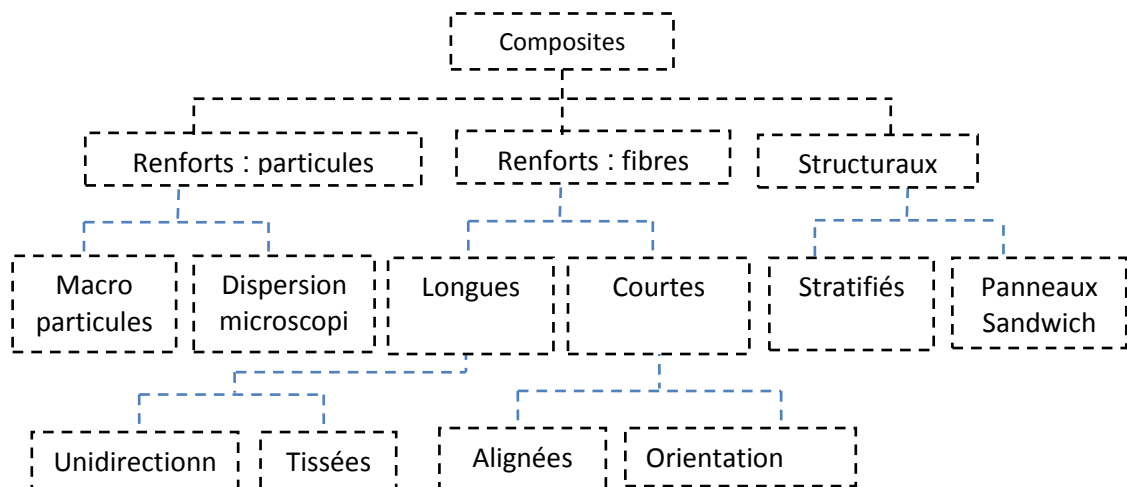


Fig.I.4 : Organigramme des différents composites renforcés .

I.2. Constitution des matériaux composite

I .2. 1. La matrice : La matrice permet de lier les fibres du renfort fibreux entre elles, ainsi que de répartir les efforts (résistance à la compression ou à la flexion). La matrice est facilement déformable et assure la protection chimique des fibres. Généralement, c'est un polymère ou une résine organique [5].

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

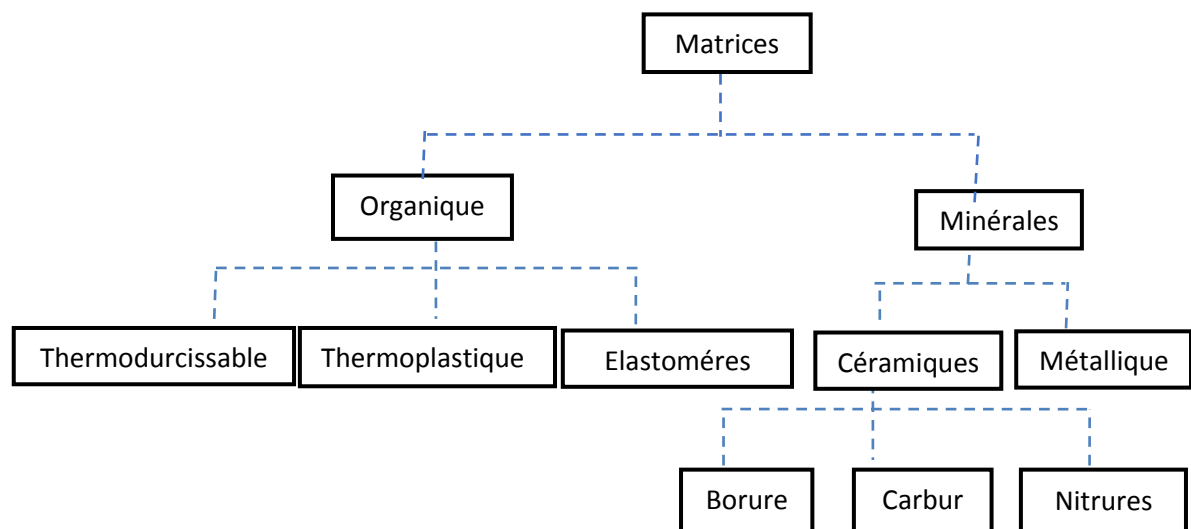


Fig.I.5 : Organigramme des différentes familles de matrice.

I .2.1.1. Matrices organiques

Les deux types de résines qui sont, actuellement, utilisées présentent des propriétés foncièrement différentes [6]:

a) Résines thermodurcissables (TD)

Les résines thermodurcissables ont des propriétés mécaniques élevées. Ces résines ne peuvent être mises en forme qu'une seule fois. Elles sont en solution sous forme de polymère non réticulé en suspension dans des solvants [7].

Les résines thermodurcissables principalement utilisées actuellement sont [8]:

❖ *Les polyesters insaturés* : ce sont les résines les plus utilisées dans les applications grande diffusion GD. Elles se présentent sous la forme d'une solution polyacide et 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 hautes performances HP ;

❖ *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 œuvre ;

❖ *Les polyuréthannes* : ont une faible viscosité qui facilite un bon remplissage du moule ;

Polymère	Masse spécifique (Kg/dm ³)	Résistance à la traction (Gpa)	Module de flexion (Gpa)	Tenue à la chaleur continue (°C)
Polyester (UP)	1,2	-	3	120
Vinyl-ester	1,15	-	3,5	140
Phénolique	1,2	40-50	3	120-150
Epoxyde	1,1-1,4	50-90	3	120-200
Polyuréthane (PU)	1,1-1,5	20-50	1	100-120
Poly-imide	1,3-1,4	30-40	4	250-300

Tableau. I.1 : Caractéristiques moyennes des matrices thermodurcissables (TD) non renforcées.

b) Résines thermoplastiques (TP) :

Les résines thermoplastiques ont des propriétés mécaniques faibles. Ces résines sont solides et nécessitent une transformation à très haute température [7].

On classe généralement en trois catégories distinctes, les résines TP entrant dans la fabrication de composites [1]:

- Les polymères dits de “grande diffusion”, dont les propriétés mécaniques sont plus faibles mais bénéficient d'un coût compatible avec une production en grande série.
- Les polymères dits “d’utilisation technique”, dont les propriétés mécaniques sont supérieures aux polymères de grande diffusion et qui sont utilisés pour des objets industriels courants comme les pièces de structures.
- Les polymères dits de “hautes performances”, présentant des propriétés mécaniques spécifiques élevées et un coût unitaire important.

Polymère	Masse spécifique (Kg/dm ³)	Résistance à la traction (Gpa)	Module de flexion (Gpa)	Tenue à la chaleur continue (°C)
Polypropylène (PP)	1,1-1,2	20-30	1-1,6	85-115
Polytéréphtalate butylénique (PBT)	1,5	45-55	2,5-2,6	120
Polytéréphtalate éthylénique (PET)	1,6	55-75	2-2,2	105-120
Polyoxide de phénylène (PPO)	1,3	55-65	2,4-2,6	80-105
Polyoxyméthylène (POM)	1,6	60-70	7-9	95-105
Polyamides (PA)	1,3-1,4	60-90	6-9	80-120
Polyamide-imide (PAI)	1,3-1,4	195	4,9	275
Polyéther-imide (PEI)	1,5	105	3	170
Polyéther-sulfone (PES)	1,6	85	2,6	180
Polyéther-éther-cétone (PEEK)	1,5	100	3,7	>240

Tableau. I.2 : Caractéristiques moyennes des matrices thermoplastiques (TP) non renforcées.

Les principales résines thermoplastiques utilisées dans les composites sont [8] :

- Les polyamides (PA) ;
- Les polytéréphtalates éthylénique (PET) et butylénique (PBT) ;
- Les polycarbonates (PC) ;

- Les polyoxides de phénylène (**PPO** ou **PPE**) ;
- Les polyoxyméthylènes (**POM**) ;
- Le polypropylène (**PP**) est un polymère semi-technique, peu onéreux assez stable en température, mais combustible

D'autres résines TP commencent à être utilisées pour leurs propriétés de thermo-stabilité (tenue thermique supérieure à 200°C) et de bonne tenue mécanique [8] :

- Les polyamide-imide (**PAI**) ;
- Le polyéther-imide (**PEI**) ;
- Le polyéther-sulfone (**PES**) ;
- Le polyéther-éther-cétone (**PEEK**) ;

Une comparaison entre quelques caractéristiques des résines thermodurcissables et celles des résines thermoplastiques est présentée dans le tableau.1.3 [5] :

Matrices	TD	TP
Etat de base	Liquide visqueux à polymériser	Solide prêt à l'emploi
Stockage	Réduit	Illimité
Mouillabilité des renforts	Aisée	Difficile
Moulage	Chauffage continu	Chauffage + refroidissement
Cycle	Long (polymérisation)	Court
Tenue au choc	Limitée	Assez bonne
Tenue thermique	Meilleure	Réduite (sauf nouveau TP)
Chutes et déchets	Perdus ou utilisée en charges	Recyclables
Conditions de travail	Emanations de solvants	Propreté

Tableau. I. 3 : Principales différences entre matrices TP et TD.

c) Résine thermostable

Polymère présentant des caractéristiques mécaniques stables sous des pressions et des températures élevées appliquées de façon continue. Cette propriété est mesurée en

déterminant la température que peut supporter la résine durant 2000 Heures sans perdre la moitié de ses caractéristiques mécaniques [6].

I .2.1.2. Matrices métalliques

L'utilisation des matrices métalliques est encore actuellement en grande partie à un stade préindustriel. Plusieurs matériaux composites tels que ; l'Aluminium et ses alliages, Nickel, Titane, présentent une bonne conductibilité électrique et thermique, une bonne tenue à des températures élevées et de plus ils possèdent de bonnes caractéristiques mécaniques transverses. Leur fabrication conduit à des coûts très élevés [6].

I .2.1.3. Matrices céramiques

Les matériaux utilisés sont les carbures de silicium et de carbone. Ils sont utilisés pour la fabrication des pièces qui subissent des contraintes d'origine thermique et leur coût est très élevé [6].

I .2.1.4. Le rôle de la matrice

La matrice a pour rôle de :

- Lier les fibres de renforts ;
- Répartir les contraintes ;
- Apporter la tenue chimique de la structure ;
- Donner la forme désirée au produit final [8].

I .3. Les renforts

Le renfort, souvent sous forme de fibres, sert au transfert des charges mécaniques. Les fibres ont une forme remarquable dans la matrice qui possède des propriétés qui s'approchent de plus en plus de celles prévues par la théorie. Ces propriétés sont impressionnantes à cause de leur forme et des moyens de fabrication. La structure moléculaire d'une fibre est généralement alignée dans le sens de l'axe de fibre ce qui produit une structure forte dans cette direction [6].

La classification des types de renforts couramment rencontrés est indiquée sur la figure1.6 [9].

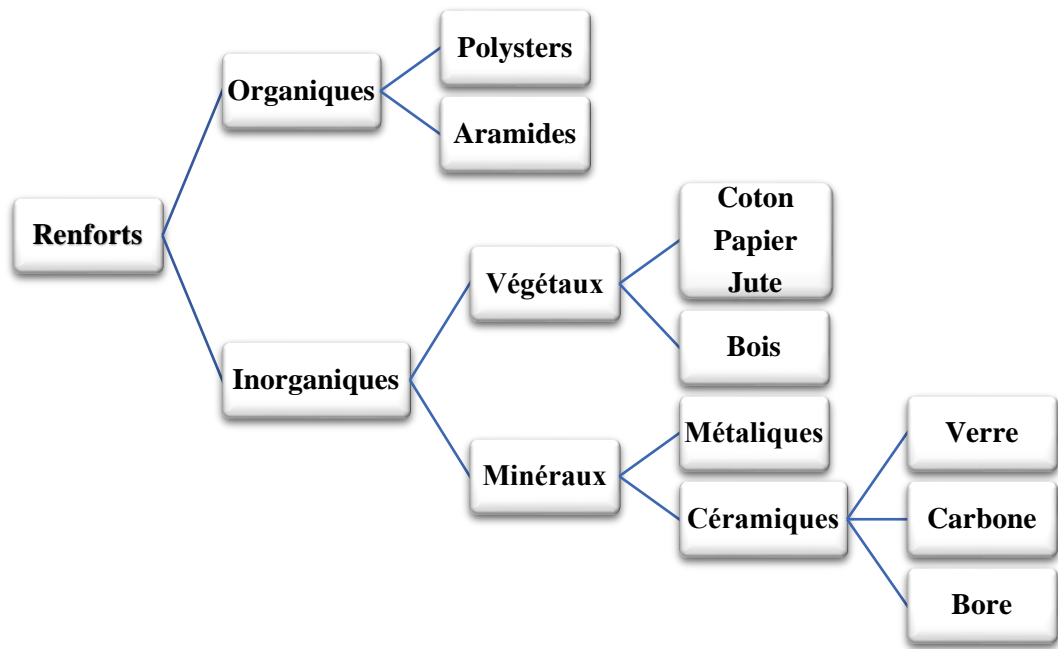


Fig.I.6 : La classification des types de renforts.

La nature du renfort est fonction de l'application et du volume de pièces à réaliser, elle permet de distinguer deux grandes familles parmi ces composites [10]:

- Les renforts à fibres courtes qui permettent d'améliorer le comportement de la matrice seule. Celle-ci reste l'élément de base et l'on obtient alors un « **polymère renforcé** » ;
- Les renforts à fibres continues qui jouent un rôle majeur dans le comportement mécanique du composite.

I.3.1. Architecture de renforcement

Les structures composites sont anisotropes. La plupart des renforts travaillent bien en traction, mais offrent de moins bonnes performances en compression et cisaillement. Il est donc impératif de jouer sur la texture et la géométrie des renforts pour créer une architecture adaptée [1].

Il existe différentes géométries et textures de renforts : les mats, les tissés, les unidirectionnels, les tricots et les multidirectionnels.

- **Les mats** : sont des nappes de filaments, de fibres discontinues, disposés sans orientations préférentielles et maintenus ensemble par un liant soluble. Ce sont des matériaux déformables, quasi-isotropes dans leur plan et peu coûteux malgré des propriétés mécaniques moindres.

- **Les tissus** : sont réalisés sur des métiers à tisser. Ils sont obtenus par entrecroisement des mèches selon deux directions perpendiculaires : chaîne et trame. Ils peuvent avoir différentes armures : la toile ou le taffetas, le sergé et le satin. L'armure contrôle la rigidité du tissu.

- **Les unidirectionnelles** : sont constituées de fils de chaînes maintenus par des fils de trame fins.

- Les tricots sont formés par bouclage d'un ou plusieurs fils et offrent de plus grandes possibilités de motifs que le tissage. Leur principale caractéristique est leur déformabilité.

- Les multidirectionnels sont des structures 3D formées de fibres orientées dans plusieurs directions de l'espace. Les différentes couches sont liées entre elles, et dans l'objectif de mettre en forme les composites par estampage, cette architecture n'est pas envisagée [1].

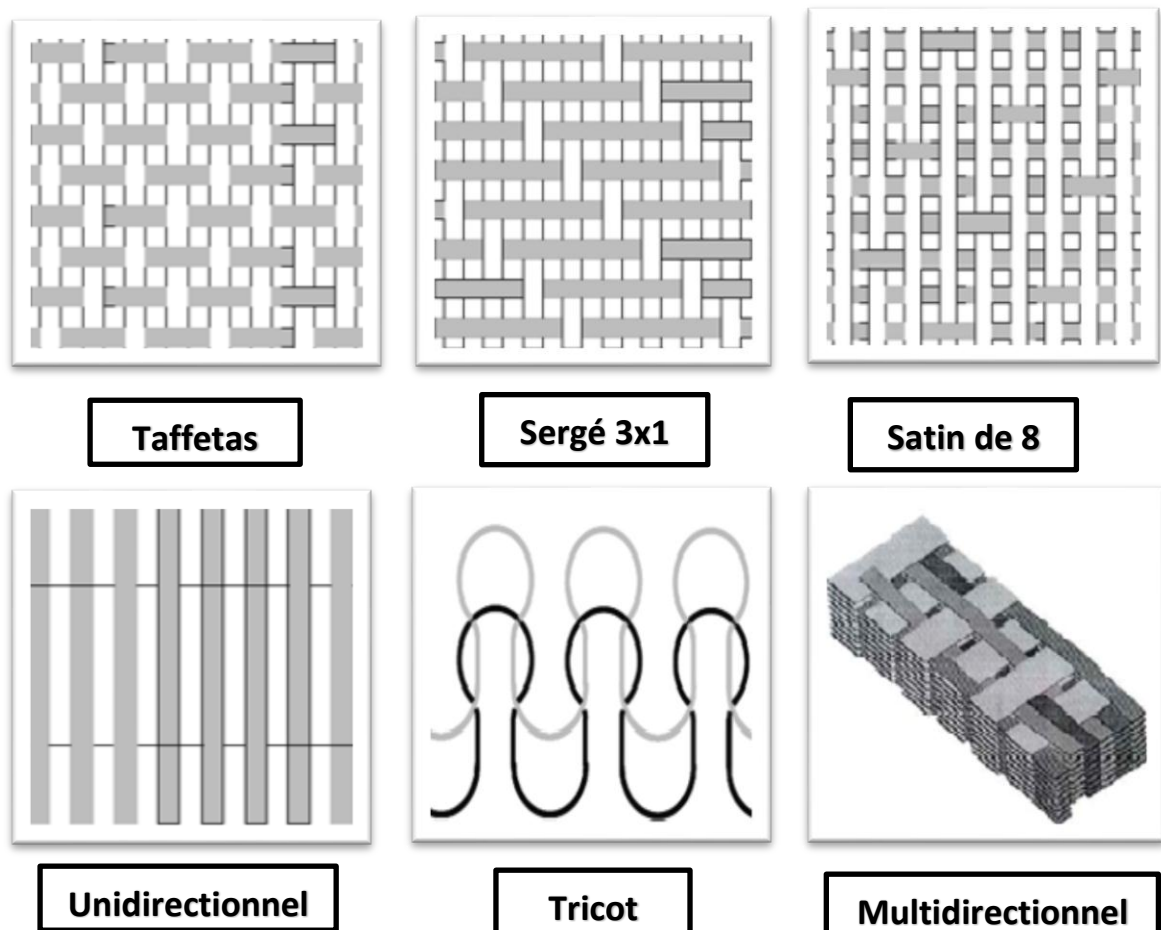


Fig. I.7 : Différents assemblages de textures.

I .3.2. Les différents types de fibre :

a) **Fibres de verre** : Elles sont en général fabriquées à partir de la fusion et de l'extrusion de silice associée à divers oxyde . On distingue différents types de fibre [11]:

- **verre E** : le plus courant, il possède de bonnes propriétés diélectriques ;
- **verre D** : il est destiné aux applications de construction ou électronique, en raison des ses propriétés diélectriques supérieures aux autres fibres de verre ;
- **verre C** : il est très résistant chimiquement et est principalement utilisé pour les applications anticorrosion ;
- **verre R ou S** : il est destiné pour les applications haute performance du fait de sa résistance en traction et son module d'élasticité supérieurs aux autres fibres de verre.

Les caractéristiques mécaniques des fibres de verre décrites ci/dessus sont résumées dans le Tableau.1.4 [11].

<i>Caractéristiques</i>	Type E	Type D	Type C	Type R	Type S
Résistance en traction (MPa)	3500	2450	2800	4650	4650
Module en traction (GPa)	73,5	52,5	70	86,5	86,5
Allongement à la rupture (%)	4,5	4,5	4,0	5,3	5,3

Tableau. I. 4 : Caractéristiques mécaniques des fibres de verre.

La figure.I.6 représente les différentes formes des fibres de verre.

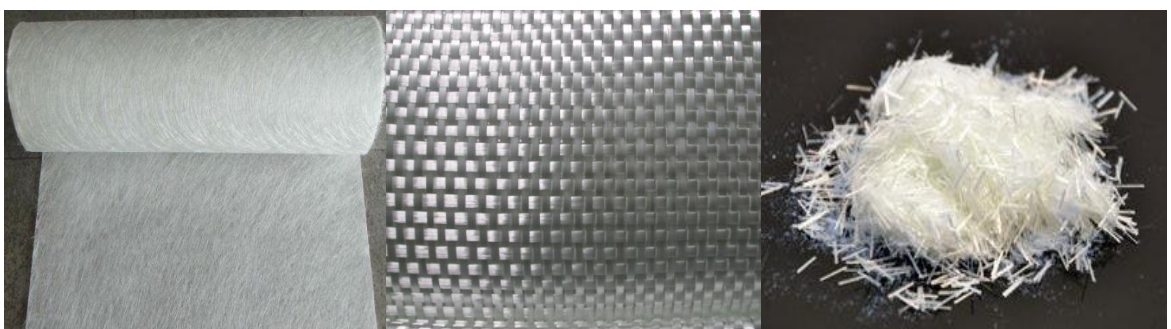


Fig.I.8 : Fibres de verre.

L'utilisation des fibres de verre dans les composites est principalement limitée par un vieillissement accéléré au contact prolongé de l'eau, des rayonnements UV ou de T° élevées [8].

b) Fibres de carbone

Les fibres de carbone sont pour la plupart obtenues à partir d'une fibre précurseur de type polyacrylonitrile (PAN). Ces fibres subissent une étape d'oxydation pour faire réticuler le PAN et le rendre ainsi moins « fusible » en vue des traitements thermiques ultérieurs. Elles sont ensuite soumises à une seconde étape, qui peut être une carbonisation à 1500°C ou à une graphitisation à 3000°C. Pendant cette étape, les fibres sont maintenues sous tension afin de conserver l'orientation de la structure moléculaire. Dans le premier cas, on obtient des fibres haute résistances ou HR, et dans le deuxième cas, on obtient des fibres haut module ou HM. Il existe également des fibres de module intermédiaire, appelée intermédiaire modulus ou IM (Tableau.I.5) [11].

Caractéristiques	Fibres HR	Fibres HM	Fibres IM
Résistance en traction (MPa)	3400-4500	2000-2500	4800
Module en traction (GPa)	230-250	390-450	296
Allongement à la rupture (%)	1,4-1,8	0,5-0,6	2,0
Résistance en compression (Mpa)	2200-2800	1300-1700	-

Tableau.I. 5 : Caractéristiques mécaniques des fibres de carbone.

Les fibres de carbone continues sont disponibles sous diverses formes de mèches de 3000 à 24000 filaments, de fibres coupées, de rubans ou bien encore de tissus (Fig.I.7), qu'ils soient uni ou multidirectionnels. Elles ont également un coefficient de dilatation très faible, une conductivité thermique élevée. En revanche, certains inconvénients demeurent comme leur résistance limitée aux chocs, une faible résistance à l'abrasion [11].

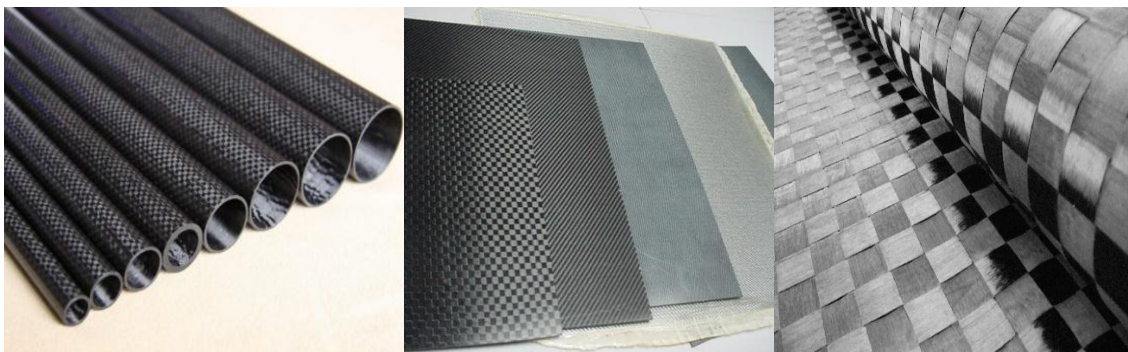


Fig.I.9 : Fibres de carbone.

c) Fibres de bore

Elles peuvent être noyées sans difficulté dans des matrices métalliques et également organiques. Pourtant leur fabrication ne se fait pas facilement.

Le bore est dur, fragile, rigide et ne peut pas être étiré. Par conséquent la fabrication des fibres de bore se fait par dépôt en phase vapeur du bore sur un filament de tungstène. Les fibres de bore possèdent des propriétés élevées en traction mais il faut également noter leurs bonnes propriétés en compression [6].

d) Fibres d'aramide

Les fibres d'aramide (ou para-aramide) sont plus connues sous leurs noms commerciaux (Kevlar, Nomex, Twaron...) et présentent de très bonnes propriétés de rupture en traction et possèdent une faible densité. Pourtant, elles sont très mauvaises en compression et attestent d'une reprise d'humidité importante. Leur utilisation dans les matériaux composites constitue environ 5% de leur consommation totale [12].



Fig.I.10 : Fibres d'aramide.

e) Fibre de silice (ou de quartz) :

Elles sont produites comme le verre, par fusion, et sont essentiellement utilisées pour leur haute tenue chimique et thermique dans les tuyères pour moteur de fusée [13].



Fig.I.10 : Fibres de silice.

f) Les fibres végétales

Elles pourront constituer une alternative intéressante aux fibres de verre en raison de leur plus grande facilité de recyclage lorsque leurs propriétés physiques seront mieux appréhendées. Actuellement, elles présentent plusieurs verrous techniques majeurs pour une utilisation massive dans les matériaux composites [8].

I.3.3. Les Charges et les additifs

I.3.3.1. Les charges

la charge est toute substance inerte, minérale ou végétale qui, ajoutée à un polymère de base, permet de modifier de manière sensible les propriétés mécaniques, électriques ou thermiques, d'améliorer l'aspect de surface ou bien.

Ces charges c'est un poudres et les farines du réduisent le coût de l'opération de moulage, diminuent le retrait, améliorent quelquefois la résistance mécanique du matériau permettent souvent l'amélioration des propriétés diélectriques, l'augmentation de la résistance mécanique et la chaleur et à l'humidité [14].

Il s'agit de matières organiques, minérales, métalliques ou synthétiques permettant de modifier de manière sensible les propriétés du matériau composite.

- **Les charges organiques** : fibres et poudres de cellulose, farine de bois, poudre de noyaux de fruits ;
- **Les charges minérales** : carbonates de calcium et/ou de magnésium, silices, sulfates , brique , le mica , le talc ;
- **Les charges métalliques** : poudres ou paillettes de nickel, cuivre ...
- **Les charges synthétiques** : microbilles de verre, silices, fibres de nylon [15].

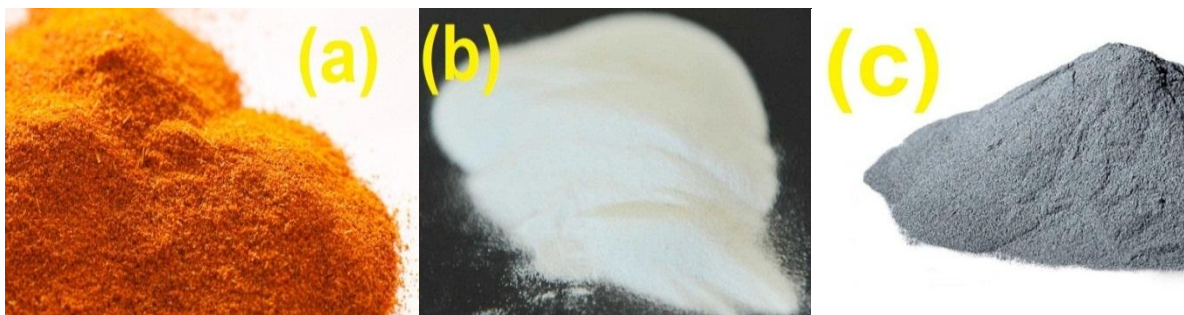


Fig.I.11 : Exemples de charges utilisées:(a) poudres de brique, (b) poudres de cellulose, (c) poudres de nickel.

I.3.3.2. Les additifs

Il s'agit de la substance ajoutée à la résine pour modifier ou améliorer le comportement rhéologique ou les propriétés du produit fini :

- Accélérateurs et catalyseurs de polymérisation ;
- Diluants ;
- Plastifiants ou flexibilisateurs ;
- Tensioactifs ;
- Pigments et colorants ;
- Anti-oxydants, anti UV, anti-ozones, antistatiques [15].

I.4. Les avantages et les inconvénients des matériaux composites

I.4.1. Avantages des matériaux composites

- ❖ Gain de masse ;
- ❖ Mise en forme de pièces complexes (principe du moulage) et réduction du nombre d'interfaces (boulonnage, rivetage et soudure sur structures métalliques) ;
- ❖ Grande résistance à la fatigue ;
- ❖ Faible vieillissement sous l'action de l'humidité, de la chaleur, de la corrosion (sauf en cas de contact entre de l'aluminium et des fibres de carbone) ;
- ❖ Insensibles aux produits chimiques "mécaniques " comme les graisses, huiles, liquides hydrauliques, peintures, solvants, pétrole [16].

I.4.2. Inconvénients des matériaux composites

- ❖ Vieillissement sous l'action de l'eau et de la température ;
- ❖ Attention aux décapants de peinture qui attaquent les résines époxydes ;
- ❖ Tenue à l'impact moyenne par rapport aux métalliques ;
- ❖ Meilleure tenue au feu (classement M) que les alliages légers mais émission de fumées (classement F) parfois toxiques pour certaines matrices ;
- ❖ Coût parfois prohibitifs (temps et coût études et mise en œuvre), le gain en coût est surtout valable pour des grandes séries [16].

I.5. Conclusion

Ce premier chapitre est essentiellement consacré à la description de l'organisation interne des matériaux composites (fibres continues-matrice polymère). Nous avons montré que ces matériaux sont structurés à plusieurs échelles.. Du point de vue expérimental, il est nécessaire de trouver des techniques d'investigation qui permettent de caractériser les mécanismes de déformation et d'endommagement de ces matériaux.

Chapitre II

Généralité sur les fibres végétales

II.1. Introduction

Les matériaux composites renforcés par des fibres végétales sont en cours de développement et leurs applications sont encore limitées mais ils sont amenés à jouer un rôle dans le domaine l'industrie future, notamment dans le domaine de la construction.

L'introduction des fibres naturelles dans des matrices polymères peut apporter des avantages notoires par rapport aux fibres traditionnellement utilisées dans les composites (comme les fibres de verres). Les fibres sont caractérisées par une longueur au moins trois fois supérieure à leur diamètre. Elles peuvent être classées selon plusieurs critères, leur nature chimique, leur longueur, leur origine.....etc [17].

II.2. Définition des fibres naturelles

C'est une matière que l'on trouve dans la nature et qui n'a pas besoin d'être transformée avant d'être travaillée [17]. Les fibres naturelles qui conduisent aux composites biosourcée, peuvent être classées selon leur origine, végétale et animale, minérale [18].

II.3. Classification des fibres naturelles

On peut subdiviser les fibres naturelles en trois grands groupes selon leur origine (Fig.II.1) [19] :

- a) *les fibres végétales* qui comprennent : les fibres provenant des poils séminaux de graines (coton, kapok), les fibres libériennes extraites de tiges de plantes (lin, ramie), les fibres dures extraites de feuilles (sisal), d'enveloppes de fruits (noix de coco) ;
- b) *les fibres animales* qui proviennent des poils, telle que la toison animale, et des sécrétions telle que la soie ;
- c) *les fibres minérales* telles que l'amiante.

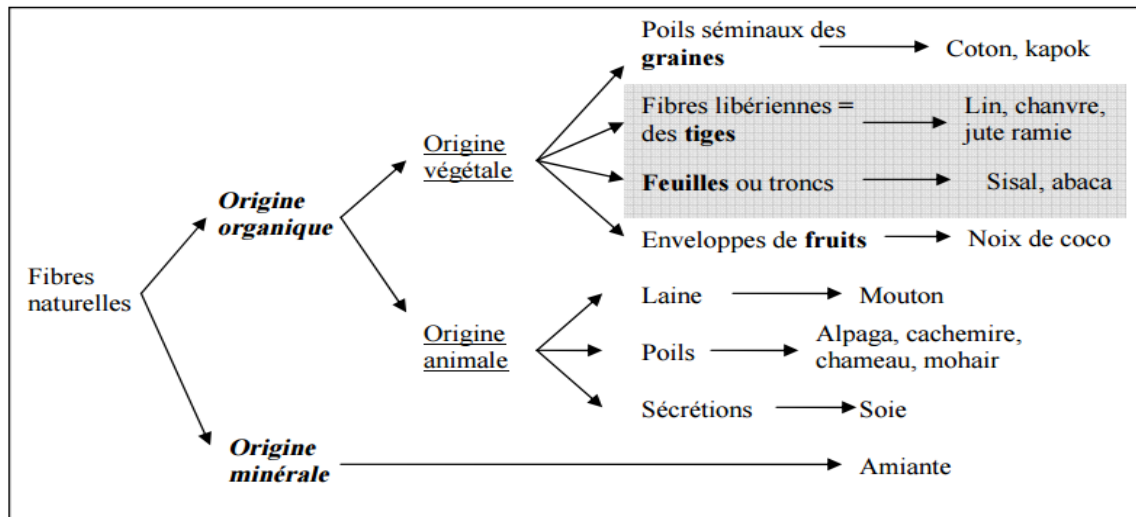


Fig.II.1 : Classification des fibres naturelles.

II.4. Fibres végétales

II.4.1. 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 [20].

II.4.2. 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 [21].

- 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.
- 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.

Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, de lin, de ramie de sunn, de kenaf, durera 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.
- 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 Cotton et la noix de coco (coco) [21].

II.4.3. Les différents renforcements à base des fibres végétales

Dans la nature il y a plusieurs des plantes végétales, qui on peut utilisée comme des renforts au niveau de la matrice composite. Il y a [22] :

II.4.3.1. 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. La France est le premier producteur en Europe pour la production de chanvre, sont généralement transformées en textiles (tapis et vêtements) et en produits industriels comme des géotextiles, de la toile anti-érosion, du renfort de composite et du remplissage. A cause de sa grande solidité et de son intérêt économique [22].



Fig. II.2 : La plante de chanvre et les fibres de chanvre.

II.4.3.2. 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.

Cette fibre est utilisée pour fabriquer des papiers fins comme les papiers à cigarette ou le papier Bible [22].



Fig. II.3 : La plante du lin et les fibres de lin.

II.4.3.3. 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.

Cette fibre est utilisée pour ses bonnes caractéristiques physique et mécanique. 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 [22].



Fig. II .4 : Les fibres naturelles de coton.

II.4.3.4. 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 [22].



Fig. II.5 : La plante de l'abaca et les fibres de l'abaca.

II.4.3.5. Le Kenaf

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 kenaf en Europe est rare. Elle est destinée uniquement pour le domaine papetier. La longueur moyenne des fibres (1,5 mm) est comprise entre celle des fibres de feuillus et celle des fibres de résineux [22].



Fig. II .6 : La plante de Kenaf avec ses fibres.

II.4.3.6. Le Jute

Le jute est une plante buissonnante originaire du sud-est asiatique. Les principaux producteurs sont l'Inde et le Bangladesh. 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 [22].



Fig. II.7 : La plante de Jute avec ses fibres.

II.4.3.7. 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 3mm [22].



Fig. II.8 : La plante de Sisal avec ses fibres.

II.4.3.8. La ramie

La ramie est une plante arbustive. Originnaire d'Asie de l'Est, la ramie a pour principaux producteurs la Chine, le Japon et l'Amérique et 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 [22].



Fig. II.9 : La plante de ramie et les fibres naturelles de la ramie.

II.4.3.9. 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 [22].



Fig. II.10 : Les fibres naturelles de la plante du coco.

II.4.3.10. 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. 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'à 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 : Deglette Nour, Dokar, Elghers (appellation locale) [23].



Fig. II.11 : les fibres de palmier dattier.

II.4.3.11. 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. Elle pousse spontanément notamment dans les milieux arides et semi arides, elle délimite le désert, là où l'Alfa s'arrête, le désert commence.

Herbe d'Afrique du nord et l'Espagne, appelée aussi spart ou sparte. Elle fait partie la de famille des graminacées. Elle est employée dans la fabrication de sparterie, des cordages, des espadrilles, des tissus grossiers, des papiers d'imprimerieetc [16].



Fig. II.12 : les fibres d'alfa.

II.4.3.12. Doum

Le doum, de son appellation scientifique *Hyphaene thebaica* est une essence forestière de la famille des Arecaceae, du groupe des coryphoidae. C'est un palmier de 12 à 15 m de haut à stipe ramifié, gris foncé, relativement lisse d'environ 25 cm de diamètre. Les feuilles sont en éventail, longuement pétiolées de 1 m à 1,5 m de long disposées en touffes terminales. Le limbe est vert glauque, découpé au moins jusqu'à mi longueur en plus de 20 segments accumulés pliés en « v » et à nervures principales très épaisses. Le pétiole à base engainante et à section triangulaire, puis à section plane et convexe dessous avec les bords munis d'épines minces et arquées de 2 à 5 mm de long.

Les pays où l'on rencontre naturellement le doum sont : Arabie saoudite, Bénin, Burkina, Cameroun (nord), Centrafrique (nord), Egypte, Kenya (nord), Mali, Mauritanie, Niger, Nigeria [16].



Fig. II. 13 : les fibres de doum.

II.4.4. Structure de la fibre végétale

La fibre végétale est un composite en elle-même. Le renfort est constitué par les couches de microfibrille cellulosiques en partie cristalline. Ce dernier est enrobé d’une matrice polysaccharidique amorphe (hémicellulose et pectine) qui est associée par liaison hydrogène et covalentes à la lignine.

La fibre végétale est composée de plusieurs parois parallèles à l’axe de la fibre et disposée en couche superposée dans le sens radiale. Ces différentes couches qui forment la lamelle mitoyenne, la paroi primaire et la paroi secondaire. Ces dernières bordent un lumen de diamètre variable suivant l’espèce. La paroi secondaire est composée de trois couches de microfibrilles (S1, S2, S3) (Fig. II. 3).

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre sa densité et son teneur en eau et son pourcentage d’absorption d’eau [20].

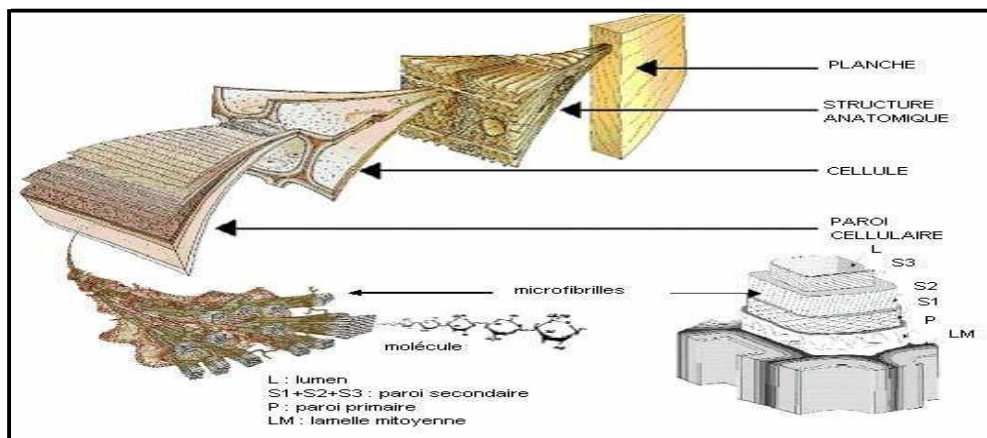


Fig. II.14 : Structure du bois (observations multi échelles).

II.4.5. Propriétés usuelles des fibres végétales

II.4.5.1 Propriétés chimique des fibres végétales

La composition chimique varie d'une plante à une autre et dépend de l'espèce, de l'âge de la plante, des conditions climatiques, de la composition du sol et de la méthode d'extraction utilisée.

Les différents constituants des fibres végétales (Figure. III-3) sont [20]:

- **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.
- **Lignine** : La lignine constitue la colle qui lie les fibres végétales entre elles ainsi que leurs parois. C'est un polymère tridimensionnel.
- **Les pectines** : Les pectines jouent un rôle capital dans l'architecture de la paroi végétale. Ces substances pectiques sont présentes avec des proportions variées dans la plupart des végétaux (environ 1% dans le bois). Elles jouent le rôle de ciment intercellulaire et contribuent à la cohésion des tissus végétaux.
- **Extractibles** : Ce sont des molécules de faible masse molaire qui remplissent la lumière des cellules. Ils représentent 2 à 5 % de la masse sèche. La plupart de ces extractibles sont solubles dans l'eau ou des solvants organiques, d'où leur dénomination. La composition en extractibles varie en fonction de l'essence considérée et influe sur la couleur et l'odeur. Il s'agit de tanins, de pectines, de sucre et d'autres composés [20].

Le tableau II.2 présente la composition chimique de quelques plantes à fibres [20]:

Fibres naturelles	% Cellulose	% Hémicellulose	% Lignine	% Pectine	% Graisses	% Eau	Angle demicrofibrille
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	7,2
Kénaf	45-57	21,5	8-13	3-5	-	-	-

Tableau II.2 : Composition chimique de quelques fibres végétales.

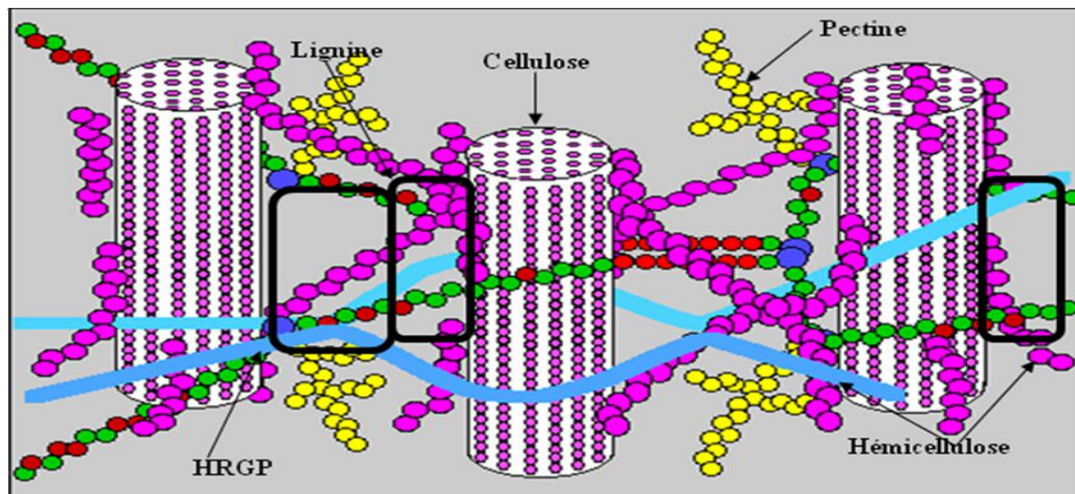


Fig. II. 15 : Représentation schématique d'une fibre de bois.

II.4.5.2. Propriétés Mécaniques des Fibres Végétales

Et elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, son élongation à la rupture et son module d'élasticité.

Le tableau présente les propriétés usuelles des fibres végétales. On remarque que la plupart des fibres présentent des propriétés proches de celles des fibres synthétiques (verre, aramide, carbone...). La production de ces fibres est relativement importante [24].

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.1 : Les propriétés usuelles des fibres végétales.

II.4.5.3. 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 [24].

II.4.5.4. 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 [19].

II.4.5.5. Des autres propriétés spéciales sur les fibres végétales

La fibre végétale contient plusieurs propriétés fondamentales qui définie le comportement de la fibre, il aussi [25]:

- Bonne isolation thermique.
- Bonne absorption des vibrations.
- Bonne isolation acoustique.
- Fibres moins abrasive.

II.4.6. Les différentes techniques de l'extraction des fibres végétales

On destine trois méthodes principales pour l'extraction des fibres végétales sont défauts au niveau de la structure végétales. Il y a [16] :

II .4.6.1. L'extraction mécanique

- **Le teillage** : Cette méthode consiste à séparer le bois (le casser) des tiges par action mécanique broyage et battage.
- **Par déflexion** : L'extraction des fibres se fait par action combinée de grattage et de battage, râpent les feuilles de la plante et libèrent les fibres.
- **Par laminage** : Les tiges sont découpées en morceaux qui sont ensuite écrasés sous presse ou par laminage ou encore par combinaison des 2 traitements. Ceci est effectué plusieurs fois de suite jusqu'à ce que les fibres soient le plus possible séparées [16].

II .4.6.2. L'extraction chimique :

Plusieurs méthodes basées sur la séparation chimique de la cellulose des autres composants non celluloses. Elles permettent d'éviter les inconvénients de l'extraction mécanique, et surtout un gain de temps et d'énergie considérables. Dans cette section, nous présentons les principales méthodes d'extraction chimique des fibres végétales [16].

- Le procédé alcalin visant à éliminer la lignine, les pectines et les hémicelluloses sous l'action d'une solution d'Hydroxyde de Sodium (NaOH).
- Le procédé au bisulfite permet de séparer la lignine des fibres de cellulose en utilisant divers sels de l'acide sulfureux [16].

II.4.6.3. L'extraction biologique

- **Le rouissage à l'eau** :

Ce type de rouissage basé sur que les tiges est plongé dans l'eau pendant plusieurs jours.

- **Par action microbienne** :

Les microbiens sont capables de dégrader les composants non celluloses présents dans les tiges ou les feuilles des plantes [22].

II.4.7. 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. Les principaux avantages et inconvénients sont rassemblés dans le tableau ci-dessous [22]:

Avantages	Inconvénients
Faible cout	Absorption d'eau
Biodégradabilité	Faible stabilité dimensionnelle
Neutre pour l'émission de CO2	Mauvaise tenue en vieillissement
Pas d'irritation cutanée lors de la manipulation	Faible tenue thermique (200 à 230 °C max)
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
Propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité)	Renfort discontinu
Bonne isolation thermique et acoustique	
Non abrasif pour les outillages	

Tableau II.3 : les principaux avantages et les inconvénients des fibres végétales.

II.5. L'utilisation des fibres végétales dans le domaine de génie civil

L'application des fibres dans le domaine de construction c'est pour la fabrication des panneaux pour l'isolation et dans l'industrie du bâtiment, la fabrication des enduits et des peintures à base d'huile végétales pour renforcer la durabilité des éléments de construction renouvelables [26].

II.5. Conclusion

L'utilisation de fibres végétales dans le domaine de génie civil est expansé et prendre un champ très large d'application, compte tenu des caractéristiques physique, mécanique, chimique et écologique, ainsi que grâce à la disponibilité dans la nature et ses propriétés renouvelable.

Chapitre III

Généralités sur le béton polymère

III.1 Introduction

Le béton polymère (BP) est un matériau fabriqué en remplaçant totalement ou partiellement le ciment par un polymère. 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 [27].

En outre, comme ils ont une plus grande résistance mécanique que le béton de ciment portland, ils permettent d'économiser jusqu'à 50% de matériau. Ainsi, pour certaines applications spécifiques, ils concurrencent le béton conventionnel. La résistance aux agents chimiques et les caractéristiques mécaniques dépendent essentiellement de la nature du polymère utilisé et de la quantité de charge [28].



Fig. III.1 : béton polymère.

III.2 Définition du béton polymère

Le béton polymère est un matériau composé de granulats et d'un filler liés par une résine de polyester ; utilisé par ex. pour la réalisation de produits d'assainissement (caniveaux, regards, cunettes) .Ces derniers sont liés par des résines de polyester pour assurer la solidité de chaque réalisation [29].

III.3 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 [30].

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 [30].

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 [16].

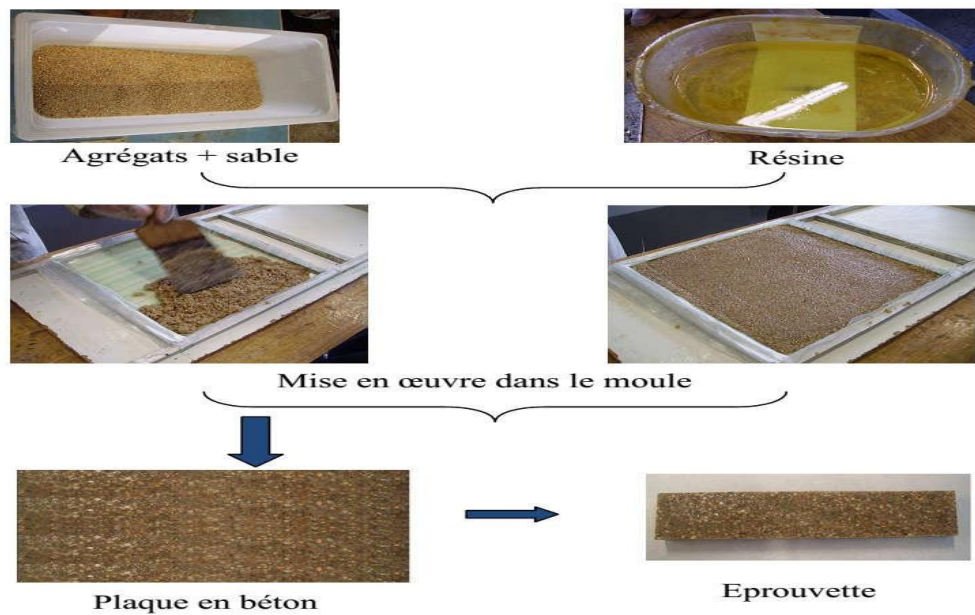


Fig. II.2: Mise en œuvre d'une plaque de béton polymère [28].

III.4 Caractéristiques intrinsèques du béton polymère

a) Chimiques

- Résistance totale aux agressions des effluents sans aucun traitement : résistance du ph 1 à 14 ;
- Résistance totale à l' H_2S ainsi qu'aux produits chimiques ;
- Résistance totale aux hydrocarbures[31].

b) 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 [31].

c) 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 [31].

d) Mécaniques

- Valeur de compression d'un béton polymère: 80 – 90 MPA.
- Valeur de flexion par traction d'un béton polymère : 20 – 24 MPA.
- Module d'Young d'un béton polymère: 21 300 MPA.
- Abrasion : 1,15 [31].

III.5 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 polymère. Il existe une grande variété de bétons à base polymère parmi lesquelles on trouve : le béton de polyester, le béton d'époxy, le béton de résine furanique. Le (Tableau. II.1) donne les caractéristiques mécaniques des différents bétons polymère [28].

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

Taleau. III.1 : Propriétés mécaniques des différents types de bétons de résine et du béton de Ciment[28].

III.6 Les principaux avantages et les inconvénients du béton polymère

a) Les avantages d'un béton polymère ([33], [34])

- Une bonne résistance aux agents chimiques et aux agents corrosifs ;
- Une plus faible perméabilité à l'eau et une bonne résistance aux cycles de gel-dégel;
- Un faible coefficient de dilatation thermique [33] ;
- Un durcissement rapide ;
- Une bonne adhésion aux granulats et aux bétons anciens ;
- Des résistances mécaniques meilleures que celles des bétons hydrauliques.
- Une bonne résistance à l'abrasion ;
- Une excellente durabilité avec un coût raisonnable [34] ;

b) les inconvénients d'un béton polymère [34]

- Le coût 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.7 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 [35].

III.8 Comparaison entre béton polymère et béton classique :

On peut simplifier la différence entre béton polymère et béton classique dans le tableau.2.1[32] :

Caractéristique	Béton Polymère	Béton Traditionnel	Norme
Liant	Résine + quartz	Ciment + Eau	-
Valeur de compression	De 80 à 90 MPa	De 20 à 30 MPa	NF-EN-196-1
Valeur de flexion par traction	De 20 à 24 MPa	De 4 à 6 MPa	NF-EN-196-1
Module de Young (élasticité)	21 300 MPa	20000 MPa	DIN 51 290/3
Abrasion	1,15	> 2	DI-EL-97-024
Absorption d'eau	0,2%	8.10%	UNE 22 191
Masse volumique	2 109 Kg/m ³	2 300 kg/ m ³	
Coefficient d'écoulement (Manning Strickler)	108 moyens	De 60 à 90	NF EN 752-4
Résistance au gel	Inaltéré	Dommages, lézardes avec pertes de masse	UNE 127 004
Résistance au feu	M0 – M1	M0	NF P 92 500

Tableau.III.2 : Tableau comparatif béton polymère / béton traditionnel.

III.9 Utilisations de béton polymère

Le béton polymère est utilisé pour de nombreux types de projets de construction spéciaux. Comme d'autres types de béton, peut être utilisé pour joindre des composants différents ou pour fournir une base ou structure. Le matériau est utilisé dans la construction industrielle ou électrique où le béton pour durer longtemps et est résistant à différents types de corrosion est nécessaire [32] .

- a) **Bâtiment - génie Civil** : Dans le domaine du bâtiment et du génie civil, le béton polymère trouve ses applications pour de nombreux ouvrages avec pour objectif l'adaptation des pièces aux exigences fonctionnelles, techniques et esthétiques du projet étudié [32] .

Grâce aux caractéristiques du béton polymère, nous sommes en mesure de réaliser : des corniches de pont, des gardes corps, des façades de bâtiments, des galeries pour réseaux secs et humides, des caniveaux de chauffage et tout autre ouvrage nécessitant un apport technique spécifique. De plus la formation spéciale

MO permet d'intervenir au sein des tunnels pour des pièces de type : caniveau fendu, bordure avaloir, siphon coupe feu, etc .

- b) **Aménagement urbain** : Quelques exemples de réalisations : habillages de front de mer, balustres, ralentisseurs, jardinières, bancs, cadres cache lumière, etc [32] .
- c) **Industrie** : Grâce aux performances techniques et économiques du béton polymère, Polycomposite se développe désormais sur le segment de l'industrie : chimie, pétrolier, automobile, ferroviaire, etc [32] .

La résistance aux agents chimiques et liquides ainsi que la longévité du béton polymère font de nos produits une valeur économiquement sûre pour les industriels : regards pour acide citrique, supports pour machines, cuves de rétention pour produits dangereux, caniveaux pour stations service, aires de dépotage, revêtements anticorrosion, etc [32] .

III.10 Exemples de réalisations

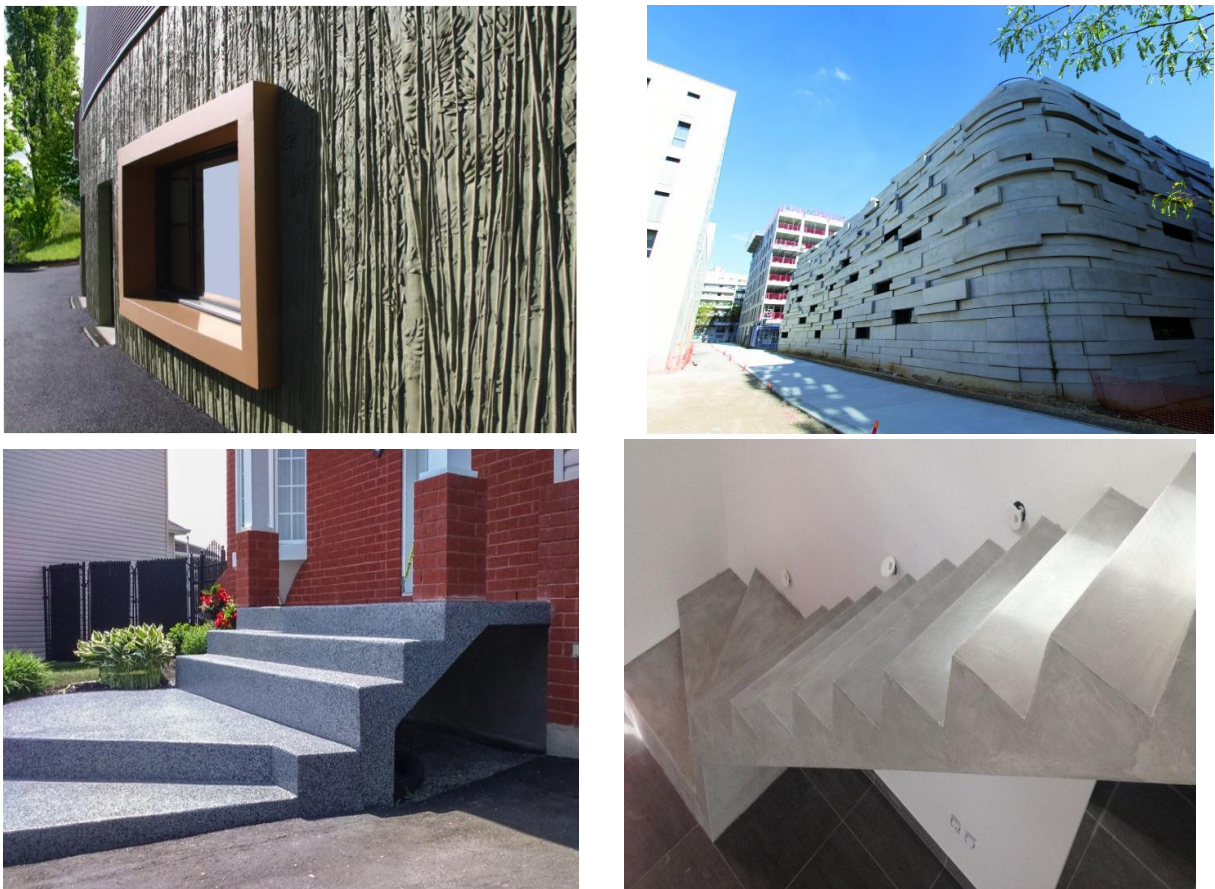


Fig. III.3: Façades et marches d'escalier en béton polymère pour bâtiment.



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



Fig. III.5: Le pont mythique (New York Mania).

Fig. III.6: Plancher en béton polymère.



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



Fig. III.8: Quelque application de béton polymère pour l'isolation.



Fig.III.9 : Des balustres en béton polymère.

Fig.III.10 : Des murs en béton polymère.



Fig. III.11: Quelque application de béton polymère (industrie).

III.11 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 cher que la version traditionnelle et est mesurée plus précisément en termes de densité et de retrait.

Chapitre IV

Matériaux et techniques expérimentales

IV.1. Introduction

La partie expérimentale est une continuité de la partie théorique pour équilibrer le plan de travail et définir les différentes techniques expérimentales.

Ce chapitre présente les caractéristiques des matériaux utilisés pour l'élaboration du béton polymère de différentes dimensions prismatiques renforcé et non renforcé par ces fibres et chargé et non chargé par les filler de brique plus les principaux essais mécaniques (flexion trois points) exécutés au niveau de maghreb -pipe m'sila .

Les matériaux utilisés pour ce travail sont (**Fig. IV.1**):

- ❖ La résine polyester insaturé.
- ❖ La silice.
- ❖ Les fibres de Alfa.
- ❖ Poudre de brique .



Fig. IV.1: Les matériaux utilisés pour ce travail.

IV.2. Caractéristiques des matériaux utilisés

IV.2.1. La Silice

Le sable de silice est l'une des variétés les plus courantes de sable trouvés dans le monde. Il est utilisé pour un large éventail d'applications, et peuvent être achetés à partir de différents fournisseurs à travers le monde. Le sable de silice est utilisée dans la transformation industrielle, pour fabriquer du verre et à créer des moules et des pièces moulées [36].

Caractérisé essentiellement entre 200 μm et 500 μm (**Fig. IV.2**), un équivalent de sable supérieure à 90% (sable très propre), il est disponible dans la région de l'ouest d'Algérie. Le sable siliceux extrait de la carrière ; après l'homogénéisation, subira un important traitement qui comprendra l'un ou plusieurs des procédés suivants :

- Prétraitement (débouillage et lavage primaire).
- Criblage.
- Attrition : (attrition= action de deux corps durs qui s'usent par frottement.).
- Lavage secondaire suivi de classification granulométrique.
- Flottation.
- Essorage et séchage.
- Traitements supplémentaires : se fait par voie sèche et permet d'éliminer certains minéraux lourds contenant du fer.

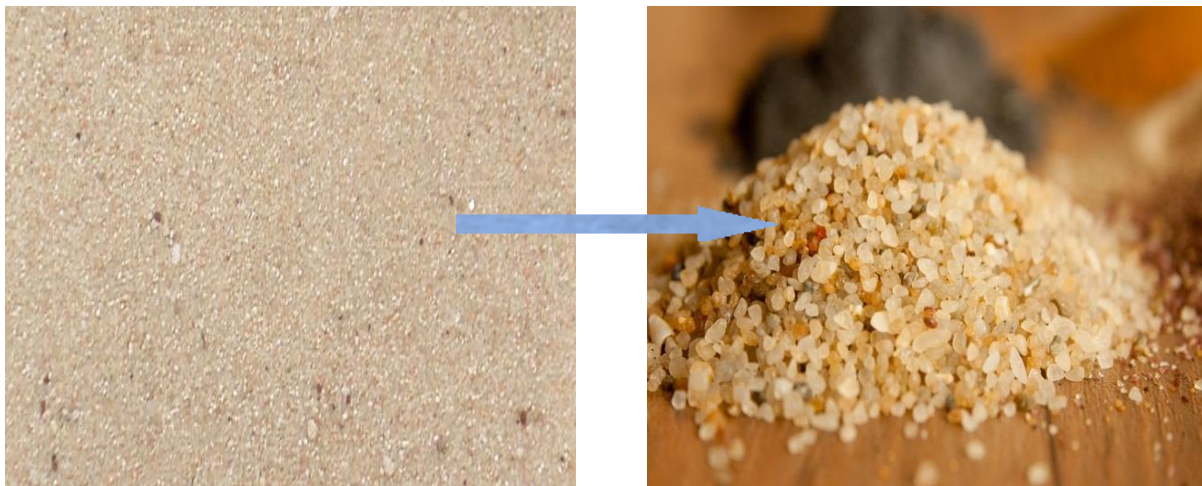


Fig. IV.2: Sable de silice.

a) Test sable de silice

➤ Test d'analyse granulométrique



Fig. IV.3: Tamiseuse électrique.

La (Fig. IV.4) représenté la courbe d'analyse granulométrique de sable de silice (sable sèche 0,2-0,5mm).

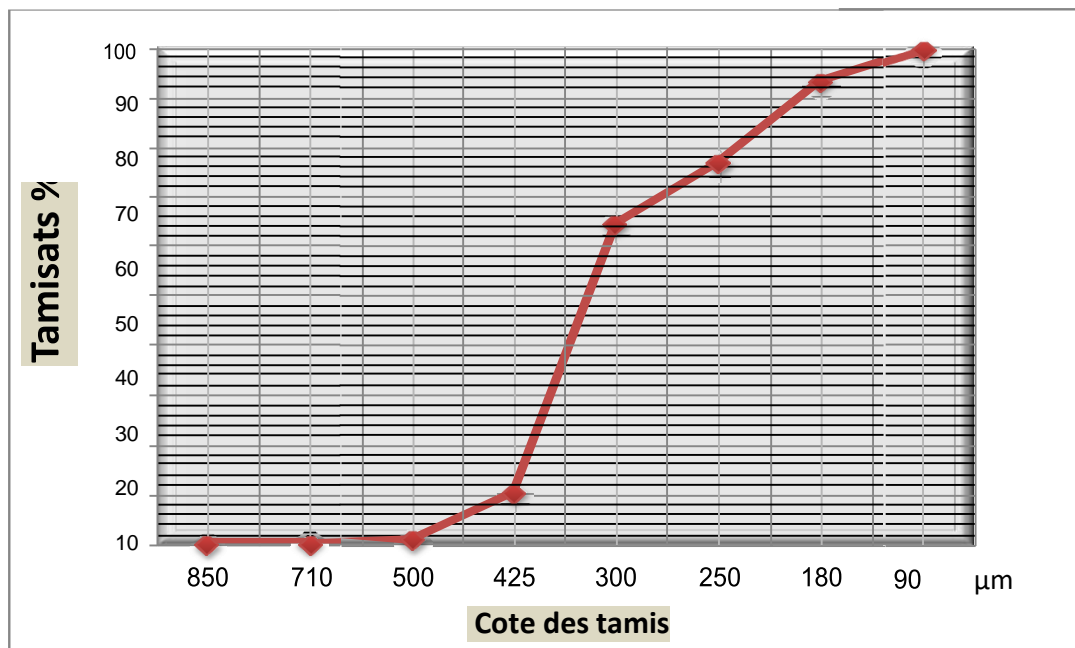


Fig. IV.4 : Courbe d'analyse granulométrique de la silice utilisée.

IV.2.2.Résines

Les résines polyesters sont des matières plastiques thermodurcissables, c'est-à-dire qu'elles durcissent (à température ambiante) grâce à l'association d'un accélérateur et d'un catalyseur qui provoquent une exothermie (élévation de la température de la résine). Cette transformation est irréversible. Les résines polyesters sont des produits inflammables car elles contiennent du styrène (point éclair = 31°C). Elles peuvent exister sous diverses formes: Pré-accelérées, thixotropées, promotorisées, chargées, colorées. [37]



Les polyesters insaturés sont les résines les plus utilisées pour la réalisation des matériaux composites, pour des raisons de prix, de niveaux de performance et pour leur souplesse dans la mise en œuvre (procédés et cadences).

✓ Propriétés des résines en générale, la classification se fait suivant le module d'élasticité (Résine souple ; Résine rigide).

Les propriétés des résines polymérisées sont régies par divers facteurs dont les principaux sont : [37].

- La teneur et le type des diacides.
- La teneur et le type des diols.
- La teneur et le type du monomère de pontage.
- Le poids moléculaire de résine polyester.
- Le système inhibiteur.
- Le système accélérateur/promoteur.

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

- Résine isophtalique.
- Résine orthophtalique.

Dans notre cas, nous avons utilisé la résine polyester isophtalique. Offrent une meilleure tenue en milieu humide, un meilleur vieillissement et meilleures propriétés mécaniques, mais son coût est plus élevé. [37]

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

✓ Viscosité mesurée : 335CPa.s.



Fig. IV.5: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.

Le test s'effectue en mélangeant (100g) de résine avec (0,3g) d'accélérateur (promoteurs), puis on ajoute au mélange (1.3g) de catalyseur. Les variables température et temps sont simultanément mesurés (Fig. IV.6).



Fig. IV.6: Test de réactivité de la résine.

La (Fig. IV.7) représenté la courbe de polymérisation de résine (isophtalique).

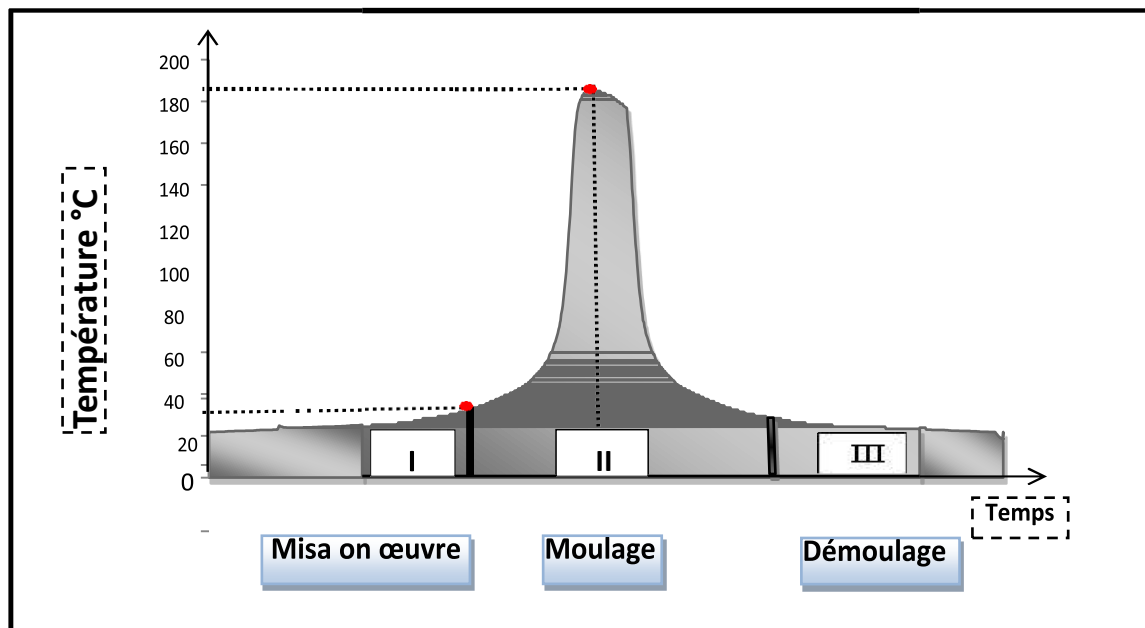


Fig. IV.7: Cycle de polymérisation de résine polyester (isophtalique).

c) Propriétés de résine isophtalique

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

Les caractéristiques de la résine polyester sont indiquées dans le Tableau (Tableau. IV.1) suivant :

Densité à 25 °C	1050 – 1150 Kg/m ³
Viscosité	330 – 410 CPa.s
Résistance à la traction	50 – 70 Mpa
Résistance à la flexion	70 – 90 Mpa
Absorption d'eau	< 1,5 %

Tableau. IV.1 : caractéristique de la résine polyester.

✓ Avantages et inconvénients de l'utilisation de la résine polyester

La résine polyester peut présenter des avantages et des inconvénients au cours de l'utilisation. Ces dernières sont représentées dans le Tableau (Tableau. IV.2).

Avantage	Inconvénients
Bonne rigidité	fragile aux chocs
Bonne tenue chimique	Tenue médiocre en température
Bonne mouillabilité des fibres	Retrait important de 8 à 10%
Stabilités dimensionnels	Odeur nauséabonde
Etuvageon indispensable	Difficulté des mélanges en faible quantité

Tableau. IV.2: Différents avantages et les inconvénients de résine polyester insaturée. [37]

IV.2.3.Fibres d'Alfa

Les fibres Alfa, sont récoltées de la region de Bou Saada (Algerie). Elles son tune touffe d'herbe, constituée de tiges de forme cylindrique d'une hauteur maximale d'environ 1m avec une surface spécifique de 3m²/g. Les fibers Alfa sont principalement composees de 45% de cellulose, 24% d'hémicellulose, 24% de lignine, 2% de cendres et 5% de cire. Les faisceaux de fibres Alfa sont caractérisés par un diamètre moyen de 113 µm (90-120µm) et une densité de 0,89 g.cm-3 [38].

a) Prétraitement des fibres Alfa

En premier lieu on coupe les extrémités de la tige d'Alfa en longueur 35 à 40 cm. Les tiges obtenues sont lavées plusieurs fois pour éliminer les contaminants et les saletés adhérents. Ensuite, ces tiges sont immergées dans l'eau pendant un mois (Figure IV.8). Après cela on effectue l'extraction mécanique par brosse métallique des tiges pour obtenir des fibres longues. Les fibres obtenues sont désignées fibres non traitées (Figure IV.8).

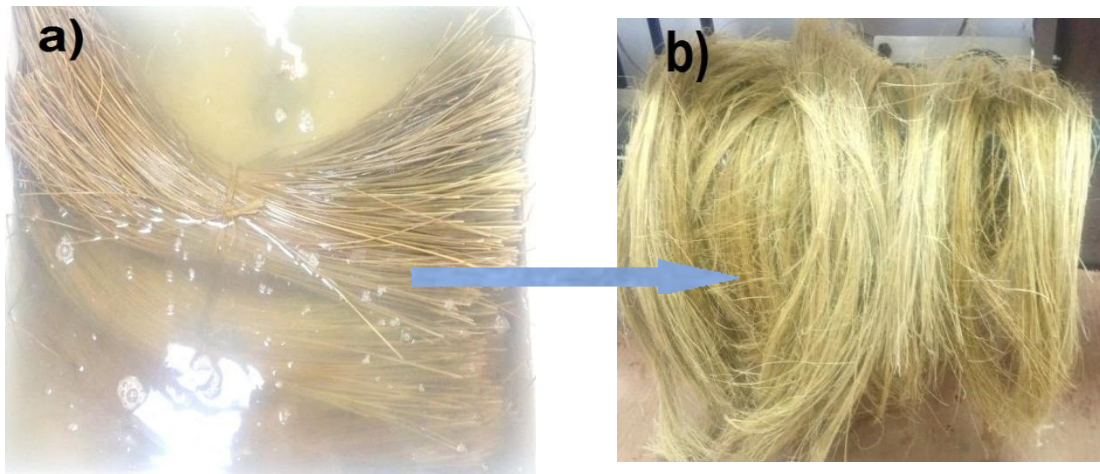


Figure IV 8: a) immersion des tiges dans l'eau b) Alfa après broyage.

b) Traitement thermique des fibres Alfa

Après toutes les étapes de préparation et l'extraction de fibres Alfa, on place les fibres obtenues dans une étuve de séchage à température 70°C (Figure IV.9) durant 5h pour améliorer leurs propriétés mécaniques.



Figure IV. 9: Etuve de séchage à 70°C

c) Longueur choisi pour fibers Alfa

La fibre Alfa est ensuite découpées (Figure IV.10) en différentes longueurs (entre 0.5 à 6 cm) pour assurer leur distribution et leur homogénéité lors de l'élaboration du béton polymere.



Figure IV. 10: La fibre Alfa découpées en différentes longueurs (0.5 à 6 cm).

IV.2.4. Poudre de brique

La brique cuite pleine, matériau traditionnel très ancien, avec une variante appelée brique pleine perforée (les perforations sont perpendiculaires au plan de pose), la brique cuite creuse, inventée au xixe siècle, plus légère (et donc moins coûteuse à transporter) et plus isolante, est devenue la plus utilisée, Ses perforations sont parallèles au plan de pose de manière à ne pas diminuer sa résistance à la pression [39].



Figure IV. 11: Brique creuse.

a) **La brique creuse :** La brique creuse est désormais l'une des plus répandue. Souvent formée en terre cuite, elles offrent à la fois une solidité à toute épreuve et une grande légèreté. Parmi les briques creuses, on favorisera la brique à alvéoles, qui offre une excellente isolation phonique et thermique[39].

b) **Broyage de brique**

Dans notre étude, nous avons utilisé les déchets de briques, ses dernières sont des chutes issus de la destruction des briques creuses lors de la fabrication ou/et du stockage des briques dans l'usine de fabrication au niveau de Boussaâda. (Fig. IV.15). représente le cycle de l'obtention de la poudre de brique.



Figure IV. 12: Broyage de déchets de brique.

c) **Tamisage poudre de brique**

Tamiser la dust de brique en utilisant un tamis de 0,08 mm



Figure IV. 13: Tamisage de la poudre de brique (tamis 0,08mm).

IV.3. Technique de moulage

IV.3.1.Préparation des moules utilisés

La première étape pour la technique de moulage des bétons polymère, c'est la préparation des moules appropriés pour chaque essais.

Pour les tests de flexion, nous avons choisi des moules métallique prismatique disponible au niveau de laboratoire de Génie civil.

Tout d'abord, nous avons utilisé un moule de dimensions 40mm*40mm*160 mm, pour préparation des éprouvette en béton polymère à matrice thermodurcissable Pour l'essai de compression nous avons utilisé les mêmes éprouvettes de flexion après *



Fig. IV.14: Moule utilisé pour éprouvettes lisses (FTP) de BP.

IV.3.2. Elaboration des éprouvettes en béton polymères

Nous avons utilisé la technique de moulage au contact. Cela dépendra de réaliser le béton polymère manuellement à température ambiante.

Le Tableau (Tableau. IV.3) résume la formulation adoptée pour les éprouvettes en béton polymère de résine charge par filler de brique et non renforcé par les fibres :

Matériaux utilisés	Pourcentages des matériaux (%)					
	N1:	N2:	N3:	N4:	N5:	N6:
	BP-00	BP-30	BP-20	BP-10	BP-05	BP-03
Silice	100%	70%	80%	90%	95%	97%
Brique	0%	30%	20%	10%	5%	3%
Résine	20%					
Durcisseur	1.5%					

Tableau. IV.3 : Taux de chaque composante 1.

Matériaux utilisés	Pourcentages des matériaux (%)					
	BPR1-20	BPR2-20	BPR3-20	BPR4-20	BPR5-20	BPR6-20
Silice	80%					
Brique	20%					
Fibre Alfa	1%					
Résine	20%					
Durcisseur	1.5%					

Tableau. IV.4 : Taux de chaque composante 2.

Il est important à signaler que le taux optimal de la poudre de brique sera utilisé pour la fabrication du béton polymère renforcé par les fibres végétales. L'ajout de renfort, dans notre cas les fibres Alfa a pour but de refléter l'effet du renforcement par fibres naturelles sur le comportement du béton polymère.

a) Technique

Pour élaborer un béton polymère, on verse la quantité équivalente de sable de silice dans un récipient après la pesée, puis on ajoute progressivement la résine accélérée avec 0,3% (Co6) et 1.5% de durcisseur (catalyseur M-50). Le mélange est compacté dans un moule (**Fig. IV.15**).

Dans un premier temps, nous avons élaboré des éprouvâtes béton polymère silice polyester pour refléter l'effet d'ajoute de la poudre de brique, nous avons fabriqué une série de prouvttes (40x40x160) contact différents procentage de poudre de brique soient (30%,20%,10%,5%,3%) nous utilise le même technique enter en tout.

Pour voir l'finance de l'ajout des fibre végétale sur le compétent du béton polymère, nous avons renforcé le béton polymère avec des fibre Alfa courtes, il important à signaler la composition du béton polymère choisi est-elle qui présente les somes performances. Le taux de fibres est choisi à 1%

En premier lieu, nous avons élaboré des éprouvettes sans ajout de poudre de brique. Afin de refléter l'effet de la poudre de brique

Intégrons le mélange jusqu'à ce qu'il soit homogène, et chaque grain de sable de silice et poudre de brique soit saturé avec de la résine, pour une période de temps avant la gélification (8min).

Enfin, on le mélange (silice + poudre de brique + fibre alfa + résine) est verse le moule métallique , ensuite ce mélange est pressé par un cylinder en bois, on fait le moulage par contact pour obtenir des éprouvettes uniformes (**Fig. IV.15**).

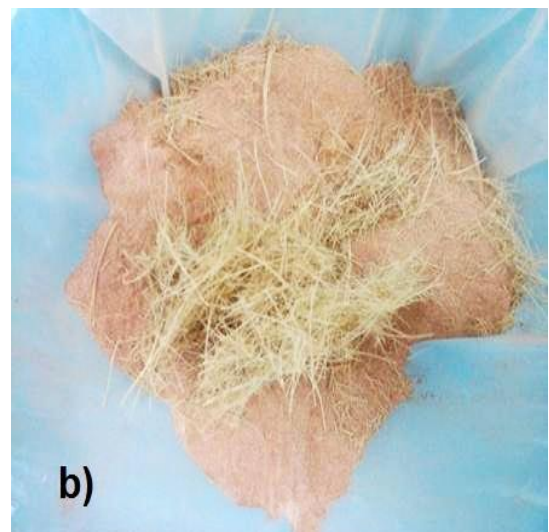
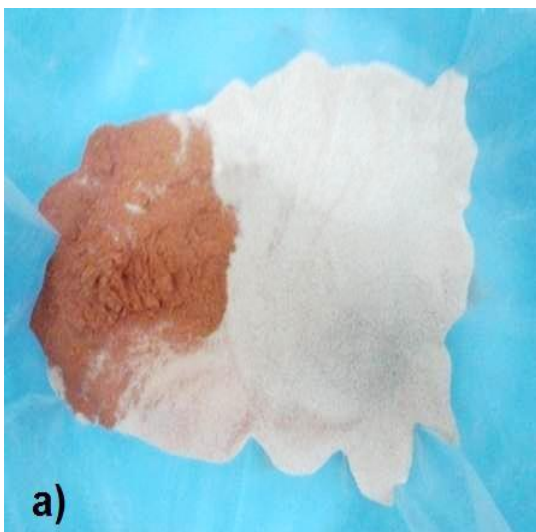




Fig. IV.15: Étapes de moulage de béton polymère par contact.

b) Le traitement thermique du béton polymère élaboré

Le temps de durcissement du béton polymère est entre 3 à 4 heures en fonction de pourcentage de durcisseur ajoutée à la résine. Les éprouvettes sont ensuite démoulées. Avant de procéder aux tests, on laisse le béton pendant 7 jours, ou on le met dans un four à une température de 70°C durant 24 heures. Ceci, afin d'assurer une polymérisation totale du mélange.



Fig. IV.16: Eproutettes lissés en BP non chargé par filler de brique et non renforcé : N1:BP-00.



Fig. IV.17: Eproutettes lissés en BP chargé par filler de brique et non renforcé : N2:BP-30, N3:BP-20, N4:BP-10, N5:BP-05, N6:BP-03.

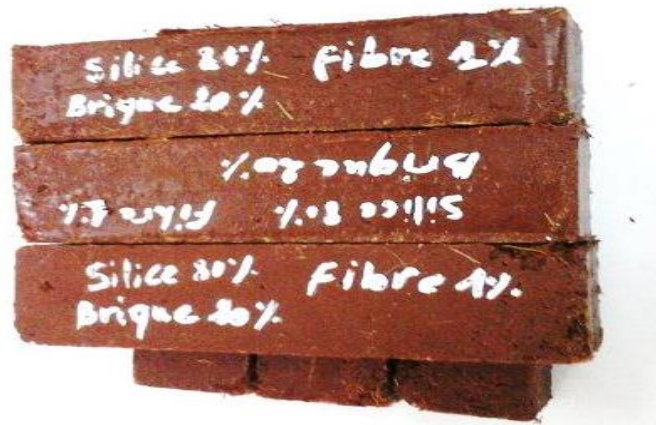


Fig. IV.18: Eprouvettes lissés en BP chargé par 20 % filler de brique et renforcé 1% fibres de Alfa ;,BPR1-20, BPR2-20, BPR3-20, BPR4-20, BPR5-20, BPR6-20.

IV.4. Essais mécaniques appliqués sur le béton polymère

La caractérisation mécanique d'un matériau réside dans la détermination de ses coefficients indépendants, notamment, le module de Young, la résistance à la compression .

La détermination de ces éléments fait appel à plusieurs techniques complémentaires permettant leur identification complète. Pour ce faire nous avons procédé aux essais mécaniques les plus classiques à savoir : l'essai de flexion .

IV.4.1.Essai de flexion trois points (FTP)

L'essai est réalisé selon la norme (D790-10) en utilisant la machine (YL Testing Machines/20Kn), qui est une machine universelle équipée d'un système de flexion, au niveau de Maghreb Pipe (**Fig. IV.19**).

Les éprouvettes lisses de ($40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$) sont testées en appliquant une charge à mi-distance des appuis. La distance entre appuis est de 100mm. Le matériau est chargé à une vitesse constante de 1 mm/min pour le béton polymère (**Fig. IV.20**).

Le test FTP consiste à déterminer la charge maximale et étudier le comportement mécanique jusqu' à la rupture du matériau.

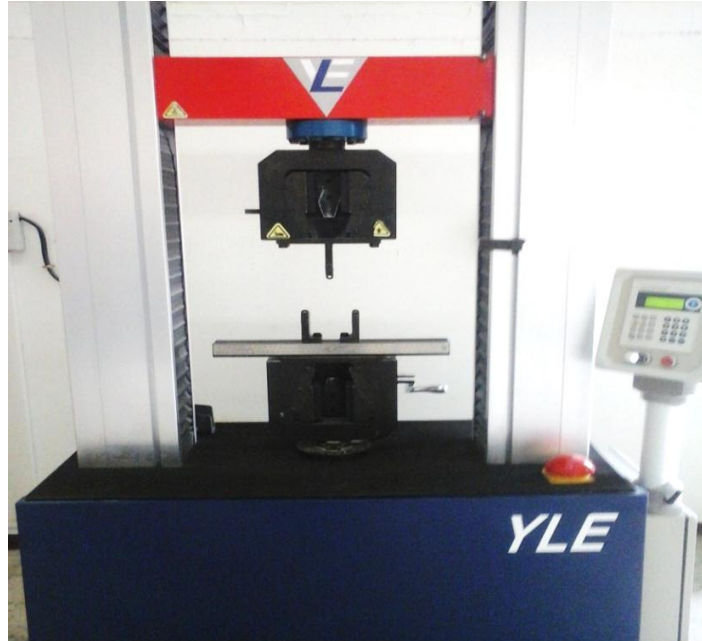


Fig. IV.19: Essai de FTP (YL Testing Machines/20Kn).

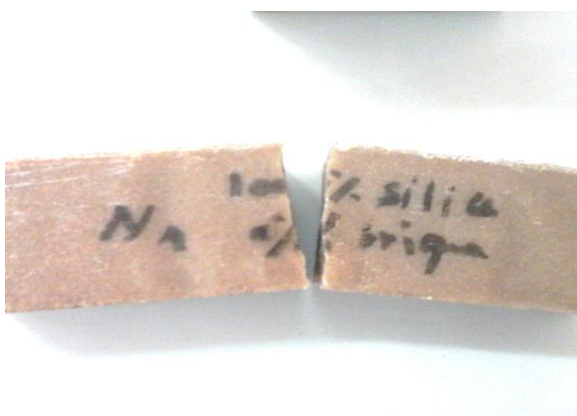
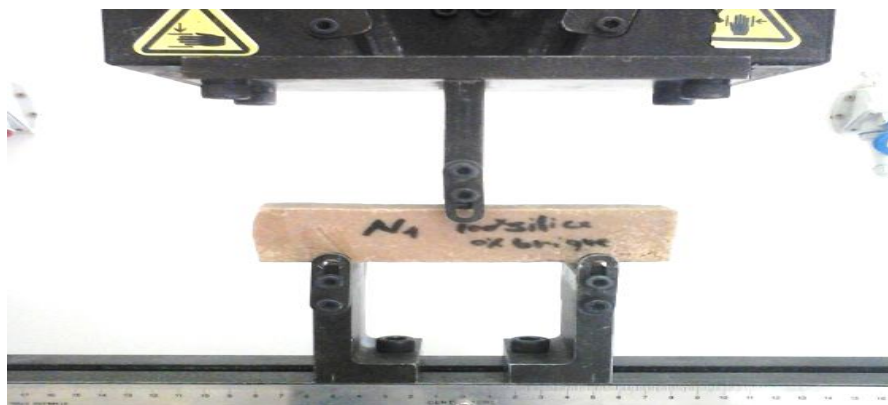


Fig. IV.20: Essai de FTP sur des éprouvettes lissés en BP et BP-20 et BPR-20.

- Paramètres d'étude

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 Young de flexion :

$$E_f = \frac{L^3 \cdot P}{6 \cdot f \cdot I}$$

Avec:

L : Distance entre les appuis (mm).

P: La charge maximale à la flexion en (N).

f : la flèche en (mm).

I : le moment d'inertie =bh³/12

IV.5. Conclusion

La technique de préparation des fibres végétales, utilisées dans notre étude, ainsi que le protocole de leur traitement chimique sont présentée de plus l'élaboration et les méthodes de caractérisations (flexion trois points) sont données en détaille.

Chapitre V

Résultats et Discussion

V.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons une synthèse des essais mécaniques réalisés *sur* le béton polymère renforcé par des différents type de fibres . Nous débuterons par une analyse de l'évolution des courbes contraintes –déformation (σ - ϵ) des éprouvettes lisses sollicitées en flexion trois points ,puis l'analyse de la résistance à la compression des bétons polymères testés .Enfin, une comparaison des facteurs d'intensité de contraintes des différents bétons polymères fissurés, en fonction du type de fibres et du traitement chimique est établie .

V.2. Propriétés mécanique des bétons polymères en flexion trois points

Dans cette partie nous allons présenter les essais mécaniques qui ont été réalisés pour la détermination des caractéristiques mécaniques des matériaux utilisés.

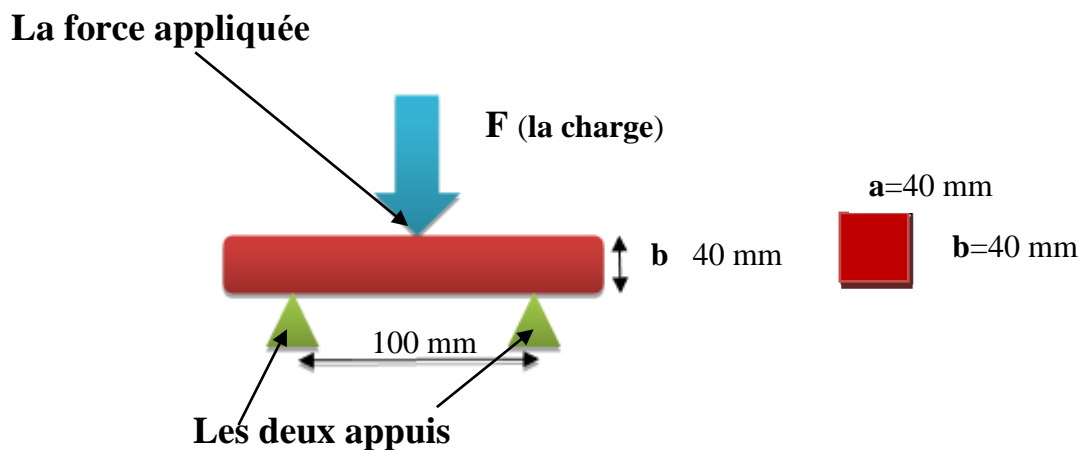


Fig.V.1 : Principe de sollicitation de l'éprouvette en flexion trois points (FTP).

V.3. Analyse des courbes charge/ déplacement des éprouvettes FTP chargé et non renforcé

Les résultats des tests en flexion trois points reflètent le comportement mécanique des matériaux. Nous avons testés les éprouvettes en flexion trois points relatifs aux bétons polymères confectionnées auparavant.

La figure.V.2. présente la courbe typique charge – déplacement (P- δ) des bétons polymères stratifiés testés en flexion trois points.

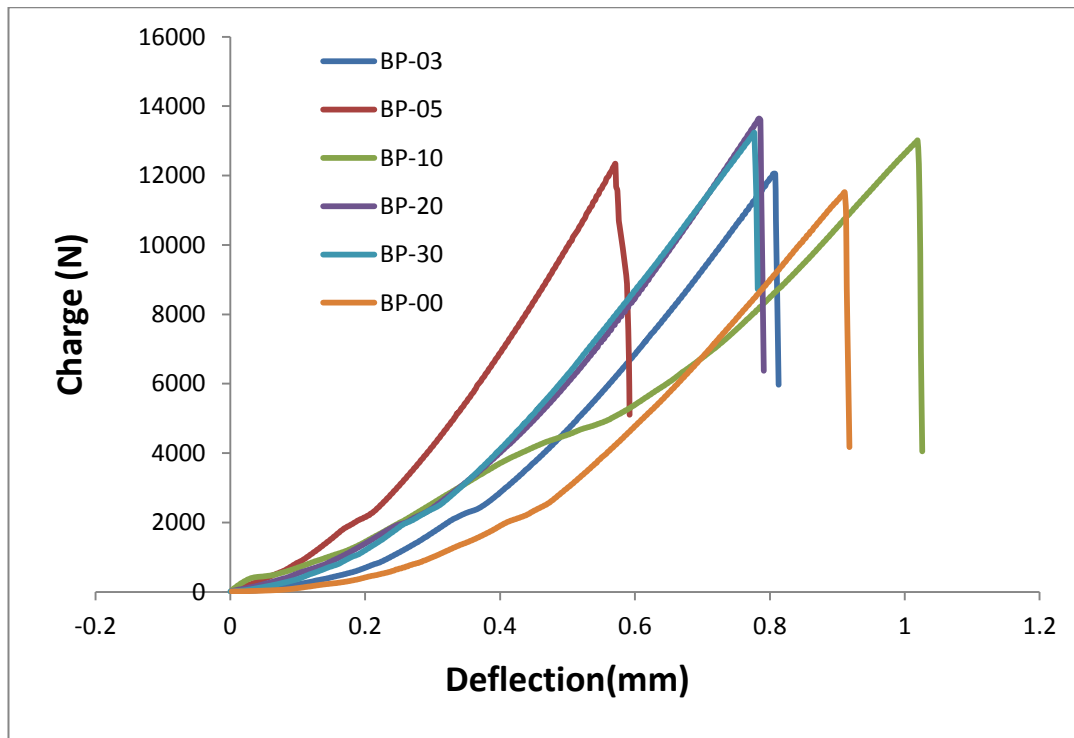


Fig. V.2 : Evolution de la charge en fonction du béton polymère déformation de chargé par poudre de brique .

Ces courbes montrent un comportement pratiquement linéaire et fragile. Dans l'ensemble des courbes la charge croît 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'au la valeur maximale puis chute brusquement provoquant la ruine de l'éprouvette . De plus, une reproductibilité est remarquable dans le cas : **BP-00** Béton polymère de résine non renforcé et non chargé par poudre de prique .**BP-30** Béton polymère de résine non renforcé et charge par 30% poudre de brique **BP-20** Béton polymère de résine non renforcé et charge par 20% poudre de brique **BP-10** Béton polymère de résine non renforcé et charge par 10% poudre de brique **BP-05** Béton polymère de résine non renforcé et charge par 5% poudre de brique **BP-03** Béton polymère de résine non renforcé et charge par 3% poudre de brique.*

Le tableau suivant montre l'ensemble des résultats obtenus comme charge maximale fonction de la pourcentage de brique utilise dans béton polymère .

Bétons Polymères	BP- 00	BP- 30	BP- 20	BP- 10	BP- 05	BP- 03
% de charge par poudre de brique	00 %	30 %	20 %	10 %	05 %	03%
La charge maximale (N)	11517	13233	13646	13017	12335	12051

Tableau. V.1 : Valeurs critiques des Charges durant le test en flexion trois points.

L'histogramme de la figure V.3 représente les barres de variation de la charge maximale durant le test.

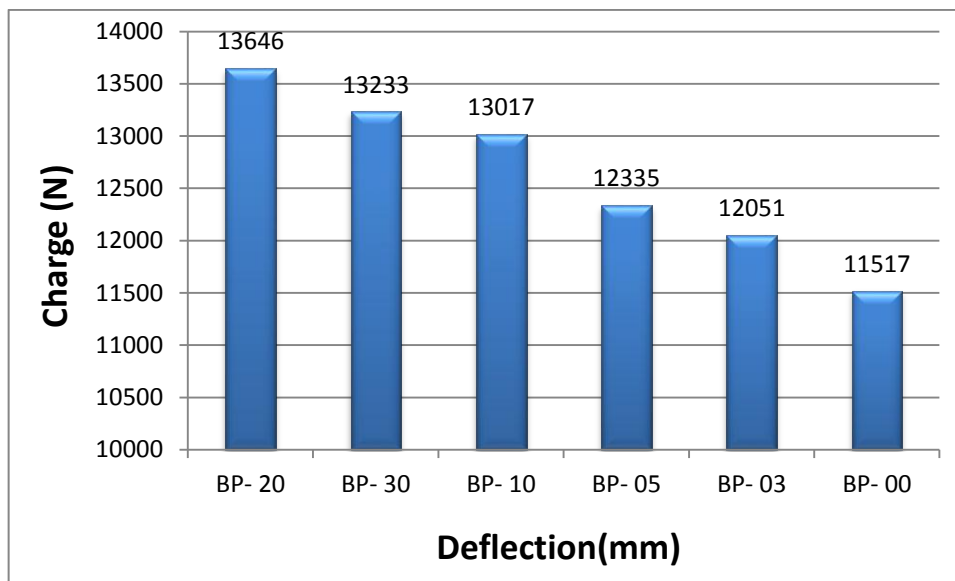


Fig.V.3 : Paramètres de flexion des éprouvettes testées (Charge maximale).

A partir des figures le matériau **BP-20** indique une charge maximale de (13,646 KN). suivi du matériau **BP-30** (13,233 KN). Les autres nuances enregistrent des valeurs proches ou inférieures à celles du matériau sans charges de brique **BP-00** (11,517 KN). D'ou, l'ajout de 20% de poudre de brique améliorer la résistance et la rigidité du béton polymère sollicité en flexion trois points.

V.4. Analyse des courbes contrainte-déformation des éprouvettes lisses FTP en béton polymère non renforcée

La figure V.4 représente les évolutions de la contrainte en fonction la déformation (σ, d) des éprouvettes lisses FTP en flexion trois points à différents taux de brique.

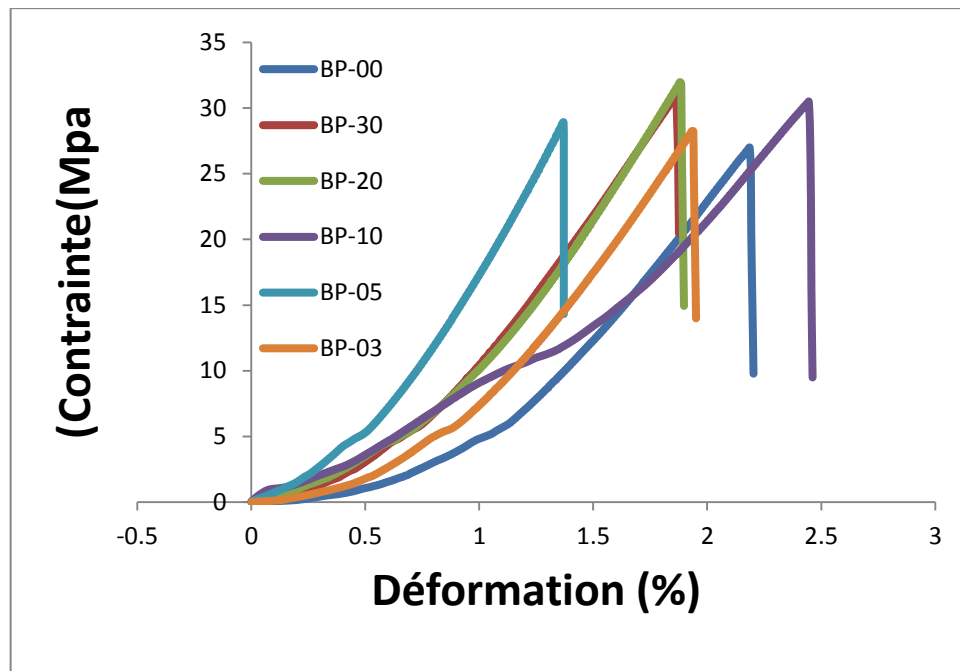


Fig.V.4: Evolution de la contrainte en fonction du béton polymère déformation de chargé par poudre de brique .

A partir des courbes de la figure V.4. On observe une variation de la contrainte à la rupture et la déformation dans chaque courbe :

BP-00: la contrainte à la rupture variant entre 24.87 :26.99 MPa et la déformation entre 2.54 :2.18 %, (contrainte = 25.93 ± 1.06 MPa, déformation= 2.36 ± 0.18 %).

BP-10: Une contrainte 28.66 ± 2.35 MPa avec une déformation 1.96 ± 0.1 %.

BP-20: La contrainte est 31.33 ± 0.65 MPa et déformation 1.7 ± 0.18 %.

BP-30: Une contrainte de 30.2 ± 0.31 MPa et la déformation 1.94 ± 0.49 %.

BP-5: La contrainte 27.75 ± 1.24 MPa et la valeur de la déformation 1.72 ± 0.35 %.

BP-3: La contrainte est 27.31 ± 0.91 MPa avec une déformation 1.82 ± 0.11 %.

La figure V.4 illustre la superposition des évolutions de la contrainte en fonction la déformation (σ, d). Cette figure, montre que le béton polymère à 20% de brique (BP-20) est le plus résistant et plus rigide comparé aux autres nuances.

V.5. Analyse des courbes charge/déplacement des éprouvettes FTP renforcé

La figure.V.5. présente la courbe typique charge – déplacement (P- δ) des bétons polymères stratifiés testés en flexion trois points.

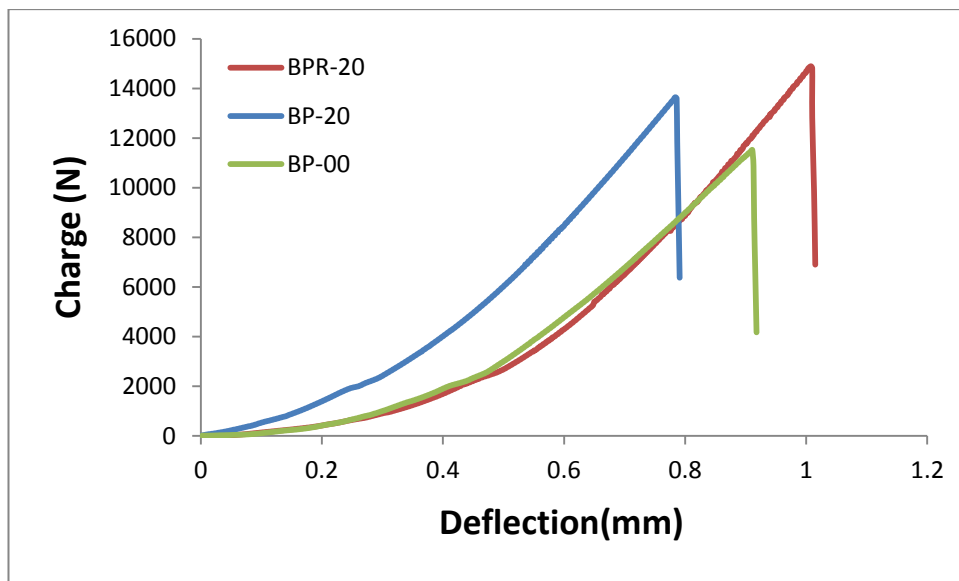


Fig.V.5 : Evolution de la charge en fonction la même composite de béton polymère BP-20 et BPR-20 et BP-00.

Dans l'ensemble des courbes, on constate que les différents bétons polymère testés ont un comportement fragile. La charge augmente graduellement jusqu'au la valeur maximale puis chute brusquement provoquant la ruine de l'éprouvette . De plus, une reproductibilité est remarquable dans le cas : Béton polymère de résine renforcé par 1% de fibre Alfa et charge par 20% poudre de brique.

Le tableau suivant montre l'ensemble des résultats obtenus comme charge maximale fonction dans du béton polymère chargé par 20% de brique renforcé et non renforcé par les fiber 1%.

Bétons Polymères	BPR-20	BP-20	BP-00
% de charge par poudre de brique	20 %	20 %	0%
% de fibre Alfa	1%	0 %	0%
Charge maximale (N)	14,893	13,646	11,517

Tableau.V.2 : Valeurs critiques des Charges durant le test en flexion trois points.

Le matériau **BPR-20** indique une charge maximale de (14,893KN). Les autres nuances enregistrent des valeurs proches ou inférieures à celles du matériau sans renforts par Alfa **BP-20** (13,646 KN). D’où, l’ajout de 1% de fibres Alfa sans traité améliorer la résistance et la rigidité du béton polymère sollicité en flexion trois points.

V.6. Analyse des courbes contrainte-déformation des éprouvettes lisses FTP en béton polymère chargé et renforcée

La **figure V.6** représente les évolutions des contraintes en fonction de déformation (σ - ϵ) des éprouvettes lissées en Béton Polymère sollicitées en flexion trois points (FTP)

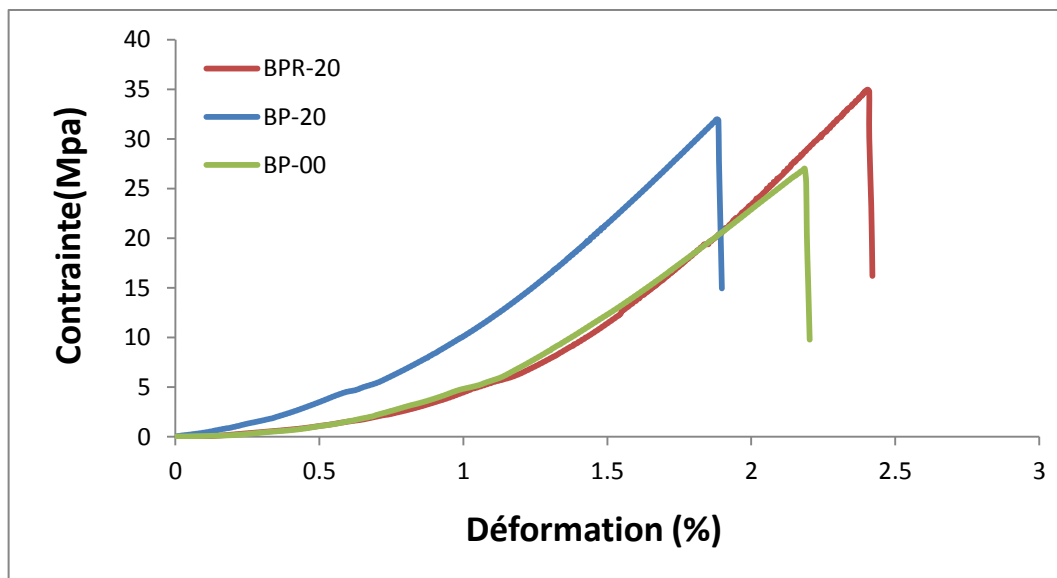


Fig.V.6 : Evolution de la contraintes en fonction la même composite de béton polymère BP-00 BP-20 et BPR-20.

A partir des courbes de la **figure V.6**. On observe une variation de la contrainte à la rupture et la déformation dans chaque courbe :

(a) : la contrainte à la rupture variant entre 31.98 :34.96 MPa et la déformation entre 2.40 : 2.18 %, (contrainte = 33.47 ± 1.49 MPa, déformation= $2.14 \pm 0.26\%$).

On observe de façon claire que le matériau BPR-20 enregistre une contrainte à la rupture en flexion, supérieure à celle enregistrée par le matériau BP-20. Cette large différence, est due principalement à la renforcé par les fibres Alfa 1%

La figure V.6 représente l'histogramme des différentes valeurs des contraintes des différents bétons polymères testés. Cet histogramme montre que le béton polymère de résine enregistre la plus grande valeur qui est 34.96 MPa

En revanche les **BP-20** présentent des valeurs nettement inférieures et . On peut donc conclure que les **BPR-20** offrent des propriétés mécaniques plus élevées que les **BP-00**.

V.6. Analyse des modules en flexion

Pour évaluer le comportement de béton polymère à différents pourcentages, La figure V.7 et V.8 représentent la variation du module de Young de béton polymère chargé par poudre de brique et renforcé et non renforcé par les fibre de Alfa.

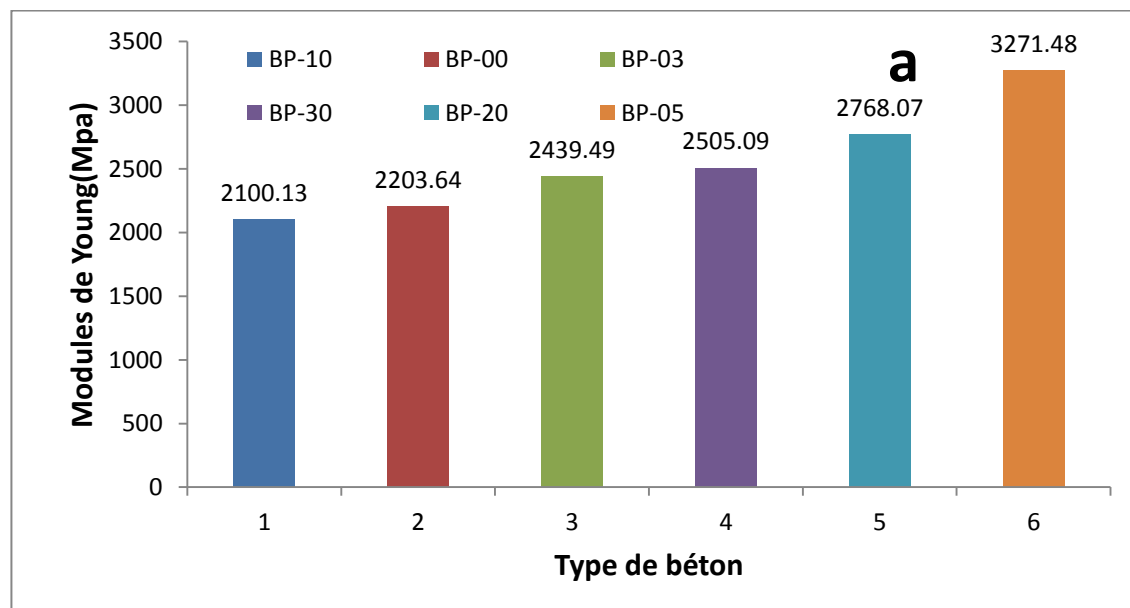


Fig. V.7 : Effet de taux de type béton polymère non renforcé sur la variation de module de Young.

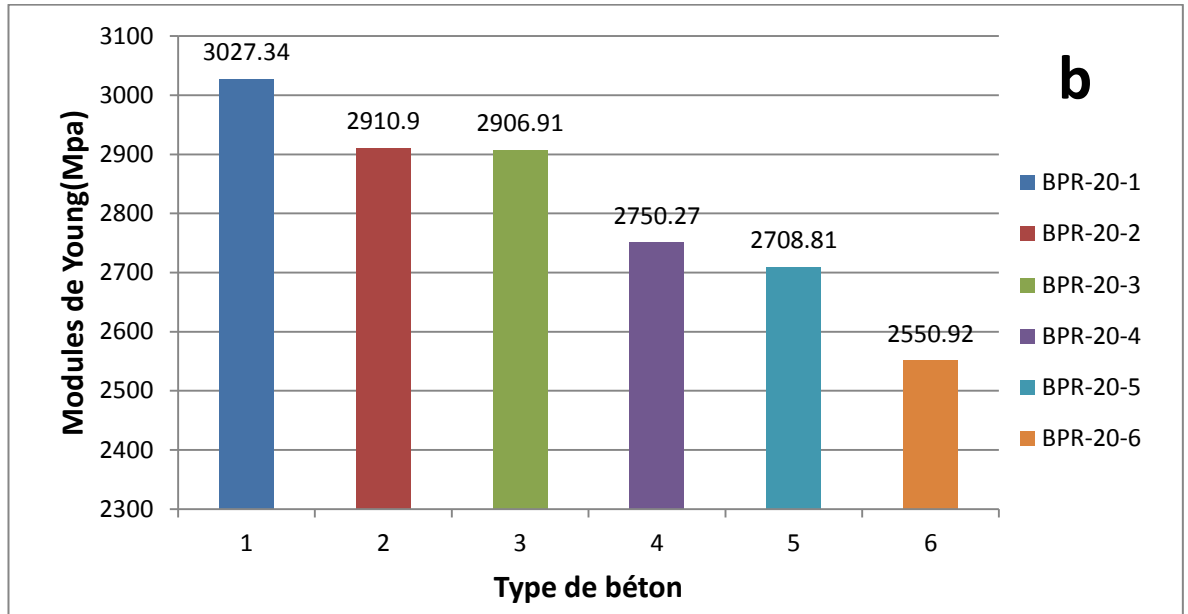


Fig. V.8: Effet de taux de type béton polymère renforcé sur la variation de module de Young.

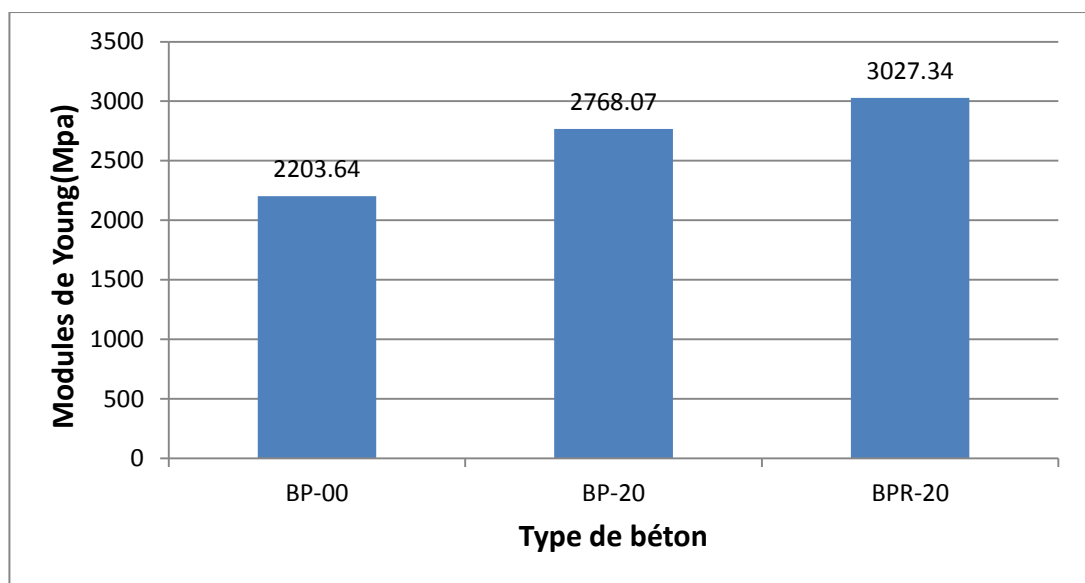


Fig. V.9: Effet de taux de type béton polymère BP-00 et BP-20 et BPR-20 sur la variation de module de Young.

Dans cet histogramme (figure V.9) une comparaison des résultats des tests en flexion trois points, on constate une différence des modules illustrée entre le béton polymère chargé par les filler de brique et non renforcé et renforcé par les fibres de Alfa.

La rigidité des matériaux **BPR-20** est nettement supérieure comparée aux **BP-20** et **BP-00** (2768.07MPa contre 3027.34MPa contre 2203.64 MPa).

V.7. Faciès de rupture des bétons polymères

Dans cette partie seront présentés les résultats morphologiques, et ce, en termes d'état de dispersion et de distribution de la béton polymère charge et non chargé par les filler de brique et renforcé et non renforcé par fibre de Alfa

La figure V.10. montre l'état de dispersion et de distribution de la matrice ; Les faciès de rupture des éprouvettes en flexion trois points des différents matériaux utilisé dans le béton polymère non charge et non renforcé.

Des observations au microscope numérique ont été effectuées sur la formation de BP-00, l'analyse des micrographes figure V.10, confirmé que les vides entre les granulats et la matrice sont réduits clairement faciès de rupture presque similaire porosité réduite.



Fig. V.10: Faciès de rupture : BP-00.

La figure V.11, montre l'état de dispersion et de distribution de la matrice ; Les faciès de rupture des éprouvettes en flexion trois points des différents pourcentages de poudre de brique pour le béton polymère (BP-20, BP-30, BP-10, BP-05, BP-03)

Des observations au microscope numérique ont été effectuées sur les différentes formations de BP-20, l'analyse des micrographes figure V.11, confirmé que les vides entre les granulats et la matrice clairement en augmentation la BP-00 , où nous avons constater des espaces entre la matrice et le charge et granulats.

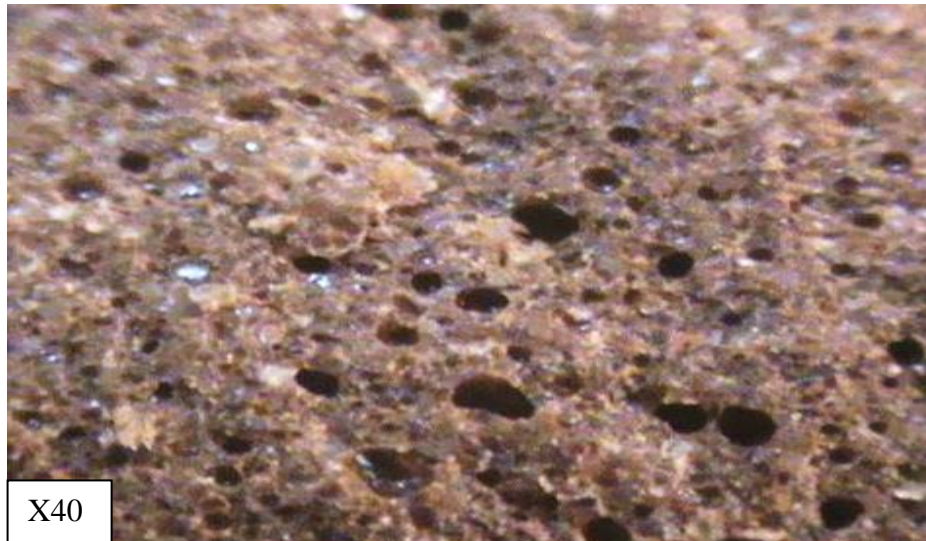


Fig. V.11: Faciès de rupture : BPR-20 (20%brique) non renforcé.

La figure V.12. montre l'état de dispersion et de distribution de la matrice ; Les faciès de rupture des éprouvettes en flexion trois points des différents matériaux utilisé dans le béton polymère. en revanche la photographie des fibres de Alfa non traitée le BPR-20 montre une bonne adhésion fibre/ matrice ,ainsi.

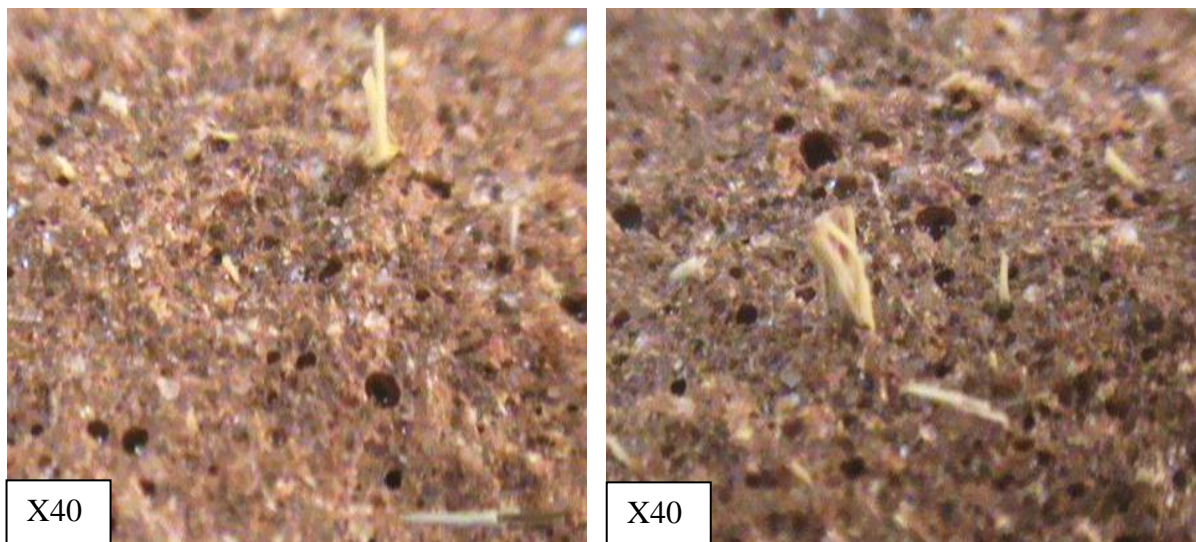


Fig. V.12: Faciès de rupture : BPR-20 (1%Alfa), (20%brique).

Des observations au microscope numérique ont été effectuées sur les différentes formations de BPR-20, l'analyse des micrographes figure V.12, confirmé que les vides entre les granulats et la matrice sont réduits clairement en augmentation le taux de la Béton

polymère chargé par poudre de brique et renforcé par fibre Alfa de BPR-20 , par apport aux BP-20 et BP-00 où nous avons constater des espaces entre la matrice et le renfort.

V.8. Conclusion

L'ensemble des tests réalisés nous ont permis d'aboutir à une étude approfondie sur le comportement béton polymère chargé par filler de brique et renforcé par les fibres Alfa et de conclure que le matériau dans BPR offre des propriétés mécaniques plus élevées que les BP, des points de vue comportement en flexion ainsi que du point de vue rigidité.

Conclusion générale

Le travail réalisé dans ce mémoire a été consacré dans un premier temps à faire une synthèse bibliographique sur les matériaux composites, les bétons polymères et les fibres végétales. Ensuite une étude expérimentale et numérique a été réalisée sur le béton polymère chargé par les fillers de brique et renforcé par fibre Alfa.

Les résultats des tests sur les différentes éprouvettes en bétons polymères renforcés par des fibres végétales et les résultats de ce travail suggèrent que les fibres locales Alfa sont comparables à d'autres fibres naturelles utilisées comme renfort dans des matrices polymériques. Elles sont complètement aptes à l'utilisation comme renfort dans les Bétons Polymères.

D'après l'analyse des résultats de test en flexion trois points sur les différentes éprouvettes en bétons polymères chargés par poudre de brique et renforcés par fibre végétales Alfa, nous avons constaté que le BPR-20 a enregistré la résistance maximale 34.96 MPa par rapport au BP-20 et BP-00, 27 MPa, 31.98 MPa respectivement. D'autre part, dans le cas de composite à ajouter poudre de brique la résistance maximale est obtenue par le matériau BP-20 (32MPa). Ce résultat montre que les bétons polymères chargés par les fillers de brique et renforcés par les fibres Alfa offrent les meilleurs résultats en flexion trois points (34.96MPa). Tandis que les bétons à base de résine et silice (BP-00) enregistrent des résistances inférieures de 33.23% par rapport au BPR-20, justifiées par la différence en nature et la composition de matériaux utilisés.

Le module de Young du matériau BPR-20 augmente par apport. La valeur du module la plus élevée est obtenue par le composite BP-20 (3027.34MPa). Le béton polymère à base de brique chargé par poudre de brique. Le matériau BPR-20 a donné la meilleure valeur en rigidité.

Les résultats de ce travail suggèrent que les fibres locales Alfa sont comparables à d'autres fibres naturelles utilisées comme renfort dans des matrices polymériques. Elles sont complètement aptes à l'utilisation comme renfort dans les Bétons Polymères et les fillers de brique un matériau qui charge bien le béton polymère.

les références bibliographiques

- [1] Zakariya Boufaïda, « *Analyse des propriétés mécaniques de composites taffetas verre/matrice acrylique en relation avec les propriétés d'adhésion des fibres sur la matrice* », thèse de doctorat, l'université de lorraine, France, 2015.
- [2] Laurent Gornet, « *généralité sur les matériaux composites* », école centrale nantes, France, 2001
- [3] Jérémie Aucher, « *étude comparative du comportement composite à matrice thermoplastique ou thermodurcissable* », thèse de doctorat, INSA de Rouen, France, 2009
- [4] Zaidi Ali, « *Etude du comportement de matériaux composites à matrice polymère en fatigue (effet de vieillissement)* », thèse de magister, université mouloud mammeri tizi-ouzou, 2014.
- [5] Ericka JAO JULES, « *Couplages entre propriétés thermiques, réactivité chimique et viscosité des matériaux composites thermodurcissables en relation avec les conditions de leur élaboration fondée sur l'hystérésis diélectrique* », thèse de doctorat, école nationale supérieure d'art et métiers-paris, 2001
- [6] Laarej Merad, « *ETUDE PAR SPECTROSCOPIE RAMAN ET MODELISATION D'UNE RESINE COMPOSITE RTM* », thèse de doctorat, Université de Tlemcen, Janvier 2010.
- [7] Mme MOHAMADI sadiika, « *cour matériaux composites* », 2013 – 2014, université AKLI ohanad Ouclhadje de Bouira.
- [8] Merdas Abde-elghani, « *utilisation du TFC dans la réparation et le renforcement des poutres en BA* », thèse de magister, université des frères mentouri-constantine 2005 .
- [9] Laurent gornet, « *généralités sur les matériaux composites* », 2008.
- [10] Pierre BADEL, « *analyse mésoscopique du comportement mécanique des renforts tissés de composites utilisant la tomographie du comportement mécanique des renforts tissés de composites utilisant la tomographie aux rayons X* », thèse de doctorat, école doctorale mécanique énergétique, génie civil, acoustique (MEGA) 2008.
- [11] Cédric THOMAS, « *étude des mécanismes d'endommagement des composites fibres de carbone / matrice polyamide : application à la réalisation de réservoirs de stockage de gaz* »

les références bibliographiques

sous haute pression de type IV », thèse de doctorat, école nationale supérieure des mines de paris, 2011.

[12] Christophe PARIS, « *étude et modélisation de la polymérisation dynamique de composites à matrice thermodurcissable* », thèse de doctorat, université de toulouse 2011.

[13] Anh Dung Ngo, « *introduction sur les matériaux composites* », *Ecole de technologie supérieure Montréal, Canada, 2013.*

[14] Site d'internet : (<http://www.techniques-ingenieur.fr/base-documentaire/archives-th12/archives-plastiques-et-composites-tiaam/archive-1/charges-a3220/>)

[15] Site d'internet : (<http://www.compositec.com/compositec-promotion/lescharges-et-additifs>)

[16] 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.

[17] Belkacemi Cherifa, « *étude expérimentale du comportement mécanique des stratifiés à renforts en matière végétale* », mémoire magister, université M'Hamed Bouguerra Boumerdes, 2006.

[18]- Bezato Tsaranofy Zita Fredo, « *les palmiers dattiers : étude de la filière, utilisation et diversité variétale* », mémoire DEA, université de Tolirara, domaine biologie végétales, juillet 2013.

[19] Bates.J, « *les fibres naturelles pour les composites* », KU.LEUVEN, octobre 2014.

[20] Yahiaoui Lamia, « *Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (Diss)* », mémoire Magister, Université Ferhat Abbas ,Setif UFAS, 2011.

[21] Bezato Tsaranofy Zita Fredo, « *Les palmiers dattiers: étude de la filière, utilisation et diversité variétale* », mémoire DEA, Université de Tolirara, domaine biologie végétales, Juillet 2013.

[22] CARMA, « *Glossaire des matériaux composites renforcés des fibres d'origine renouvelable* », centre d'animation régional en matériaux avancés, Décembre 2006.

les références bibliographiques

- [23] Daghefel Azzedine, « *Étude du comportement à la rupture du béton polymère renforcé par des fibres végétales* », mémoire master, université de M'sila, juin 2012.
- [24]- Moktari Abdessamed, « *influence des ajouts de fins minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcé de fibre végétales de palmier dattier* », université de Kasdi Merbah Ouargla option génie civil, novembre 2006.
- [25]- Sofien Bouzouita, « *optimisation des interfaces fibre-matrice de composites à renfort naturel* », thèse doctorat, école centrale de Lyon, France, janvier 2013.
- [26]- Rachedi Mokhtar, « *contribution à l'étude de la durabilité de mortier de plâtre base de sable de dune renforcé par des fibres de palmier dattier* », mémoire magister, université Kasdi Merbah, Ouargla, 2013.
- [27] 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.
- [28] Rachid Berbaoui, « *identification et analyse de l'endommagement par fatigue des matériaux granulaire à base polymère* », thèse de doctorat, université du Maine option génie mécanique, janvier 2010.
- [29] Site d'internet : (<http://www.editions-eyrolles.com/Dico-BTP/definition.html?id=1147>).
- [30] 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 EL-Manar, février 2012.
- [31] LakelAdel, « *Évaluation de la dégradation de propriétés et le comportement du béton polymère à renfort de fibres végétales et additifs minéraux* », mémoire master, université de M'sila, Juin 2012.
- [32] Dossier-technique- [*poly composite*]
- [33] L.E. Kukacka, «*Polymerconcretematerials for use in geothermalenergy processes*», Symposium on materials in geothermalenergysystems, Austin, TX, USA ,Brookhaven Nat. Lab.—BNL 24214, pp. 261–284, 1978.

les références bibliographiques

[34] J.M.L Reis, «*Fracture mechanics of polymerconcrete*». PhD. Thesis, Université de Porto, 2003.

[35] Site d'internet <http://www.aac-mo.com/qu-est-ce-que-beton-polymere.html>.

[36] Site d'internet <http://secretscientifique.blogspot.com/2013/09/quest-ce-sable-de-silice.html>

[37] Claude Bathias et Coll, «*Matériaux composites*», Edition paris ,2005-2009, pp 31-72.

[38] Rokbi.M et Osmani.H, « *L'effet des traitements de surface des fibres sur les propriétés mécanique* », Vol 2,P1,P2,congrés francais de mécanique, september 2011.

[39] Site d'internet <https://mur.ooreka.fr/comprendre/brique-creuse>

Annexes

Annexes



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. 6 % 1.5 % MEKP-50
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.

Annexes

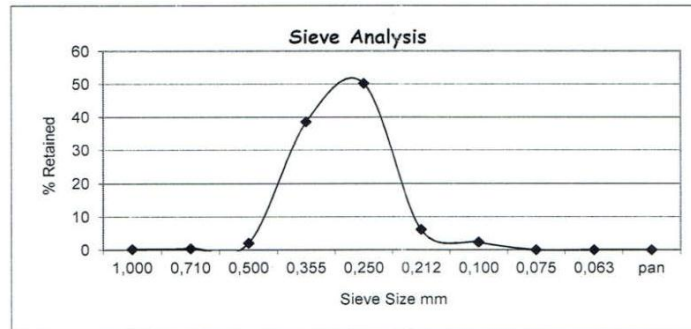
 Spa, Adwan Chemicals. C Algeria	<h2>Bulletin d'analyse</h2>	Doc. Lab. 04
		Version: 00
		Date: 21/11/2010

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	38,57	
0,250	60	50,25	
0,212	70	6,16	
0,100	150	2,31	
0,075	200	0,01	
0,063	230	0,00	
pan		0,00	



Charge de laboratoire

Laboratoire Chimie
 Adwan Chemicals Company SPA
 ALGERIA

Annexe 1 : Fiche technique de sable de silice.

ملخص

الهدف من هذا العمل هو استغلال المواد الطبيعية مثل الالياف النباتية والطوب باستخدامها كتعزيزات ملموسة في الخرسانة البوليميرية لتقليل الاثر البيئي وتحسين السلوك الميكانيكية للخرسانة في الانحناء وضغط وتمزيق

في هذا العمل قمنا بدراسة تأثير إدخال ألياف الحلفاء على الخرسانة البوليميرية بالإضافة الى تأثير الحشوة على مقاومة الخرسانة وأظهرت نتائج الاختبارات على عينات مختلفة من الخرسانة البوليميرية المدعمة بالألياف ان حشوة الطوب داعم قوي للخرسانة البوليميرية مع الياف الحلفاء ولها تأثير كبير على سلوك هذه المواد في الانحناء الثلاثي

نتائج هذه الدراسة تشير الى ان الياف الحلفاء و يمكن مقارنتها مع الالياف الطبيعية الاخرى كتعزيزات في الخرسانة البوليميرية فهي مناسبة تماما لاستخدامها كتعزيز في الخرسانة البوليميرية

المفتاح: التدعيم الياف نباتية، الخرسانة البوليميرية، الياف الحلفاء، الحمولة الطوب

Résumé

L'objectif de ce travail est l'exploitation des matières naturelles telles que les fibres végétales et de briques utiliser le béton armé dans le béton de polymère pour réduire l'impact sur l'environnement et d'améliorer le comportement mécanique du béton en flexion et à la compression et à la déchirure

Dans ce travail, nous avons étudié l'effet de l'introduction des fibres alliées sur le béton de polymère, en plus de l'effet du remplissage de la résistance du béton a montré les résultats d'essais sur différents échantillons de béton polymère renforcé par des fibres que les briques de support de rembourrage solide polymère en béton avec des alliés de fibres et ont un impact significatif sur le comportement de ces matériaux dans le triple pliage

Les résultats de cette étude suggèrent que les alliés de la fibre et peuvent être comparés à d'autres renforcements de fibres naturelles en béton polymère sont parfaitement adaptés à une utilisation en tant que renfort en béton polymère

Clé: Fibres en fibre de végétales, béton polymère, fibres alfa, poudre de brique

Abstract

The objective of this work is the exploitation of natural materials such as plant fibers and bricks use reinforced concrete in polymer concrete to reduce the environmental impact and improve the mechanical behavior of concrete in flexion And compression and tear

In this work we studied the effect of the introduction of alloyed fibers on polymer concrete in addition to the effect of filling the strength of concrete showed the results of tests on different samples of reinforced polymer concrete By fibers that support solid cushioning polymer concrete bricks with fiber alloys and have a significant impact on the behavior of these materials in the triple folding

The results of this study suggest that the alloys of the fiber and can be compared to other reinforcements of natural polymer concrete fibers are perfectly suited for use as a polymer concrete reinforcement

Key: Fibers made of fiberglass, Polymer concrete, Allied fibers, Loaders, Brick