

People's Democratic Republic of Algeria
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Mohamed Boudiaf University of M'sila
Faculty of Technology



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة المسيلة
كلية التكنولوجيا

Département de Génie Mécanique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de :

MASTER

En Génie Civil

Option : Matériaux

Présenté par :

ACHOUR Zineb & AICHAOUI Ferial

Thème

ETUDE DE L'ADHESION FIBRE/MATRICE

DANS UN BETON POLYMERE

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
MAZA Mekki	MCA	Président
RAHMOUNI Zine El Abidine	Professeur	Encadreur
ROKBI Mansour	MCA	Co-Encadreur
TEBBAL Nadia	MCA	Examineur

Année universitaire : 2021/2022

Remerciement :

Le premier remerciement c'est pour dieu qui nous a permis d'être dans cette situation et d'avoir cette formation.

Merci à nos parents pour nous donner toujours un coup de pouce dans nos études.

Merci, « *Pr Rahmouni. Zine El Abiddine* » et « *Dr Rokbi Mansour* » qui ont encadré ce travail, pour leur disponibilité, ainsi que pour leurs soutiens tout au long de la réalisation de ce projet.

Nous remercions les membres du jury **Dr Maza Mekki** et **Dr Tebbal Nadia** d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Nous remercions aussi « *Mr. Baali Brahim* » le directeur de Maghreb pipe qui nous a aidé pendant ce travail et a nous a permis d'avoir toutes les facilités au niveau du laboratoire de *Maghreb Pipe*.

Et toutes mes amies de promotion de spécialité « *Matériaux* ».

Et tous mes enseignants du département de *génie civil*

إهداء

بسم الله الرحمن الرحيم

(الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات)

" لم يبق للأخريين ما يقدمونه لي فان والدي قد فعل كل شيء "

إلى سندي وملجئي الأمان.... وداعمي ومشجعي الدائم حين ينادوني باسمه اسعد وازدهي بأبني ابنته وثمرته....

من رأيت انعكاس نجاحي وفرحتي بريقا في عينيه.

إليك أبي الغالي.

" وإذا رزقت بفرحة.... فابدأ بها مع أمك "

اهدي ثمرة جهدي هذا إلى اعز واغلي إنسانة في حياتي.. التي أنارت دربي بنصائحها وكانت بحرا صافيا يجري بفيض الحب

والبسمة ... إلى من زينت حياتي بضياء البدر وشموع الفرح ... إلى من منحتني القوة والعزيمة لمواصلة الدرب ... وكانت

سببا في مواصلة دراستي ... إلى من علمتني الصبر والجهاد ... إلى الغالية على قلبي.

إليك أمي حبيبتي.

إلى توأم روحي ورفيقة دربي والغالية على قلبي. أختي التي لم تنجها أمي. إلى من كانت سري وملجئي. إلى من كانت معي طول هذه

السنين حلوها ومرها.

إليك صديقتي سامية شادي.

إلى من رافقتني وجاهدت لإنجاز وإنهاء مذكرتنا ... إلى من سهرت وتعبت معي حتى وصلنا إلى هنا.

إليك زميلتي زينب عشور

اهدي هذا العمل إلى عائلتي وكل من دعمني ووقف بجانبني ... إلى كل الأشخاص الذين احمل لهم الحب والتقدير

" إلى كل من نسيه القلم وحفظه القلب".

إليك أنت أيها القارئ.

فريال عيشاوي

إهداء

الحمد لله الذي رأى جهدنا واجتهادنا، الحمد لله الذي رأى إسرارنا وعزومنا، الحمد لله الذي نسخ في صدورنا بضع من آياته لتكون يسرا وتيسيرا، الحمد لله الذي من علينا بفضلته وبحسن جواره وعفوه، الحمد لله الذي أنار بصيرتنا ورزقنا درجات علم وزادنا بفضلته طريقا إلى الجنة لقوله صلى الله عليه وسلم (من سلك طريقا يبتغي فيه علما سلك الله به طريقا إلى الجنة). الحمد لله حمدا كثيرا طيبا مباركا فيه وصلى الله على خير خلق الله محمد صلى الله عليه وسلم.

إلى من لم يشاهد درجاتي وشهاداتي، إلى من لم يرى أول أيام دراساتي، إلى من لم يفارق دعواتي إلى من سرقتة الحياة مني، إلى سندي إلى جزء من روحي إلى أبي.

إلى من كانت الأم والأب، إلى من تحملت الشقاء والتعب إلى من أوصاني الله بها، إلى من قال عنها النبي الجنة تحت اقدامها، إلى عزي وافتخاري، إلى مصدر قوتي، إلى من بأحضانها نلت شهاداتي إلى حبيبي أمي.

إلى من شددت بهم أزري إلى ما دعي به موسى ربي، (أشدد به أزري وأشركه في أمري)، إلى من قال فيهم عز وجل (سنشد عضدك بأخيك) إلى النعمة والعوض والسند: عبد المالك، مفيد، عمار، عبد الوهاب، فاتح، لحسن، بلال.

إلى ونيساتي: نوال، حنان، بسمة، شافية، أحلام يسرى، دنيا.

إلى عائلتي، إلى أصدقائي: داوود ونافع إلى صديقاتي: سلسبيل، نسرين، أمينة، وفاء، خليصة، ريان، فيروز، سهام، إيمان، سعاد، ياقوت.

إلى زميلتي في هذا العمل: فريال.

إلى شخصي المفضل

عاشور زينب

Sommaire :

Remerciement :	2
List des tableaux :	8
Liste des figures :	9
List des abréviations:	11
Introduction Générale :	1
Chapitre I :Généralités sur le béton polymère	2
I.1. Introduction :	2
I. 2. Définition du béton polymère:	3
I. 3. Composition principale d'un béton polymère:	3
I.4. 2.caractéristiques mécaniques d'un béton polymère :	5
I.4. 3.Caractéristique hydrauliques d'un béton polymère.....	5
I.4. 4. Caractéristiques chimiques d'un béton polymère:.....	5
I. 5. Principaux avantages et les inconvénients du béton polymère :	5
I. 5. 1. Les avantages d'un Béton polymère :	5
I.5.2. les inconvénients d'un béton polymère :	5
I.6. La comparaison entre un béton polymère et un béton ordinaire :	6
I.7. Les différentes applications d'un béton polymère :	7
I.7.1. Utilisation des bétons polymère dans les bâtiments domaine de génie civil : [9]:.....	7
I.7.2. Utilisation du béton polymère dans les travaux de drainage et hydrauliques: [9]:.....	7
I.7 3. Utilisation des béton polymère dans l'agriculture et l'horticulture.....	8
I.7.4. Utilisation des bétons polymère pour le revêtement des chaussés et planchers :	8
I.7.5. Utilisation des béton polymère dans l'industrie :	9
I.7.6. Utilisation des bétons polymère comme isolant phonique :	10
I.8. Conclusion:	10
Référence:	11
II.1. Introduction:	12
II .2.Notion d'adhésion:	12
II .3.Théories de l'adhésion:	13
II .3.1.Théorie mécanique:	13
II.3.2. Théorie thermodynamique ou mouillage:.....	14
II.3.3.Théorie électrostatique:.....	14

II.3.4. Théorie de la diffusion :.....	14
II.3.5. Théorie chimique:.....	14
II.4. liaison des interfaces des fibres / matrice:	15
II.4.1. Enchevêtrement moléculaire et inter diffusion:.....	15
II.4.2. théorie Reaction chimique:	15
II.4.3. théorie des Attraction électrostatique :.....	16
II.4.4. Théorie Emboîtement mécanique :.....	16
II.5. Caractérisation de l'adhésion, de l'interface et des surfaces :.....	17
II.5.1. Les techniques microscopiques:.....	17
II.5.2. Autres techniques de caractérisation:.....	17
II.6. Méthodes d'optimisation de l'interface fibres/matrice :	18
II.6.1. Méthodes de modification par voie physique:.....	18
II.6.1.1. Traitement Chimique:.....	19
II.6.1.2. Traitement au silane:.....	19
II.6.1.3. Traitement au permanganate:.....	20
II.6.1.4. Traitement aux anhydrides:.....	20
II.6.1.5. Traitement à la soude:.....	21
II.7. Comportement de l'interface fibre-matrice dans les composites :.....	21
II.7.1. Généralité:.....	21
II.8. Conclusion:	22
Référence :	23
Chapitre III : Généralité sur les fibres végétales	25
III. 1. Introduction:	25
III.2. Définition de la fibre végétale :	25
III.3. Classification des fibres végétale :	26
III.4. Structure d'une fibre végétale :	26
III.5. Composition chimique des fibres végétales :	27
III.5.1 La cellulose :.....	28
III.5.2. Hémicelluloses :.....	28
III .5.3. La lignine :.....	29
III.6. Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales :	30
III.7. Avantages et inconvénients des fibres végétales.....	30
III.8. Présentations des différentes fibres végétales:	31
III .8.1. Le chanvre :.....	31
III .8.2. Le lin :	32
III .8.3. L'abaca: :	33
III .8.4. Le Kénaf : :	33
III .8.5. Le jute :	34

III .8.6.LE SISAL :	34
III .8.7.La ramie :	35
III .8.8.Le coco :	35
III .8.9.Alfalfa :	36
III .9.L'utilisation du domaine de génie civil	36
III .10.Conclusion:.....	36
Référence.....	37

Chapitre IV:Matériaux et techniques expérimentales

IV. 1. Introduction :.....	38
IV .2. Caractéristique principales pour chaque matériau utilisé :.....	38
IV .2.1. Silice :.....	38
IV .2.2.Résines :.....	39
IV.2.2.1. Caractéristiques des résines polyester :.....	39
IV. 2.2.2. Avantages et inconvénients de l'utilisation de la résine polyester:.....	40
IV .2.2.3 Test de réactivité (temps de gélification) :.....	41
IV.2.3. Fibres d'Alfa :.....	42
IV. 2.3.1.Traitement thermique des fibres Alfa :.....	42
IV.2.3.2.Traitement chimique des fibres :.....	43
IV .2. 3.3 Longueur choisi pour fibers Alfa :.....	44
IV.3.Technique de moulage :.....	45
IV .3.1.Préparation des moules utilisées :.....	45
IV.3.2.Elaboration des éprouvettes en béton polymères :.....	45
IV .3.3.Le traitement thermique du béton polymère élaboré :.....	48
IV.4.Essais mécaniques appliqués sur le béton polymère renforcé et non renforcé :.....	48
IV.4.1.Essai de flexion trois points (FTP) :.....	48
IV .5.Conclusion:.....	50
Référence :.....	51

Chapitre V: Résultats et discussions

V.1.Introduction.....	51
V.2.Propriétés mécanique des Bétons Polymère en flexion trois points :.....	51
V.2.1. Analyse des courbes la charge -déformation des bétons polymères :.....	53
V.2.2. Analyse des courbes contrainte-déformation des bétons polymères :.....	53
V .2.3. Analyse des courbes effet de longueur :.....	54
V .2.4. Analyse des courbes effet de Traitement :.....	55
V.3. conclusion:.....	55
Référence:.....	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion générale :.....	52

List des tableaux :

Tableau I.1: Propriétés mécanique de différents types de béton polymère et béton de ciment.....	6.
Tableau. IV.1: Propriétés usuelles de fibres végétales.....	30
Tableau. IV.2 : Différentes caractéristiques de la résine polyester.....	40.
Tableau. IV.3 : taux de chaque composante en utilisant de fibre alfa.....	46
Tableau. IV.4 : Taux de chaque composante.....	47

Liste des figures :

Figure. I. 2: béton polymère.....	3
Figure. I. 3: Mise en ouvre d'une plaque de béton polymère.....	4
Figure. I.4: Façades et marches d'escalier en béton polymère.....	7
Figure .I.5: caniveaux en béton polymère pour le drainage.	8
Figure. I. 6: Bacs de fleurs par béton polymère.	8
Figure.I.7: pont de Brooklyn à New York.....	9
Figure. I. 8: Ouelque application de bétons polymère(industrie).....	9
Figure .II.9: Enchevêtrement moléculaire(kim et Mal,1998).....	15
Figure. II. 10: Réaction chimique entre les groupes A sur une surface et groupes B sur l'autre.....	15
Figure .II.11: Attraction électrostatique (kim et Mal, 1998).....	16
Figure .II.12: Emboîtement mécanique (kim et Mal,1998).....	16
Figure. II. 13: Modification chimique de la cellulose pour comptabilisation avec la matrice P.....	20
Figure. II. 14: Paramètres qui conditionnent les performances d'un composite.	22
Figure.II. 15: Paramètres qui conditionnent d'un composite.	22
Figure .III.16: origine de la fibre végétale.	25
Figure .III.17: structure des fibre végétales.	27
Figure .III.18: reprérentation schématique d'une fibre de bois.....	27
Figure .III.19: structure d'hémicellulose.	29
Figure .III.20: constituants de la lignine.	29
Figure. III. 21: plante de chanvre et les fibre de chanvre.	32
Figure.III. 22: fibre de lin.....	33
Figure. III. 23: fibre de l'abaca.....	33
Figure .III.24: fibre de Kénaf.....	34
Figure .III.25: fibre de jute.....	34
Figure .III.26: fibre de sisal.....	35
Figure.III. 27: fibre dérame.....	35
Figure.III. 28: fibre de coco.	36
Figure .III.29: la plante et les fibres l'alfa.	36
Figure .IV.30: Cycle de polymérisation de résine polyester.	40
Figure. IV. 31: test de réactivité de le résine.....	41
Figure .IV.32: préparation de la fibre Alfa.....	42
Figure. IV. 33: Etuve de séchage à 70°C.	43
Figure. IV 34: traitement de fibre alfa par NaOH.....	43
Figure. IV. 35: traitement d'alfa par H ₂ SO ₄ pour éliminer les traces deNaOH.....	44
Figure .IV.36: la fibre alfa découpées en différentes (1cm ,3cm et5cm).	44
Figure. IV. 37: moule utilisé pour éprouvettes lisses de BP.....	45
Figure. IV. 38: Etapes de moulage de béton polymère par contact.....	47
Figure. IV. 39: Eprouvettes lissés en BP.....	48
Figure. IV. 40: Essai de FTR (YT testage Machines/20KN).....	49
Figure. IV. 41: Essai de FTR sur des éprouvettes lissées en BP.	49

Figure. V.42 : principe de sollicitation de l'éprouvette en flexion trois points (FTP).....	51
Figure. V.43 : Evolution de la charge en fonction la déformation du composite béton polymère.....	52
Figure. V. 44 : Superposition des évolutions de la contrainte en fonction de déformation des types du Béton polymère non renforcé.....	53
Figure. V.45 : Superposition des évolutions de la contrainte en fonction de déformation des types du Béton polymère non renforcé.....	54
Figure. V.46 : Effet de traitement chimique (3% NaOH) sur la contrainte du BP.....	55.

List des abréviations :

BP : Béton Polymère

BP0000 : Béton Polymère non renforcé.

BP0003 : Béton polymère non renforcé à de fibre alfa 3cm.

BP0001 : Béton polymère noue renforcé à de fibre alfa 1cm.

BP0013 : Béton polymère non renforcé à de fibre alfa 1cm et 3cm.

BP0313 : Béton polymère renforcé par 3%(NaOH) à de fibre alfa 1cm et 3cm.

BP0315 : Béton polymère renforcé par 3%(NaOH) à de fibre alfa 1cm et 5cm.

Résumé :

L'objectif de ce travail, c'est la valorisation des ressources naturelles telles que les fibres végétales en les utilisant comme renfort du béton polymère. Pour réduire l'impact environnemental et améliorer le comportement mécanique du béton à la flexion.

Dans ce travail, nous avons étudié l'effet de l'introduction des fibres d'Alfa dans un béton polymère. Ainsi que l'influence du traitement chimique par 3% de NaOH. Les résultats des tests sur les différentes éprouvettes en bétons polymères renforcés par ces fibres, montrent que la solution NaOH a un effet significatif surtout sur le comportement à la flexion trois points.

Les résultats de ce travail suggèrent que les fibres d'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.

Mots clés : renforcement, fibres végétales, traitement chimique, béton polymère, fibres d'Alfa.

Abstract:

The objective of this work is the valorization of natural resources such as vegetable fibers using them as reinforcement of the polymer concrete. For reduced environmental impact and improve the mechanical behavior of concrete in bending,

In this work, we studied the effect of the introduction of fibers of Step Tenacissima in a polymer concrete. Thus, the influence of chemical treatment with 3% NaOH. The results of tests on different test specimens concrete these fibre-reinforced polymers show that the NaOH solution at a significant impact especially on bending behavior three points. The results of this work suggest that they are comparable with other natural fibers used as reinforcement in polymeric matrices. They are completely stables for the use as reinforcement in concrete polymers.

Keywords: rein forcemeat, vegetables fibers, chemical treatment, concrete polymer, Step Tenacissima fibers.

ملخص :

الهدف من هذا العمل هو استغلال المواد الطبيعية مثل الألياف النباتية كتعزيزات ملموسة في الخرسانة البوليميرية، لتقليل الأثر البيئي، وتحسين السلوك الميكانيكية للخرسانة في الانحناء.

في هذا العمل قمنا بدراسة تأثير ادخال ألياف الحلفاء على الخرسانة البوليميرية بالإضافة إلى ذلك تأثير المعالجة ب3% من هيدروكسيد الصوديوم وأظهرت نتائج الاختبارات على أن عينات مختلفة من الخرسانة البوليميرية المدعمة بالألياف أن محلول هيدروكسيد الصوديوم له تأثير كبير على سلوك هذه المواد في تجربة الانحناء

نتائج هذه الدراسة تشير إلى أن ألياف الحلفاء يمكن مقاومتهم مع الألياف الطبيعية الأخرى المستخدمة كتعزيز في الخرسانة البوليميرية مناسبة تماما لاستخدامها كتعزيز في الخرسانة البوليميرية

المفاتيح: التدعيم، ألياف نباتية، معالجة الكيماوية، الخرسانة البوليميرية، ألياف الحلفاء

Introduction Générale :

Le béton polymérique a été introduit en 1950 et est devenu courant à la fin des années 1970. C'est un type de béton, dans lequel les polymères sont utilisés comme matériau de liaison au lieu du ciment. Le ciment à chaux est remplacé dans ce type de béton, les résines polymères sont utilisées avec ou sans ciment Portland, si le béton polymère est uniquement fait de résines polymères

L'utilisation du béton polymère est l'intérêt pur de nombreux chercheurs, ces matériaux prospèrent dans de nombreux secteurs d'activité tels que l'industrie automobile, l'aviation, l'industrie militaire. Le béton polymérique est utilisé efficacement en raison de sa résistance élevée et la légèreté du poids. Ce béton a une plus grande résistance mécanique et une meilleure résistance aux ressources chimiques. C'est ce dont on parlait au **chapitre I**.

Dans le deuxième chapitre, nous avons présenté les différents aspects physico-chimiques qui apparaissent sur les fibres et leur effet sur celles-ci, ainsi que décrit les voies d'amélioration des composés polymériques. Malgré leur diversité, notre objectif principal est d'augmenter l'affinité entre les composés et de vérifier l'efficacité de ce traitement et l'améliorer en termes de compatibilité des composants de la matrice fibreuse.

Dans le **chapitre III**, nous avons abordé une série de fibres végétales qui devraient jouer un rôle important dans l'industrie future, en particulier dans le domaine de la construction, peuvent être classées selon plusieurs critères, leur nature chimique, leur longueur et leur source.

La composition chimique de tout type de plante varie d'un type à l'autre en fonction de l'âge, des conditions climatiques, de la qualité, de la nature et de la méthode d'extraction.

Dans le **chapitre IV**, nous avons présenté une étude pilote et une explication de toutes les mesures prises pour préparer les fibres végétales et des méthodes utilisées pour les transformer. Nous avons également discuté de la façon de fabriquer du béton polymérique, des protocoles et des exigences d'essai.

Le **chapitre V** présente les résultats empiriques obtenus avec les explications nécessaires et enfin une conclusion générale et quelques perspectives pour les travaux futurs.

Chapitre I :

Généralités sur le béton polymère

Chapitre I : Généralités sur le béton polymère

I.1. Introduction :

Le béton polymère (BP) est un matériau fabriqué en remplaçant totalement ou partiellement le ciment par un polymère. La recherche et le développement des bétons et mortiers polymères ont connu un grand essor dans différents pays occidentaux depuis les années 1980. Comme le remplacement du ciment Portland par un polymère entraîne une augmentation sensible du coût du béton, il ne faudrait le faire que si l'on recherche des caractéristiques supérieures, si le coût de la main d'œuvre est moins élevé ou si les besoins en énergie lors de la fabrication et de la mise en œuvre sont moindres. Actuellement, le BP est utilisé très efficacement de par sa résistance élevée et sa légèreté, en éléments préfabriqués dans le bâtiment, pour les tabliers de pont, pour les conteneurs de déchets dangereux, pour bases de machines industrielles, pour la fabrication des carreaux de planchers en marbre synthétique et les panneaux d'escaliers, des plaques et panneaux de parements de diverses structures, d'appuis de fenêtre. [1]

Béton de polymère est l'objet d'un intérêt croissant de recherches dû à sa large gamme d'applications possibles notamment dans la construction civile. Cette classe de matériaux est constituée d'un liant de polymère, parfois thermoplastique mais généralement thermodurcissable, et d'une charge minérale comme le gravier ou la pierre concassée et du sable. Les résines les plus généralement utilisées sont les polyesters, Poly (méthane- acrylates de méthyle), et les époxydes. Comparativement au béton de ciment Portland, le béton polymère possède une plus grande résistance mécanique, résiste mieux aux produits chimiques et aux agents corrosifs, absorbe moins d'eau et présente une plus grande stabilité aux cycles gel-dégel. La connaissance du comportement de ces matériaux en statique ne suffit pas et son développement nécessite des informations complémentaires sur son comportement sous des charges importantes et sur de longues durées de (figure. I.1). [2].

Chapitre I : Généralités sur le béton polymère

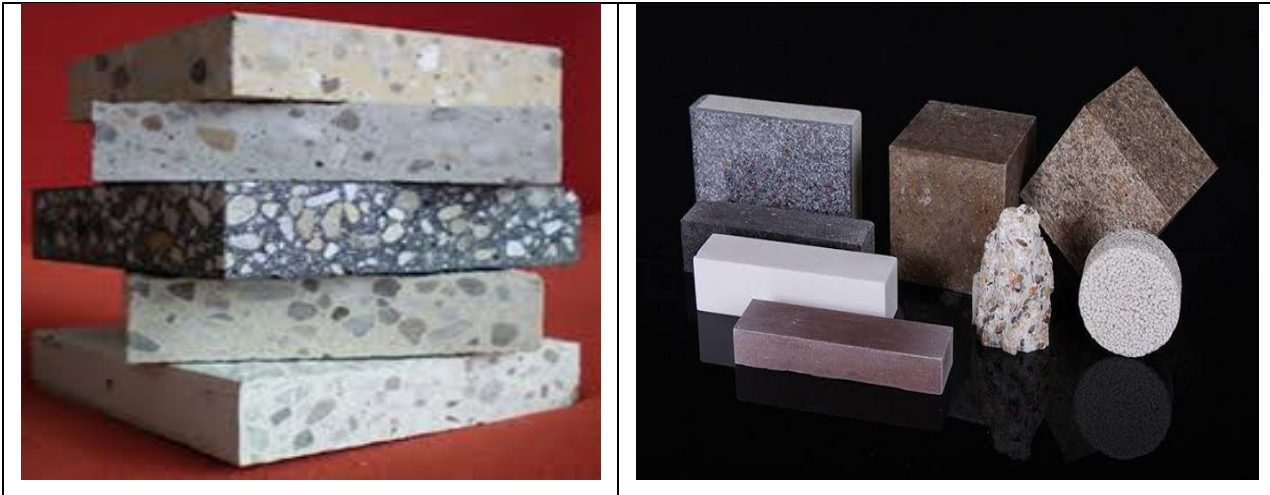


Figure. I. 1: béton polymère

I. 2. Définition du béton polymère : [3].

Le béton polymère est un matériau composé de différents types d'agrégats. Ces derniers sont liés par des résines de polyester pour assurer la solidité de chaque réalisation [3].

Cette combinaison se complète, pour les bétons préfabriqués, d'agrégats de silice, de quartz et de résines de polyester stable [3].

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

Le béton polymère n'est pas un béton traditionnel, bien que certains matériaux ont en commun. Il est utilisé pour des projets de construction tels que le traditionnel, mais les composants polymères de nous donner plusieurs caractéristiques qui le rendent plus sûr et plus durable que le béton ordinaire. Le polymère a tendance à être plus cher que d'habitude est mesurée et plus précisément en termes de densité et de retrait [3].

I. 3. 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 [9].

- **La résiné (matrices):**

Les polymères sont des structures qui ont souvent une structure linéaire ou tridimensionnelle , consistant en la séquence contributive de plusieurs monomères appelés monomères qui possèdent une ou plusieurs fonction chimique susceptibles d'être réactives .

Chapitre I : Généralités sur le béton polymère

Les polymères peuvent être fabriqués à partir d'un type de monomère (c'est ce qu'on appelle le polymère homogène tel que : polystyrène). Le polymère peut être naturel ou composé chimique [9].

- **Les agrégats :**

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 [5].à (figure. I.2).

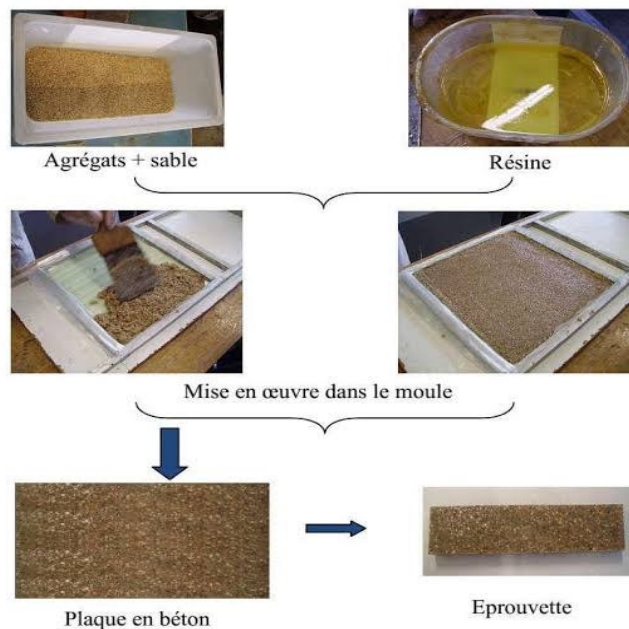


Figure. I. 2: Mise en œuvre d'une plaque de béton polymère

I.4. Les caractéristiques principales des bétons polymères:

I.4.1. Caractéristiques physiques d'un béton polymère:

Le béton polymère présente les caractéristiques physiques suivantes [7] :

- Absorption d'eau: 0,2 %.
- Coefficient d'écoulement: 108 moneys.
- Résistance au gel: Inaltéré.
- Densité: 2, 1.
- Micro porosité d'un béton polymère: 25 μm .

Chapitre I : Généralités sur le béton polymère

I.4. 2. caractéristiques mécaniques d'un béton polymère :

Le béton polymère représenté les caractéristiques suivantes [7]:

- 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.

I.4. 3. Caractéristique hydrauliques d'un béton polymère: [7]

- Excellent coefficient d'écoulement (offrant 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.

I.4. 4. Caractéristiques chimiques d'un béton polymère: [7]

- Résistance aux agressions des effluents sans aucun traitement (PH 1 à 14).
- Résistance aux hydrocarbures.
- Résistance aux produits chimiques.

I .5. Principaux avantages et les inconvénients du béton polymère : [8]

I .5. 1. Les avantages d'un Béton polymère : [8]

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;
- 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;

I.5.2. les inconvénients d'un béton polymère : [8]

- Le coût de la matière première (principalement le liant) est plus élevé (jusqu'à 8 fois Comparé à celui des bétons hydrauliques.

Chapitre I : Généralités sur le béton polymère

- 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.

I.6. La comparaison entre un béton polymère et un béton ordinaire :

Il existe une différence entre le béton polymère et le béton ordinaire, comme indiqué dans le (Tableau)

Tableau I. 1: propriétés mécanique de différents types de béton polymère et béton de ciment[6] suivant:

Type de liant	Poly méthacrylate de méthyle	Polyester	Époxyde	Résine franque	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
V	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

Chapitre I : Généralités sur le béton polymère

I.7. Les différentes applications d'un béton polymère :

I.7.1. Utilisation des bétons polymère dans les bâtiments domaine de génie civil :

[9]:

- BP est principalement utilisé dans la production de marbre artificiel.
- Enrichir l'industrie de la façade en utilisant BP comme matériau de revêtement et ainsi influencer la conception des façades, notamment avec la complexité croissante de ces dernières formes du point de vue des technologies architecturales et économiques.
- Une excellente alternative à la roche naturelle pour la fabrication d'éléments tels que : plinthes, appuis de fenêtre, marches, établis et dessus de table...etc. (figure. I.3)



Figure. I.3:Façades et marches d'escalier en béton polymère.

I.7.2. Utilisation du béton polymère dans les travaux de drainage et hydrauliques :

[9]:

- Utilisation de BP pour la fabrication de divers systèmes de drainage et réseaux de canalisations.
- Faible absorption d'eau et congélation exceptionnelle.
- L'accessibilité de ces éléments fabriqués à une épaisseur de 15 mm.
- Perte de poids de 1/3 par rapport au béton de ciment. (figure.I.4):

Chapitre I : Généralités sur le béton polymère



Figure .I.4:caniveaux en béton polymère pour le drainage.

I.7 3. Utilisation des béton polymère dans l'agriculture et l'horticulture :[9]

- Utilisation de BR pour fabriquer des réservoirs à fourrage pour les élevages porcins et bovins.
- Utilisation de BR pour créer de petites formes pour les semis, de (figure. I.5).



Figure. I. 5:Bacs de fleurs par béton polymère.

I.7.4. Utilisation des bétons polymère pour le revêtement des chaussées et planchers : [9]

- Les expositions qui surviennent dans les installations industrielles de manière continue aux travaux mécaniques permanents effectués par les machines de transmission et les vibrations. La corrosion et l'impact de facteurs chimiques (acides, graisses, huiles, etc.), qui affectent la qualité de la surface et cela peut endommager les surfaces non protégées, ce qui conduit à la rupture du béton.

Chapitre I : Généralités sur le béton polymère

- Dans les zones où les écarts de température sont importants, l'eau qui pénètre dans le béton gèle et gonfle, générant des pressions qui entraînent la rupture du béton.
- Quant au sol, le mouvement intense des véhicules lourds réduit considérablement le temps de freinage et entraîne l'érosion de la surface en béton et donc une augmentation des accidents de la route. Un exemple bien connu de l'utilisation réussie du BR pour protéger les surfaces de réparation des routes est le pont de ((Brooklyn à New York)) (Figure .I .6)



Figure.I.6:pont de Brooklyn à New York

I.7.5. Utilisation des béton polymère dans l'industrie : [9]:

- Il est fortement recommandé d'utiliser le béton polymère dans la construction d'usines chimiques et dans la fabrication d'équipements miniers (électrolytique, réservoirs, puits.....etc
- L'introduction d'éléments BP porteurs renforcés pour soutenir les salles de bain (Figure I.7)



Figure. I. 7:Ouelque application de bétons polymère(industrie).

Chapitre I : Généralités sur le béton polymère

I.7.6. Utilisation des bétons polymère comme isolant phonique : [9]:

- Systèmes d'insonorisation intégrés (écrans acoustiques sur l'autoroute).
- Être représenté par une bonne résistance mécanique, sous l'influence des vents violents, antibruit et anti-conflit par des facteurs communs. (Figure. I.8)



Figure.I: Quelque application du polymère pour l'isolation.

I.8. Conclusion :

D'après les résultats précis dans ce chapitre, on peut dire que le béton polymère possède de bonnes propriétés mécaniques par rapport au béton ordinaire, ce qui permet sa polyvalence dans le domaine du génie civil.

Chapitre I : Généralités sur le béton polymère

Référence:

- [1] Naziia Zanache (étude statistique et Caractérisation Mécanique des Béton polymère sollicités en flexion(S06). Submitted on 24 NOV 2021.
- [2] Rachid Berbaoui (contrôle de santé de béton polymère en fluage par emission acoustiqu). Submitted on 2 Jan 2011.
- [3] Hanane, L. A. T. E. L. L. I. Etude du comportement mécanique du béton polymère renforcé par des fibres végétales et déchets minéraux. Diss. UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA, 2017.
- [5] Benkerrouche Alaa Eddine, Ourida Mohammed (formulation et caractérisation d'une béton polymère renforcé par des fibres végétales et filler de brique), mémoire master, université de M'sila ,01 JUIN 2017.
- [6] Rachid Berbaoui (identification et analyse de l'endommagement par fatigue des matériaux granulaires à base polymère), thèse de doctorat, université du Maine, 21 Janvier 2010.
- [7] Omri iman Yasmina (l'effet du traitement des fibres naturelles sur l'endommagement d'un béton polymère
- [8]: Cherchari, Saadia. Étude comparative du comportement d'un béton polymère à matrice organique thermodurcissable et thermoplastique. Mémoire de Master. Université Mohamed Boudiaf-M'sila, 2016.
- [9] Oussama Elalouf, (optimisation de la formulation et de tenue aux hautes températures d'un béton à base d'époxyde) , thèse doctorat , université de Tunis El-Manar , février 2012.

Chapitre II :

Adhésion Matricielle (fibre/matrice)

Chapitre II :Adhésion Matricielle (fibre/matrice)

II.1. Introduction :

Dans tout matériau composite, il est préférable que la matrice et le renfort soient compatibles et aient des propriétés complémentaires. Comme les fibres naturelles sont rarement compatibles avec les résines thermoplastiques, des modifications de l'un ou de l'autre voire des deux composants s'avèrent nécessaires. Généralement, les modifications portent plus sur les fibres que sur la matrice. Ces différents traitements apportent le plus souvent des propriétés assez avantageuses aux fibres naturelles (propriétés barrières, énergie de surface abaissée, etc.) et permettent d'établir quelquefois de véritables liaisons covalentes entre fibres et matrice.

Dans ce qui suit, nous présenterons une description des différentes méthodes de modifications de surface du renfort fibreux. Nous examinerons leurs principaux effets physico chimiques ainsi que leurs apports sur les propriétés physico mécaniques et thermiques du matériau composite final. Avant de détailler ces traitements, nous aborderons les principaux aspects liés aux notions d'adhésion. Enfin, nous mettrons l'accent sur la nature du traitement choisi et utilisé au cours de ce travail.

II .2. Notion d'adhésion :

La notion d'adhésion ne peut être dissociée de la nature des surfaces impliquées. D'une manière générale, une mauvaise adhésion provient des propriétés antagonistes de la surface des composés associés.

L'adhésion est un phénomène complexe qui consiste en la formation d'un contact interracial au niveau moléculaire entre les différents composés. Les molécules se déplacent ensuite pour atteindre l'équilibre d'adsorption en formant des liaisons physiques, plus ou moins fortes selon leur nature et/ou réagissent chimiquement pour former des liaisons covalentes. L'adhésion est donc affectée par des phénomènes de mouillabilité, de diffusion, d'adsorption, de réactivité chimique et elle peut aussi être d'origine mécanique. En effet, la surface conditionne fortement les possibilités de liens chimiques ou mécaniques à l'interface entre des matériaux. L'interface peut prendre différentes formes et conduire au concept d'interphase, l'interphase étant une zone plus ou moins large entre les deux adhérents, dans laquelle il existe un gradient de concentration de propriétés des deux composants [1] .

Chapitre II :Adhésion Matricielle (fibre/matrice)

II .3. Théories de l'adhésion :

Les mécanismes par lesquels deux matériaux solides sont maintenus ensemble par un contact interracial intime ont été étudiés depuis de nombreuses années. Différentes théories ont été proposées afin d'expliquer la nature des forces et/ou interactions mises en jeu lors du processus d'adhésion, mais aucune de ces théories n'est capable à l'heure actuelle, d'expliquer de façon satisfaisante tous les cas rencontrés. On trouve dans la littérature [2] des synthèses de diverses théories qui montrent la complexité des phénomènes mis en jeu. D'après ces travaux, on peut citer les différentes théories :

- mécanique
- thermodynamique ou mouillage
- électrostatique
- chimique
- de la diffusion
- rhéologique

Toutefois, dans le cadre de notre travail, qui consiste à rendre compatibles fibres naturelles/matrice thermoplastique, nous présentons une description des théories les plus adaptées à nos systèmes.

II .3.1. Théorie mécanique:

Cette théorie a été proposée en 1925 par MC Bain *et* Hopkins [3] dont les travaux traitaient principalement le collage du bois. L'adhésion y est assurée par un ancrage mécanique du polymère qui pénètre dans les microcavités et irrégularités de surface du substrat avant la solidification. Un bon ancrage mécanique nécessite un choix judicieux de la rugosité de surface et dépend à la fois de la viscosité de l'adhésif et de la mouillabilité du substrat. Une bonne affinité adhésif/surface du substrat limite la formation de défauts liés à de l'air piégé.

Chapitre II :Adhésion Matricielle (fibre/matrice)

II.3.2. Théorie thermodynamique ou mouillage :

C'est le modèle le plus utilisé dans l'approche des phénomènes d'adhésion. Il considère que les interactions interatomiques et intermoléculaires faibles constituent la base de l'adhésion. D'une manière générale, on considère que l'adhésion est assurée à l'échelle moléculaire par des interactions de type Van der Waals (essentiellement dispersives) et des interactions polaires, acide- basiques, ... (non dispersives). Par conséquent, le processus d'adsorption et les forces de surface (responsables de l'énergie libre de surface) influent directement sur le travail thermodynamique d'adhésion.

II.3.3. Théorie électrostatique:

Cette théorie suppose qu'un transfert d'électrons se produit à l'interface adhésif/substrats que l'on assimile à un condensateur. L'adhésion serait due à l'existence des forces attractives à travers la double couche électrique. Ce modèle reste adapté à des interfaces spécialisées (métaux) et ne fait pas l'unanimité de la communauté scientifique car il tend à surestimer la force d'adhésion [4].

II.3.4. Théorie de la diffusion :

Cette théorie permet de décrire l'adhésion de deux blocs de polymères de même nature ("auto-adhésion) [5] L'assemblage est dû à des mouvements de segments moléculaires à travers l'interface ; l'interpénétration des chaînes de polymères assure l'adhésion. Ce phénomène nécessitant une bonne affinité entre les deux constituants en contact, est limité aux assemblages pour lesquels les deux constituants sont des polymères. Dans le cas contraire, l'usage d'agents de couplage conduit à un mécanisme d'adhésion similaire à celui décrit ci-dessus [6].

II.3.5. Théorie chimique:

Cette théorie repose sur la formation de liaisons chimiques covalentes ou ioniques entre la surface du substrat et le polymère généralement par utilisation d'agents de couplage, tel que le silane.

Chapitre II : Adhésion Matricielle (fibre/matrice)

II.4. Liaison des interfaces des fibres / matrice:

II.4.1. Enchevêtrement moléculaire et inter diffusion:

Un inter diffusion peu avoir lieu entre des atomes ou des molécules au niveau de l'interface. Les chaines de polymère de chaque composant s'enchevêtrent et se mêlent ensemble formant une zone intermédiaire de nature particulière. Les liaisons entre les chaines, la longueur des chaines, Ainsi que le nombre de liaisons mis en jeu au niveau de l'interface Déterminent la force d'adhésion fibre/matrice (*Figure. II.9*) (Park et al. 2006).

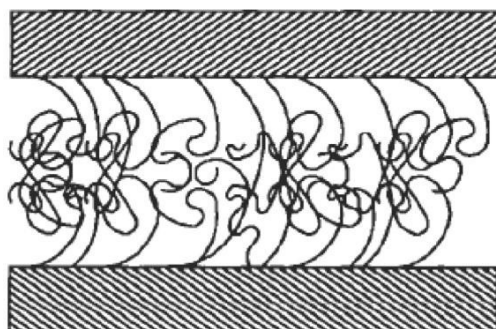


Figure .II.8:Enchevêtrement moléculaire(kim et Mal,1998)

II.4.2. Théorie Reaction chimique:

Cette liaison a lieu lorsque des groupes chimiques d'une surface A réagissent avec des groupes compatibles d'une surface adjacente B (*Figure II.10*). La force de la liaison dépend étroitement du type de la liaison ainsi que du nombre de liaisons par unité de surface. Par exemple, le traitement d'oxydation des fibres de carbone est largement connu et favorise une meilleure interface avec différent types de polymères (Chen et al. 2003a). Le cas le plus classique est la liaison fibre de verre/TD. Les fibres de verre sont revêtues de silanols qui réagissent dans un premier temps avec la surface de la fibre et puis avec le polymère thermodurcissable au moment de l'imprégnation. (Bourbon et al., 2004).

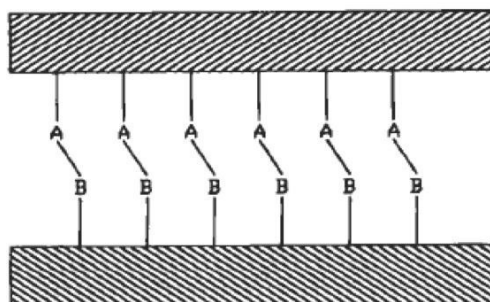


Figure. II. 9:Réaction chimique entre les groupes Asur une surface et groupes B sur l'autre

Chapitre II :Adhésion Matricielle (fibre/matrice)

II.4.3. Théorie des Attraction électrostatique :

Ce type de liaison peut se produire lorsqu'il y a une différence de charge électrostatique entre les constituants au niveau de l'interface (Figure. II.11). La force de liaison dépend dans ce cas de la densité surfacique de charge. Cette force est généralement faible et participe peu à la liaison finale fibre/matrice.

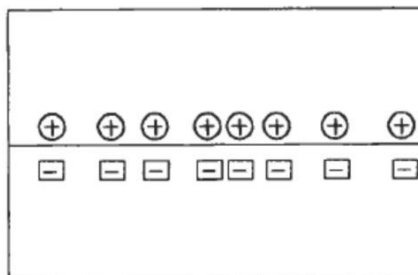


Figure .II.10: Attraction électrostatique (kim et Mal, 1998)

II.4.4. Théorie Emboîtement mécanique :

Un verrouillage mécanique intervient lorsque les surfaces sont intimement en contact en épousant les géométries adjacentes. L'existence ou la formation d'ondulations ou d'aspérités au niveau de la surface peut permettre une meilleure adhésion fibre/matrice. Les différentes modifications de la morphologie de surface donnent lieu {des sites d'ancrage (Figure. II.12). Les fibres naturelles ont généralement des surfaces rugueuses et des liaisons mécaniques peuvent avoir lieu. La résistance au cisaillement longitudinal peut être importante selon le degré de rugosité.

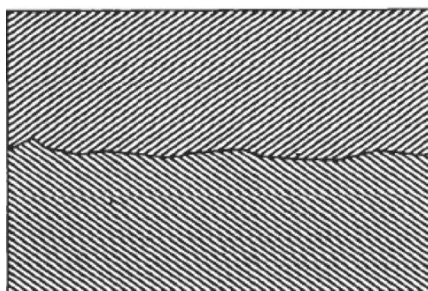


Figure .II.11:Emboîtement mécanique (kim et Mal,1998).

Chapitre II :Adhésion Matricielle (fibre/matrice)

II.5. Caractérisation de l'adhésion, de l'interface et des surfaces :

Il existe différents techniques de caractérisation des propriétés inter faciales liées à l'adhésion des composés avant ou après traitement des surfaces [7] Ils fournissent une information plus ou moins directe de l'efficacité du traitement. Parmi les techniques, on distingue entre autres les techniques microscopiques et spectroscopiques.

II.5.1. Les techniques microscopiques :

Les techniques microscopiques nous renseignent sur la nature physique de l'adhésion. Il s'agit, pour partie, d'imagerie de l'interface (MEB, microscopie confocale, microscopie par fluorescence ou optique, microscopie à force atomique AFM). La microscopie confocale, par exemple, a permis de visualiser et quantifier la distribution d'une résine thermodurcissable sur des fibres de panneaux MDF [8] Elle peut aussi, au même titre que l'AFM, donner une idée de la rugosité des surfaces. La microscopie électronique est suffisamment puissante pour permettre une observation détaillée des fibres, de leur surface, de leur paroi, ainsi que de la morphologie de l'interface avec une très grande résolution. C'est certainement la technique la plus largement utilisée dans l'étude des composites à base de renforts fibreux.

Les récents travaux de *Colom et al [9]* montrent au travers d'analyses MEB et FTIR que pour un composite, un agent comme le silane peut être globalement plus efficace que du MAPP. C'est la présence prédominante de liens chimiques de type liaisons covalentes à l'interface avec le silane qui explique ces résultats.

II.5.2. Autres techniques de caractérisation :

D'autres techniques de caractérisation peuvent être mises en œuvre pour évaluer les propriétés d'interfaces. Par exemple, les techniques spectroscopiques (spectroscopie de photoélectrons X, spectroscopie RAMAN) donnent davantage d'informations sur la nature ou la composition chimique à l'interface.

La caractérisation des liaisons à l'interface peut aussi s'effectuer via des techniques plus spécifiques comme la mesure de l'angle de contact ou la chromatographie gazeuse en phase inverse IGC [10]. Dans ce cas particulier, il s'agit de techniques de caractérisation de surface, pas d'interface. Les grandeurs mesurées sont très utiles pour déterminer les énergies de surface polaires et apolaires. Selon *Riedl et Matuana [11]*, l'IGC, bien que plus

Chapitre II : Adhésion Matricielle (fibre/matrice)

Délicate à mettre en œuvre, se révèle plus précise et plus sensible que l'angle de contact, notamment en ce qui concerne les sites de haute énergie et les substrats très poreux ou poudreux.

Outre ces techniques, il existe aussi des méthodes de caractérisation thermomécanique, plus ou moins directes, de l'adhésion. Les essais comme la traction uni axiale, ou le « single fibre pull out test » sont les plus courants. Le « single fibre pull out test » permet de déterminer l'adhésion d'une fibre prise dans une matrice. Toutefois, *Beckert et Lauke [12]*, mettent en avant le fait qu'il n'est pas évident que ce test mesure réellement l'adhésion puisque des effets de non linéarité, comme la friction ou l'inélasticité de la matrice, risquent d'interférer. Néanmoins l'association de l'imagerie microscopique et de ce test autorise l'observation de la surface de rupture entre deux

Matériaux Les analyses thermiques de type DSC, TG, TMA ou DMA sont aussi en ce qui concerne l'évaluation des liaisons pour donner des informations qualitatives sur des phénomènes d'interface

II.6. Méthodes d'optimisation de l'interface fibres/matrice :

L'interface fibres/matrice joue un rôle déterminant sur les propriétés finales des matériaux composites. Des méthodes physiques et chimiques [13], dont l'objectif est de rendre compatibles les fibres et les matrices, peuvent être utilisées pour optimiser cette interface. Ces méthodes reposent sur la modification de surface des fibres et/ou de la matrice et la mise en place de nouvelles propriétés interfaciales.

II.6.1. Méthodes de modification par voie physique:

Les procédés physiques peuvent être utilisés sur la surface du renfort ou de la matrice pour diverses raisons :

- Nettoyage et purification de la surface ;
- Oxydation et activation des sites sur la surface ;

Ces méthodes entraînent un changement physique et chimique des propriétés structurales du composé. On distingue les traitements par décharges diélectriques tels que le Corona et le plasma froid et par exposition aux rayonnements laser, ultra violet ou gamma. La plupart de ces traitements sont aussi des voies de greffage et de

Chapitre II :Adhésion Matricielle (fibre/matrice)

Copolymérisation [14]. Dans ce qui suit, nous présentons une description des différentes techniques ainsi que leur effet physico chimique sur la surface et leurs utilisations dans le domaine des composites.

Gassan et al [15] ont utilisé le traitement corona pour fonctionnaliser des fibres de jute et les incorporer dans une matrice époxy. Ce travail met en évidence l'accroissement de la polarité des fibres par l'augmentation des groupes fonctionnels présents à la surface de la fibre. De plus, un traitement corona excessif des matériaux entraîne une ablation en surface ce qui diminue l'adhésion.

D'autres travaux mentionnent le traitement corona comme outil de greffage de styrène sur des fibres cellulosiques.

Belgacem et al [16], ont utilisé d'autres techniques pour étudier les effets d'un traitement corona (sous air) sur les propriétés de surface de la cellulose : la spectroscopie de photoélectrons X, la chromatographie gazeuse en phase inverse, des mesures de pH et de conductivité électrique

II.6.1.1. Traitement Chimique:

Le rôle du traitement chimique des fibres végétales est l'élimination de certains composés comme l'hémicelluloses, la lignine, la pectine et d'autres impuretés de la surface de fibre afin de réduire leur caractère hydrophile et d'améliorer l'adhésion interfaciale fibre-matrice. Plusieurs techniques de traitement chimique des fibres naturelles sont rapportées dans la littérature telle que : la technique à la soude, du silane (al oxyde de silicium fonctionnalisé), de l'acide acétique. [18].

II.6.1.2. Traitement au silane:

La modification des fibres végétales par les silanes est une technique qui a été largement étudiée [18]. Les silanes sont des composés chimiques de formule $\text{SiH}_2\text{n}+2$, comme les al oxydes de silicium. Ils sont de nature hydrophile avec différents groupements associés au silicium tels qu'une extrémité va interagir avec la fibre hydrophile et l'autre avec la matrice, jouant ainsi le rôle d'agent de pontage entre les phases du composite. L'absorption de silane dépend de plusieurs facteurs, comme la température et le pH, le temps d'hydrolyse et la fonctionnalité. Agrawal et al, (2000) ont étudié l'effet de la modification chimique des fibres de palmier par le silane. Ils ont démontré que ce type de traitement augmente la compatibilité entre les fibres et la résine, tout en générant une amélioration de la résistance à la traction et de la stabilité thermique des compos.

Chapitre II : Adhésion Matricielle (fibre/matrice)

II.6.1.3. Traitement au permanganate :

Le principe du traitement au permanganate (KMnO_4) consiste en la création de sites radicalaires dans la cellulose des fibres naturelles, ce qui va permettre d'accroître sa réactivité avec les matrices polymères. D'une manière générale ce type de traitement est réalisé en utilisant le permanganate de potassium (KMnO_4) en solution (dans l'acétone) à différentes concentrations avec une durée de trempage de 1 à 3 minutes, après un prétraitement alcalin [19]. Ainsi, le caractère hydrophile des fibres naturelles s'amenuise et par conséquent, l'absorption d'eau du composite renforcé par ces fibres se réduit. La tendance hydrophile de la fibre diminue avec l'augmentation de la concentration du (KMnO_4). Néanmoins, aux concentrations supérieures à 1%, on induit la dégradation de la fibre naturelle.

II.6.1.4. Traitement aux anhydrides:

Parmi les agents de couplage organiques, les anhydrides comme l'anhydride maléique, l'anhydride acétique, l'anhydride succinique et l'anhydride phtalique sont les agents de couplage les plus utilisés pour les composites renforcés fibres de bois. L'anhydride acétique, l'anhydride succinique et l'anhydride phtalique ont deux groupements fonctionnels (ex : les groupes carboxylate- COO^-), qui peuvent être liés aux fibres de bois par estérification et liaison hydrogène [20]. L'anhydride maléique est un composé carbonyle insaturé contenant une double liaison carbone-carbone ($\text{C}=\text{C}$) et deux groupements carboxylates ($-\text{COO}^-$). Cette structure augmente considérablement la réactivité de la liaison carbone-carbone avec la matrice hydrophobe, résultant en une réaction ou une forte adhésion à l'interface [20] (Figure. II.13).

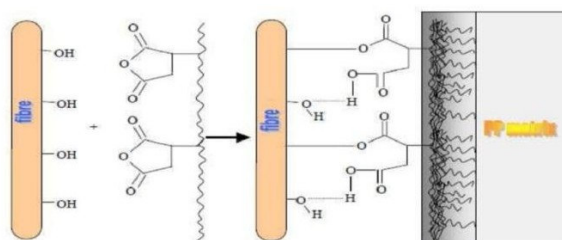


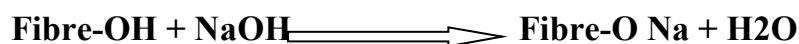
Figure. II. 12: Modification chimique de la cellulose pour comptabilisation avec la matrice P

Chapitre II : Adhésion Matricielle (fibre/matrice)

II.6.1.5. Traitement à la soude :

Le traitement à la soude ou mercerisage est l'un des traitements chimiques les plus utilisés avec les fibres naturelles lorsqu'elles sont utilisées pour renforcer les thermoplastiques et thermodurcissables. Ce traitement consiste à immerger la fibre dans une solution alcaline telle qu'une solution d'hydroxyde de potassium (KOH), d'hydroxyde de lithium (LiOH) ou encore de soude (NaOH). Ce traitement enlève également une partie des hémicelluloses, de la lignine, de la pectine, de la cire et des huiles. Par conséquent, la surface de la fibre devient propre et plus uniforme. Il réduit également le diamètre de la fibre et augmente ainsi le rapport longueur/diamètre de la fibre. Ceci augmente la surface efficace des fibres pour une bonne adhérence avec la matrice. Les comportements mécaniques et thermiques des composites sont significativement améliorés par ce traitement. Si la solution est trop concentrée, elle cause une délignification excessive de la fibre ce qui entraîne une détérioration des fibres.

Schématisme du mercerisage de la fibre naturelle [20].



II.7. Comportement de l'interface fibre-matrice dans les composites :

II.7.1. Généralité :

Les caractéristiques de l'interface sont fonction de plusieurs paramètres : les propriétés physicochimiques des constituants (*fibres et matrice*), la microstructure de l'interface (*interphase et rugosité*), les contraintes thermiques résiduelles, la méthode d'élaboration du composite, etc. Il est donc évident que la qualité des liaisons interfaciales (*faibles ou fortes*) et

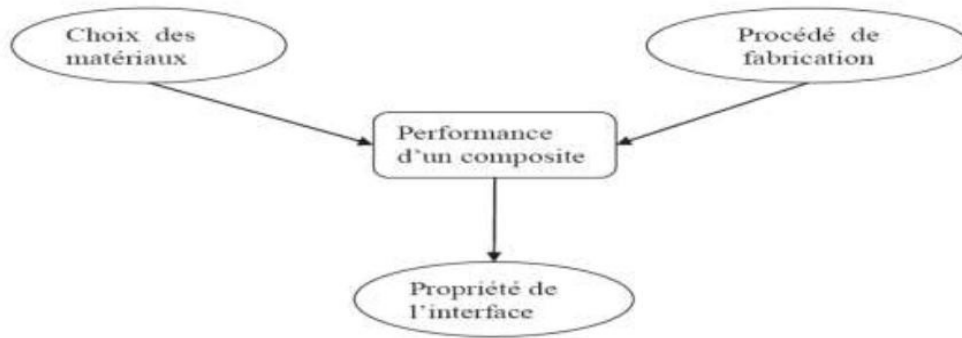


Figure. II. 13: Paramètres qui conditionnent les performances d'un composite.

la résistance au frottement sont des paramètres déterminant le comportement du composite. D'autres facteurs aussi importants que le choix des constituants sont liés directement à la performance du composite (Figure. II.15) Le procédé de fabrication de ce composite et les propriétés de l'interface entre les fibres et la matrice..

II.8. Conclusion:

Tout au long du 2^{ème} chapitre, nous avons présenté les différents aspects physico-chimiques qui se manifestent à l'interface fibre/matrice et leur influence sur les performances des matériaux composites. Une description des méthodes de modifications de la surface des composés, (le renfort ou le polymère), a également été faite. Malgré la diversité et la complexité de ces méthodes, leur objectif principal réside dans la comptabilisation et l'accroissement de l'affinité entre les composés.

L'originalité de ce travail est de vérifier et montrer l'efficacité de ce traitement en termes de comptabilisation des composants fibre/matrice. Le critère de réussite de cette approche sera basé sur la caractérisation des performances mécaniques et thermiques des composites élaborés ainsi que leur conservation après vieillissement humide.

Chapitre II :Adhésion Matricielle (fibre/matrice)

Référence :

- [1] Mohamed Ragoubi, « Contribution à l'amélioration de la compatibilité interfaciales fibres naturelles/matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne » Thèse de Doctorat, l'Université Henri Poincaré Nancy 1, Décembre 2010.
- [2] Shanahan. M.E.R, "**Adhesion and Wetting: Similarities and differences**", Rubber World, (1991), p 28,
- [3] Mcbain. J. W, Hopkins. D .G , **On Adhesives and Adhesive Action**, J. Phys . Chem. (1925), 29, p 188.
- [4] Kinloch .A. J, **The science of adhesion**, Journal of Materials Science, (1980), 15, p. 2141-2166.
- [5] Voyutskii . S. S, "**Auto adhesion and Adhesion of High Polymers**", Wiley and Sons, (1963) Kinloch .A. J, **The science of adhesion**, Journal of Materials Science, (1980), 15, p. 2141-2166.
- [6] Smith. O .W , Parker. J. K , Mills .P.J, "**Tailored Adhesion at Polymer/non Polymer Interfaces**", J. N Polymer .Sci.Polym. Phys Ed. (1994), 32, pp 1731 – 1744
- [7] Liu. F .P, Wolcott. M .P, Gardner. D .J, Rails. T. G, **Characterization of the interface between cellulosic fibers and a thermoplastic matrix**. Compos . Interfaces , (1994), 2, p.419-432.
- [8] Xing. C, **Characterization of urea-formaldehyde resin efficiency affected by four factors in the manufacture of medium density fibre board**. Thèse de doctorat. Département des sciences du bois et de la forêt de l'Université Laval, *Québec, Canada, (2003)*.
- [9] Colom. X, Carrasco. F, Pages. P, Canvases. J, **Effects of different treatments on the interface of HDPE/lignocelluloses fiber composites**, Composites Science and Technology (2003), 63, p. 161-169.
- [10] Schreiber. H.P, Lloyd. D.R, **Overview of inverse gas chromatography**. ACS Symposium series, American Chem. Soc. , chap1, 1-10, Washington DC, USA, (1989) .
- [11] Kamdem. D.P , Riedl. B. **Inverse gas chromatography of lignocelluloses fibers coated with a thermosetting polymer: Use of peak maximum and conder and young methods**. Journal of Colloid And Interface Science, (1992),150, p.507-516.

Chapitre II :Adhésion Matricielle (fibre/matrice)

- [12] Beckert. W, Lauke. B, **Critical discussion of the single-fibre pull-out test: Does it measure adhesion?** . Compos . Sci. Tech, (1997) ,57, p.1689-1706.
- [13] Bledzki. A. K, Reihmanne. S, Gassan. J , **Properties and modifications methods for vetables fiber for naturalfibre composites**, J. Appl. Polymer. Sc i, (1996), 59, p.1329-1336.
- [14] Bataille . P, Dufourd. M, Sapiha. S, **Copolymerization of styrene on to cellulose activated by Corona**. PolymerInternational, (1994), 24, 38 p.7-391.
- [15] Gassan. J, Gutowski. V.S , Bledzki. A.K, **about the surface characteristics of natural fibers** , Macromolecular Materials and Engineering, (2000), 283, p.132-139. Bataille. P, Dufourd. M, Sapiha. S, **Copolymerization of styrene on to cellulose activated by Corona**. Polymer International, (1994), 24, 38 p.7-391.
- [16] Belgacem -. M. N, Czeremuszkina. G, Sapiha. S, Gandini. A, **Surface characterization of cellulose fibers by XPS and inverse gas chromatography**, cellulose, (1995), 2, p.145-157
- [17] S.NEDJMA, Effet De La Modification Chimique Des Déchets Lignocellulosiques Sur Les Propriétés Physico-chimiques Des Composites Pvc/Papier Journal, Thèse De Doctorat, Université de Bejaia, 2014.
- [18] article/béton-fibre-15, consulté cette page le 29/05/17
- Privas E. Matériaux lignocellulosiques:" Élaboration et caractérisation": Ecole Nationale Supérieure des Mines deParis; 2013.
- [19] Rahman, M.M., A.K. Mallik, and M.A. Khan, influences of various surface pretreatment on the mechanical and degradable propertiers of photo grafted oil plam fibers .journal of applied polymer science ,2007.105(5):p.3077-3086.
- [20] - K. L. Fung, R. K. Y. Li, S. C. Tjong , 2002; Interface Modification on the Properties of Sisal Fiber-Reinforced Polypropylene Composites; Journal of Applied Polymer Science, Vol. 85, 169- 176.

Chapitre III :

Généralité sur les fibres végétales

Chapitre III: Généralité sur les fibres végétales

III. 1. Introduction:

Notre étude est orientée dans ce chapitre vers l'utilisation de fibres végétales dans le lisier. Les fibres végétales sont des sources environnementales renouvelables en raison de leur faible cout et de leurs propriétés mécaniques élevées (force de dureté), de sorte qu'elles peuvent être classées en fonction de leur forme et de leur origine, contrairement aux matériaux pétroliers qui sont chers et rares. Les domaines d'utilisation de ces fibres varient selon les envies, que ce soit dans le domaine de la construction, de l'ingénierie ou d'autres domaines en fonction de la nature et de la composition de ses fibres et c'est de cela que nous allons parler.

III.2. Définition de la fibre végétale :

Les fibres végétales sont des structures biologiques fibrillaires composées de cellulose, hémicelluloses et de lignine (Figure.III.16). En proportion relativement faible d'extractibles non azoté, 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. [1]

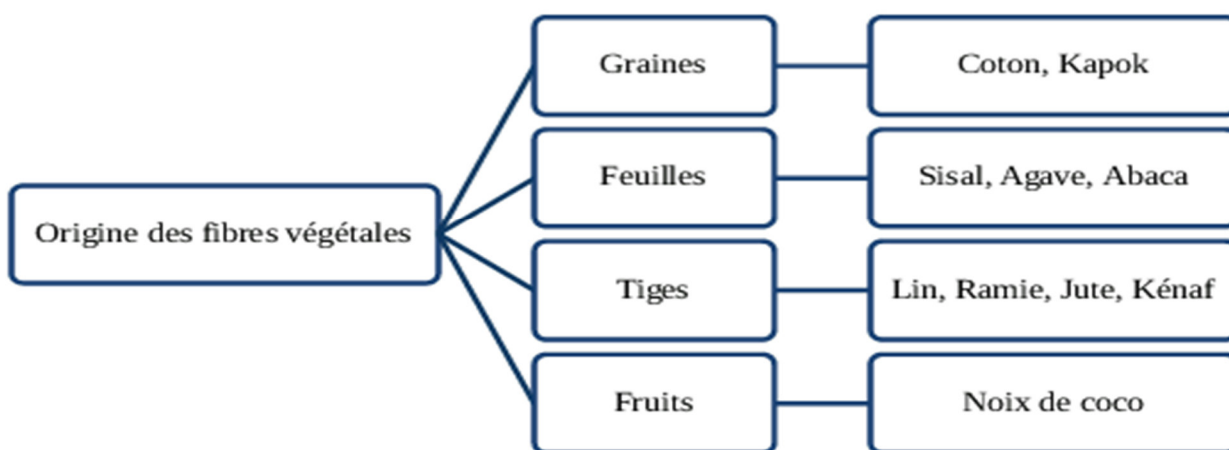


Figure .III.15: origine de la fibre végétale.

Chapitre III: Généralité sur les fibres végétales

III.3. Classification des fibres végétale : [2]

Il existe plusieurs critères de différenciation des fibres :

- Suivant l'organe de la plante dont elles sont issues, les fibres végétale peuvent être classées en fibre de tiges (Kénaf, jute, lin, ramie) , et de feuilles (sisal , abaca , paille de graminée).
- Suivant leur teneur en holocellulose (cellulose et hémicellulose) et en lignine, on peut distinguer les fibres ligneuses (dures et rigide provenant de matériels ligneux tels que le bois d'œuvre, les résidus de l'industrie du bois et les fibres non ligneuses (douces, souples, issues de végétaux non ligneux souvent annuels relativement moins riches en lignine tels que le Kénaf, le chanvre, le sisal, le jute et le lin).
- Suivant leur longueur, les fibres végétales peuvent être groupés en deux catégories : fibres longues, dites libérienne, provenant des tiges et d'écorce de tiges de plantes annuelles. Elles sont douces, tandis que les fibres longues issues de feuilles ou de troncs d'arbre sont plus dures et plus rigides à cause de leur richesse en lignine. et fibres courtes ou étoupes qui sont associées aux fibres longues.

III.4. Structure d'une fibre végétale : [2] :

La fibre végétale est une composite en elle-même. le renfort est constitué par les couches de micro fibrille cellulosique 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 en couche superposée en couches dans la 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 micro fibrilles (S1, S2,S3 (Figure.III.17).

Les micro fibrilles décrivent par rapport à l'axe de la fibre, un angle micro fibrillaire (MAF) dont la valeur varie d'une espèce à l'autre. L'orientation des micro fibrilles par rapport à l'axe de la cellule joue un grand rôle dans les propriétés mécanique des parois des fibres, plus que l'angle des micro fibrilles augmente, le module de Young (une mesure de la rigidité) décroît , tandis que l'extensibilité des parois augment .

Chapitre III: Généralité sur les fibres végétales

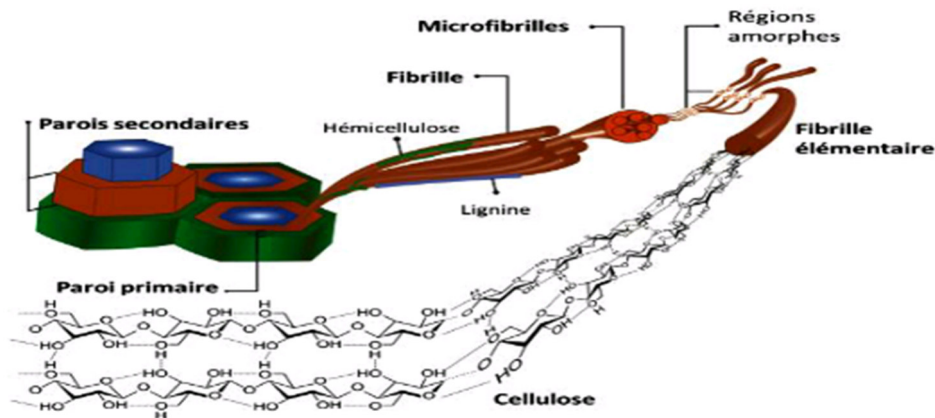


Figure .III.16:structure des fibre végétales.

III.5. Composition chimique des fibres végétales :

La biomasse végétale est constituée de plusieurs macromolécules étroitement liées entre elles au sein de la paroi végétale. Comme nous l'avons vu précédemment, les composés les plus courants sont la cellulose, l'hémicellulose, la pectine et la lignine. Ces différents composants sont agencés de manière très complexe. Dans le bois, la cellulose est concentrée à l'intérieur des fibres (Figure.III.18). Les parois externes des fibres sont principalement composées de lignine et d'hémicellulose, et les flocons de liaison entre les fibres sont presque entièrement composés de lignine. Des réseaux de pectine supplémentaires (polymères polysaccharidiques acides) ajoutent à la complexité de la matrice. Le réseau polysaccharidique peut également être consolidé par le réseau secondaire de protéines HRGP (glycoprotéines riches en hydrox proline).

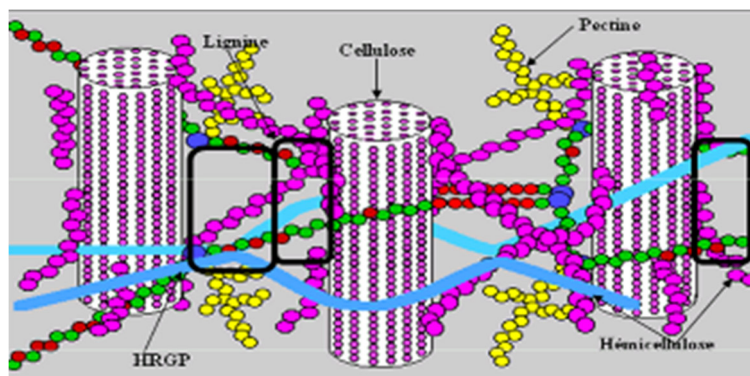


Figure .III.17:reprère deboirsentation schematique d'une fibre de bois.

Chapitre III: Généralité sur les fibres végétales

III.5.1 La cellulose :

L'existence de la cellulose comme matériau commun dans les parois cellulaires végétales était d'abord découverte par Anselme Payen en 1838[3].la cellulose est la molécule organique la plus abondante de la nature .la cellulose est largement utilisée dans le monde comme matériau pour la fabrication de matériau pour la fabrication de matériaux de construction (utilisation directe du pois), de textiles (utilisation directe du bois) , de textiles (coton et viscose),de papier et de coton .L'environnement de la cellulose dans différentes espèces végétales [4].

La cellulose est le principal composé de la totalité des fibres végétales et c'est la matière la plus abondante sur la Terre (plus de 50% de la biomasse). La cellulose, comme présentée dans la figure 6, est un glucide de formule moléculaire $(C_6H_{10}O_5)_n$ où n est le degré de polymérisation et il varie énormément selon l'origine de la cellulose [18]. La photosynthèse des plantes assure la production de 50 à 200 Gt par an. C'est l'élément principal des parois des cellules végétales. [5].

La cellulose est un glucide constitué de chaînes linéaires de molécules de D-glucose liées entre elles pour former des polymères linéaires, mais transversalement ils peuvent développer des liaisons inter ou intramoléculaires de type liaison hydrogène. Ces interactions confèrent une structure fibrillaire à la cellulose, dont le degré de polymérisation varie fortement selon l'origine (fourrage, plante, bois...) de 20 000 à 100 000. [5].

III.5.2. Hémicelluloses :

Les hémicelluloses représentent le 3ème composant principal juste après la cellulose et la lignine, avec une proportion en poids à peu près 25% de la biomasse [6]

L'hémicellulose présente dans toutes les parois de ces fibres (Figure.III.19). C'est le constituant responsable de l'élasticité des fibres et qui permet aux parois de s'allonger pendant la croissance. [5]

L'hémicellulose interagit avec la cellulose et la lignine, par des liaisons hydrogène, pour renforcer la paroi cellulaire et assurer la souplesse et la flexibilité de la plante. [5]

Chapitre III: Généralité sur les fibres végétales

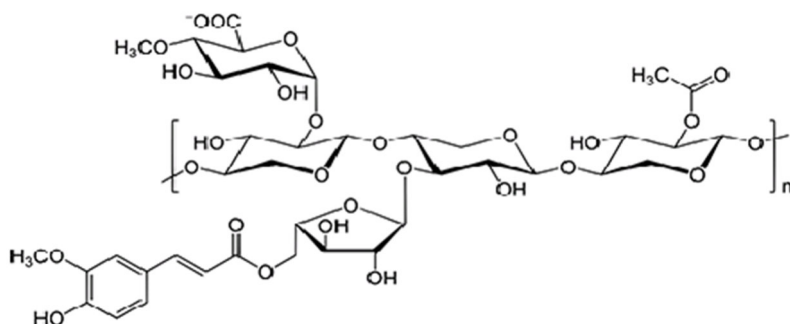


Figure .III.18:structure d'hémicellulose.

III .5.3. La lignine :

La lignine est le second principal composant constituant des fibres végétales. La lignine est un polymère hydrocarboné ayant une structure tridimensionnelle aléatoire et très complexe permettant de former la matrice et de lui donner la rigidité et la résistance mécanique. La lignine se forme lors de la formation de la paroi secondaire et se dépose autour des constituants polysaccharides et protéines de la paroi comme une gaine ce qui la rend plus hydrophobe et plus résistante aux pathogènes et aux attaques parasitaires formant une barrière de protection biologique. (Figure.III.20).

Par comparaison à la cellulose, la lignine présente des propriétés mécaniques médiocres. Donc pour avoir des fibres ayant de bonnes performances mécaniques la lignine doit être éliminée. [5]

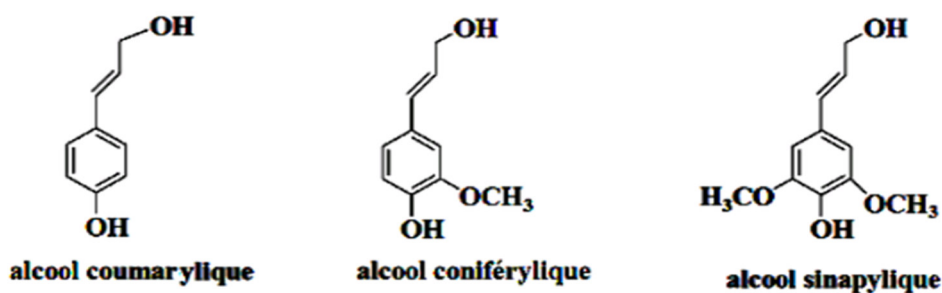


Figure .III.19:constituants de la lignine.

Chapitre III: Généralité sur les fibres végétales

III.6. Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales : [6]

Tableau. IV.1: Propriétés usuelles de fibres végétales

Fibre	Densité(g /cm ³)	Module de traction (Mpa)	Résistance en traction(Mpa)	Allongement (°)
Lin	1,5	28	345- 1100	2.7- 3.2
Jute	1,45	13- 27	350- 550	1.2- 2.5
Chanvre	1,48	29- 70	550- 900	1.6- 3.5
Ramie	1,5	20 -70	550 -900	1.6- 4
KénaF	1,47	6 -8	1580	2.7
Abaca	1,35	20	900	3.5
Sisal	1,45	9 -20	400- 700	2 -14
Coco	1,15	4- 6	130 -120	15 -40
Coton	1,5	5 - 12	300 -800	3- 10

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre, sa densité, son teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau. Et elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, son élongation à la rupture et son module d'élasticité.

III.7. Avantages et inconvénients des fibres végétales : [7]:

- Les fibres naturelles ont un avantage par rapport aux fibres synthétiques, puisqu'elles forment des boucles au lieu de se rompre au cours de leur transformation et de leur fabrication. Les matériaux composites à base des fibres végétales présentent plusieurs avantages dont on peut citer [7]

Chapitre III: Généralité sur les fibres végétales

- Faible coût ;
- Propriétés mécanique élevé (Résistance et rigidité) ;
- Biodégradabilité ;
- Non abrasif pour ls outillages ;
- Neutre pour l'émission de CO2 ;
- Faible consommation d'énergie pour leur production ;
- Pas de résidu après incinération ;
- Non irritant lors de la manipulation des fibres ;
- Bonne isolation thermique et acoustique ;
- Faible densité ;

Mais aussi, ils présentent des inconvénients :

- Fort comportement hydrophile ;
- Faible stabilité dimensionnelle ;
- Faible tenue thermique (200 à 230) ;
- Comportement anistropique ;
- Valorisation de la qualité dépendant des conditions de croissance de la plante ;
- Demande un contrôle pour une application industrielle ;
- Ranford discontinue;

III.8. Présentations des différentes fibres végétales : [8]

III .8.1. Le chanvre :

Le cannabis est composé de fibres libériennes (Figure. III .21) , ainsi que de lin ,de queue ,de jute et de rami ...cultivé dans pays au climat doux .En raison de sa grande puissance et de son intérêt économique, la fibre de cannabis est en fait très nécessaire comme alternative à la fibre de verre et à d'autres matériaux synthétiques utilisés dans divers composés assemblés tels que les pièces automobiles, les matériaux de construction et divers biens de consommation, dans un environnement industriel ou le cannabis présente de nombreux avantages suivants :

Chapitre III: Généralité sur les fibres végétales

- Ses propriétés physiques lui confèrent une grande puissance.
- Excellente rentabilité dans le domaine des véhicules et du papier.
- La fibre fournit maintenant dans une large gamme de formes et de qualité avec la possibilité de rendre la fibre de cannabis plus légère, plus solide et moins chère que la fibre de verre.



Figure. III. 20: plante de chanvre et les fibres de chanvre.

III .8.2. 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. De plus, le rendement de cette fibre est très nettement supérieur à la production de coton (jusqu'à 2 t/an/ha) (Figure .III .22).

Cette fibre est utilisée en papeterie pour des papiers fins comme les papiers à cigarette ou le papier Bible. En effet, sa bonne résistance et sa longueur confèrent à ses papiers les caractéristiques mécaniques essentielles pour cette production particulière. Ces fibres sont très raffinées afin d'avoir des longueurs inférieures à 4 mm.

Chapitre III: Généralité sur les fibres végétales



Figure.III. 21:fibre de lin

III .8.3. L'Abaca :

L'Abaca ou chanvre de Manille est un bananier textile (Musacées) qui pousse aux Philippines : les fibres dans les gaines foliaires forment un pseudo tronc très recherché pour la fabrication de cordages légers et insubmersibles, pour des rabanes, des nappes, des stores ou des vêtements. La fibre d'Abaca a une longueur de 6 mm pour un diamètre de 22 μm . Elle est utilisée principalement dans la composition des papiers filtres, des sachets de thé. Ce sont des papiers poreux demandant une bonne résistance, en particulier au déchirement (Figure. III.23).



Figure. III. 22:fibre de l'abaca.

III .8.4.Le Kénaf :

Le Kénaf est une plante herbacée dont la tige peut atteindre 3 m de haut (Figure III.24). Il se trouve principalement dans les régions tropicales et en Amérique du Sud. La production de Kénaf en Europe est rare. Elle est destinée uniquement pour le domaine papetier. Le rendement en fibre atteint près de 10 t/an/ha. La longueur moyenne des fibres (1,5 mm) est comprise entre celle des fibres de feuillus et celle des fibres de résineux.

Chapitre III: Généralité sur les fibres végétales



Figure .III.23: fibre de Kénaf.

III .8.5. Le jute :

Le jute est une plante buissonnante originaire du sud-est asiatique. Les principaux producteurs sont l'Inde et le Bangladesh. Le rendement en fibres est de 2 t/ha/an. Les fibres utilisées en papeterie sont les déchets de culture et de filature. La longueur moyenne des fibres est de 2 mm, avec une largeur de 20 μm . Les caractéristiques de ces fibres sont généralement assimilées à celles du Kénaf (Figure .III .25).



Figure .III.24: fibre de jute.

III .8.6. LE SISAL :

Le sisal est une plante vivace constituée par une rosette de grandes feuilles à section triangulaire allant jusqu'à 2m de long. Il s'agit d'une Plante tropicale, principalement cultivé en Amérique du sud et en Afrique. La longueur moyenne de ces fibres est de 3 mm (Figure. III .26).

Chapitre III: Généralité sur les fibres végétales



Figure .III.25:fibre de sisal.

III .8.7. La ramie :

La ramie est une plante arbustive. Originaires d'Asie de l'Est, la ramie a pour principaux producteurs la Chine, le Japon et l'Amérique. Le rendement en fibres est d'environ 2 t/ha/an La longueur moyenne des fibres est comprise entre 40 et 250 mm, pour un diamètre moyen de 45 μm . Ces fibres ressemblent aux fibres de lin mais sont encore plus longues, plus solides et plus rigides (Figure .III .27).



Figure.III. 26:fibre dérame.

III .8.8.Le coco :

Les fibres de coco proviennent de la couche fibreuse qui entoure la noix de coco. Elles sont filées et tissées après avoir été assouplies dans l'eau. Le filage grossier et irrégulier donne au coco un aspect rustique. Le coco est très résistant, il est isolant, imputrescible et antibactérien. On utilise plutôt dans des pièces spacieuses et lorsqu'on veut mettre en avant son côté rustique (Figure .III .28).

Chapitre III: Généralité sur les fibres végétales



Figure.III. 27:fibre de coco.

III .8.9. Alfa :

L'Alfa est une herbe vivace typiquement méditerranéenne, elle pousse en touffes d'environ 1m a 1m20 de haut formant ainsi de vastes nappes (Figure.III.29). Elle pousse spontanément notamment dans les milieux arides et semi arides, elle délimite le désert, là où l'Alfa s'arrête, le désert commence. Elle est employée dans la fabrication de sparterie, des cordages, des espadrilles, des tissus grossiers, des papiers d'imprimerie....etc.



Figure .III.28:la plante et les fibres l'alfa.

III .9. L'utilisation du domaine de génie civil : [9]

L'utilisation de matériaux de construction renouvelables a suscité un intérêt limité dans l'industrie de la construction. Par conséquent, nous pouvons dire que les usines textiles peuvent jouer un rôle plus important dans certaines applications de construction telles que les panneaux isolants, les boosters ou les matériaux de rembourrage. L'utilisation de fibres dans la fabrication de panneaux de construction et la fabrication de peintures, peintures et adhésifs à base d'huiles végétales.

III .10. Conclusion:

Les fibres naturelles ont des propriétés physiques et mécaniques très différentes en raison de leur forme physique et de leur composition chimique de la cellulose, de la lignine et de l'hémicellulose, qui est un composé en soi, contribue grandement à sa solidité et à sa résistance. Le problème sérieux dont nous pouvons parler est la nature des fibres hydrophiles fortes.

Chapitre III: Généralité sur les fibres végétales

Références :

- [1] KOUICI, ABIR. Etude de l'effet de l'introduction des fibres végétales sur les propriétés des bétons autoplaçant (BAP) à l'état frais et durcis. PFE Master. Université Mohamed Boudiaf-M'sila, 2016.
- [2] Yahiaoui Lamia «Caractérisation d'un composite à la rupture à base des fibres végétales (Diss)» «MEMOIRE de MAGISTER, UNIVERSITE FERHAT ABBAS-SETIF-UFAS (ALGERIE) ,2011.
- [3] DJEBLOUN Yousef, Contribution à la caractérisation des matériaux composites renforcés de fibres végétales», Thèse de Doctorat, Université Mohamed Khi der – Biskra, 28/10/2018
- [4] Etude de matériaux naturels 2D –Potentialités d'utilisation comme renfort de matériaux composites, Thèse pour le doctorat en chimie des matériaux, UNIVERSITE DES ANTILLES ,22 juillet 2019.
- [5] Yosr BEN MLIK «Valorisation des fibres de Kénaf dans des applications textiles et para textiles » , THÈSE de DOCTEUR, Université de Monastir Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir
- [6] FALI Allaoua & MERZOUG A/Aziz «Etude de l'effet du traitement sur le comportement physico- chimique et mécanique d'une fibre végétale» «MEMOIRE DE MASTER Université de M'sila•2018/2019.
- [7] MESSAOUDI Khaoula «Mise en œuvre et caractérisation de micro-nano composites à base de farines végétales (Genêt d'Espagne et Bois) et de silicate lamellaire nanométrique» «THÈSE de DOCTORAT, UNIVERSITÉ FERHAT ABBAS – SETIF1.
- [8] CARMA, « Glossaire des matériaux composites renforcés des fibres d'origine renouvelable », centre d'animation régional en matériaux avancés, Décembre 2006.
- [10] LATELLI Hanane «Etude du comportement mécanique du béton polymère renforcé par des fibres végétales et déchets minéraux » , Mémoire de Master Académique, UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF – M'SILA, 01 Juin 2017.
- [9] Rached motketari (contribution à l'Etude de la durabilité de mortier de plâtre à base de sable de dunes renforcé par des fibres de palmier dattier), mémoire de Magister , UNIVERSITE kasdi Merbah.

Chapitre IV

Matériaux et techniques expérimentales

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 différentes méthodes de l'extraction des fibres végétales avec et sans traitement et ainsi que les caractéristiques des matériaux utilisés pour l'élaboration du béton polymère de différentes dimensions prismatiques renforcé et non renforcé par ces fibres, de plus les principaux essais mécaniques (flexion trois points, compression et l'essai de rupture) exécutés au niveau de Maghreb-pipe M'sila.

Les matériaux utilisés pour ce travail sont :

- ❖ La resin polyester.
- ❖ La silica
- ❖ Les fibers d'alfa.

IV .2. Caractéristique principales pour chaque matériau utilisé :

IV .2.1. Silice :

Le sable de silice est obtenu à partir de traitement par lavage, et est caractérisé essentiellement par une granulométrie entre 200 μ m et 500 μ m (Figure. V.30), un équivalent de sable supérieure à 90% (sable très propre), il est disponible dans la région de l'ouest d'Algérie. Pour une bonne qualité du sable, on utilise les étapes suivantes [1] :

- ❖ Extraction mécanisée selective.
- ❖ Homogénéisation.
- ❖ Criblage.
- ❖ Lavage et classification granulométrique.
- ❖ Attrition.
- ❖ Essorage.
- ❖ Réduction et stabilisation finale de l'humidité.

Chapitre IV: Matériaux et techniques expérimentales



Figure IV.1: Sable de silice

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 exo thermie (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, thixotropes, pro motorisées, chargées, colorées. [2]



IV.2.2.1. Caractéristiques des résines polyester :

La résine polyester polymérise par adjonction de catalyseur (durcisseur)(Figure. IV.30) dans les proportions suivantes, le pourcentage est adapté en fonction des besoins [3]:

- ❖ 0.8% minimum (temps de travail moyen).
- ❖ 2% maximum (temps de travail court).

Chapitre IV: Matériaux et techniques expérimentales

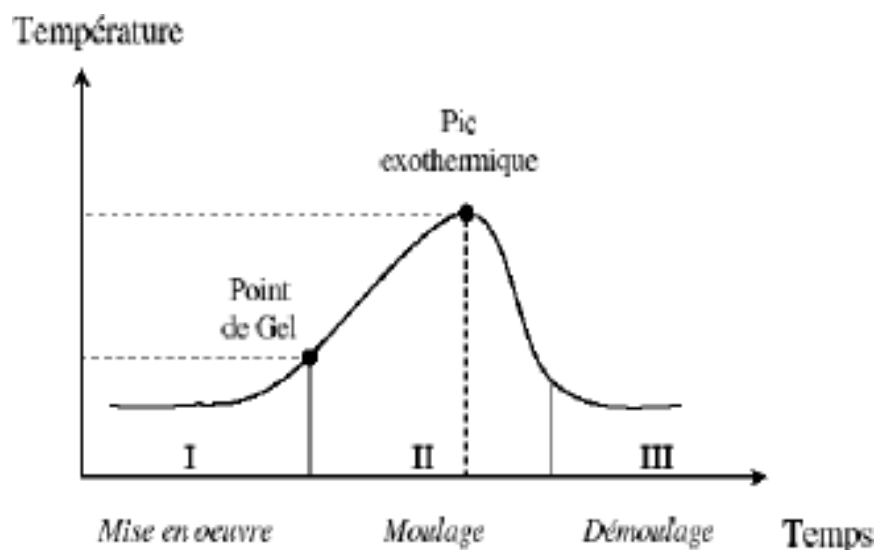


Figure .IV29: Cycle de polymérisation de résine polyester.

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

Tableau. IV.1 : Différentes caractéristiques de la résine polyester [3].

Les Caractéristiques	Polyester
Densités (g/cm ³)	1.2
Module de Young (Gpa)	2.8-3.5
Résistance à la traction (Gpa)	0.05-0.08
La température de polymérisation (C°)	60-100

IV. 2.2.2. 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.

➤ Les Avantage :

- ❖ Bonne rigidités.
- ❖ Bonne tenue chimique.
- ❖ Bonne mouillabilité des fibres.

Chapitre IV: Matériaux et techniques expérimentales

- ❖ Stabilité dimensionnelle.
- ❖ Etuvage non indispensable.
- Inconvénients :
 - ❖ Fragile aux chocs.
 - ❖ Tenure médiocre en température.
 - ❖ Retrial important de 8 à 10%.
 - ❖ Odeur nauséabonde.
 - ❖ Difficulté des mélanges en faible quantité.

IV .2.2.3 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 (1g) de catalyseur, puis on ajoute au mélange (1.3g) de catalyseur. Les variables température et temps sont simultanément mesurés (Figure. IV.31).



Figure. IV. 30: test de réactivité de la résine

Chapitre IV: Matériaux et techniques expérimentales

IV.2.3. Fibres d'Alfa :

Les fibres Alfa, sont récoltées de la région. Elles sont une touffe d'herbe, constituée de tiges de forme cylindrique d'une hauteur maximale d'environ 1m avec une surface spécifique de 3m²/g. Les fibres Alfa sont principalement composées de 45% de cellulose, 24% d'hémicellulose, 24% de lignine, 2% de cendres et 5% de cire.

En premier lieu on coupe les extrémités de la tige d'Alfa en longueur 30 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.32).

- 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.32).

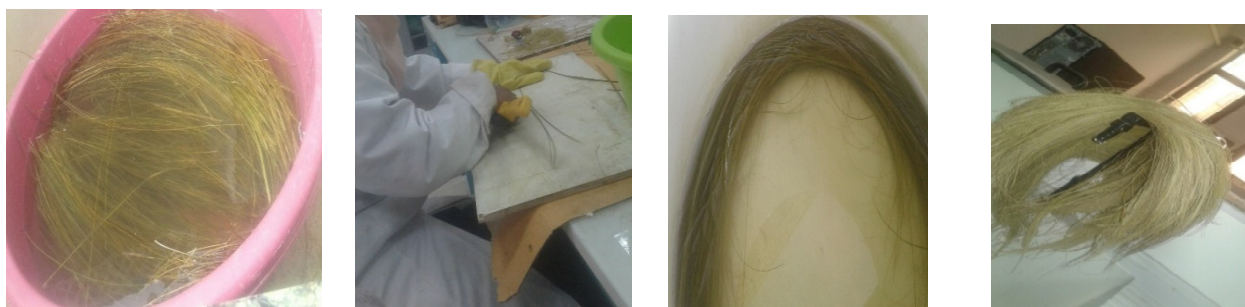


Figure .IV.31:préparation de la fibre Alfa.

IV. 2.3.1. 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.33) durant 8h pour améliorer leurs propriétés mécaniques.

Chapitre IV: Matériaux et techniques expérimentales



Figure. IV. 32: Etuve de séchage à 70°C.

IV.2.3.2. Traitement chimique des fibres :

Les fibres Alfa sont traitées avec une solution de NaOH (milieu alcalin) à concentration de 3% durant une 3h (Figure. IV.34). Le but de ce traitement est l'élimination de certaine quantité de lignine, de cire et d'impuretés qui recouvrent la surface externe des fibres. Le traitement par l'hydroxyde de sodium (NaOH) de la fibre favorise l'ionisation du groupe hydroxyle de l'alcoolat. Ainsi, le traitement alcalin influe directement sur les fibrilles et le degré de polymérisation de la cellulose. Il favorise aussi l'extraction de la lignine et l'hémicellulose. Après traitement, les fibres sont rincées à l'eau distillée.

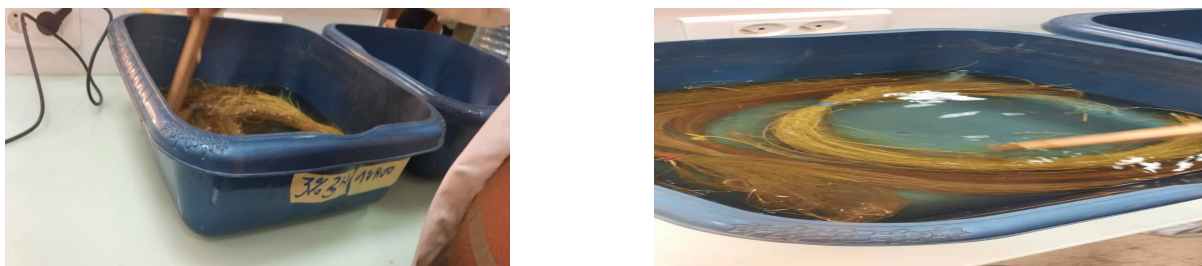


Figure. IV 33: traitement de fibre alfa par NaOH.

Les traces de NaOH sont neutralisées une 1% dans d'eau distillée 40ml du (H₂SO₄) dans 4 litres, Emersion, des fibres nattages dans l'eau pondent 3à4 fois avec de l'eau domestique. (Figure. IV.35).

Après on fait car deuxième conversion dans la solution préparée en (H₂SO₄) (d'acide sulfurique) pendant 3minite, après 3 minute, les fibres ont été soigneusement lavée à l'eau courante puis l'eau distillée jusqu'à ce qu'elles atteignent un PH neutre.

Chapitre IV: Matériaux et techniques expérimentales



Figure. IV. 34:traitement d'alfa par H₂SO₄ pour éliminer les traces de NaOH.

IV .2. 3.3 Longueur choisi pour fibre Alfa :

La fibre Alfa est ensuite découpées (Figure IV.8) en différentes longueurs (1cm ,3cm et5cm) pour assurer leur distribution et leur homogénéité lors de l'élaboration du béton polymère.



Figure .IV.35:la fibre alfa découpées en différentes (1cm ,3cm et5cm).

Chapitre IV: Matériaux et techniques expérimentales

IV.3. Technique de moulage :

IV .3.1. Préparation des moules utilisées :

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

Pour les tests de flexion, nous avons choisi des moules métalliques 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 éprouvettes en béton polymère à la (Figure. IV.37).



Figure. IV. 36:moule utilisé pour éprouvettes lisses de BP

IV.3.2. Elaboration des éprouvettes en béton polymères :

Dans ce travail on a choisi la technique de moulage par contact, Le principe de ce procédé est de réaliser les différents bétons polymère manuellement à température ambiante.

- Un taux de 1% de chaque type de fibres.
- Un taux de 70% de silice (de la masse totale) est pesé.
- Un taux de 30% de résine (de la masse totale) est pesé.

Chapitre IV: Matériaux et techniques expérimentales

➤ Technique

On verse d'abord la quantité de silice dans un bac en plastique, puis on ajoute simultanément et progressivement les fibres voulues avec la résine. Il est important de signaler que le durcisseur (d'environ 1.2ml). Est ajouté à la résine pour assurer la polymérisation de

Cette dernière. Pour le béton polymère non renforcé, on mélange

Directement la résine avec la silice.

Enfin, on le mélange (silice + résine + fibres) est versé le moule métallique, ensuite ce mélange est pressé par un cylindre en bois, on fait le moulage par contact pour obtenir des éprouvettes uniformes (Figure. IV.38).

Le (Tableau. IV.5) représente la formulation utilisée pour les éprouvettes en béton polymère :

Tableau. IV.3 : taux de chaque composante en utilisant la fibre alfa.

Résine	fibre	Traité	Designation
Polyester/sable	Neuter	Neuter	BP.0000
Polyester/sable	L=1cm	Neuter	BP.0001
Polyester/sable	L=3cm	Neuter	BP.0003
Polyester/sable	L=1cm L=3cm	Neuter	BP.0013
Polyester/sable	L=1cm L=3cm	3%NaOH	BP.0313
Polyester/sable	L=1cm L=5cm	3%NaOH	BP.0313

Chapitre IV: Matériaux et techniques expérimentales



Figure. IV. 37:Etapes de moulage de béton polymère par contact.

Le (Tableau. IV.2) résume représente la formulation suivie pour les éprouvettes en béton polymère :

Tableau. IV.4 : Taux de chaque composante.

Les matériaux utilises	Percentages des matériaux (%)
La silica	70%
La resin polyester	30%
Les fibers	1%
Durcisseur	1.2%

Chapitre IV: Matériaux et techniques expérimentales

IV .3.3. Le traitement thermique du béton polymère élaboré :

Le béton a besoin de 3 à 4h pour le durcissement qui dépend du dosage du durcisseur, puis on démoule les éprouvettes. Une fois les différents bétons polymères élaborés, ces derniers sont mis dans une étuve à 70 C° durant 24h pour assurer une polymérisation totale des PB obtenus (Figure. IV.39).



Figure. IV. 38: Epreuves lissées en BP.

IV.4. Essais mécaniques appliqués sur le béton polymère renforcé et non renforcé :

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

C'est un essai mécanique statique, indépendant du temps, il est très facile à mettre en œuvre sans fixation d'éprouvette.

Notre éprouvettes lisses de $(40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3)$ pour l'essai de FTP, on a appliqué une charge à mi-distance des appuis, et la distance entre appuis est de 128mm par une vitesse constante de 2mm/min (Figure. IV.40). Les essais appliquées au niveau de laboratoire de Maghreb-pipe M'sila et le principe de FTP consiste à déterminer la charge maximale et étudier le comportement mécanique jusqu' à la rupture d'une éprouvette en BP.

Chapitre IV: Matériaux et techniques expérimentales



Figure. IV. 39:Essai de FTR (YT testage Machines/20KN).

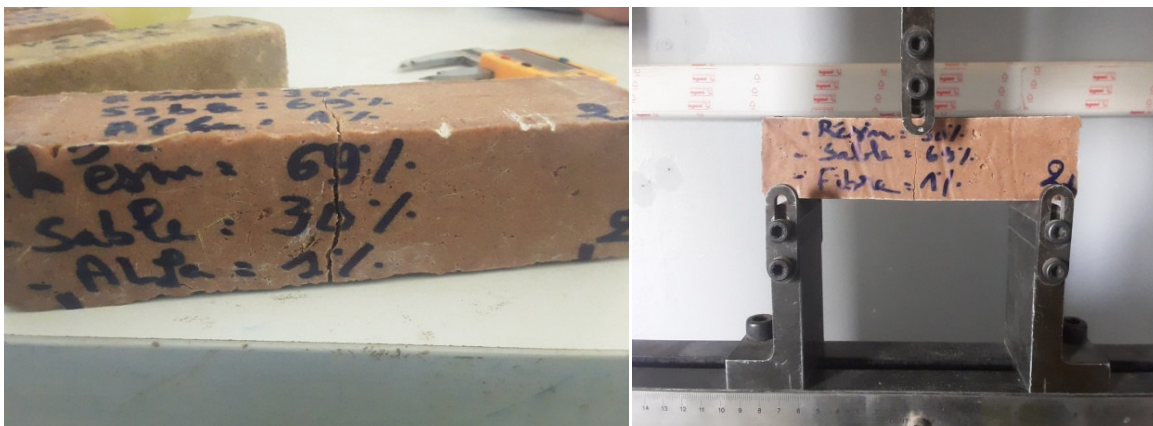


Figure. IV. 40:Essai de FTR sur des éprouvettes lissées en BP.

➤ Les paramètres d'étude

Dans cet essai nous avons étudié la contrainte à la flexion et le module de flexion en utilisant les deux relations suivantes [4] :

Chapitre IV: Matériaux et techniques expérimentales

❖ La constraint :

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

- P : la charge appliquée sur l'éprouvette en (N).
- L : la distance entre les appuis en (mm).
- b : largeur de l'éprouvette en (mm).
- h : l'épaisseur de l'éprouvette en (mm).

❖ Module de Young de flexion :

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

Avec :

- P : la charge maximale à la flexion en (N).
- L : la distance entre appuis en (mm).
- f : la flèche en (mm).
- I : le moment d'inertie = $bh^3/12$.

IV .5. Conclusion:

Dans notre étude, nous avons préparé des fibres végétales pour les fibres alfa traitées et non traitées, en mentionnant les étapes suivies pour ce travail, en outre.

Les résultats sont présentés en utilisant des méthodes de développement et de caractérisation (Flexion à partir de trois points).

Chapitre IV: Matériaux et techniques expérimentales

Référence :

[1] 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.

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

[3] Haidar Murhaf, « optimisation et durabilité des micro-bétons à base d'époxyde », thèse doctorat université de Cergy-pontoise, spécialité génie civil, mars 2011.

[4] 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.

Chapitre V

Résultats et discussions

Chapitre V: Résultats et discussions

V.1.Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons sur le béton polymère à base de résine renforcé avec des fibres ALFA, pour analyse les variables dans les courbes de contrainte et d'élongation d'échantillons lisses confirmés dans une courbure à trois points.

V.2.Propriétés mécanique des Bétons Polymère en flexion trois points :

Dans cette partie, nous présenterons des essais mécaniques effectués sur des échantillons précédents (Figure.V.1). Connaître et déterminer ses propriétés mécaniques sur les matériaux utilisés.

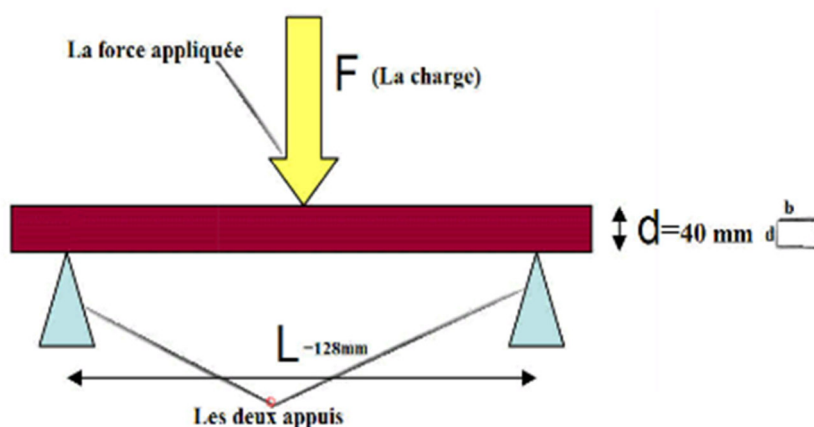


Figure.V.42 : principe de sollicitation de l'éprouvette en flexion trois points (FTP).

V.2.1. Analyse des courbes la charge -déformation des bétons polymères :

L'essai se traduit par une flexion trois points du comportement mécanique des matériaux. Nous avons testé les échantillons en flexion trois points liés au béton polymère précédemment fabriqués.

Chapitre V: Résultats et discussions

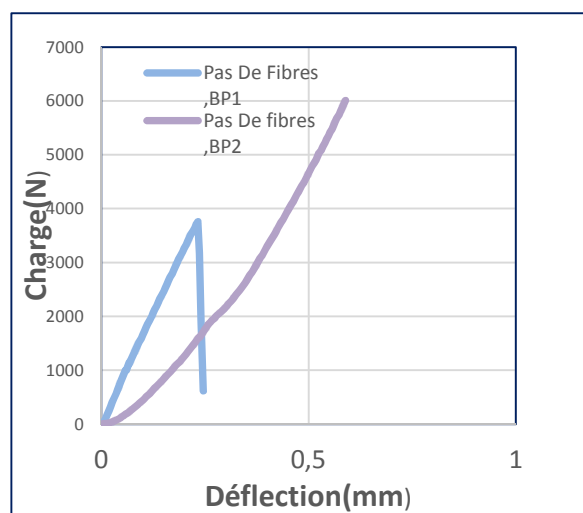
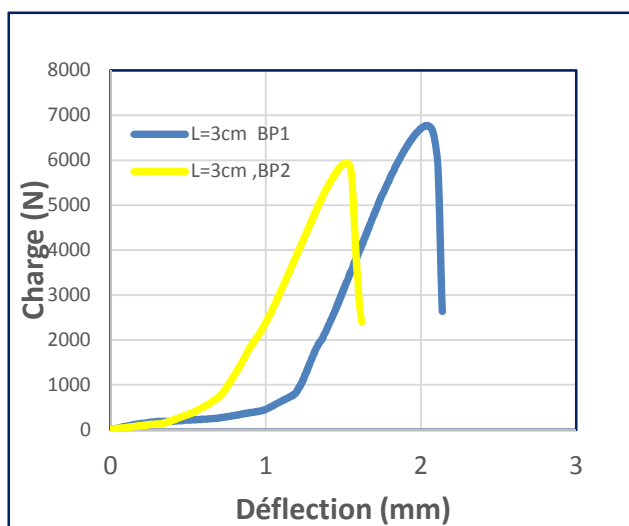
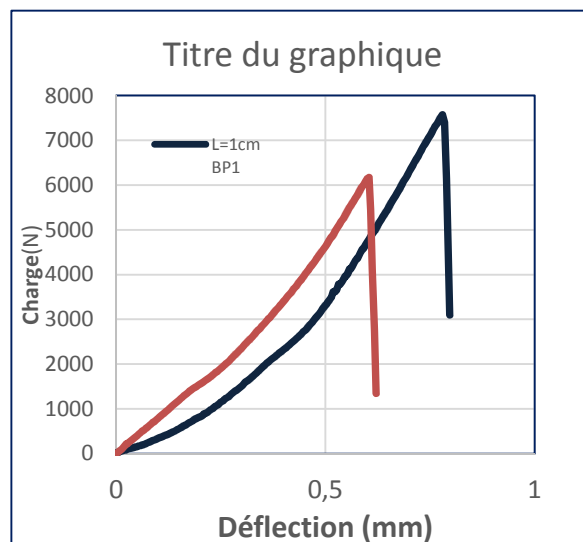
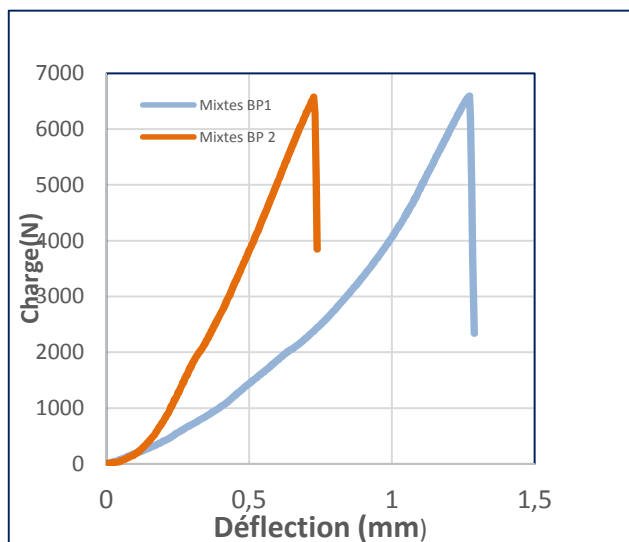


Figure.V.43 : Evolution de la charge en fonction la déformation du composite béton polymère

La figure.5.2.) Présente la courbe typique charge – déplacement (P- δ) des bétons polymères stratifiés testés en flexion trois points.

Dans ces courbes nous remarquons La charge augmente pour atteindre le maximum puis diminue brusquement pour provoquer la destruction de l'échantillon testé.

Chapitre V: Résultats et discussions

V.2.2. Analyse des courbes contrainte-déformation des bétons polymères :

Dans le cette (Figure. V. 3) toutes les courbes contrainte-déformation des bétons polymères, la charge est augmentée pour atteindre le maximum, puis la charge a soudainement diminué pour provoquer la destruction de l'échantillon.

Le béton constitué de (résine et sable), et de fibres alliées non renforcées (L=3cm et L=1cm), a enregistré la valeur de contrainte la plus élevée avec une valeur de 22 303 pour la longueur 3cm par rapport au béton polymère non armé avec une valeur de 17, 007.

Nous avons également remarqué que l'échantillon n'était pas clairement cassé et que les fibres étaient coupées à la longueur 3cm, contrairement à ce qui s'est passé avec le béton constitué de fibres de 1 cm

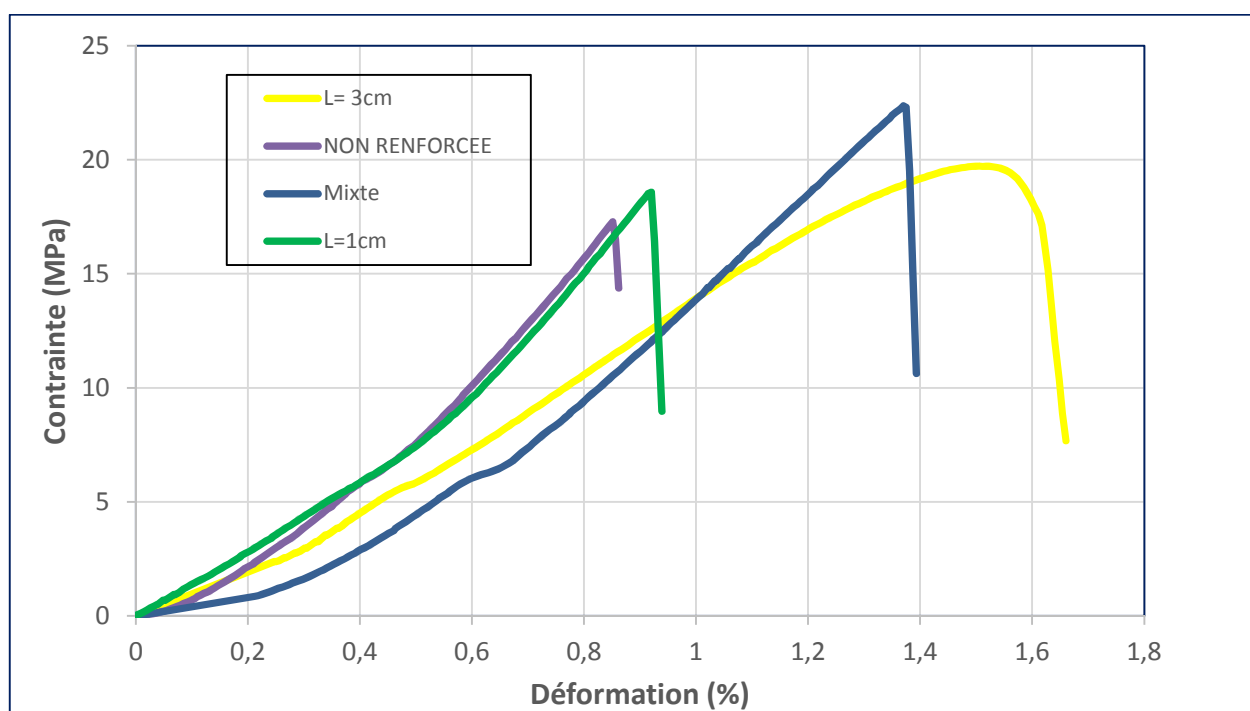


Figure. V. 44 : Superposition des évolutions de la contrainte en fonction de déformation des types du Béton polymère non renforcé

La courbe de la figure (Figure. V. 3) montre clairement pour les éprouvettes B0001, B0003 et B0013 en renforcé des résistance longueur supérieures à celle des éprouvettes non renforcés.

D'où le renforcement augmente la résistance des béton polymère (Rokbi et al [1]) ont trouvé les mêmes constatations lors renforcement du BP avec des fibres ALFA.

Chapitre V: Résultats et discussions

V.2.3. Analyse des courbes effet de longueur :

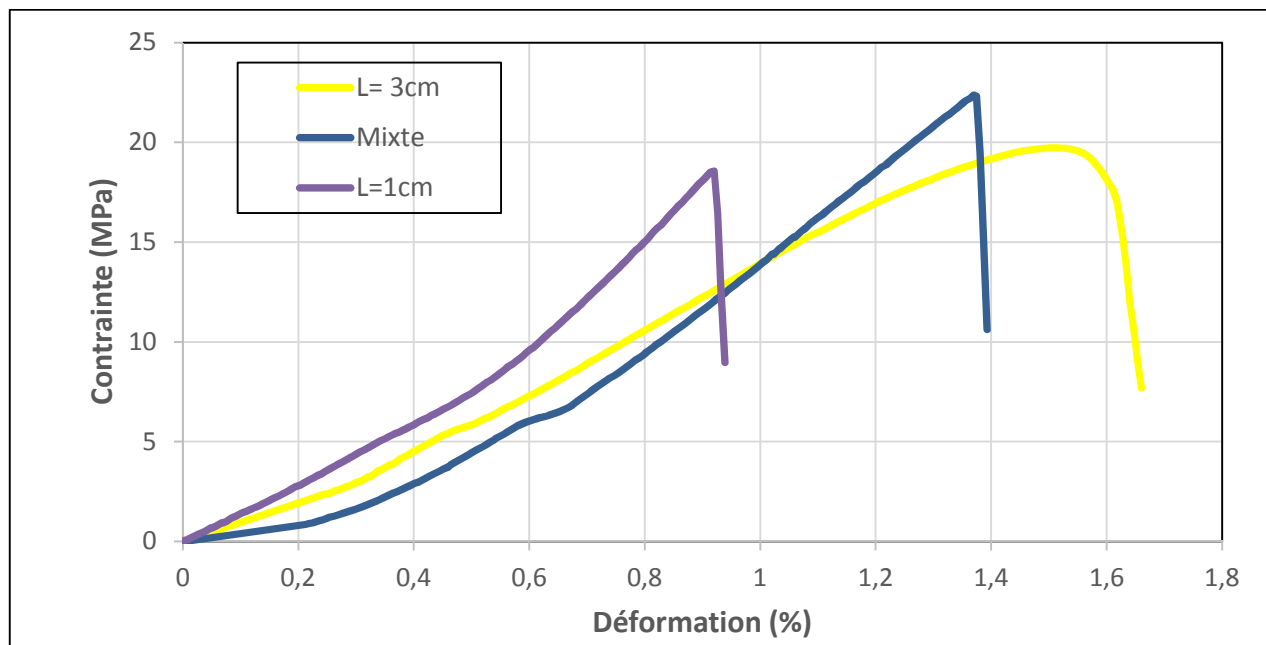


Figure. V. 45 : Superposition des évolutions de la contrainte en fonction de déformation des types du Béton polymère non renforcé

La (Figure.V.2) présente la courbe typique contrainte-déformation des béton polymère renforcé Par fibres.

Cette section est réservée pour l'analyse de l'effet de la longueur de la fibre végétale sur le comportement de BP pour cela, nous avons superposé courbes ($\delta - \varepsilon$) des Béton polymère.

Renforcés par fibres Alfa à différente long (1cm, et 3cm). De plus nous avons inséré les courbes ($\delta - \varepsilon$) du BP renforcé par des longueurs différente à la fois (50% L=1cm et 50% L=3cm).

Chapitre V: Résultats et discussions

V.2.4. Analyse des courbes effet de Traitement :

Cette section est réservée principalement à l'étude de l'effet du traitement des fibres végétales sur le comportement en flexion du BP. La superposition des courbes ($\delta - \epsilon$) des BP renforcés par des fibres mixtes (50% L=1cm, 50% L=3cm) non traités avec ceux renforcés par fibres traitées (figure.V.5) montre clairement que le traitement chimique des fibres ALFA par NaOH.

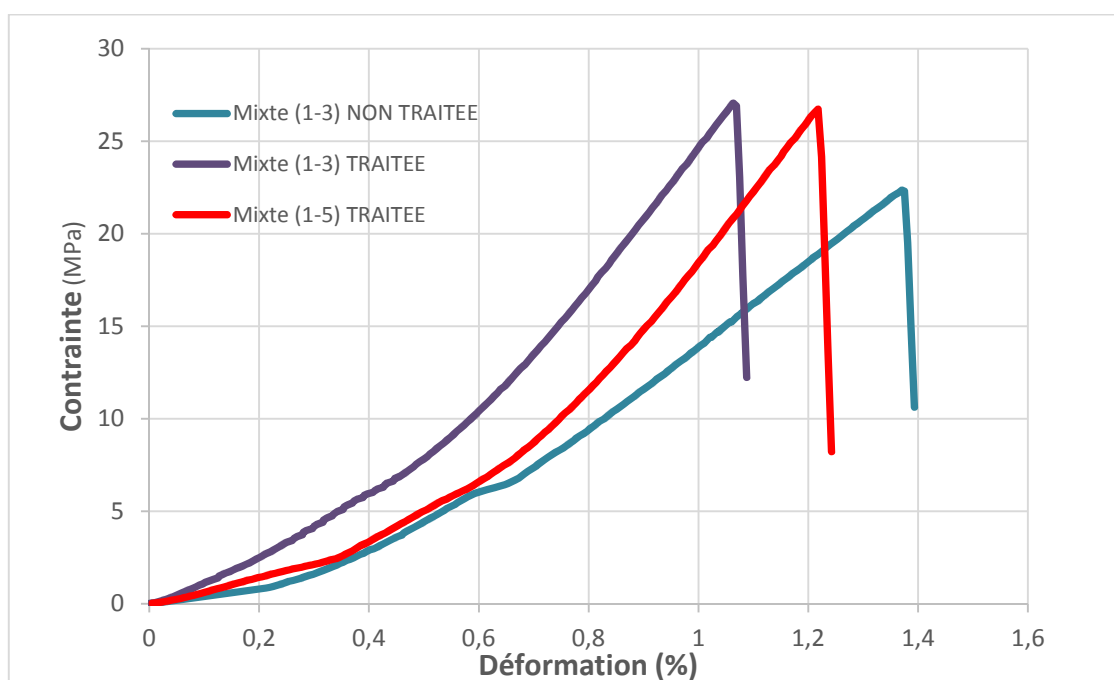


Figure. V.46: Effet de traitement chimique (3% NaOH) sur la contrainte du BP.

Chapitre V: Résultats et discussions

Sur la même courbe (Figure. V.5), nous avons vu des courbes ($\delta - \varepsilon$), des bétons polymère par fibre Alfa traités mais la longueur de fibres est mixte (50% L=1cm et 50% L=5cm). On constate que l'effet d'augmenter la longueur de fibre n'a pas d'influence notable sur la résistance du béton polymère en flexion.

Le béton polymère durci enregistre une plus grande amélioration que le béton polymère non traité, et cette amélioration conduit à une bonne résistance des fibres alliées. Ici il est important de noter l'effet du traitement chimique sur le comportement mécanique en flexion du FPRC. Dans le cas des fibres durcies (fibres alliées), la résistance à la traction du béton polymère est améliorée.

V.3.Conclusion:

Tous les tests qui ont été effectués sur du béton polymère mélangé avec des fibres alliées renforcées et non renforcées de longueur (L=3cm, L=5cm, L=1cm), et ont conclu que le béton polymère mélangé avec des fibres alliées durcies offre des propriétés mécaniques plus élevées que le béton polymère.

Référence :

[1] : M. ROKBI, H. OSMANI (L'effet des traitements de surface des fibres sur les propriétés mécaniques de composites Polyester-fibres Alfa), Université de M'sila, 29 août au 2 septembre 2011.

Conclusion générale :

Les travaux menés dans cette thèse ont d'abord été consacrés à la composition bibliographique des matériaux composites, ainsi que du béton polymère, puis une étude pilote a été menée sur du béton polymère chargé de fibres végétales.

Les résultats des tests étudiés sur différents échantillons de béton polymère soutenu par des fibres végétales, les résultats de ces travaux peuvent indiquer que les fibres alliées locales peuvent être comparées à d'autres fibres naturelles utilisées comme renfort dans la matrice polymère et sont bien adaptées à une utilisation comme charges. Les résultats des tests étudiés sur différents échantillons de béton polymère soutenu par des fibres végétales, les résultats de ces travaux peuvent indiquer que les fibres alliées locales peuvent être comparées à d'autres fibres naturelles utilisées comme renfort dans la matrice polymère et sont bien adaptées à une utilisation comme charges dans le béton polymère. le béton polymère.

Selon une analyse d'essai de courbure en trois points sur différents échantillons de béton polymère soutenu par de la fibre végétale (alfa), à partir de laquelle nous avons constaté que BP0013 enregistre une résistance maximale par rapport à BP0001, BP0003 et dans un autre cas, une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 3% BP0313 est également obtenue comme maximum par rapport à BP0315, auquel cas cette découverte montre que le béton polymère contenant des fibres alliées soutenues par une solution d'hydroxyde de sodium offre les meilleurs résultats en courbure à trois points. Le béton à base de résine et la silice BP0000 ont un taux de résistance inférieur à celui des BP0001, BP0003, BP0013, ce qui justifie la différence de nature et de composition des matériaux utilisés. Selon une analyse d'essai de courbure en trois points sur différents échantillons de béton polymère soutenu par de la fibre végétale (alfa), à partir de laquelle nous avons constaté que BP0013 enregistre une résistance maximale par rapport à BP0001, BP0003 et dans un autre cas, une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à 3% BP0313 est également obtenue comme maximum par rapport à BP0315, auquel cas cette découverte montre que le béton polymère contenant des fibres alliées soutenues par une solution d'hydroxyde de sodium offre les meilleurs résultats en courbure à trois points. Le béton à base de résine et la silice BP0000 ont un taux de résistance inférieur à celui des BP0001, BP0003, BP0013, ce qui justifie la différence de nature et de composition des matériaux utilisés.

Nous espérons trouver une continuité de ce travail dans les années à venir afin de valoriser cette fibre naturelle dans la formulation de béton polymérique pour préserver l'environnement et l'exploiter économiquement.

