

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 Mécanique

Option : Génie des Matériaux

Présenté par :

Kouidri Djamila & Madani Meryem

Thème

*L'étude de l'effet alcalin sur les propriétés des
fibres naturelles*

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Qualité
Farci Chaouki	MCA	Président
Moussaoui Nafissa	MAA	Encadreur
Benhamadouche Lamia	MAA	Examinatrice

Année Universitaire : 2019 / 2020





REMERCIEMENTS

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

*Nous exprimons nos profondes gratitudee et nos
reconnaissances à notre encadreur
Mme.MOUSSAOUI.Nafissa pour la confiance qu'elle nous a
témoigné, pour ses conseils utiles, sa supervision, ses
encouragements, son appui, sa gentillesse, ses suggestions et
son aide durant la réalisation de ce mémoire.*

*Nous remercions nos familles pour leurs
encouragements et leurs sacrifices envers notre formation et
même notre éducation.*

*Au terme de ce mémoire, nous sommes sincèrement
agréables d'exprimer ma reconnaissance, à l'égard de tous
ceux qui ont contribué de près de loin, à la réalisation de ce
travail*

*Enfin, un gros merci pour l'ensemble des membres du
jury pour avoir accepté de donner une partie de leur
précieux temps et d'avoir ainsi partagé de leur savoir.*

Listes des figures :

Figure .I.1. Représentation schématique d'un matériau composite.	01
Figure .I.2. Organigramme des différents composites renforcés.	02
Figure I.3: Types des résines thermoplastiques.	03
Figure .I.4. Les différents types de fibres.	04
Figure .I.5. Les différentes formes de renfort.	05
Figure. 1.6. Fibres de verre	06
Figure 1.7: Fibre de carbone	07
Figure. 1.8. Fibres d'aramide.	08
Figure.1.9. Cotton.	9
Figure.1. 10 mildious.	10
Figure. 1.11 Lin (flax).	11
Figure. I.12 Jute.	12
Figure. 1.13 Coir	13
Figure. 1.14 Chanvre	14
Figure. 1.15. Banane	15
Figure. 1.16. Laine	16
Figure. 1.17. Soie	17
Figure. 1.18. SISAL	18
Figure. 1.19. FIBRE D'ANANAS (PINA).	19
Figure. I.20. Herbe de Diss Ampélodesmos mauritanicus.	20
Figure I.21. Structure d'une fibre végétale.	21
Figure I.22 Molécule de la cellulose (n répétitions du motif cellobiose).	22
Figure.I.23. Structure d'un type de xyloglucane.	23
Figure I-24. (a) Le réseau de pectine, (b) L'interaction de calcium avec la pectine.	24

Figure I.25. Exemple générique de la macromolécule lignine	25
Figure I.26. Représentation schématique de l'agencement des différents composants des fibres végétales à l'échelle micrométrique.	26
Figure I.27 : Exemples de stratifié	27
Figure I.28 : Matériau sandwich.	28
Figure I. 29. Moulage au contact.	29
Figure I.30 : Méthode de projection simultanée.	30
Figure I.31 Méthode de moulage par compression.	31
Figure I.32 : Méthode du moulage sous vide.	32
Figure I.33 : Principe du moulage par injection de résine.	33
FIGURE II.01 : Vue schématique de la couche secondaire de la paroi de la cellule de fibre.	34
Figure II. 2 Mécanismes de liaison interfaciale à matrice de fibres : (a) enchevêtrement moléculaire suivant l'interdiction de diffusion, (b) l'adhésion électrostatique, (c) la liaison chimique et (d) la liaison mécanique enclenchement.	35
Figure II.3. Schéma de l'interaction des silanes avec les fibres cellulosiques.	36
FIGURE II.4: Structure type (i) non traitée et (ii) alcalinisée fibre de cellulose.	38
Figure II. 5. Influence de l'acétylation de la fibre de lin sur le degré de polymérisation et le degré de cristallisation de cellulose.	39
Figure II. 6: influence de l'acétylation des fibres de lin sur L'absorption d'humidité propriété à 29%.	40
Figure II.7 Réaction des fibres de cellulose avec les copolymères MAPP à chaud.	41
Figure II.8 Micrographie de la morphologie de la surface de la fibre d'abaca (a) non modifiée (b) PDN modifiée (c) fungamix modifiée.	42
Figure II.9. Résistance à la traction et à la flexion des composés enzymatiques traités et non modifiés d'abaca-PP.	43
Figure III.1 Facies de rupture des composites 20% fibres non traitées/polypropylène	44

Figure III.2 Liaisons d'interface formées par (a) enchevêtrement moléculaire; (b) attraction électrostatique; (c) inter-diffusion des éléments; (d) réaction chimique entre le groupe A sur une surface et le groupe B sur l'autre surface; (e) réaction chimique à la suite de la formation d'un nouveau composé(s), en particulier dans les composites à matrice métallique (CMM); (f) enclenchement mécanique.	45
Figure III.3 Schéma représentatif de la formation d'un ancrage mécanique à l'interface.	46
Figure III.4. Caractérisations des matériaux.	47
Figure III.5. Mécanismes d'endommagement observés dans un composite.	48
Figure III.6. Paramètres qui conditionnent les performances d'un composite.	49
Figure III.7. Concepts d'interphase et d'interface	50
Figure III.8. Modes d'endommagements.	51
Figure III.9. Schéma représentatif d'un essai pull-out d'une fibre seule avec la fixation à droite	52
Figure III.10. Courbe force – déplacement typique de l'essai pull-out d'une fibre seule.	53
Figure III.11. Schéma représentatif d'un essai de déchaussement d'une micro-goutte	54
Figure III.12. A : Exemple de micro-goutte poly(acide L-lactique) PLLA/lin symétrique. B : Rupture d'une micro- goutte PLLA/lin	55
Figure III.13. Courbe force - déplacement typique de l'essai de déchaussement d'une microgoutte	56
Figure III.14. Schéma d'un essai de fragmentation à une fibre seule. Plus la sollicitation σ augmente, plus la fibre se rompt jusqu'à une longueur critique des fragments l_c	57
Figure III.15. Visualisation des isochrones proches d'une fragmentation dans un éprouvette monofilament chanvre/époxy	58
Figure III.16. Schéma représentatif de l'essai de compression diabolos des éprouvettes (A) haltères ou (B) parallélépipédiques	59

Figure III.17. Représentation schématique de l'installation microscopie électronique à balayage (MEB) d'un essai de micro-indentation	60
Figure III.18. Image MEB d'un essai de micro-indentation sur une éprouvette composite fibre de verre E ensimée/epoxy.	61
Figure III.19. Schéma de l'essai de micro-indentation avec trois phases : (a) pas de décollement (b) décollement progressif (c) décollement total	62
Figure III.20. Courbe force - déplacement typique d'un essai de micro-indentation	63
Figure IV. 1. illustration schématique du processus de gonflement en cellulose.	64
Figure IV. 2. Structure en treillis de la cellulose I et de la cellulose II.	65
Figure IV. 3. : les réactions stress-déformation de la fibre Napier d'herbe Napier traitée et non traitée soumises à des temps de trempages différents pendant le traitement alcalin.	66
Figure IV. 4. Module Young de fibres d'herbe traitées et non traitées soumis à des temps de trempage différents pendant le traitement alcalin.	67

Liste des tableaux :

Tableau I.1 : Les caractéristiques souhaitées de la matrice et ses facteurs de sélection.	01
Tableau.I.2 : Caractéristiques des résines thermodurcissables.	02
Tab.I.3. Principales différences entre matrices TP et TD.	03
Tableau I.4: Différents types de fibres de verre.	04
Tableau I.5. Classification scientifique de la plante Diss.	05
Tableau I-6. Caractéristiques générales des fibres végétales.	06
Tableau I.7 : Composition chimique des fibres végétales.	07
Tableau.I.8. les différents types des composites.	08
Tableau II .1 : Influence des différents traitements de fibres sur la résistance à la flexion des composites unidirectionnels en lin-PP.	09
Le tableau IV.1. : Résumé l'effet de la Concentration (% de NaOH), le temps d'immersion et la température de quelques fibres sur le comportement.	10

Liste des abréviations

AFNOR	: Association française de normalisation
CMO	: composites à matrices organique
CMC	: composites à matrices céramiques
CMM	: composites à matrices métalliques
TD	: résines thermodurcissables
TP	: résines thermoplastiques
HM	: Haut Module
THM	: Très Haut Module
HR	: Haute Résistance
HT	: Haute Ténacité
R_t	: la résistance à la traction
R_c	: la résistance conventionnelle (élastique)
E	: module de Young
BCI	: chlorure de bore
DP	: degré de polymérisation
RTM	: Resin Transfert Molding
PEHD	: Polyéthylène haute densité
RF	: radiofréquence
LF	: basse fréquence
PS	: Polystyrène
PP	: Polypropylène
VTMO	: le triméthoxysilane de vinyle
MA	: l'anhydride maléique

MAPP	: le copolymère maléique anhydride-polypropylène
PLA	: Acide polylactique
DMA	: analyse mécanique dynamique
MAH-PP	: PP compatibilizer additif plastique, agent de couplage pour le PP
AES	: la spectroscopie électronique Auger
ISS	: la spectroscopie de diffusion ionique
WAXS	: la diffusion de rayons X à grand angle
XPS	: spectroscopie photoélectronique à rayons X
RMN	: spectroscopie par résonance magnétique nucléaire à l'état solide
FTIR	: spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier
IR	: spectroscopie infrarouge
MEB	: la microscopie électronique à balayage
FESEM	: le microscope électronique à balayage à émission de champ
MET	: la microscopie électronique à transmission
STM	: microscopie à balayage en tunnel
AFM	: microscopie à force atomique
IFSS	: évaluation de la résistance au cisaillement de l'interface
W	: l'énergie réversible d'adhésion
E_m	: Le module d'élasticité de la matrice
E_f	: Le module d'élasticité de la fibre
τ_{app}	: La contrainte moyenne de cisaillement
σ_{fr}	: La résistance à la rupture en traction de la fibre
τ_{ult}	: La contrainte de cisaillement ultime

Sommaire

Remerciement	
Liste de figures	
Liste de tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	2

Chapitre I: Généralité sur matériaux composites et les fibres végétales

I.1. L’historique du composite	6
I.2. Définition	7
I.3. Classification des matériaux composites	7
1.4. Constitution des matériaux composites	9
1.4.1. La matrice	9
I. 4. 1. 1. Le rôle de matrice	8
I. 4. 1. 2. Propriétés de la matrice et comment la choisir	9
I. 4. 1. 3. Les divers types de la résine	10
I.4.2. Le renfort	12
I.4.2.1. Architecture de renforcement	12
I.4.2.2 Type de renfort (Fibres)	12
I.4.3. Les fibres naturelles	18
I.4.3.1. Définition	18
I.4.3.2. Fibres végétales	19
I.5. La composition chimique des charges végétales	33
I.5.1. Cellulose	34

I.5.2. Les hémicelluloses	35
I.5.3. Pectine	36
I.5.4. La lignine	36
I.5.5. La cire	37
I.6. Architecture des matériaux composites	38
I. 6 1. Les stratifiés	38
I.6. 2. Composites sandwiches	39
1.7. Avantages et inconvénients des matériaux composites	40
I.8. Mise en œuvre des composites	41
I. 8. 1. Moulage au contact	41
I.8.2. Moulage par projection	42
I.8. 3. Moulage par compression	42
I. 8. 4. Moulage sous vide	43
I.8. 5. Moulage par transfert de résine	44
I.19. Conclusion	44
Références bibliographiques	45

Chapitre II : Traitements Des Fibres végétales

II.1 Introduction	51
II.2. Structure de la fibre végétale	52
II.3 Cohésion Des Composites et Adhésion Interfaciale	53
II.4. Mécanismes de liaison	53
II.5. Modification des fibres naturelles	55
II.5. 1. Méthodes physiques	56

II.5.2. Méthodes chimiques	58
CONCLUSIONS	71
<i>Référence bibliographique</i>	
72	

Chapitre III : L'interface Fibre-matrice

III.1. Introduction	78
III.2. L'interface fibre/matrice	79
III.3. Théories de l'adhérence et type de liaison	80
III.4. Théories de l'adhésion mécanique	81
III.5. Caractérisation physicochimique de l'interphase	82
III.6. Les mécanismes d'endommagement	83
III.6.1 Comportement de l'interface fibre-matrice	
 dans les composite	84
III.6.2. Comportement d'un composite unidirectionnel	85
III.6.2.1. Cas d'une interface très forte (interface liée)	85
III.6.2.3. Cas d'une interface relativement faible	85
III.7. Méthodes de caractérisation mécanique	
de l'interface fibre/matrice	86
III.7.1 Introduction	86
III.7.2 Essais micromécaniques de l'interface fibre/matrice	88
III.7.2.1 Essai de déchaussement "pull-out"	88
III.7.2.2 Essai de déchaussement d'une microgoutte	90
III.7.2.3 Essai de fragmentation	93
III.7.3.4 Essai de compression diabolo	95

III.7.3.5 Essai de micro-indentation et push-out	97
Conclusion	99
Référence Bibliographie	100
ChapitreIV : analyse des travaux réalisés dans le domaine De l'influence du traitement alcalin sur la Fibre végétale	
I. Introduction	104
II. Traitement de mercerisation	105
III. Analyse des travaux déjà réalisés dans le domaine de l'influence du traitement alcalin sur la fibre végétale1	107
III.1. Résumé des quelques articles scientifiques dans le domaine du traitement alcalin	112
Conclusion	113
Références bibliographique	148
Conclusion générale	159
Résumé	

***Introduction
générale***

Introduction générale

À un degré ou plus, les possibilités offertes par les matériaux traditionnels tels que les métaux et leurs alliages sont tellement épuisées que même en utilisant les dernières technologies il peut s'avérer difficile d'obtenir les caractéristiques de matériaux les plus élevées et donc des paramètres de performance plus hautes, la durabilité, la fiabilité des structures et des équipements proposés. Certains matériaux sont très résistants, durs et même lourds, tels que l'acier, d'autres peuvent être légers et moins résistants et durs, comme les poteaux de bambou, ce qui signifie que chaque matériau possède des propriétés souhaitées limitées, l'impossibilité d'obtenir un matériau conventionnel combinant toutes les caractéristiques requises ce qui a ramené l'effort de recherche à ce qu'on appelle les matériaux composites. Il est important de faire le point sur les différentes catégories de matériaux issus de ressources renouvelables et biodégradables. Certains secteurs industriels, comme l'emballage et le transport, s'intéressent à l'utilisation de fibres cellulosiques qui conduisent à des produits de bonnes performances ayant une bonne aptitude à la mise en forme [1].

Depuis longtemps, les égyptiens sur les rives du fleuve Nil ont mélangé la boue et les pailles pour fabriquer les briques et formant des matériaux de construction, sont des composites isolants et économiques. Aujourd'hui les matériaux composites sont un mélange d'au moins deux matériaux, le premier est souvent constitué de fibres agissant comme renfort contenu dans une matrice, cette matrice maintient les fibres dans leur distribution géométrique, c'est créé des matériaux ultra-efficaces, qui sont légers, durables, flexibles et compétitifs, ces matériaux sculptent notre environnement et servent de source d'inspiration pour les concepteurs, tels que la création d'un banc de jardin à la fois léger et robuste de 06 mètres de long et portable pour deux colonnes seulement, ce grand banc a été créé à l'aide d'un panneau de polyester standard renforcé par les fibres de verre, acquérant ainsi des propriétés jamais atteintes auparavant avec des matériaux homogènes conventionnels, où l'a remporté le premier prix d'une compétition "Tour of Composite Materials 2".

Chaque jour, les concepteurs confrontent des défis similaires et souvent sont venus avec des résultats inattendus et merveilleux[2].

En vue du développement durable, il y'a des méthodes et des nouvelles recherches au niveau du développement technique qui ont toujours besoin de la découverte. Ainsi l'utilisation de fibres naturelles, ce qui facilitera le recyclage des matériaux, et d'une part les rendre

Introduction Générale

compatibles avec les exigences et attentes environnementales, et d'autre part respecter le cahier des charges notamment en termes de propriétés mécaniques, est un défi à relever d'aujourd'hui pour atteindre les objectifs de futurs [2].

Cependant, le manque d'adhésion avec les matrices polymères est une difficulté qui peut empêcher un large usage des fibres végétales dans les composites. Le caractère hydrophobe de la majorité des polymères et le caractère hydrophile des fibres végétales affectent négativement l'adhésion. Pour minimiser ces problèmes, la modification de la surface des fibres est généralement nécessaire afin d'améliorer leur adhésion avec la matrice polymérique et réduire l'absorption d'humidité. Il a été démontré qu'un traitement approprié appliqué sur les fibres peut entraîner une compatibilité avec la matrice polymère, ce qui améliore la qualité des composites. Des méthodes variées comme le traitement alcalin, le traitement avec des silanes ou encore avec d'autres produits chimiques ont permis d'améliorer la compatibilité des fibres avec la matrice polymérique [3].

En Algérie l'alfa, le diss, le crin végétal, sisal et le liège se trouvent abondants. Leurs récoltes et leurs industrialisations sont une source de revenus considérable pour des populations entières. L'une des fibres végétales locales de la région de Sétif est le Genêt d'Espagne. Cette plante est intéressante du point de vue économique, car son abondance permet d'envisager sa possible utilisation pour la production de matériaux composites à base de matrice polymérique. Aussi, l'arbrisseau est facile à récolter, ne nécessite pas beaucoup d'eau et supporte la chaleur.

L'objectif de ce mémoire est l'étude du traitement chimique alcalin des fibres naturelles et leurs caractérisations pour améliorer l'adhésion de l'interface fibre/matrice des composites à base de polyester.

Notre mémoire comporte quatre chapitres :

- Le premier chapitre est une Généralité sur matériaux composites et les fibres végétales.
- Dans le deuxième chapitre, nous présentons une étude sur Les traitements des fibres végétales.
- Dans le troisième chapitre, nous présentons L'interface Fibre-matrice.
- Le quatrième chapitre est une analyse des travaux réalisés dans le domaine de l'influence du traitement alcalin sur la fibre végétale.

Enfin, en conclusion, nous discuterons des résultats que ces travaux ont trouvés.

Référence bibliographiques

[1] M. Malha, «Mise en oeuvre, Caractérisation et Modélisation de Matériaux Composites : Polymère Thermoplastique Renforcé par Des Fibres De Doum.». Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences Rabat, Université Mohammed V, Agdal, 2013, 151 p. [En ligne], disponible sur http://toubkal.imist.ma/bitstream/handle/123456789/9626/THESE_MALHA.pdf [2]

[2] BOUGHEDIRI Sara «Réalisation d'un nouveau matériau biocomposite à base de matrice résine.». Mémoire de master Domaine Sciences et Techniques Filière Génie Mécanique, Spécialité Construction Mécanique, université de Biskra ; 2009.

[3] Y. Xie et al. « Silane coupling agents used for natural fiber/polymer composites: A review ». Composites Part A: Applied Science and Manufacturing., Vol. 41, 2010, pp. 806–

Chapitre I

*Généralité sur matériaux composites et les
fibres végétales*

I.1. L'histoire du composite

La norme AFNOR NF T50-100 définit un matériau composite comme étant un produit solide comportant au moins deux phases physiques distinctes, composées d'un matériau de liaison et d'un matériau sous forme granulée, fibreuse ou lamellaire [1].

Le bois fut le premier matériau composite naturel utilisé. Plus tard, le torchis a été utilisé en construction pour ses propriétés d'isolation et son faible coût. Parmi les premiers composites fabriqués par l'Homme, on trouve également les arcs mongols (2 000 ans av. J.-C.) ; leur âme en bois était contrecollée de tendon au dos et de corne sur sa face interne.

- 1823 : Charles Macintosh crée l'imperméable avec du caoutchouc sur des tissus comme le coton.
- 1892 : François Hennebique dépose le brevet du béton armé (le composite utilisé en construction) avec le béton qui forme la matrice et l'acier qui forme le renfort.
- 1940 : Utilisation de composites de fibres de lin et de résines phénoliques dans la construction aéronautique en Angleterre.
- 1945 : Utilisation de résine époxy et fibres de verre aux États-Unis et en Allemagne.
- 1956 : Le pavillon de toit de la Citroën DS est réalisé en matériaux composites
- 1967 : Fabrication des pales de l'hélicoptère Alouette en matériau composite.
- 1970 : Rolls-Royce conçoit les pales de turbine du réacteur RB211-22 en composite fibre de carbone.
- 1970 : Rossignol développe des skis composite fibre de verre-résine.
- 2009 : Fabrication du Boeing 787 qui intègre 50% de matériaux composites.

Depuis l'apparition des premières pièces en résine renforcée de fibres de verre (vers 1940), les composites ne cessent d'évoluer vers des produits qui sont, soit les moins coûteux possibles, soit les plus performants, ou bien les deux à la fois en connaissant une croissance régulière de 10% depuis 20 ans. Grâce à leurs caractéristiques techniques et mécaniques, ils peuvent remplacer de nombreuses pièces métalliques, tout en bénéficiant d'une plus grande légèreté. Le matériau « parfait » doit posséder des propriétés mécaniques élevées, être durable et préserver l'environnement lors de son cycle de vie. Le facteur économique reste le principal moteur car pour être viable, le composite doit être compétitif.

Ces matériaux sont impliqués dans de nombreux secteurs : aéronautique, automobiles, bâtiment... Toutefois face à des contraintes économiques et environnementales toujours plus exigeantes, l'utilisation de renforts naturels et végétales dans les composites à matrice organique apparaît aujourd'hui comme une alternative de choix. La recherche sur le sujet s'est ainsi fortement dynamisée au cours de ces dernières années et un certain nombre de produits commencent à apparaître sur le marché (balustrades, bardage, palettes, fenêtres...). De nouvelles applications et des composites plus performants sont déjà anticipés, mais les connaissances restent insuffisantes et des études doivent être menées afin de mieux comprendre certains mécanismes. [2]

I.2. Définition

Les matériaux composites sont des matériaux solides constitués de l'assemblage d'au moins deux matériaux non miscibles et de natures différentes, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont l'association confère à l'ensemble des propriétés qu'aucun des composants pris séparément ne possède (**Fig.I.1**). Le renfort généralement de nature fibreuse permet de supporter la charge de la structure, réduit les contraintes thermiques et assure la rigidité et la résistance macroscopique. La matrice permet de lier le renfort, assurer une protection face aux agents extérieurs et transférer les charges au renfort via la liaison entre la fibre et la matrice [3].

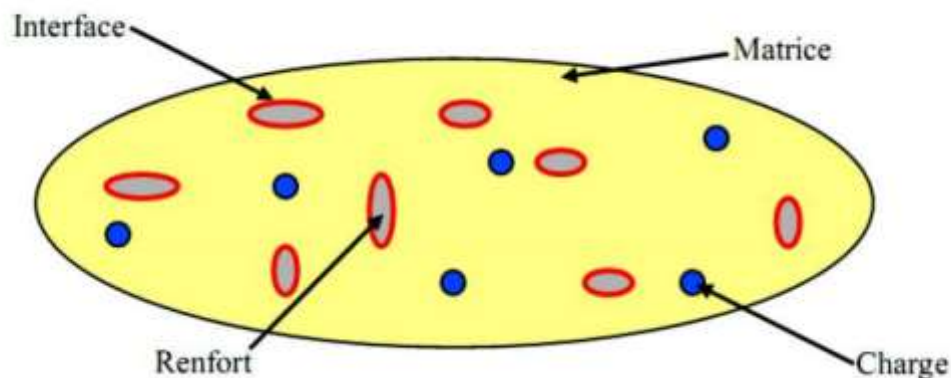


Fig.I.1. Représentation schématique d'un matériau composite [4].

1.3. Classification des matériaux composites :

Il existe aujourd'hui un grand nombre de matériaux composites que l'on classe généralement trois familles en fonction de la nature de la matrice [5]

- **Les composites à matrices polymère ou organique (CMO)** ; telles que les polymères organiques (résine therm durcissable ou thermoplastique) [6] ; qui constituent, de loin, les volumes les plus importants aujourd'hui à l'échelle industrielle [5].
- **Les composites à matrices céramiques (CMC)**, réservés aux applications de très haute technicité et travaillant à haute température comme dans les domaines spatial, nucléaire et militaire, ainsi que le freinage.
- **Les composites à matrices métalliques (CMM)**, Ces matériaux peuvent aussi être classés selon la nature du renfort [6].

Les composites trouvent leurs principales applications dans le transport aérien, maritime, ferroviaire, le bâtiment, l'aérospatial ainsi que les sports et loisirs, notamment grâce à leur bonne tenue mécanique comparable aux matériaux homogènes, plus résistants que l'acier et plus légers que l'aluminium. Les composites sont souvent désignés selon le type de renfort. Ainsi, il existe des particules, des composites sandwichs, des composites à phases dispersées ou encore des composites fibreux (**Fig.1.2**)[5].

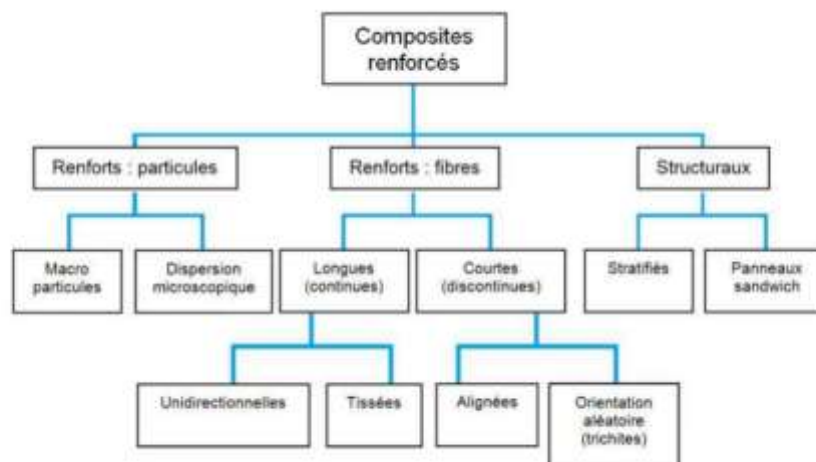


Fig.I.2. Organigramme des différents composites renforcés

✓ Les propriétés des matériaux composites dépendent [7]

- des propriétés des matériaux constitutifs.

- de distribution géométrique des fibres.

- de l'interaction fibre-matrice.

✓ Pour accéder à la caractérisation d'un matériau composite, il sera nécessaire de spécifier [7]

- La nature de l'interface matrice- renfort.

- La nature des constituants et leurs propriétés.

-La géométrie du renfort et sa distribution.

1.4. Constitution des matériaux composites :

1.4.1. La matrice :

Dans un matériau composite, le terme matrice désigne la matière solide qui entoure les renforts pour compacte et de donner la forme voulue au produit final. Elle sert également à protéger les fibres contre l'abrasion et un environnement agressif, contrôler le fini de surface et assurer le transfert de charges entre les fibres. Le solide formant la matrice peut être d'origine métallique, céramique ou polymère [8].

I. 4. 1. 1. Le rôle de matrice:

La fonction du polymère est très importante, où les fibres peuvent mieux fonctionner ensemble, parce que le polymère transfère les charges des fibres aux autres par la contrainte de cisaillement. Ainsi, une répartition des charges uniformément entre les fibres afin que toutes les fibres soient soumises à la même charge dans un composite du faisceau des fibres sèches. Lorsqu'un filament se casse, la charge répartie sur les autres filaments [9].

La matrice combine les particules individuelles de renforcement, et les protège contre les agressions extérieures, améliore la résistance de la rupture d'un composant et donnent la forme du matériau, pour la matrice, est nécessite une bonne force de liaison avec le matériau de la phase de renforcement (c'est-à-dire une mouillabilité parfaite sans interaction chimique à l'interface de la matrice et du renforcement)[10].

I. 4. 1. 2. Propriétés de la matrice et comment la choisir :

Les besoins ou les propriétés souhaitées de la matrice sont importants pour une structure composite et sa sélection basé sur des plusieurs facteurs doivent être pris en compte. On peut illustrer ça dans **le tableau (I.1)** :

Les facteurs de sélection de la matrice	Les propriétés de matrice
<ul style="list-style-type: none"> - La matrice doit avoir une résistance mécanique proportionnelle à celle du renforcement, c'est-à-dire que les deux doivent être compatibles. Ainsi, si les fibres utilisées comme renforcement à haute résistance, il ne sert à rien une matrice à faible résistance, qui ne transmettra pas efficacement les contraintes au renfort. - La matrice doit résister aux conditions de service, à savoir température, humidité, exposition à un environnement ultraviolet, exposition à une atmosphère chimique, abrasion par des particules de poussière, etc. - La matrice doit être facile à utiliser dans le processus de fabrication sélectionné. - Exigences de fumée. - Espérance de vie. - Le composite résultant devrait être rentable. - Les fibres sont saturées avec une résine liquide avant qu'elle ne durcisse en un solide. 	<ul style="list-style-type: none"> - Absorption d'humidité réduite. - Faible retrait. - Faible coefficient de dilatation thermique. - Bonnes caractéristiques d'écoulement, de sorte qu'il pénètre complètement dans les faisceaux de fibres et élimine les vides pendant le processus de compactage / durcissement. - Résistance, module et allongement raisonnables (l'allongement doit être supérieur à celui des fibres). - Doit être élastique pour transférer la charge sur les fibres. - Excellente résistance chimique (selon l'application). - Doit être facilement transformable dans la forme finale du composite. - Stabilité dimensionnelle (conserve sa forme).

Tableau (I.1) : Les caractéristiques souhaitées de la matrice et ses facteurs de sélection [11,12].

I. 4. 1. 3. Les divers types de la résine :

Deux grandes familles de résines polymères existent sont:

I. 4. 1. 3. 1. Les thermoplastiques :

Les résines thermoplastiques, dont la fabrication atteint de loin le plus gros tonnage du fait d'un faible coût [13], sont les polymères qui fondent en chauffant et retrouvent leur forme solide en refroidissant de façon réversible, cela les rend recyclables, solubles, et renouvelables un grand nombre de fois, Aussi bien non biodégradables et ont des propriétés mécaniques faibles. On peut citer quelques exemples de ces résines dans la figure (I.3).

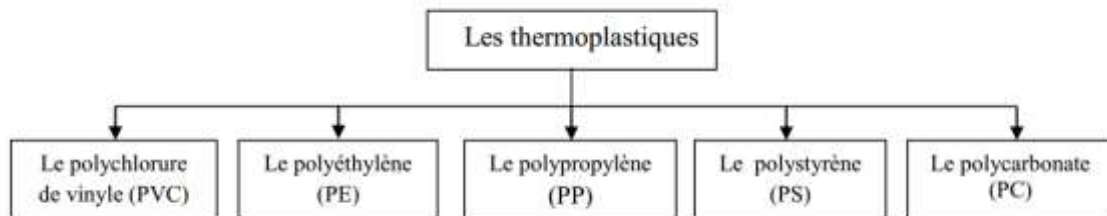


Figure (I.3) : Types des résines thermoplastiques [14].

Les thermoplastiques ne conviennent généralement pas au renforcement des fibres en raison de leur viscosité élevée à l'état liquide, qui liée à l'état moléculaire. Cela les empêche de mouiller les fibres adéquatement (imprégnation), ainsi un bon composite ne peut pas être formé. En outre, la production de matériaux composites utilisant des thermoplastiques nécessite une pression et une température élevées [9].

I. 4. 1. 3. 2. Les thermodurcissables :

Ce sont les résines qui sont à l'état de base sous forme liquide de très faible viscosité contenant des monomères (molécules simples) qui se transforment en polymères (molécules complexes réticulées) lorsque la résine est durcie. Cette transformation est une réaction chimique unique, traitée à la température ambiante et conduit à un produit fini solide, rigide, infusible et ne font pas en chauffant, mais finalement se désintégrer [9,10]. Ainsi les résines thermodurcissables possèdent des propriétés mécaniques et surtout thermomécaniques plus élevées que les résines thermoplastiques [13].

Les résines polyesters insaturées (polyesters condensés, vinylesters, dérivés allyliques, etc.), les résines de condensation (phénoliques, aminoplastes, furaniques, etc.) et les résines époxydes sont les principales résines thermodurcissables utilisées dans la mise en œuvre des matériaux composites [13]. Ces caractéristiques sont présentées dans le tableau (I.2).

Résines	T_f (°C)	ρ (Kg/m ³)	ε_t (%)	σ_t (MPa)	σ_c (MPa)	E (GPa)
Polyesters	60 à 100	1140	2 à 5	50 à 85	90 à 200	2.8 à 3.6
Phénoliques	120	1200	2.5	40	250	3 à 5
Epoxydes	290	1100 à 1500	2 à 5	60 à 80	250	3 à 5

Tableau (I.2) : Caractéristiques des résines thermodurcissables [14].

Du fait de ces caractéristiques plus élevées et de leur stabilité une fois transformés. les résines thermodurcissables sont jusqu'à présent les plus utilisées dans l'industrie des composites à matrice organique [15].

Une comparaison entre quelques caractéristiques des résines thermodurcissables TD et celles des résines thermoplastiques TP est présentée dans le **tableau I.2**[16].

Matrice	TD	TP
Etat de base	Liquide visqueux à polymérise	Solide prêt à l'emploi
Stockage	Réduit	Illimité
Mouillabilité des renforts	Aisée	Difficile
Moulage	Chauffage continue	Chauffage +refroidissement
Cycle	Long (polymérisation)	Court
Tenue au choc	Limitée	Assez bonne
Tenue thermique	Meilleure	Réduite (sauf nouveau TP)
Chutes et déchets	Perdus ou utilisés en charge	Recyclables
Condition de travail	Emanation de solvants	Propreté

Tab.I.3.Principales différences entre matrices TP et TD.

I.4.1.3.3. Les élastomères :

Sont des polymères naturels ou synthétiques dont la structure particulière confère une importante élasticité (jusqu'à 500% d'allongement par rapport à la taille initiale).A titre

d'exemple, nous pouvons citer les élastomères suivants : les silicones d'élastomères, les polyuréthanes, le néoprène, le latex, etc. [17]

I.4.2. Le renfort :

Nous désignerons par « renfort » tout produit susceptible d'améliorer une ou plusieurs propriétés du polymère qui sert de matrice (c'est-à-dire qui enrobe le renfort) [18].

Renforcer les constituants dans les composites, comme le mot l'indique, fournir la force nécessaire pour le composite, le but des renforts dans les matériaux composites est essentiellement d'accroître leurs propriétés mécaniques (rigidité, résistance à la rupture, dureté, etc.) et d'améliorer certaines des propriétés physiques, tels les comportements au feu et à l'abrasion, la tenue en température ou les propriétés électriques. Les caractéristiques recherchées dans les renforts sont une masse volumique faible, une compatibilité avec les matrices et une facilité de mise en œuvre [19].

Technologiquement, les composites les plus importants sont ceux qui comprennent une phase discontinue sous forme de fibres. La structure moléculaire d'une fibre est généralement alignée dans le sens de l'axe de fibre ce qui produit une structure forte dans cette direction, de sorte que les objectifs de conception des composites renforcés de fibres incluent souvent une résistance et / ou une rigidité élevées sur une base de poids, ces caractéristiques sont exprimées en termes de paramètres de résistance et de module spécifiques, qui correspondent respectivement au rapport de la contrainte de traction de la gravité spécifique et le module de l'élasticité de cette gravité spécifique. Les fibres sont donc fortes mais fines, généralement possèdent une bonne résistance à la traction mais une résistance faible à la compression, ce qui leur confère une grande souplesse, on les commercialise essentiellement sous forme de fibres courtes (les feutres ou les mats) ou fibres longues (coupées au moment de la fabrication du matériau). Les fibres peuvent se présenter sous forme linéique (fils, mèches), tissus surfaciques (tissus, mats), multidirectionnelle (tresse, tissus complexes, tissage tridimensionnelle) [20, 21] comme elles existent en plusieurs types indiquées sur **la figure (I.4)** .

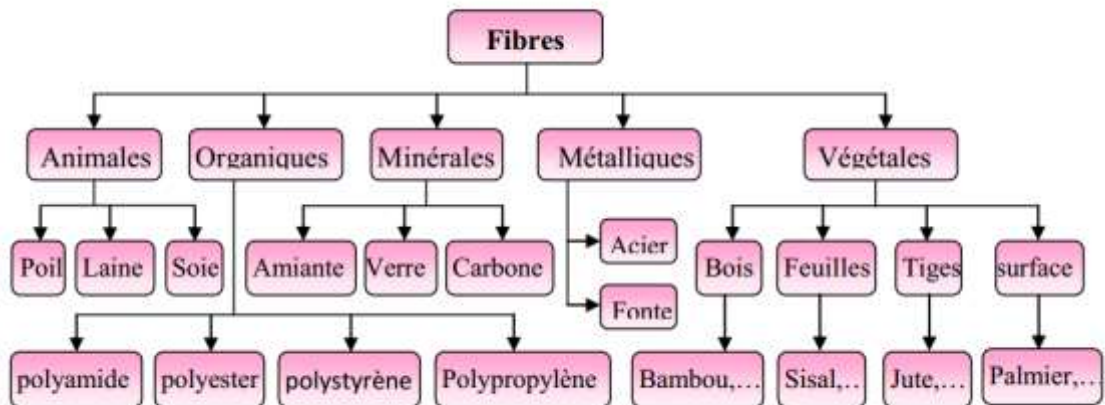


Figure (I.4) : Les différents types de fibres [22].

I.4.2.1. Architecture de renforcement :

Les renforts constitués de fibres se présentent sous les formes suivantes : linéique (fils, mèches), tissus surfaciques (tissus, mats), multidirectionnelle (tresse, tissus complexes, tissage tri directionnel ou plus). Figure I.5 illustre Les différentes formes de

Renfort [23].

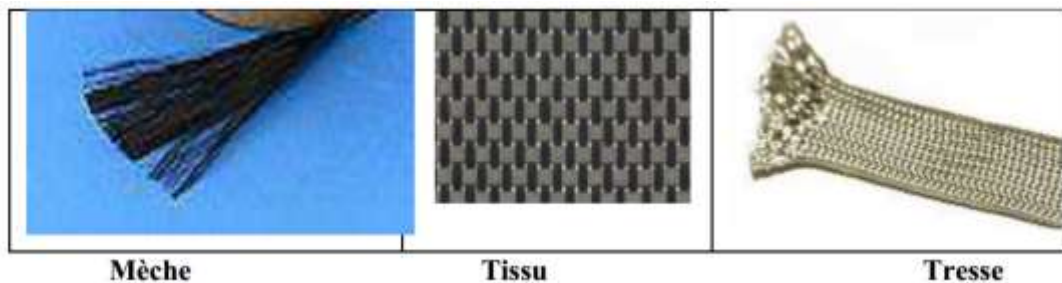


Fig.I.5. Les différentes formes de renfort.

I.4.2.2 Type de renfort (Fibres) :

Les fibres sont des éléments du matériau composite qui apportent généralement les propriétés mécaniques recherchées. Elles se présentent sous forme de filaments de plus au moins longs. les fibres se présentent sous diverses formes commerciales:

- linéiques (fils, mèches,...etc.)
- tissus surfaciques (tissus simples, mats, etc.)
- multidirectionnelles (tresses, tissus complexes, etc.)

Il existe également des fibres courtes de 1 à 3mm qui sont dispersées dans la matrice, ou encore des fils coupés de 15 à 50mm de longueur. Leur utilisation est encore limitée en raison des difficultés de fabrication. [24]. Les principales fibres sont :

A. Fibres de verre

Les fibres de verre sont obtenues à partir de silice et d'additifs. Le verre est coulé en fusion à 1.250°C à travers une filière en platine-rhodium, après refroidissement, les filaments sont étirés pour obtenir des fibres continues. [24] Les caractéristiques majeures de ces fibres de verre sont répertoriées dans le tableau I.4.

Type	Caractéristiques générale
A	Haute teneur en alcali
B	Bonne résistance chimique
C	Hautes propriétés diélectriques
D	A usage général ; bonne propriétés électriques
R, S	Haute résistance mécanique

Tableau I.4: Différents types de fibres de verre. [24]



Fig. 1.6. Fibres de verre

a) Roving de verre

d) Mat de verre

c) Tissu de verre

A.1. Les avantages de fibres de verre

- ✓ Rapport performances mécaniques /prix
- ✓ Bonne résistance spécifique (pour verre R)
- ✓ Bonne adhérence avec toutes les résines (existence d'ensimage)
- ✓ Tenue à température élevée
- ✓ Dilatation et conductivité thermique faible
- ✓ Bonne propriétés électriques

A.2. Les inconvénients de fibres de verre

- ✓ Faible module (par rapport à la fibre de carbone ou d'aramide)
- ✓ Vieillissement au contact de l'eau. [24]

B. Fibre de carbone

Les fibres de carbone ont la structure du graphite. Elles proviennent de fibre acrylique et du brai. Actuellement, il existe deux procédés de préparation de la fibre de carbone : l'une des voies permet d'obtenir les fibres de types HM (Haut Module) et THM (Très Haut Module), l'autre donne les fibres HR (Haute Résistance) et HT (Haute Ténacité).

Une étape de graphitisation, réalisée après les étapes d'oxydation et de carbonisation, dans le procédé de préparation des fibres HM et THM différencie les deux voies. La graphitisation permet d'obtenir les fibres HM et THM.

La figure 1.4 montre une fibre de carbone qu'on trouve dans de nombreuses applications dans l'aéronautique, le spatial ainsi que les sports et loisirs de compétitions. Le prix de ces fibres reste relativement. Les modules d'élasticité de ces fibres sont de quelques centaines de GPa. [25]



Figure 1.7: Fibre de carbone.

B.1. Les avantages de fibres de carbone

- ✓ Excellentes propriétés mécanique (Rt, Rc, E)
- ✓ Très bonne tenue en température (atmosphère non oxydante)
- ✓ Dilatation thermique nulle
- ✓ Bonne conductibilité thermique et électrique
- ✓ Bonne tenue à l'humidité
- ✓ Usinabilité aisée
- ✓ Faible densité

B.2. Les inconvénients de fibres de carbone

- Prix très élevé
- Tenue limitée aux chocs et à l'abrasion
- Mauvais comportement avec l'oxygène (à partir de 400°C), avec les acides
- oxygénant a chaud et avec les métaux (corrosion galvanique)
- Adhésion difficile avec les résines. [25]

C. Les fibres de bore

Obtenues par dépôt chimique de chlorure de bore (BCl) et de l'hydrogène (H₂) sur un fil de tungstène de diamètre 13m chauffé à une température comprise entre 1100 et 1300°C par effet joule. [25]

D. Les fibres de carbure de silicium

Le principe d'élaboration est analogue à celui de bore, le dépôt résulte de la décomposition, chimique à 1200°C du méthyltrichloros en présence d'hydrogène. [25]

E. Les fibres d'aramide (kevlar)

-Ce sont des polyamides des aromatiques dont la structure est composée de noyaux benzéniques reliés par des groupes CO et HN.[25].

-Les plus connues sont les fibres de polyamides aromatiques, connues sous la marque commerciale de "Kevlar". Le comportement des fibres aramides est semblable à celui des métaux car sous faible charge elles sont élastiques et deviennent plastiques quand elles sont soumises à de fortes contraintes. Elles constituent un bon compromis entre les fibres de carbone et celles à base de verre. Les fibres aramides ont une bonne tenue au feu. Par contre, lors de leur renforcement des composites, on observe une faible résistance à la compression et à la flexion, du fait d'une mauvaise adhérence avec résines. [6]



Fig. 1.8.Fibres d'aramide

F. Fibres de polyéthylène de haut module

Elles présentent une très bonne résistance à la traction mais une mauvaise mouillabilité. Pour des structures peu sollicitées, on peut encore utiliser des fibres synthétiques courantes de polyamide ou polyester [26].

Classification des fibres naturelles

Les fibres naturelles sont pour la plupart d'origine végétale ; animale et minérale (Fig.I.8).

- ✓ Végétale : extraite de plantes, de fruit et d'arbres comme le coton, le lin, l'agave,
- ✓ le jute, le chanvre, etc.
- ✓ Animale : extraites de poil d'animaux comme le mouton, la chèvre, le lama, etc.
- ✓ Minérale : on trouve dans la nature des minéraux dont la texture fibreuse. il s'agit
- ✓ d'une matière toxique, comme l'amiante [27].

I.4.3. Les fibres naturelles

I.4.3.1. Définition

Les fibres naturelles sont des substances filamenteuses issues de végétaux et d'animaux, susceptibles d'être filées pour fabriquer des fils et des cordes. Elles sont tissées, tricotées ou tressées pour confectionner des textiles indispensables à la société [28].

I.4.3.2. Fibres végétales

Les fibres végétales sont utilisées depuis 3000 ans dans les composites, par exemple dans l'ancienne Égypte, où la paille et l'argile étaient mélangés pour construire des murs. Ces fibres ont donc attiré une attention de plus en plus grande en raison de leur faible coût, leur densité peu élevée, leur biodégradabilité, leur disponibilité, et leur facilité de mise en œuvre. Ces avantages présentent l'intérêt pour leurs applications dans divers domaines tel que le bâtiment qui exigent des matériaux légers à haute performance, des possibilités de recyclage, le minimum d'impact sur l'environnement, et une réduction du coût de la matière. Pour des raisons de santé et d'autres économiques qui caractérisent quelques fibres industrielles, les efforts des chercheurs sont actuellement orientés vers le renforcement des bétons par des fibres végétales, notamment pour les pays qui possèdent ces fibres en grande quantité. Les fibres végétales ont récemment attiré l'attention des chercheurs dans ce domaine et pour des raisons écologiques en raison des avantages qu'elles fournissent par rapport aux fibres de renforcement classiques comme les fibres de verre. Le développement des composites comportant des fibres végétales est donc un sujet d'intérêt depuis les dix dernières années.

Le renforcement des matériaux de construction, en l'occurrence les bétons et mortiers, par des fibres est une technique de plus en plus utilisée dans le but d'améliorer leurs performances mécaniques, notamment leurs résistances à la traction et à la fissuration ainsi que la ductilité.

Les environnements chauds et secs, tels que les régions sahariennes de notre pays dessèchent les matériaux hydrauliques notamment les bétons et mortiers, ce qui induit des retraits importants sur ces matériaux et des fissures dans les structures. De ce fait, les constructions en dans ces régions sont très fragiles, le renforcement des bétons et mortiers par des fibres peut offrir des solutions techniques pour l'amélioration de leurs propriétés mécaniques.[28]

Les fibres végétales sont hydrophiles car elles sont composées de lignocellulos, qui contient des groupes hydroxyles. Ces fibres sont donc incompatibles avec les thermoplastiques et ont une faible résistance à l'humidité. Ces deux caractéristiques sont des points faibles pour l'utilisation des fibres végétales comme renfort. Il est alors nécessaire de les améliorer de façon à ne pas pénaliser les propriétés mécaniques.

Les fibres végétales constituent une alternative aux fibres de verre en raison de leur recyclabilité. Néanmoins leurs propriétés doivent être encore améliorées. Elles présenteraient, toute fois, de nombreux avantages : des propriétés mécaniques proches de celles des fibres de verre (module d'Young), un recyclage facile (combustion). En revanche, certains inconvénients peuvent être un frein au niveau du développement industriel une méthode de mise en œuvre difficilement reproductible (non industrielle), des propriétés physiques non reproductibles, la quantité et la qualité des fibres dépendent de l'environnement et de l'humidité, une reprise en eau importante : 8 ou 10 % du taux d'humidité. Parmi les fibres végétales les plus utilisées sont les fibres de (chanvre, lin, jute, paille, sisal, palmier dattier et les fibres de coton). [28]

I.5.3.2.1. Présentations des différentes fibres végétales

a)- COTON

- Fibre cellulosique
- À partir de «capsules» (gousses de graines) poussant sur des buissons
- Le coton «respectueux de l'environnement» peut être cultivé dans une gamme de couleurs
- Principaux produits textiles de Chine, Inde, Iran, Pakistan et Egypte.
- Fabriqué dans une large gamme de vêtements.



Fig.1.9. Cotton.

Avantage:

- Confortable
- Absorbant
- Bonne rétention des couleurs
- Teint et imprime bien
- lavable
- Fort
- Drapé bien
- Facile à manipuler et à coudre
- Peu coûteux

Désavantage:

- Rétrécit dans l'eau chaude
- Se ride facilement
- Affaibli par la transpiration et le soleil
- Brûle facilement

- Affecté par le mildiou



Fig.1. 10 mildious

b)-. LIN (en anglais flax) : -

- Lin est le nom de la fibre ; le lin est le nom du tissu.
- La plus ancienne fibre textile au monde remonte à l'âge de pierre de 5 000 ans.
- Fibre cellulosique de tige de plante de lin.
- Les serviettes, les draps et les nappes sont appelés «linge de maison».



Fig. 1.11 Lin (flax)**Avantage :**

- Fort
- Confortable
- Lavable à la main ou nettoyable à sec
- Absorbant
- Teint et imprime bien
- Résiste à la saleté et aux taches
- Durable
- Résiste à la chaleur élevée
- non pelucheux

Désavantage :

- Se ride facilement
- Peut être coûteux
- Rétrécit
- Brûle facilement
- Affecté par la moisissure et la transpiration
- Ravels
- Difficile d'enlever les plis
- Brille si repassé

c)-. JUTE: -

- Le jute est une fibre végétale longue et brillante qui peut être filée en fils grossiers et solides.

- Les fibres sont blanc cassé à brun et mesurent 1 à 4 mètres (3 à 12 pieds) de long. Le Bangladesh est le premier exportateur de jute. Le jute est cultivé dans la même zone d'eau terrestre que le riz et est une culture très difficile croître et récolter.
- Les autres pays importants exportateurs de jute sont l'Inde, la Chine, la Birmanie (Myanmar), le Pakistan, le Népal et Thaïlande.



Fig. I.12 Jute

Avantage: -

- Excellentes propriétés antistatiques.
- Faible conductivité thermique.
- Les propriétés Mois ture Regain sont suffisamment bonnes (environ 13,75%).
- 100% biodégradable; c'est donc une fibre respectueuse de l'environnement comme le coton.
- Bon marché sur le marché.
- Peut être largement utilisé dans le secteur agricole, le secteur textile, le secteur tissé, le secteur non tissé.
- La fibre de jute peut être mélangée avec des fibres naturelles et synthétiques.

Inconvénients:

- La résistance au froissement du jute est très faible.

- La propriété Drape n'est pas suffisante.
- Crée un effet d'ombre et devient jaunâtre si la lumière du soleil est utilisée.
- Si le jute est mouillé, il perd sa force.

d)- COIR:

- Est une fibre naturelle extraite de la cosse de noix de coco
- Produits tels que tapis de sol, paillasons, brosses, matelas, etc.
- Techniquement, le coco est le matériau fibreux trouvé entre la coque interne dure et la couche externe d'une noix de coco.
- Le coco brun (fabriqué à partir de noix de coco mûre) est également utilisé dans le rembourrage, l'horticulture.
- Le coco blanc, récolté à partir de noix de coco non mûres, est utilisé pour fabriquer des pinceaux plus fins, de la ficelle, de la corde et filets de pêche.



Fig. 1.13 Coir

e)-CHANVRE: -

- La fibre de chanvre a été largement utilisée tout au long de l'histoire. Articles allant de la corde aux tissus en passant par les matériaux industriels étaient fabriqués à partir de fibres de chanvre.
- Le chanvre était souvent utilisé pour fabriquer des toiles de voile, et le mot toile dérive du cannabis.

- Aujourd'hui, il existe une modeste industrie du tissu de chanvre et les fibres de chanvre peuvent être utilisées dans les vêtements.
- Le chanvre pur a une texture similaire au lin.



Fig. 1.14 chanvre

f)- . FIBRES DE BANANE: -

- Il est utilisé pour fabriquer des articles de fantaisie comme des sacs, des nattes de table, des sacs à main, etc. et leur dernière entreprise est tissage de tissu en fibre de banane.
- Plante indigène d'Asie du Sud-Est, la banane est maintenant largement cultivée dans tous les pays tropicaux pour fruits, fibres ou feuillage.
- Ces fibres sont obtenues principalement à partir de la tige.
- Les fibres obtenues à partir du noyau central sont de moins bonne qualité que les fibres obtenues principalement de pseudo-tige.



Fig. 1.15 banane

g)- LAINE : -

- Fibres protéinées de mouton ou d'agneau.
- La laine peignée est de meilleure qualité avec de longues fibres discontinues (plus de 2 pouces) isolant naturel.
- Le terme laine ne peut s'appliquer qu'à toutes les fibres de poils d'animaux, y compris les poils de cachemire ou d'angora chèvre.
- Ainsi que les fibres capillaires spéciales de chameau, d'alpaga, de lama ou de vigogne.

**Fig. 1.16** Laine**Avantage :**

- Chaud
- Poids léger
- Résistant aux rides
- Absorbant
- Teint bien
- Confortable
- Durable
- Se plisse bien

- Facile à adapter
- Recyclable

Désavantage :

- Affecté par les mites
- Rétrécit avec la chaleur et l'humidité
- A besoin de soins spéciaux, nettoyage à sec
- Absorbe les commandes
- Scratch sur la peau
- Affaiblit lorsqu'il est mouillé
- Blessé par l'eau de Javel, la transpiration.

h)- SOIE : -

- Les vers à soie filent des cocons en filaments
- Le filament est un fil très long, fin et continu
- Il peut falloir jusqu'à 500 cocons pour créer 1 chemisier.

D'origine naturelle animale, la soie est utilisée depuis 3000 ans. Elle est sécrétée par des chenilles de papillons,



Fig. 1.17. Soie

Avantage :

- Doux
- Drapé bien
- Teint et imprime bien • Très fort
- Poids léger
- Résiste au sol, au mildiou et aux mites
- Confortable
- Absorbant

Désavantage :

- Coûteux
- A besoin de soins spéciaux, nettoyage à sec
- Taches d'eau

- Jaunes avec l'âge
- Affaibli par la transpiration, le soleil, le savon
- Attaqué par les insectes, les poissons d'argent

i)- FIBRES DE SISAL : -

- Le sisal est une plante vivace qui, contrairement aux autres fibres, n'est pas une culture saisonnière.
- Il peut s'établir et se développer facilement dans tous les États de l'Inde, couvrant les zones subhumides à arides et semi-arides régions, qui couvrent la majeure partie de l'Inde.

**Fig. I.18.SISAL****j)- FIBRE D'ANANAS (PINA): -**

- La piña est une fibre fabriquée à partir des feuilles d'un ananas et est couramment utilisée aux Philippines
- Il est parfois associé à de la soie ou du polyester pour créer un tissu textile.
- Les gens là-bas avaient l'habitude d'extraire les fibres des feuilles d'ananas et de les filer à la main, un tissu doux, transparent et un peu rigide - le tissu piña. C'est royal et exotique.



Fig. I.19. FIBRE D'ANANAS (PINA)

k)- Fibre diss (*Ampelodesmos mauritanicus*) :

L'*Ampelodesmos*) est un monotypique genre d'herbe contenant la seule espèce. il est connu sous le nom commun Stramma , Mauritanie herbe , l'herbe corde et l'herbe diss. Le nom vient du grec ampelos, "vigne", et Desmos , "obligations", de son utilisation ancienne pour l'attache des vignes [WAT08]. Pour mauritanicus, on peut raisonnablement supposer qu'il est originaire de Mauritanie (Afrique). Le tableau I.5 regroupe la classification scientifique de la plante :

Genre	Espèce	Sous-famille	Famille	Ordre
<i>Ampelodesmos</i>	<i>A .mauritanicus</i>	Stipoideae	Poaceae	Poales

Tableau I.5. Classification scientifique de la plante Diss. [WAT08]

La fibre de diss (*Ampelodesmos mauritanicus*) est une herbe vivace. Il existe en abondance à l'état sauvage sur le pourtour du bassin méditerranéen et l'Asie occidentale et au sud-ouest de l'Amérique du Nord. Il est utilisé auparavant dans la réalisation des habitations anciennes en raison de ses qualités mécaniques et hydriques et en tant que fibre pour la fabrication de tapis. Cette herbe pousse mieux dans des sols sableux, caillouteux ou argileux qui sont modérément humides. Sa hauteur peut atteindre 3 mètres environ (Fig.I.20). L'utilisation de cette herbe dans les composites permet de préserver les ressources non renouvelables et d'ouvrir de nouveaux marchés.



Figure. I.20 Herbe de Diss *Ampelodesmos mauritanicus*. [WIKAM]

Le Diss n'est pas pris suffisamment étudié. Il y a peu de références bibliographiques traitant cette herbe. Les fibres Diss présentent une surface rugueuse, à relief très irrégulier avec la présence d'épines ou de crochets (0.20mm de longueur). A l'intérieur, la fibre est constituée d'un certain nombre de cavités. Le traitement à l'eau bouillie n'affecte pas la structure extérieure de la fibre, puisque les épines restent intactes [MER08]

Les performances varient d'une fibre à une autre et il convient donc de noter que chaque type de fibres, dans ce cas les fibres végétales ou cellulosiques, possèdent des caractéristiques très variables, dues au caractère naturel [29].

Le Tableau I-5 présente une liste des différentes fibres et les propriétés associées à chacune d'elles

Fibre	Longueur de la Fibre technique (mm)	Diamètre (μm)	Module de Traction (GPa)	Déformation maximale (%)
Genêt d'Espagne	50-120	5-10	22	2,5-12
Coton	25	12-23	6-10	6-8
Lin	4-8.5	12-30	50-70	1.3-3.3
Chanvre	5-40	16-50	30-60	1.7-2.7
Kénaf	2.5-4.5	14-33	60	1.7-2.1
Abaca	60	50-280	-	2.1-2.4
Jute	2.5	5-25	20-55	1.5-2
Sisal	100-125	100-400	9-22	3-14
Banane	4.5-10	50-250	7-20	1.8-3.5

Tableau I-6. Caractéristiques générales des fibres végétales [30,31].

I.5. La composition chimique des charges végétales

Les fibres naturelles se composent principalement de cellulose, d'hémicellulose et de lignine. Elles contiennent aussi des quantités faibles en protéines, extractibles et quelques composés inorganiques. Il existe différentes classifications de ces fibres. Les fibres dures, tel que le bois, forment un groupe à part entière qui représente environ 90% de la production mondiale [32].

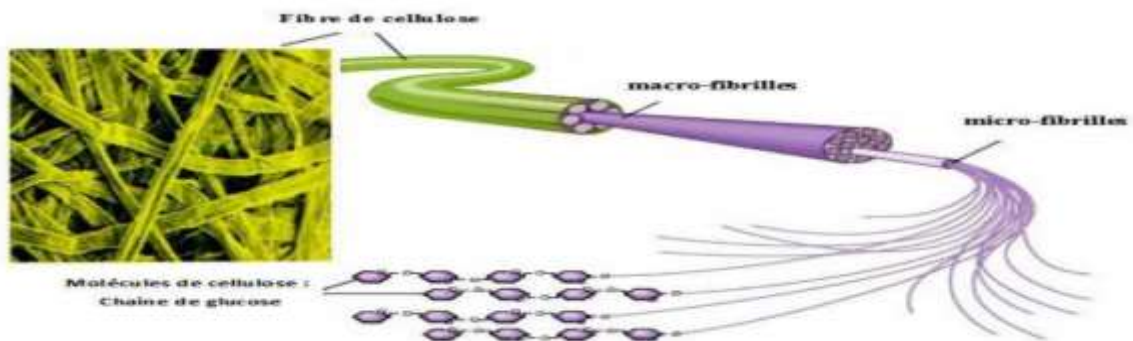


Figure I.21. Structure d'une fibre végétale [33].

La proportion de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine varie d'une espèce à une autre. À l'intérieur de chaque fibre, la lignine joue le rôle d'une matrice enrobant la cellulose, qui est une structure très rigide [33]

Fibres	Cellulose(%)	Lignine (%)	Hémicellulose(%)	Pectine (%)	Cendre (%)
Kénaïf	37-49	15-21	18-24	-	2-4
Jute	41-48	21-24	18-22	-	0,8
Chanvre	57-77	3,7-13	14-22,4	0,9	0,8
Ramie	68,6-91	0,6-0,7	5-16,7	1,9	-
Abaca	56-63	7-9	15-17	6	3
Sisal	47-78	7-11	70-24	10	0,6-1
Lin	71	2,2	18,6-20,6	2,3	-
Coton	94	-	-	1,2	1,2
Noix de Coco	36-46	31-45	10	3-4	-
Genêt d'Espagne	44,5	18,5	16,3	13,3	4

Tableau I.7 : Composition chimique des fibres végétales [34]

I.5.1. Cellulose

La cellulose est le constituant qui assure la protection et le soutien dans les organismes végétaux. Elle se situe dans la paroi des fibres et constitue la substance organique la plus abondante dans la nature puisqu'on estime sa production mondiale à environ $1,3 \cdot 10^{10}$ tonnes par an. A l'échelle d'un arbre cela correspond à la formation de 10 g de cellulose par jour. La cellulose est un homopolysaccharide composé d'unités β -Dglucopyranose liées entre elles par une liaison glycosidique β [35].

D'un point de vue chimique, la cellulose est une molécule formée de longues chaînes dont le motif de base est le glucose (Figure. I.21). Les molécules cycliques de glucose adoptent la conformation «chaise», qui est plus stable que la conformation «bateau» [36].

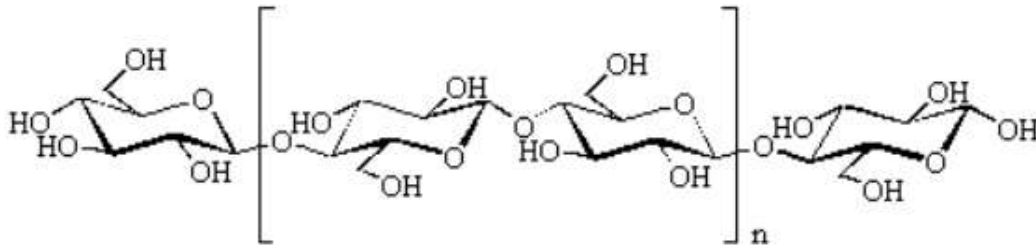


Figure I.22 Molécule de la cellulose (n répétitions du motif cellobiose) [35]

Le nombre de monomères de glucose, ou degré de polymérisation (DP), varie selon l'espèce végétale. Il est par exemple de 10000 pour le coton, de 9000 pour le chanvre, le lin et la ramie, ou encore de 8000 pour l'épicéa. La cellulose cristalline est l'un des polymères ayant le module d'élasticité le plus élevé, soit environ 136 GPa à comparer à la fibre de verre. Cette rigidité provient de la structure cristalline qui suit un agencement supramoléculaire hélicoïdal très ordonné [37].

I.5.2. Les hémicelluloses

Les hémicelluloses sont des polysaccharides, qui se trouvent dans tous les végétaux caractérisés par des masses molaires beaucoup plus faibles que celle de la cellulose et par des structures moins régulières à la fois par la présence de différentes unités dans leurs chaînes et/ou de ramifications. Si l'on considère que le bois est un matériau composite dans lequel la cellulose est la fibre de renfort et la lignine est la matrice, les hémicelluloses jouent le rôle de compatibilisant à l'interface entre ces deux éléments [38].

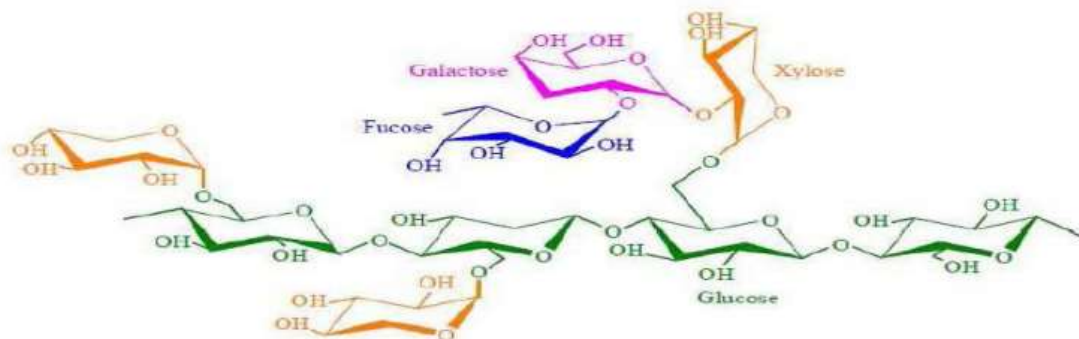


Figure.I.23. Structure d'un type de xyloglucane [36].

I.5.3. Pectine

La pectine, substance dérivée de glucides complexes, analogue à l'amidon, produite par de nombreux végétaux. Les pectines sont des substances amorphes blanches qui forment dans l'eau une solution visqueuse [39].

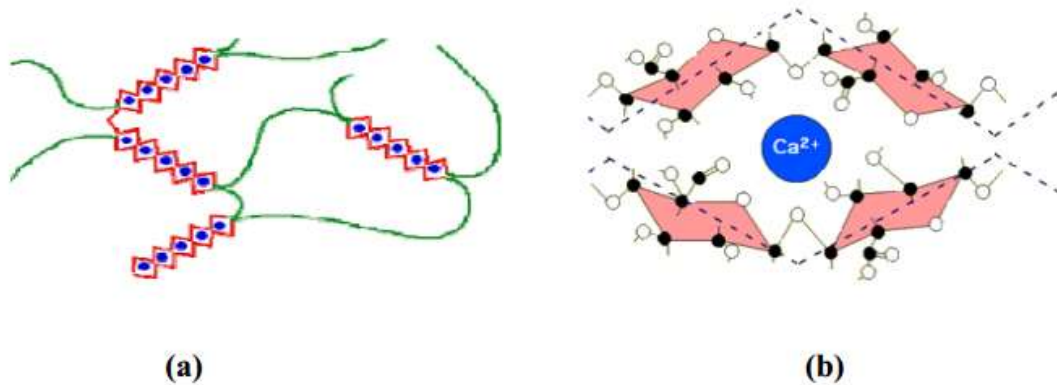


Figure I-24. (a) Le réseau de pectine, (b) L'interaction de calcium avec la pectine [40].

I.5.4. La lignine

Après la cellulose, la lignine est la deuxième macromolécule présente dans les végétaux. Il s'agit d'un polymère réticulé in situ ayant une structure très complexe qui varie aussi en fonction de l'espèce et de l'âge du végétal, des conditions climatiques environnantes, etc. La structure de base (**Figure I.25**) est du phénol propane, elle possède une partie variable associée à la présence de substituant méthoxy en position 3, 4 et/ou 5 du noyau aromatique. L'autre caractéristique commune à toutes les lignines est la présence de fonctions OH aliphatiques mais là aussi, leur fréquence varie considérablement selon l'origine de polymère. Il est important de souligner que dans le végétal, la lignine est liée au polysaccharide par des liaisons covalentes qui améliorent le caractère adhésif de l'interface entre cette matrice et les fibres cellulosiques. Cette compatibilisation est assurée par l'hémicellulose [38]. Ces polymères aromatiques apparaissent dans les tissus secondaires des plantes supérieures. Ils forment un réseau tridimensionnel qui confère à la paroi son imperméabilité et sa résistance aux attaques microbiennes. Les lignines possèdent une fonction protectrice vis-à-vis des polysaccharides contre la dégradation biologique et

atmosphérique et en termes de résistance à l'humidité [35]. La structure de la lignine peut être représentée par l'exemple générique présenté dans la figure ci-dessous :

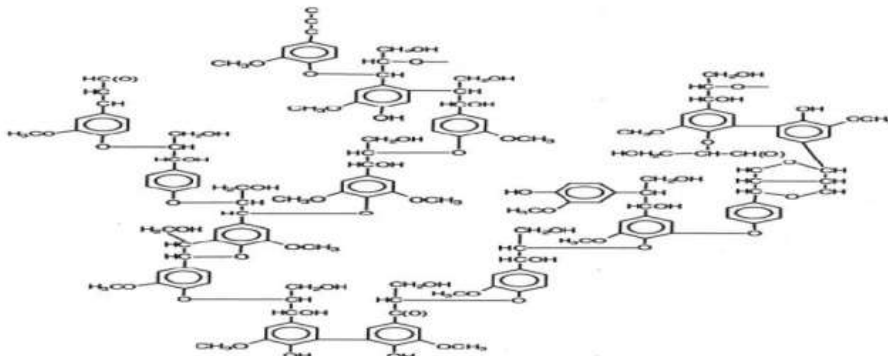


Figure I.25. Exemple générique de la macromolécule lignine [35]

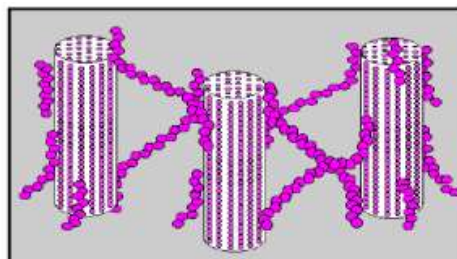
I.5.5. La cire

La cire est une partie des fibres qui peut être extraite avec une solution organique.

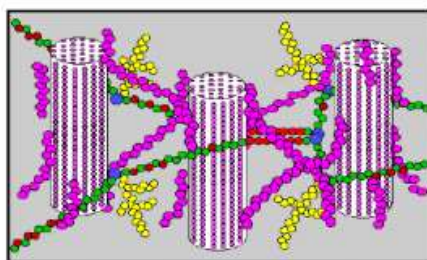
Elle est constituée de différents types d'alcools, qui sont insolubles dans l'eau et se gonflent



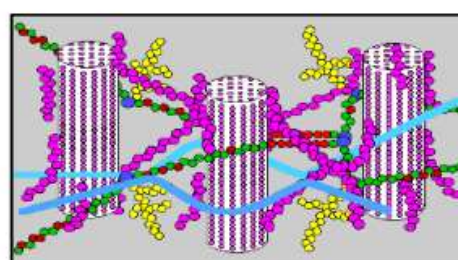
a : Cellulose seule



b : Cellulose et hémicelluloses



c : Cellulose, hémicelluloses et pectine dans plusieurs acides [41]



d : Cellulose, hémicelluloses, pectines et réseau de protéines

Figure I.26. Représentation schématique de l'agencement des différents composants des fibres végétales à l'échelle micrométrique [36].

I.6. Architecture des matériaux composites :

La structure des matériaux composites est très variée. Les renforts peuvent être sous forme de mâts, de fibres courtes, de fibres longues ou de tissés. Les fibres peuvent être disposées en uni-direction, multi-directions ou aléatoire.

Pour les structures plus complexes, les composites sont composés de plusieurs couches différentes.

I. 6 1. Les stratifiés :

Les stratifiés sont constitués de couches composites successives appelées plis. Ces plis composites peuvent être de même renfort et orientés dans des directions différentes, ou de renforts différents dans le cas d'un stratifié hybride

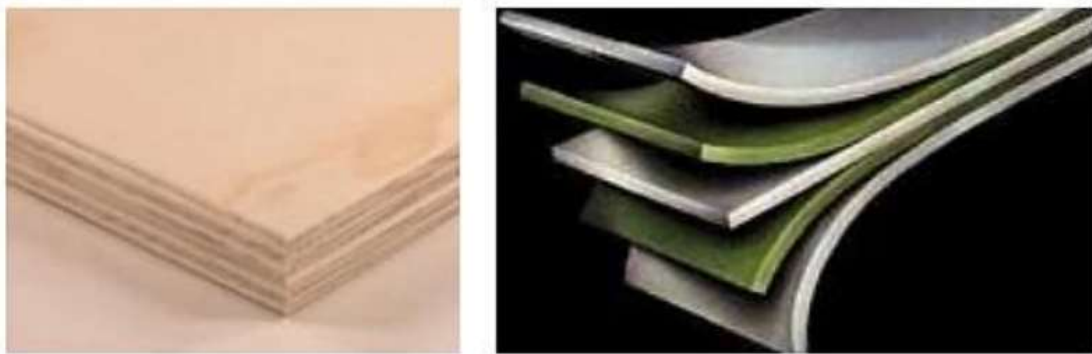


Figure I.27 : Exemples de stratifiés [42]

En général, le renfort de chaque pli du stratifié se caractérise par sa nature (carbone, lin, verre, etc.) et sa présentation (fils, mat, tissu). Les architectures de stratifiés en termes de disposition des couches sont aussi très variées (orientation des renforts, empilement symétrique ou antisymétrique, répétition de séquence, etc.). Le choix de renfort et d'architecture du stratifié dépendra donc de l'utilisation du matériau composite en l'adaptant au mieux au champ des contraintes imposé [43] :

- Les couches unidirectionnelles ont de bonnes performances mécaniques dans la direction des fibres.
- Les mats sont peu résistants en traction et devront être réservés aux zones comprimées.
- Une stratification croisée sera sensible au délaminage inter laminaire.

- Une stratification avec moins trois directions de fibres sera nécessaire pour avoir un pseudo-isotropie dans le plan du stratifié. Les stratifiés hybrides permettent d'avoir de meilleures performances en utilisant au mieux les propriétés des diverses fibres disponibles.

I.6. 2. Composites sandwichs :

Le principe de la technique sandwich consiste à appliquer sur une âme (constituée d'un matériau ou d'une structure légère possédant de bonnes propriétés en compression) deux peaux (possédant de bonnes caractéristiques en traction). L'objectif d'un tel procédé est de constituer une structure permettant de concilier légèreté et rigidité. Il faut que l'épaisseur de l'âme soit très élevée par rapport à celle des peaux.

Généralement, le choix de matériaux est fait afin d'avoir une masse minimale en tenant compte ensuite des conditions d'utilisation (conditions thermiques, corrosion, prix, etc.).

Les types d'âmes sont : âmes pleines (en bois cellulaire, diverses mousses cellulaires, mousses syntactiques, etc.) Âmes creuses (alliages métalliques légers, papier kraft, papier polyamide, etc.), âmes mixtes. Les peaux sont le plus souvent des stratifiés (verre, carbone, kevlar, etc.) ou des feuilles en alliages légers [44].

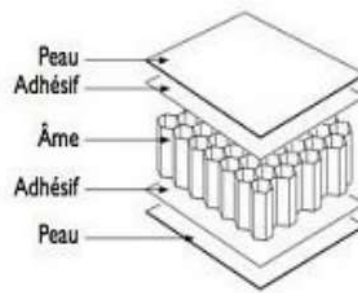
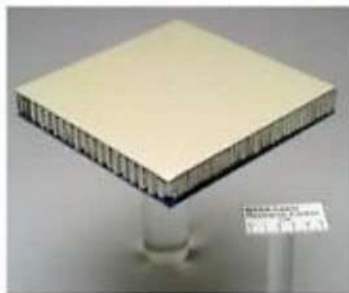


Figure I.28 : Matériau sandwich.

Quelques exemples des matériaux composites sont donnés par **le tableau 1.6**

Type de matrice	Constituants	Domaines d'application
1. Composites à matrice organique <ul style="list-style-type: none"> • Papier, carton • Panneaux de particules • Panneaux de fibres • Toiles enduites • Matériaux d'étanchéité • Pneumatiques • Stratifiés • Plastiques renforcés 	Résine/charges/fibres Cellulosiques Résine/copeaux de bois Résine/fibres de bois Résines souples/tissus Elastomères/bitume/textiles Caoutchouc/toile/acier Résine/charges/fibres de verre, de carbone, etc. Résines/microsphères	Imprimerie, emballage, Menuiserie Bâtiment Sports, bâtiment Toiture, terrasse, etc. Automobile Domaines multiples
2. Composites à matrice minérale <ul style="list-style-type: none"> • Béton • Composite carbone-carbone • Composite céramique 	Ciment/sable/granulats Carbone/fibres de carbone Céramique/fibres Céramiques	Génie civil Aviation, espace, sports, biomédecine, etc. Pièces thermomécaniques
3. Composites à matrice métallique	Aluminium/fibres de bore Aluminium/fibres de carbone	Espace
4. Sandwiches Peaux Ames	Métaux, stratifiés, etc. Mousses, nids d'abeilles, balsa, plastiques renforcés, etc.	Domaines multiples

Tab.1.8. les différents types des composites [7].

1.7. Avantages et inconvénients des matériaux composites

✓ **Avantage des matériaux composites**

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

- Leur légèreté.
- Leur résistance à la corrosion et aussi à la fatigue.
- Leur insensibilité aux produits comme les graisses, les liquides hydrauliques, les peintures et les solvants.
- Leur possibilité de prendre plusieurs formes, d'intégrer des accessoires et permettre
- la réduction de bruit [45].

✓ **Inconvénients des matériaux composites**

- Mauvaise isolation acoustique (n'amortissent pas).
- La tenue au feu n'est pas bonne pour certaines catégories d'âmes.
- Les risques de flambement sont plus élevés que pour les structures classiques [44].

I.8. MISE EN ŒUVRE DES COMPOSITES :

Pour la fabrication des composites, il existe plusieurs méthodes. On en présente ici quelques-unes avec leurs principes. Ces méthodes sont généralement faciles à exécuter et demandent un coût d'investissement faible en matériels.

I. 8. 1. Moulage au contact :

C'est la méthode la plus simple qui demande le moins d'équipements. On utilise des moules en bois vernis, en métal, etc., sur lesquels on dépose successivement : un agent de démoulage, une couche de surface (optionnelle) et des couches successives de renforts imprégnés au rouleau d'une résine polymérisant à l'ambiante.

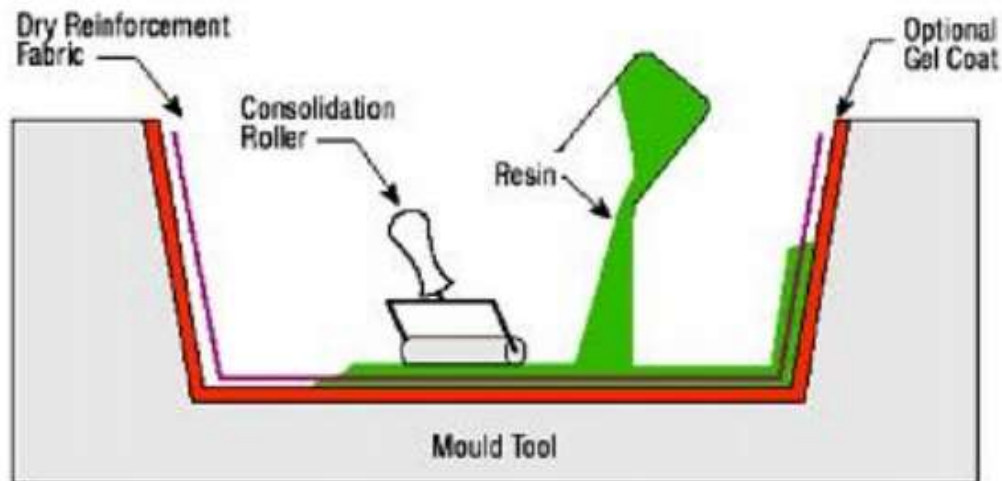


Figure I. 29. Moulage au contact [45]

I.8.2. Moulage par projection :

Dans cette méthode, la résine et les fibres de renfort coupées sont projetées simultanément au moyen d'un pistolet sur une forme.

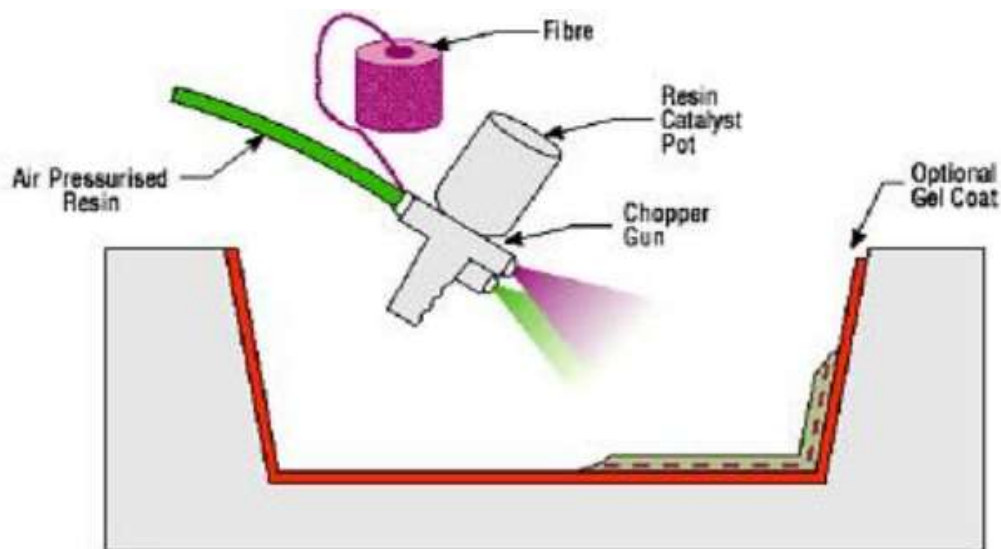


Figure I.30 : Méthode de projection simultanée [45]

I.8. 3. Moulage par compression :

Le moulage par compression est l'un des procédés les plus économiques pour la production de grandes séries de pièces de petites et de moyennes dimensions. Dans ce procédé, on place une préforme de compound de moulage (résine, renfort, catalyseur et additifs

déjà pré mélangés dans des proportions optimales) dans la cavité d'un moule chauffé, et ensuite on la presse aux dimensions finales. On utilise des pressions qui vont de 0.5 à 15 MPa.

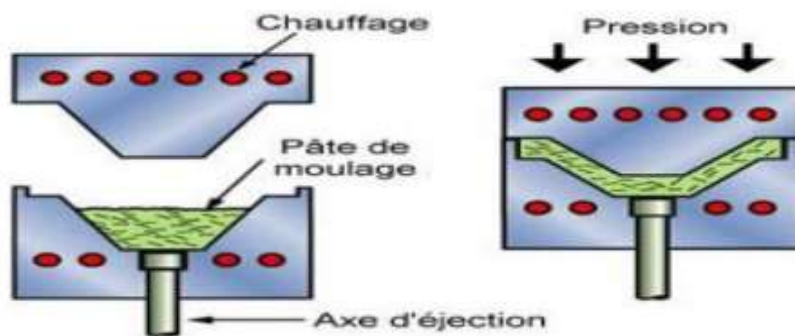


Figure I.31 Méthode de moulage par compression [46]

I. 8. 4. Moulage sous vide :

Les renforts fibreux sont placés à sec sur un film démoulant qui épouse les formes du moule. Une membrane souple joue le rôle de contre-moule et assure l'étanchéité. Le vide créé permet à la résine de se diffuser dans les renforts fibreux et cavités. Cette méthode pourrait être combinée avec un système de chauffage qui servirait à polymériser la résine. Aux conditions ambiantes, la pression qui fait couler la résine est égale à la pression atmosphérique.

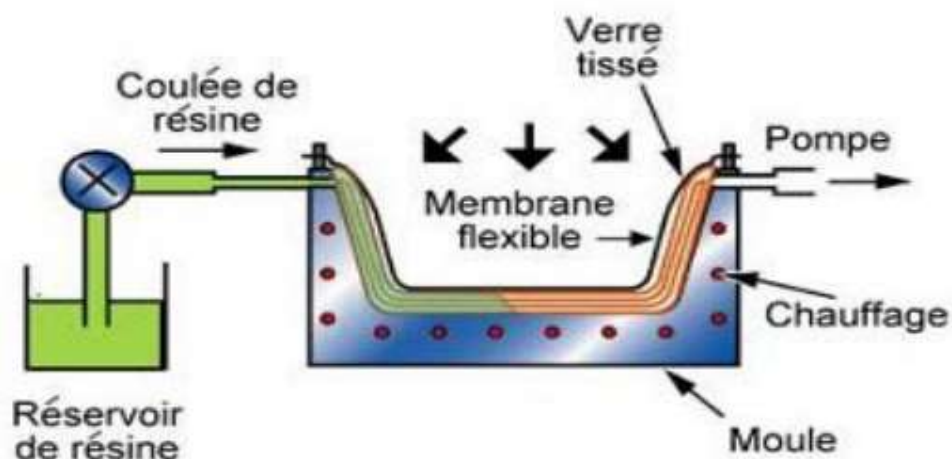


Figure I.32 : Méthode du moulage sous vide [46]

I.8. 5. Moulage par transfert de résine (RTM- Resin Transfert Molding) :

Le moulage par transfert de résine consiste à imprégner un renfort placé à l'intérieur d'un ensemble moule et contre-moule très rigide et fermé. L'alimentation des résines est réalisée par le vide ou par l'injection de la résine. Cette méthode permet d'atteindre des taux volumiques élevés des fibres, d'où l'obtention de pièces à caractéristiques mécaniques élevées. Ce procédé de moulage convient à la réalisation de pièces profondes formes complexes.[46]

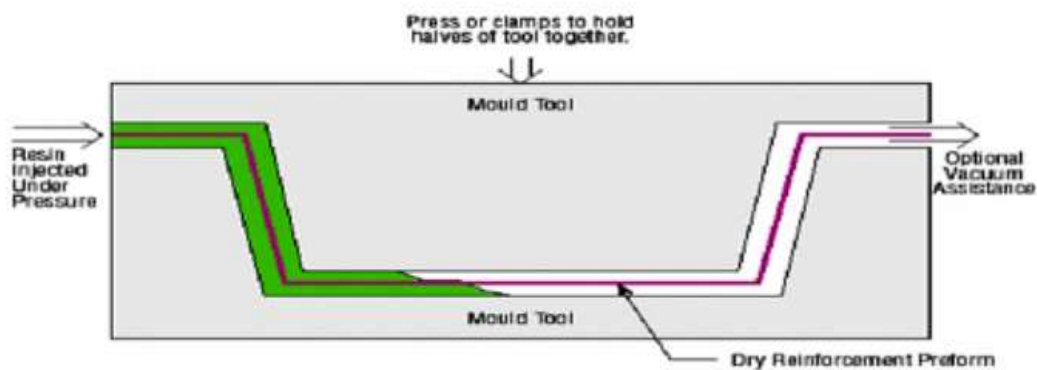


Figure I.33 : Principe du moulage par injection de résine [45]

I.10. Conclusion

-Les différents types de matériaux composites se définissent en fonction de la nature de la matrice qui pourra être de type organique, métallique ou céramique.

Les propriétés mécaniques des matériaux composites sont influencées principalement par l'adhérence entre la matrice et les fibres ; et l'utilisation des renforts pour l'élaboration de matériaux composites impose de bonnes connaissances des propriétés physiques et chimiques de ces matériaux.

- Les fibres naturelles présentent de nombreux avantages (faible coût, ressource renouvelable, biodégradabilité, propriétés mécaniques spécifiques importantes (résistance et rigidité). Comme tous les produits naturels, les propriétés mécaniques et physiques des fibres naturelles varient considérablement. Ces propriétés sont gouvernées par la composition chimique et structurale et dépendent du type de la fibre. La cellulose, le composant principal de toutes les fibres végétales, varie d'une fibre à une autre.

Références bibliographiques

- [1]. Roudgé, M., *Modélisation expérimentale par les réseaux de neurones du perçage multi-matériaux*, 2011, Bordeaux 1.
- [2]. Khalafa. Amar, *Etude de comportement mécanique d'un matériau composite stratifié*. Mémoire de magister, M'hamed Bouguera, Boumerdes. Algérie. 2010.
- [3]. Rokbi. M, «Comportement à la rupture et caractérisation mécanique de composites polyester-fibres de verre», thèse Magister, M'sila, 2001.
- [4]. Boudenne, A., *Etude expérimentale et théorique des propriétés thermophysiques de matériaux composites à matrice polymère*, 2003, Paris 12.
- [5]. Toufik ACHOUR, « Étude des techniques de réparation des structures composite endommagées », Université de Mentouri Constantine année 2010/2011.
- [6]. Mohamed El Hadi BOURAHLI, *Caractérisation d'un composite verre / époxy*. Thèse doctorat, UNIVERSITE FERHAT ABBAS-SETIF 1, 2014.
- [7]. Lionel Gendre, *Matériaux composites et structures composites*. http://www.si.ens_cachan.fr , Sciences de l'ingénieur, 2011.
- [8]. Jérémie Aucher, « étude comparative du comportement composite à matrice thermoplastique ou thermodurcissable », INSA de Rouen, France, 2009.
- [9]. Nijssen, R.P.L., *Composite Materials an introduction*2015
- [10]. Klárová, M., *Composite materials*, 2015, VSB.
- [11]. Dutt, M.K., *Investigations on dynamic properties of polymer based composites*, 2012.
- [12]. Peters, S.T., *Handbook of composites*2013: Springer Science & Business Media.
- [13]. Berthelot, J.-M., *Matériaux composites*. Edition TEC et DOC, Paris1999.
- [14]. Gornet, L., *Généralités sur les matériaux composites*. 2008.
- [15]. Paris, C., *Étude et modélisation de la polymérisation dynamique de composites à matrice thermodurcissable*, 2011, INPT.

[16]. Yohann Ledru, « Etude de la porosité dans les matériaux composites stratifiés aéronautiques », l'université de Toulouse, décembre 2009.

[17]. BOUMERDASSI, K. élaboration et caractérisation d'un composite biodégradable à matrice thermoplastique et renfort polysaccharides. Mémoire de magister. Boumerdes : univ M'Hamed Bougara de Boumerdes, 2008.

[18]. Jérémie Aucher, « étude comparative du comportement composite à matrice thermoplastique ou thermodurcissable », INSA de Rouen, France, 2009.

[19]. El Hadji Babacar, L., Nouveaux matériaux composites thermoformables à base de fibres de cellulose, 2008, Institut National Polytechnique de Grenoble.

[20]. Callister, W.D. And D.G. Rethwisch, Materials science and engineering: an introduction. Vol. 7. 2007: John Wiley & Sons New York.

[21]. Swier, S., G. Van Assche, and B. Van Mele, Reaction kinetics modeling and thermal properties of epoxy-amines as measured by modulated-temperature DSC. I. Linear step-growth polymerization of DGEBA+ aniline. Journal of Applied Polymer Science, 2004. 91(5): p. 2798-2813.

[22]. Mokhtari, A., Influence des ajouts de fines minérales sur les Performances Mécaniques des Bétons Renforcés de Fibres Végétales de Palmier Dattier, in université Ouargla, thèse de magister 2006.

[23]. Baali Hafida, « étude de l'effet du traitement chimique des fibre de palmier dattier sur le comportement mécanique du béton polymère » ,mémoire master , université de m'sila , juin 2014 .

[24]. Lebrun, G. A. Comportement thermomécanique et durée de vie de composites à matrice céramique : théorie et expérience, Thèse de Doctorat n° 1606, Université de Bordeaux. 1996).

[25]. Tahir et al. Review of bast fiber retting ; BioResources 6(4), 5260-5281 p 5273 (2011).

[26]. CARMA, « Glossaire des matériaux composites », centre d'animation régional en matériaux avances, octobre 2006.

[27]. omiri imen Yamina, « l'effet du traitement des fibres naturelles sur l'endommagement d'un béton polymère », mémoire master, unuversitie du m'sila, 2014/2015.

omiri imen Yamina, « l'effet du traitement des fibres naturelles sur l'endommagement d'un béton polymère », mémoire master, unuversitie du m'sila , 2014/2015.

[28]. Sandali Abdeljalil et Rabhi Nabil , «Comportement au choc des stratifiées composites renforcées par des fibres naturelles(fibre de cactus) », universite kasdi marbah ouargla, Le : 26/06/2013.

[29]. K. Bourai, «Étude du comportement thermique d'un composite bois-polymère pour une application en rotomoulage», Maîtrèès sciences, Université Laval, Québec,2010, 128p.[En ligne], disponible sur<http://www.erudit.org/these/liste.html?src=Laval&typeIndex=facetteAnneePublication&annee=2010&page=5>

[30]. A. Mahfoudh, «Étude de la production et de la caractérisation de composites boisplastiques», Mémoire de Maître ès sciences, Département de Génie Chimique, Université Laval, Québec, 2013, 101p.[En ligne], disponible sur :<https://www.google.dz/search?>

[31]. S. Nekkaa, «Etude des propriétés d'un nouveau matériau composite à base de polypropylène renforcé par des fibres végétales locale le Genêt d'Espagne », Thèse de Doctorat d'Etat, Département de Génie des Procédés, Université Ferhat Abbas Sétif, Algérie 2007, 148 p.

[32]. A. Mahfoudh, «Étude de la production et de la caractérisation de composites boisplastiques», Mémoire de Maître ès sciences, Département de Génie Chimique, Université Laval, Québec, 2013, 101p.[En ligne], disponible sur :<https://www.google.dz/search?>

[33]. M. Egal, « Structure and properties of cellulose / Naoh aqueous solutions, gels and Regenerated objects ». Thèse de doctorat, Ecole des mines de Paris, France, 2006, 245 p.[En ligne], disponible sur <http://pastel.archives-ouvertes.fr/docs/00/50/04/03/PDF/these-egal.pdf>.

[34]. S. Bouhank, «Effet d'absorption d'eau sur le comportement mécanique des composites PP/farine cellulosique », Mémoire de Master, Faculté de Technologie, Département de Génie des Procédés, Université Ferhat Abbas Sétif, 2012, 63 p.

[35]. A. Sbiai. «Matériaux composites à matrice époxyde chargée par des fibres de palmier Dattier : effet de l'oxydation au tempo sur les fibres». Thèse de Doctorat, Ecole Doctorale Matériaux de Lyon, France, 2011, 236p. [En ligne], disponible sur

<http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/73/88/14/PDF/these.pdf>.

[36]. D. Sedan. « Etude des Interactions Physico-Chimiques aux Interfaces Fibres de Chanvre/Ciment. Influence sur les Propriétés Mécaniques du Composite ». Thèse de Doctorat, Faculté des Sciences et Techniques, Université de Limoges, France, 2007, 129 p.[En ligne], disponible sur <http://epublications.unilim.fr/theses/2007/sedan-david/sedan-david.pdf>.

[37]. S. Ikhlef. « Etude du comportement de composites PEBD/farine de Genêt d'Espagne avant et après traitement ». Mémoire de Magister, Faculté de Technologie, Département de Génie des Procédés, Université Ferhat Abbas Sétif, Algérie, 2011, 168 p.

[38]. A. Gandini et M. N. Belgacem. « La chimie des substances renouvelables».L'actualité chimique, 2002, pp 6-14.

[39]. « Cellulose »Microsoft ® Encarta ® 2007. Microsoft Corporation, 1993-2006.[40]. A. Wachowski. « Les Parois de Cellules Végétales»,[en ligne], 2006. disponible sur

<http://www.lycees.ac-rouen.fr/lgcorneille/SPIP/IMG/DS206.pdf> (Consulté le 15/12/2013).

[41]. A.K. Bledzki et J.Gassan. « Composites Reinforced With Cellulose Based Fibres » Progress in Polymer Science., Vol. 24, 1999, pp. 221-274.

[42]. Lionel Gendre, Matériaux composites et structures composites. http://www.si.ens_cachan.fr, Sciences de l'ingénieur, 2011.

[43]. J.M. Berthelot. Composite Materials : Mechanical Behavior and Structural Analysis. Springer New York. 1999.

[44]. Haddadi Manel, « étude numérique avec comparaison expérimental des propriétés thermoplastique des matériaux composites à matrice polymère », université Al Hadj Lakhdar, Batna, 2011.

[45]. R.P.C. Decathlon. Les matériaux composites dans l'industrie des sports et loisirs. Congrès RFIS, 2005.

Chapitre II

Traitements Des Fibres végétales

II.1 Introduction

L'intérêt pour les composites polymères renforcés de fibres naturelles croît rapidement en termes d'applications industrielles et de recherche fondamentale [1-3]. Les fibres naturelles sont facilement disponibles, faciles à transformer, renouvelables, de faible densité et à faible coût et possèdent des propriétés mécaniques adéquates, devenant ainsi une alternative écologique attrayante au verre, au carbone et aux autres fibres synthétiques pour la fabrication de composites. Ils sont principalement utilisés pour la fabrication de pièces non structurales pour l'industrie automobile, telles que les revêtements de roues de voiture, pare-chocs de voiture, tapisseries, panneaux de portes, etc. et possèdent également de très bonnes propriétés d'isolation acoustique et thermique [4]. Divers types de fils de fibres naturelles sont disponibles sur le marché, comme le coton, le jute, le lin, le sisal, le kenaf, l'ananas, la ramie, le bambou et la banane. Elles sont une riche source de fibres lignocellulosiques et sont le plus souvent appliquées comme renforts pour les composites polymères [5]. Même si les fibres naturelles présentent plusieurs avantages, les fibres lignocellulosiques sont hydrophiles et absorbent l'humidité, ce qui limite leur utilisation dans les applications techniques. Kabir et al. [6] ont signalé qu'il y a une grande quantité de liaisons hydrogène (groupes hydroxyles -OH) présentes entre les macromolécules de la paroi cellulaire de la fibre végétale et qu'elles se multiplient lorsque l'humidité de l'atmosphère entre en contact avec la fibre, en raison de la rupture de la liaison et de la formation de nouveaux groupes hydroxyles avec les molécules d'eau.

Cette incompatibilité des fibres avec la matrice polymère conduit à une faible résistance de liaison interfaciale de la matrice de fibres et à un mauvais mouillage des fibres par la résine de matrice, ce qui entraîne généralement de mauvaises propriétés mécaniques des composites.

Toutefois, les modifications de surface par des méthodes physiques ou chimiques tendent à réduire ces inconvénients [7]. Les décharges électriques telles que les traitements corona et plasma froid sont les méthodes physiques les plus courantes dans lesquelles l'activation d'oxydation de surface des fibres se produisent, mais cette méthode est relativement coûteuse. Des modifications chimiques telles que le traitement alcalin, le traitement à l'acétylation, le traitement à l'isocyanate, les agents de couplage du silane et les agents greffants ont amélioré l'adhérence de la matrice des fibres [8].

Les silanes ont des groupes alkyles réactifs qui se lient chimiquement pour former des adhésifs et ont été trouvés pour réduire le nombre de groupes hydroxyle dans l'interface de la matrice de fibres modifiant ainsi efficacement la fibre naturelle-interface matricielle polymère et

de promouvoir l'adhésion et de stabiliser le composite. [9]. Le traitement acide acétique des brins de fibres de l'herbe Napier a été effectué par Venkata et al. [10] et signalé des changements efficaces dans la topographie de la surface des fibres et de leur structure cristallographique et l'élimination des impuretés de surface et l'augmentation de l'indice de cristallisation des fibres. Il existe peu de données sur l'utilisation du sulfite de sodium pour le traitement de surface des fibres naturelles. D'autre part, le traitement alcalin augmente la rugosité de la surface, ce qui améliore l'enchevêtrement mécanique et la quantité de cellulose exposée à la surface de la fibre.

II.2 Structure de la fibre végétale

La structure de la cellulose est composée de régions cristallines et amorphes. Fig. 01 présente la vue schématique de la couche secondaire de la paroi des cellules de fibres dans laquelle les régions cristallines et amorphes sont indiquées. De fortes liaisons d'hydrogène intramoléculaires avec de grandes molécules sont formées par la cellulose cristalline. La compacité de la région cristalline crée des blocs de cellulose qui rendent difficile la pénétration chimique. Cependant, les colorants et les résines sont facilement absorbés par la région amorphe. De plus, les fibres végétales sont très polaires et hydrophiles, car des groupes hydroxyles sont présents dans leurs structures. Pour la distension de la région cristalline, l'élimination des groupes hydroxyles hydrophiles et l'élimination des impuretés superficielles (substances cireuses), les fibres naturelles doivent être modifiées chimiquement. Des traitements chimiques comme la mercerisation, la silane, l'acétylation, le traitement à la benzylation, etc. avec ou sans chaleur sont largement appliqués pour modifier la chimie des fibres.[11]

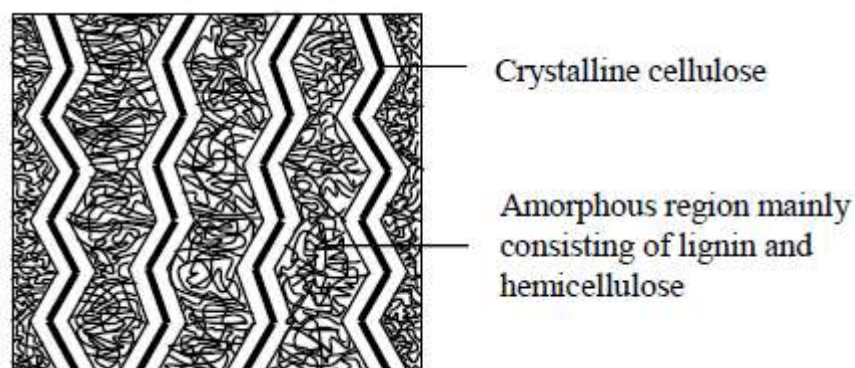


FIGURE II.01 : Vue schématique de la couche secondaire de la paroi de la cellule de fibre [12].

II.3 Cohésion Des Composites et Adhésion Interfaciale

La notion d'adhésion ne peut être dissociée de la nature des surfaces impliquées. Ces dernières présentent des propriétés qui les rendent plus ou moins idéales.

Les phénomènes d'adhésion aux interfaces fibre-matrice jouent un rôle essentiel sur les propriétés des matériaux composites. De telles interfaces sont le siège de phénomènes physico-chimiques complexes. Ces derniers sont dus aux interactions moléculaires entre deux matériaux de nature et de propriétés différentes.

Ces interfaces doivent être en mesure de supporter toutes contraintes mécaniques, résiduelles ou externes, et les transmettre de la matrice à la fibre pour que les matériaux composites présentent les propriétés mécaniques requises. [13]

II.4 Mécanismes de liaison

Dans les composites de fibres végétales, les principaux composants sont les fibres de renforcement et le polymère la phase matricielle. Les propriétés et les performances des composites reposent sur trois paramètres : matrice, renforcement et interface. La zone d'interface entre la fibre et la matrice a été reconnue pour jouer un rôle prédominant dans le comportement du matériau. L'interface dans les composites, souvent considérée comme une région intermédiaire formée en raison de la liaison de la fibre et de la matrice, est en fait une zone de composition, les gradients de structure et de propriété, qui varient généralement en largeur d'une couche d'atome à micromètres. Il existe une relation étroite entre les processus se produisant sur les niveaux microscopiques et macroscopiques à l'interface. En fait, la connaissance des séquences d'événements qui se produisent à ces différents niveaux est extrêmement importante pour comprendre la nature des phénomènes interfaciaux. La région d'interface contrôle le transfert de stress entre la fibre et la matrice, et dépend principalement du niveau d'adhésion interfaciale. Une résistance interfaciale raisonnable assure le niveau de contrainte maximal et peut être maintenue à travers l'interface et de la fibre à la matrice sans interruption. L'efficacité de la charge transférée est déterminée par l'interaction moléculaire à l'interface avec l'épaisseur et la force de la région interfaciale formée. La liaison interfaciale à matrice de fibres les mécanismes en général comprennent l'inter-diffusion, l'adhésion électrostatique, les réactions chimiques et l'enclenchement mécanique, qui ont été présentés dans la Fig. 2. Ensemble, ces mécanismes sont responsables de l'adhésion et généralement l'un d'eux joue un rôle dominant.

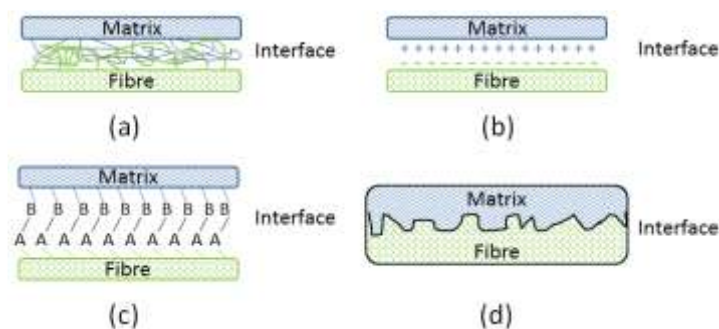


Figure II. 2 Mécanismes de liaison interfaciale à matrice de fibres : (a) enchevêtrement moléculaire suivant l'interdiffusion, (b) l'adhésion électrostatique, (c) la liaison chimique et (d) la liaison mécanique enclenchement [14]

Interdiffusion se produit en raison d'interactions intermoléculaires intimes entre les molécules du substrat de fibre et de la résine, qui résultent des forces de Van der Waals ou de l'hydrogène liaison. En fait, ce mécanisme d'adhésion comporte deux étapes, c.-à-d. l'adsorption et la diffusion. Dans un premier temps, deux constituants, la fibre et la matrice devraient avoir contact intime qui est à son tour régi par deux actions, y compris la propagation et pénétration. Une fois qu'un bon mouillage se produit, l'adhérence permanente est attractions moléculaires, p.ex. covalent, électrostatique et Van der Waals. D'un autre côté, un bon mouillage entre les substrats conduit à l'interdiffusion des molécules des deux fibres matrice. L'étendue et le degré de diffusion dépend principalement de la compatibilité des deux constituants et la pénétrabilité du substrat. L'adhésion électrostatique est attribuée à la création de charges opposées (anioniques et cationiques) sur les surfaces en interaction de la fibre et de la matrice polymère; ainsi, une interface composée de deux couches de charges opposées est formée, qui représente l'adhésion des deux constituants du composite. La chimiorption se produit lorsque des liaisons chimiques, y compris des liaisons atomiques et ioniques, sont créées entre les substances à la suite de réactions chimiques. Matériel disponible et les liaisons chimiques dépendent de la chimie de surface du substrat et sont parfois collectivement décrite comme adhérence thermodynamique. Le phénomène d'enclenchement mécanique explique l'adhérence lorsqu'une matrice pénètre dans les pics, trous, vallées et crevasses ou autres irrégularités du substrat, et s'y verrouille mécaniquement. Elle se produit sur une échelle de millimètre et de micron, et à l'intérieur des pores de la paroi cellulaire de la fibre se produit à une échelle nanométrique. La théorie de l'adhésion s'appuyant sur l'enclenchement mécanique peut se produire sur une plus grande échelle de longueur sur la zone de contact. L'adhérence, les forces capillaires et d'autres

facteurs d'interaction peuvent être ignorés dans la plupart des dispositifs microscopiques, mais ils dominent souvent le comportement de la qualité échelle nanométrique. Le flux de résine polymère entre dans le réseau interconnecté de lumens et pores ouverts de la fibre naturelle, avec le flux se déplaçant principalement dans le résistance. L'adhésif occupe le volume libre à l'intérieur de la paroi cellulaire et empêche donc le rétrécissement et l'enflure. La pénétration de la fibre adhésive se produit sur deux échelles ou plus.

Il y a micro-pénétration, qui se produit à travers les lumens des cellules et des fosses. En outre, nanopénétration qui se produit dans la paroi cellulaire. Macro pénétration de l'adhésif à travers les fissures induites par le processus est également à considérer. Pénétration de l'adhésif sur tout échelle aura un impact sur la qualité du collage. La perméabilité est également un facteur de contrôle des fibres la pénétration de la résine. La perméabilité varie selon les caractéristiques de la surface et la direction, p.ex. tangentielle, radiale et longitudinale. Ce mécanisme d'enclenchement mécanique est souvent utilisé dans polymères composites par la gravure de la surface du polymère pour augmenter la rugosité de la surface augmentant ainsi la zone de contact pour la pénétration de l'adhésif et le substrat. D'autre part, une augmentation d'amélioration d'autres systèmes/mécanismes de collage.

II.5 Modification des fibres naturelles :

L'interface fibre-matrice est la zone de diffusion ou de réaction, dans laquelle les phases fibre et matrice sont combinées chimiquement et/ou mécaniquement. L'adhérence interfaciale entre la fibre et la matrice joue un rôle prépondérant dans la caractérisation des propriétés mécaniques des composites. S'il y a une mauvaise adhérence à la limite de la phase, la dispersion de la force est relativement faible, ce qui entraîne de mauvaises propriétés mécaniques du composite [15]. Pour le renforcement des fibres naturelles dans les matériaux composites, plusieurs problèmes surviennent le long de l'interface en raison de la présence de groupes hydroxyles hydrophiles à la surface des fibres. Cette nature hydrophile entrave la réaction efficace avec la matrice. En outre, la pectine et la cire couvrent les groupes fonctionnels réactifs de la fibre et agissent comme une barrière à l'imbrication avec la matrice. Pour optimiser la liaison interfaciale efficace entre la fibre et la matrice, la surface de la fibre doit être modifiée avec différents traitements chimiques, additifs réactifs et agents de couplage. Les traitements chimiques exposent des groupes plus réactifs à la surface de la fibre et facilitent ainsi un couplage efficace avec la matrice. Par conséquent, on peut obtenir de meilleures propriétés mécaniques et thermiques des composites [16].

II.5.1 Méthodes physiques

Les méthodes physiques comprennent l'étirement, le calage, le thermotraitement et la production de fils hybrides pour la modification des fibres naturelles. Les traitements physiques modifient les propriétés structurales et superficielles de la fibre et influencent ainsi le collage mécanique des polymères. Les traitements physiques ne modifient pas considérablement la composition chimique des fibres. Par conséquent, l'interface est généralement améliorée grâce à une liaison mécanique accrue entre la fibre et la matrice.

a) Traitement corona :

Le traitement Corona est l'une des techniques les plus intéressantes pour l'activation de l'oxydation de surface. Ce processus modifie l'énergie de surface des fibres de cellulose. Le traitement par décharge corona sur la fibre de cellulose et la matrice hydrophobe s'est révélé efficace pour améliorer la compatibilité entre les fibres hydrophiles et une matrice hydrophobe.

Tossa Les fibres de jute [17] ont été traitées par décharge corona pour améliorer les propriétés mécaniques des composites de fibres naturelles/époxydes. Les fibres traitées par Corona présentaient des composants polaires nettement plus élevés d'énergie de surface libre avec une augmentation de la production d'énergie de traitement. En raison des difficultés dans le traitement efficace des objets tridimensionnels à décharge coronaire, la polarité accrue des fils traités est relativement faible. En outre, une diminution de la ténacité du fil a été observée avec un niveau d'énergie corona croissant.

Les propriétés mécaniques des composites de fibres de chanvre et de PP traités par corona ont été caractérisées par des mesures de tension et de contrainte de compression [18]. Le traitement des composés (fibres ou matrice) conduit à une augmentation significative de la résistance à la traction. La modification des renforts cellulosiques plutôt que de la matrice PP permet une meilleure amélioration des propriétés composites avec une amélioration de 30% du module Young.

Les tapis (mats) de fibres de lin et de chanvre ont été traités corona et la longueur optimale du traitement corona pour améliorer le module de traction et la résistance des composites (avec une matrice de résine naturelle) a été déterminée [19]. La résistance à la rupture de la traction composite atteint un maximum plus tôt, à savoir après seulement 5 minutes de traitement corona et diminue rapidement par la suite. L'aspect des fibres a confirmé que des périodes relativement courtes de traitement corona sont plus que suffisantes pour améliorer

l'adhérence dans les fibres. En outre, il a également été prouvé qu'il n'y a pas d'autre amélioration obtenue lorsque des traitements corona plus longs sont appliqués, parce que l'ouverture de la surface de la fibre ne s'améliore pas plus après 15 min de traitement. Cependant, la dégradation des fibres se poursuit.

b) Traitement plasma :

Le traitement plasma est une autre méthode de traitement physique et est similaire au traitement corona. La propriété du plasma est exploitée par la méthode pour induire des changements à la surface d'un matériau. Selon le type et la nature des gaz utilisés, il est possible de réaliser diverses modifications de surface. Des radicaux libres réactifs et des groupes peuvent être produits, l'énergie de surface peut être augmentée ou diminuée et la réticulation superficielle peut être introduite.

Les composites de polyester renforcés de fibres de lin, qui ont été soumis à un traitement à l'hélium plasma froid, ont été étudiés au moyen de mesures de perméation d'eau et d'essais mécaniques [20]. L'analyse de la perméation et les résultats mécaniques ont montré que le traitement plasma améliore l'adhérence de la fibre/matrice et améliore la rigidité de la propriété mécanique.

Martin et al. [21] ont préparé des composites au sisal et au PEHD et ont montré que certaines améliorations des propriétés mécaniques des composites sont obtenues grâce aux traitements plasmatiques.

Les fibres de jute ont été soumises à un traitement à l'oxygène plasmatique en fonction de la puissance plasmatique afin de renforcer l'adhérence interfaciale [22]. La résistance au cisaillement interlaminaire des composites de fibres de jute traitées au plasma/PEHD, qui ont été exposés à des puissances plasmatiques de 30 W et de 60 W, a augmenté d'environ 32 et 47 % respectivement par rapport aux composites non traités. À son tour, la force de flexion des composites non traités n'augmente que de 45 %. On peut conclure que l'exposition à des puissances plasmatiques de 60 W pendant 15 min dans la plage étudiée est le paramètre le plus approprié pour le traitement plasma d'oxygène des fibres de jute et permet d'obtenir la meilleure adhérence interfaciale avec le PEHD.

L'influence du traitement plasma sur la morphologie, la mouillabilité et la structure fine des fibres de jute et son impact sur l'adhérence interfaciale des fibres de jute/polyester non saturé ont été étudiés [23]. Une micrographie microscopique électronique à balayage a montré la

morphologie approximative de la surface et la dégradation des fibres due à un mécanisme de gravure causée par le plasma. Le traitement plasma a entraîné le développement de l'hydrophobicité dans les fibres. Cependant, parmi tous les composites de fibres traités, la résistance à la flexion des composites préparés avec des fibres traitées pendant 10 min avec du plasma n'a montré qu'une résistance mécanique améliorée d'environ 14 % par rapport aux composites de fibres brutes.

Les fibres de jute ont été traitées par des réacteurs plasmatiques indifférents (réacteurs plasma à radiofréquence « RF » et à basse fréquence « LF ») utilisant de l'O₂ pour différents plasmapowers afin d'augmenter l'adhérence de l'interface entre la fibre de jute et la matrice de polyester. La résistance au cisaillement interlaminaire est passée de 11,5 Mpa pour le composite fibre de jute/polyester non traité à 19,8 et 26,3 Mpa pour les composites fibre de jute/polyester traités à l'oxygène LF et RF, respectivement. La résistance à la traction et à la flexion des composites de fibres de jute/polyester s'est améliorée pour les deux systèmes plasma. Il est clair que le traitement au plasma d'oxygène des fibres de jute au moyen du système plasma RF a montré une amélioration plus importante des propriétés mécaniques des composites jute/polyester que l'utilisation du système plasma LF [24].

II.5.2 Méthodes chimiques

Les fibres de cellulose, qui sont fortement polarisées, sont intrinsèquement incompatibles avec les polymères hydrophobes en raison de leur nature hydrophile. Dans de nombreux cas, il est possible d'induire une compatibilité dans deux matériaux incompatibles en introduisant un troisième matériau ayant des propriétés intermédiaires entre celles des deux autres. Il existe plusieurs mécanismes de couplage dans les matériaux (p. ex., couches de séparation faibles, couches déformables, couches retenues, mouillabilité, liaison chimique et effet acide-base).

Le développement d'une théorie définie pour le mécanisme de collage utilisant des agents de couplage dans les composites est un problème complexe. La principale théorie du collage chimique ne suffit pas à elle seule. Il semble donc nécessaire de tenir compte d'autres concepts. Il s'agit notamment de la morphologie de l'interphase, des réactions acide-base dans l'interface, de l'énergie de surface et des phénomènes de mouillage.

Des modifications chimiques de fibres naturelles visant à améliorer l'adhérence à l'intérieur de la matrice polymère à l'aide de différents produits chimiques ont été étudiées.

a) Traitement au silane :

L'énergie de surface des fibres est étroitement liée à la nature hydrophile de la fibre. Certaines recherches portent sur les méthodes de réduction de l'hydrophilie. Les agents de couplage du silane peuvent contribuer aux propriétés hydrophiles de l'interface, surtout lorsque les silanes amino-fonctionnelles, comme les époxydes et les silanes uréthanes, sont utilisées comme amorces pour les polymères réactifs. L'apprêt peut fournir beaucoup plus de fonctionnalité amine que peut éventuellement réagir avec la résine dans l'interphase. Ces amines, qui ne pouvaient pas réagir, sont hydrophiles et donc responsables de la mauvaise résistance à l'eau des liaisons. Une façon efficace d'utiliser les silanes hydrophiles est de les mélanger avec des silanes hydrophobes comme le phéniltriméthoxysilane. Les apprêts mixtes de siloxane ont également une meilleure stabilité thermique, ce qui est typique pour les silicones aromatiques.

La surface de la fibre kenaf a été modifiée à l'aide d'un agent de couplage au silane afin de favoriser l'adhésion à la matrice PS [25]. L'adhésion à la matrice de fibres s'est accrue par une réaction de condensation entre les groupes alcoxysilane et hydroxyle de cellulose kenaf. En raison de la modification de la fibre, les composites kenaf/PS présentaient un module de stockage plus élevé et un bronzage plus faible que ceux dont la fibre n'était pas traitée, ce qui indique une plus grande interaction interfaciale entre la résine matricielle et la fibre.

Le traitement au silane a amélioré le module de stockage des composites de polyester renforcés à la fibre d'abaca [26]. Les modifications chimiques avec le silane A174 (γ -méthacryloxypropyl triméthoxy-silane) et aussi avec le Naoh ont entraîné une augmentation maximale du module. L'acidité de la liaison hydrogène est la plus faible pour les fibres traitées avec la silane A174, après un prétraitement à 0,5 % de Naoh. Au contraire, la valeur la plus élevée a été notée pour les fibres traitées avec la silane A151 (triéthoxysilane vinylique). La polarité globale a été établie à un maximum pour les fibres traitées avec le silane A151 (triéthoxysilane vinylique).

Les effets des différents traitements chimiques sur la compatibilité fibre-matrice en termes d'énergie de surface et de propriétés mécaniques des composites ont été rapportés [27]. Les composites ont été composés de deux types de fibres de lin (pâte de lin et de lin naturel) et d'une matrice de PP. Les traitements appliqués étaient le triméthoxysilane de vinyle (VTMO), l'anhydride maléique (MA) et le copolymère maléique anhydride-polypropylène (MAPP). Les trois traitements ont réduit la composante polaire de l'énergie de surface de la fibre. Les composites contenant des fibres Mappreated possédaient les propriétés mécaniques les plus

élevées, tandis que les fibres traitées par MA et VTMO obtenaient des valeurs similaires à celles des fibres non traitées.

Ismail et al. [28][29] ont traité des grappes de fruits vides de palmier à huile et des fibres de coco avec des agents de couplage de silane et ont constaté qu'avec l'ajout de silane, le temps de brûlure et de durcissement augmentait. De plus, la résistance à la traction, le module de traction, la résistance à la déchirure, la durée de vie en fatigue et la dureté du palmier à huile, les grappes de fruits vides et les composites en fibre de coco renforcés de polyester et de caoutchouc naturel ont été améliorés.

Les schémas de réaction sont donnés comme suit [30].

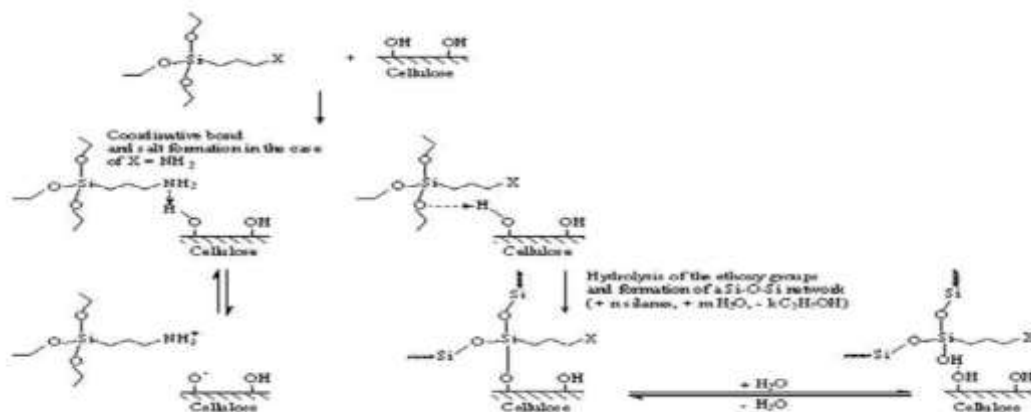
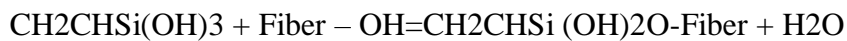


Figure II.3. Schéma de l'interaction des silanes avec les fibres cellulodiques [31]

b) Traitement alcalin :

Le traitement alcalin ou la mercerisation est l'une des méthodes chimiques les plus utilisées (élimine une certaine quantité de lignine, de cire et d'huiles recouvrant la surface externe de la paroi de la fibre cellulaire) pour les fibres naturelles lorsqu'elles sont utilisées pour renforcer les thermoplastiques et les thermo sets. La modification importante obtenue avec le traitement alcalin est la perturbation de la liaison d'hydrogène dans la structure du réseau, augmentant ainsi la rugosité de surface.

L'effet du traitement alcalin sur la capacité de mouillage et la cohérence des composites sisal-époxy a été examiné [32]. Le traitement de la fibre de sisal dans une solution d'hydroxyde de sodium de 0,5 N a donné des composites plus rigides, moins poreux et plus denses. Le traitement a amélioré les caractéristiques d'adhérence, grâce à un meilleur travail de l'adhérence car il augmente la tension de surface et la rugosité de surface. Les composites résultants ont montré des améliorations dans la résistance à la compression et à l'eau. On a également découvert que l'élimination de la lignine intracristalline et inter cristalline et d'autres substances de surface cireuses par l'alcali augmente considérablement les possibilités d'enclenchement mécanique et de liaison chimique.

Les effets du traitement alcalin de la fibre de feuilles d'ananas sur la performance des composites de la fibre de feuilles d'ananas/PLA ont été démontrés [33]. On a constaté que le composite renforcé de fibres alcalines offrait des propriétés mécaniques supérieures à celles des composites renforcés de fibres non traités. Cette étude suggère également que la modification appropriée des surfaces de fibres contribue de manière significative à améliorer les propriétés interfaciales des biocomposites. Étant donné que l'amélioration de l'adhérence interfaciale augmente la performance de l'impact, les propriétés de surface des fibres peuvent être considérablement modifiées en termes de différents traitements caractérisés par une énergie de surface accrue, qui améliore la mouillabilité de la fibre lors de la combinaison avec une matrice PLA. DMA a montré que les composites de fibres traités ont un module de stockage plus élevé, ce qui indique une plus grande liaison interfaciale force et adhérence entre la résine matricielle et la fibre. Les composites de fibres alcalisées ont des valeurs de module de stockage élevées, qui correspondent à leur module de flexion élevé.

L'effet de l'alkylation sur les propriétés de traction de la fibre de ramie a été étudié [34]. La technique d'application de la charge a été utilisée pendant le traitement alcalin, afin d'améliorer les propriétés mécaniques de la fibre. La fibre de ramie a été traitée alcaline avec une solution contenant 15 % de NaOH et a été soumise à des charges appliquées de 0,049 et 0,098 N. Les résultats ont montré que la résistance à la traction de la fibre de ramie traitée a été améliorée de 4 à 18 % plus que pour les fibres de ramie non traitées. Le module Young des fibres traitées a diminué. Il convient de noter que les déformations dues aux fractures de la fibre de ramie traitée ont augmenté considérablement pour atteindre 0,045 à 0,072. Cela est deux à trois fois plus élevé que celui de la fibre de ramie non traitée. Il a été considéré que de telles améliorations de propriété sur l'alkylation étaient corrélées avec un changement des structures morphologiques et chimiques dans les microfibrils de la fibre.

Les fibres de jute ont été soumises à un traitement alcalin avec une solution contenant 5 % de NaOH pendant 0, 2, 4, 6 et 8 h à 30 C [35]. Le module des fibres de jute s'est amélioré de 12%, 68% et 79% après 4, 6 et 8 heures de traitement, respectivement. La ténacité des fibres s'est améliorée de 46% après 6 et 8 h de traitement et le pourcentage de rupture de la souche a été réduit de 23% après 8 h de traitement. Pour 35 % des composites avec fibres traitées pendant 4 h, la résistance à la flexion s'est améliorée de 20 %, passant de 199,1 à 238,9 Mpa. Le module de flexion s'est amélioré de 23 %, passant de 11,89 à 14,69 Gpa, et la résistance au cisaillement laminaire a augmenté de 19 %, passant de 0,238 à 0,283 Mpa.

Les fibres de ramie [36], de noix de coco verte [37], de sisal [38], de jute [39] et de coco [40] ont été alcalisées et leurs propriétés ont été évaluées.

La variation des propriétés mécaniques et structurales du fil de chanvre lors de l'alkylation dans des conditions dissemblables a été étudiée [41]. L'alkylation à forte concentration alcaline (22%) n'a jamais conduit à une conversion complète en treillis de la cellulose I dans la cellulose II (tableau 5). Comme prévu, le plus haut degré de conversion (70%) a été atteint par un fil librement rétrécissant. De plus, l'alkylation du fil de chanvre dans des conditions isométriques ou avec une charge de fibres constante (100 p) à une concentration de NaOH de 22 % entraîne une conversion en réseau cristallin de seulement 40 à 50 %. Cependant, cela ne se produit que lorsqu'il est combiné avec les plus hautes intensités et les modules des faisceaux de fibres. On a également observé que seul le module d'élasticité de traction dépasse la valeur du matériau original non modifié.

Traitement des fibres	résistance à la flexion (N/mm ²)
non traité	77
mercerisé ^a	115
MAH – PP ^b	127
mercerisé +MAH-PP	149

Tableau II .1 : Influence des différents traitements de fibres sur la résistance à la flexion des composites unidirectionnels en lin-PP.

Le tableau 6 [41] montre explicitement que, outre les effets significatifs des traitements à l'alkylation simple et au MAH-PP, une combinaison de la procédure d'alkylation isométrique (p. ex., augmentation de la résistance des fibres) et des agents de couplage entraîne l'augmentation la plus élevée des propriétés composites (90 %) dans comparaison avec un composite avec des fibres de lin non traitées pour le renforcement.

La réaction qui a lieu pendant ce traitement est montrée ci-dessous.

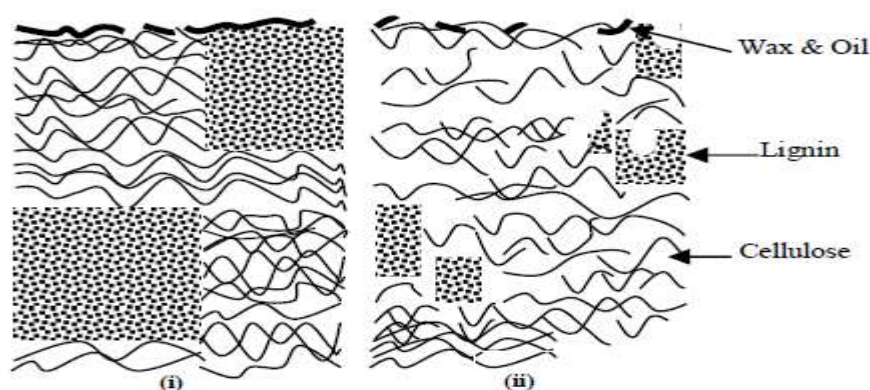
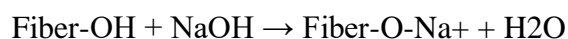


FIGURE II.4 Structure type (i) non traitée et (ii) alcalinisée fibre de cellulose [42].

FIGURE II.04 présente la vue schématique de la structure de la fibre de cellulose, avant et après traitement alcalin. Les fibres traitées ont une teneur en lignine inférieure, l'enlèvement partiel des matériaux de couverture de cire et d'huile et la distension d'ordre de cellulose cristalline.

c) Acétylation :

L'acétylation est une autre méthode pour modifier la surface des fibres naturelles et les rendre plus hydrophobes. Il décrit l'introduction d'un groupe fonctionnel acétyle dans un composé organique. L'idée principale de l'acétylation est d'enrober les groupes de fibres OH qui sont responsables de leur caractère hydrophile avec des molécules qui ont une nature plus hydrophobe.

L'influence de l'acétylation sur la structure et les propriétés des fibres de lin a été étudiée. Des composites PP renforcés de fibres de lin modifiées ont également été préparés [43]. L'effet de l'acétylation sur le degré de polymérisation et de cristallisation de la fibre de lin est illustré à la fig. 5.

On a observé que le degré de polymérisation diminuait lentement tandis que le degré d'acétylation augmentait jusqu'à 18 %. Une fois qu'elle a atteint une teneur en acétyle de 18 %, le degré de polymérisation a diminué rapidement en raison d'une dégradation vigoureuse de la cellulose. Il a également été notable que le degré de cristallisation a légèrement augmenté par rapport au degré d'acétylation, en raison de l'élimination de la lignine et des produits extractibles. Par la suite, le degré de cristallisation de la cellulose a diminué par rapport au degré d'acétylation en raison de la décomposition des composants amorphes acétylés à la surface de la cellulose.

Les influences du degré d'acétylation des fibres de lin sur les propriétés d'absorption de l'humidité sont illustrées à la fig. 6 [43]. À 95 % d'humidité relative, les fibres de lin acétylées de 3,6 %, 12 %, 18 % et 34 % présentaient des propriétés d'absorption de l'humidité d'environ 14 %, 18 %, 27 % et 42 % inférieures à celles des fibres de lin non traitées. Les propriétés d'absorption d'humidité diminuaient proportionnellement à l'augmentation de la teneur en acétyle des fibres en raison de la réduction de l'hydrophilie des fibres.

Seena et al. ont étudié l'effet de l'acétylation sur les composites de phénol-formaldéhyde renforcés de fibres d'abaca et ont signalé que la résistance à la traction, le module de traction et la résistance à l'impact s'amélioraient par rapport aux composites de fibres d'abaca non traités [44].

Tserki et ses collaborateurs [45] ont étudié l'acétylation du lin, du chanvre et des fibres de bois. Une élimination des composants non cristallins des fibres, une modification des caractéristiques de la topographie de la surface, un changement de l'énergie libre de la surface de la fibre et une amélioration de l'efficacité de transfert de contraintes dans l'interface ont eu lieu.

Les effets de l'acétylation sur la dégradation biologique et la résistance au cisaillement des composites de polyester renforcés de fibre de coco et de palme à huile ont été évalués [46,47]. Il a été signalé que les composites de polyester renforcés de fibres naturelles acétylées présentent une plus grande résistance biologique et une perte de résistance à la traction moindre que les composites à base de fibres traitées à la silane dans les essais biologiques.

Zafeiropoulos et ses collègues ont longuement étudié l'influence de l'acétylation sur l'ingénierie et la caractérisation de l'interface dans les composites de fibres de lin/PP [48,49]. Ils ont également étudié l'application des statistiques de Weibull [50] et de Gaussian [51] à la résistance à la traction des fibres de lin.

La réaction de l'anhydride acétique avec les fibres est représentée par [52].

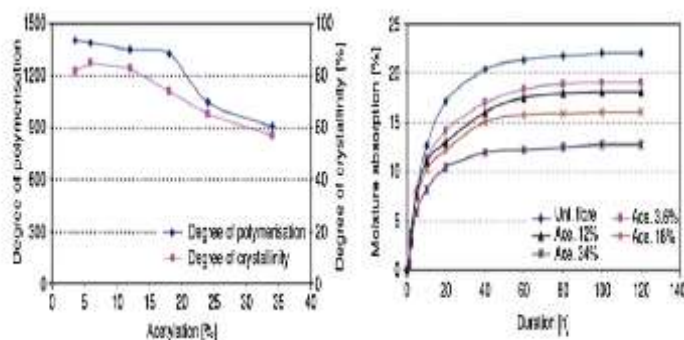
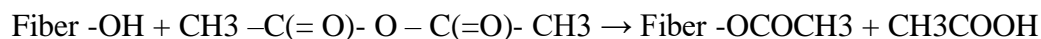


Fig.II 5. Influence de l'acétylation de la fibre de lin sur le degré de

Et fig.II 6 : influence de l'acétylation des fibres de lin sur

polymérisation et le degré de cristallisation de la cellulose. L'absorption d'humidité propriété a 29% d'humidité relative Adopté à partir de [43].

d) Accouplement maleaté :

De nos jours, le couplage maléaté est largement utilisé pour renforcer les composites renforcés de fibres naturelles. La différence fondamentale avec d'autres traitements chimiques est que l'anhydride maléique est utilisé non seulement pour modifier la surface de la fibre, mais aussi la matrice polymérique pour obtenir une meilleure liaison interfaciale entre la fibre et la matrice et l'amélioration des propriétés mécaniques dans les composites. De nombreuses études publiées ont étudié l'effet de la greffe d'anhydride maléique sur les propriétés mécaniques des fibres naturelles et il est impossible de les énumérer toutes ici. Par conséquent, seules quelques études représentatives sont discutées ici.

Mohanty et al. [53] ont utilisé le MAPP comme agent de couplage pour la modification de la surface des fibres de jute. Il a été constaté qu'une charge de fibres de 30 % avec une concentration de MAPP de 0,5 % dans le toluène et 5 min de temps d'imprégnation avec des longueurs de fibres moyennes de 6 mm ont donné les meilleurs résultats possibles. Une augmentation de la résistance à la flexion de 72,3 % a été observée pour les composites traités. En plus de la matrice de PP, Mishra et al. [54] ont signalé que le traitement à l'anhydride maléique réduisait dans une large mesure l'absorption d'eau dans les composites de novo lac

renforcé d'abaca, de chanvre et de sisal. Les propriétés mécaniques comme le module de Young, le module de flexion, la dureté et la résistance aux chocs des composites renforcés de fibres végétales ont augmenté après le traitement à l'anhydride maléique.

Les effets des agents de couplage MAH-PP sur les composites de PP renforcés à la farine de riz ont été évalués [55]. La résistance à la traction des matériaux composites a diminué à mesure que la charge de remplissage augmentait, mais les propriétés de traction ont été considérablement améliorées avec l'ajout de l'agent d'accouplement. Les résistances d'impact Izod crantées et non crantées sont restées pratiquement les mêmes avec l'ajout d'agents de couplage. Une étude morphologique a révélé l'effet positif d'un agent comptabilisant sur la liaison interfaciale.

Des composites renforcés de fibres d'abaca à base de PEHD/nylon-6 ont été préparés [56]. L'anhydride maléique greffé styrène/éthylène-butylène/styrène tri block polymères (SEBS-g-MA) et l'anhydride maléique greffé polyéthylène (PE-g-MA) ont été utilisés pour améliorer la performance d'impact et la liaison interfaciale entre les fibres d'abaca et les résines. En utilisant le SEBS-g-MA, on a obtenu de meilleures résistances et de meilleurs modules pour les composites à base de PEHD/nylon-6 que pour les composites à base de PEHD correspondants. Il a été constaté que l'ajout de SEBS-g-MA avait une influence positive sur l'effet de renforcement du composant Nylon-6 dans les composites. Les résultats de l'analyse thermique ont montré que la cristallisation fractionnée du composant Nylon-6 dans les composites a été induite par l'ajout de SEBS-g-MA et de PE-g-MA. La stabilité thermique des deux systèmes composites différait légèrement, à l'exception d'un pic de décomposition supplémentaire, qui est lié au Nylon-6 mineur pour les composites des mélanges PEHD/Nylon-6. En combinaison avec le SEBS-g-MA, l'ajout de Nylon-6 et l'augmentation du niveau de charge des fibres a conduit à une augmentation de la valeur d'absorption d'eau des composites.

L'influence du MAH-PP sur l'adhérence de la matrice de fibres dans les composites de PP renforcés de fibres de jute et sur le comportement du matériau sous la fatigue et les charges d'impact a été étudiée [57]. L'adhérence fibre-matrice a été améliorée en traitant la surface des fibres avec l'agent de couplage MAH-PP. Il a été démontré qu'une interface forte est liée à un module dynamique plus élevé et à une réduction de la dégradation de la rigidité avec des cycles de charge croissants et des contraintes maximales appliquées. La capacité d'amortissement spécifique a donné lieu à des valeurs plus élevées pour les composites avec de faibles fibres collées. De plus, l'adhérence fibre-matrice plus forte a réduit la perte d'énergie pour les

composites sans impact de pénétration testés à environ 30 %. Les essais, qui ont été effectués à des températures différentes, ont montré des pertes d'énergie plus élevées pour les conditions d'essai à froid et à chaud que pour celles effectuées à température ambiante. La dynamique post-impact module d'environ 40 % après 5 événements d'impact et 30 % de moins pour les composites à faible et bonne matrice de fibres adhésion, respectivement.

L'efficacité de MAH comme agent de couplage a également discuté sur les propriétés thermiques et de cristallisation de la fibre de sisal / composites PP [58], les propriétés de traction de la fibre de hildegardia / composites PP [59], le comportement de mouillage de la fibre de lin / composites PP [60], transcrystallinity of jute fibre/PP composites [61], propriétés de surface et comportement d'absorption d'eau du lin ,fibres de chanvre renforcées PP composites [62],effets des fibres de maïs à base de cellulose micro-dimensionnées comme agents de renforcement dans les composites de PP [63], et les propriétés mécaniques dynamiques des composites de fibres de lin et de chanvre/PP[64].

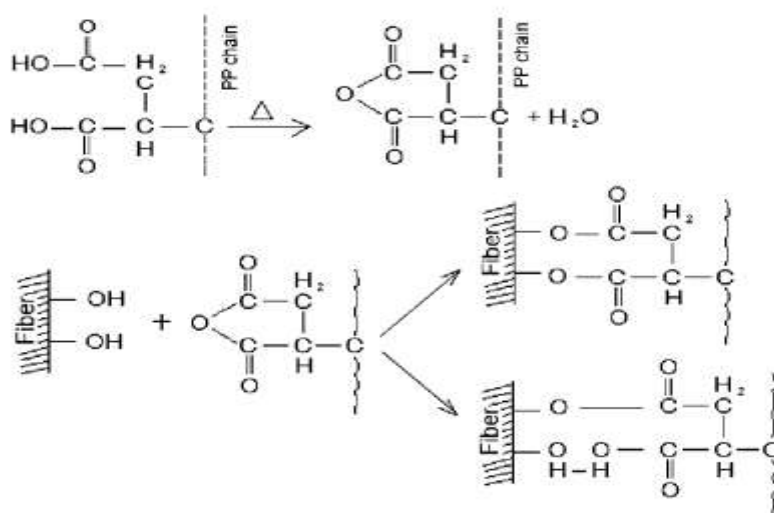


Fig.II.7 Réaction des fibres de cellulose avec les copolymères MAPP à chaud [65]

e) Traitement enzymatique :

L'utilisation de la technologie enzymatique est de plus en plus importante pour le traitement des fibres naturelles. À l'heure actuelle, l'utilisation d'enzymes dans le domaine de la modification des textiles et des fibres naturelles augmente également rapidement. L'une des

principales raisons d'adopter cette technologie est le fait que l'application d'enzymes est écologique. Les réactions catalysées sont très spécifiques et ont une performance ciblée [66].

Bledzki et al. [66] ont étudié les composites de PP avec des fibres d'abaca traitées à l'enzyme. Les morphologies de surface des fibres d'abaca traitées et non traitées sont illustrées à la Fig. 7. Sur la Fig. 7a, on a observé que la surface de la fibre non traitée est rugueuse, contenant des parties cireuses et saillantes. La morphologie de la surface des fibres traitées est observée aux fig. 7b et c. Si le matériau cireux et la cuticule de la surface traitée sont enlevés, la surface devient plus lisse. La fibrillation se produit également lorsque les matériaux de liaison sont retirés de la surface des fibres traitées. On a également observé des dommages à la surface des fibres naturellement digérées dans les systèmes de digestion naturels.

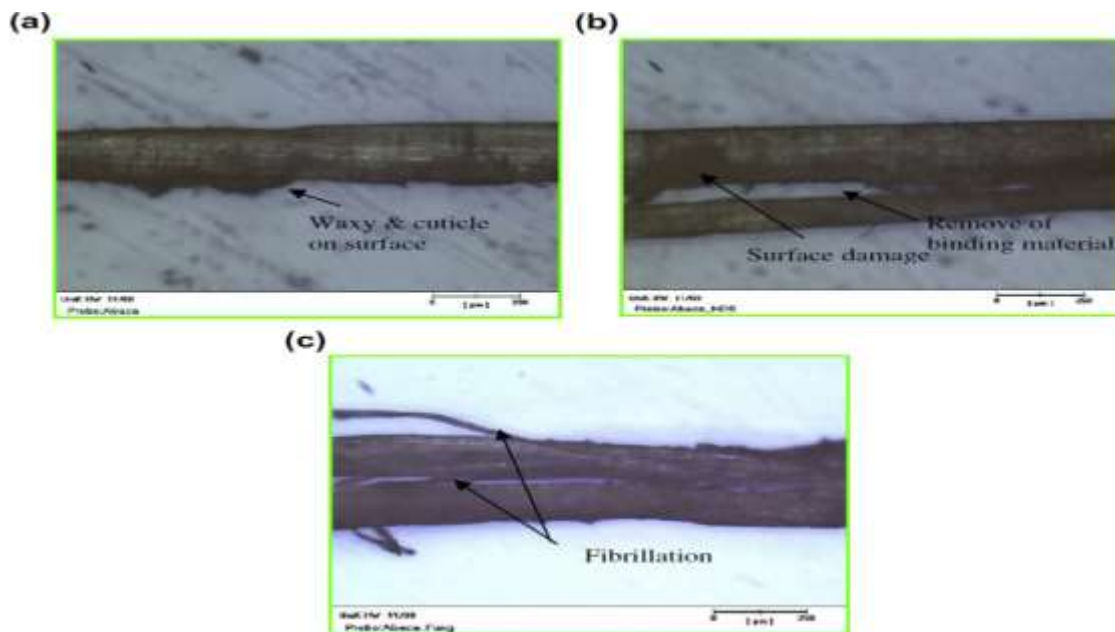


Fig. II.8. Micrographie de la morphologie de la surface de la fibre d'abaca (a) non modifiée (b) PDN modifiée (c) fungamix modifiée.

Adopté du [66]. Copyright 2010. Avec la permission d'Elsevier Ltd.

Les effets du traitement enzymatique de la fibre d'abaca sur la résistance à la traction et à la flexion sont illustrés à la fig. 8. La résistance à la traction des composites d'abaca traités par enzyme a augmenté de 5 à 45 % en raison de modifications. Le système de digestion naturel (PDN) modifié des composites de fibres d'abaca a montré peu d'amélioration par rapport aux composites de fibres d'abaca non modifiés. La résistance à la traction des composites modifiés par fonamix a augmenté de 45 % par rapport aux composites de fibres non modifiés. Un agent

d'attelage classique (MA-PP) a un effet positif sur la résistance à la traction. Il a été trouvé améliorer de 40%. Le traitement enzymatique a également été étudié avec les fibres de chanvre [67,68], et les fibres de lin [69].

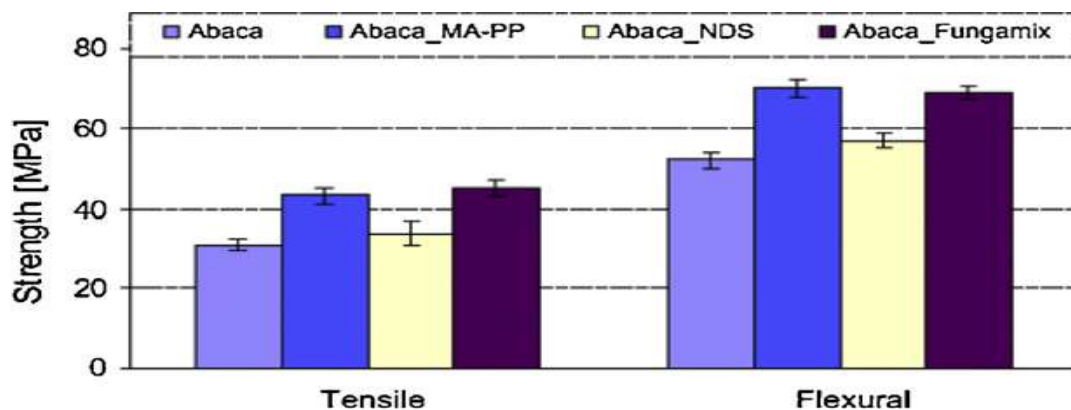
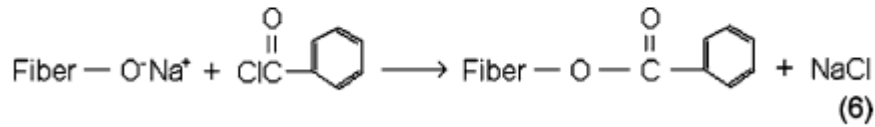
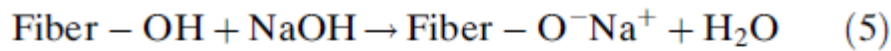


Fig.II.9. Résistance à la traction et à la flexion des composés enzymatiques traités et non modifiés d'abaca-PP.

f) Traitement à la benzylation :

Le traitement par benzylation utilise du chlorure de benzoyle pour diminuer l'hydrophilie de la fibre et améliorer l'adhérence de la matrice de fibre, augmentant ainsi la force du composite. Il améliore également la stabilité thermique de la fibre [70][71]. Pendant le traitement de la benzylation, le prétraitement alcalin est utilisé pour activer les groupes hydroxyles de la fibre. Ensuite, la fibre est trempée dans une solution de chlorure de benzoyle pendant 15 minutes. Ensuite, on utilise une solution d'éthanol pendant 1h pour éliminer le chlorure de benzoyle qui adhère à la surface de la fibre, puis on le lave à l'eau et on le sèche au four. Joseph et al. (1996) ont parlé du traitement au chlorure de benzoyle sur la fibre de sisal prétraitée alcaline et ont signalé une plus grande stabilité thermique que les composites de fibres non traitées. Wang et al. (2007) ont effectué un traitement similaire sur des composites de polyéthylène à faible densité renforcés de fibres de lin et ont signalé une amélioration de 6 % et de 33 % de la résistance à la traction et de la résistance à l'humidité.

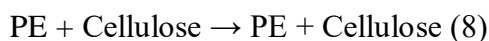
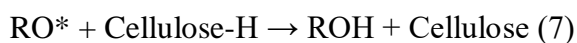
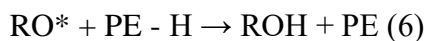
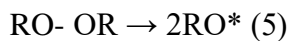
La réaction entre le groupe hydroxyle cellulosique de la fibre et le chlorure de benzoyle est indiquée dans les Eqs. 5 et 6 [72].



g) Traitement au peroxyde :

Les propriétés d'interface de la fibre et de la matrice peuvent être améliorées par le traitement au peroxyde. La greffe de polyéthylène induite par le peroxyde adhère à la surface de la fibre et les radicaux libres initiés par le peroxyde réagissent avec le groupe hydroxyle de la fibre et de la matrice. Il en résulte une bonne adhérence à la matrice de fibres. Ce traitement a également réduit la tendance à l'absorption d'humidité par la fibre et améliore la stabilité thermique [73][74]. Sapiaha, Allard et Zang (1990) ont signalé que le traitement au peroxyde de benzoyle ou au peroxyde de dicumyle de la fibre cellulosique a entraîné une augmentation des propriétés mécaniques des composites. Le mécanisme de traitement au peroxyde implique un prétraitement alcalin sur les fibres puis enduit de peroxyde de benzoyle ou de peroxyde de dicumyle (concentration d'environ 6 %) dans la solution d'acétone pendant 30 minutes. On peut obtenir une décomposition complète du peroxyde en chauffant la solution à une température plus élevée [71][74]. Joseph, Thomas et Pavithran (1996) ont étudié la concentration optimale de peroxyde de benzoyle (6 %) et de peroxyde de dicumyle (4 %) sur des composites de polyéthylène renforcés de fibres de sisal courts et ont signalé une meilleure résistance à la traction.

Par exemple, la réaction de radicaux libres provoquée par le peroxyde entre la matrice de PE et les fibres de cellulose est illustrée par ce qui suit [75,76] :



II.6 CONCLUSIONS

Les fibres naturelles suscitent de plus en plus d'intérêt pour le renforcement des polymères composites en raison de leurs propriétés mécaniques potentielles, de leurs avantages sur le plan de la transformation et de leurs avantages environnementaux et économiques. La performance du composite renforcé de fibres naturelles peut être affectée par de nombreux facteurs. Le traitement de surface est essentiel pour réduire l'hydrophilie des fibres naturelles, donc augmenter leur adhérence avec la matrice hydrophobe. Les traitements chimiques de surface comprennent l'alcalisation, la silane, l'acétylation, la belozoylation et le traitement au peroxyde. Ces traitements modifient les constituants structuraux et la morphologie de la surface de la fibre naturelle. Ces traitements de surface ont permis d'améliorer considérablement les propriétés mécaniques et la stabilité thermique. Par conséquent, l'introduction de fibres naturelles à partir de ressources renouvelables pour les composites structurels peut offrir des propriétés acceptables et apporter des avantages à l'environnement en remplaçant les fibres synthétiques selon les applications.

Référence bibliographique :

- [1] J. ORG M. USSIG in *John Wiley and Sons, Ltd., Publication* (2010) 411-421.
<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9780470660324>
- [2] Pecas P., H. Carvalho, H. Salman & M. Leite. *J. Compos. Sci.* 2(4) (2018) 2-20
- [3] T. Subash, S. Nadaraja Pillai: *Journal Of Chemical and Pharmaceutical Sciences* 7(2015) 305-307
- [4] J. Hroudova, J. Zach: *International Journal of Civil And Environmental Engineering* 8(11)(2014) 1152-1155
- [5] J. Hroudova, J. Zach, *International Journal of Civil and Environmental Engineering* 8(11)(2014)1152-1155
- [6] Kabir, M.M., Wang, H., Aravinthan, T., Cardona, F., & Lau, K.-T. *A Review Eddbe Proceedings on Energy, Environment And Sustainability.* (2011) 94-99
- [7] C. W. Kan* And C. W. M. Yuen *Fibers and Polymers* 2009, Vol.10, No.5, Pp681-686
- [8] C. C. Eng, N. A. Ibrahim, N. Zainuddin, H. Ariffin, and W. M. Z. W. Yunus. *Hindawi Publishing Corporation, The Scientific World Journal* (2014) 1-8, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/213180>, 1-8
- [9] Anike D. C, Onuegbu T. U. Ogbu I. M., Alaekwe I. O. *Journal of Polymer Science* 4(4) (2014) 117-121
- [10] Hashemi, S. A., Arabi, H., & Mirzaeyan, N. *Polymer Composites*, 28(6), (2007). 713-721.
- [11] Abdelmouleh, M., Boufis, S., Belgacem, M.N., & Dufresne, A. (2007). Short natural-fibre reinforced polyethylene and natural rubber composites: Effect of silane coupling agents and fibre loading. *Composite Science and Technology*, 67(7-8), 1627- 1639.

- [12] Bledzki, A.K., & Gassan, J. (1999). Composites reinforced with cellulose based fibres. *Progress in Polymer Science*, 24(2), 221-274.
- [13] F. Michaud, "Rhéologie de panneaux composites bois/thermoplastiques sous chargement thermomécanique : Aptitude post formage" thèse Phd, univ Laval, 2003.
- [14] Surface treatments of plant fibers and their effects on mechanical properties of fiber-reinforced composites Rashid Latif¹, Saif Wakeel², Noor Zaman Khan¹, Arshad Noor Siddiquee¹, Shyam Lal Verma³ and Zahid Akhtar Khan
- [15] Wang, B., Panigrahi, S., Tabil, L., & Crerar, W. (2007). Pretreatment of flax fibres for use in rotationally molded biocomposites. *Reinforced Plastics and Composites*, 26(5), 447-463.
- [16] (Dash et coll., 2000) Dash, B.N., Rana, A.K., Mishra, S.C., Mishra, H.K., Nayak, S.K., & Tripathy, S.S. (2000). Novel low-cost jute-polyester composite. II. SEM observation of the fracture surfaces. *Polymer Plastic Technology and Engineering*, 39(2), 333-350.
- [17] Gassan J, Gutowski VS. Effects of corona discharge and UV treatment on the properties of jute-fibre epoxy composites. *Composites Science and Technology* 2000;60:2857–63.
- [18] Ragoubi M, Bienaime D, Molina S, George B, Merlin A. Impact of corona treated hemp fibres on mechanical properties of polypropylene composites made thereof. *Industrial Crops and Products* 2010;31:344–9.
- [19] Pizzi A, Kueny R, Lecoanet F, Massetau B, Carpentier D, Krebs A, Loiseau F, Molina S, Ragoubi M. High resin content natural matrix–natural fibre biocomposites. *Industrial Crops and Products* 2009;30:235–40.
- [20] Marais S, Gouanve F, Bonnesoeur A, Grenet J, Poncin-Epaillard F, Morvan C, Metayer M. Unsaturated polyester composites reinforced with flax fibers: effect of cold plasma and autoclave treatments on mechanical and permeation properties. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2005;36:975–86.

- [21] Martin AR, Manolache S, Mattoso LHC, Rowell RM, Dense F. Plasmamodification of sisal and high-density polyethylene composites: effect on mechanical properties. In: Natural polymers and composites proceedings. 2000. p. 431–6.
- [22] Seki Y, Sever K, Sarikanat M, Guelec HA, Tavman IH. The influence of oxygen plasma treatment of jute fibre reinforced thermoplastic composites. In: Proceedings 5th international advanced technology symposium (IATS'09). 2009. p. 1–4.
- [23] Sinha E, Panigrahi S. Effect of plasma treatment on structure, wettability of jute fiber and flexural strength of its composite. *Journal of Composite Materials* 2009;43:1791–802.
- [24] Seki Y, Sarikanat M, Sever K, Erden S, Gulec HA. Effect of the low and radio frequency oxygen plasma treatment of jute fiber on mechanical properties of jute fiber/polyester composite. *Fibers and Polymers* 2010;11:1159
- [25] Xu Y, Kawata S, Hosoi K, Kawai T, Kuroda S. Thermomechanical properties of the silanized-kenaf/polystyrene composites. *eXPRESS Polymer Letters* 2009;3:657–64.
- [26] Pothan LA, Thomas S. Polarity parameters and dynamic mechanical behavior of chemically modified banana fiber reinforced polyester composites. *Composites Science and Technology* 2003;63:1231–40.
- [27] Cantero G, Arbelaiz A, Llano-Ponte R, Mondragon I. Effects of fibre treatment on wettability and mechanical behavior of flax/polypropylene composites. *Composites Science and Technology* 2003;63:1247–54.
- [28] Ismail H, Abdul Khalil HPS. The effects of partial replacement of oil palm wood flour by silica and silane coupling agent on properties of natural rubber compounds. *Polymer Testing* 2000;20:33–41.
- [29] Abdul Khalil HPS, Ismail H. Effect of acetylation and coupling agent treatments upon biological degradation of plant fibre reinforced polyester composites. *Polymer Testing* 2000;20:65–75.

- [30]. Herrera-Franco and PJ and Valdez Gonzalez A, *J. Appl. Polym. Sci.*, 65:197 (1997).
- [31]. Pothan LA, Thomas S, and Groeninckx G, *Compos. A*, 37:1260 (2006).
- [32] Bisanda ETN. The effect of alkali treatment on the adhesion characteristics of sisal fibres. *Applied Composite Materials* 2000;7:331–9.
- [33] Huda MS, Drzal LT, Mohanty AK, Misra M. Effect of chemical modifications of the pineapple leaf fiber surfaces on the interfacial and mechanical properties of laminated biocomposites. *Composite Interfaces* 2008;15:169–91.
- [34] Goda K, Sreekala MS, Gomes A, Kaji T, Ohgi J. Improvement of plant-based natural fibers for toughening green composites—effect of load application during mercerization of ramie fibers. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2006;37:2213–20.
- [35] Ray D, Sarkar BK, Rana AK, Bose NR. The mechanical properties of vinyl ester resin matrix/jute fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2001;32:119–27.
- [36] Qin C, Soykeabkaew N, Xiuyuan N, Peijs T. The effect of fibre volume fraction and mercerization on the properties of all-cellulose composites. *Carbohydrate Polymers* 2008;71:458–67.
- [37] Brigida AIS, Calado VMA, Gonçalves LRB, Coelho MAZ. Effect of chemical treatments on properties of green coconut fiber. *Carbohydrate Polymers* 2010;79:832–8.
- [38] Iannace S, Ali R, Nicolais L. Effect of processing conditions on dimensions of sisal fibers in thermoplastic biodegradable composites. *Journal of Applied Polymer Science* 2001;79:1084–91.
- [39] Mohanty AK, Khan MA, Misra M, Hinrichsen G. Natural fiber reinforced biodegradable matrix composite: effect of surface modification of jute on the performance of jute–biopol composites. *PMSE Preprints* 2000;82:29–30.

- [40] Rout J, Tripathy SS, Nayak SK, Misra M, Mohanty AK. Scanning electronmicroscopy study of chemically modified coir fibers. *Journal of Applied Polymer Science* 2001;79:1169–77.
- [41] Bledzki AK, Fink HP, Specht K. Unidirectional hemp and flax EPandPP-composites: influence of defined fiber treatments. *Journal of Applied Polymer Science* 2004;93:2150–6.
- [42] Leonard, Y.M., & Martin, P.A. (2002). Chemical Modification of Hemp, Sisal, Jute and Kapok Fibres by Alkalisiation. *Journal of Applied Polymer Science*, 84(12), 2222 – 2234.
- [43] Bledzki AK, Mamun AA, Lucka-Gabor M, Gutowski VS. The effects of acetylation on properties of flax fibre and its polypropylene composites. *eXPRESS Polymer Letters* 2008;2:413–22.
- [44] Seena J, Koshy P, Thomas S. The role of interfacial interactions on the mechanical properties of banana fibre reinforced phenol formaldehyde composites. *Composite Interfaces* 2005;12:581–600.
- [45] Tserki V, Zafeiropoulos NE, Simon F, Panayiotou C. A study of the effect of acetylation and propionylation surface treatments on natural fibres. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2005;36:1110–8.
- [46] Hill CAS, Abdul Khalil HPS. Effect of fiber treatments on mechanical properties of coir or oil palm fiber reinforced polyester composites. *Journal of Applied Polymer Science* 2000;78:1685–97.
- [47] Khalil HPSA, Ismail H, Rozman HD, Ahmad MN. Effect of acetylation on interfacial shear strength between plant fibres and various matrices. *European Polymer Journal* 2001;37:1037–45.
- [48] Zafeiropoulos NE, Baillie CA, Hodgkinson JM. Engineering and characterisation of the interface in flax fibre/polypropylene composite materials. Part II. The effect of surface treatments on the interface. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2002;33:1185–90.
- [49] Zafeiropoulos NE, Williams DR, Baillie CA, Matthews FL. Engineering and characterisation of the interface in flax fibre/polypropylene composite materials. Part I.

Development and investigation of surface treatments. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2002;33:1083–93.

[50] Zafeiropoulos NE, Baillie CA. A study of the effect of surface treatments on the tensile strength of flax fibres: Part II. Application of Weibull statistics. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2007;38:629–38.

[51] Zafeiropoulos NE, Dijon GG, Baillie CA. A study of the effect of surface treatments on the tensile strength of flax fibres: Part I. Application of Gaussian statistics. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 2007;38:621–8.

[52]. Rong MZ, Zhang MQ, Liu Y, Yang GC, Zeng HM. *Compos Sci Technol.*, 61:1437 (2001).

[53] Mohanty S, Nayak SK, Verma SK, Tripathy SS. Effect of MAPP as a coupling agent on the performance of jute–PP composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites* 2004;23:625–37.

[54] Mishra S, Naik JB, Patil YP. The compatibilising effect of maleic anhydride on swelling and mechanical properties of plant fiber-reinforced novolac composites. *Composites Science and Technology* 2000;60:1729–35.

[55] Yang HS, Kim HJ, Park HJ, Lee BJ, Hwang TS. Effect of compatibilizing agents on rice-husk flour reinforced polypropylene composites. *Composite Structures* 2007;77:45–55.

[56] Liu H, Wu Q, Zhang Q. Preparation and properties of banana fiber-reinforced composites based on high density polyethylene (HDPE)/nylon-6 blends. *Bioresource Technology* 2009;100:6088–97.

[57] Gassan J, Bledzki AK. Possibilities to improve the properties of natural fiber reinforced plastics by fiber modification—jute polypropylene composites. *Applied Composite Materials* 2000;7:373–85.

- [58] Joseph PV, Joseph K, Thomas S, Pillai CKS, Prasad VS, GroeninckxG, Sarkissova M. The thermal and crystallisation studies of shortsisal fibre reinforced polypropylene composites. *Composites PartA: Applied Science and Manufacturing* 2003;34:253–66.
- [59] Li X, Zhang J, He J, Reddy DJP, Rajulu AV. Tensile properties of hildegardiafibers reinforced polypropylene biocomposites. *Journal of Composite Materials* 2010;44:1681–8.
- [60] Aranberri-Askargorta I, Lampke T, Bismarck A. Wetting behavior of flax fibers as reinforcement for polypropylene. *Journal of Colloid and Interface Science* 2003;263:580–9.
- [61] Bledzki AK, Gassan J, Mildner I. Transcrystallization of polypropylene on different modified jute fibers. *Composite Interfaces* 2001;8:443–52.
- [62] Bismarck A, Aranberri-Askargorta I, Springer J, Lampke T, Wielage B, Stamboulis A, Shenderovich I, Limbach HH. Surface characterization of flax, hemp and cellulose fibers; surface properties and the water uptake behavior. *Polymer Composites* 2002;23:872–94.
- [63] Fuqua MA, Ulven CA. Characterization of polypropylene/corn fiber composites with maleic anhydride grafted polypropylene. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy* 2008;2:258–63.
- [64] Wielage B, Lampke T, Utschick H, Soergel F. Processing of natural-fibre reinforced polymers and the resulting dynamic mechanical properties. *Journal of Materials Processing Technology* 2003;139:140–6.
- [65]. Bledzki K, Reihmane S, Gassan J (1996). *J Appl Polym Sci* 59:1329”
- [66] Bledzki AK, Mamun AA, Jazkiewicz A, Erdmann K. Polypropylene composites with enzyme modified abaca fibre. *Composites Science and Technology* 2010;70:854–60.
- [67] Saleem Z, Rennebaum H, Pudel F, Grimm E. Treating bast fibres with pectinase improves mechanical characteristics of reinforced thermoplastic composites. *Composites Science and Technology* 2008;68:471–6.

- [68] Pickering KL, Li Y, Farrell RL, Lay M. Interfacial modification of hempfiber reinforced composites using fungal and alkali treatment. *Journal of Biobased Materials and Bioenergy* 2007;1:109–17.
- [69] Lipp-Symonowicz B, Tanska B, Wolukanis A, Wrzosek H. Influence of enzymatic treatment on the flax fibre morphological structure, physico-chemical properties and metrological parameters of yarn. *Fibres & Textiles in Eastern Europe* 2004;12:61–5.
- [70] Manikandan, N.K.C., Thomas, S., & Groeninckx, G. (2001). Thermal and dynamic mechanical analysis of polystyrene composites reinforced with short sisal fibres. *Composites Science and Technology*, 61(16), 2519-2529.
- [71] Xue, L., Lope, G.T., & Satyanarayan, P. (2007). Chemical treatment of natural fibre for use in natural fibre-reinforced composites: A review. *Polymer Environment*, 15(1), 25-33.
- [72]. Joseph K, Mattoso LHC, Toledo RD, Thomas S, de Carvalho LH, Pothen L, Kala S, James B (2000). *Frollini E, Leaño AL, Mattoso LHC, Sañ Carlos (eds) Natural polymers and agrofibers composites. Embrapa, USP-IQSC, UNESP, Brazil*
- [73] Wang, B., Panigrahi, S., Tabil, L., & Crerar, W. (2007). Pretreatment of flax fibres for use in rotationally molded biocomposites. *Reinforced Plastics and Composites*, 26(5), 447-463.
- [74] Kalaprasad, G., Francis, B., Radhesh, C., Pavithran, C., Groeninckx, G., & Thomas, S. (2004). Effect of fibre length and chemical modifications on the tensile properties of intimately mixed short sisal/glass hybrid fibre reinforced low density polyethylene composites. *Polymer International*, 53(11), 1624-1638.
- [75]. Paul A, Joseph K, Thomas S (1997). *Compos Sci Technol* 57(1):67
- [76] Joseph K, Thomas S (1996). *Polymer* 37:5139

Chapitre III

L'interface Fibre-matrice

III.1 Introduction:

Il est naturel de penser que les performances des matériaux composites sont fonction des propriétés des constituants de base rentrant dans leur composition. Cependant, ceux-ci n'existeraient pas si les fibres et la matrice ne pouvaient s'associer. L'interface est le siège de cette association et constitue une véritable région stratégique capable d'assurer notamment le transfert des charges de la matrice aux renforts. Les caractéristiques de l'interface dépendent quant à elles de la qualité de la liaison fibre/matrice ce qui fait appel à la notion d'adhésion.

Lorsque l'adhérence interfaciale existe, l'adhérence contrôle le mode de propagation des microcracks aux extrémités des fibres ou autour d'une particule. Lorsqu'il existe une forte liaison entre la fibre (ou particule) et la matrice, les fissures ne se propagent pas facilement le long des surfaces de la fibre et de la particule. En ce qui concerne les fibres, le renforcement peut rester efficace même après les fragments de fibres en plusieurs points le long de sa longueur [1,2] Un lien fort est important pour d'autres raisons, à savoir doter le composite d'une résistance transversale élevée et protéger le composite contre une détérioration soutenue par une utilisation continue. Comme garantie supplémentaire, une bonne adhérence peut améliorer la résistance à l'eau de, p. ex., les composites à matrice polymère. D'autres propriétés en vrac, comme la conductivité thermique, sont également importantes, mais la façon dont la force de l'adhérence interfaciale se rapporte précisément à ces propriétés n'est pas bien comprise. Ces relations sont importantes en ce qui concerne la conception de nouveaux matériaux composites pour la durabilité. Sur cette note, on observe un intérêt croissant pour l'utilisation de fibres dérivées de ressources naturelles telles que le palmier à huile, la feuille d'ananas, le coco, le jute, le lin, le sisal et le chanvre [3,4]. Bien que ces fibres naturelles présentent plusieurs avantages, à savoir la résistance et la protection de l'environnement, le principal défi consiste à surmonter l'hydrophilie afin que la bonne adhérence interfaciale puisse être obtenue lorsque les fibres sont mélangées dans des matrices de polymères [4]. Le degré d'efficacité du collage de la fibre (ou particule) à la matrice dépend des matériaux utilisés pour fabriquer la fibre, la particule et la matrice, et ces facteurs sont importants lors de la conception du matériau composite avec une adhérence interfaciale améliorée [5,6]. Des matériaux et des stratégies de fabrication de plus en plus perfectionnés ont été développés pour les fibres, les particules et les matrices [7,8], afin de s'assurer qu'ils sont adaptés aux besoins, car les matériaux composites continuent d'attirer un large éventail d'applications, depuis l'aérospatiale jusqu'au génie biomédical. Alternativement,

on peut poursuivre des modifications chimiques et physiques aux surfaces de fibres et de particules pour améliorer la compatibilité entre la fibre (ou particule) et la matrice

III.2. L'interface fibre/matrice

L'interface est une zone assez critique qui joue un rôle très important sur le comportement mécanique du composite. Elle assure la transmission des efforts entre la matrice et le renfort lors d'une sollicitation. La résistance au cisaillement de l'interface influence largement les propriétés finales du composite. En effet, un des modes d'endommagement dans les composites est la rupture à l'interface (figure 01). La résistance de l'interface dépend non seulement des propriétés des composants mais aussi de sa formation. Pour ces raisons, l'étude de l'interface est indispensable. Pourtant, les méthodes de caractérisation de l'interface présentent des limites, soit dans la méthodologie (préparation des éprouvettes), soit dans la procédure expérimentale.

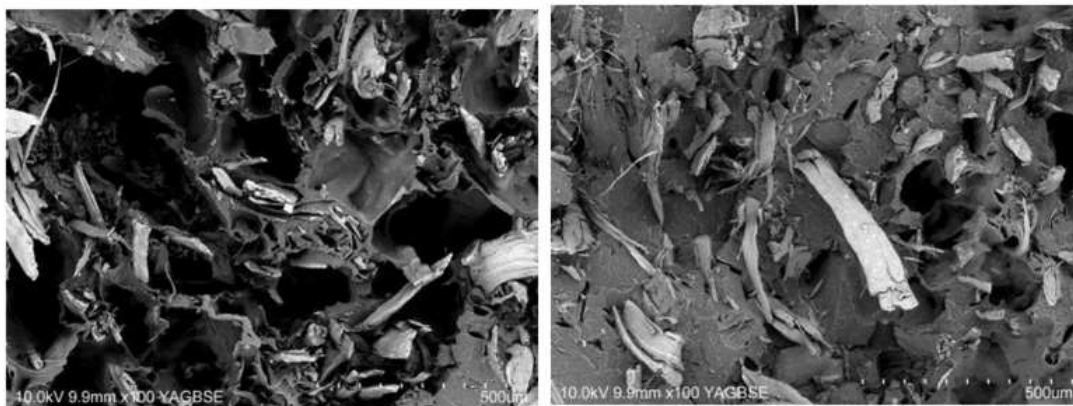


Figure III.01 : Facies de rupture des composites 20% fibres non traitées/polypropylène [8]

D'autre part, les interactions moléculaires entre deux solides (la fibre et la matrice de polymère) au niveau de l'interface sont importantes à prendre en compte [9] lors d'une étude sur l'interface. Premièrement ce sont les forces de liaison de type dipolaire (Van de Waals). Ensuite, il y a les liaisons type accepteur-donneur d'électron (acide-base) de quelques nanomètres de portée. Ces liaisons sont difficiles à quantifier mais jouent un rôle fondamentale dans l'adhésion fibre/matrice. Troisièmement, on considère des liaisons chimiques (liaisons covalentes) de très courtes portées et très résistantes. Finalement, il y a les interactions structurales qui jouent un rôle un peu moins important dans l'adhésion.

En se basant sur les interactions fondamentales de l'interface, quelques théories sur l'adhésion ont été proposées. Ces théories permettent aussi d'expliquer les phénomènes qui se produisent à l'interface.

III.3. Théories de l'adhérence et type de liaison

La nature du collage dépend de plusieurs facteurs, qui sont :

- (I) la diffusivité des matériaux des éléments,
- (II) les propriétés morphologiques des fibres naturelles,
- (III) la composition chimique et la conformation moléculaire,
- (IV) la disposition atomique des fibres et des matrices.

En général, l'adhérence peut être définie comme le processus ou l'action d'adhérer à une surface

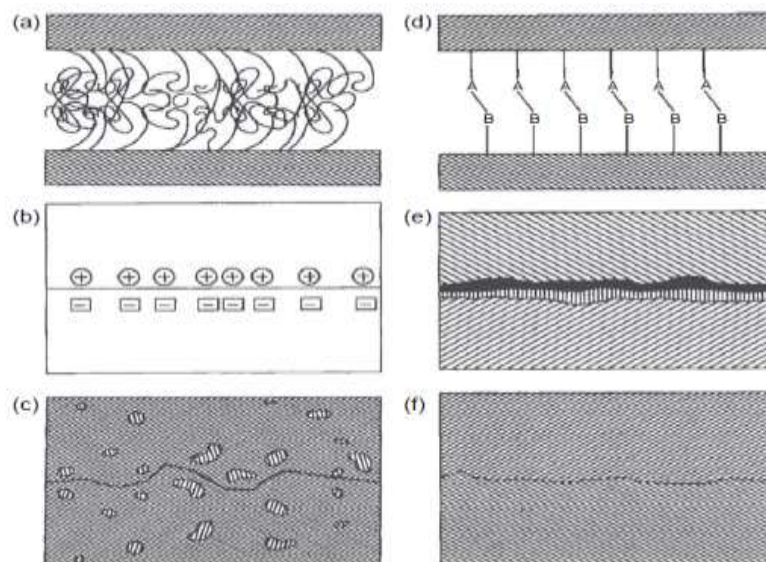
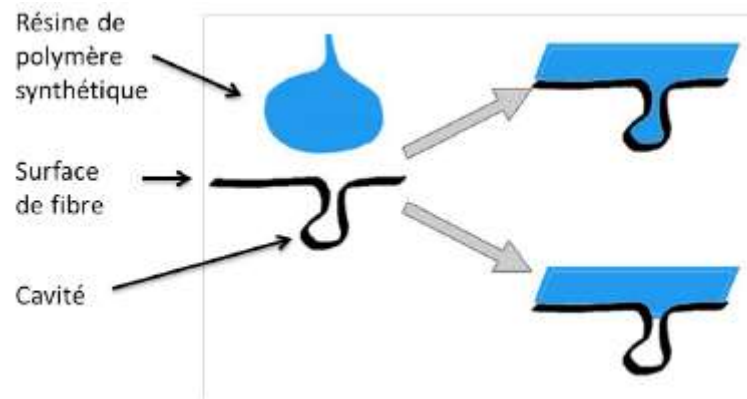


Figure III. 2 : Liaisons d'interface formées par (a) enchevêtrement moléculaire; (b) attraction électrostatique; (c) inter-diffusion des éléments; (d) réaction chimique entre le groupe A sur une surface et le groupe B sur l'autre surface; (e) réaction chimique à la suite de la formation d'un nouveau composé(s), en particulier dans les composites à matrice métallique (CMM); (f) enclenchement mécanique [10].

ou objet. Plus précisément, il peut être bien défini comme la tendance de différentes particules ou surfaces à adhérer les uns aux autres. Le mécanisme qui provoque l'adhérence peut être divisé en plusieurs types, qui sont l'adsorption, l'inter-diffusion, l'attraction électrostatique, la liaison par réaction, la liaison chimique et la liaison mécanique. (La figure 02) montre plusieurs schémas des liaisons d'interface. Des détails concernant cette liaison d'interface peuvent être trouvés ailleurs [10].

III.4. Théories de l'adhésion mécanique :

Le modèle d'ancrage mécanique (figure 03) suppose que l'adhésion se forme grâce à l'ancrage de la matrice dans les cavités, les pores et les aspérités de la surface d'une fibre.



FigureIII.3 – Schéma représentatif de la formation d'un ancrage mécanique à l'interface

Ces aspérités sont considérées comme les facteurs essentiels contrôlant la résistance de l'assemblage [6]. En effet, la surface des fibres naturelles n'est pas parfaite. Il existe toujours des défauts à ce niveau, notamment dans le cas des fibres végétales cellulosiques. Lors de l'élaboration du composite, la matrice est à l'état liquide visqueux et peut s'infiltrer dans les cavités de la surface de la fibre. Pour cette raison, la porosité de la surface des fibres augmente le taux d'encrage mécanique. Selon cette théorie, la force d'ancrage provenant de la rugosité joue le rôle le plus important formant l'adhésion entre la fibre et la matrice [11, 12,13].

III.5. Caractérisation physiochimique de l'interphase

La caractérisation des matériaux peut être classée dans la caractérisation microscopique, la caractérisation spectroscopique et les essais macroscopiques. Toutefois, pour la caractérisation interphase de seules plusieurs des caractérisations énumérées à (la figure 04) sont utilisées.

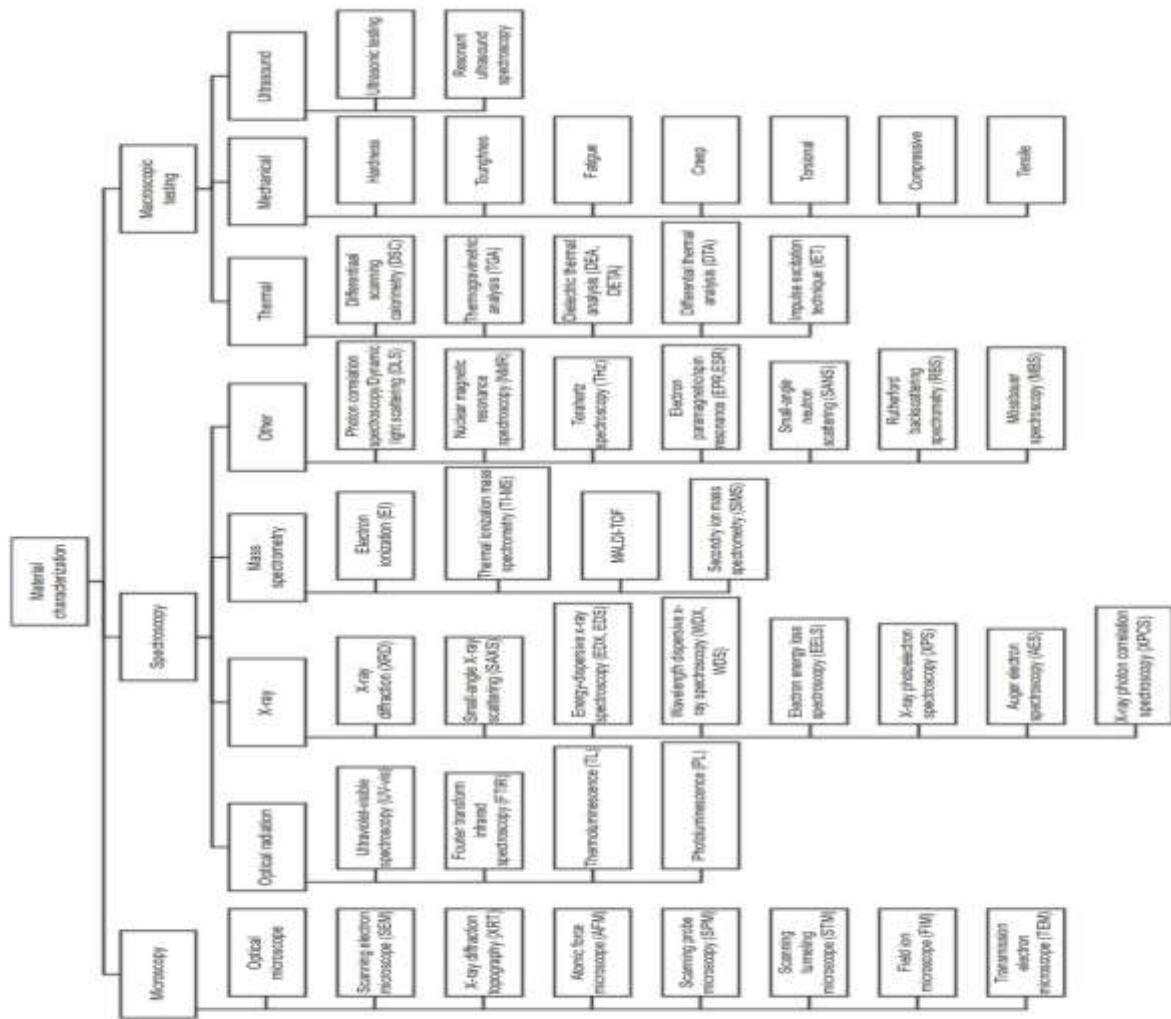


Figure III.4 : Caractérisations des matériaux.

En général, l'interphase des composites se produit sous diverses formes de matériaux différents [14]. La caractérisation interphase des composites peut être effectuée en analysant la surface des constituants composites avant qu'ils ne soient renforcés ensemble. Bien que les couches de surface des composites ne montrent qu'une faible proportion du volume total du

matériau en vrac, elles peuvent fournir des informations importantes pour estimer le rendement global et les propriétés des composites. Les paramètres de l'analyse physico-chimique de surface sont la profondeur, la structure atomique/microscopique, la pureté, la composition chimique, ainsi que la distribution des fibres dans les matrices composites [14]. Les techniques de caractérisation qui sont principalement utilisées pour déterminer l'interface des composites sont la mesure de l'angle de contact, la spectroscopie laser Raman, la spectroscopie électronique Auger (AES), la spectroscopie de diffusion ionique (ISS), la diffusion de rayons X à grand angle (WAXS), spectroscopie photoélectronique à rayons X (XPS), spectroscopie par résonance magnétique nucléaire à l'état solide (RMN) et spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) et spectroscopie infrarouge (IR). En outre, pour déterminer l'interaction de surface entre la surface des fibres et des polymères, les techniques de visualisation microscopique peuvent être utilisées, telles que la microscopie électronique à balayage (MEB), le microscope électronique à balayage à émission de champ (FESEM), la microscopie électronique à transmission (MET), microscopie à balayage en tunnel (STM) et microscopie à force atomique (AFM). Ces techniques peuvent fournir des informations sur l'interaction physico-chimique, la morphologie de surface, le profil de profondeur de surface et la concentration en fibres matricielles.

III.6. Les mécanismes d'endommagement :

Le procédé global de la rupture dans les composites est souvent considéré comme un processus d'accumulation de différents types d'endommagements. Les mécanismes d'endommagement potentiels d'un matériau hétérogène, notamment les composites à base polymère soumis à une sollicitation mécanique, peuvent se regrouper en trois principaux modes différents selon le site où ils opèrent (Figure 05):

- Fissuration matricielle ;
- Rupture de l'interface fibre /matrice et déchaussement de fibre, Délaminage (décohésion étendue intra plis);
- Rupture des fibres;
- Délaminage inter plis

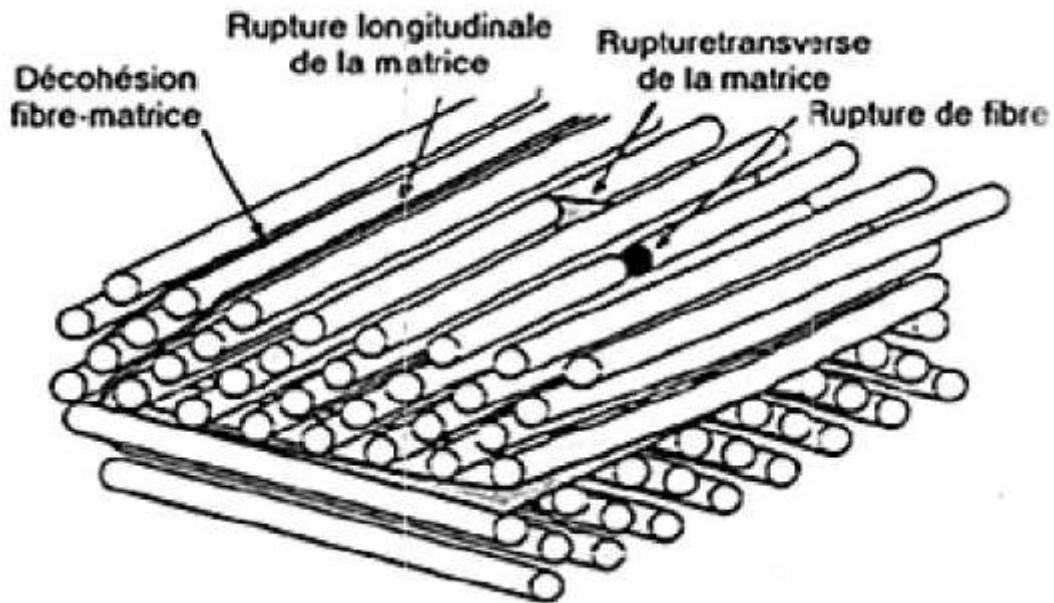


Figure III.5: Mécanismes d'endommagement observés dans un composite [15]

III.6.1. Comportement de l'interface fibre-matrice dans les composites

III.61.1. 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 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 06.)

Le procédé de fabrication de ce composite et les propriétés de l'interface entre les fibres et la matrice.

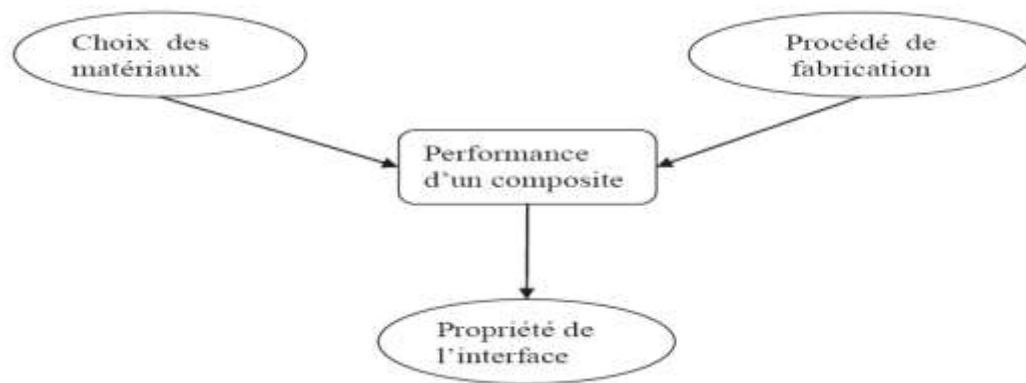


Figure III.6 : Paramètres qui conditionnent les performances d'un composite.

En effet, il est reconnu que le comportement mécanique des matériaux composites dépend fortement de la liaison fibre/matrice qui s'établit entre les constituants lors de l'élaboration du composite. Cette liaison est constituée d'une ou plusieurs interphases et interfaces. [16] Rappelons tout d'abord la distinction entre les termes interphase et interface :

a- interphases : Est une zone concentrique à la fibre, d'épaisseur fine (en général quelque 10 ou 100 nm) et de nature chimique définie (formée par un ou plusieurs constituants élémentaires du composite lors de son élaboration). Elle peut être également une fine couche introduite volontairement dans le but de protéger la fibre ou de contrôler la liaison interfaciale, ou bien encore de contribuer à améliorer la compatibilité chimique fibre/matrice (Figure 07, a). [16]

b- interface : Est un terme utilisé dans le domaine des matériaux composites, pour décrire la surface ou la zone qui sépare la fibre et la matrice (discontinuité macroscopique) (Figure 07, b). [16]

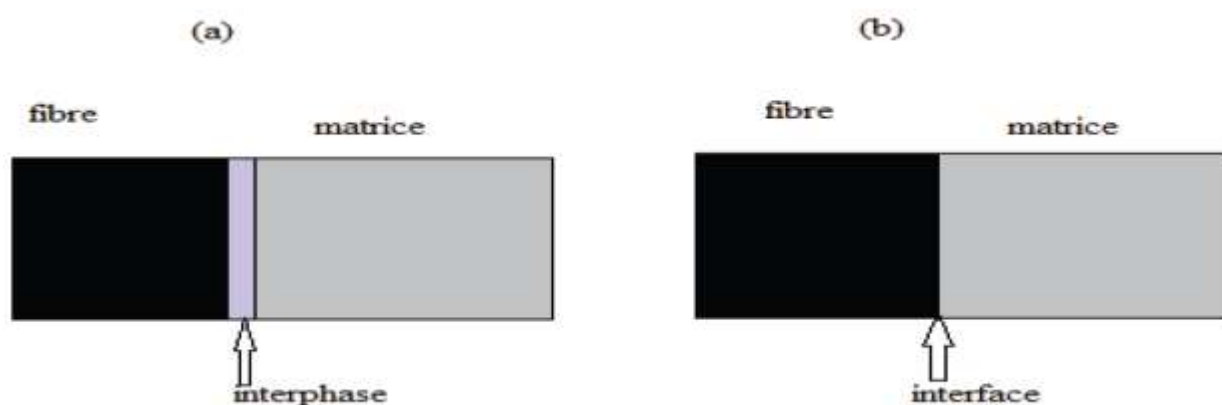


Figure III.7: Concepts d'interphase et d'interface [16]

III.6.1.2. Comportement d'un composite unidirectionnel :

Dans un composite céramique unidirectionnelle sollicitée parallèlement aux fibres, le comportement à rupture peut être imaginé comme étant constitué des séquences suivantes :

- Cas des fibres et matrice subissent la même déformation :

Le composite possède donc un comportement linéaire élastique jusqu'à l'apparition d'une première fissure matricielle. Cette fissure se propage et s'approche d'une fibre, ensuite on peut distinguer les cas suivants: [17]

a). Cas d'une interface très forte (interface liée):

Si l'adhérence entre fibres et matrice est très forte, la fissure continue sa propagation comme si elle n'avait rencontré aucun obstacle, mode I (mode d'ouverture). Cela entraîne aussi des concentrations de contraintes sur les fibres voisines et provoque la rupture catastrophique du composite. Le comportement du composite est celui d'un matériau fragile et les fibres n'exercent aucun effet de renforcement sauf éventuellement par leur énergie de rupture. Qui ne peut plus jouer son rôle de renfort. Ce type de matériau possède un comportement fragile, comme une céramique monolithique. Alors la déformation des deux constituants est élastique.

Il n'y a aucun déplacement relatif entre fibre et matrice, le transfert de charge s'effectue par l'intermédiaire d'une forte contrainte de cisaillement dans la matrice, dont l'intensité décroît lorsqu'on s'éloigne radialement de la fibre. Figure 08. [17]

b) Cas d'une interface très faible (non liée):

Si l'interface est trop faible, la fissure matricielle est bien déviée à l'interface, mais la décohésion entre fibres et matrice s'étend sur une très grande distance sur laquelle la matrice n'intervient donc plus. Là également, la résistance du composite est très faible, mode II et III. [18]

c) Cas d'une interface relativement faible:

Si l'adhérence entre fibres et matrice est relativement faible, la fissure au contact d'une fibre se dévie dans un plan perpendiculaire (mode II de la rupture) en provoquant un décollement de la matrice au niveau de l'interface. Le mode II, ou mode de glissement droit, est la situation recherchée dans la déviation de fissure, avec le mode III (glissement vis). En règle générale, la propagation de la fissure est en mode mixte combinant le mode I et les deux autres modes (II et III) voir fig. II.5. [19]

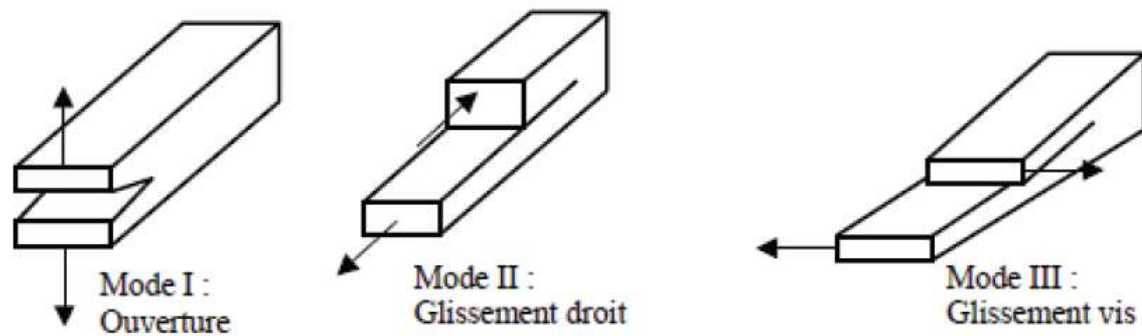


Figure III.8 : Modes d'endommagements.

III.7. Méthodes de caractérisation mécanique de l'interface fibre/matrice

III.7.1 Introduction :

L'interface ou interphase a des propriétés différentes de celles des constituants (la fibre et la matrice), notamment en ce qui concerne les propriétés mécaniques. Or, elle joue un rôle très important dans le transfert des efforts entre la matrice et la fibre. La qualité de l'interface conditionne donc la performance finale des composites [20]. Pour cette raison, la caractérisation mécanique de cette zone stratégique est primordiale. La caractérisation de l'interface consiste à la détermination ses propriétés mécaniques en fonction des matériaux utilisés fibre/matrice et éventuellement, en fonction des modifications (traitement) qu'elles subissent (formulation chimique de matrice ou traitement de surface de fibres, vieillissement, ...).

Pour caractériser les propriétés mécaniques de l'interface, il est possible d'y appliquer des sollicitations indirectes ou directes. La première famille de test est effectuée sur des éprouvettes en composites unidirectionnels, alors que la deuxième est réalisée en utilisant des éprouvettes à mono-filament (où une fibre est enchâssée partiellement ou totalement dans un bloc de matrice). Sur les éprouvettes en composites il existe différents types d'essai, citons à titre d'exemple : l'essai de traction selon un angle donné par rapport à la direction des fibres, l'essai de cisaillement interlaminaire sur une poutre courte, l'essai de flexion trois ou quatre points,... Parmi les essais sur les éprouvettes à mono-filament on peut citer : l'essai de déchaussement (pull-out ou micro-goutte), l'essai de fragmentation, l'essai d'indentation,... De plus, il existe une évaluation de la résistance au cisaillement de l'interface (IFSS) en relation avec la théorie thermodynamique de l'adhésion qui sera présentée dans la partie suivante.

a) Calculs théoriques :

La résistance au cisaillement de l'interface peut être estimée théoriquement [21, 22]. Selon la théorie thermodynamique, la résistance au cisaillement de l'interface est reliée à l'énergie réversible d'adhésion W :

$$\tau = \sqrt{\frac{E_m W}{E_f \lambda}} \text{ (MPa)} \quad (1.6)$$

où : E_m et E_f sont respectivement les modules d'élasticité de la matrice et de la fibre, et λ est une longueur intermoléculaire ou interatomique d'équilibre à l'interface (constante égale à environ 0,5nm) ; W est calculée par la relation 1.4 (théorie thermodynamique de l'adhésion) pour le cas du contact entre deux solides (la fibre et la matrice).

Ce modèle n'est valable que pour le cas où deux matériaux en contact ont un comportement élastique pure et où seulement les interactions interatomiques (Van de Waals, acide-base, etc.) sont prises en compte.

III.7.2. Essais micromécaniques de caractérisation de l'interface fibre/matrice :

Réaliser des essais directement sur des éprouvettes réelles peut donner une évaluation directe de l'adhésion fibre/matrice et de son influence sur le transfert des contraintes à interface. Plusieurs types d'essais permettent non seulement d'identifier les contraintes interfaciales mais aussi de mettre en évidence certains phénomènes (e.g. la fragmentation de la fibre, le pelage de paroi de la fibre, etc.). Dans cette partie du mémoire, les essais les plus couramment utilisés sont présentés.

III.7.2.1. Essai de déchaussement "pull-out" :

Il s'agit de déchausser une fibre partiellement ou totalement immergée dans une microéprouvette par une force de traction. La figure 09. Représente le schéma d'un essai pull-out.

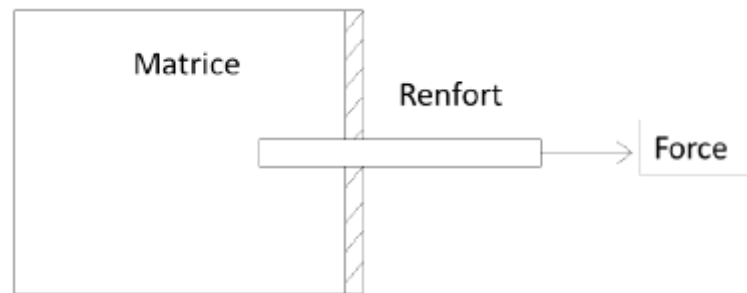


Figure III.9 : Schéma représentatif d'un essai pull-out d'une fibre seule avec la fixation à droite

La figure 10. Représente une courbe force - déplacement typique de l'essai pull-out. Cette courbe peut être considérée en trois parties ($F < F_d$, $F_d < F < F_{max}$ et $F > F_{max}$) correspondant à trois phases d'évolution durant le déchaussement, où F est la force appliquée, F_d est la force correspondant à la première décollement et F_{max} est la force maximale. Durant la première phase ($F < F_d$), la courbe présente un comportement linéaire. Pour la deuxième phase ($F_d < F < F_{max}$), le décollement s'est produit suivant la direction de propagation de la fissure (le long la partie insérée de la fibre). La force appliquée continue à augmenter due à l'adhésion et à la présence de la force de friction entre la fibre et la matrice. Après avoir atteint la valeur maximale (F_{max}), la force devient instable et la partie insérée de la fibre est totalement décollée. La troisième partie est la phase suivante du décollement de l'interface lors que la force maintenue est due aux interactions frictionnelles entre la fibre et la matrice (F_b) [23].

La contrainte moyenne de cisaillement τ_{app} à l'interface est déterminée alors par :

$$\tau_{app} = \frac{F_{max}}{2\pi r l_e} \quad (1.7)$$

où :

- F_{max} est la force maximale mesurée,
- r est le rayon moyen de la fibre,
- l_e est la longueur insérée de la fibre dans la matrice (longueur de l'interface).

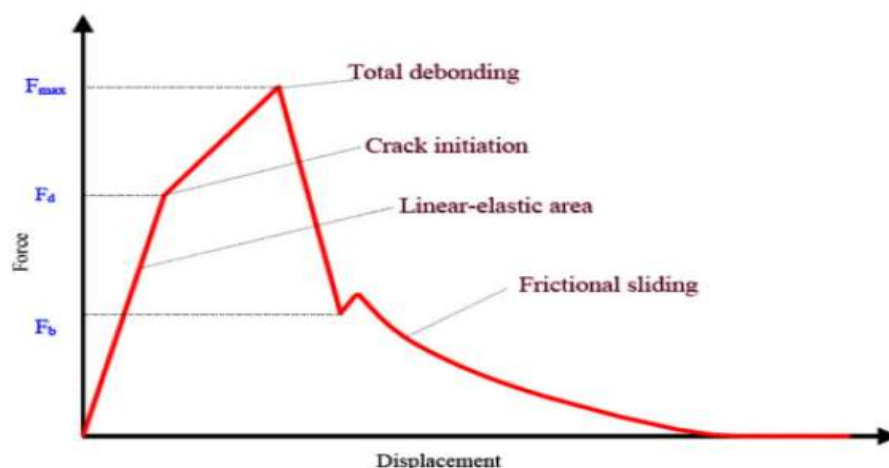


Figure III.10: Courbe force – déplacement typique de l'essai pull-out d'une fibre seule [23]

Afin d'obtenir le déchaussement il faudra que l_e soit inférieure à l_{ce} , la longueur insérée critique qui

s'écrit :

$$l_{ce} = \frac{\sigma_{fr} r}{2\tau} \quad (1.8)$$

où : σ_{fr} est la résistance à la rupture en traction de la fibre, r est le rayon de la fibre et τ est la résistance au cisaillement.

La longueur l_{ce} est proportionnelle à la résistance à la rupture en traction et au rayon de la fibre, elle est inversement proportionnelle à la résistance au cisaillement à l'interface fibre/matrice.

Les essais de déchaussement montrent une grande précision pour la mesure du déplacement de la fibre et de la force de traction. De plus, il est facile de suivre et d'acquérir les données résultantes du test. En revanche, la fabrication des échantillons ainsi que la mise en oeuvre de l'essai sont compliquées puisqu'ils prennent un temps considérable et exigent une grande rigueur dans les étapes préparatoires.

III.7.2.2. Essai de déchaussement d'une micro-goutte :

L'essai de déchaussement d'une micro-goutte est un développement de l'essai pull-out précédant. Par cette méthode, une goutte de petites dimensions de résine de polymère est déposée sur la fibre seule et est fixée pendant que la fibre est déchaussée [23]. Le schéma représentatif de cet essai est présenté sur la figure11 [24]. La forme d'une micro-goutte poly(acide L-lactique) PLLA/lin symétrique est présentée sur la figure12 A et un exemple de la rupture de la microgoutte est présentée sur la figure12 B [25].

La figure 13 montre un résultat typique de cet essai [26]. La force augmente linéairement pour atteindre un maximum (F_{max}) permettant d'identifier τ_{app} . A la suite la petite oscillation

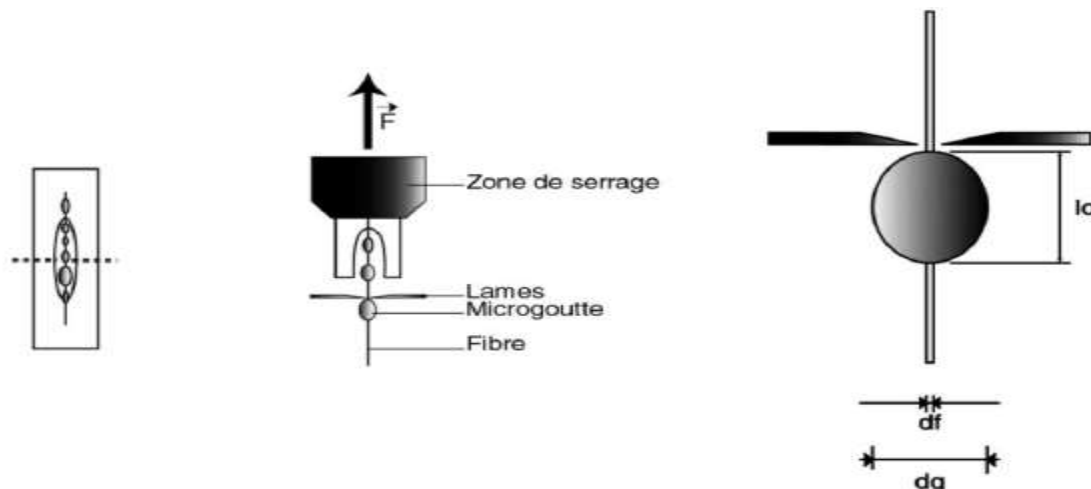


Figure III.11: Schéma représentatif d'un essai de déchaussement d'une micro-goutte [24]

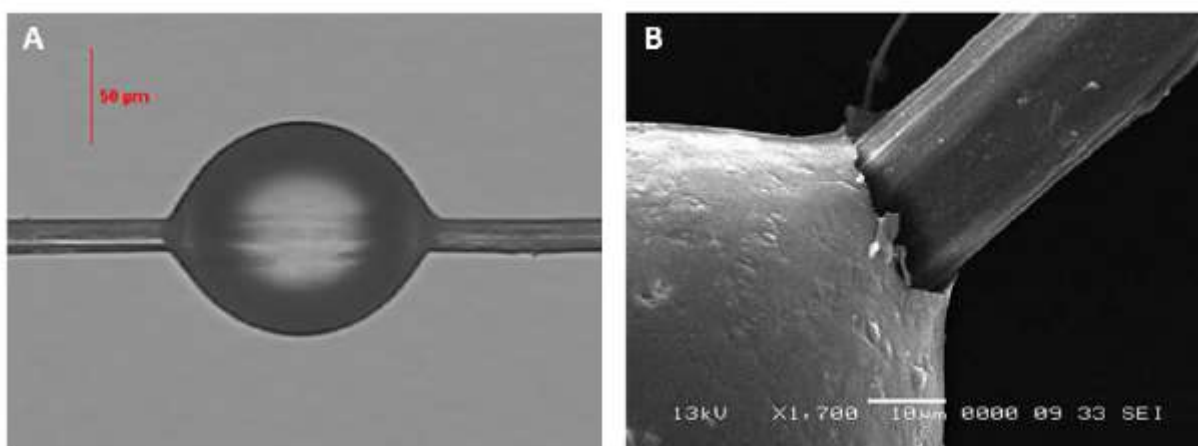


Figure III.12: A : Exemple de micro-goutte poly(acide L-lactique) PLLA/lin symétrique. B : Rupture d'une micro-goutte PLLA/lin [25]

de la force sont essentiellement dues au frottement. Ce frottement apparaît car la fibre n'est pas régulière sur toute sa longueur.

Il est possible d'identifier deux contraintes : la contrainte apparente et la contrainte ultime. Pour analyser la contrainte apparente, on utilise l'hypothèse d'une répartition uniforme des contraintes interfaciales. La contrainte apparente au cisaillement τ_{app} est déterminée selon l'équation 1.9 :

$$\tau_{app} = \frac{F_{max}}{2\pi r l_e} \quad (1.9)$$

où :

- F_{max} est la force maximale enregistrée,

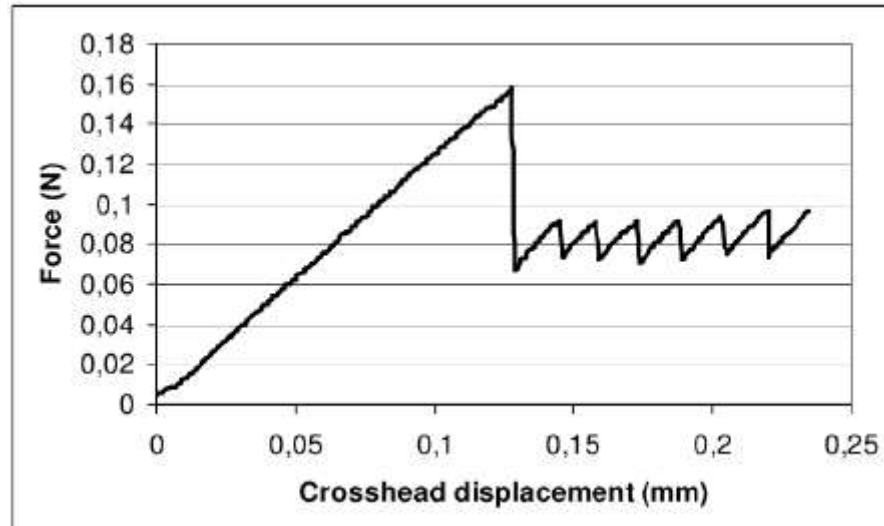


Figure III.13 : Courbe force - déplacement typique de l'essai de déchaussement d'une microgoutte [26]

- r est le rayon de la fibre,

- l_e est la longueur de la goutte (égale à la longueur de l'interface).

Pour analyser la contrainte ultime, on utilise un modèle qui prend en compte la non uniformité de la contrainte le long de l'interface provoquée par les conditions aux limites. En se basant sur le modèle « shear-lag » [25, 23], nous identifions la contrainte de cisaillement ultime τ_{ult} selon la formule 1.10 [27, 28] :

$$\tau_{ult} = \frac{\tau_{app} l_e \beta}{\tanh(\beta l_e)} - \tau_t \tanh \frac{\beta l_e}{2} \quad (1.10)$$

où :

- τ_{app} est la contrainte de cisaillement apparente, déterminée selon l'équation 1.9,

- β est le paramètre de la théorie de « shear-lag »,

- τ_t est la contrainte thermique résiduelle.

La contrainte τ_t est calculée selon la formule suivante :

$$\tau_t = E_f \frac{r}{2} \beta (\alpha_f - \alpha_m) \Delta T \quad (1.11)$$

où :

- E_f est le module en traction axiale de la fibre,
- α_f est le coefficient d'expansion thermique de la fibre,
- α_m est le coefficient d'expansion thermique de la matrice,
- ΔT est la différence entre la température de l'essai et celle à l'état libre de contrainte.

En résumé, le principe de l'essai de déchaussement d'une microgoutte est simple et il permet d'obtenir de nombreuses données. Un autre avantage de cet essai est de permettre de contrôler la longueur de la goutte enchâssée et d'étudier le mouillage (angle de contact) [24]. Cependant, les petites dimensions des micro-gouttes rendent difficile la préparation des échantillons.

III.7.2.3. Essai de fragmentation :

L'essai de fragmentation est couramment utilisé en caractérisation de l'interface. Il s'agit de

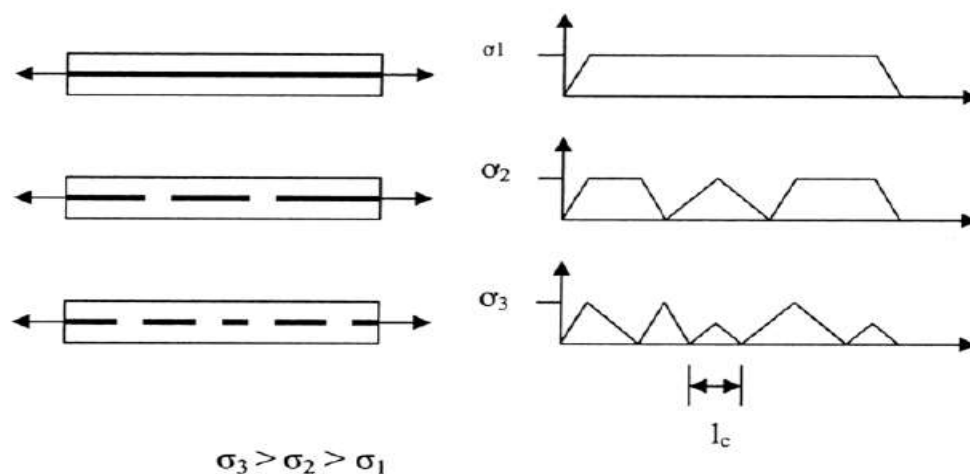


Figure III.14: Schéma d'un essai de fragmentation à une fibre seule. Plus la sollicitation σ augmente, plus la fibre se rompt jusqu'à une longueur critique des fragments l_c [29]

solliciter en traction une éprouvette de matrice polymère chargée d'une fibre totalement insérée dans la matrice. Sous l'effet de la sollicitation, la fibre se rompt et se divise en fragments plus

courts (figure14). Ce phénomène s'arrête lorsque la longueur des fragments atteint une valeur limite (la longueur critique) l_c [29].

La contrainte au cisaillement τ à l'interface fibre/matrice est donnée par :

$$\tau = \frac{\sigma_{fr} d}{2l_c} \quad (1.12)$$

où :

- d est le diamètre de la fibre,

- σ_{fr} est la contrainte de traction à la rupture de la fibre,

- l_c est déterminée par les trois techniques suivantes :

(i) par comptage en microscopie optique si la matrice est transparente,

(ii) par comptage après pyrolyse de la matrice si elle est opaque,

(iii) par observation grâce à la photoélasticimétrie (voir l'évolution du champ de contrainte et sa distribution autour les fragments comme montrée sur la figure15 [30].

En supposant une distribution uniforme de la longueur des fragments, nous pouvons identifier la longueur critique l_c :

$$\frac{l_c}{d} = \frac{4}{3} \left(\frac{\bar{l}}{d} \right)_{sat} \quad (1.13)$$

où :

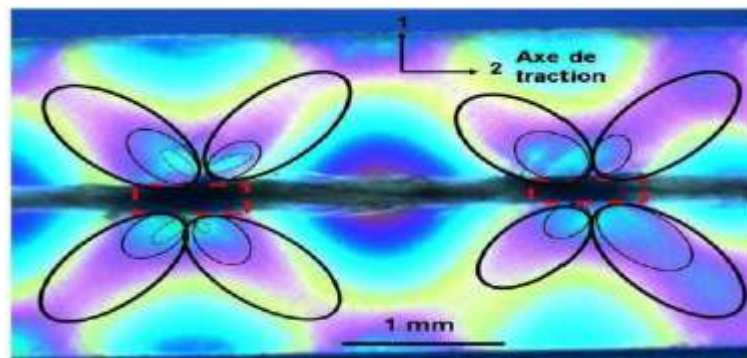


Figure III.15 : Visualisation des isochrones proches d'une fragmentation dans un éprouvette monofilament chanvre/époxy [31]

- d est le diamètre de la fibre,
- \bar{l} est la longueur moyenne des fragments,
- $(\frac{\bar{l}}{d})_{sat}$ est le rapport saturé entre la longueur moyenne des fragments et le diamètre de la fibre.

Les avantages de cet essai [32] sont :

- (a) La fabrication des éprouvettes est plus facile.
- (b) La fibre est sollicitée axialement par le cisaillement à l'interface.
- (c) La différence de coefficient de Poisson est minimisée comme toute l'éprouvette est sollicitée en traction.
- (d) Les effets de la concentration des contraintes radiales initiales au point d'entrée de la fibre dans la microgoutte due aux lames de blockage (méthode de déchaussement d'une microgoutte, [33, 34]) sont absents.
- (e) Elle permet d'étudier de plus le phénomène de fragmentation de la fibre, le développement des fissures à l'interface et le développement du phénomène micromécanique qui relie à l'écoulement de la matrice.

Néanmoins, l'essai de fragmentation présente aussi des inconvénients :

- (a) l'analyse des résultats de l'essai est basée sur une approche statistique pour déterminer la longueur des fragments qui dépend fortement de l'histoire de la fragmentation de la fibre.
- (b) Alors que l'augmentation de la longueur de l'éprouvette va augmenter la précision des mesures, en pratique la longueur de l'éprouvette est limitée à quelques centimètres.
- (c) De plus, l'énergie de rupture du modèle de Zhou, Nairn et Wagner [35] n'est pas complètement définie. Il y a deux paramètres dans ce modèle (le facteur de friction Ψ et le ratio de r_m/r_f) qui ne sont pas accessibles par des mesures expérimentales. Ici, r_m est le rayon effectif de la matrice et r_f est le rayon de la fibre.

III7.24. Essai de compression diabolo :

La méthode consiste à mettre en compression des éprouvettes parallélépipédiques ou haltères



Figure III.16 : Schéma représentatif de l'essai de compression diablo des éprouvettes (A) haltères ou (B) parallélépipédiques [36]

(figure 16). Ces éprouvettes contiennent une seule fibre totalement immergée au milieu d'un bloc de résine. Lors de la sollicitation, il y a des contraintes de cisaillement et de traction radiale à l'interface fibre/matrice en raison de la différence des coefficients de Poisson et en raison de la géométrie des éprouvettes. La contrainte de compression σ_c au début de la décohésion est mesurée à l'étranglement des éprouvettes haltères et aux extrémités de la fibre pour des éprouvettes parallélépipédiques. La méthode de détection de la décohésion est optique. Un capteur piézoélectrique est utilisé dans le cas d'une matrice opaque pour détecter la décohésion par émission acoustique. La résistance à l'interface en traction σ_i et en cisaillement τ_i sont calculées selon les formules 1.14, 1.15 [37] :

$$\sigma_i = \frac{\sigma_c (v_m - v_f) E_f}{(1 + v_m) E_f + (1 - v_f - v_f^2) E_m} \quad (1.14)$$

$$\tau_i \approx 2.5 \sigma_c \quad (1.15)$$

où :

- E_f et E_m sont respectivement les modules d'Young de la fibre et de la matrice,
- v_f et v_m sont respectivement les coefficients de Poisson de la fibre et de la matrice,
- σ_c est la contrainte de compression appliquée à l'éprouvette au moment où la décohésion s'amorce.

Cette méthode est pratiquement abandonnée en raison des difficultés liées à la fabrication des éprouvettes et à l'application des critères d'endommagement [38].

III.7.2.5. Essai de micro-indentation et push-out :

L'essais de micro-indentation et sa variante, l'essai push-out permettent de prendre en compte la présence des autres fibres dans un composite réel. On peut donc identifier l'influence de la teneur en fibre au travers cet essai.

La méthode consiste à déchausser une fibre insérée dans une éprouvette sous une force de compression. La force est appliquée par un indenteur conique en diamant sur une extrémité de la fibre sur une surface plane perpendiculaire à la direction des fibres contenues dans l'éprouvette comme montré sur les figures 17, 1.33, 1.34. La force de compression et le déplacement de

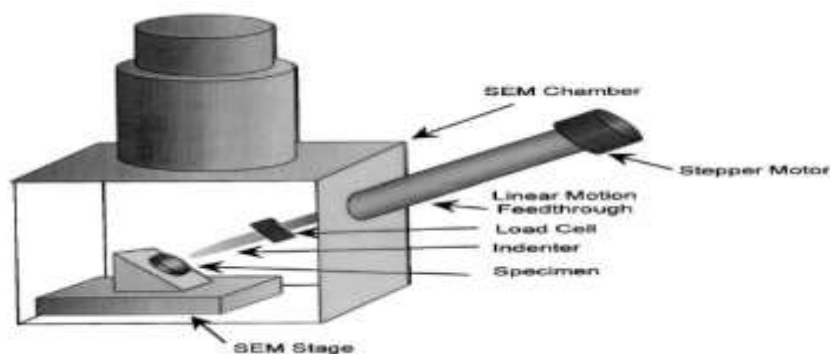


Figure III.17 : Représentation schématique de l'installation microscopie électronique à balayage (MEB) d'un essai de micro-indentation [39]

L'indenteur sont enregistrés continûment. Après le décollement de la fibre, la force de compression n'est pas nulle, à cause du frottement. La figure 20 représente une courbe force – déplacement typique d'un essai de micro indentation [39].

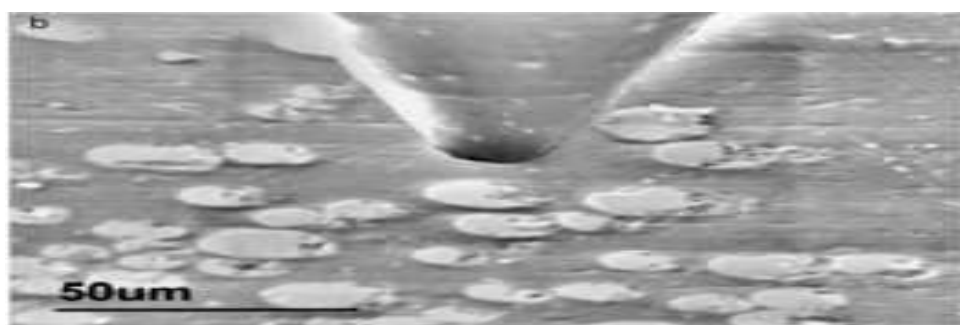


Figure III.18: Image MEB d'un essai de micro-indentation sur une éprouvette composite fibre de verre E ensimée/epoxy [39]

Par conséquent, la résistance au cisaillement interfacial τ est déterminée par la relation 1.16 :

$$\tau = \frac{F}{2rH} \quad (1.16)$$

où : F est la force mesurée, r est le rayon de la fibre et H est l'épaisseur de l'éprouvette. Cette technique permet de prendre en compte l'effet de la fraction volumique des fibres. La mesure de la résistance moyenne au cisaillement est simple. Pourtant la résistance mesurée n'est pas la vraie parce que le décollement de la fibre est progressif lorsque la fibre s'enfonce dans la matrice. De plus le calcul de l'IFSS est compliqué à cause des contraintes mécaniques exercées par les fibres voisines.



Figure III.19 : Schéma de l'essai de micro-indentation avec trois phases : (a) pas de décollement (b) décollement progressif (c) décollement total [39]

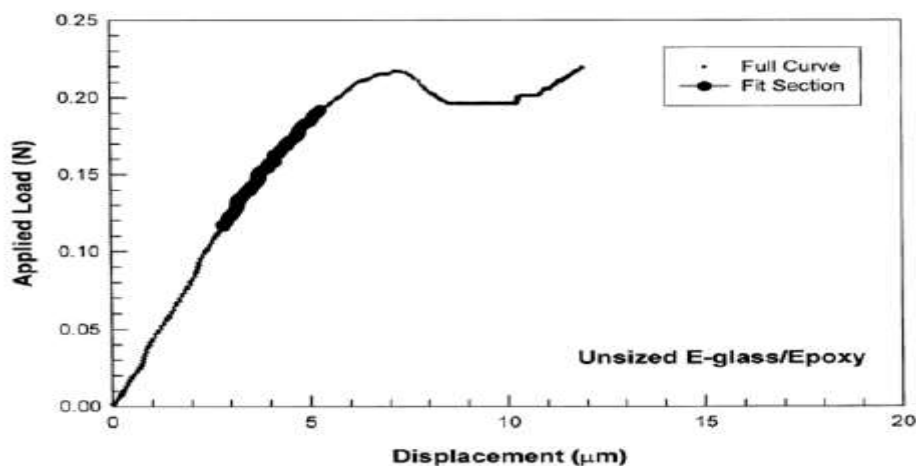


Figure III.20 : Courbe force - déplacement typique d'un essai de micro-indentation [39]

Cette méthode est bien adaptée aux fibres métalliques. Par contre, la dureté de fibres naturelles ainsi que leurs constitutions (assemblage de microfibrilles) rendent cette technique plus difficile d'utilisation.

Enfin, une des difficultés de cette méthode réside surtout dans l'application de la force sur la surface libre de la fibre.

Conclusion :

L'interface entre la fibre et la matrice est une zone très importante puisqu'elle permet de transmettre les efforts lors d'une sollicitation mécanique. Nous avons donc regardé les différentes théories liées à l'adhésion et avons conclu que même si cette interface est une zone complexe, les phénomènes mis en jeu à l'interface peuvent s'expliquer par la complémentarité de ces théories.

Référence Bibliographie :

- [1] K.L. Goh, *Discontinuous-fibre Reinforced Composites. Fundamentals of Stress Transfer and Fracture Mechanics*, first ed., Springer-Verlag, London, 2017.
- [2] K.L. Goh, R.M. Aspden, D.W.L. Hukins, Review: finite element analysis of stress transfer in short-fibre composite materials, *Compos. Sci. Technol.* 64 (2004a) 1091e1100.
- [3] S.A.S.M. Buana, P. Pasbakhsh, K.L. Goh, F. Bateni, M.R.H.M. Haris, Elasticity, microstructure and thermal stability of foliage and fruit fibres from four tropical crops, *Fibers Polym.* 14 (2013) 623e629.
- [4] S. Manna, P. Saha, S. Chowdhury, S. Thomas, Alkali treatment to improve physical, mechanical and chemical properties of lignocellulosic natural fibers for use in various applications, in: A. Kuila, V. Sharma (Eds.), *Lignocellulosic Biomass Production and Industrial Applications*, Scrivener Publishing LLC, 2017.
- [5] C. Zabihi, M. Ahmadi, S. Nikafshar, K.C. Preyeswary, M. Naebe, A technical review on epoxy-clay nanocomposites: structure, properties, and their applications in fiber reinforced composites, *Composites Part B* 135 (2018) 1e24.
- [6] A. Kausar, Review on polymer/halloysite nanotube nanocomposite, *Polym. Plast. Technol. Eng.* 57 (2018) 548e564.
- [7] L. Lavagna, D. Massella, M.F. Pantano, F. Bosia, N.M. Pugno, M. Pavese, Grafting Carbon Nanotubes onto Carbon Fibres Doubles Their Effective Strength and the Toughness of the Composite, *Composites Science and Technology*, 2018.
- [8] G. Mittal, K.Y. Rhee, V. Miskovic-Stankovic, D. Hui, Reinforcements in multi-scale polymer composites: processing, properties, and applications, *Composites Part B* 138(2018) 122e139.

- [8] M. Ragoubi, *Contribution à l'amélioration de la compatibilité interfaciale fibres naturelles/matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne*. Thèse de doctorat, Université Henri Poincaré Nancy 1, 2010.
- [9] M. Nardin, "Interface fibre-matrice dans les matériaux composites," *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, vol. 16/1, pp. 49–62, 2006.
- [10] J.-K. Kim, Y.-W. Mai, *Engineered Interfaces in Fiber Reinforced Composites* [Internet], first ed., Elsevier Science Ltd., 1998 <https://doi.org/10.1016/B978-008042695-2/50001-4>
- [11] A. J. Kinloch, *Adhesion and Adhesives : Science and Technology*. London, UK : Chapman & Hall, 1st ed., 1987.
- [12] P. Ho, R. Haight, R. White, B. Silverman, and F. Faupel, *Fundamentals of Adhesion*. Plenum, New York, 1991.
- [13] J. Schultz and M. Nardin, *Theories and mechanisms of adhesion, in adhesion promotion techniques (edited by Mittal KL, et al)*. CRC Press, 1999.
- [14] E.J. Foster, R.J. Moon, U.P. Agarwal, M.J. Bortner, J. Bras, S. Camarero-Espinosa, et al., Current characterization methods for cellulose nanomaterials, *Chem. Soc. Rev.* 47 (2018) 2609e2679, <https://doi.org/10.1039/C6CS00895J>.
- [15] J. M. BERTHELOT, *Matériaux composites comportement mécanique et analyse des structures*. 1992, Paris, Masson, p.615,
- [16] AHLSTROM C, *Interface fibre de verre/matrice poly époxyde. Introduction d'une interphase à propriétés contrôlées*, Thèse de doctorat, 1991, 296p.
- [17] BERTHELOT, J. M., *Matériaux composites comportement mécanique et analyse des structures*». Paris, Masson, 1992, 615 p.
- [18] [11] BERTHELOT, J. M. « *Matériaux composites comportement mécanique et analyse des structures*. Paris, Masson, 1992, 615 p.

- [19] B.KACIMI., Comportement aux chocs des composites a renfort verre et matrice organique. Mémoire de magister, UMMTO,2009/2010.
- [20] J.-P. Favre, “Interface dans les composites fibreux,” *Techniques de l'ingénieur. Plastiques et composites*, vol. AM6, no. A7765, pp. A7765.1–A7765.21.
- [21] L. Greszczuk, “Theoretical studies of the mechanics of the fiber-matrix interface in composites,” *Interfaces in composites*, vol. 452, p. 42, 1969.
- [22] D.-A. Mendels, Y. Leterrier, and J.-A. Manson, “The influence of internal stresses on the microbond test – i : theoretical analysis,” *Journal of composite materials*, vol. 36, no. 3, pp. 347–363, 2002.
- [23] Y. Li, K. Pickering, and R. Farrell, “Determination of interfacial shear strength of white rot fungi treated hemp fibre reinforced polypropylene,” *Composites Science and Technology*, vol. 69, pp. 1165–1171, June 2009.
- [23] J. a. Nairn, C.-h. Liu, D. Mendels, and S. Zhandarov, “Fracture Mechanics Analysis of the Single-Fiber Pull-Out Test and the Microbond Test Including The Effects of Friction and Thermal Stresses,” *Proc. 16th Ann. Tech. Conf. of the Amer. Soc. Composites*, pp. 9–12, 2001.
- [24] C. Pomel, C. Baley, and B. Lamy, “Influence de prétraitements et traitements chimiques sur l'adhérence fibre de lin / résine thermodurcissable polyester,” *15e Congrès Française de Mécanique*, pp. 3–7, 2001.
- [25] A. Le Duigou, P. Davies, and C. Baley, “Interfacial bonding of Flax fibre/Poly(L-lactide) bio-composites,” *Composites Science and Technology*, vol. 70, pp. 231–239, Feb. 2010.
- [26] A. L. Duigou and P. Davies, “Etude de la liaison interfaciale fibre de lin / acide poly (L-lactique) Study of interfacial bonding of Flax fibre / Poly (L-lactide),” *JNC*, vol. 16, 2009.

- [27] S. F. Zhandarov and E. V. Pisanova, "The local bond strength and its determination by fragmentation and pull-out tests," *Composites Science and Technology*, vol. 57, no. 8, pp. 957–964, 1997.
- [28] S. Zhandarov, E. Pisanova, E. Mäder, and J. A. Nairn, "Investigation of load transfer between the fiber and the matrix in pull-out tests with fibers having different diameters," *Journal of Adhesion Science and Technology*, vol. 15, no. 2, pp. 205–222, 2001.
- [29] T. Huber and J. Müssig, "Fibre matrix adhesion of natural fibres cotton, flax and hemp in polymeric matrices analyzed with the single fibre fragmentation test," *Composite Interfaces*, vol. 15, pp. 335–349, Jan 2008.
- [30] C. Guillebaud-Bonafous, D. Vasconcellos, F. Touchard, and L. Chocinski-Arnault, "Experimental and numerical investigation of the interface between epoxy matrix and hemp yarn," *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing*, vol. 43, pp. 2046–2058, Nov 2012.
- [31] C. Bonafous, F. Touchard, L. Chocinski-Arnault, and C. Dever, "Caractérisation expérimentale de l'interface fil / matrice dans les composites chanvre / époxy. Experimental characterisation of yarn / matrix interface in hemp / epoxy composites," *JNC*, vol. 17, pp. 1–10, 2011.
- [32] N. Melanitis, P. C. Galotis, L. Tetlow, and C. K. L. Davies, "Interfacial shear stress distribution in model composites. Part 2 : Fragmentation studies on carbon fibre/epoxy systems," *Journal of Composite Materials*, vol. 26, pp. 574–610, 1992.
- [33] R. J. Scheer and J. A. Nairn, "A Comparison of Several Fracture Mechanics Methods for Measuring Interfacial Toughness with Microbond Tests," *The Journal of Adhesion*, vol. 53, pp. 45–68, Sept. 1995.
- [34] P. Herrera-Franco and L. Drzal, "Comparison of methods for the measurement of fibre/matrix adhesion in composites," *Composites*, vol. 23, pp. 2–27, Jan. 1992.

- [35] X.-F. Zhou, J. Nairn, and H. Wagner, "Fiber–matrix adhesion from the single-fiber composite test : nucleation of interfacial debonding," *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing*, vol. 30, no. 12, pp. 1387–1400, 1999.
- [36] P. Krawczak, "Essais des plastiques renforcés," *Techniques de l'ingénieur. Plastiques et composites*, vol. AM5, no. AM 5 405, pp. 1–36.
- [37] L. Broutman, "Measurement of the fiber-polymer matrix interfacial strength," in *Interfaces in composites*, ASTM International, 1969.
- [38] A. Bergeret and P. Krawczak, "Liaison renfort/matrice. Définition et caractérisation," *Techniques de l'ingénieur. Plastiques et composites*, no. AM 5 305, pp. 1–24, 2006.
- [39] X.-F. Zhou, H. Wagner, and S. Nutt, "Interfacial properties of polymer composites measured by push-out and fragmentation tests," *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing*, vol. 32, pp. 1543–1551, Nov. 2001.

Chapitre IV

*Analyse des travaux réalisés dans le
domaine de l'influence du traitement
alcalin sur la fibre végétal*

I. Introduction

Au cours de ces dernières années, les matériaux composites fibreux à base de fibre végétale ont suscité un certain engouement dans tous les domaines. En effet, ces matériaux, du fait de leurs propriétés (mécanique, thermique, acoustique etc.), permettent de remplir simultanément différentes fonctions (renfort, isolation, sport, fourniture, etc.). Toutefois, l'étude de tels matériaux doit de plus en plus, à cause des normes en vigueur, prendre en compte le volet environnemental dans leur développement.

Les composites fibres végétales / matrice s'inscrivent parfaitement dans cette démarche de développement durable, que ce soit pour valoriser des ressources naturelles renouvelables, ou, grâce à leur caractère partiellement biodégradable, pour limiter la production de déchets. Les récentes recommandations mondiales sur les déchets ultimes sont d'ailleurs très restrictives quant au devenir des matériaux lors de la destruction des édifices. Les bonnes propriétés en termes d'isolation thermique et acoustique de ces matériaux en font également un atout majeur pour réaliser des économies d'énergie substantielles. Le choix du renfort reste cependant très important. Il doit avoir de bonnes propriétés intrinsèques de résistance (module d'élasticité, géométrie etc.), doit être compatible avec la matrice à laquelle il va être associé et doit aussi avoir un coût acceptable.

Ce type de matériau a déjà fait l'objet de nombreuses études permettant d'analyser ses propriétés mécaniques, thermiques mais également acoustiques. La majorité de ces travaux a donc porté très logiquement sur la caractérisation mécanique, au sens général du terme.

L'originalité de ce chapitre de recherche présenté dans ce mémoire réside dans le fait d'associer une analyse précise et rigoureuse portant sur la chimie des interfaces fibre/matrice avec une caractérisation mécanique, afin de mieux appréhender l'influence de la qualité de ces dernières sur les propriétés des composites. Plus précisément, notre démarche repose sur le regroupement des travaux déjà réalisés concernant l'influence du traitement chimique des fibres végétales en milieu alcalin. Et cela en raison de comparer des travaux ayant un point commun et une approche expérimentale similaire à notre travail afin de déterminer les modifications qu'elles engendrent sur l'interface fibre/matrice.

II. TRAITEMENT DE MERCERISATION

La mercerisation est un procédé de traitement alcalin. Elle est largement utilisée dans l'industrie textile [1]. La définition standard de la mercerisation proposée par l'ASTM D1965 est la suivante : le processus de soumission d'une fibre végétale à une interaction avec une solution aqueuse assez concentrée de base forte, pour produire un grand gonflement avec des changements résultants dans la structure fine, la dimension, la morphologie et les propriétés mécaniques [2].

Par conséquent, la mercerisation est un processus de modification chimique qui a changé le comportement des constituants chimiques dans les fibres naturelles. L'effet de l'alcali sur la fibre de cellulose est une réaction de gonflement, au cours de laquelle la structure cristalline naturelle de la cellulose se détend. L'illustration schématique du processus de gonflement de la cellulose est présentée à la fig. 1 [3]. La cellulose indigène (c.-à-d. la cellulose telle qu'elle est présente dans la nature) présente un réseau cristallin monoclinique de cellulose-I, qui peuvent être transformés en différentes formes polymorphes par des traitements chimiques ou thermiques. Les formes importantes de la cellulose alcaline et de la cellulose-II sont indiquées à la fig. 2 [4].

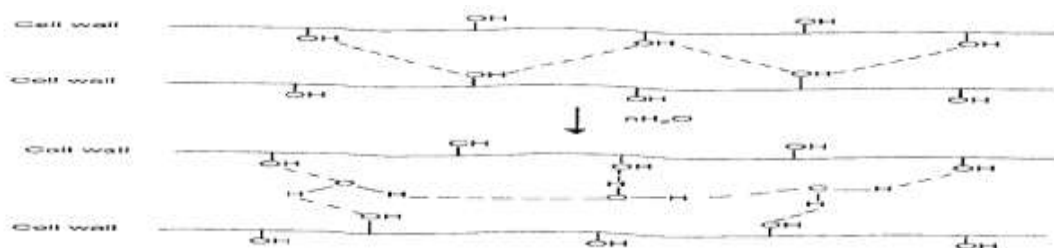


Fig. 4.1. Illustration schématique du processus de gonflement en cellulose [3]

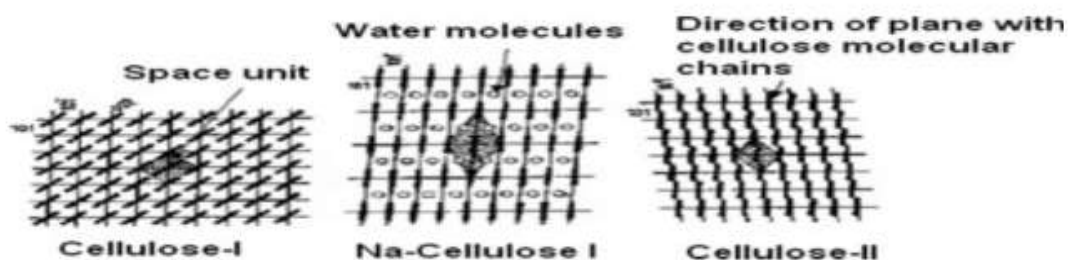


Fig. 4.2 Structure en treillis de la cellulose I et de la cellulose II [4]

Le type d'alcali et sa concentration influenceront le degré de gonflement, et donc le degré de treillis transformation en cellulose-II. Il a été signalé que Na⁺ a un diamètre favorable, capable d'élargir les plus petits pores entre les plans de treillis et de pénétrer dans eux. Par conséquent, le traitement à l'hydroxyde de sodium (NaOH) entraîne un gonflement plus important. Ceci conduit à la formation d'un nouveau réseau Na-cellulose-I, un réseau avec des distances relativement grandes entre les molécules de cellulose, et ces espaces sont remplis de molécules de H₂O. Dans cette structure, les OH groups de la cellulose sont convertis en O – Na-groups, l'expansion des dimensions des molécules. Le rinçage ultérieur à l'eau éliminera les Na-ions liés et transformera la cellulose en une nouvelle structure cristalline, c.-à-d. la cellulose-II, qui est thermodynamiquement plus stable que la cellulose-I. Le NaOH peut provoquer une transformation complète de la cellulose-I en cellulose-II. L'ajout d'hydroxyde de sodium aqueux (NaOH) aux fibres naturelles favorise l'ionisation du groupe hydroxyle à l'alkoxyde. La réaction suivante se produit à la suite d'un traitement alcalin [5, 3-6] :



Comme on l'a signalé dans de nombreuses publications, les constituants chimiques des fibres naturelles sont la cellulose et d'autres constituants non cellulosiques comme l'hémicellulose, la lignine, la pectine et les impuretés comme la cire, les cendres et l'huile naturelle [7-8]. Ce matériau non cellulosique pourrait être éliminé par des traitements alcalins appropriés, qui affectent la caractéristique de traction de la fibre [6, 9]. On a constaté que la mercerisation modifiait la topographie de la surface des fibres, et on a signalé que le diamètre des fibres diminuait avec la concentration accrue d'hydroxyde de sodium [10].

Le traitement de mercerisations entraîne également des modifications de surface conduisant à augmenter la mouillabilité de la résine de polyester de fibre de coco comme rapporté par Prasad et. al [11]. Il est signalé que le traitement alcalin a deux effets sur la fibre de henequen : (1) il augmente la rugosité de surface, résultant en un meilleur verrouillage

mécanique; et (2) il augmente la quantité de cellulose exposée à la surface de la fibre, augmentant ainsi le nombre de sites de réaction possibles [12].

Par conséquent, le traitement alcalin a un effet durable sur le comportement mécanique des fibres naturelles, en particulier sur leur résistance et leur rigidité.

III. Analyse des travaux déjà réalisés dans le domaine de l'influence du traitement alcalin sur la fibre végétale :

N°	Auteur	Région de la fibre	%NaOH	temps	T°
01	Mangesh Teli, Akshay Jadhav.[13]	Inde	2%, 5%, 10%, 15% et 20	1h	A température ambiante
02	Muhammad Khusairy Bin Bakri, Elammaran Jayamani, Sinin Hamdan, Md Rezaur Rahman, KokHeng Soon, Akshay Kakar.[14]	Malaysia	5%	30min	A température ambiante
03	E. T. N. BISANDA.[15]	Tanzanie	5%, 18%	24h	A température ambiante
04	SUGIMAN SUGIMAN, PARYANTO D. SETYAWAN, BUAN ANSHARI.[16]	Indonésie	4%, 8% et 12 %	30min 1H 2h	A température ambiante (28°C) et a température élevée (50°C).
05	João Bessa, Joana Matos, Carlos Mota, Fernando Cunha, Isabel Araújo, Luís Silva, Elizabete Pinho,	Portugal	5%	30min	25°C

	Raúl Fanguero.[17]				
06	Désiré Yomeni Chimena, Jean Luc Toupe, Charles Dubois and Denis Rodrigue.[18]	Canada	8%	3h	A température ambiante (23°C)
07	Sharifah H. Aziz, Martin P. Ansell.[19]	Malaisie	6%	48 h	19 ± 2 °C
08	Muhammad Arsyad.[20]	Indonésie	5%, 10%, 15%, 20%	3h	A température ambiante
09	G. Rajeshkumar, V. Hariharan, and T. Scalici.[21]	Italie	5%, 10%, 15%	1h	A température ambiante (28°C)
10	O.M.L. Asumani, R.G. Reid, R. Paskaramoorthy.[22]	Sud d'Afrique	01% jusqu'un 8%	24h	45 °C.
11	V. Fiore, G. Di Bella, A. Valenza.[23]	Italia	6%	48 h and 144 h	A température ambiante
12	L. Boopathi, P.S. Sampath, K Mylsamy.[24]	inde	5%, 10%, 15%	30min	A température ambiante
13	Abderrezak Bezazi, Salah Amroune, Fabrizo Scarpa.[25]	M'sila, Algérie	1% et 2%	de 48 et 72 h	à la température ambiante
14	K. J.Wong, B.F Yousif et K.O.Low.[26]	Malaisie	1%, 3% et 5%	24h	A température ambiante
15		Inde	5%	30 min	30°C

	MK Gupta,[27]				
16	Mohd Yussni Hashim, Azriszul Mohd Amin, OmarMohd Faizan Marwah, Mohd Hilmi Othman,Mohd Radzi Mohamed Yunus,NgChuan Huat[28]	Malaysia	2, 6 et 10%	30,240 et 480 minute	27, 60 et 100°C
17	A. Oushabi, S. Sair , F. Oudrhiri Hassani b , Y. Abboud, O. Tanane, A. El Bouari [29]	Morocco	2%, 5% et 10%	1 h	25°C
18	Libo Yan , Nawawi Chouw and Xiaowen Yuan..[30]	New Zélande	5%	30min	20°C
19	GOVARDHAN GOUD et R N RAO.[31]	Inde	5%	2h	A température ambiante
20	Patrick. E. Imoisili, S. O. O. Olusunle, A. V. Popoola, and A. E. Okoronkwo.[32]	Nigeria	1%, 3%, and 5%	1, 2, and 4h	A température ambiante
21	M.J.M. Ridzuan,*, M.S. Abdul Majid, M. Afendi, K. Azduwin, S.N. Aqmariah Kanafiah and Y. Dan-	Malaysia	10%	for 3, 6, 12, 18 and 24 h	A température ambiante

	mallam.[33]				
22	V.S. Sreenivasan , D. Ravindran , V. Manikandan, R.Narayanasamy.[34].	Inde	10%	1h	A température ambiante
23	Alexandre GOMES, Koichi GODA et Junji OHGI.[35]	Brazil	5%, 10%, et 15%	1h et 2h	A température ambiante
24	Francis J. Kolpak et John Blackwell. .[36]	USA	22%	4h	A température ambiante
25	P.Threepopnatkul, N. Kaerkitcha, N.Athipongarporn.[37]	Thaïlande	5%	5h	30 °C
26	B.F. Yousif, A. Shalwan, C.W. Chin, K.C. Ming. .[38]	Malaysia	6%	24h	A température ambiante
27	N. Venkateshwaran, A. Elaya Perumal c, D. Arunсударанayagam. .[39]	Inde	0.5, 1, 2, 5, 10, 15 et 20	30min	A température ambiante
28	Sherely Annie Paul, Abderrahim Boudenne, Laurent Ibos, Yves Candau, KuruvillaJoseph, Sabu Thomas. .[40]	Inde	2% et 10%	1h	A température ambiante
29	Fatima-ezzahra El- Abbassi, Rezak Ayad, Nouzha lamdouara, H. Kebir, Hamid Sabhi, Stephane Buet, Mustapha	Algérie, Maroc et la Tunisie	10%	24h	à température ambiante

	Assarar. .[41]				
30	M. ROKBI, H. OSMANI. .[42]	Algérie.	1, 5 et 10%	0, 24 et 48h	A température ambiante
31	G.B. Nam, J.W. Kim, J.M. Byeon, B.S. Kim, T.K. Kim, J.I. Song. .[43]	Philippines	1–7%	24 h	A température ambiante
32	A. BENYAHIA, A. MERROUCHE, M. ROKBI, Z. KOUADRI. .[44]	ALGERIE.	1, 3, 5, and 7%	24 h	25°C
33	Punyamurthy ramadevi, dhanalakshmi sampathkumar, chikkol venkteshappa srinivasa, and basavaraju bennehalli. .[45]	Inde	5, 10, 15, et 20%	72h	30°C
34	S. I. Hossain, M. Hasan, Md. N. Hasan, and A. Hassan. .[46]	South Asian	2%	2:30h	70°C
35	Ming Cai , Hitoshi Takagi , Antonio N. Nakagaito , Yan Li , Geoffrey I.N. Waterhouse.[47]	Philippines	5, 10, 15%	2h	A température ambiante
36	A karthikeyan and K Balamurugan. .[48]	Inde	2, 4, 6, 8, 10%	10 days	27-29°C
37	Karama Elfehri	Tunisia	1 and 5%	6 h	60 °C

	Borchani • Christian Carrot • Mohamed Jaziri. .[49]				
38	I.C. Ezema Ike-Eze, V.S Aigbodion, S.N. Ude, A.D. Omah & P.O. Offor.[50]	Nigeria	2, 4, 6, 8, 10%	1h	A température ambiance
39	M.M. Kabir, H. Wang, F. Cardona & T. Aravinthan. .[51]	Australia	4%, 6%, 8% and 10%	3h	A température ambiante
40	DIPA RAY, B K SARKAR*, A K RANAand N R BOSE. .[52]	India	5%	2, 4, 6, 8h	30°C

Le tableau IV.1. : Résumé l'effet de la Concentration (% de NaOH), le temps d'immersion et la température de quelques fibres sur le comportement.

III.1. Résumé des quelques articles scientifiques de le domaine de traitement alcalin :

La modification de surface la plus préférée des fibres naturelles est le traitement au NaOH. Une amélioration significative des propriétés mécaniques des fibres naturelles peut être obtenue par un traitement alcalin.

Nous avons réalisé la partie essentielle de notre travail qui est le résumé des plusieurs articles sur le traitement chimique alcalin (NaOH), dans les étapes suivants :

1/-EFFET DE LA MERCERISATION SUR LES PROPRIETES DE LA FIBRE LIGNOCELLULOSIQUE PANDANUS ODORIFER. [13]

Les fibres végétales naturelles sont facilement obtenues dans de nombreuses régions tropicales et sont disponibles dans le monde entier. Les fibres naturelles présentent des avantages importants tels qu'une faible densité, une rigidité appropriée, de bonnes propriétés

mécaniques et une haute jetabilité et renouvelabilité. De nombreuses recherches ont été menées sur l'utilisation des fibres naturelles dans les renforts et l'industrie textile [53, 54].

Les espèces de fibres Pandanus Odorifer (PO) ont été traitées avec des concentrations variées (2 - 20%) de NaOH à température ambiante pendant 1 h et les propriétés physiques ont été évaluées.

La fibre de Pandanus odorifer (PO), traitée avec une concentration croissante de NaOH jusqu'à 15%, a montré une augmentation de la cristallinité à la suite de la dissolution et de l'élimination de l'hémicellulose amorphe. Une telle augmentation de cristallinité est également confirmée par diffraction des rayons X. TGA a également soutenu la même augmentation montrant la stabilité thermique. La résistance à la traction des fibres traitées avec un alcali a augmenté et une augmentation maximale a été observée en cas de concentration d'alcali de 15%. Cependant, au-delà de cette concentration à 20% de concentration alcaline, la résistance à la dé cristallisation a été diminuée ainsi que la stabilité thermique. Par conséquent, un traitement alcalin à 15% des fibres PO peut donner une augmentation maximale de la cristallinité et des propriétés de traction et pourrait donc offrir un renforcement maximal au matériau composite.

2/- TRAITEMENT A L'HYDROXYDE DE SODIUM ET AU PERMANGANATE DE POTASSIUM SUR LES PROPRIETES MECANIQUES DES FIBRES DE COCO [20]

La lignocellulose est le nom utilisé pour les matériaux contenant de la lignine, de la cellulose et de l'hémicellulose. La lignocellulose est un composant constitutif de la paroi cellulaire végétale en particulier sur la section de la tige.

L'hémicellulose et la cellulose sont des polysaccharides qui peuvent être décomposés en monosaccharides. La disponibilité de matériaux lignocellulosiques abondants sur terre a conduit à l'étude de l'utilisation de les matériaux lignocellulosiques sont très attractifs [55].

Les fibres naturelles contenant de l'hémicellulose, de la cellulose et de la lignine sont hydrophiles, ce qui aime arroser. C'est cette propriété qui empêche les fibres naturelles de s'unir ou de se lier à un hydrophobe matrice d'une aversion pour l'eau. Par conséquent, il est nécessaire d'améliorer les propriétés des naturelles fibres afin d'établir une bonne liaison avec la matrice. Traitement des matériaux lignocellulosiques peut être fait de plusieurs manières, chimiquement, physiquement et microbiologiquement. Chaque méthode a avantages et

inconvenients. L'efficacité et l'efficacité de son utilisation peuvent varier en fonction de la source du matériau et le but du processus. Le traitement chimique est le plus couramment utilisé méthode car elle est plus simple, plus efficace, plus rapide et n'utilise pas trop d'énergie.

Le but de cette recherche est de déterminer la contrainte de traction et le cisaillement interfacial stress de la fibre de coco traitée à l'hydroxyde de sodium et au permanganate de potassium. Cette recherche est divisée en trois étapes: trempage pendant 3 heures, test et analyse des données. La fibre de coco est trempée dans une solution d'hydroxyde de sodium à 5%, 10%, 15% et 20%. Ensuite, trempage dans une solution de permanganate de potassium avec des concentrations de 0,25%, 0,50%, 0,75% et 1,00%. Après cela, la fibre de coco est séchée dans le four à 90 ° C pendant 5 heures.

Sur la base des tests et de la discussion qui ont été effectués, puis conclu:

- a. La contrainte de traction de la fibre de coco est augmentée par le traitement à l'hydroxyde de sodium mais diminue avec le permanganate de potassium.
- b. Le traitement de l'hydroxyde de sodium et du permanganate de potassium augmente la compatibilité entre fibre de coco et matrice polyester.

3/- L'EFFET DU TRAITEMENT ALCALIN SUR L'ADHERENCE CARACTERISTIQUES DES FIBRES DE SISAL [15]

Les propriétés mécaniques des composites à matrice fibre-polymère végétale sont contrôlées dans une large mesure par l'efficacité de la liaison à la frontière interfaciale fibre-matrice. La fonction principale de l'interface est de faciliter le transfert des contraintes depuis fibre à fibre, à travers la matrice. Les matériaux lignocellulosiques sont cependant connus pour présenter de mauvaises caractéristiques de liaison avec les résines synthétiques. Ceci est principalement dû à la présence de substances organiques et inorganiques à la surface de la fibre, qui empêchent contact direct entre les molécules de la résine et de la fibre, et l'hydrophile nature de la cellulose.

L'effet du traitement alcalin sur la capacité de mouillage et la cohérence des composites sisal-époxy a été examiné. Le traitement de la fibre de sisal dans une solution 5% et 18% pendant 24h à température ambiante, l'hydroxyde de sodium a abouti à composites

plus rigides avec une porosité plus faible et donc une densité plus élevée. Le traitement a été montré pour améliorer les caractéristiques d'adhérence, grâce à un meilleur travail d'adhérence car il augmente la tension superficielle et la rugosité superficielle.

De la présentation précédente des résultats et de la discussion, il peut être conclu que le traitement de la fibre de sisal avec NaOH améliore sa capacité de mouillage, par conséquent réduit la porosité et donne des composites avec une résistance améliorée et résistance à l'eau. Un traitement alcalin est donc recommandé pour précéder toute surface procédure de modification sur fibres végétales de morphologie similaire au sisal.

4/- EFFETS DU TRAITEMENT ALKALI DE LA FIBRE DE BAMBOU DANS DIFFÉRENTES CONDITIONS SUR LES PROPRIÉTÉS DE TENSION ET DE FLEXION DES COMPOSITES DE POLYESTER NON SATURÉS MODIFIÉS EN FIBRE DE BAMBOU / POLYSTYRÈNE [16]

Le bambou est l'une des ressources naturelles en fibres, qui est abondamment disponible et peut être récolté en 3-4 ans [56]. Les plantations de bambou couvraient 31,5 millions d'hectares dans le monde [57], tandis que le marché des produits en bambou a augmenté d'environ 19,7 milliards USD en 2012 [58]. Ces dernières années, la fibre de bambou suscite un grand intérêt et est de plus en plus utilisée pour la fabrication de composites verts. La fibre de bambou a une résistance à la traction élevée (140-800 MPa), un module d'élasticité élevé (33 GPa) et une faible densité (0,6-0,8 g / cm³) [59, 60] et présente un très grand potentiel pour la fabrication biodégradable, faible densité et haute résistance spécifique composites polymères.

La nature hydrophile des fibres naturelles peut présenter un inconvénient si elles sont utilisées pour renforcer les matrices polymériques hydrophobes [61].

L'article présente les effets du traitement alcalin sur les propriétés de traction et de flexion des composites fibre de bambou / polyester insaturé modifié par polystyrène (MUP). Les fibres de bambou ont été traitées en utilisant une solution alcaline (NaOH) avec des concentrations de 4, 8 et 12% (en poids). La durée du traitement était de 0,5, 1 et 2 heures à la fois à température ambiante et à température élevée (50 ° C).

Des traitements alcalins des fibres de bambou avaient été effectués pour améliorer l'interaction fibre-matrice des composites fibres de bambou / résine de polyester insaturé

modifiée par polystyrène (MUP). Une caractérisation des propriétés physiques et de traction des fibres de bambou ainsi que des propriétés de traction et de flexion des composites fibre de bambou / MUP avait également été réalisée. Voici quelques résultats clés:

- La combinaison de l'analyse FTIR, du SEM et de la diffraction des rayons X peut indiquer l'élimination de l'hémicellulose, de la lignine et d'autres substances amorphes de la fibre de bambou.

- Sous traitement à température ambiante, les propriétés de traction et de flexion des composites fibres de bambou / MUP avaient tendance à augmenter avec l'augmentation de la concentration d'alcali, mais une concentration élevée (12%) et une durée de traitement plus longue (2 heures) avaient tendance à diminuer les propriétés de traction et de flexion. Pendant ce temps, sous un traitement à température élevée, les propriétés de traction et de flexion optimales ont été obtenues à une concentration d'alcali inférieure (4%) et une durée de traitement courte (0,5 heure). Par conséquent, un traitement à une faible concentration d'alcali sous une température élevée a été suggéré pour minimiser l'impact sur l'environnement et pour réduire le temps de production dans la fabrication des composites de fibres naturelles. L'utilisation des déchets de polystyrène expansible pour la fabrication de composites peut aider à surmonter les problèmes environnementaux.

5/- INFLUENCE DES TRAITEMENTS DE SURFACE SUR LES PROPRIETES MECANQUES DE LA FIBRECOMPOSITES THERMOPLASTIQUES RENFORCES [17]

De nos jours, l'utilisation de matériaux fibreux naturels a suscité un grand intérêt d'application dans divers secteurs, à savoir dans le domaine automobile. La durabilité des ressources est l'une des principales tendances dans ce domaine, liée au poids réduction des véhicules. En règle générale, les matériaux composites utilisés dans la fabrication de véhicules utilisent des fibres synthétiques, telles que carbone ou verre. Cependant, le remplacement de ces fibres par des fibres naturelles permet d'atteindre la cible souhaitée, car les fibres naturelles présentent une densité inférieure par rapport aux fibres synthétiques. Par conséquent, la réduction de poids de les véhicules permettent une consommation de carburant plus faible, ce qui est un facteur important pour la durabilité environnementale, en raison deréduction des émissions de gaz à effet de serre. D'autre part, les matériaux fibreux naturels

sont également biodégradables et recyclable, lorsqu'il est utilisé avec des matrices thermoplastiques, des caractéristiques tout aussi importantes pour la durabilité. Outre ces avantages, un faible coût et des risques pour la santé inférieurs, par rapport aux fibres synthétiques, doivent également être pris en compte.[62]. Cependant, la combinaison de fibres naturelles avec des matériaux polymères présente certaines contraintes liées à la compatibilité entre les deux matériaux. Les fibres naturelles végétales sont composées principalement de cellulose et d'hémicellulose, qui sont hydrophiles et de la lignine en surface.

Dans Ce travail João Bessa compare l'effet de différents types de traitements de surface de matériaux fibreux naturels, en particulier le lin, sur les propriétés mécaniques des composites polymères thermoplastiques pour application dans le secteur automobile. L'application de surface les traitements sur matériaux fibreux peuvent améliorer la compatibilité avec les matériaux polymères. Parmi ces traitements est le traitement alcalin il fait une immersion sur une solution de NaOH 5% à 25 ° C, pendant 30 min.

Dans cette étude, avec des tissus de lin unis renforçant les polymères TPO, il a été conclu que les traitements chimiques étaient plus efficaces dans la modification de surface que les physiques pour améliorer certaines propriétés mécaniques, telles qu'allongement à la rupture. Les testicules de traction ont montré que le traitement alcalin conduit à l'amélioration de l'allongement à la rupture de 7% à 17%, environ. Ainsi, à partir de cette étude, on peut conclure que les traitements de surface utilisés peuvent augmenter considérablement la capacité de déformation du matériau composite, qui est d'une importance capitale pour certaines applications, notamment dans le secteur automobile.

6/- EFFET DE LA MODIFICATION DE LA SURFACE DU CHANVRE SUR PROPRIETES MORPHOLOGIQUES ET DE TRACTION DU LINEAIRE COMPOSITES DE POLYETHYLENE MOYENNE DENSITE (LMDPE) [18]

Les composites renforcés de fibres naturelles (NFC) réapparaissent en tant qu'alternatives aux composites renforcés de fibres dans les industries de l'automobile, du bâtiment et de la construction. [63] Celles-ci les composites sont fabriqués à partir de fibres lignocellulosiques avec des matrices polymères. L'idée principale derrière l'introduction de fibres naturelles dans un polymère est de réduire les coûts des matières premières et les

problèmes environnementaux lors de la production de matériaux avec de bonnes propriétés mécaniques.

Ce travail étudie différentes modifications de la surface du chanvre (mercerisation, ajout de polyéthylène maléaté (MAPE) en solution ou dans le mélange à l'état fondu) pour améliorer les propriétés de la densité du milieu linéairepolyéthylène (LMDPE).

Dans cette étude, différentes approches de modification de la surface du chanvre ont été étudiées. Pour chaque cas, une caractérisation complète a été réalisée pour déterminer le niveau de surface modification et effet sur la morphologie et les propriétés de traction de 30% en poids. LMDPE rempli composites a été signalé. A partir des résultats obtenus, les principales conclusions de ce travail sont:

- Les résultats FTIR, SEM, TGA et densité ont montré que lors de la modification du chanvre en solution, une fine couche de fibres de chanvre revêtues de MAPE. Sur la base des données obtenues, une réaction mécanisme a été proposée pour expliquer comment MAPE modifiait les fibres en solution.
- SEM des composites a montré que la mercerisation du chanvre était responsable d'une augmentation de mouillabilité du chanvre par LMDPE. Cette augmentation a légèrement amélioré le contact interfacial zone tandis que la combinaison de la mercerisation et du MAPE en solution augmentait à la fois mouillabilité et adhérence.
- Les propriétés mécaniques ont montré que pour les composites de chanvre modifiés, en plus du TNE3D et TNE3S & D dont le module de traction a été significativement augmenté (17 et 6%, respectivement), tous les autres composites n'ont présenté aucune augmentation significative de ces propriétés avec par rapport au composite à base de chanvre pur (UT). L'augmentation de la résistance à la traction était significative pour tous les composites modifiés (environ 20% pour TNE3S, 24% pour TNE3D, 30% pour TNE3S & D, 13% pour UTE3D et 15% pour UTE3S) par rapport à UT, et plus que celui du module de traction suggérant que le MAPE utilisé (E20P) a principalement un effet sur l'amélioration interfaciale et une moindre contribution sur la rigidité. De plus, le la combinaison de la mercerisation du chanvre avec l'utilisation d'un agent de couplage a réussi pour améliorer considérablement la résistance des composites.

Enfin, la modification MAPE en solution a été efficace pour améliorer les propriétés de traction en composite LMDPE / chanvre. Néanmoins, une optimisation de la surface de la fibre le traitement en solution doit être effectué depuis l'amélioration du revêtement de surface de la fibre parle contact avec MAPE entraîne également une dégradation partielle des

composants celluloses des fibres de chanvre en raison des conditions de traitement (solvant, température, durée et concentration). Ainsi, davantage de travail est nécessaire pour exploiter pleinement le potentiel de cette méthodologie.

7/- L'EFFET DE L'ALCALINISATION ET DE L'ALIGNEMENT DES FIBRES SUR LA MECANIQUE ET PROPRIETES THERMIQUES DES COMPOSITES DE FIBRES LIBERIENNES DE KENAF ET DE CHANVRE:PARTIE 1 - MATRICE DE RESINE POLYESTER [19]

Le polyester insaturé est un thermodurcissable populaire utilisé comme une matrice polymère en composites tout en renforçant polyesters avec des fibres celluloses a été largement rapporté [64–66]. Les fibres sont connues pour conférer résistance et rigidité à la matrice faible et cassante. Actuellement, la recherche en les matériaux composites vise à utiliser des fibres au lieu de fibres synthétiques. L'utilisation de fibres naturelles, dérivé de ressources renouvelables annuellement, comme fibres en thermoplastique et thermodurcissable les composites matriciels fournissent un environnement positif avantages en termes d'élimination ultime et de matières premières utilisation des matériaux [67].

Les fibres ont été trempées dans une solution de NaOH à 6% dans de l'eau bain où la température a été maintenue tout au long à 19 2 C pendant 48 h. Les fibres traitées ont été rincées sept fois et laissé sécher à température ambiante avant étant mis au four pendant 5 h à 110 ° C Soude caustique le traitement a été choisi car il est peu coûteux et efficace.

Les fibres non traitées ont également été séchées dans un four. Pour toute modification du comportement thermique des fibres ainsi que le comportement thermique de la résine et matériaux composites.

Les conclusions suivantes sont basées sur les résultats rapportés dans cet article:

- Un petit changement positif de la densité des fibres a été observé pour les fibres de chanvre et de kénaf après traitement NaOH à 6% indiquant la densification de la paroi cellulaire.
- Une tendance générale a été observée sur la mécanique globale les résultats des tests des composites grâce à une flexion élevée module (E) et haute résistance à la flexion (σ_{max}) donnent un faible travail de fracture correspondant (WOF).

Par conséquent, il ressort de l'ensemble mécanique les résultats des tests pour les composites dont la résistance maximale et la ténacité maximale ne peut pas être obtenue

simultanément et que les composites doivent être conçus pour conviennent à son application et aux propriétés mécaniques souhaitées.

- Les résines polyester de stratification standard conviennent pour la fabrication de composites de fibres naturelles avec des propriétés techniques.

8/- EFFET DU TRAITEMENT NAOH SUR LES PROPRIETES FIBRE DE PHOENIX SP [21]

Au cours des dernières années, l'attention portée aux fibres naturelles comme renforts potentiels dans la matrice polymère les composites augmente.

Le but de cet article est d'étudier l'effet d'un traitement alcalin sur propriétés physiques, chimiques, mécaniques et morphologiques de Phoenix Sp. les fibres. L'utilisation de fibres naturelles comme renfort dans les composites polymères nécessite une enquête approfondie pour comprendre leur comportement et quels le traitement est plus approprié pour améliorer la qualité des produits non traités Matériel. Pour cette raison, les fibres ont été extraites des pétioles de la Phoenix Sp. plante et ils ont été traités avec une solution de NaOH dans différents concentrations pondérales (5%, 10% et 15%).

Même si Phoenix Sp. les plantes n'ont pas besoin d'une attention particulière pour leur culture, l'entretien des plantations produisent une grande quantité de déchets. Dans cet article, la possibilité d'une réutilisation ce type de matériau fibreux est étudié en termes de modification des propriétés des fibres par traitement chimique (c'est-à-dire alcali) pour améliorer leur comportement.

Une étude morphologique a été réalisée pour évaluer l'effet de la solution de NaOH sur la surface qualité. La composition chimique a été déterminée par analyse FTIR en tenant compte de l'effet de concentration différente de NaOH dans la solution et les fibres ont été caractérisées en termes de propriétés mécaniques. De plus, une analyse par diffraction des rayons X a été réalisée pour évaluer la variation d'indice de cristallinité en fonction du traitement. Les résultats montrent comment le traitement améliore les propriétés du Phoenix Sp. et cela en fait un bon candidat comme nouveau produit biodégradable et renfort respectueux de l'environnement en composites polymères renforcés de fibres.

Enfin, il est possible de considérer que le traitement NaOH est une étape utile dans la production de Phoenix Sp. fibres, car une amélioration significative de la qualité a été

observée et cela donne la possibilité d'utiliser ce type de fibres naturelles est écologique et à faible coût en bio-composites avec des bénéfices pour la société en termes d'économie et de santé.

9/- LES EFFETS DU TRAITEMENT ALCALI-SILANE SUR LES PROPRIETES DE TRACTION ET DE FLEXION DE COMPOSITES DE POLYPROPYLENE RENFORCE DE KENAF NON TISSE A FIBRES COURTES [22]

Les fibres naturelles sont de plus en plus considérées comme substitut convivial des fibres synthétiques dans le renfort de composites à base de polymères [68–74]. L'utilisation de ces fibres au lieu de verre et de carbone est, par exemple, à l'étude dans l'industrie des transports [74]. Bien que de nombreux types différents de fibres naturelles sont disponibles, le kénaf (*Hibiscus cannabinus*) est une option intéressante en raison de sa croissance rapide sur une large gamme des conditions climatiques [75] et son faible coût qui en résulte [74].

Les composites de polypropylène renforcé de fibres Kenaf ont été fabriqués par moulage par compression. Thé la fibre de kénaf a été considéré sous trois formes; non traité, traité avec une solution d'hydroxyde de sodium et traité avec une solution d'hydroxyde de sodium suivi de trois-aminopropyl-triéthoxy-silane. Les effets de ces des traitements chimiques sur les propriétés de traction et de flexion des composites ont été étudiés.

Solutions d'hydroxyde de sodium (NaOH) avec des concentrations allant de 1% à 8% par intervalles de 1% en masse ont été utilisées pour l'alcali traitement. Des nattes de fibres de Kenaf ont été immergées dans la solution de NaOH pendant 24 h à une température de 45 C. Après l'immersion, les tapis étaient lavés à l'eau courante puis immergé dans eau contenant 1% d'acide acétique pour neutraliser le NaOH restant molécules. Ces tapis ont ensuite été séchés dans une étuve à 45 C pendant une période de 12 h.

Le moulage par compression a été utilisé pour fabriquer de la fibre de kénaf composites de polypropylènes renforcés sous forme de feuille. Mécanique les résultats des tests et les examens SEM montrent que le traitement alcalin combiné avec traitement au kénaf par trois amino- propyl- triéthoxy silane les fibres améliorent considérablement les propriétés de traction et de flexion des Composites de polypropylène renforcés de fibres kenaf. Les propriétés sont considérablement meilleurs que ceux obtenus à partir d'alcali ou de silane traitement seul. Une concentration de NaOH de 6% est l'optimum pour l'étape alcaline du

traitement combiné alcali-silane. Les résistances spécifiques à la traction et à la flexion du kénaf traité alcali-silane les composites de 30% en masse se comparent extrêmement bien à ceux de composites de fibre de verre.

10/- ETUDE DES PROPRIETES PHYSIQUES, CHIMIQUES ET MECANIQUES DU BRUT ET FIBRE DE FRUIT DE BORASSUS TRAITEE AUX ALCALIS [24]

L'utilisation de fibres naturelles dans les stratifiés composites augmente jour après jour car ils sont disponibles en abondance, biodégradables, peu coûteux et respectueux de l'environnement. Le courant la devise de la fabrication verte est bien remplie par la fibre naturelle à base de des produits. Les intérêts du secteur industriel et académique sont désormais tournés vers les produits à base de fibres naturelles. Les thermoplastiques renforcés avec les fibres naturelles gagnent l'avantage de poids léger, meilleure rigidité, module et résistance élevés [76]. Les résines à base naturelle peuvent également être utilisées avec des fibres naturelles pour la fabrication de produits biosourcés complets. Ils n'induisent pas d'allergie et une sensation d'irritation de la peau humaine.

Les fibres naturelles jouent aujourd'hui un rôle majeur de renforcement dans les composites en raison de leur propriétés telles que la légèreté, la biodégradabilité et la non-toxicité. La fibre de fruit de Borassus est l'un de ces types possédant haute cellulose qui est peu coûteuse et disponible en abondance. Les fibres de fruits Borassus étaient extraites et ses propriétés physiques, chimiques et mécaniques telles que densité, diamètre, cellulose, hémicellulose, la lignine, la cire, le denier, la ténacité et la force de traction ont été déterminées expérimentalement. Dans cette étude, les fibres de fruits Borassus ont été traitées avec 5%, 10% et 15% NaOH séparément pendant environ 0,5 h à température ambiante et l'effet de traitements alcalins sur les propriétés des fibres ont été explorées.

Les propriétés physiques, chimiques et mécaniques de Borassus les fibres de fruits ont été étudiées et les conclusions suivantes ont été arrivées a.

1. Le diamètre, la longueur et la répartition du poids de Borassus les fibres de fruits ont été analysées. Il a été observé que la fibre le diamètre n'était pas uniforme sur toute la longueur et par conséquent, la valeur moyenne a été calculée. Le diamètre de la fibre diminuait par rapport à l'augmentation en pourcentage de traitement alcalin. Les valeurs moyennes pendant la mesure de la distribution de longueur a indiqué que le maximum nombre de fibres existait

en dessous de 50 mm et plus 110 mm de longueur. La répartition maximale du poids de des fibres existaient pour les fibres supérieures à 110 mm et moins

50 mm de longueur.

2. Les valeurs de densité de la fibre du fruit Borassus semblent moins que les fibres synthétiques et on remarque que l'application ces fibres pourraient être utilisées pour fabriquer un composite moins lourd structures. Le traitement alcalin a amélioré la densité valeurs plus loin.

3. Le traitement alcalin des fibres a éliminé l'hémicellulose, lignine et autres impuretés de la surface de la fibre et a rendu la surface de la fibre lisse. Cela a conduit au mieux interface de matrice de fibre, caractéristiques de mouillage de fibre et liaison. Le spectre FT-IR a également confirmé la suppression d'hémicelluloses, de lignine et d'autres impuretés de surface provenant la surface de la fibre. Une forte liaison hydrogène a également été remarquée sur les fibres traitées, ce qui a facilité une meilleure mécanique propriétés de la fibre.

4. Les valeurs de force de traction et de ténacité de 5% d'alcali traité les fibres étaient plus élevées que celles du brut, 10% et 15% d'alcali fibres traitées. La résistance à la traction de l'alcali à 5% traité les fibres ont été observées comme étant supérieures à celles du brut, 10% et 15% de fibres traitées alcalines. Une valeur de ténacité plus élevée a été remarquée pour 5% de fibres traitées alcalines. Il a été prédit que 10% et le traitement à 15% d'alcali était fort et causait des dommages aux fibres, donnant ainsi une résistance à la traction inférieure.

11/- ANALYSE STATISTIQUE ET EFFET DES TRAITEMENTS CHIMIQUE SUR LE COMPORTEMENT PHYSICO-MECANIQUE DES FIBRES DES BRAS DE GRAPPE DES PALMIERS DATTIER.[25]

Les composites à base de fibres végétales trouvent de plus en plus des applications industrielles et leurs utilisations augmentent de jour en jour. Les principales raisons sont la disponibilité d'un grand éventail de fibres végétales, le respect de l'environnement et la recyclabilité quand ils sont combinés avec des polymères adéquats. L'incorporation des fibres végétales à savoir le lin [77], le chanvre [78], le jute [79], le ramie [80], le sisal [81], le kenaf [82], le coco [83], le abaca [84] et d'autres fibres, dans des matériaux thermoplastiques ou thermodurcissables en remplacement des fibres de verre est un concept qui commence à être industrialisé et commercialisé.

Dans ce travail, les auteurs proposent une méthode d'extraction des fibres du bras de palmier dattier par NaOH solution de 1 et 2% de concentration pendant les durées d'immersion de 48 et 72 h à la température ambiante.

Ce travail, qui s'intéresse à l'influence des traitements chimiques par le NaOH sur les propriétés physico-mécaniques des fibres des bras de grappe des palmiers dattiers a permis de dégager les principaux points suivants :

- Le traitement chimique par le NaOH a un effet sur les essais par DRX : le traitement à 2% de NaOH pendant 48h a donné une augmentation du taux de cristallinité de 32,43% par rapport à la fibre non traitée.
- Le traitement par le NaOH permet d'améliorer les propriétés mécaniques. Le meilleur cas est obtenu suite à un traitement par le NaOH avec une concentration de 2% pendant 48h qui permet une augmentation de 131% de la contrainte à la rupture et de 98% de la valeur du module de Young par rapport aux fibres non traitées.

12/-L'EFFET DU TRAITEMENT A L'ALCALIN DE L'INTERFACE DES FIBRES DE BAMBOU [26]

Ces dernières années, les fibres naturelles ont reçu plus attention comme renforts pour composites polymériques. En effet, les fibres naturelles présentent les avantages de faible densité, faible coût, renouvelable, recyclable et biodégradabilité [85]. Polymères de renforcement avec naturel les fibres produisent des composites de faible poids et coût et respectueux de l'environnement [86].

Cependant, les fibres naturelles sont hydrophiles, dans lesquelles elles présentent un niveau élevé d'absorption d'humidité et une mauvaise mouillabilité [87,88].

Dans le présent travail, le potentiel de l'utilisation de fibres de bambou comme renfort pour le polyester les composites ont été évalués. Deux types de fibres de bambou ont été utilisées: non traitées et traitées avec différentes concentrations de NaOH (1, 3 et 5%).

De cette étude, plusieurs points peuvent être conclus comme suit:

1. Le traitement alcalin augmente la tension à la rupture et ductilité par rapport à celles non traitées. cependant, densité, limite d'élasticité, résistance ultime à la traction, et le module de Young est abaissé.

2. Une concentration plus élevée de NaOH améliore le rendement résistance, résistance à la traction ultime et Young module de la fibre, mais abaisse la densité et tension à la rupture.

13/- ENQUÊTES SUR LE JUTE POLYESTER RENFORCÉ DE FIBRES COMPOSITES: EFFET DE TRAITEMENT ALCALIN ET REVÊTEMENT POLY (ACIDE LACTIQUE) [27]

De nos jours, la sensibilisation à l'environnement s'est accélérée chez les chercheurs développer des composites biodégradables en utilisant des renforts biodégradables et polymères biodégradables à la place des polymères à base de pétrole [89]. Fibres naturelles peut être considéré comme l'un des matériaux de renforcement écologiques qui ont la capacité de remplacer les fibres synthétiques en raison de sa capacité mécanique acceptable performance.

Les fibres de jute ont été immergées dans une solution de NaOH à 5% à 30 ° C pendant 30 minutes. Les fibres ont ensuite été lavés plusieurs fois avec de l'eau distillée suivi d'une immersion des fibres dans du HCl très dilué afin d'éliminer le NaOH adhérant à la surface des fibres. Enfin, les fibres ont été à nouveau lavées plusieurs fois avec de l'eau distillée et puis séché dans une étuve à air chaud maintenue à 70 C pendant 24 h.

Dans la présente étude, un nouveau traitement physique consistant en un revêtement PLA réalisée sur l'absorption d'eau, les résistances mécanique et thermique.

Les propriétés du composite de polyester renforcé de fibres de jute sont présentées. Le principal l'objectif de ce traitement était de réduire les limites des composites de jute afin qu'ils peuvent être utilisés dans des applications d'ingénierie avec de meilleures performances mécaniques. Un effet positif du traitement a été observé en termes d'augmentation significative du propriétés mécaniques, thermiques et de résistance à l'eau. Composite de jute traité alcalin les fibres avec revêtement PLA (JT3) ont fourni les meilleures performances mécaniques, thermiques propriétés de stabilité et de résistance à l'eau. Généralement, des traitements chimiques ont été effectués pour améliorer les performances mécaniques des bio composites, mais dans certains cas, la résistance aux chocs a diminué après le traitement, ce qui montre un effet du traitement chimique.

14/- ETUDE FONDAMENTALE SUR L'EFFET DU TRAITEMENT ALCALIN SUR LES STRUCTURES ET LES COMPORTEMENTS DES FIBRES NATURELLES [14]

Sensibilisation accrue à l'environnement les types non biodégradables de déchets de polymères ont causé recherche de ressources renouvelables et biodégradables. Le développement de polymères biodégradables est devenu un des principaux domaines d'intérêt pour les chercheurs. Ça peut venir de différentes perspectives telles que la capacité de processus, compatibilité, durabilité et capacité d'usure. En raison de son polymère naturel de coût relativement élevé tel que poly-lactique l'acide (PLA) ne peut pas concurrencer économiquement des polymères conventionnels tels que le polypropylène (PP) [90].

En bref, changement de structure et de élimination des couches cellulaires externes, cellulose, hémicellulose, lignine, cires et autres impuretés pendant l'alcalin le traitement a affecté l'amélioration de l'adhérence interface des fibres. Cela crée des formes rugueuses, vides et tortueuses structure des fibres qui créent différents naturels fréquences qui permettaient différentes vibrations et sons absorption. Les surfaces rugueuses ont entraîné une meilleure adhérence entre fibre et polymères.

15/- AMÉLIORATION DES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES EN ÉPOXY RENFORCÉ DE FIBRES NATURELLES COMPOSITES PAR TRAITEMENT ALCALIN [30]

Composites polymères renforcés de fibres synthétiques (FRP) avec une résistance et une rigidité élevées ont été largement utilisés au cours de la dernière décennie dans l'aérospatiale et l'automobile industries [91]. Ces dernières années, l'utilisation des biofibres pour remplacer les fibres synthétiques de carbone / verre comme renfort dans les composites polymères a gagné en popularité dans l'ingénierie applications en raison de l'augmentation de l'environnement préoccupation [92, 93]. L'avènement et l'application de la nanotechnologie ont suscité un regain d'intérêt pour les bio-composites qui montrent un potentiel prometteur pour la prochaine génération de matériaux de structure.

échantillons traités aux alcalis, ces tissus et fils ont été lavés trois fois avec eau douce pour éliminer les contaminants, puis séchée à température ambiante pendant 48 h. Les tissus et fils séchés ont ensuite été immergés dans une solution de NaOH à 5% en poids (20 C) pendant 30 min, puis lavé 10 fois avec du eau et ensuite trois fois avec distillé eau, pour

éliminer la solution d'hydroxyde de sodium restante. Enfin, ces tissus et fils ont été séchés à 80 C au four pendant 24 h.

Composites époxy renforcés en lin, lin et bambou ont été fabriqués à l'aide du VBT. L'influence du traitement alcalin sur les propriétés de traction des fils simples, les morphologies de surface et les propriétés mécaniques des composites ont été étudiées. L'enquête révèle:

1. Le traitement alcalin avec une solution de NaOH à 5% en poids a un effet négatif sur la résistance à la traction et le module de fils de lin, de lin et de bambou à un brin. Le mécanisme de défaillance du simple brin naturel les fibres sous tension sont la combinaison de fibres casse et glissement.
2. Le traitement alcalin augmente considérablement la traction résistance et module, résistance à la flexion et module de tous les composites renforcés de tissu.

Cependant, la contrainte de traction et la contrainte de flexion de le composite a augmenté légèrement.

3. En tension, le lin, le lin et le bambou sont renforcés les composites présentent la fracture fragile typique mode. Caractéristiques du composite renforcé de tissu de lin la plus grande résistance à la traction ultime, et le lin les composites renforcés de tissu offrent la plus grande résistance contrainte de rupture.

16/- EFFET DE LA TENEUR EN FIBRES ET DU TRAITEMENT ALCALIN SUR LES PROPRIÉTÉS DE L'ÉPOXY PARTIELLEMENT RENFORCÉ ROYSTONEA REGIA COMPOSITES BIODÉGRADABLES [31]

Aujourd'hui, les composites polymères sont utilisés pour une large gamme de applications. Cependant, ils ne subissent pas de biodégradation facilement, ce qui entraîne la génération de déchets solides, qui provoque une pollution de l'environnement. Pour relever ce défi, les chercheurs concentrent leur attention sur la production de produits biodégradables composites avec fibres / tissus naturels. Tel les composites sont appelés composites verts.

La fibre sèche a été traitée avec une solution à 5% de NaOH pendant 2 h pour éliminer la cellulose soluble indésirable, l'hémi-cellulose, pectine, lignine, etc. Le rapport pondéral

fibre / solution a été maintenu à 1:25. Après 2 h, la fibre a été soigneusement lavée dans de l'eau distillée pour éliminer l'excès de NaOH et séché à 60 ° C pendant 24 h.

Résistance à la traction, module de traction et pourcentage d'allongement de Roystonea regia naturel non traité et alcalin les composites époxy renforcés de fibres ont été augmentés avec augmentation de la teneur en fibres et sont les plus élevés à 20%. Fibre contenu. Les composites de fibres traitées aux alcalis ont montré une propriétés de traction que les composites non traités. Aussi la résistance à la flexion et le module de flexion des non traités et les composites de fibres traités aux alcalis ont été augmentés avec augmentation de la teneur en fibres et sont les plus élevés à 20%. Fibre contenu. Les composites traités aux alcalis ont montré une propriétés de flexion que les composites de fibres non traitées. Pour composites de fibres non traités et traités aux alcalis, il y a une augmentation de la résistance aux chocs avec une augmentation de la teneur en fibres et s'est avérée être la plus élevée à 20% en poids. teneur en fibres. Mais, la résistance aux chocs des composites de fibres traités aux alcalis était diminué à toutes les teneurs en fibres par rapport au composites de fibres non traitées. L'étude a démontré queComposites époxy renforcés de fibres naturelles Roystonea regia pourrait être produit avec succès avec une bonne mécanique propriétés et les propriétés de traction et de flexion peuvent être encore amélioré par un traitement alcalin. Cette étude aussi révèle que la force maximale et la ténacité maximale ne peut pas être réalisé simultanément et des combinaisons optimales des propriétés mécaniques souhaitées ne sont possibles que grâce à une conception soignée des composites.

17/- INFLUENCE DES TRAITEMENTS DES FIBRES SUR LES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DE LA COURTE SANSEVIERIA COMPOSITES CYLINDRICA / POLYESTER [34]

La préoccupation écologique a suscité un regain d'intérêt pour matériaux polymères naturels. Fibres naturelles comme le lin, le chanvre, le sisal et le jute sont des alternatives intéressantes et écologiques à l'utilisation du verre fibres pour renforcer les composites techniques à base de polymères [94, 95]. Les avantages des composites de fibres naturelles comprennent une haute spécificité résistance et module, faible coût, poids léger, recyclabilité, biodégradabilité, absence de risques pour la santé et nature non abrasive [96,97]. L'excellent rapport qualité-prix et le faible poids des fibres naturelles combiné à leur respect de l'environnement sont très importants pour leur acceptation sur les marchés de l'ingénierie à

grand volume, tels que les industries de l'automobile, de l'aérospatiale et du bâtiment [98-100]. Dans la présente étude, pour améliorer la liaison interfaciale entre les fibres *Sansevieria cylindrica* (SCF) et le polyester matrice, des traitements chimiques de surface ont été effectués sur les fibres. Traitements notamment alcalins, du peroxyde de benzoyle, du permanganate de potassium et de l'acide stéarique ont été réalisés pour modifier la surface des fibres. Les SCF ont été trempés dans un récipient en acier inoxydable contenant 10% solution d'hydroxyde de sodium pendant 1 h. Les fibres ont été soigneusement lavées avec de l'eau pour éliminer l'excès d'hydroxyde de sodium sur les fibres. Le lavage final a été fait avec de l'eau contenant un peu d'acide acétique. Les fibres ont été séchées dans un four à air à 70 ° C pendant 3 h.

Les conclusions suivantes ont été tirées des résultats des tests.

1. Les propriétés mécaniques des composites SCFP traités étaient trouvés supérieurs à ceux des composites USCFP.
2. Les composites PSCFP possédaient la résistance maximale à la traction et un module d'environ 142 MPa et 1,2 GPa, respectivement, par rapport aux autres composites SCFP traités. Les composites PSCFP ont produit la résistance à la flexion maximale, le module de flexion, la résistance à l'impact et la dureté, par rapport aux autres SCFP traités.
3. L'analyse SEM a montré que l'interaction entre les USCF / Les ASCF / BSCF / SSCF et la matrice polyester sont médiocres. La traction et les fractographies d'impact de l'USCFP, de l'ASCFP, du BSCFP et du SSCFP. Les composites ont montré que le décollement fibre / matrice, l'arrachement de la fibre, la fracture de la matrice et la fracture de la fibre se sont produites sous la traction et le chargement d'impact. Il est également révélé de la traction et des fractographies d'impact de composites PSCFP que le mouillage de la fibre par la résine polyester était bon. Les fractures de matrice et de fibre étaient des mécanismes de défaillance prédominants dans les composites PSCFP courts sous charge de traction et d'impact.
4. Comparativement, la quantité maximale d'eau à la fois à froid et à l'état chaud a été absorbée par les composites USCFP. Le produit chimique des traitements utilisés dans cette recherche diminue l'absorption d'eau des composites SCFP. Les composites PSCFP ont montré un minimum d'absorption d'eau par rapport à d'autres SCFP traités.

5. En raison de l'existence d'une bonne liaison interfaciale entre les PSCF et à matrice polyester, les composites PSCFP offrent des propriétés mécaniques. De cette recherche, il est révélé que le traitement au permanganate de potassium est le traitement chimique idéal pour que les SCF obtiennent des propriétés mécaniques optimales Composite SCFP.

18/- MERCERISATION DE LA CELLULOSE: 2. LE MORPHOLOGIE DU COTON MERCERISE CELLULOSE [36]

Le processus de conversion de la cellulose I en cellulose II par le gonflement de la soude caustique concentrée est connu sous le nom de mercerisation. Dans le premier de ces deux articles, nous avons montré par X-ray méthodes dont cette conversion implique un changement de parallèle au tassement antiparallèle de la cellulose adjacente Chaînes. Les données radiographiques montrent également que le processus est accompagné par des changements dans le degré d'orientation et la taille des cristallites fibreuses. Dans le présent document, nous rapportons notre travail en microscopie électronique pour examiner les changements morphologie produite lors de la mercerisation, et d'interpréter ceux-ci en termes de mécanisme de conversion.

Il a été démontré que la cellulose de coton mercerisée se compose de microfibrilles flexibles qui sont similaires en dimension aux microfibrilles rigides de coton natif. Les microfibrilles de coton mercerisé sont lisses et complètement différent en apparence des structures shish-kebab observées par Chanzy et Roche pour la cellulose mercerisée Valonia. le traitement par ultrasons montre que le coton mercerisé les microfibrilles sont constituées d'un réseau fibreux interconnecté.

Du coton indigène de la variété Hopi Acala a été reçu de Dr P. In, béliér, Laboratoire Camille Dreyfus, Caroline du Nord, USA et purifié dans des conditions humides 8. Mercerisation a été réalisée en immergeant une partie du coton purifié capsule, dans des conditions détendues, dans de la soude aqueuse à 22% pendant 4 h, suivi de lavages successifs de 5 min en distillerie eau, acide chlorhydrique dilué et eau distillée. Dans afin d'atteindre un degré élevé de conversion, six de ces mercerisation cycles ont été effectués, avec le coton maintenu dans des conditions humides partout. On trouve gonfler avec de l'hydroxyde de

sodium aqueux 12, montre que le gonflement entraîne une augmentation de l'espacement du plan 110.

Cela correspond à une augmentation de l'espacement entre 'feuilles' ou 'piles' de chaînes de cellulose le long de la courte diagonale de la projection ab de la maille élémentaire. Ainsi il apparaît que les solutions d'hydroxyde de sodium gonfle le cristallin structure native en cassant l'hydrogène intermoléculaire obligations dans les avions 020. Le plan 110 contient une feuille (ou pile) de chaînes maintenues ensemble par les forces hydrophobes 14 entre les "surfaces" des anneaux de glucose, ce qui maintiendra l'intégrité des feuilles à l'état gonflé. Avant de gonfler, ces feuilles de chaînes dans le natif des fibrilles élémentaires sont parallèles (c'est-à-dire qu'elles ont le même sens) avec respect de l'autre. Introduction de l'agent gonflant briserait les fibrilles élémentaires en feuilles séparées et, lorsque l'agent gonflant est éliminé, une feuille donnée peut ne pas recombinez avec ses feuilles voisines précédentes, mais avec autres draps à proximité. Bien que toutes les feuilles d'un seul les fibrilles élémentaires ont la même polarité, celles du voisinage les fibrilles élémentaires peuvent avoir le même ou l'opposé polarité. Recombinaison avec une feuille de polarité opposée conduira à la structure cellulose II. En fait, depuis la structure cellulose II semble la plus favorable sur le plan énergétique, l'agrégation des feuilles antiparallèles se produira en faveur d'agrégation de feuilles parallèles. Avec un tel mécanisme pour la mercerisation, le pliage de la chaîne ne doit pas être invoqué, mais plutôt une inter digitation de chaîne étendue feuilles antiparallèles.

Les fibres composant le réseau semblent plus fines que les fibrilles élémentaires d'origine et peut être un agrégat de seulement quelques feuilles. Une feuille individuelle n'a pas besoin d'être agrégés dans la même fibre sur toute sa longueur, qui pourrait conduire au type de réseau à micelles frangées vu dans les spécimens soniques. De plus, le gonflement peut ne pas séparer toutes les feuilles, et ces régions non séparées produisent également les points de liaison. La nécessité de réorganiser les feuilles de parallèle à anti parallèle l'emballage peut expliquer la difficulté dans mercerisation Valonia et coton tendu. En Valonia les cristallites sont grandes et un réarrangement plus étendu est nécessaire pour une feuille pour trouver un voisin antiparallèle. Application de la tension sur le coton réduirait la mobilité des feuilles. Dans les deux cas, la conversion complète n'est pas atteinte, même après de nombreux traitements. En Valonia la conversion conduit à une structure shish-kebab qui suggère que le réarrangement des feuilles n'est pas un mécanisme de conversion réalisable dans ce cas.

19/- EFFET DU TRAITEMENT DE SURFACE SUR LES PERFORMANCES DE LA FEUILLE D'ANANAS COMPOSITES FIBRE-POLYCARBONATE [37]

De nos jours, les fibres naturelles [101] telles que le chanvre, le jute, la paille de riz, le bois, le bambou, etc. a attiré l'attention comme alternative au synthétique fibre en utilisant la fibre naturelle comme charge ou renfort en plastique pour réduire les coûts, augmenter la productivité et améliorer la mécanique propriétés du produit. Le mélange, en particulier avec du bioplastique, conduit à composite vert facile à dégrader par des bactéries ou des enzymes [102,103]. Cependant, un problème important pour l'utilisation de la fibre comme renforcement en plastique est une mauvaise adhérence entre la fibre naturelle et le polymère matrice. Il est également rapporté par Abdelmouleh et al. [104], parce que la fibre a une faible interaction avec la matrice, transfert de charge de la matrice vers la fibre n'est pas bon. Par conséquent, la surface de la fibre doit être modifiée pour réduire la polarité de la fibre et donc la compatibilité au niveau de la région d'interface est amélioré. Les méthodes de modification sont le traitement alcalin [105,106], greffage avec un copolymère d'anhydride maléique [107] et utilisation de silane agent de couplage [108-110].

Les fibres de feuilles d'ananas ont été lavées et immergées dans l'eau pendant 24 h à température ambiante. Ensuite, les fibres ont été lavées avec de l'acétone et séchées à l'étuve à 120 C pendant 3 h. Après cela, les fibres étaient immergées dans une solution de NaOH (5%) dans un bain-marie à 30 C pendant 5 h. Ensuite, les fibres ont été lavées avec de l'eau distillée jusqu'à ce que tout NaOH a été éliminée, c'est-à-dire jusqu'à ce que cette eau n'indique plus aucun l'alcalinité. Après lavage, les fibres ont été séchées dans une étuve à 60 C pendant 3 h.

Les composites silanisés ont un module inférieur à celui des composites traités au NaOH à partir d'une formation de polysiloxane flexible. Pour la traction résistance des composites, les valeurs ont montré une légère augmentation avec l'incrément du contenu PALF. À 20% de teneur en fibres,

-Les composites ont montré une diminution de la résistance à la traction. Cela pourrait s'expliquer par une quantité abondante de fibres qui peuvent agir comme des défauts dans la matrice. Ainsi, le contenu vide supérieur pourrait se produire et finalement se refléter sur la faible interface interfaciale force de la matrice. Allongement à la rupture et résistance aux

chocs des composites a diminué de manière significative. La tendance était également la même pour tous les alcalins déterminés et composites silanisés, c'est-à-dire allongement à la rupture ainsi que la résistance aux chocs avait diminué avec la quantité plus élevée de PALF présence de contenu. La stabilité thermique des composites diminue .

20/- PROPRIETES DE FLEXION DES COMPOSITES KENAF / EPOXY TRAITES ET NON TRAITES[38]

Ces dernières années, les fibres naturelles attirent une attention considérable comme candidat de remplacement pour les fibres synthétiques. Les applications de fibres naturelles se développent dans de nombreux secteurs comme l'automobile, mobilier, emballage et construction. Cela est principalement dû à leurs avantages par rapport aux fibres synthétiques, c'est-à-dire faible coût, faible poids, moins de dommages à l'équipement de traitement, amélioration de la finition de surface de pièces moulées composites, bonnes propriétés mécaniques relatives, ressources abondantes et renouvelables [111,112] De nos jours, les fibres végétales sont les fibres naturelles les plus couramment utilisées telles que le sisal, le jute, la fibre de coco et fibres de lin utilisées comme renfort et charge pour le polymère matériaux composites. Le concept principal de renforcement du polymère avec ces fibres sont destinées à améliorer les propriétés mécaniques des polymères, c'est-à-dire des propriétés de traction, d'impact et de flexion [113,114].

Dans les travaux actuels, propriétés de flexion des composites époxy renforcés de fibres kénaf longues unidirectionnelles (KFRE) sont étudiés. Les fibres de kénaf ont été préparées en deux types non traitées et traitées (avec 6% NaOH). Le mécanisme de défaillance et les caractéristiques de dommage des matériaux ont été classés avec la surface observation au microscope électronique à balayage (SEM). Les résultats ont révélé que le renforcement de l'époxy avec des fibres de kénaf traitées augmentait la résistance à la flexion du composite d'environ 36%, tandis que, non traitées fibres ont introduit une amélioration de 20%. Cela était principalement dû à la forte amélioration du traitement chimique (NaOH) sur l'adhérence interfaciale des fibres et la porosité des composites qui ont empêché le décollement, les décollements ou l'arrachement des fibres.

Les fibres de kénaf brutes ont été fournies par la recherche agricole malaisienne et Institut de développement (MARDI). Les fibres fournies ont été lavées à la main et séchées à température ambiante pendant 48 h. La densité des fibres de kénaf est d'environ 620,26 kg /

m3. Portion des fibres nettoyées ont été traitées avec une solution de NaOH à 6%. dans le processus de traitement NaOH, les fibres ont été chauffées dans une solution de NaOH à 6% pendant 24 h, puis lavé et séché à l'étuve à 40 C pendant 24 h.

Les points suivants sont tirés des résultats expérimentaux:

* Les propriétés de flexion du composite KFRE sont fortement influencées par les caractéristiques de surface de la fibre de kéraf. Traitement NaOH fortement amélioré l'adhérence interfaciale de la fibre avec la matrice menant à de meilleures propriétés de flexion comparées aux fibres non traitées. Trente-six incréments de pourcentage dans la résistance à la flexion du composite époxy obtenue lors du traitement des fibres de kéraf ont été utilisées comme renfort par rapport aux fibres non traitées, qui ne montraient que 20%.

* Dans le cas du KFRE non traité, les mécanismes de fracture étaient décollement, déchirement, décolllements et arrachement des fibres dus à la faible adhérence interfaciale des fibres avec la matrice. Sur l'autre part, le KFRE traité ne présentait qu'une casse à la fin des fibres, c'est-à-dire les fibres traitées, ont pu supporter la charge pendant le test. C'était la raison principale des propriétés de flexion élevées de KFRE traité par rapport au KFRE non traité.

* Le traitement des fibres de kéraf avec du NaOH à 6% divise la fibre de kéraf

faisceaux en fibres fines qui à leur tour ont permis à la résine époxy pour pénétrer dans les faisceaux de fibres conduisant à un verrouillage élevé des fibres de la matrice (forte adhérence interfaciale). cependant, la porosité des fibres kéraf traitées / composite époxy est inférieure aux composites fibre / époxy non traités qui était une autre raison des meilleures propriétés de flexion du traité composite fibre / époxy par rapport au composite non traité.

* Les fibres de kéraf présentaient des propriétés supérieures en tant que renforcement pour composites polymères dans des conditions de charge en flexion par rapport à d'autres types de fibres naturelles. De plus, il y a une impossibilité de remplacer les fibres synthétiques (verre) par du kéraf fibres pour applications flexibles.

21/- LES EFFETS DE L'EXPOSITION AU TREMPAGE DU TRAITEMENT ALCALIN SUR LA RESISTANCE A LA TRACTION DES FIBRES NAPIER[33]

Dans le but de comprendre Les effets du temps de trempage pendant le traitement alcalin de fibre Natural, M.J.M. Ridzuan et al [33] ont apporté Fibre de napier (du Brésil)et l'ont traitée avec 10% de concentration de la solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) à différents moments de trempage exposition; 3, 6, 12, 18 et 24heures A température ambiante. Résultats : Les propriétés de traction de la fibre d'herbe Napier non traitée et traitée avec des solutions aqueuses de NaOH à 10 % ont été étudiées.

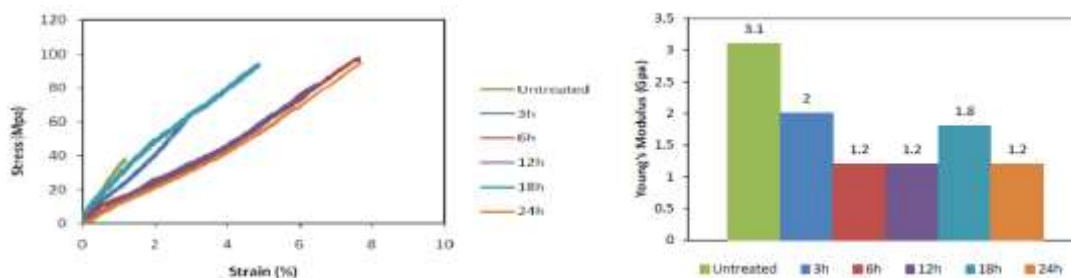


Fig.IV.3 : les réactions stress-déformation de la fibre Fig.IV.4: Module Young de fibres d'herbe Napier traitée et non traitée soumises à des temps de trempage différents pendant le traitement alcalin.

Le temps de trempage de 6 et 24 heures pendant le traitement donne la plus grande résistance. Cependant, la fibre imbibée de 24 heures a été observée avec un degré plus élevé de dommages de textures. Le traitement alcalin a permis d'améliorer la traction résistance des fibres d'herbe Napier. La résistance maximale augmente avec l'augmentation du temps de trempage. L'observation de la surface montre que la texture des fibres a été endommagée avec 18 heures de trempage des fibres traitées et plus.

22/-L'EFFET DU TRAITEMENT ALCALIN SUR LES PROPRIETES MECANIQUES DES FIBRES KENAF ET DE LEUR COMPOSITE EPOXY[23]

Dans le cadre de la recherche pour savoir Les effets du traitement alcalin sur les propriétés mécaniques des fibres de kenaf, V. Fiore et al [23] Ils ont fournie la fibre de kenaf par « Kenaf Eco Fibres Italia S.p.a », et l'ont traitée avec 6% de concentration de la solution

d'hydroxyde de sodium (NaOH) à température ambiante pour deux périodes différentes (48 et 144 h). Les fibres ont été soigneusement lavées avec de l'eau distillée pour éliminer l'excès de NaOH, puis séchées à température ambiante pendant 48 h, puis séchées au four à 100 °C pendant 6 h.

Le traitement chimique des fibres kenaf pendant 48 h a permis de nettoyer leur surface en éliminant chaque impureté alors que 144 h de temps d'immersion ont eu un effet néfaste sur la surface des fibres et, par conséquent, sur leurs propriétés mécaniques. Les fibres de kenaf non traitées et traitées au NaOH (c.-à-d. pendant 48 h) ont également été utilisées comme agent de renforcement de l'époxy composite de résine. L'effet de la séquence d'empilage (c.-à-d. en utilisant des fibres longues unidirectionnelles ou des fibres courtes orientées aléatoirement) et du traitement chimique sur les propriétés mécaniques statiques a été évalué, ce qui montre que les composites présentent des moduli plus élevés par rapport à la résine propre. En ce qui concerne les propriétés de résistance, seuls les composites renforcés de couches unidirectionnelles présentent une résistance supérieure à celle de la résine pure. De plus, le traitement alcalin a augmenté les propriétés mécaniques des composites, grâce à l'amélioration de la compatibilité fibre-matrice.

23/- EFFET DU TRAITEMENT ALCALIN SUR LES STRUCTURES MACROMOLECULAIRES, THERMIQUES ET CRISTALLOGRAPHIQUES DES FIBRES DE PLANTAIN (MUSA PARADISIACA) [32]

Afin d'identifier l'effet de la modification chimique sur les structures macromoléculaires, thermiques et cristallographiques des fibres de plantain, Patrick. E. Imoisili et al [32], Ils ont recueilli du plantain (*Musa paradisiaca*) dans une ferme locale du sud-ouest du Nigeria. Les fibres extraites ont été immergées dans des solutions alcalines contenant 1 %, 3 % et 5 % d'hydroxyde de sodium. La période de trempage des fibres a varié de 1, 2 et 4 h à température ambiante.

L'adéquation du traitement alcalin à la modification de la fibre plantain (*Musa paradisiaca*) a été étudiée (The macromolecular thermal, morphological, and crystallographic structures of the fibres, X-Ray Diffraction (XRD), Fourier Transform Infrared (FTIR), Scanning Electron Microscope (SEM), Thermogravimetric Analysis (TGA) Cela a été fait sur les fibres traitées et non traitées). Les paramètres macromoléculaires de la fibre ainsi que les structures cristallographiques et la morphologie de la fibre ont tous été affectés par la

modification chimique. L'amélioration de la stabilité thermique ainsi que l'augmentation du degré de cristallinité, de la taille de la cristallite et de la masse volumique ont été observées après un traitement optimisé (3N4). Les micrographies SEM ont confirmé des changements sur la surface des fibres, car elles sont devenues plus rugueuses après le traitement. La réduction des groupes hémicellulose et lignine dans la fibre a été confirmée par les spectres FTIR après traitement alcalin. Cependant, une période de trempage excessive à forte concentration a causé la dégradation des fibres.

24/-EFFECTS DE TRAITEMENT ALCALIN POUR RENFORCER LES PROPRIETES DE TRACTION DES COMPOSITES VERTS DE FIBRE DE CURAUA[35]

Cette étude a utilisé des curaua fibers (fournis par POEMA de l'Université para-fédérale du Brésil) comme matériau d'essai. Un traitement alcalin a été appliqué sur la surface du curaua afin d'améliorer ses propriétés mécaniques. Alexandre GOMES et al[35] Ils ont effectué le traitement par immersion de petits groupes de fibres dans les solutions de NaOH de 5 %, 10 % et 15%. Les temps de traitement étaient de 1 et 2 heures. Ces différentes concentrations de solutions élucidé effets de concentration alcaline sur les propriétés mécaniques de curaua fibers.

Cette étude montre les effets du traitement alcalin sur les propriétés de traction du curaua-fiber renforcé biodégradable résine-matrice composites. Les résultats obtenus sont les suivants :

Les curaua fibers ont été traités à l'aide de solutions d'hydroxyde de sodium à 5%, 10% et 15% pendant 1 h et 2 h. Les propriétés mécaniques des curaua fibers non traités et traités alcalins ont été étudiées à l'aide d'essais de traction et d'observations SEM. La résistance à la traction a diminué pour les fibers traités par rapport aux fibers non traités, tandis que la contrainte de rupture a augmenté pour les fibers traités alcalins. La déformation de rupture des fibers traités pendant 2 h avec une solution de NaOH à 15 % a été atteinte près de 0,09, soit environ le double de ce qu'il est pour les fibers non traités.

Les observations SEM ont révélé des structures de curaua non traitées et traitées. La structure d'un bois unique non traité est en fait un faisceau de petits bois simples qui sont collés et recouverts de lignine (structure composite). L'action de traitement alcalin change la structure d'origine en un faisceau de bûches simples (structure de faisceau) qui sont à peine liées par une très petite quantité de lignine.

Cette étude a fabriqué des composites renforcés par des fibres non traités et renforcés par des fibres traités pendant 2 h dans une solution de NaOH à 10 %. Leurs propriétés mécaniques ont été étudiées et comparées par des essais de traction. Les résultats ont montré que la résistance à la traction des composites traités alcalins est légèrement supérieure à celle des composites non traités, alors que la déformation par rupture est considérablement améliorée pour les composites traités alcalins par rapport aux composites non traités.

Les grains de curaua non traités et traités alcalins à 5 % ont montré une plus grande résistance spécifique que les grains de verre résistants aux alcalins. La performance supérieure des curaua fibres en termes de résistance spécifique implique que leur utilisation comme renforcement peut produire des composites plus légers que l'utilisation de GFRP.

25/-TRAITEMENT DE SURFACE DES FIBRES ET SON EFFET SUR LE COMPORTEMENT MECANIQUE ET VISCO-ELASTIQUE DU COMPOSITE BANANE/EPOXY [39]

Dans ce travail, N. Venkateshwaran et al [39] ils utilisent des alcalis (NaOH) de différentes concentrations (0,5%, 1%, 2%, 5%, 10%, 15% et 20%) pour traiter la surface des fibres pendant 30 min.

L'étude montre que le traitement alcalin joue un rôle important dans l'amélioration des propriétés mécaniques et en diminuant le taux d'absorption d'humidité du composite orienté aléatoirement et du composite tissé.

Parmi les différents pourcentages de traitements alcalins, on constate que 1% offre de meilleures propriétés mécaniques. L'augmentation de la concentration alcaline entraîne des dommages à la surface des fibres, ce qui diminue les propriétés mécaniques du composite. Ceci est évident à partir des images du microscope électronique à balayage. Le traitement au NaOH à 1 % entraîne une augmentation de près de 50 % des propriétés du composite par rapport au composite renforcé de fibres non traité. Ce travail indique que le traitement alcalin est moyen simple et efficace d'améliorer les propriétés mécaniques et de diminuer le taux d'absorption d'humidité de la fibre naturelle composite par rapport à d'autres traitements chimiques.

26/-EFFET DE LA CHARGE EN FIBRES ET DES TRAITEMENTS CHIMIQUES SUR LES PROPRIETES THERMOPHYSIQUES DE LA FIBRE DE BANANE/POLYPROPYLENE MELANGE DES MATERIAUX COMPOSITES [40]

Sherely Annie Paul et al [40], ont obtenu des fibres de bananes de Sheeba fiber and Handicraft, Poovancode, Tamilnadu, India, Inde. Et l'ont traitée avec des traitements chimiques différents.

Traitement alcalin : Les fibres hachées ont été trempées dans un récipient en acier inoxydable contenant alcali à des concentrations différentes (2 % et 10 %) pendant 1 h à température ambiante.

Traitement du chlorure de benzoyle : Les fibres de banane hachées (6 mm) ont été trempées dans une solution de NaOH à 2 % pendant une demi-heure et bien agitées avec du chlorure de benzoyle pendant 30 min. Les fibres ont ensuite été lavées à l'eau séchées dans un four à air à 70 C pendant 3 h.

Traitement KMnO₄ : Les fibres alcalines traitées ont été trempées dans 0,5 % de KMnO₄ dans de l'acétone pendant une demi-heure. Les fibres ont été décantées et séchées à l'air.

Traitement au silane : Les fibres de banane ont été trempées dans le mélange alcool/eau dans le rapport (6:4) contenant l'agent de couplage silane (TEOS). Le pH de la solution a été maintenu à une valeur de 4 par addition d'acide acétique. Les fibres ont été laissées là pendant 1 h 30 min. Le mélange éthanol/eau a été séché dans l'air pendant une demi-heure, puis séché dans le four à air à 60 °C pendant 1 h.

Résultats : Des composites courts en fibres de PP/banane, orientés aléatoirement, ont été préparés à partir de fibres de PP courtes mélangées et de fibres de banane. Les propriétés thermophysiques des composites ci-dessus ont été étudiées sur la base de différentes charges de fibres de banane et de différents traitements chimiques donnés aux fibres de banane. L'incorporation de fibres de banane dans la matrice PP a induit une diminution de la conductivité thermique effective du composite. L'utilisation du modèle de conduction de série théorique a permis d'estimer la conductivité thermique transversale des composites de fibres de banane non traités. Comme nous nous y attendions, le modèle de série semble suffisant pour l'estimation efficace de la conductivité thermique de ce type de composites. Tous les traitements chimiques ont amélioré à la fois la conductivité thermique et le composite considérablement à des degrés divers. Cela indique que le traitement chimique permet un

meilleur contact entre la fibre et la matrice et réduit considérablement la résistance au contact thermique. Néanmoins, une augmentation significative de la conductivité thermique n'est observée que pour les composites de fibres traitées aux benzoylés et au NaOH à 10 %. En outre, les variations de densité et de chaleur spécifique sur le traitement chimique des fibres sont faibles par rapport à leurs incertitudes associées.

27/- ELABORATION, ANALYSE ET MODELISATION MECANIQUE NUMERIQUE D'AGROCOMPOSITES A BASE DE FIBRES COURTES D'ALFA [41]

Dans la présente étude, Fatima-ezzahra El-Abbassi et al [41] ont traitée la fibre d'alfa avec 10% en NaOH à température ambiante pendant 24 h. Enfin, les fibres sont lavées plusieurs fois avec l'eau distillée et séchées à l'étuve pendant 12 h à une température de 105°C.

la fibre courte d'alfa traité à utiliser comme renfort de composés composites à base de matrice PP. L'objectif sera de développer par la suite une démarche Essai-Calcul, confrontant une caractérisation mécanique d'agrocomposites

PP-Alfa injectés à deux types de modélisation comportementale, l'une micromécanique basée sur le modèle de Mori-Tanaka, et l'autre numérique utilisant une approche originale basée sur une technique dite de fibre projetée.

28/- L'EFFET DES TRAITEMENTS DE SURFACE DES FIBRES SUR LES PROPRIETES MECANIQUES DE COMPOSITES POLYESTER-FIBRES ALFA [42]

M. Rokbi et H. Osmani [42] ont traitée la fibre d'alfa avec des solutions de NaOH à différentes concentrations (1, 5 et 10%) et durant des périodes d'immersion de 0, 24 et 48h. Après traitement, les fibres sont rincées à l'eau distillée. Les traces de NaOH sont neutralisées par une solution d'eau distillée à 2% d'acide sulfurique durant 10 min. Par la suite, les fibres sont séchées à 60°C pendant 6 heures. Le traitement alcalin élimine une certaine quantité de lignine, de cire et d'impuretés qui recouvrent la surface externe des fibres. 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

En conséquence, ils ont montré que la concentration et la durée du traitement alcalin appliqué sur la fibre ont influencé énormément le comportement de leur composite polyester /Alfa. Ils ont trouvé que le meilleur traitement qui a donné une bonne adhérence et n'a pas endommagé les fibres était avec une concentration de 10% de NaOH pendant une durée de 24 h.

29/-EFFET DU TRAITEMENT DE SURFACE SUR LE COMPORTEMENT MECANIQUE DU COMPOSITE EN POLYOPROPYLENE RENFORCE DE FIBRES DE JUTE[43]

G.B. Nam [43] ont traité la fibre de jute avec des solutions de NaOH à différentes concentrations (1%, 3%, 5%, 7%) à température ambiante pendant 24 h. Après le traitement, les fibres de jute ont été lavées avec de l'eau distillée. Un pH-mètre a été utilisé pour mesurer l'acidité ou l'alcalinité des fibres. Le lavage a été arrêté lorsque le pH a atteint une valeur neutre de près de 7. Enfin, toutes les fibres ont été séchées à 80°C pendant 24 h.

En conséquence, Des expériences ATR-FTIR ont été observées grâce à des analyses SEM que la surface des fibres non traitées est riche en cires et en substances semblables à de la cire, et les traitements ont modifié les caractéristiques de la surface de la fibre, en enlevant la couche de surface extérieure et en produisant une surface de fibre plus lisse et un traitement alcalin avec 5 poids. % NaOH affiche le meilleur résultat.

30/-ÉTUDE L'EFFET DU TRAITEMENT ALCALIN DES FIBRES NATURELLES SUR LE COMPORTEMENT MECANIQUE DU COMPOSITE INSATURE POLYESTER-FIBRE ALFA [44]

Dans ce travail, A. BENYAHIA et al [44] ont traité la fibre d'alfa avec 1, 3, 5 et 7 % de solutions de NaOH à 25 °C pendant 24 heures. Les fibres ont été lavées plusieurs fois avec de l'eau pour enlever toute solution alcaline collant sur leur surface, neutralisée avec de l'acide acétique dilué et ensuite lavée à nouveau avec de l'eau. Enfin, les fibres obtenues ont été séchées à 80 °C pendant 48 h.

En conséquence, Les propriétés de traction et de flexion de leurs composites ont été augmentées après le traitement alcalin et sont devenues meilleures pour un traitement alcalin à 7 %. Par rapport aux composites de fibres non traités, l'augmentation des résistances à la traction et à la flexion de 7% de composites traités étaient respectivement d'environ 30% et

50%, ce qui était dû à une forte amélioration de l'adhérence interfaciale de la fibre avec la résine de polyester. Les analyses SEM ont révélé que le traitement NaOH a modifié la morphologie des fibres. La fibre Alfa peut être obtenue à un coût relativement bas par rapport aux renforts en fibre de verre, et ces fibres ont un avenir très prometteur dans le matériau composite.

31/- EFFET DU TRAITEMENT ALCALIN SUR L'ABSORPTION D'EAU D'UNE FIBRE D'ABACA CELLULOSIQUE [45]

Afin d'identifier l'effet du traitement alcalin sur l'absorption d'eau d'une fibre Naturel, Punyamurthy Ramadevi et al [45] ont apporté Fibre de Abaca (obtenue de la Maruti Peach Finishing Company, Tirupur, Chennai, Inde), et l'ont traitée avec 5, 10, 15, et 20% de concentration de la solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) pendant 72 heures à une température de 30°C. Ils ont été soigneusement lavés dans l'eau du robinet, puis neutralisés avec une solution d'acide acétique à 2 %. Enfin, les fibres ont été lavées à nouveau dans l'eau du robinet pour enlever les dernières traces d'acide qui y adhèrent, de sorte que le pH des fibres était d'environ 7. Ensuite, elles ont été séchées à température ambiante pendant 48 heures pour obtenir des fibres alcalines traitées.

Résultats :

La fibre d'abaca alcaline a montré une absorption d'humidité moindre par rapport à la fibre non traitée

Le traitement alcalin des fibres d'abaca a résisté jusqu'à 67 % d'absorption d'humidité, selon l'étendue du traitement alcalin.

La morphologie de la fibre d'abaca a considérablement changé en raison du traitement alcalin.

32/- EFFET DU TRAITEMENT CHIMIQUE SUR LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES, MÉCANIQUES ET THERMIQUES DE LADIES FINGER NATURAL FIBRE [46]

Dans la recherche actuelle, S. I. Hossain et al [46] ont traité les fibres naturelles obtenues d'une plante ladies finger chimiquement séparément utilisant alcalin (la fibre a été traitée avec une solution de NaOH à 2 % à 70 C pendant environ deux heures et demie), sulfate de chrome (Un traitement à un seul stade (SST), qui est un traitement de base à base de solution de sulfate de chrome (pH4), a été effectué par agitation de 3 heures de fibres dans

4 % de $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 12(\text{H}_2\text{O})$ solution), et sulfate de chrome et sodiumbicarbonate (Le traitement à deux étapes (DST) a été effectué en continuant le 4% $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ Traitement $12(\text{H}_2\text{O})$ avec ajout de solution de NaHCO_3 pendant 2 heures).

La présente recherche a démontré que le traitement chimique a clairement affecté les propriétés thématiques, structurelles et thermiques de la fibre obtenue à partir de l'usine de Ladies Finger. La résistance à la traction des fibres brutes et traitées a diminué, tandis que le module de Young a augmenté avec la longueur de la fibre du Ladies Finger était rugueuse. Le traitement alcalin a augmenté la rugosité de la surface en éliminant l'hémicellulose hydrophile. Les traitements à un étage et à deux étages semblaient diminuer la rugosité de la surface en formant une couche de revêtement sur la surface de la fibre et en améliorant la liaison chimique avec la cellulose de fibre.

33/-EFFET DU TRAITEMENT ALCALIN SUR LA LIAISON INTERFACIALE DANS LES COMPOSITES RENFORCES DE FIBRES D'ABACA [47]

Ming Cai et al [47], Dans cette étude Des fibres d'abaca ont été obtenues des Philippines, et généralement coupées sur une longueur de 20 mm. Les fibres d'abaca (70 à 80 mg) ont ensuite été immergées dans une solution aqueuse de NaOH (100 mL, concentration : 5, 10 ou 15 %) pendant 2 h sous vide (environ 13 kPa) pour assurer une bonne pénétration des solutions alcalines dans les faisceaux de fibres. Les fibres ont ensuite été retirées de la solution alcaline et lavées plusieurs fois à l'eau douce du robinet jusqu'à ce que le pH du liquide de rinçage soit d'environ 7 pour assurer l'élimination complète du NaOH des fibres d'abaca. Enfin les fibres d'abaca ont été séchées dans un four à vide à 80 °C pendant 2 h.

Comme résultat : Les traitements alcalins modifient la structure et la composition chimique des fibres d'abaca, le degré de modification augmentant avec la concentration d'alcalis. L'immersion des fibres d'abaca dans des solutions de NaOH à 5-15 % pendant 2 h entraîne la solubilisation des hémicelluloses et de la lignine des fibres d'abaca, et modifie la structure interne et la morphologie de la surface des fibres. Les faisceaux de fibres d'abaca traités au NaOH à 5 % présentaient une cristallinité élevée en cellulose et une fibrillation minimale, et une excellente adhérence interfaciale avec la résine époxy. Des concentrations plus élevées de NaOH ont réduit la cristallinité de la cellulose et causé la fibrillation des faisceaux de fibres d'abaca. Les changements chimiques de surface associés ont entraîné une faible adhérence des fibres avec la résine époxy. Les résultats suggèrent que les traitements

alcalins à faible concentration sont très bénéfiques pour améliorer les propriétés de surface et les performances des fibres d'abaca pour les applications composites avancées.

34/-EFFET DU TRAITEMENT ALCALIN ET DE LA LONGUEUR DES FIBRES SUR LE COMPORTEMENT D'IMPACT DU COMPOSITE EPOXY RENFORCE DE FIBRE DE COCO [48]

Cette étude présente l'effet du traitement de la longueur des fibres et de l'hydroxyde de sodium (NaOH) sur le comportement d'impact des composites de fibres de coco. A Karthikeyan et K Balamurugan[48] ont traitées Les fibres de coco dans des solutions de NaOH (conc. 2, 4, 6, 8 et 10 %) à température ambiante (27-29°C) pendant 10 jours. Après le traitement alcalin, les fibres ont été immergées dans de l'eau distillée pendant 1 h pour éliminer le NaOH résiduel.

Résultats : La fibre de coco (30 mm) a montré une meilleure résistance aux chocs par rapport aux autres longueurs. La fibre de coco non traitée a entraîné une faible résistance à l'impact due à une mauvaise liaison interfaciale. Cependant, l'adhérence a été améliorée par la modification de surface de la fibre de coco. Aucune différence significative dans la résistance à l'impact du composé n'a été observée pour la concentration de 6 % et de 8 % d'alcali. Lorsque la concentration d'alcali a été augmentée à 10 %, on a observé une diminution de la teneur en fibres. Parmi les composites CF-ER traités alcalins, 6 % des composites alcalins traités présentaient une meilleure résistance aux chocs que les composites CF-ER non traités.

35/-FIBRES NON TRAITEES ET TRAITEES ALCALINES DE LA TIGE ALFA : EFFET DU TRAITEMENT ALCALIN SUR LES CARACTERISTIQUES STRUCTURELLES, MORPHOLOGIQUES ET THERMIQUES [49]

Les tiges d'Alfa sont riches en cellulose et sont une source peu coûteuse et facilement renouvelable de fibres naturelles avec le potentiel de renforcement de polymère. Cependant, de grandes quantités de matériaux non cellulosiques, des impuretés de surface et une faible température de dégradation rendent les fibres naturelles moins attrayantes pour le

renforcement des matériaux polymériques, à moins qu'elles ne puissent être modifiées de manière appropriée. Dans le but d'améliorer la liaison interfaciale, Karama Elfehri Borchani et al [49] ont coupées les tiges d'Alfa en petits morceaux d'environ 3 à 4 cm de longueur, puis elles ont été immergées dans deux concentrations différentes de NaOH (1 et 5 %) pendant 6 h à 60 °C. Les faisceaux de fibres ont ensuite été lavés avec des traitements alternatifs d'acétone et d'eau distillée à température ambiante (24 C).

Dans cette étude, des fibres Alfa ont été obtenues par écrasement de tiges Alfa non traitées, traitées à 1 et 5 % d'alcali. Au moyen de SEM, MO, FT-IR, 13C NMR, XRD, TGA et de l'analyse chimique, il a été possible d'étudier l'effet du traitement sur la morphologie, la structure, la cristallinité, la composition chimique et la stabilité thermique des produits obtenus. La micrographie SEM a révélé une morphologie de surface plus rugueuse pour les tiges Alfa traitées alcalines en raison de l'élimination des constituants non cellululosiques. L'étude microscopique optique a montré que les fibres traitées alcalines non traitées à 1 et 5 % ont, respectivement, une longueur moyenne de 680, 590 et 540 μm , un diamètre moyen de 40, 31 et 26 μm avec un rapport d'aspect de 17, 19 et 21.

L'analyse FT-IR, 13C NMR et chimique a confirmé l'élimination de l'hémicellulose et de la lignine de 5 % de fibres traitées alcalines (respectivement 3,7 % et 0,8 % de l'hémicellulose et de la lignine), mais la présence de faibles quantités d'hémicellulose et de lignine dans les fibres traitées à 1 %. L'analyse de microstructure des fibres par XRD a révélé que le degré de cristallinité augmentait après le traitement alcalin et aucune transformation structurelle de la cellulose I à la cellulose II polymorphe a été observée. La stabilité thermique des fibres a été améliorée après le traitement, en fait la température de dégradation initiale passe de 210 C pour les fibres non traitées à 245 C et 250 C pour les fibres traitées alcalines à 1 et 5 %, respectivement. Ces résultats expérimentaux montrent que le traitement chimique proposé des fibres Alfa les rend appropriées et compatibles pour une utilisation comme additif dans les composites polymères, en particulier parce que la stabilité thermique devient dans la gamme des conditions de traitement communes de thermoplastiques.

36/- ÉTUDE EXPERIMENTALE SUR LES EFFETS DES REACTIFS DE TRAITEMENT DE SURFACE SUR LES PROPRIETES DE TRACTION DES COMPOSITES DE POLYESTER RENFORCE DE FIBRE DE BANANE [50]

L'interaction de la matrice et de la fibre à l'interface entre eux joue un rôle important dans les propriétés mécaniques d'un composite. Pour optimiser l'adhésion fibre-matrice, I.C. Ezema Ike-Eze et al [50] ont traité les fibres de banane avec 2, 4, 6, 8, 10% de concentration de la solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) pendant 1 heure à température ambiante. Après trempage, les fibres ont été lavées individuellement avec de l'eau distillée pour éliminer toute solution alcaline collant sur leur surface, puis neutralisées avec dilué 5% d'acide citrique et réchauffées individuellement avec de l'eau. Enfin, les fibres ont été séchées à l'air libre/au soleil pendant des heures et séchées au four à 60°C pendant 24 heures.

Une étude sur les effets des réactifs de traitement de surface sur les propriétés de traction des composites de polyester renforcés de pseudo-fibres de banane a été réalisée. Le résultat montre que la mercerisation a réduit la résistance à la traction des fibres non traitées, tandis que le traitement ultérieur des fibres mercerisées avec la solution de silane APTES et le sulfite de sodium a amélioré les propriétés de traction des composites renforcés. La concentration de NaOH supérieure à 0,4 M réduit la résistance à la traction et le module de traction du brin de fibre unique tandis que la concentration inférieure à 0,4 M est efficace mais prend plus de temps de trempage pour améliorer les propriétés de traction de la fibre, pour cette raison 0.4M NaOH a été observé la meilleure concentration pour tremper les fibres de banane. Un temps de trempage de 1 heure s'avère également optimal pour la plupart des concentrations de NaOH.

37/-EFFET DU TRAITEMENT CHIMIQUE SUR LES PROPRIETES MECANIQUES ET THERMIQUES DES COMPOSITES SANDWICH THERMODURCIS RENFORCES A LA FIBRE DE CHANVRE [51]

M.M. Kabir et al [51] ont imbibées les fibres de chanvre de solution de NaOH à des concentrations variables de 4 %, 6 %, 8 % et 10 % pendant 3 heures à température ambiante suivi d'un lavage avec de l'eau distillée à plusieurs reprises pour éliminer l'alcali absorbé. Les fibres ont été séchées à la température ambiante pendant 8 heures, puis séchées au four à 100 °C pendant 6 heures.

Résultats : Les composites de fibres traités alcalins ont des propriétés de flexion plus élevées et le traitement au NaOH à 8 % a donné les meilleurs résultats. Dans ce cas, la résistance à la flexion et le module ont été améliorés de 22%. La raison possible de cette

amélioration est que l'alcalisation contribue à améliorer l'hydrophobicité des fibres en éliminant les hémicelluloses, la lignine et d'autres matières cellulosiques de la fibre. Par conséquent, la compatibilité entre la fibre et la résine hydrophile a été améliorée, ce qui a donné lieu à des propriétés mécaniques supérieures.

38/-EFFET DES FIBRES DE JUTE ALCALINES TRAITEES SUR LES PROPRIETES COMPOSITES [52]

DIPA RAY et al [52], Les fibres de jute ont été coupées à 50 cm de longueur et trempées dans une solution à 5 % de NaOH à 30 °C en maintenant un rapport de liqueur de 15 : 1. Les fibres ont été maintenues immergées dans la solution alcaline pendant 2, 4, 6 et 8 heures. Les fibres ont ensuite été lavées plusieurs fois avec de l'eau douce pour éliminer tout collage de NaOH à la surface des fibres, neutralisées avec de l'acide acétique dilué et finalement lavées à nouveau avec de l'eau distillée. Le pH final maintenu était de 7. Les fibres ont ensuite été séchées à la température ambiante pendant 48 h, puis séchées au four à 100 °C pendant 6 h.

Résultat : Les composites renforcés de fibres alcalines ont montré des propriétés mécaniques améliorées. L'amélioration a été maximale pour les composites préparés avec 4 h de fibres traitées à 35 % de charge de fibres. La résistance à la flexion s'est améliorée de 20% et le module de 23%. La résistance et le module des composites se sont avérés inférieurs aux valeurs estimées à partir de la règle générale des mélanges. Pour les composites ayant une teneur en fibres de 35 %, la résistance était inférieure de 29 % et de 16 % pour les fibres traitées non traitées et de 4 h, et le module était inférieur de 51 % et de 37 % pour les fibres traitées non traitées et de 4 h respectivement. Cette réduction de la résistance était due à l'incorporation de défauts dans les composites pendant le traitement. À partir de la règle de mélange modifiée, les défauts ont été estimés à 10 % dans la matrice, 20 % et 85 % dans les fibres non traitées et 4h traitées respectivement.

Le taux de variation de la résistance à la flexion et du module s'est révélé linéaire avec % de fibres traitées alcalines et la pente étant maximale pendant 2 h et minimale pendant 8 h. La variation des pentes du taux de variation de la résistance flexible et du module avec le temps de traitement alcalin a montré deux zones séparées avec une déflexion à 4 h de traitement, ce qui indique la possibilité de deux modes de défaillance différents avant et après

4 h de traitement. Le retrait des fibres a été prédominant jusqu'à 4 h et, par la suite, la déformation transversale s'est produite avec un retrait minimal des fibres en raison de la liaison supérieure et de l'amélioration de la ténacité et de la faible extensibilité des fibres. Un temps de traitement de 4 h a donc été optimal pour obtenir une résistance maximale des composés de vinylester renforcés par des fibres de jute traitées avec une solution à 5 % de NaOH à 30 °C.

39/-L'EFFET DU TRAITEMENT ALCALIN DANS DIVERSES CONDITIONS SUR LES PROPRIETES PHYSIQUES DE LA FIBRE DE KENAF [28]

Mohd Yussni Hashim et al [28] ont traitée la fibre de kenaf avec (2, 6 et 10%)de concentration de la solution d'hydroxyde de sodium (NaOH)pendant (30,240 et 480 minute) à différents température (27, 60 et 100°C).

Résultat : Les effets du traitement alcalin dans diverses conditions de réglage sur les propriétés physiques des fibres de kenaf ont été étudiés.Pour la densité de la fibre de kenaf, il a été constaté qu'une petite augmentation de la densité de kenaf après le traitement alcalin par rapport à la fibre de kenaf non traitée. Lorsque chacun des paramètres de traitement alcalin a augmenté, la densité de la fibre kenaf a également augmenté légèrement.Kenaf perte de poids de fibres présentent également un modèle similaire de petit incrément avec l'augmentation des paramètres de traitement.En outre, le diamètre de la fibre de kenaf et la section transversale montrent un modèle de déclin après traitement alcalin. De plus, cette tendance à la baisse correspondait au niveau croissant des paramètres de traitement alcalin.La réduction maximale du diamètre du kenaf a été enregistrée à un niveau élevé de chaque paramètre de traitement alcalin.

40/-L'EFFET DU TRAITEMENT ALCALIN SUR LA MECANIQUE, PROPRIETES MORPHOLOGIQUES ET THERMIQUES DES FIBRES DE PALMIER DATTIER (DPFS) : ETUDE DE L'INTERFACE DU COMPOSITE DPFEPOLYURETHANE [29]

Cet article se concentre sur l'étude de l'effet des traitements alcalins sur les caractéristiques de liaison des fibres de palmier dattier (DPFs) dans une matrice de polyuréthane (PU). A. Oushabi et al [29] ont traité Les DPFs avec de l'hydroxyde de sodium (NaOH) en diverses concentrations, soit 0 %, 2 %, 5 % et 10 %, Le traitement a été effectué à

25°C pendant 1 h. après que les fibres ont été rincées avec de l'eau distillée plusieurs fois afin d'éliminer le NaOH résiduel, puis séchées dans un four à 80°C pour 24 h.

Dans cette recherche, un traitement alcalin a été effectué afin d'améliorer les propriétés interfaciales de la fibre de palmier dattier et du polyuréthane. Les points suivants ont été conclus :

Le traitement alcalin permet d'éliminer les principales parties de lignine et d'hémicellulose des fibres de palmier dattier.

Les fibres de palmier dattier traitées avec une solution de NaOH à 5 % en poids ont donné une résistance à la traction optimale avec une augmentation de 76% par rapport à la fibre brute. Toutefois, le traitement à 10 % de NaOH entraîne des dommages à la surface des fibres et, par conséquent, une diminution de la résistance à la traction.

L'analyse XRD des fibres a montré que l'augmentation de la résistance à la traction des FPD simples après le traitement alcalin pourrait être liée à l'élimination des cires, huiles et autres impuretés couvrant la surface de la fibre et la transformation de la forme cellulosique de I à II.

L'essai de retrait a été réalisé afin d'évaluer l'interface DPF-PU; les résultats obtenus ont montré que le traitement alcalin peut améliorer efficacement les propriétés interfaciales entre les fibres de palmier dattier et le polyuréthane à 5% de NaOH en solution aqueuse. Cependant, à des pourcentages plus élevés de NaOH, on a constaté que l'IFSS diminuait considérablement en raison des dommages causés par les fibres, ce qui entraînait une faible adhérence de la matrice des fibres.

Le traitement alcalin a permis d'améliorer la résistance thermique des fibres de palmier dattier grâce à l'élimination des couches cireuses et d'autres impuretés de la surface.

III Conclusion

Dans cette recherche, un traitement alcalin a été effectué afin d'améliorer les propriétés interfaciales de la fibre.

Les fibres naturelles sont considérées comme un remplacement potentiel pour fibres synthétiques ou artificielles en matériaux composites. Bien que les fibres naturelles ont l'avantage d'être peu coûteuses et faible densité, ils ne sont pas totalement exempts de problèmes.

Le problème grave des fibres naturelles est leur forte polaritécaractère qui crée une incompatibilité avec la plupartmatrices polymères. Traitements de surface, bien qu'ayant un impact négatif sur l'économie, sont potentiellement capables de surmonter le problème de l'incompatibilité. Chimique les traitements peuvent augmenter l'adhérence de l'interface entre la fibre et la matrice, et diminuent absorption d'eau des fibres. Par conséquent, les traitements chimiques peut être pris en compte dans la modification des propriétés de fibres naturelles.

Certains composés sont connus pour favoriser l'adhérence en couplant chimiquement l'adhésif au matériau tel que l'hydroxyde de sodium, le silane, l'acide acétique,acide acrylique, agents de couplage maléatés, isocyanates,permanganate de potassium, peroxyde, etc. Les méthodes de modification des fibres discutées dans cet article ont des efficacité à provoquer l'adhérence entre la matrice et la fibre. Pourtant, la plupart des traitements chimiques ont atteint divers niveaux de succès dans l'amélioration de la résistance des fibres .

Références bibliographique:

- [1] H. M. Wang, *et al.*, "Removing Pectin and Lignin During Chemical Processing of Hemp for Textile Applications," *Textile Research Journal*, 2003.
- [2] A. K. Bledzki and J. Gassan, "Composites reinforced with cellulose based fibres," *Progress in Polymer Science*, vol. 24, pp. 221-274, 1999.
- [3] L. Y. Mwaikambo and M. P. Ansell, "Chemical modification of hemp, sisal, jute, and kapok fibers by alkalization," *Journal of Applied Polymer Science*, vol. 84, pp. 2222-2234, 2002.
- [4] M. John and R. Anandjiwala, "Recent developments in chemical modification and characterization of natural fiber reinforced composites," *Polymer composites*, vol. 29, pp. 187-207, 2008.
- [5] X. Li, *et al.*, "Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites: A Review," *Journal of Polymers and the Environment*, vol. 15, pp. 25-33, 2007.
- [6] S. Sreenivasan, *et al.*, "Influence of delignification and alkali treatment on the fine structure of coir fibres," *Journal of Materials Science*, vol. 31, pp. 721-726, 1996.
- [7] H. Khalil, *et al.*, "Chemical composition, anatomy, lignin distribution, and cell wall structure of Malaysian plant waste fibers," *BioResources*, vol. 1, 2006.
- [8] H. P. S. Abdul Khalil, *et al.*, "Cell wall ultrastructure, anatomy, lignin distribution, and chemical composition of Malaysian cultivated kenaf fiber," *Industrial Crops and Products*, vol. 31, pp. 113-121, 2010.
- [9] J. Gassan and A. K. Bledzki, "Possibilities for improving the mechanical properties of jute/epoxy composites by alkali treatment of fibres," *Composites Science and Technology*, vol. 59, pp. 1303-1309, 1999.

- [10] L. Y. Mwaikambo and M. Ansell, "Mechanical properties of alkali treated plant fibres and their potential as reinforcement materials. I. hemp fibres," *Journal of Materials Science*, vol. 41, pp. 2483-2496, 2006.
- [11] S. V. Prasad, *et al.*, "Alkali treatment of coir fibres for coir-polyester composites," *Journal of Materials Science*, vol. 18, pp. 1443-1454, 1983.
- [12] A. Valadez-Gonzalez, *et al.*, "Effect of fiber surface treatment on the fiber-matrix bond strength of natural fiber reinforced composites," *Composites Part B: Engineering*, vol. 30, pp. 309-320, 1999.
- [13] MangeshTeli, AkshayJadhav , " Effect of Mercerization on the Properties of Pandanus Odorifer Lignocellulosic Fibre", *IOSR Journal of Polymer and Textile Engineering (IOSR-JPTE)* www.iosrjournals.org
- [14] Muhammad Khusairy Bin Bakri, Elammaran Jayamani, Sinin Hamdan, Md Rezaur Rahman, KokHeng Soon , Akshay Kakar, "Fundamental Study On The Effect Of Alkaline Treatment On Natural Fibers Structures And Behaviors", *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* VOL. 11, NO. 14, JULY 2016
- [15] E. T. N. BISANDA, "The Effect of Alkali Treatment on the Adhesion Characteristics of Sisal Fibres", *Applied Composite Materials* **7**: 331–339, 2000. © 2000 *Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.*
- [16] SUGIMAN SUGIMAN, PARYANTO D. SETYAWAN, BUAN ANSHARI, " Effects Of Alkali Treatment Of Bamboo Fibre Under Various Conditions On The Tensile And Flexural Properties Of Bamboo Fibre/Polystyrene-Modified Unsaturated Polyester Composites", *Journal of Engineering Science and Technology* Vol. 14, No. 1 (2019) 027 - 047 © School of Engineering, Taylor's University
- [17] JoãoBessa, Joana Matos, Carlos Mota, Fernando Cunha, Isabel Araújo, Luís Silva, ElizabetePinho, RaúlFanguero , " Influence of surface treatments on the mechanical properties of fibre reinforced thermoplastic composites ", 3rd International Conference on

Natural Fibers: Advanced Materials for a Greener World ICNF 2017, 21-23 June 2017, Braga, Portugal

[18] Désiré Yomeni Chimeni, Jean Luc Toupe, Charles Dubois & Denis Rodrigue (2016): Effect of hemp surface modification on the morphological and tensile properties of linear medium density polyethylene (LMDPE) composites, *Composite Interfaces*, DOI: 10.1080/09276440.2016.1144163

[19] Sharifah H. Aziz, Martin P. Ansell, “The Effect Of Alkalization And Fibre Alignment On The Mechanical And Thermal Properties Of Kenaf And Hemp Bast Fibre Composites:Part 1 – polyester resin matrix”, *Composites Science and Technology* 64 (2004) 1219–1230

[20] Muhammad Arsyad, “effect of alkali treatment on the coconut fiber surface”, *ARNP Journal of Engineering and Applied Sciences* VOL. 12, NO. 6, MARCH 2017

[21] G. Rajeshkumar, V. Hariharan & T. Scalici (2016) Effect of NaOH Treatment on Properties of Phoenix Sp. Fiber, *Journal of Natural Fibers*, 13:6, 702-713

[22] O.M.L. Asumani, R.G. Reid , R. Paskaramoorthy, “The effects of alkali–silane treatment on the tensile and flexural properties of short fibre non-woven kenaf reinforced polypropylene composites”, _ 2012 Elsevier Ltd.

[23] V. Fiore , G. Di Bella , A. Valenza, “The effect of alkaline treatment on mechanical properties of kenaf fibers and their epoxy composites”, 2014 Elsevier Ltd.

[24] L. Boopathi , P.S. Sampath, K. Mylsamy, “Investigation of physical, chemical and mechanical properties of raw and alkali treated Borassus fruit fiber”, _ 2012 Elsevier Ltd

[25] Abderrezak Bezazi , Salah Amroune, Fabrizio Scarpa, “Statistical analysis and effect of chemical treatment on the physicommechanical behavior of fibres from date-palm fruit branches”, *Rev. Sci. Technol., Synthèse* 31: 108 -120 (2015)

[26] K JWong, B FYousif, KOLow, “The effects of alkali treatment on the interfacial adhesion of bamboo fibres”, *13 April 2010*. DOI: 10.1243/14644207JMDSA304

- [27] MK Gupta, “Investigations on jute fibre-reinforced polyester composites: Effect of alkali treatment and poly(lactic acid) coating”, DOI: 10.1177/1528083718804203 journals.sagepub.com/home/jit
- [28] Mishra S, Misra M, Tripathy SS, Nayak SK, Mohanty AK, Graft copolymerization of acrylonitrile on chemically modified sisal fibers”, macromolecular materials and engineering 286 (2), 107-113,2001
- [29] Morrison III WH, Archibald DD, Sharma HSS, Akin DE, Chemical and physical characterization of water- and dew-retted flax fibers, June 2000 [Industrial Crops and Products](#) , DOI: [10.1016/S0926-6690\(99\)00044-8](#)
- [30] Libo Yan, Nawawi Chouw and Xiaowen Yuan, “Improving the mechanical properties of natural fibre fabric reinforced epoxy composites by alkali treatment ”, Journal of Reinforced Plastics and Composites 31(6) 425–437 The Author(s) 2012 DOI:10.1177/0731684412439494 jrp.sagepub.com
- [31] GOVARDHAN GOUD and R N RAO, “Effect of fibre content and alkali treatment on mechanical properties of *Roystonea regia*-reinforced epoxy partially biodegradable composites”, Bull. Mater. Sci., Vol. 34, No. 7, December 2011, pp. 1575–1581. © Indian Academy of Sciences.
- [32] Patrick. E. Imoisili, S. O. O. Olusunle, A. V. Popoola, and A. E. Okoronkwo, “Effect of Alkaline Treatment on the Macromolecular, Thermal, and Crystallographic Structures of Plantain (*Musa paradisiaca*) Fibers”, PEER-REVIEWED ARTICLE
- [33] M.J.M. Ridzuan, M.S. Abdul Majid, M. Afendi, K. Azduwin, S.N. Aqmariah Kanafiah and Y. Dan-mallam, “The effects of the alkaline treatment’s soaking exposure on the tensile strength of Napier fibre”, 2nd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference, MIMEC2015, 4-6 February 2015, Bali Indonesia

- [34] V.S.Sreenivasan, D. Ravindran, V. Manikandan, R. Narayanasamy, "Influence of fibre treatments on mechanical properties of short Sansevieria cylindrica/polyester composites", 2012 Elsevier Ltd
- [35] Alexandre GOMES, Koichi GODA et Junji OHGI, effects of alkali treatment to reinforcement on tensile properties of curaua fiber green composites, JSME International Journal, series A, Vol.47, No.4, 2004.
- [36] Francis J. Kolpak et John Blackwell, Mercerization of cellulose:2. The morphology of mercerized cotton cellulose, POLYMER, 1978, Vol 19, February.
- [37] P.Threepopnatkul, N. Kaerkitcha, N.Athipongarporn, "Effect of surface treatment on performance of pineapple leaf fiber–polycarbonate composites", 2009 Elsevier Ltd.
- [38] B.F.Yousif, A.Shalwan, C.W.Chin, K.C.Ming, Flexural properties of treated and untreated kenaf/epoxy composites, 2012 Elsevier Ltd.
- [39] N.Venkateshwaran, A.Elaya Perumal c, D.Arunsundaranayagam, "Fiber surface treatment and its effect on mechanical and visco-elastic behavior of banana/epoxy composite", 2012 Elsevier Ltd.
- [40] Sherely Annie Paul, Abderrahim Boudenne, Laurent Ibos, Yves Candau, KuruvillaJoseph, Sabu Thomas, "Effect of fiber loading and chemical treatments on thermophysical properties of banana fiber/polypropylene commingled composite materials", 2008 Elsevier Ltd
- [41] Fatima-ezzahra El-Abbassi, Rezak Ayad, Nouzha lamdouara, H. Kebir, Hamid Sabhi, Stephane Buet, Mustapha Assarar, "Elaboration, analyse et modélisation mécanique numérique d'agrocomposites à base de fibres courtes d'alfa", MATEC Web of Conferences 11,01039 (2014), DOI: 10.1051/mateconf/ 2014 1101039, Owned by the authors, published by EDP Sciences, 2014

[42] M. ROKBI, H. OSMANI, L'effet des traitements de surface des fibres sur les propriétés mécaniques de composites Polyester-fibres Alfa, *20ème Congrès Français de Mécanique, Besançon, 29 août au 2 septembre 2011*

[43]G.B.Nam, J.W.Kim, J.M.Byeon, B.S.Kim, T.K.Kim, J.I.Song, “effect of surface treatment on mechanical behavior of jute fiber-reinforced polypropylene composite”, 18th international conference on composite materials

[44] A.BENYAHIA, A.MERROUCHE, M.ROKBI, Z.KOUADRI, Study the effect of alkali treatment of natural fibers on the mechanical behavior of the composite unsaturated Polyester-fiber Alfa, *21ème Congrès Français de Mécanique ,Bordeaux, 26 au 30 août 2013*

[45] Punyamurthy ramadevi, dhanalakshmi sampathkumar, chikkol venkteshappa srinivasa, and basavaraju bennehalli, “Effect of alkali treatment on water absorption of single cellulosic abaca fiber”, peer-reviewed article, bioresources.com.

[46] S. I. Hossain, M. Hasan, Md. N. Hasan, and A. Hassan, Effect of Chemical Treatment on Physical, Mechanical and Thermal Properties of Ladies Finger Natural Fiber, Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering Volume 2013, Article ID 824274, 6 pages. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/824274>

[47] Ming Cai , Hitoshi Takagi , Antonio N. Nakagaito , Yan Li , Geoffrey I.N. Waterhouse, Effect of alkali treatment on interfacial bonding in abaca fiber reinforced composites, 2016 Elsevier Ltd.

[48] A karthikeyan and K Balamurugan, Effect of alkali treatment and fiber length on impact behavior of coir fiber reinforced epoxy composites, Journal of scientific and Industrial research, Vol. 71, September 2012,pp. 627-631.

[49] Karama Eلفهري Borchani • Christian Carrot •Mohamed Jaziri, “Untreated and alkali treated fibers from Alfa stem: effect of alkali treatment on structural, morphological and thermal features”, Springer Science+Business Media Dordrecht 2015

- [50] I.C. Ezema Ike-Eze, V.S Aigbodion, S.N. Ude, A.D. Omah & P.O. Offor, “Experimental study on the effects of surface treatment reagents on tensile properties of Banana fiber reinforced polyester composites”, *Journal of Materials and Environmental Sciences*, 2019.
- [51] M.M. Kabir, H. Wang, F. Cardona & T. Aravinthan, “Effect of chemical treatment on the mechanical and thermal properties of hemp fibre reinforced thermoset sandwich composites”, *Centre of Excellence in Engineered Fibre Composite (CEEFC), Faculty of Engineering and Surveying, University of Southern Queensland, Toowoomba, Queensland 4350, Australia*.
- [52] DIPA RAY, B K SARKAR*, A K RANA and N R BOSE, “Effect of alkali treated jute fibres on composite properties”, *Bulletin of materials science*, april 2001.
- [53] Chowdhury, M. N. K., Beg, M. D. H., Khan, M. R., & Mina, M. F. Modification des fibres de grappes de fruits vides de palmier à huile par imprégnation de nanoparticules et traitement alcalin. *Cellulose*, 20 (3), 2013, 1477–1490.
- [54] Nourbakhsh, A., Ashori, A., & Kouhpayehzadeh, M. Giant Milkweed (*Calotropis persica*) Fibres -A Potential Reinforcement Agent for Thermoplastics Composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 28(17), 2009, 2143–2149.
- [55] Arsyad, M. 2017. Effect of alkali treatment on the coconut fiber surface. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 12(6):1870-1875.
- [56] Huang, D.; Bian, Y.; Zhou, Y.; and Sheng, B. (2015). Experimental study on stress-strain relationships and failure mechanisms of parallel strand bamboo made from *pyllo stachys*. *Construction and Building Materials*, 77, 130-138.
- [57] Buckingham, K.C.; Wu, L.; and Lou, Y. (2014). Can't see the (bamboo) forest for the trees: Examining 42 bamboo's fit within international forestry institutions. *Amboi*, 43(6), 770-778.
- [58] Yu, Y.; Zhu, R.; Wu, B.; Hu, Yu'an; and Yu, W. (2015). Fabrication, material properties, and application of bamboo scrimber. *Wood Science and Technology*, 49(1), 83-98.
- [59] Defoirdt, N.; Biswas, S.; De Vriese, L.; Tran, L.Q.N.; Van Acker, J.; Ahsan, Q.; Gorbatikh, L.; Van Vuure, A.; and Verpoest, I. (2010). Assessment of the tensile properties of coir, bamboo and jute fibre. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 41(5), 588-595.

- [60] Rizal, S.; Khalil, A.; Shawkataly, A.K.H.P.; Ikramullah; Bhat, I.U.H.; Huzni, S.; Thalib, S.; Mustapha, A.; and Saurabh, C.K. (2018). Recent advancement in physico-mechanical and thermal studies of bamboo and its fibres. *Bamboo: Current and Future Prospects*, Chapter 1, 145-164.
- [61] Gandini, A.; and Belgacem, M.N. (2011). 1-Modifying cellulose fiber surfaces in the manufacture of natural fiber composites. *Interface engineering of natural fibre composites for maximum performance*. Sawston, Cambridge, United Kingdom: Woodhead Publishing.
- [62] M. Rokbi, H. Osmani, A. Imad e N. Benseddiq, "Effect of Chemical treatment on Flexure Properties of Natural Fiber-reinforced Polyester Composite," *emICM11*, 2011.
- [63] Lu N, Oza S. Thermal stability and thermo-mechanical properties of hemp-high density polyethylene composites: effect of two different chemical modifications. *Composites Part B*. 2013;44:484–490
- [64] De Albuquerque A, Joseph K, Hecker de Carvalho L, Moraisd_Almeida J. Effect of wettability and ageing conditions on the physical and mechanical properties of uniaxially oriented jute roving-reinforced polyester composites. *Compos Sci Technol* 1999;60(6):833–44.
- [65] Devi L, Bhagawan S, Thomas S. Mechanical properties of pineapple leaf fibre-reinforced polyester composites. *J Appl Polym Sci* 1997;64:1739–48.
- [66] Mwaikambo L, Bisanda E. The performance of cotton/kapok fabric–polyester composites. *Polym Test* 1999;18(3):181–98.
- [67] Narayan, R. Biomass (renewable) resources for production of materials, chemicals and fuels – a paradigm shift, *ACS Symp Ser* 476; 1992.
- [68] Zampaloni M, Pourboghraat F, Yankovich SA, Rodgers BN, Moore J, Drzal LT, et al. Kenaf natural fiber reinforced polypropylene composites: a discussion on manufacturing problems and solutions. *Compos – Part A: Appl Sci Manuf* 2007;38:1569–680.
- [69] Satyanarayana KG, Sukumaran K, Kulkarni AG, Pillai SGK, Rohatgi PK. Fabrication and properties of natural fibre reinforced polyester composites. *Composites* 1986;17:329–33.
- [70] Bhagawan GJ, Thomas SS. Effects of environment on the properties of low density polyethylene composites reinforced with pineapple-leaf fibre. *Compos Sci Technol* 1998;58:1471–85.
- [71] Herrera-Franco PJ, Valadez-González A. A study of the mechanical properties of short natural-fiber reinforced composites. *Compos – Part B: Eng* 2005;68:597–608.

- [72] Shibata S, Cao Y, Fukumoto I. Press forming of short natural fiber-reinforced biodegradable resin: effects of fiber volume and length on flexural properties. *Polym Testing* 2005;24:1005–11.
- [73] Aji IS, Sapuan SM, Zainudin ES, Abdan K. Kenaf fibres as reinforcement for polymeric composites: a review. *Int J Mech Mater Eng* 2009;4:239–48.
- [74] Qatu MS. Application of kenaf-based natural fiber composites in the automotive industry. In: *Proceedings of SAE 2011 world congress and exhibition*. Detroit; April, 2011.
- [75] Cho D, Lee HS, Han SO. Effect of fiber surface modification on the interfacial and mechanical properties of kenaf fiber-reinforced thermoplastic and thermosetting polymer composites. *Compos Interf* 2009;16:711–29.
- [76] Joseph PV, Joseph Kuruvilla, Thomas Sabu. Effect of processing variables on the mechanical properties of sisal-fiber-reinforced polypropylene composites. *Compos Sci Technol* 1999;59:1625–40.
- [77] Baley C. & Bourmaud A., 2014. Average tensile properties of French elementary flax fibers, *Materials Letters*, Vol. 122, 159-161.
- [78] George M., Mussone P. G., Abboud Z. & Bressler C.D., 2014. Characterization of chemically and enzymatically treated hemp fibres using atomic force microscopy and spectroscopy, *Applied Surface Science* , Vol 314, 1019-1025.
- [79] Memon A. & Nakai A., 2013. Mechanical Properties of Jute Spun Yarn/PLA Tubular Braided Composite by Pultrusion Molding, *Energy Procedia* , Vol 34, 818-829.
- [80] Chen D., Jing Li & Jie Ren, 2011. Influence of fiber surface-treatment on interfacial property of poly(l-lactic acid)/ramie fabric biocomposites under UV-irradiation hydrothermal aging, *Materials Chemistry and Physics* , Vol 126, 524-531.
- [81] Belaadi A., Bezazi A., Bourchak M. & Scarpa F., 2013. Tensile static and fatigue behaviour of sisal fibres, *Materials and Design* , Vol 46, 76-83.
- [82] Mahjoub R., Yatim J. M., Mohd Sam A. R. & Hashemi S. H., 2014. Tensile properties of kenaf fiber due to various conditions of chemical fiber surface modifications, *Construction and Building Materials* , Vol 55, 103–113.
- [83] Mizanur M. R. & Mubarak A. K., 2007. Surface treatment of coir (*Cocos nucifera*) fibers and its influence on the fibers physico-mechanical properties, *Composites Science and Technology*, Vol 67, 2369–2376.

- [84] Liu K, Zhang X., Takagi H., Yang Z. & Wang D., 2014. Effect of Chemical Treatments on Transverse Thermal Conductivity of Unidirectional Abaca Fiber/Epoxy Composite. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* , Vol 66, 227-236.
- [85] Wambua, P., Ivens, J., and Verpoest, I. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics? *Compos. Sci. Technol.*, 2003, **63**(9), 1259–1264.
- [86] Herrera-Franco, P. J. and Valadez-González, A. Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites. *Compos. A, Appl. Sci. Manuf.*, 2004, **35**(3).
- [87] Mohanty, S., Nayak, S. K., Verma, S. K., and Tripathy, S. S. Effect of MAPP as coupling agent on the performance of sisal–PP composites. *J. Reinf. Plast. Compos.*, 2004.
- [88] Doan, T.-T.-L., Gao, S.-L., and Mäder, E. Jute/ polypropylene composites I. Effect of matrix modification. *Compos. Sci. Technol.*, 2006, **66**(7–8), 952–963.
- [89] Sahari J, Sapuan SM, Zainudin ES, et al. Thermo-mechanical behaviors of thermoplastic starch derived from sugar palm tree (*Arenga pinnata*). *Carbohydr Polym* 2013; 92: 1711–1716.
- [90] N.I. Abdul Razak, N.A. Ibrahim, N. Zainuddin, M. Rayung., W.Z. Saad, 2014. The influence of chemical surface modification of kenaf fiber using hydrogen peroxide on the mechanical properties of biodegradable kenaf fiber/poly (lactid acid) composites. *Molecules*, 19 (3): 2957-2968.
- [91] . Chowdhury F, Hosur M and Jeelani S. Studies on the flexural and thermomechanical properties of woven carbon/nanoclay-epoxy laminates. *Mater Sci Eng A* 2006; 421: 298–306.
- [92] Assarar M, Scida D, El Mahi A, et al. Influence of water ageing on mechanical properties and damage events of two reinforced composite materials: flax-fibres and glass-fibres. *Mater Des* 2011; 32: 788–795.
- [93] Bodros E, Pillin I, Montrelay N, et al. Could biopolymers reinforced by randomly scattered flax fibre be used in structural applications? *Compos Sci Technol* 2007; 67: 462–470.
- [94] Wambua P, Ivens J. Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics. *Compos Sci Technol* 2003; 63(16):1259–67.
- [95] Rout J, Misra M, Tripathy SS. The influence of fibre treatment on the performance of coir–polyester composites. *Compos Sci Technol* 2001; 61(1):1303–10.
- [96] Sreenivasan VS, Ravindran D, Manikandan V, Narayanasamy R. Mechanical properties of randomly oriented short *Sansevieria cylindrica* fibre/polyester composites. *Mater Des* 2011; 32:2444–55.

- [97] Bachtiar D, Sapuan SM, Hamdan MM. The effect of alkaline treatment on tensile properties of sugar palm fibre reinforced epoxy composites. *Mater Des* 2008;29:1285–90.
- [98] Liu W, Drzal LT, Mohanty AK, Misra M. Influence of processing methods and fiber length on physical properties of kenaf fiber reinforced soy based biocomposites. *Composites Part B* 2007;38:352–9.
- [99] Pietak A, Korte S, Tan E, Downard A, Staiger MP. Atomic force microscopy characterization of the surface wettability of natural fibres. *Appl Surf Sci* 2007;253:3627–35.
- [100] Edeerozey AMM, Akil HM, Azhar AB, Ariffin MIZ. Chemical modification of kenaf fibres. *Mater Lett* 2007;61:2023–5.
- [101] Bledzki AK, Gassan J. Composites reinforced with cellulose based fibers. *Prog Polym Sci* 1999;24(2):221–74.
- [102] O'Donnell A, Dweib MA, Wool RP. Natural fiber composites with plant oilbased resin. *Compos Sci Technol* 2004;64(9):1135–45.
- [103] Dweib MA, Hu B, O'Donnell A, Shenton HW, Wool RP. All natural composite sandwich beams for structural applications. *Compos Struct* 2004;63(2):147–57.
- [104] Abdelmouleh M, Boufi S, Belgacem MN, Duarte AP, Ben Salah A, Gandini A. Modification of cellulosic fibers with functionalised silanes: development of surface properties. *Int J Adhes* 2004;24(1):43–54.
- [105] Ray D, Sarkar BK, Das S, Rana AK. Dynamic mechanical and thermal analysis of vinylester–resin–matrix composites reinforced with untreated and alkali-treated jute fibers. *Compos Sci Technol* 2002;62(7–8):911–7.
- [106] Mohanty AK, Khan MA, Hinrichsen G. Influence of chemical surface modification on the properties of biodegradable jute fabrics–polyester amide composites. *Compos Part A* 2000;31(2):143–50.
- [107] Jing B, Dai W, Chen S, Hu T, Liu P. Mechanical behaviour and fracture toughness evaluation of K resin grafted with maleic anhydride compatibilized polycarbonate/K resin blends. *Mater Sci Eng A* 2007;444(1–2):84–91.
- [108] Herrera-Franco PJ, Valadez-Gonzalez A. Mechanical properties of continuous natural fibre-reinforced polymer composites. *Compos Part A* 2004;35(3):339–45.
- [109] Herrera-Franco PJ, Valadez-Gonzalez A. A study of the mechanical properties of short natural-fiber reinforced composites. *Compos Part B* 2005;36(8): 597–608.
- [110] Ichazo MN, Albano C, Gonzalez J, Perera R, Candal MV. Polypropylene/wood flour composites: treatments and properties. *Compos Struct* 2001;54(2–3):207–14.

[111] Chin CW, Yousif BF. Potential of kenaf fibres as reinforcement for tribological applications. *Wear* 2009;267(9–10):1550–7.

[112] Yousif BF, Ku H. Suitability of using coir fiber/polymeric composite for the design of liquid storage tanks. *Mater amp Des* 2012;36(0):847–53.

[113] Joshi SV et al. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? *Compos A Appl Sci Manuf* 2004;35(3):371–6.

[114] Velmurugan R, Manikandan V. Mechanical properties of palmyra/glass fiber hybrid composites. *Compos A Appl Sci Manuf* 2007;38(10):2216–26

Conclusion générale

Ces dernières décennies ont été marquées, dans le domaine des matériaux, par l'évolution remarquable des composites à base de fibres naturelles qui sont de plus en plus utilisés dans des applications extérieures et structurelles, notamment dans le domaine de la construction, revêtement et emballage. Les matériaux composites sont généralement constitués d'une matrice renforcée avec soit des particules, soit des fibres.

À la suite de notre étude bibliographique et notre recherche approfondie sur les matériaux composites, les fibres végétales et sur le traitement alcalin, Nous avons pu atteindre l'objectif principal de ce travail de recherche engagé en plus cela nous a procuré plusieurs résultats résumés comme suit :

- Les fibres végétales possèdent une structure hétérogène qui rend leurs études difficile avec des résultats non cohérents et instables, ceci est confirmé par l'observation microscopique de fibres de spadice ainsi que les fibres de life.
- L'extraction des fibres de spadice est un travail difficile dans le but d'obtenir des fibres longues non endommagées, soit par la méthode mécanique dont la difficulté réside dans le travail manuel, soit par la méthode biologique qui nécessite un suivi continu.
- L'amélioration de la surface des fibres et la diminution de la masse sont principalement liées à l'augmentation de la concentration de NaOH et à la durée d'immersion.
- Le traitement par l'NaOH à une concentration optimale pour une durée appropriée entraîne une augmentation des propriétés mécaniques du biocomposite, tandis que l'augmentation de l'une de ces deux conditions conduit directement à la détérioration de ce dernier.

Conclusion Générale

- De point de vue consistance et résistance, les fibres de spadice sont plus importantes que les fibres de life, vu que les bio composites à fibres de spadice ont atteint des propriétés mécaniques plus élevées que les bio composites à fibres de life.

- La réalisation du composite est une affaire d'extraction des fibres et amélioration d'interface, puis développer le protocole le plus approprié, pour atteindre la performance mécanique le plus élevé.

Résumé

La conscience environnementale et l'épuisement des ressources pétrolières font partie des facteurs vitaux qui motivent un certain nombre de chercheurs à explorer le potentiel de réutilisation de la fibre naturelle comme matériau composite alternatif dans des industries telles que l'emballage, l'automobile et la construction de bâtiments. Les fibres naturelles sont disponibles en abondance, à faible coût, en composite polymère léger et le plus important est ses caractéristiques de biodégradabilité, souvent appelées matériaux «écologiques». Cependant, leurs applications sont encore limitées en raison de plusieurs facteurs tels que l'absorption d'humidité, une mauvaise mouillabilité et une grande dispersion des propriétés mécaniques. Parmi les principaux défis des composites à matrices renforcées de fibres naturelles, il y a leur inclinaison à s'enchevêtrer et à former des agglomérats de fibres pendant le traitement en raison de l'interaction fibre-fibre. Cela tend à empêcher une meilleure dispersion des fibres dans la matrice, ce qui se traduit par une mauvaise adhérence interfaciale entre la matrice hydrophobe et la fibre naturelle renforcée hydrophile. Par conséquent, pour surmonter ce défi, le processus de traitement des fibres est une alternative commune qui peut être utilisé pour modifier la topologie de surface des fibres par la technique chimique, physique ou mécanique. Néanmoins, cette étude tente de se concentrer sur l'effet du traitement de mercerisation sur l'amélioration des propriétés mécaniques du composite renforcé de fibres naturelles ou bio-composite. Il a été spécifiquement discuté sur les paramètres de mercerisation, et l'amélioration des propriétés mécaniques composites renforcées de fibres naturelles.

Mots clés : Traitement de mercerisation, propriétés mécaniques, fibre naturelle et bio composite

ملخص

يعد الوعي البيئي واستنفاد الموارد البترولية من العوامل الحيوية التي تحفز عددًا من الباحثين على استكشاف إمكانية إعادة استخدام الألياف الطبيعية كمواد مركبة بديلة في صناعات مثل التعبئة والتغليف والسيارات وإنشاءات المباني. الألياف الطبيعية متوفرة بكثرة، ومنخفضة التكلفة، وخفيفة الوزن، والمنذ لكأنها تتميز بخصائصها القابلة للتحلل البيولوجي، والتي تسمى غالبًا بالمواد "الصديفة للبيئة". ومع ذلك، ل انزال تطبيقاتها محدودة بسبب عدة عوامل مثل امتصاص الرطوبة وضعف قابلية البلل والتشتت الكبير في الخواص الميكانيكية. من بين التحديات الرئيسية التي تواجه المصفوفات المقواة بالألياف الطبيعية ميلها إلى التشابك وتشكيل كتلات الألياف أثناء المعالجة بسبب تفاعل الألياف الليلية يميل هذا إلى منع تشتت الألياف بشكل أفضل في المصفوفة، مما يؤدي إلى ضعف التصاق السطح بين المصفوفة الكارهة للماء والألياف الطبيعية المعززة للماء. لذلك للتغلب على هذا التحدي، تعد عملية معالجة الألياف أحد البدائل الشائعة التي يمكن استخدامها لتعديل طوبولوجيا سطح الألياف بتقنية كيميائية أو فيزيائية أو ميكانيكية. ومع ذلك، تحاول هذه الدراسة التركيز على تأثير المعالجة بالمرسرة (علاج قلووية) على تعزيز الخواص الميكانيكية للمركب المقوى بالألياف الطبيعية أو ما يسمى المركب الحيوي. وقد ناقشنا على وجه التحديد معايير المرسرة (علاج قلووية)، وتحسين الخواص الميكانيكية للمركبة المقواة بالألياف الطبيعية