



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences de la matière

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences de la matière

Filière : Physique

Spécialité : Physique des matériaux

Réf.: 28/06/2022

Présenté et soutenu par :
LAIADHI Nouha et METLOUG Farida

INFLUENCE DU TAUX DE FIBRE NATURELLE SUR LES PROPRIETES DU COMPOSITE A BASE DE RESINE EPOXY

M.	MEGHEZZI Ahmed	Pr	Université de Biskra	Président
M.	SLIMANI Mohammed	MAA	Université de Biskra	Encadreur
M	BOUDAIRA Boukhmis	MCA	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire: 2021 - 2022

إهداء

اهدي هذا العمل المتواضع إلى جميع أفراد أسرتي وأصدقائي
إلى أبي
أفتقده في هذه الحياة وكم كنت أحلم أن أقاسمه هذه اللحظات
إلى أمي
منارة الدرب وسر النجاح ومنبع الحنان
إلى إخوتي
عزوتي وسندي في الحياة
إلى أصدقائي
رفقاء الدرب

NOUHA

Dédicaces

Je dédie le fruit de mon modeste travail à :
Mes très chers parents qui se sont dévoué corps et âmes pour me voir réussir da
ma vie que
Dieu les garde,
Me frère,
Mes sœurs,
Tous ceux qui m'ont encouragé et soutenu durant les périodes les plus pénibles
avec tant
D'amour.
À tous mes amies surtout : Nouha, Sabeh....

FARIDA

Remerciements

Avant tout, nous tenons à remercier Dieu le tout puissant qui nous a donné la santé, le courage et la force pour mener à terme ce travail.

*Nous tenons à adresser nos remerciements et nos reconnaissances à Monsieur **Slimani Mohamed** de nous avoir encadré et consacré une partie de son temps précieux à la direction de notre mémoire. Ce fut un grand plaisir de travailler avec lui. Pendant toute la durée du travail, nous avons pu apprécier sa compétence, son ouverture d'esprit et son amitié. Nous lui serons reconnaissantes de la confiance qu'il nous a toujours accordée, les conseils qu'il n'a jamais cessés de nous prodiguer et auprès de lui nous avons trouvé toute l'aide et tout le soutien, tant sur le plan scientifique que moral.*

*Nous tenons à exprimer nos profondes gratitudee à Monsieur **Pr. Meghezzi Ahmed**, directeur du laboratoire LCA pour l'encadrement, les précieuses orientations méthodologiques et scientifiques et l'assistance qu'il a portées durant toutes les étapes de la réalisation de notre mémoire. et pour l'honneur qu'il nous fait en acceptant de présider le jury de ce mémoire. Ainsi que Monsieur **BOUDAIRA Boukhmis** qui a bien accepté de juger ce travail et l'enrichir par ses remarques et ses critiques objectives.*

*Nous aimerons bien remercier le chef de service du laboratoire de l'entreprise ENICAB de Biskra, **Mme LOUCIF Amina** et les membres de son équipe pour leurs soutien pendant le stage que nous avons effectué au sein de l'entreprise.*

Merci à tous les enseignants du département de sciences de la matière.

Que soient ici remerciés pour leur appui constant, leur participation active, leur amitié ainsi que leur soutien et conseils, mes familles, collègues et amis.

Nous ne saurions oublier toutes les autres personnes qui, plus ou moins directement, ont contribué aussi bien à la réussite de ce travail.

SOMMAIRE

Titre	Page
DEDICACE	
REMERCIEMENT	
SOMMAIRE	I
LISTES DES FIGURES	IV
LISTE DES TABLEAUX	VI
LISTE DES ABREVIATIONS	VII
INTRODUCTION GENERALE	1
<i>Chapitre I : Généralité sur les polymères</i>	
I.1 Introduction	3
I.2. Historique	3
I.3. Définition du polymère	3
I.4. Définition de la polymérisation	4
I.5. Classification des polymères	4
a. Selon l'origine	4
b. Selon leur domaine d'application	4
c. Selon leur structure	4
d. Selon le comportement thermique	5
f. Selon la nature chimique	6
I.6 Propriétés des polymères	7
I.6.1. Propriétés mécaniques	7
I.6.2. Propriétés physiques	7
I.7. Domaine d'utilisation des polymères	7
I.8. Application des polymères	8
I.9. Les résines époxy	9
I.9.1 Historique	9
I.9.2. Définition	10
I.9.3. Propriétés des résines époxy	10
I.9.3.1. Propriétés physiques	10
I.9.3.2. Propriétés mécaniques	11
I.9.4. Domaine d'utilisation	11

Chapitre II : les matériaux composite

II.1. Introduction	13
II.2. Définitions des composites	13
II.3. Classification des matériaux composites	14
II.3.1 Classification suivant la forme des constituants	14
II.3.2 Classification suivant la nature de la matrice	14
II.4. Les constituants d'un matériau composite	15
II.4.1. Le renfort	15
II.4.2. Matrice	16
II.4.3. Les charges et additifs	17
II.5. Exemple de fibre naturelle et fibre synthétique	17
II.5.1. Exemple fibre naturelle	17
II.5.2. Exemple de fibre synthétique	18
II.5.3. La différence entre les fibres naturelles et les fibres synthétiques	20
<i>Chapitre III : Procédure Expérimentale</i>	
III.1. Introduction	21
III.2. Préparation de la poudre d'écorce d'orange	21
III.3. Préparation de la poudre le feuille des palme dattier	22
III.4. Préparation des mélanges	24
III.4.1. Les calculs théoriques	24
III.5. Préparation des plaques	25
III.5.1. Moulage	25
III.6. Techniques de caractérisations	27
III.6.1. Tests mécaniques	27
III.6.1.1. Test de traction	27
III.6.1.2. Teste la dureté shore	29
III.6.2. Absorption d'eau	31
III.6.3 Spectroscopie Infra Rouge à Transformée de Fourier (FTIR)	33
III.6.3.1. Définition	33
III.6.3.2. Principe	33
III.6.4. Analyse mécanique dynamique (DMA)	36
<i>Chapitre IV : Résultats et Interprétation</i>	
IV. 1. L'analyse spectroscopique infrarouge FTIR	38
IV.1.1. L'analyse spectroscopique infrarouge Pour la résine Epoxy	38

IV.1.2. L'analyse spectroscopique infrarouge Pour l'écorce d'orange	38
IV.1.3 L'analyse spectroscopique infrarouge Pour le composite (15% écorce d'orange 85% époxy)	39
IV.1.4. L'analyse spectroscopique infrarouge	40
IV.1.5. Etude de spectroscopie infrarouge des composite époxy / écorce d'orange	40
IV.2. L'absorption de L'eau distillée	41
IV. 2.1. Influence du taux de fibre sur l'absorption	41
IV.2.2. Influence de la nature de la fibre	41
IV.3. Les résultats d'étude mécaniques	42
IV.3.1 L'influence du taux d'additif sur les propriétés mécanique	42
IV.3.1.1 L'influence d'écorce d'orange	42
a. Etude la résistance à la rupture	43
b. Etude l'allongement à la rupture	43
c. Etude la dureté SHORE	44
IV.3.2 L'influence du type d'additif sur les propriétés mécaniques	44
a. Etude la résistance à la rupture	45
b. Etude l'allongement à la rupture	45
IV.4 Etude dynamique (DMA)	46
Conclusion Générale	49
Références Bibliographiques	50
RESUME	53

Figure	Titre	Page
<i>Chapitre I : Généralité sur les Polymère</i>		
Figure I.1	a. homopolymère, b. copolymère statistique, c. copolymère alterné, copolymère séquencé).	5
Figure I.2	Homopolymère ramifié (a) et copolymère ramifié (b).	5
Figure I.3	Polymère réticulé avec ponts disulfure reliant deux chaînes.	5
Figure I.4	Eventail des applications de résines époxy	12
<i>Chapitre II : les Matériaux Composite</i>		
Figure II.1	Schématisation des renforts noyés dans une matrice	13
Figure II.2	Matériaux composite	15
Figure II.3	Différents types de renforts	16
Figure II.4	Différents types de matrice	16
<i>Chapitre III : Procédure Expérimentale</i>		
Figure III.1	Ecorces d'orange	21
Figure III.2	L'écorce d'orange séchées dans l'étuve à 80°C pendant 4h	22
Figure III.3	Brouage et Tamisage d'écorce d'orange	22
Figure III.4	Les feuilles des palmes	23
Figure III.5	DPLF séché dans l'étuve à 80°C pendant 2h	23
Figure III.6	Brouage et Tamisage de DPLF	24
Figure III.7	Étapes à suivre pour préparer le mélange	26
Figure III.8	Le mélange est dans le moule	26
Figure III.9	Les Plaques	26
Figure III.10	Machine de traction de type Zwick/Roell	27
Figure III.11	Préparation des éprouvettes et Emporte-pièce	28
Figure III.12	La forme des éprouvettes soumises à un essai de traction.	28
Figure III.13	Mesure des dimensions de l'éprouvette.	29
Figure III.14	Éprouvette d'essai mise en place dans la machine de traction	29
Figure III.15	Test de dureté Shore	30
Figure III.16	Échantillons carrés	31
Figure III.17	Les Échantillons carrés au four à 80 °C pendant 20 minutes	31

Figure III.18	Pesée des échantillons (m0) avec la balance analytique utilisée	32
Figure III.19	Immersion des plaques	32
Figure III.20	Pesée des échantillons (m) après l'immersion	33
Figure III.21	Schéma montrant les étapes de l'obtention d'un spectre FTIR	34
Figure III.22	Spectrophotomètre à transformée de Fourier	35
Figure III.23	Les échantillons sont placés dans le dispositif infrarouge.	35
Figure III.24	Machine de DMA de marque DMA Q 800	36
Figure III.25	Échantillons étudiés	36
Figure III.26	Mesure des dimensions de l'éprouvette	37
Figure III.27	Installation de l'échantillon dans la machine	37
Chapitre IV : Résultats et Interprétation		
Figure IV.1	Spectre FTIR du la résine époxy 100%.	38
Figure IV.2	Spectre FTIR de l'écorce d'orange.	38
Figure IV.3	Spectre FTIR du composite époxy/Ecorce d'orange 15%	39
Figure IV.4	Spectre FTIR du époxy100%., l'écorce d'orange et époxy / Ecorce d'orange 15%.	40
Figure IV.5	L'absorption de l'eau distillée en fonction du temps d'immersion de l'époxy 100%, époxy / Ecorce d'orange 5%, époxy / Ecorce d'orange 10%, époxy / Ecorce d'orange 15%.	41
Figure IV.6	L'absorption de l'eau distillée en fonction du temps d'immersion de l'époxy 100%, époxy / Ecorce d'orange 15%, époxy / DPLF 15%.	42
Figure IV.7	Évolution de la résistance à la rupture des compositions Époxy/écorce d'orange	43
Figure IV.8	Évolution de l'allongement à la rupture des compositions Époxy/écorce d'orange	43
Figure IV.9	Évolution de la dureté Shore de l'écorce d'orange.	44
Figure IV.10	Histogramme de la résistance à la rupture des composites époxy / Fibres.	45
Figure IV.11	Histogramme de l'allongement à la rupture des composites époxy / Fibres.	45
Figure IV.12	Variation du module de conservation (E') des composite R0, D1, D3 en fonction de la température	46
Figure IV.13	Variation du module des pertes (E'') des composite R0, D1, D3 en fonction de la température	47
Figure IV.14	Variation de Tan delta des composites R0, D1, D3 en fonction de la température.	48

Liste des Tableaux

Tableau	Titre	Page
<i>Chapitre I : Généralité sur les Polymère</i>		
Tableau I.1	Application des polymères	8
<i>Chapitre III : Procédure Expérimentale</i>		
Tableau III.1	Les calculs théoriques	2
<i>Chapitre IV : Résultats et Interprétation</i>		
Tableau IV.1	Fréquences caractéristiques du l'époxy 100%.	38
Tableau IV.2	Fréquence caractéristique de l'écorce d'orange	39
Tableau IV.3	Fréquence caractéristique du composite époxy/Ecorce d'orange 15%	39
Tableau IV.4	Propriétés mécaniques des compositions de l'époxy 100%, époxy/Ecorce d'orange 5%, époxy/Ecorce d'orange 10%, époxy/ Ecorce d'orange 15%	42
Tableau IV.5	Propriétés mécaniques des compositions de l'époxy 100%, époxy/ écorce d'orange 15%, époxy/ DPLF 15%.	44
Tableau IV.6	Les valeurs du module de conservation (E') des composites R0, D1, D3 à température (50 °C, 60 °C).	46
Tableau IV.7	Les valeurs du module des pertes (E'') des composites R0, D1, D3 à température (50 °C, 60 °C).	47
Tableau IV.8	Les valeurs maximales de tan delta des composites R0, D1, D3	48

Liste des abréviations

DPLF : Fibres des feuilles de palmiers dattiers

FTIR : Spectroscopie Infra Rouge à Transformée de Fourier

DMA : Analyse mécanique dynamique

E' : module de conservation

E'' : module de Perte

Tg : Température de transition vitreuse

INTRODUCTION GÉNÉRALE



Introduction Générale

Les polymères sont indissociables de notre environnement et de notre vie pratique. Ils se sont imposés dans tous les domaines de nos activités à partir des objets les plus banals jusqu'aux applications techniques sophistiquées, en passant par leur utilisation dans les produits alimentaires, d'hygiène, d'emballage, des produits pétroliers, des produits pharmaceutiques, des produits pour le revêtement, etc. Le plus souvent, ils sont synthétiques, quelquefois naturels, ils doivent à cet essor une large gamme de caractéristiques, durs, mous ou élastiques, transparents ou opaques, isolants et quelquefois conducteurs, plus ou moins résistants aux conditions agressives de leur usage, toujours légers. Les polymères sont de nature très diverse et chacun d'eux est destiné à un usage particulier correspondant à des propriétés spécifiques [1].

Les matériaux composites à fibre naturelle occupent une place importante dans l'histoire de la technologie. La mise en valeur des ressources végétales apporte une alternative intéressante aux problèmes environnementaux engendrés et à l'épuisement probable, des ressources fossiles. Cette nouvelle catégorie de matériaux se distingue par des propriétés, telles qu'une rigidité élevée, un bas prix, une faible densité, un caractère écologique du fait qu'ils sont issus de ressources renouvelables et biodégradables. Par ailleurs, elle demande peu d'énergie pour être produite [2].

Les résines époxydes sont souvent employées pour les composites à haute performance car leur retrait est nettement inférieur à celui des polyesters. De plus, leur Adhérence, leur résistance mécanique et leur résistance chimique sont élevées [3].

L'objectif principal de notre travail de recherche est d'étudier les propriétés de Composés à base des résines époxy.

Le mémoire comprend une introduction générale, quatre chapitres, une conclusion générale et des listes de références bibliographiques.

En introduction générale, on expose l'utilité et l'intérêt de travail entrepris.

➤ Le premier chapitre est composé de deux parties :

- La première partie aborde les Généralités sur les polymères (historique, définition ...)
- La deuxième partie parle des composites à Base de résine époxy

➤ Le deuxième chapitre est composé de deux parties :

- La première partie décrit les matériaux composites (définition, les différents constituants entrant dans mise en forme de matériaux composites, et on présente leurs classifications, ainsi que leurs caractéristiques générales).

- La deuxième partie couvre les exemples fibre naturelle (Poudre de noyaux de dattes, Poudre de noyaux d'olive, Poudre des feuilles d'olives) et synthétique (Polyester, Polyamide).
 - Le troisième chapitre présente le procédé expérimentale de préparation des fibres naturelle (fibre d'écorce d'orange et fibre le feuilles de palme dattier) et Préparation des plaques ainsi que les méthodes analytiques qui ont permis de caractériser les propriétés des composites obtenus.
 - Le quatrième chapitre est consacré à la discussion et l'interprétation des résultats obtenus.

Le mémoire se termine par une conclusion générale et une liste de références bibliographiques suivis d'annexe.

CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉ SUR LES

POLYMÈRES



I.1. Introduction

Depuis l'Antiquité, les gens ont utilisé des matières premières pour produire des choses et des matériaux qui ont grandement amélioré leur qualité de vie. Au cours du XIXe siècle, il y a eu des événements importants qui ont été le point de départ d'une grande révolution. Cette révolution a transformé les consommateurs de matières premières naturelles en producteurs de nouvelles matières aux qualités remarquables. Ces substances sont appelées polymères.

I.2. Historique

Depuis longtemps, là où l'homme utilise les métaux, la nature emploie les polymères. Presque tous les systèmes biologiques sont constitués de polymères qui assurent :

- Des fonctions mécaniques, comme le bois, le cuir, les os, le cartilage...
- La régulation de la fonction chimique, dans les feuilles, les veines, l'ADN, les cellules vivantes...

Le développement industriel des polymères appelés couramment matières plastiques, s'appuiera l'heure actuelle sur des bases de physique et de chimie format la « science des polymères » [4]

- Tenter de retracer un rapide historique de la chimie macromoléculaire revient à considérer trois dates essentielles :
- 1866 M. Berthelot découvre que «le styrolène, chauffe à 200°C pendant quelques heures, se transforme en un polymère résineux»
- 1910 : L. Baekeland met au point le premier procédé industriel de production d'un polymère synthétique ; les polymères forma-phénoliques. Sont produits sous le nom de « bakélite »
- 1919 : H. Staudinger (Prix Nobel 1953) introduit la notion de macromolécule puis réalise la polymérisation de nombreux monomères éthyléniques. Il peut être considéré comme le père de la science macromoléculaire [5].

I.3. Définition du polymère

On appelle polymère une grande molécule constituée d'unités fondamentales appelées monomères (ou motifs monomères) reliées par des liaisons covalentes. Un monomère est un composé constitué de molécules simples pouvant réagir avec d'autres monomères pour donner

un polymère. Contrairement au polymère, un monomère a une faible masse moléculaire. Le terme macromolécule est souvent utilisé à la place de polymère [6].

Les réactions chimiques permettant de transformer des monomères aux polymères appellent réactions de polymérisations.

I.4. Définition de la polymérisation

La polymérisation est la réaction qui, à partir des monomères, forme en les liants des composés de masse moléculaire plus élevée, les polymères ou macromolécules. Les noyaux des monomères sont le plus souvent constitués d'un atome de carbone (molécules organiques) ou d'un atome de silicium (polymères siliconés) [6].

I.5. Classification des polymères

Les polymères peuvent être classés selon divers critères qui ne s'excluent pas les uns des autres :

a. Selon l'origine [7] :

On peut classer les polymères en trois groupes :

- **Les polymères naturels** : sont issus des règnes végétal ou animal ex : cellulose, amidon, la soie naturel...etc.
- **Les polymères artificiels** : sont obtenus par modification chimique de polymère naturel ex : nitrocellulose.
- **Les polymères synthétiques** : totalement issus du génie de l'Homme.

b. Selon leur domaine d'application [7] :

- **Les polymères de grande diffusion** : dont la production annuelle s'évalue par millions de tonnes (polyéthylène, le polystyrène).
- **Les polymères techniques** : ont des caractéristiques mécaniques qui leur permettent de se substituer aux matériaux traditionnels ex : polyamides.
- **Les polymères spéciaux** : c'est dans cette catégorie que se trouvent les polymères conducteurs, thermostables...

c. Selon leur structure [7] :

- **Les polymères linéaires (ou monodimensionnels)** : Pour lesquels chaque chaîne macromoléculaire est constituée d'un nombre élevé mais fini d'unités monomères.

(Figure I.1)

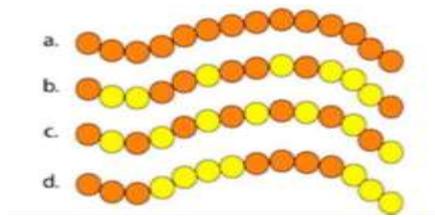


Figure I.1: a. homopolymère, b. copolymère statistique, c. copolymère alterné, d. copolymère séquencé).

- **Les polymères bidimensionnels** : Ils se présentent sous la forme de feuillets bidimensionnels d'épaisseur comparable à celle des molécules simples. (**Figure I.2**)

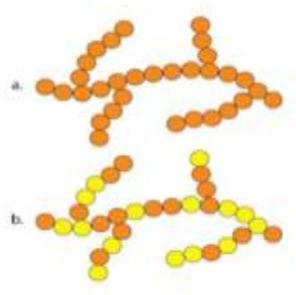


Figure I.2: Homopolymère ramifié (a) et copolymère ramifié (b).

- **Les polymères tridimensionnels** : Qui résultent de la polymérisation de monomère dont la valence moyenne est supérieure à deux ou de la réticulation de chaînes de polymères. Leur dimension peut être considérée comme infinie. (**Figure I.3**)

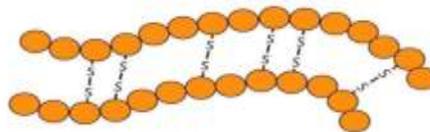


Figure I.3 : Polymère réticulé avec ponts disulfure reliant deux chaînes.

d. Selon le comportement thermique :

Ils sont classés comme celle-ci :

- **Les thermoplastiques** : Ramollissent sous l'effet de la chaleur, ils deviennent souples, malléables et durcissent à nouveau quand on les refroidit, ces matériaux conservent leurs propriétés, et ils sont facilement recyclables. Leurs polymères de base constitués par macromolécules linéaires reliées par des liaisons faibles qui peuvent être rompues par la

Chaleur ou de fortes contraintes, et quand la matière refroidit, les liaisons se reforment et les thermoplastiques gardent leurs nouvelles formes [8].

- **Les thermodurcissables** : Un thermodurcissable est un produit transformé irréversiblement par polymérisation en un réseau tridimensionnel infusible et insoluble. La réticulation peut être à base d'un monomère ou d'un mélange de monomères (résines aminoplastes et phénoplastes, silicone...) ou plus fréquemment d'un mélange de polymère linéaire de faible masse molaire et de monomère (résines polyesters insaturés...). Ces polymères amorphes ont une température de transition vitreuse élevée (80 °C à + de 150°C) mais, du fait de la réticulation, ne présentent pas d'état caoutchouteuse ni d'état liquide [9].
- **Les Elastomères** : Les élastomères sont des matières réticulées d'une manière incomplète. Le degré de réticulation est faible à la différence des thermodurcissables. Les pontages permettent aux macromolécules de revenir en place plus ou moins rapidement après une déformation sous contraintes. C'est la propriété fondamentale des élastomères [10].

f. Selon la nature chimique [11] :

On distingue des polymères minéraux, les polymères organiques et les polymères mixtes, ces derniers comportent à la fois des groupements organiques et minéraux.

- **Polymères minéraux** : ils sont constitués soit de chaînes renfermant un seul corps simple (diamant, graphite, phosphore, soufre ...) soit de chaînes renfermant plusieurs hétéroatomes (silicates, acides poly phosphoriques, chlorure de poly phosphonitrile)
- **Polymères organiques** : c'est la classe la plus riche, les principaux polymères organiques de synthèse sont (les polyoléfines, les poly diènes, les polyvinyles, les polyacryliques, les polyamides, les polyesters, les polyuréthanes et les polycarbonates)
- **Polymères mixtes** : ils sont doués de propriétés intéressantes dont une bonne résistance thermique (~ 300 - 350 °C), ils connaissent depuis quelques années des progrès constants tant sur le plan de la généralisation de leur utilisation que sur le plan de la mise au point de produits nouveaux. L'hétéroatome peut être soit dans la chaîne principale soit dans les motifs latéraux. Les grands représentants de cette classe sont surtout les silicones (ou polysiloxanes).

I.6 Propriétés des polymères

Les propriétés des matériaux polymères sont beaucoup plus sensibles que celles des métaux aux influences extérieures, telles que la température, la durée de vie et le type de contrainte, les radiations UV et les agents chimiques [12].

I.6.1 Propriétés mécaniques

Le module d'élasticité est en générale inférieur de deux ordres de grandeur environ à celui des métaux. Les caractéristiques de résistance peuvent différer d'un ordre de grandeur seulement [12].

Les trois composantes de déformations peuvent être définies pour décrire la réponse mécanique des matériaux polymères à l'action d'une sollicitation extérieure [12] :

- Déformation élastique instantanée (réversibilité spontanée).
- Déformation viscoélastique dépendant du temps ou déformation de relaxation (Réversibilité en fonction du temps).
- Déformation visqueuse dépendant du temps (irréversibilité).

I.6.2 Propriétés physiques

Les propriétés physiques des matériaux polymères sont une moyenne de celles des composants quand il s'agit de la masse volumique ou de la reprise d'humidité. Pour le reste, ces matériaux sont souvent hétérogènes et il n'y a pas de règle d'addition pour prévoir les propriétés à partir de celles des composants [12].

I.7 Domaine d'utilisation des polymères

Les polymères ont envahi tous les domaines de notre vie quotidienne. Il est à la base de plusieurs matériaux tels que :

- Vêtements, et fibres textiles naturelles et synthétiques., vaisselle.
- Moyen de transports et en particulier l'automobile (carrosserie, habillage intérieur, réservoirs d'essence, ...).
- Industrie électrique et électronique (boîtiers, gainage de câbles)
- Industrie chimique (tuyauteries, cuves)
- Agriculture (arrosage, Bâche)

I.8 Application des polymères

Les polymères constituent une des principales révolutions techniques. Ceux-ci sont utilisés pour un nombre extraordinaire d'applications à tous les échelons de la vie. Le tableau suivant présente l'Application des polymères [13].

Tableau I.1 : Application des polymères

Domaines	Exemples
Le secteur de la construction	Les portes, conduites d'eau et l'assainissement, peintures des murs des planchers et des plafonds, revêtement du sol.
Industrie de l'emballage	Bouteilles, pots de yaourt, boites aux lettres, problèmes thermiques, gainage films vidéo.
Médecine et santé	Poches de sang, gants, lentilles, verres de lunettes, les organes artificiels, Seringues, industrie dentaire, prothèses, outils de chirurgie
Articles ménagers	Tupperware, poubelles, seaux, vaisselle
Matériel électrique et électronique	Tension d'isolement, isolation, laveuses, ordinateurs et les caméras, Radio et télévision, téléphone.
Industrie automobile	Système vitre claire, Tapie, carrosserie, optiques, planches de bord, habillage intérieur, Façades de téléviseurs, gainage de câbles.
Industrie textile	Vêtement, fibres textiles naturelles et synthétiques, sacsskai, similicuir, non tissés
Sports-loisirs	Certaines parties des bâtiments, des avions et des bateaux, DVD, bandes magnétiques, Files de pêche et les cordons utilisés, piscines, coques de bateaux.
Industrie chimique	Tuyauterie, cuves, revêtements
Le domaine alimentaire	Procédés de fabrication d'aliments, emballages (bouteilles, pots de yaourt, briques de lait, boites œufs) ou industriel (flacons de détergent, sachets et sacs, casiers...)

I.9 Les résines époxy

Il n'y a rien de plus naturel que d'utiliser des matières renouvelables, surtout dans un secteur qui s'est développé grâce à des produits de synthèse de plus en plus élaborés. Pourtant, l'industrie des composites se prépare à l'« après pétrole » et envisage de fabriquer des matériaux, dont tous les composants, fibres, matrice polymère et additifs, seront d'origines renouvelables. Un objectif ambitieux, mais qui n'est plus considéré comme utopique.

Hausse de l'énergie et réchauffement climatique aidant, ils suscitent des recherches dans les laboratoires et chez les industriels. En fait, tout en lançant des études sur les futurs « bio composites », les spécialistes du secteur continuent à travailler sur une première étape : l'introduction des fibres naturelles dans des polymères de synthèse, source de multiples difficultés qui ne sont pas entièrement résolues.

L'introduction de fibres végétales dans une matrice en polymère de synthèse demande aux spécialistes des composites de trouver de nouvelles solutions techniques [3].

Parmi les matières plastiques courantes, les résines époxy ont une place à part du fait de leur polyvalence. Ainsi sont-elles employées par toutes les industries, en tant que matériau de structure (matrice de matériaux composites) ou de surface (revêtement, adhésif, etc.). L'industrie pétrolière ne fait pas exception et de nombreuses applications font appel aux propriétés particulières de ces résines [14].

I.9.1 Historique

Les résines époxydes furent découvertes presque simultanément par le Suisse Castan et l'Américain Greenlee. Les auteurs anglosaxons désignent ces produits sous le vocable époxy résines pour bien souligner que le groupe époxydique (un oxygène branché sur deux carbones consécutifs) constitue leur point commun. La notation abrégée, universellement adoptée, est EP.

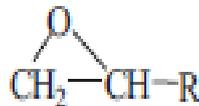
En 1936, Pierre Castan, qui cherchait un matériau bien adapté aux prothèses dentaires, fit une découverte capitale : l'adjonction d'anhydrides d'acides à des composés époxydes déclenche une réaction de polyaddition donnant naissance à des plastiques de haute qualité. Les premiers brevets furent déposés au profit de la Société de Trey Frères, dans laquelle travaillait Castan. La licence des brevets fut ensuite cédée à Ciba SA, à Bâle, qui entreprit un programme très poussé de recherche et de développement avant de lancer la première application industrielle des résines

époxy de son 1946. Quarante ans plus tard, la marque déposée Araldite est devenue célèbre à l'échelle mondiale.

Aux États-Unis, vers 1939, le Dr Greenlee, de la Société Devoe & Reynolds, synthétisa des résines époxydes, de façon analogue à P. Castan, mais en obtenant des masses moléculaires plus élevées. Son invention, concrétisée par le dépôt de plusieurs brevets, était destinée à la préparation de résines époxydes pour revêtements de surface [15].

I.9.2 Définition

Les résines époxy ont été découvertes en 1909 par Prileschajew. Les résines époxy sont définies comme des pré polymères de faible poids moléculaire contenant plus d'un groupe époxyde de la forme :



Les résines époxy sont des résines thermodurcissables, qui sont durcies à l'aide d'une grande variété d'agents de durcissement via des réactions de durcissement. Leurs propriétés dépendent de la combinaison spécifique du type de résines époxy et durcisseurs utilisés. En raison de leurs excellentes mécaniques propriétés, hautes adhérences à de nombreux substrats et bonne chaleur et les résistances chimiques [16].

I.9.3. Propriétés des résines époxy

I.9.3.1. Propriétés physiques [17] :

Toutes les résines époxy réticulées présentent des propriétés physiques particulières. Les plus utilisées sont la température de transition vitreuse et le module d'élasticité appelé également module d'Young.

➤ **La température de transition vitreuse :**

La transition vitreuse est le changement d'état d'un polymère ou d'un matériau sous l'action de la température et entraîne des variations importantes de leurs propriétés mécaniques et physiques. La transition vitreuse est caractérisée par une température de transition vitreuse notée Tg.

Lorsque la température d'un polymère est inférieure à sa T_g , le polymère est dit vitreux et possède le comportement d'un corps solide. Au-dessus de sa T_g le polymère passe à l'état caoutchouteux

La transition vitreuse est réversible et s'observe sur les polymères thermoplastiques. Elle est aussi déterminée sur les résines époxy dont la densité de réticulation n'est pas très élevée. La T_g d'une résine époxy dépend de sa formulation et du durcisseur employé. Néanmoins elle peut se situer à des températures négatives mais aussi à des températures avoisinant 150°C .

➤ *Le module d'élasticité ou module d'Young*

Le module d'élasticité appelé aussi module d'Young ou encore module de traction est le rapport entre la contrainte de traction appliquée au matériau et la déformation qui en résulte. Il est constant tant que cette déformation n'atteint pas la limite d'élasticité du matériau (avant la rupture). Un matériau dont le module d'Young est particulièrement élevé est dit rigide. Le module d'Young d'une résine époxy dans l'application de moulage est voisin de 9000 MPa tandis que celui d'une résine appliquée en tant que colle est de l'ordre de 2800 MPa

I.9.3.2 Propriétés mécaniques [18] :

- Masse volumique 1100 à 1500 kg/m^3
- Module d'élasticité en traction 3 à 5 GPa
- Contrainte à la rupture en traction 60 à 80 MPa
- Contrainte à la rupture en flexion 100 à 150 MPa
- Allongement à la rupture 2 à 5%
- Résistance au cisaillement 30 à 50 MPa
- Température de fléchissement sous charge $290\text{ }^\circ\text{C}$

I.9.4 Domaine d'utilisation [17] :

Parmi les matières plastiques courantes, les résines époxy ont une place à part en raison de leur polyvalence dans les applications industrielles. Elles sont employées en tant que matériau de surface ou de structure. De nombreuses applications font appel aux propriétés particulières de ces résines comme leur résistance à la corrosion ou leur caractère adhésif.

Les résines époxy sont des polymères thermodurcissables ayant la particularité de durcir irréversiblement sous l'effet de la température ou par adjonction d'un réactif. Le diagramme suivant résume les applications industrielles diverses des résines époxy dans l'industrie (**Figure I.4**) :

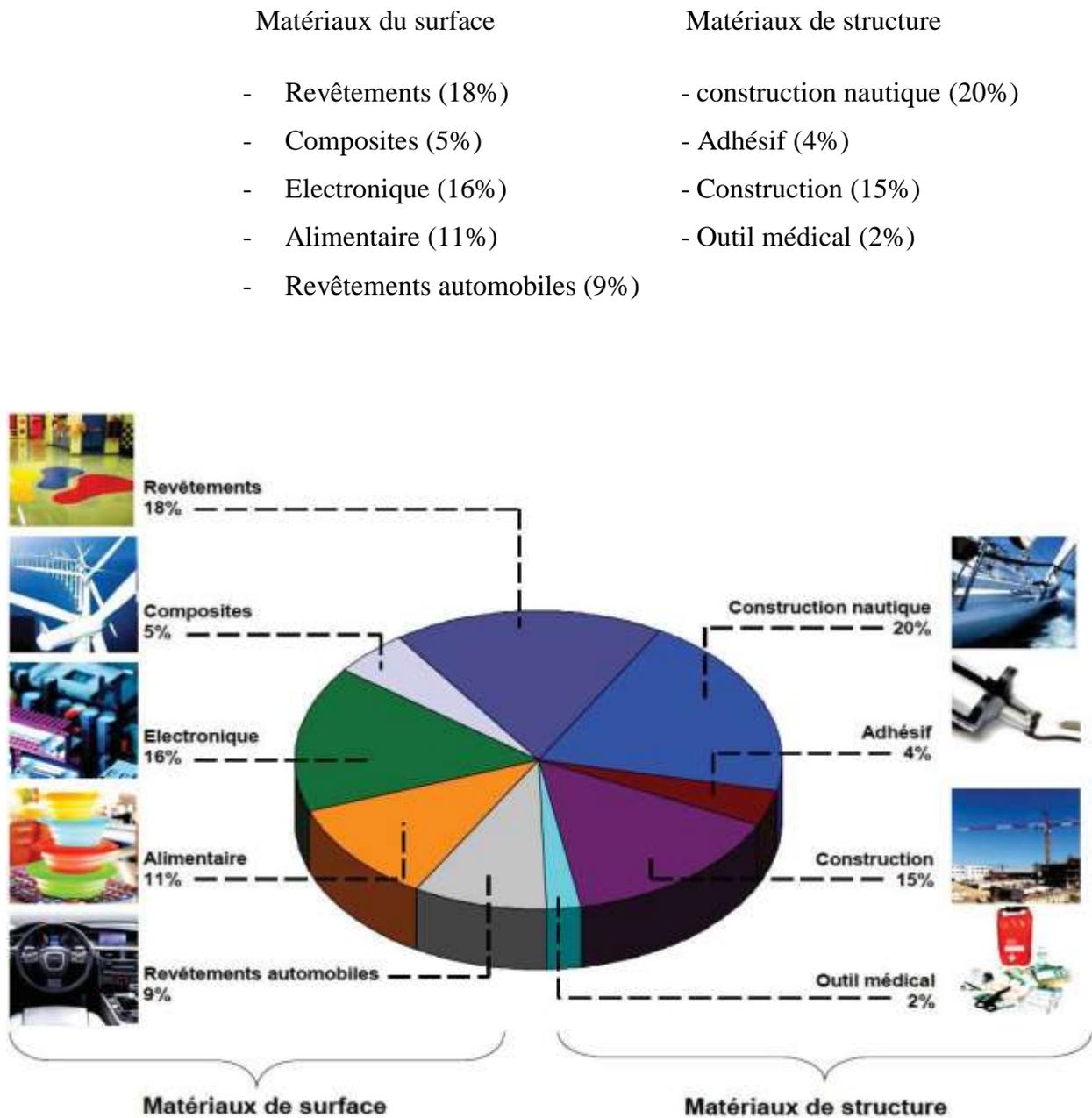


Figure I.4 : Eventail des applications de résines époxy

CHAPITRE II

LES MATERIAUX COMPOSITES



II.1 Introduction

Il existe un grand nombre de matériaux composites qui sont utilisés dans divers domaines et peuvent être classés selon différents critères (la nature de la matrice et la nature du renfort). Par exemple, Le contreplaqué a été utilisé par les anciens Égyptiens pour obtenir une résistance et une résistance supérieures à la dilatation thermique ainsi qu'au gonflement causé par l'absorption d'humidité [19].

Ce chapitre se compose de deux parties, la première partie décrivant les différents composants qui entrent dans la formation des matériaux composites et leurs classifications. La deuxième partie est un exemple de fibres naturelles et synthétiques et la différence entre ces fibres.

II.2 Définitions des composites

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

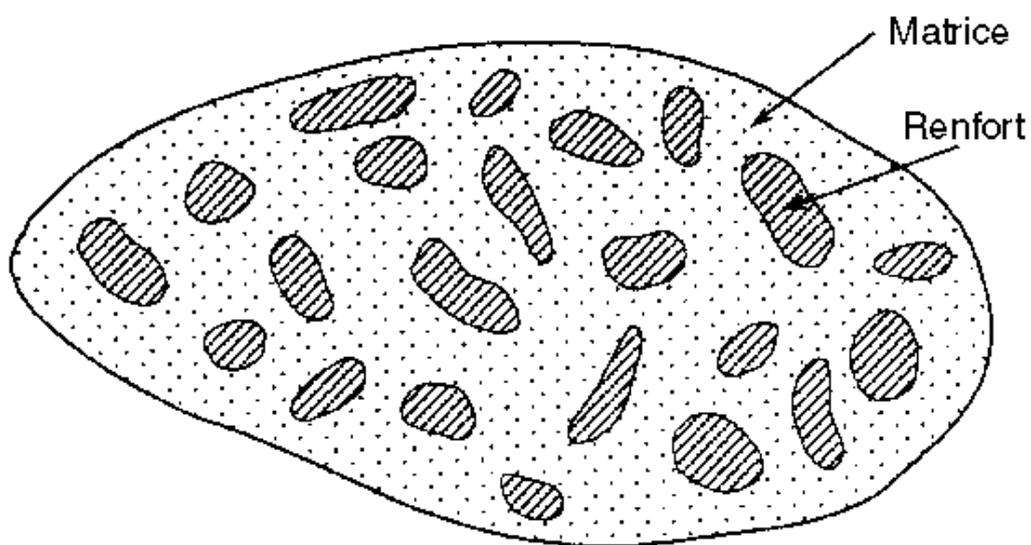


Figure II.1 : Schématisation des renforts noyés dans une matrice

Il faut différencier charges et renforts. Les charges, sous forme d'éléments fragmentaires, de poudres ou liquide, modifient une propriété de la matière à laquelle on l'ajoute (par exemple la tenue aux chocs, la résistance aux UV, le comportement au feu...). Les renforts, sous forme de fibres, contribuent uniquement à améliorer la résistance mécanique et la rigidité de la pièce dans laquelle ils sont incorporés [20].

II.3 Classification des matériaux composites

Les composites peuvent être classés suivant la forme des constituants ou suivant la nature des composants [20].

II.3.1 Classification suivant la forme des constituants

En fonction de la forme des constituants, les composites sont classés en deux grandes classes :

➤ **Composites à fibres :**

On appelle composite à fibre, si le renfort se trouve sous forme de fibre (soit fibres continues, soit fibres discontinues, coupées ou courtes) [20].

➤ **Composites à particules :**

On appelle composite à particule, lorsque le renfort se trouve sous forme de particule. Au contraire d'une fibre, la particule n'a pas de dimension privilégiée. Les particules sont généralement utilisées pour améliorer certaines propriétés des matériaux ou des matrices, comme la rigidité, la tenue à la température, la résistance à l'abrasion...etc. mais dans de nombreux cas, les particules sont simplement utilisées comme charges pour réduire le coût du matériau, sans en diminuer les caractéristiques. Ce type de composite recouvre un domaine étendu dont le développement s'accroît sans cesse [21].

II.3.2 Classification suivant la nature de la matrice

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

- **Composites à matrice organique (résine, charges) :** peuvent être utilisés dans le domaine des températures ne dépassant pas 300°C [22].
- **Composites à matrice métallique :** (alliages légers et ultra légers d'aluminium, de magnésium, de titane) : domaine des températures jusqu'à 600°C [22].

- **Composites à matrice minérale (céramique) :** domaine des températures jusqu'à 1000°C. Ce type de composite (matrice) peut être associé à divers renforts [22].

II.4 Les constituants d'un matériau composite

Le matériau composite est constitué principalement d'une phase continue appelée la Matrice qui est blindée avec une phase discontinue est le renforcement, ces deux phases sont liées au niveau d'une interface qui assure l'adhésion entre eux, en outre de la charge qu'amélioré certaines propriétés du composite (**figure II.2**) [23].

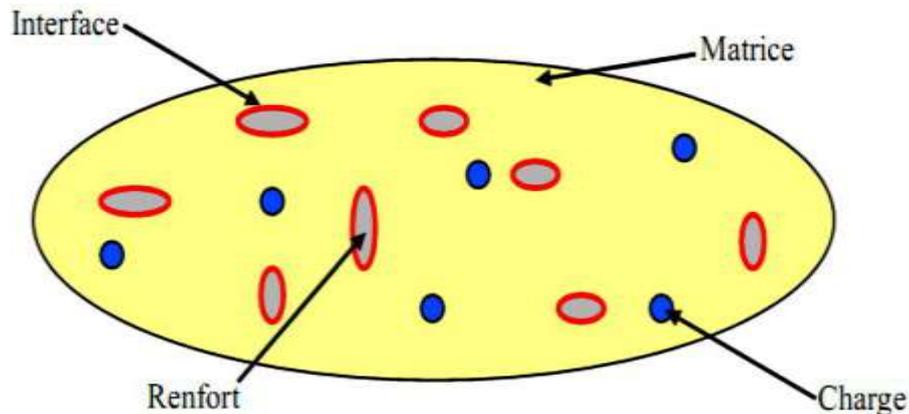


Figure II.2 : Matériaux composite [24].

II.4.1 Le renfort

Le rôle de renfort se varie en fonction de son type dans la structure du matériau. 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 propriétés physiques : comportement thermique, tenue en température, tenue au feu, résistance à l'abrasion, propriétés électriques...etc.

Le renfort doit également être compatibles avec la matrice du composite sur le plan chimique. Il peut se présenter sous de nombreuses formes : fibres courtes ou particules (mat) ou fibres continues (unidirectionnel, tissus ou textures multidirectionnelles) [25].

Il y a différents types de renforts (**figure II.3**)

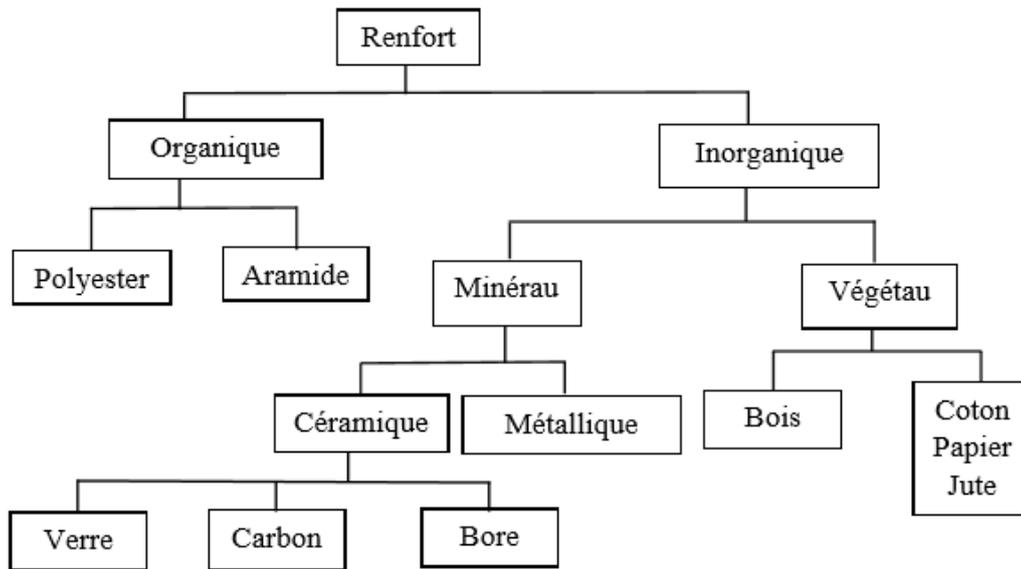


Figure II.3 : Différents types de renforts [26].

II.4.2 Matrice

La matrice est un matériau organique léger, facilement déformable. Le rôle de matrice est : lier les fibres du renfort fibreux entre elle, la répartition de la charge mécanique et les efforts (résistance à la compression ou à la flexion) sur tous les renforts, permet la cohésion des fibres pour une meilleure homogénéisation de l'ensemble et assure leur protection chimique. La matrice doit avoir une masse volumique faible afin de conserver aux matériaux composites des caractéristiques mécaniques spécifique élevées [27].

Il existe différents types de matrices qui sont utilisées dans les matériaux composites comme représenté sur la (figure II.4).

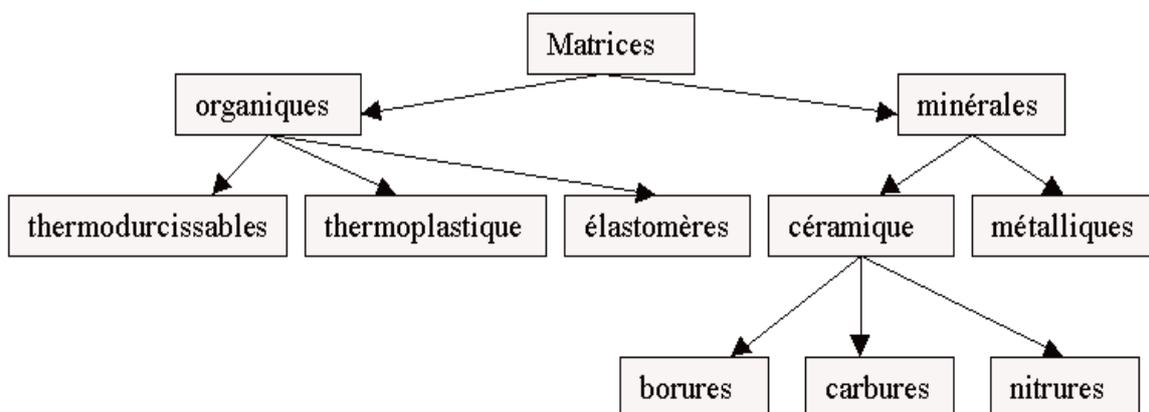


Figure II.4 : Différents type de matrice [28].

II.4.3 Les charges et additifs

II.4.3.1 Les Charges

Les charges sont des particules solides non miscibles ajoutées en quelques dizaines de % à un polymère de base, permet de modifier de manière sensible les caractéristiques mécaniques, électriques ou thermiques, d'amélioration l'aspect de surface ou bien de réduire le prix de revient du matériau transformé [29].

- **Charges renforçantes:** L'objet de l'incorporation de charges renforçantes est d'améliorer les caractéristiques mécaniques de la résine [30].
- **Charges non renforçantes:** Les charges non renforçantes ont pour rôle soit de déminer le cout des résines en conservant les performances des résines, soit d'améliorer certaines propriétés des résines [30].

II.4.3.2 Les additifs

Les additifs se trouvent en faible quantité (quelques % et moins). Elles améliorent l'apparence ou les propriétés du produit final. Les plus fréquemment utilisés sont les colorants, suivis des lubrifiants. Parmi les autres additifs, on retrouve agents anti-retrait, les agents de protection contre les rayons UV, les agents antimicrobiens et les agents ignifuges [31].

II.5 Exemple de fibre naturelle et fibre synthétique

II.5.1 Exemple fibre naturelle :

II.5.1.1 Poudre de noyaux de dattes :

- Tout d'abord, on lave les noyaux de dattes avec l'eau tiède et l'on sèche à l'air libre pendant 24 heures.
- Après, on élimine les restes de dattes.
- Ensuite, les noyaux sont broyés par un mortier en cuivre, puis ils sont broyés de façon poussée par un moulin à café domestique.
- En fin, en ils sont tamisés par un tamisage, on obtient une poudre fine [32].

II.5.1.2 Poudre de noyaux d'olive

- Tout d'abord, on lave les noyaux d'olive avec l'eau tiède et l'on sèche à l'air libre pendant 24 heures.

- Après, on élimine les restes d'olive.
- Ensuite, les noyaux sont broyés par un mortier en cuivre. Puis ils sont broyés de façon poussée par un moulin à café domestique.
- En fin, ils sont tamisés par un tamisage, on obtient une poudre fine [32].

II.5.1.3 Poudre des feuilles d'olives

- D'abord, on lave les feuilles d'olive avec l'eau distillée.
- Ensuite, on les sèche à l'air pendant 24 heures dans les conditions ambiantes selon le climat et on les met 24 heures dans l'étuve à 80 °C.
- A la fin, on fait progressivement le broyage et tamisage des feuilles d'olives pour obtenir une poudre fine.

II.5.2 Exemple de fibre synthétique

II.5.2.1 Polyester

La fibre de polyester est une fibre synthétique dans laquelle le matériau de moulage est un polymère à longue chaîne composé d'au moins 85 % en poids d'un ester de dihydrogénéolcool et d'acide téréphtalique [33].

➤ Propriétés du polyester

Reprise d'humidité : La reprise d'humidité du polyester est faible, varie entre 0,2 et 0,8 %. Bien que les polyesters soient non absorbants, ils n'ont pas de pouvoir absorbant. En effet de mèche, l'humidité peut être transportée à la surface de la fibre sans absorption.

Gravité spécifique : La gravité spécifique 1.38 ou 1.22 selon le type de fibres de polyester est modérée. Polyester les fibres ont une densité supérieure aux fibres de polyamide et plus basse que la rayonne. Tissus fabriqués à partir de fibres de polyester sont de poids moyen.

Effet de chaleur : Le point de fusion du polyester est proche de celui du polyamide, allant de 250 à 300°C. Polyester les fibres rétrécissent de la flamme et fondent, laissant un noir dur résidu. Le tissu brûle avec une odeur forte et piquante. Le thermo fixage des fibres de polyester stabilise non seulement la taille et la forme, mais améliore également la résistance aux rides des fibres [34].

II.5.2.2 Polyamide

Un polyamide (PA) 1 est un polymère contenant des fonctions amide $\{C_6H_{11}NO\}$ pouvant résulter de la polycondensation entre les fonctions acides carboxylique et amine.

En 1927, la société américaine Du Pont de Nemours constitue un service de recherches pour l'étude de la synthèse des polymères à longues chaînes. La direction en est confiée à Wallace Hume Carothers. Le polyamide 6/6 est découvert en 1936, la production à l'échelle industrielle débute en 1938. Parallèlement, Paul Schlack, un chimiste allemand, obtient par ouverture puis polycondensation d'un caprolactame (amine cyclique), une résine polyamide à six atomes de carbone baptisée Perlon. Certains polyamides sont rapidement utilisés dans l'industrie textile en particulier pour la fabrication des toiles de parachute. Les polyamides seront plus connus par la suite sous l'appellation de nylon.

Depuis, la famille des polyamides s'est agrandie ainsi que les producteurs. La consommation a augmenté de façon significative ces dernières décennies face à la demande provenant de l'industrie automobile. Ils trouvent une large variété d'applications techniques grâce à leurs excellentes propriétés, en injection par exemple, en substitution des métaux et autres résines thermodurcissables. Certains grades permettent l'extrusion, voire le thermoformage [35].

➤ Propriétés du polyamide

1. Il s'agit de polymères généralement à structures semi-cristallines, qui présentent un bon compromis entre caractéristiques mécaniques et chimiques. La concentration en fonction amide et la régularité de leurs espacements conditionnent les propriétés du matériau. Le point de fusion (T_f) augmente avec la concentration en fonction amide, et de surcroît lorsque le nombre de carbone composant les deux segments de chaîne est pair dans le cas d'un système — (AA—BB) n —.
2. Les polyamides sont en général des matériaux sensibles à l'humidité par la présence de groupes polaires. Les propriétés mécaniques et dimensionnelles peuvent donc être affectées selon les conditions de stockage et de mise en œuvre. Ils sont également assujettis à l'oxydation à haute température ainsi qu'une résistance limitée au feu. Pour pallier cette dernière, l'utilisation d'ignifugeants est possible à partir de composés halogénés (bromés ou chlorés) ou bien de composés inorganiques [35].

I.5.3 La différence entre les fibres naturelles et les fibres synthétiques

- Les fibres naturelles proviennent de plantes et d'animaux, tandis que les fibres synthétiques sont presque entièrement synthétiques.
- Les tissus en fibres naturelles sont généralement plus confortables que ceux en fibres synthétiques.
- Les fibres naturelles sont chères comparées aux fibres synthétiques.
- Dans les fibres synthétiques, les filières sont utilisées pour produire les filaments, alors que dans les fibres naturelles, elles sont fabriquées naturellement.
- Les fibres naturelles ont un usage limité par rapport aux fibres synthétiques.
- Les fibres naturelles sont biodégradables et donc écologiques, contrairement aux fibres synthétiques [36].

CHAPITRE III

PROCEDURE EXPERIMENTALE



III.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la description de la méthode de montage élaboration des matériaux composites à base de résine époxy et l'utilisation de diverses techniques de caractérisation parmi ces techniques on cite :

- Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier pour analyse des fonctions chimiques contenues dans le matériau
- Analyse mécanique dynamique (DMA) pour en extraire les propriétés dynamiques et mécaniques du matériau
- Analyse mécanique résistance et allongement à la rupture des matériaux.

III.2 Préparation de la poudre d'écorce d'orange

On lave bien les oranges pour nous assurer qu'elles sont complètement propres et ensuite on enlève le reste de l'orange, puis on le sépare de la partie blanche (**figure III.1**).



Figure III.1: Ecorces d'orange

Ensuite on expose les écorces d'orange au soleil, puis on les met au four à une température de 80°C pendant 4heures (**Figure III.2**).



Figure III.2: Les écorces d'orange séchées dans l'étuve à 80°C pendant 4h.

On procède au broyage et tamisage des écorces d'orange pour obtenir une poudre fine. On les garde dans une boîte pour les protéger de l'humidité (**Figure III.3**).



Figure III.3 : Broyage et Tamisage de l'écorce d'orange

III.3 Préparation de la poudre des feuilles du palmier dattier :

On lave les feuilles du palmier dans l'eau, puis au savon liquide, puis à l'eau tiède et froide, puis on les laisse sécher 24h dans les conditions environnantes selon le climat (**Figure III.4**).



Figure III.4 : Les feuilles du palmier

Ensuite on les met au four à une température de 80°C pendant 2 heures (**Figure III.5**).



Figure III.5 : DPLF séché dans l'étuve à 80°C pendant 2h

On les lave à nouveau avec de l'eau distillée et on les sèche pendant 48 heures.

On procède au broyage et tamisage des feuilles du palmier pour obtenir une poudre fine. On les garde dans une boîte pour les protéger de l'humidité (**Figure III.6**).



Figure III.6 : Broyage et Tamisage de la fibre DPLF

III.4 Préparation des mélanges

III.4.1 Les calculs théoriques

Pour obtenir des plaques, on utilise un moule dont les dimensions :

- Épaisseur = 0.2 cm.
- Largeur = 9.5 cm.
- Hauteur = 13.5 cm.

La masse du moule

On a $V = E \times L \times H = 0.2 \times 9.5 \times 13.5 = 26.03 \text{ cm}^3$

V : Le volume du moule (cm^3).

E : L'épaisseur du moule (cm).

L : La largeur du moule (cm).

H : La hauteur du moule (cm).

$$\rho = m/v \longrightarrow m = \rho * v = 1.11 * 26.03 = 28.89 \text{ g}$$

ρ : la masse volumique (g/cm^3)

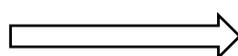
m : la masse (g)

Pour un mélange de (Fibre5%/epoxy95%)

Pour les époxy :

On a : 100% \longrightarrow 28.89g

95% \longrightarrow M(époxy) g

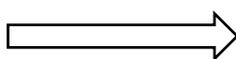


M(époxy)=27.44 g

Pour la fibre :

95% → 27.44 g

5% → M(fibre) g

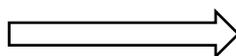


M(fibre) = 1.37g

Pour le durcisseur :

100g → 41 g

27.44g → M(durci) g



M(durci) = 11.25g

Pour une fibre DPLF :

Tableau III.1 : Les calculs théoriques

Parentage masse(g)	5% fibre 95% époxy	10% fibre 90% époxy	15% fibre 85% époxy	100% époxy
	E1/D1	E2/D2	E3/D3	R0
Époxy	27.44	26.001	24.55	28.89
DPLF/écorce d'orange	1.37	2.889	4.33	0
Durcisseur	11.25	10.66	10.068	11.84

III.5 Préparation des plaques

III.5.1 Moulage

Nous avons choisi une technique de moulage par contact dans ce travail, qui est une méthode d'exécution manuelle pour fabriquer des panneaux à partir de différents mélanges à température ambiante à l'aide d'un moule ouvert lisse.

Pour préparer ces plaques, suivez ces étapes :

- Nous collons le moule avec du silicone et veillons à ce que ses bords soient bien serrés pour éviter que la matière ne coule, puis nous le posons sur une surface plane.
- Dans une bouteille en plastique, on pèse la résine et la poudre d'écorce d'orange, puis on ajoute progressivement la poudre d'écorce d'orange à la résine, puis on mélange bien jusqu'à ce que cela devienne homogène pendant un moment. 20 ou 15 minutes, puis on ajoute le durcisseur et on continue à agiter pendant 5 minutes (**Figure III.7**).



Figure III.7 : Étapes à suivre pour préparer le mélange.

- On verse le mélange directement dans le moule, puis le répartit uniformément dans le moule et on laisse sécher à l'air pendant 24 heures (**Figure III.8**).



Figure III.8 : Le mélange est dans le moule.

Enfin, on le fait sortir du moule pour obtenir un échantillon rectangulaire (**Figure III.9**).



Figure III.9 : Les Plaques.

III.6 Techniques de caractérisation

Les différents tests pour étudier la plaque dans les écorces d'orange et les fibres de feuilles de palmier sont :

- Teste mécanique : Teste de traction, Teste de la dureté Shore D.
- Propriétés physiques : Tests d'absorption d'eau.
- Spectroscopie Infra Rouge à Transformée de Fourier (FTIR).
- Analyse mécanique dynamique (DMA).

III.6.1 Tests mécaniques

III.6.1.1 Test de traction

L'essai de traction est la méthode expérimentale qui est utilisée couramment pour la détermination des comportements mécaniques des matériaux. Ces comportements sont décrits par un ensemble de relations entre les contraintes, les déformations et leur évolution au cours du temps. On exerce une force de traction sur un cylindre de longueur qu'on a déterminé, car les résultats d'essai sont influencés par la précision de mesure des dimensions de l'éprouvette, jusqu'à sa rupture. En enregistrant la force F appliquée à l'éprouvette par la machine de traction et son allongement progressif, on remarque que l'effort fourni augmente avec l'allongement puis atteint un maximum et commence à décroître [37].



Figure III.10 : Machine de traction de type Zwick/Roell.

Les propriétés mécaniques sont mesurées lorsque les plaques sont déchirées au niveau de l'ENICAB à Biskra utilisant le type de traction (Zwick / Roell). L'appareil est connecté à un micro-ordinateur qui effectue toutes les opérations arithmétiques requis et trace les courbes contrainte/déformation.

➤ **Préparation des éprouvettes**

Les essais de traction sont effectués sur des éprouvettes découpées à l'aide d'un emporte-pièce de dimensions uniformes (**Figure III.11**).



Figure III.11 : Préparation des éprouvettes et Emporte-pièce.

Pour chaque échantillon "artisanat", trois échantillons ont été soumis à un essai de traction sur une machine de tension de type Zwick/Roell (**Figure III.12**).



Figure III.12 : La forme des éprouvettes soumises à un essai de traction.

➤ **Etape de l'essai**

L'essai de traction nécessite les étapes suivantes :

- Vous devez d'abord saisir les données relatives à l'échantillon à tester, notamment : épaisseur h , largeur b_0 (**Figure III.13**).
- Placez l'échantillon dans la machine d'essai de traction (**Figure III.14**).
- Démarrez l'appareil et la courbe s'affiche progressivement à l'écran.

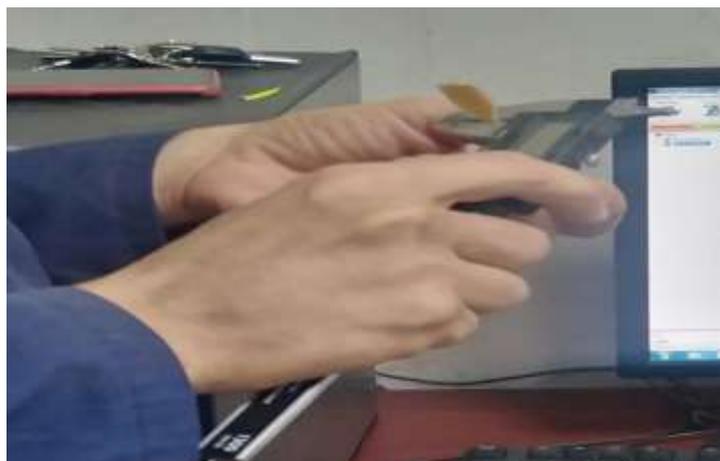


Figure III.13 : Mesure des dimensions de l'éprouvette.

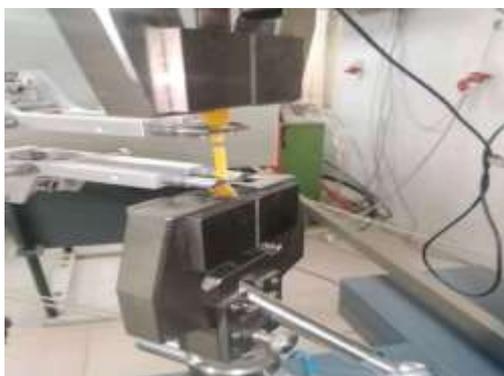


Figure III.14 : Éprouvette d'essai mise en place dans la machine de traction

III.6.1.2 Test de la dureté Shore

La mesure de la dureté Shore D a été réalisée au laboratoire « ENICAB » à Biskra. Le test consiste à appliquer une force tendant à pousser l'aiguille du duromètre Shore D selon NF ISO T51-123, sur des plaques de $13,5 \times 7,5 \text{ cm}^2$. La lecture se fait directement sur le duromètre après une pénétration de 15 secondes (**Figure III.15**).

Mode opératoire

1. Tenir l'appareil dans votre main.
2. Appliquer lentement et uniformément la partie contenant la pointe (piercing) sur la plaque.
3. Lire la valeur indiquée. Prendre 3 mesures et on calcule la moyenne pour obtenir une valeur de dureté très précise.



Figure III.15 : Test de dureté Shore.

Paramètres d'étude de traction [38]

Les caractéristiques mécaniques déterminées par l'essai de traction sont :

1. *Module d'élasticité*

C'est le rapport de la contrainte de traction à la déformation correspondante dans la limite de la contrainte maximale qu'une matière peut supporter. Il représente un critère de rigidité, il s'exprime comme suit :

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

E: Module d'élasticité (N/m²).

σ : Contrainte (N/m²).

ε : Déformation (%).

2. *Contrainte à la rupture*

La contrainte à laquelle la rupture a eu lieu, exprimée en Pascal est donnée par la formule suivante :

$$\sigma_r = \frac{F}{S}$$

σ_r : Contrainte à la rupture (N/m²).

S : Section de l'éprouvette (m²).

F : La force d'étirement (N).

3. Allongement à la rupture

L'allongement à la rupture correspondante est exprimé %, selon la formule suivante :

$$A \% = \frac{L-L_0}{L_0} * 100$$

A : Allongement à la rupture%.

L : Longueur finale de l'éprouvette(m).

L₀ : Longueur initiale de l'éprouvette(m).

III.6.2 Absorption d'eau

Le problème d'affinité des fibres naturelles avec l'eau intervient négativement sur les propriétés des composites Polymères/ Fibres naturelles. Pour cela nous effectuons un test d'absorption d'eau pour le polymère [39].

Dans le test d'absorption d'eau, nous avons coupé de petits carrés d'échantillons (**Figure III.16**).



Figure III.16: échantillons carrés

Et ils ont été séchés dans un four à 80 ° C pendant 20 min pour éliminer l'humidité (**Figure III.17**).



Figure III.17: Les Échantillons carrés au four à 80 °C pendant 20 minutes

Ensuite, les échantillons (m_0) sont pesés avec une balance analytique avec une précision de 0.0001 g (**Figure III.18**).



Figure III.18 : Pesée des échantillons (m_0) avec la balance analytique utilisée.

Ensuite, on a placé les éprouvettes dans un b cher contenant de l'eau distillée maintenue à température ambiante (**Figure III.19**).



Figure III.19 : Immersion des plaques.

Après immersion pendant une durée bien définie, les échantillons ont été retirés de l'eau et toute eau de surface les recouvrant a été essuyée avec un chiffon propre et sec.

Chaque échantillon a été pesé immédiatement après sa sortie de l'eau (masse en grammes) et pour déterminer la saturation en eau, les échantillons ont été immergés et pesés à nouveau après des temps spécifiés. Ensuite, le pourcentage de la masse d'eau absorbée a été calculé.



Figure III.20 : Pesée des échantillons (m) après l'immersion.

Pour chaque échantillon, on a calculé la variation relative de masse m_t (%) en pourcentage en masse, par rapport à la masse initiale, à l'aide de la formule appropriée suivante :

$$\Delta m (\%) = [(m - m_0) / m_0] \cdot 100$$

m_0 : La masse de l'échantillon avant l'immersion en gramme.

m : La masse de l'échantillon après l'immersion en gramme.

III.6.3 Spectroscopie Infra Rouge à Transformée de Fourier (FTIR)

III.6.3.1 Définition

La Spectroscopie Infra Rouge à Transformée de Fourier (ou FTIR : Fourier Transforme Infra Red spectroscopie) est basée sur l'absorption d'un rayonnement infrarouge par le matériau analysé. Elle permet via la détection des vibrations caractéristiques des liaisons chimiques, d'effectuer l'analyse des fonctions chimiques présentes dans le matériau [40].

III.6.3.2 Principe

La spectroscopie IR est une technique d'analyse permettant de déterminer la nature des liaisons chimiques présentes dans un échantillon et d'en caractériser les groupements moléculaires afin d'obtenir de nombreuses informations sur la conformation et les éventuelles interactions. Dans le cas de molécules biologiques, elle permet de détecter des variations spectrales liées à différents constituants macromoléculaires comme les acides nucléiques, les lipides, les glucides ou encore les protéines présentes dans le spécimen étudié, de façon qualitative et quantitative. Notons que seule une molécule ayant une variation de son moment dipolaire, peut être active en IR.

La région infrarouge est localisée entre la région du spectre visible et des ondes hertziennes. Le domaine infrarouge s'étend de 0.8 μm à 1000 μm . Il comprend 3 zones : le proche infrarouge (0.8 à 2.5 μm soit 12500-4000 cm^{-1}), le moyen infrarouge (2.5 à 25 μm soit 4000-400 cm^{-1}) et le lointain infrarouge (25 à 1000 μm soit 400-10 cm^{-1}).

Le spectre infrarouge représente l'absorbance « A » en fonction de la longueur d'onde « λ » qui est traditionnellement exprimée sous la forme du nombre d'onde « ν ».

$$\nu = 10^4/\lambda \text{ en cm}^{-1} \text{ Avec } \lambda \text{ en } \mu\text{m}.$$

Les régions du proche IR et du lointain IR ont suscité un certain intérêt et ont été utilisées dans plusieurs études. Cependant, le moyen IR reste le plus adapté et le plus utilisé pour l'étude de la composition moléculaire d'un échantillon [40].

III.6.3.3 Génération d'un spectre FTIR

Un spectre infrarouge est obtenu selon les étapes illustrées dans la Figure suivante :

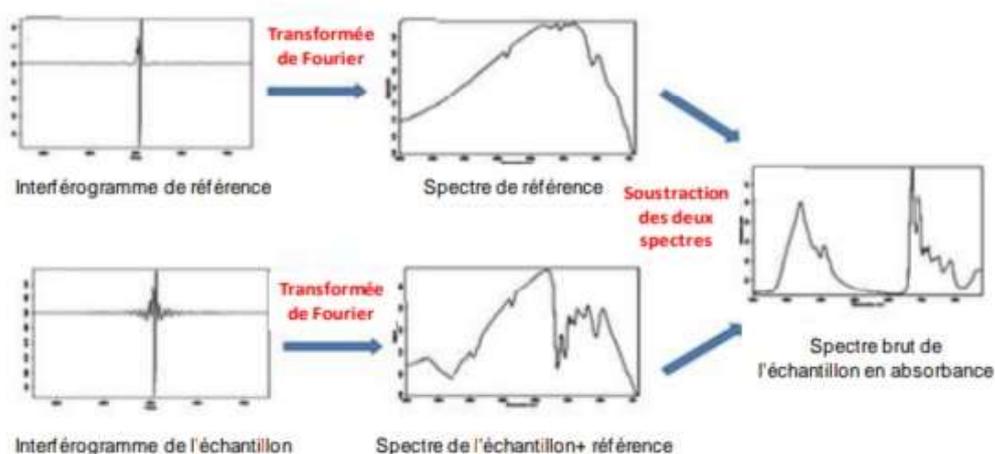


Figure III.21 : Schéma montrant les étapes de l'obtention d'un spectre FTIR

La première étape est l'enregistrement d'un interférogramme de référence sur le support Porte-échantillon (spectre de référence), ensuite le spectromètre procède à l'enregistrement d'un interférogramme simple-faisceau de l'échantillon à analyser. Ces deux signaux sont ensuite transformés par l'équation mathématique de transformée de Fourier en spectres. Le spectre infrarouge de l'échantillon est obtenu après la soustraction des deux spectres [(spectre (Échantillon+ référence) – spectre de référence)].

Le spectre FTIR a la caractéristique de fournir des informations qualitatives et quantitatives de l'échantillon analysé :

- **Informations qualitatives :** L'échantillon absorbe à des longueurs d'onde précises et qui sont caractéristiques des groupements chimiques qui le composent.

- **Informations quantitatives :** L'intensité d'absorption à une longueur d'onde précise est proportionnelle à la concentration du groupement chimique qui est à l'origine de cette absorption (mesure de l'aire du pic caractéristique) [41].



Figure III.22 : Spectrophotomètre à transformée de Fourier.

Méthode de travail :

Nous avons étudié des échantillons de fibres de palmier et d'écorce d'orange sous sa forme en poudre ainsi que sous sa forme solide et râpée 15%. Sur un appareil Spectrum Two FT-IR Spectromètre (Perkin Elmer) dans un laboratoire de photonique et nanomatériaux multifonctionnels (LPPNM) (**Figure III.23**).



Figure III.23: Les échantillons sont placés dans le dispositif infrarouge.

III.6.4. Analyse mécanique dynamique (DMA)

L'analyse mécanique dynamique (DMA) enregistre les propriétés viscoélastiques en fonction de la température et détermine le module d'élasticité et les valeurs d'amortissement en appliquant une force oscillante sur l'échantillon [42].

Des essais mécaniques dynamiques ont été réalisés sur machine DMA, marque Q800 au Laboratoire de Recherche en Chimie Appliquée (LCA) de l'Université de Biskra (**Figure III.24**) .



Figure III.24 : Machine DMA de marque DMA Q 800.

Méthode de travail :

L'analyse mécanique dynamique (DMA) nécessite les étapes suivantes :

- Nous coupons l'échantillon sous la forme d'un rectangle selon la pièce en acier de l'appareil, comme indiqué sur la (**Figure III.25**) :



Figure III.25 : Echantillons étudiés

- Saisir les données relatives à l'échantillon à tester, notamment : Épaisseur et largeur (Figure III.26).



Figure III.26 : Mesure des dimensions de l'éprouvette

- Mettre l'échantillon dans la machine DMA (Figure III.27).



Figure III.27 : Installation de l'échantillon dans la machine

- Démarrer l'appareil et attendre environ 20 minutes pour que la courbe s'affiche à l'écran

CHAPITRE IV

RÉSULTATS ET

INTERPRÉTATIONS



IV.1 L'analyse spectroscopique infrarouge FTIR

IV.1.1 L'analyse spectroscopique infrarouge Pour la résine Epoxy

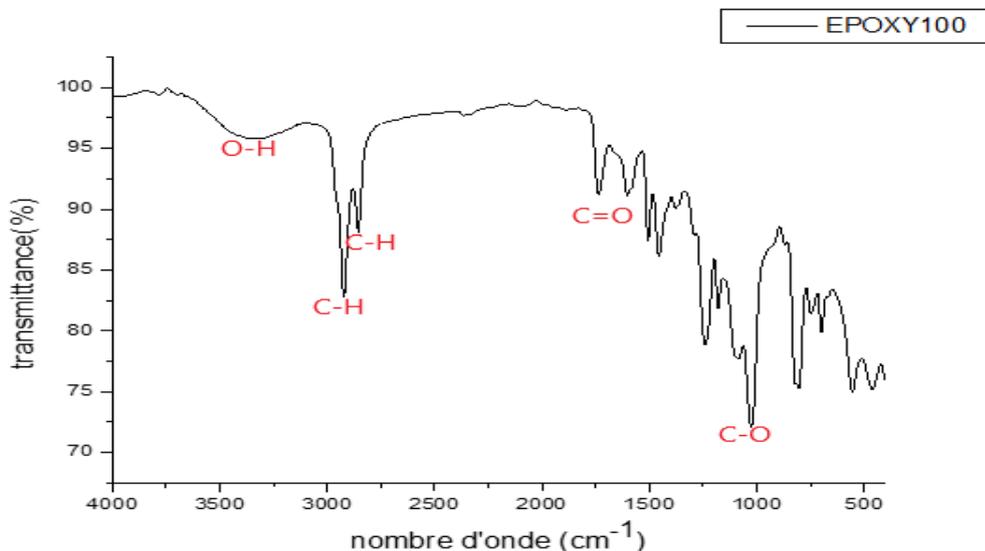


Figure IV.1 : Spectre FTIR du époxy 100%.

Tableau IV.1 : fréquences caractéristiques du époxy100%

Attribution	O-H	C-H	C-H	C=O	C-O
Fréquence cm ⁻¹	3342.4	2918.9	2851.1	1734.3	1023

IV.1.2. L'analyse spectroscopique infrarouge Pour l'écorce d'orange

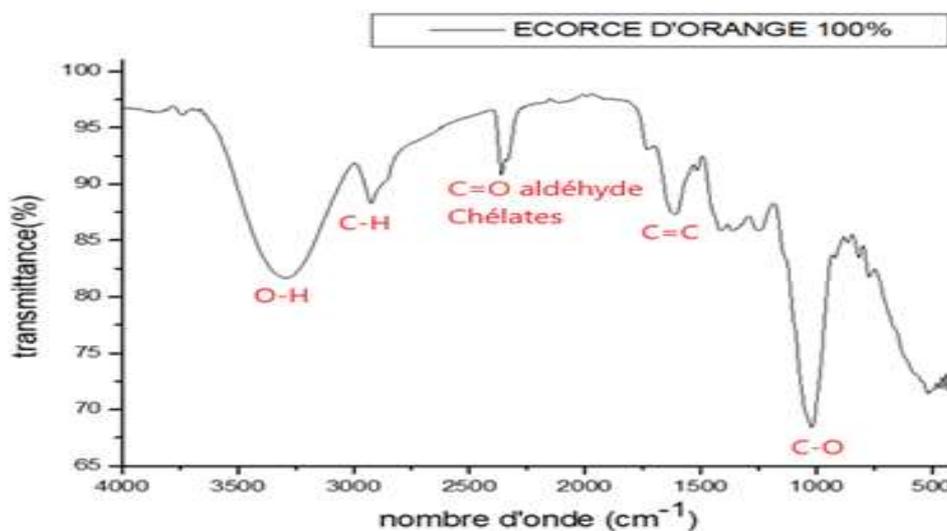


Figure IV.2 : Spectre FTIR de l'écorce d'orange

Tableau IV.2 : fréquence caractéristique de l'écorce d'orange

Attribution	O-H	C-H Alcène	C=O Aldéhydes Chélates	C=C Aromatique	C-O
Fréquence cm-1	3293.8	2925.3	2361.1	1611.5	1023

IV.1.3 L'analyse spectroscopique infrarouge Pour le composite (15% écorce d'orange 85% époxy)

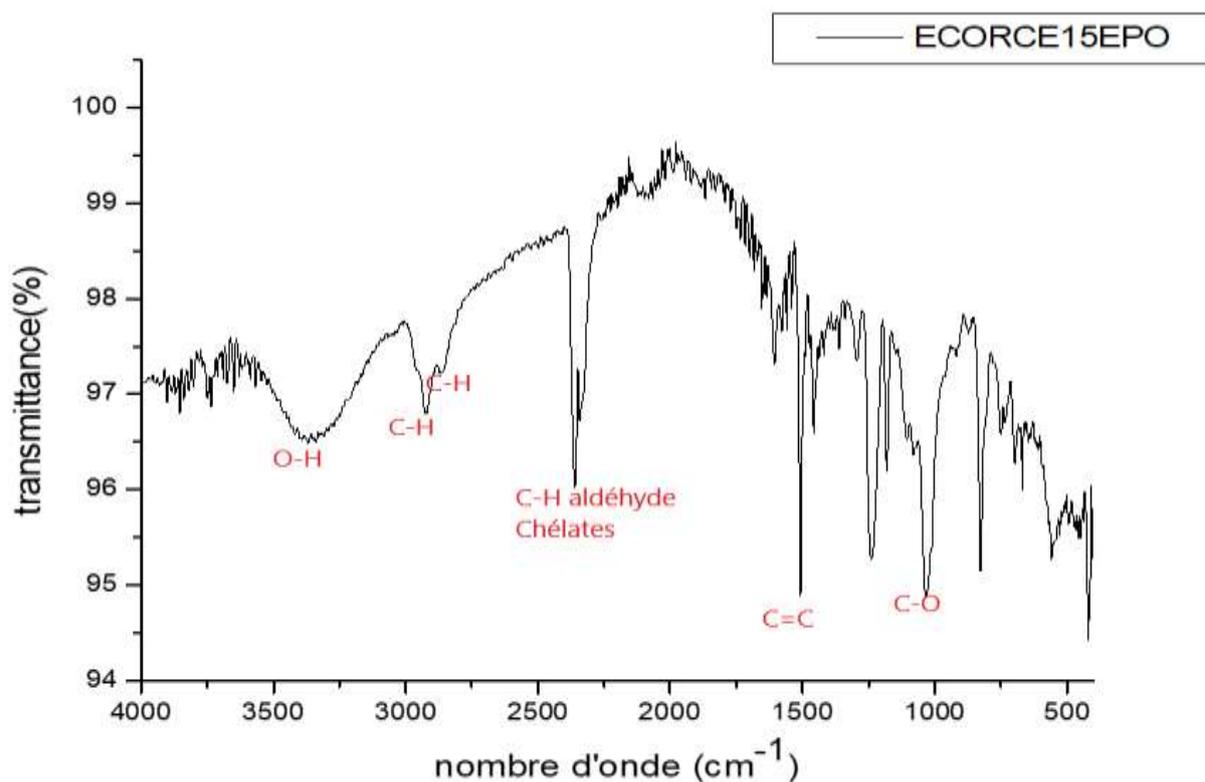


Figure IV.3 : Spectre FTIR du composite époxy/Ecorce d'orange 15%

Tableau IV.3: Fréquence caractéristique du composite époxy/Ecorce d'orange 15%

Attribution	O-H	C-H	C-H	C-H aldéhyde chélates	C=C	C-O
Fréquence cm-1	3360.6	2919.1	2871	2361.1	1514.6	1032.3

IV.1.4. L'analyse spectroscopique infrarouge

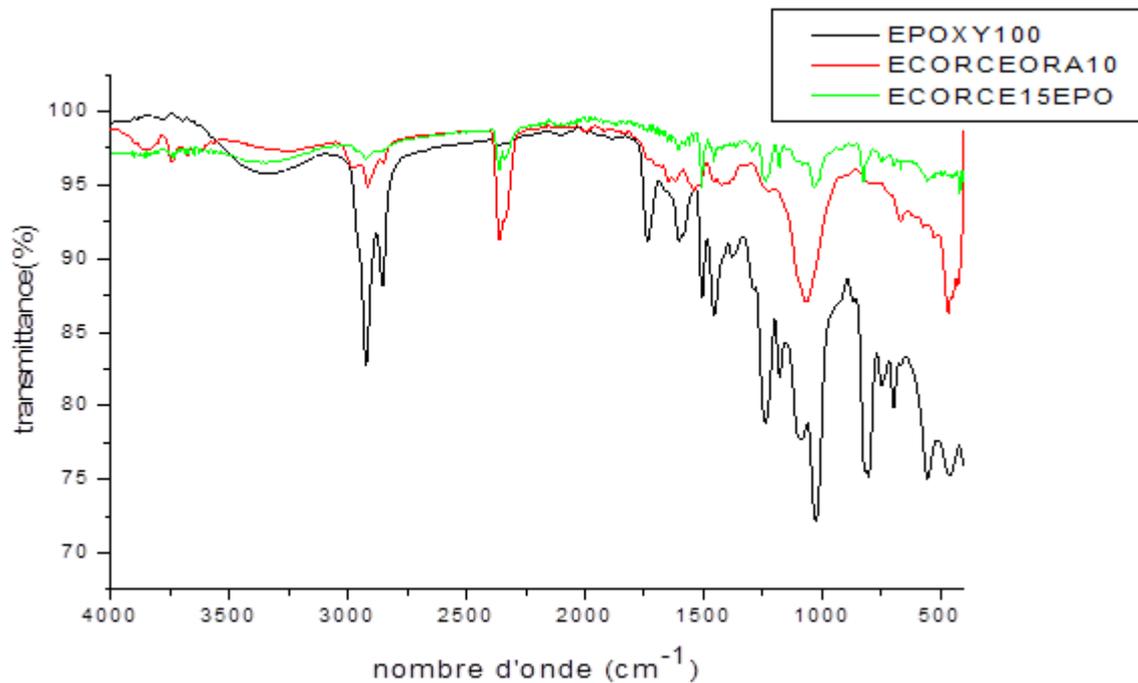


Figure IV.4 : Spectre FTIR du époxy100%, l'écorce d'orange, époxy / Ecorce d'orange 15%

IV.1.5 Etude de spectroscopie infrarouge des composite époxy / écorce d'orange

L'étude spectroscopique de l'écorce d'orange de la résine époxy et du composite époxy /écorce a été faite pour confirmer la présence de la poudre écorce d'orange dans la composition du composite.

Les spectres sont donnés dans les figures [IV.1, IV.2, IV.3].

Les pics d'absorption caractéristique de ces composites sont donnés dans les tableaux suivants [IV.1, IV.2, IV.3] avec leurs attributions.

En superposant les spectres (**Figure IV.4**), on remarque bien la présence de la poudre le l'écorce d'orange dans le composite.

IV.2 L'absorption de L'eau distillée

Pour évaluer la capacité à pouvoir absorber l'eau, une étude de l'absorption d'eau pour nos composites **E1**, **E2** et **E3** en comparaison avec la résine époxy **R0**.

IV.2.1 Influence du taux de fibre sur l'absorption

L'étude a été réalisée pour une durée de 360 heures, le prélèvement est fait chaque 24 heures, les résultats sont regroupés dans la **figure IV.5** montre que l'absorption l'eau par les composites augmente au fur et à mesure que le taux de l'écorce augmente dans la composition du composite chose clair lorsque sait que l'écorce d'orange contient des composés organiques avec diverses proportion.

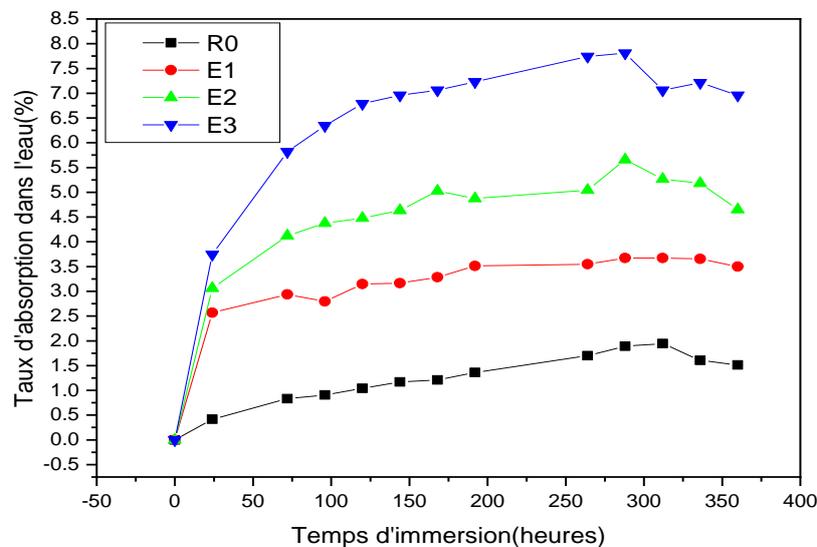


Figure IV. 5 : L'absorption de l'eau distillée en fonction du temps époxy 100%, époxy / Ecorce d'orange 5%, époxy / Ecorce d'orange 10%, époxy / Ecorce d'orange 15%

IV.2.2 Influence de la nature de la fibre

Dans la **figure IV.6**, représentés les courbes d'écorces d'orange et la fibre du palmier dattier.

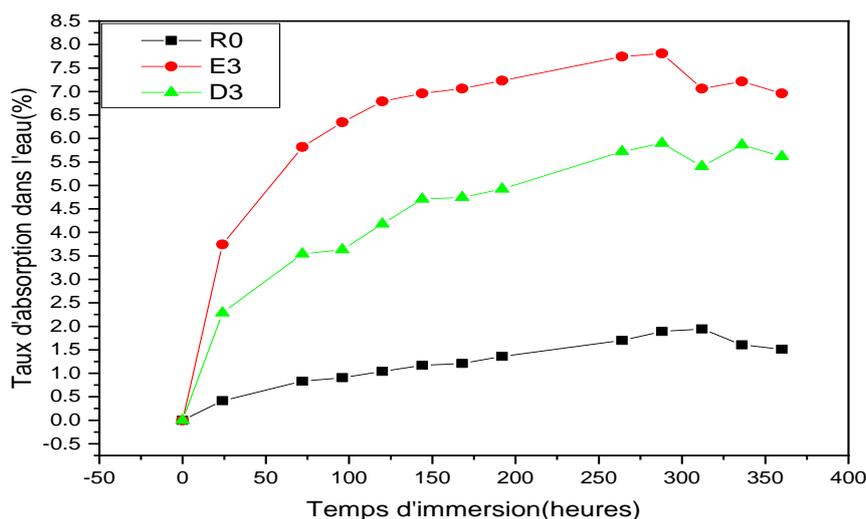


Figure IV.6 : L'absorption de l'eau distillée en fonction du temps epoxy 100%, epoxy / Ecorce d'orange 15%, epoxy / DPLF 15%

D'après les résultats obtenus, on remarque que l'écorce a un pouvoir absorbant supérieur à celui de la fibre DPLF, cette constatation nous amène à conclure que la nôtre chimique de la fibre influence sur le caractère absorbant le composite, la fibre DPLF présente un taux le cristalline de 40 % renfermant la cellulose, ce qui tend à faite diminuer le caractère absorbant. A l'encontre l'écorce d'orange qui renferme beaucoup de produites organique dans sa composition, absorbe mieux l'eau distillée.

IV.3 Les résultats d'étude mécaniques

IV.3.1 L'influence du taux d'additif sur les propriétés mécanique

IV.3.1.1 L'influence d'écorce d'orange

Tableau IV.4: Propriétés mécaniques des compositions de epoxy100%, epoxy/Ecorce d'orange 5%, epoxy/Ecorce d'orange 10%, epoxy/ Ecorce d'orange 15%

	<i>Résistance σ (MPa)</i>	<i>Allongement ϵ (%)</i>	<i>Dureté Shore</i>
R0	17	49.9	95
E1	19.1	27.3	94.6
E2	11.9	39.9	93.2
E3	16.4	19	96.6

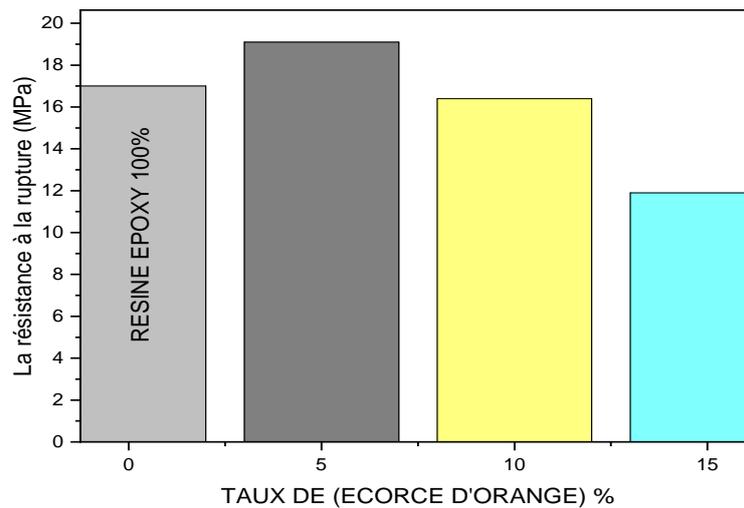
a. Etude la résistance à la rupture

Figure IV.7 : Évolution de la résistance à la rupture des compositions
Époxy/écorce d'orange

L'étude de la résistance à la rupture pour les composite **E1**, **E2** et **E3** a montré par comparaison avec la résine époxy une diminution au fur et à mesure que le taux d'écorce augmente, ceci est étroitement lié à nature chimique de l'écorce son incorporation dans la matrice organique, donne une souplesse au matériau composite et de ce fait la résistance chute (**Figure IV.7**).

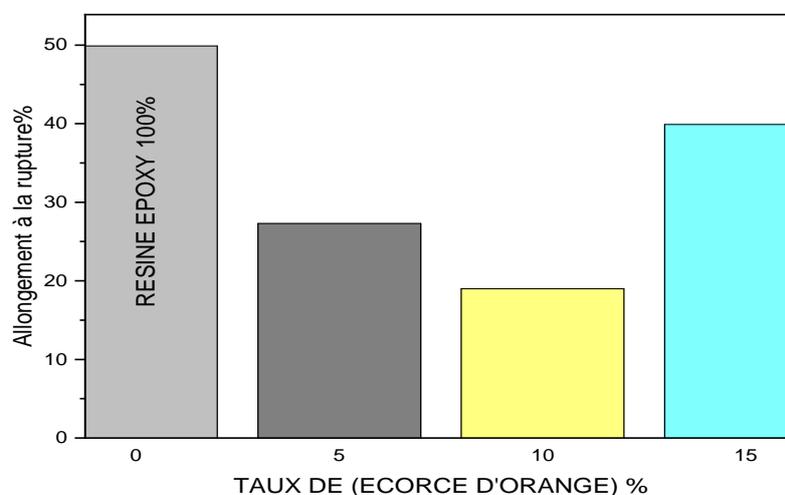
b. Etude l'allongement à la rupture

Figure IV.8 : Évolution de l'allongement à la rupture des compositions Époxy/écorce d'orange.

Ce résultat trouvé confirme ce qui a été trouvé pour l'absorption d'eau. En ce qui concerne, la variable allongement à la rupture, on note que plus le taux de l'écorce augmente dans la composition du composite, plus l'allongement augmente, car la plasticité augmente aussi (Figure IV.8).

c. Étude la dureté SHORE

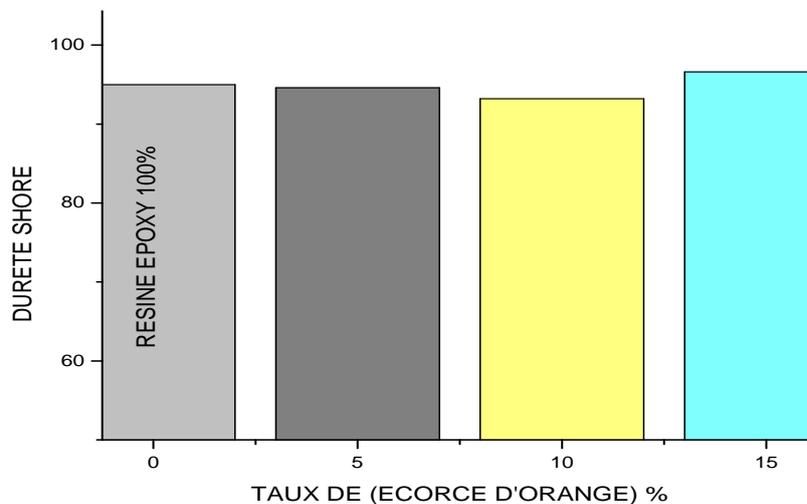


Figure IV.9 : Évolution de la dureté Shore de l'écorce d'orange

En ce qui concerne la dureté shore D, les résultats trouvés pour les différents composites, ne diffèrent pas, pas de variation ceci est lié à la nature de la résine époxy qui est un polymère thermosable (Figure IV.9).

IV.3.2 L'influence du type d'additif sur les propriétés mécaniques

Tableau IV.5 : Propriétés mécaniques des compositions de époxy 100%, époxy/ écorce d'orange 15%, époxy/ DPLF 15%.

	<i>Résistance σ (MPa)</i>	<i>Allongement ϵ (%)</i>	<i>Dureté Shore</i>
R0	17	49.9	95
E3	16.4	19	96.6
D3	17.4	8.4	91.8

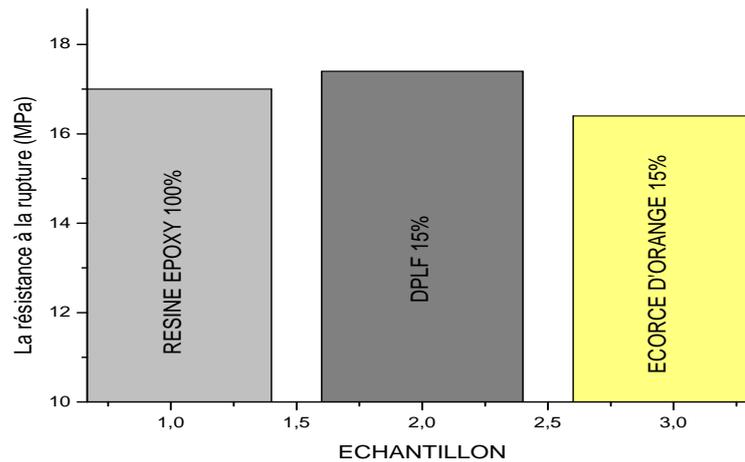
a. Etude la résistance à la rupture

Figure IV.10 : Histogramme de la résistance à la rupture des composites époxy / Fibres

Une étude comparative entre les deux fibres naturelles a été faite (**figure IV.10**), où l'on remarque des résultats en accord avec ce qu'a été fait précédemment, la résistance à la rupture pour le composite **D3** est supérieure à celle pour le composite **E3**, du fait de la rigidité de la composition, comme expliqué auparavant, le taux de cristallinité de la cellulose est responsable de cette augmentation, par contre l'écorce présente mou, de fait de la présence de composés organiques.

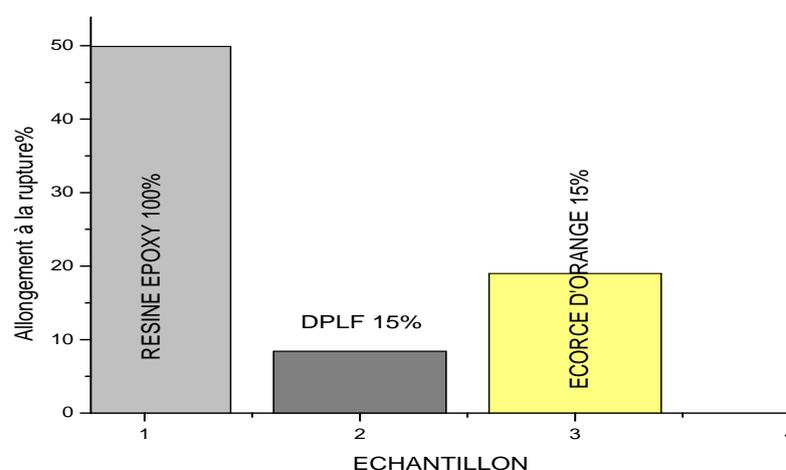
b. Etude l'allongement à la rupture

Figure IV.11 : Histogramme de l'allongement à la rupture des composites époxy / Fibres.

Ce résultat confirme celui pour l'allongement on l'on voit une variation qui conduit à la diminution lorsque la résistance à la rupture augmente (**figure IV.11**).

IV.3.3 Etude dynamique (DMA)

L'analyse est basée sur la réponse du matériau à une sollicitation mécanique sinusoïdale en fonction du temps et de la température.

Une étude mécanique dynamique DMA de nos composites relatifs au module de conservation, module de perte, et tangente delta. A été faite une série de 03 composites **R0** (époxy vierge), **D1** et **D3** a été réalisée.

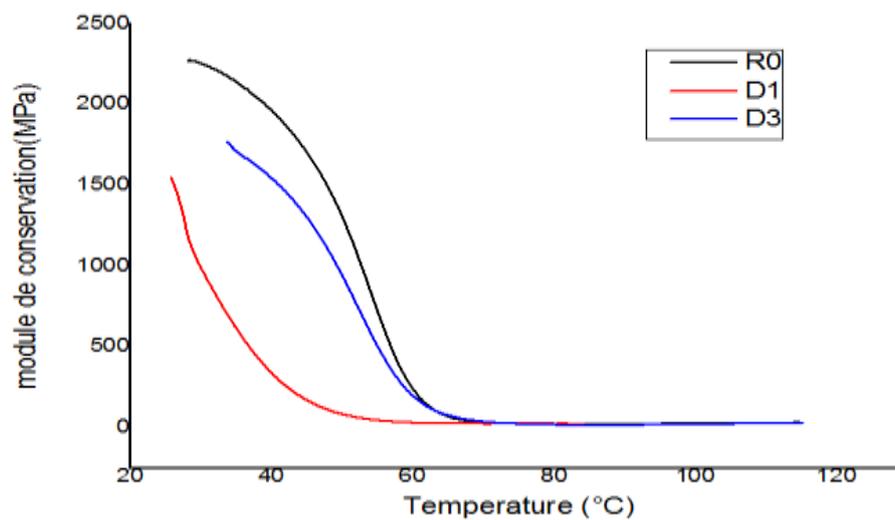


Figure IV.12 : variation du module de conservation (E') des composite R0, D1, D3 en fonction de la température

Tableau IV.6 : Les valeurs du module de conservation (E') des composite R0, D1, D3 à température (50 °C, 60 °C)

<i>Composite</i>	<i>R0</i>	<i>D1</i>	<i>D3</i>
E' à 50 (°C)	1298.79	82.64	932.31
E' à 60 (°C)	222.60	30.23	193.55

Les résultats pour le module de conservation E' sont donnés dans le (Tableau IV.6) et la (Figure IV.12), on constate que la chute du module de conservation est remarquée pour la résine époxy (chute $1298.79 \rightarrow 222.60$ MPa) lorsque la température passe de $T= 50^\circ\text{C}$ à $T= 60^\circ\text{C}$ (Tableau IV.6). Les composites **D1** et **D3**, la chute est moins prononcée (voir tableau), ceci à cause de la présence de la fibre, une certaine cohésion entre la matrice organique et la fibre s'installe.

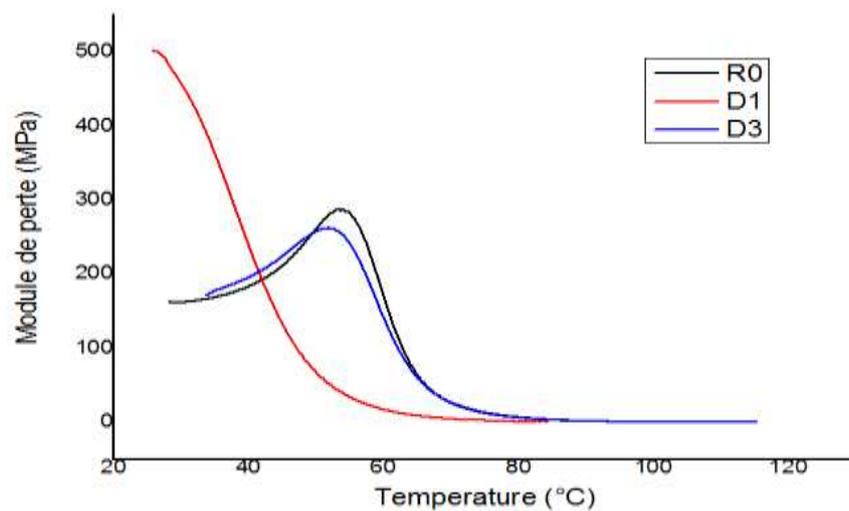


Figure IV.13 : variation du module des pertes (E'') des composite R0, D1, D3 en fonction de la température

Tableau IV.7 : Les valeurs du module des pertes (E'') des composite R0, D1, D3 à température (50°C , 60°C)

<i>Composite</i>	<i>R0</i>	<i>D1</i>	<i>D3</i>
<i>E'' à 50°C</i>	<i>1298.79</i>	<i>67.59</i>	<i>258.28</i>
<i>E'' à 60°C</i>	<i>162.50</i>	<i>16.87</i>	<i>140.43</i>

Pour ce qui est du module des pertes E'' , la, les pertes mécaniques chutent brusquement pour la résine vierge, par contre pour les composites **D1** et **D3**, on remarque une diminution moins prononcée (Tableau IV.7).

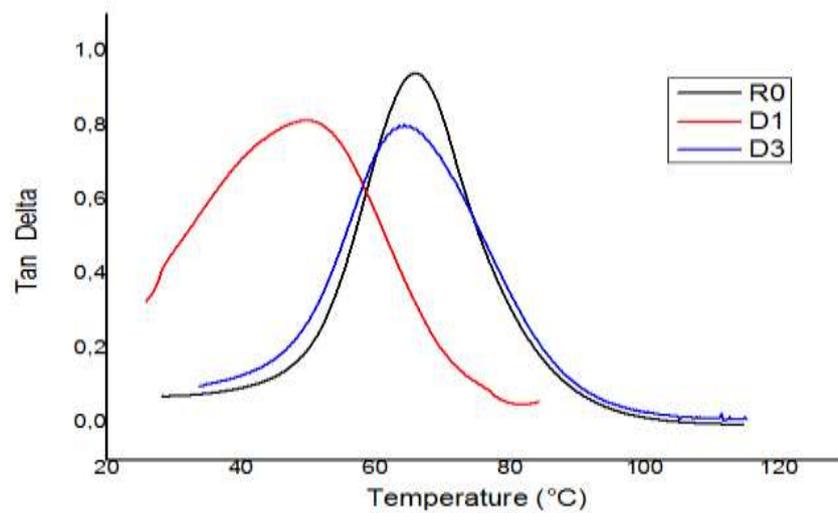


Figure IV.14 : variation de Tan delta des composite R0, D1, D3 en fonction de la température

Tableau IV.8: Les valeurs maximales de tan delta des composite R0, D1, D3

Composite	R0	D1	D3
<i>T_{max}</i> (°C)	65.86	50.03	64.499
<i>T_g δ</i>	0.9628	0.8179	0.7987

L'étude relative à la variable $\tan \Delta = E''/E'$, a montré le déplacement du maximum vers les valeurs supérieures de la température pour le composite **D3** (les valeurs numériques sont regroupées dans le tableau (**TableauIV.8**), On peut supposer que ce déplacement du maximum est lie au taux de la fibre incorporée qui passe de **5%** à **15%** cette augmentation du taux confère au composite une certaine homogénéité structurale, voir (**Tableau IV.8**).

CONCLUSION GÉNÉRALE



CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif principal de ce travail est une recherche des Influence du taux de fibre naturelle sur les propriétés du composite à base de résine époxy.

L'étude spectroscopique infrarouge du composé époxy / écorce d'orange a montré en comparant les courbes que nous avons trouvé les mêmes pics, cela confirme la présence de poudre de peau d'orange dans le composé.

L'adjonction de fibres naturelles au résine époxy, entraîne une nouvelle propriété absorbante du composite. et cette absorption est influé par le taux et la nature des fibres.

L'étude mécanique des composites a été suivi par la variation de la résistance à la rupture, l'allongement à la rupture et enfin la dureté Shore D. Il a été trouvé que la résistance à la Rupture est liée à la nature chimique de la fibre, l'allongement de la rupture elle est liée au Taux de fibres dans la formation du composé, la dureté Shore elle est liée à la nature de la Résine époxy, qui est un polymère thermoplastique.

Les résultats de l'analyse mécanique dynamique de 3 composés (R0, D1, D2) ont montré que lorsque les fibres naturelles (DPLF) étaient ajoutées au polymère (résine époxy), il améliorait ses propriétés en présence de chaleur par rapport au module de module de conservation, module de perte, et tangente delta.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES



Références Bibliographiques

[1]	N. Berrahou, Calcul Des Propriétés Physiques Par Modélisation Moléculaire Des Copolymères, Thèse de Doctorat, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf., 2016.
[2]	S. Cherfeddine, Y Bouchareb, Étude et caractérisation des composites polyester-fibre naturelle, Cas DPLF, Mémoire de Master, Université Mohamed Khi der de Biskra, 2020.
[3]	P. Câlin Georgel, Résines époxydes renforcées avec des fibres naturelles, Thèse de Doctorat, Université Laval Québec. 2009
[4]	P. Combette, I. Ernoult, Physique des polymères, Tome 1, Presses internationales Polytechnique. 2000.
[5]	M. Fontanille, Y. Gnanou, Chimie et Physico-Chimie des polymères, 3 ^{ème} édition, Dunod, Paris, 2002.
[6]	Société Francophone de Biomatériaux Dentaires P. WEISS
[7]	Patrick Combette; Isabelle Ernoult; Christian G'Sell, Physique des polymères, Tome 1, Structure, fabrication et emploi, Hermann, Paris, 2005.
[8]	A. Methia, M.A. Rezzoug, Etude de la diffusion de l'irganox 1076 dans un polymère recyclé à base de PEHD, Mémoire de Master, université Abderhmane Mira Bejaia, 2017.
[9]	A. Atmani, Comportement mécanique en traction monotone d'un polymère associé au carbonate de calcium (PEHD)5502/CACO ₃ , Mémoire de Master, université Badji Mokhtar Annaba, 2017.
[10]	N. Gumez, Préparation et étude de la stabilité thermique des polyurethanes, université Ferhat Abas Sétif, 2012.
[11]	M. Medkour, Polymères: synthèse macromoléculaire, Tome 1, offices des publications universitaires. O.P.U Alger, 1982.
[12]	K. Kessaissia, Modélisation et simulation des interactions des composites nanotubes de carbone /polymères , Mémoire De Magister en Electronique, Université Hassiba Benbouali Chlef, Algérie, 2009.
[13]	I. Seghir, Caractérisation du matériau polystyrène/talc et polystyrène/alun, Mémoire de master, Université de Biskra, Algérie, 2016.
[14]	C. Barrère et F. Dal Maso, Résines époxy réticulées par des polyamines : structure et propriétés, Institut français du pétrole, 1997.
[15]	P. Bardonnnet, Résines époxydes (EP) Composants et propriétés, Technique de l'ingénieur, A3465 v1, 1992.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[16]	Jin F-L, Li X, Park S-J. Synthesis and application of epoxy resins: A review. J.Ind Eng. Chem., 29:1–11, 2015.
[17]	D. Guo-Hua, Structure et application à l'élaboration de résines époxy, laboratoire de Génie chimique -UMR 5503- Université de Toulouse 2011
[18]	Aoufi Moadh, Sidali Hamidat, Etude numérique du comportement mécanique des plaques en matériaux composites munies de trou circulaire, Mémoire Master, Université Mohamed Boudiaf, M'SILA, 2021
[19]	Jean-M Berthelot, Matériaux composites : Comportement mécanique et analyse des structures, 5 ^e édition, Lavoisier Paris, 2012.
[20]	M. Bendifallah, Travail de recherche sur les matériaux à mémoire viscoélastique parfaitement élastique pour une nouvelle Prothèse totale de Hanche, Mémoire de Magister , Université de Batna, 2011.
[21]	G. Chretien, Matériaux composites à matrice organique, Techniques et Documentations, Lavoisier, 1986.
[22]	F. Berbain. A. Chevalier, Mise en œuvre des plastiques renforcés, Technique de l'ingénieur, A3720A, 1989.
[23]	M. Klárová, Course of Composite materials, Technical University of Ostrava, 2015.
[24]	A. Boudenne, Etude expérimentale et théorique des propriétés thermo physiques de matériaux composites à matrice polymère, Thèse doctorat, Paris 12, 2003.
[25]	A. Mostar, Influence des ajouts de fins minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcé de fibre végétales de palmier dattier, Mémoire Magister, Université de Kasdi Merbah Ouargla, 2006.
[26]	A. Houideg, Transfert de charge et frottement Fibre/ Matrice d'un Matériau Composite (T300/914), Mémoire Magister, Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf, 2011.
[27]	B. Hami, Elaboration et caractérisation physico-mécanique d'une structure sandwich multicouches, Thèse de Doctorat, Université M'hamed Bouguerra Boumerdès, 2018.
[28]	E. Jao Jules, Couplages entre propriétés thermiques, réactivité chimique et viscosité des matériaux composites therm durcissables en relation avec les conditions de leur élaboration fondée sur l'hystérésis diélectrique, Thèse de Doctorat, L'école nationale supérieure d'arts et métiers Paris Tech, 2001.
[29]	S. Charfeddine, Y. Boucharreb, Etude et caractérisation des composites polyester-Fibre naturelle Cas DPLF, Mémoire de Master, Université Mohamed Khider de Biskra, 2020.
[30]	K. Rouam, Elaboration, caractérisation mécanique et hygrothermique d'un stratifié renforcé par des fibres naturelles. Mémoire de magister, Université de Boumerdès, 2013.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[31]	B. Bakhouche, Caractérisation d'un matériau composite stratifié à fibre de verre/époxy en flexion 3 points statique », Mémoire de master, Université Baadji Mokhtar Annaba, 2018.
[32]	A. Berkok, Etude mécanique et dynamique de compositions polymériques à base de PVC, Mémoire de Master, Université de Biskra, 2019.
[33]	N. Hollen, J.Saddler, Textiles, Third Ed, Macmillan, Canada, 1968.
[34]	Phyllis G. Tortora, Understanding Textiles. Macmillan, New York, 1978.
[35]	Disponible sur : https://fr.wikipedia.org/wiki/Polyamide . Consulté le 20-04-2022.
[36]	Disponible sur : https://fr.sawakinome.com/articles/chemistry-science-nature/difference-between-natural-and-synthetic-fibers.html . Consulté le 20-04-2022.
[37]	H. Ladjabi, Etude Expérimentale du Comportement Mécanique des Polymères, Mémoire de magister, Université de Annaba, 2011.
[38]	S. MAOU, Etude des propriétés thermiques de mélanges à base de PVC et PVC-PEHD et les phénomènes de dégradation, Mémoire de Magister, Université de Ouargla, 2012.
[39]	Z. Chettouh, Etude Physico-Chimique du composite PVC/PE - Fibre de palmier dattier, Mémoire de Master, Université de Biskra, 2018.
[40]	D. W.Van Krevelen, K. TeNijenhuis, Properties of polymers: their correlation with chemical structure; their numerical estimation and prediction from additive group contributions, Fourth Edition, Elsevier, 2009.
[41]	I. Taleb, Apport de la spectroscopie vibrationnelle, infrarouge et Raman, appliquée au sérum pour le diagnostic du carcinome hépatocellulairechez les patients atteints de cirrhose, Thèse de Doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne, 2013.
[42]	Disponible sur : https://analyzing-testing.netzsch.com/fr/produits-solutions/analyse-mecanique-dynamique-dma . Consulté le 20-04-2022.

Résumé

L'objectif principal de ce travail est d'étudier des composés à base de résine époxy élaborés avec des déchets naturels dans différentes proportions. Une série de matériaux composites DPLF/résine époxy et écorce d'orange/résine époxy ont été produites à (5%, 10%, 15%) en utilisant la technique de moulage par contact. L'étude spectroscopique (FTIR) de ces matériaux composites a été menée à des fins de connaissance structurale, et l'étude de l'absorption d'eau pour déterminer les fibres hydrophiles. L'étude du comportement mécanique de la résistance et de l'allongement à la rupture a montré l'effet des fibres dans les matériaux composites, et l'apparition de la dureté shore d a été évaluée. L'étude de l'analyse mécanique dynamique (DMA) nous a montré que le coefficient de module de conservation (E') et module des pertes (E'') en D1 et D2 a une diminution moins prononcée, tandis que les décalages tan delta se déplacent de 5% et 15%.

Mots clés : Composites, Fibre, Résine époxy, DPLF, écorce d'orange.

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة المركبات القائمة على راتنجات الايبوكسي المصنوعة من النفايات الطبيعية بنسب مختلفة. تم إنتاج سلسلة من DPLF / راتنجات الايبوكسي وقشر البرتقال / راتنجات الايبوكسي بنسبة (5%، 10%، 15%) باستخدام تقنية قولبة التلامس. أجريت الدراسة الطيفية (FTIR) لهذه المركبات لغرض المعرفة الهيكلية، ودراسة امتصاص الماء للتعرف على الألياف المحبة للماء. أظهرت دراسة السلوك الميكانيكي للمقاومة والاستطالة عند الكسر تأثير الألياف في المواد المركبة، كما تم تقييم مظهر صلادة شور d.

أظهرت دراسة التحليل الميكانيكي الديناميكي (DMA) أن معامل التخزين (E') ومعامل الفقد (E'') في D1 و D3 لهما انخفاض أقل وضوحًا، في حين أن تحولات tan delta تتزاح في 5% و 15%.

الكلمات المفتاحية: المركبات، الألياف، راتنجات الايبوكسي، DPLF، قشر البرتقال