



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences et de la technologie

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Génie mécanique
Spécialité : Construction mécanique

Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :

MERABTI Fatima El Zahraa

Le : Dimanche 4 juillet 2021

Contribution d'élaboration d'un matériau léger à partir des déchets des palmiers dattiers (pétiole)

Jury:

Dr. DJOUDI Tarek	MCB	Université de Biskra	Président
Dr. DJIMAI Hocine	MCB	Université de Biskra	Rapporteur
Dr. DJEBLOUN Youcef	MCB	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire: 2020 - 2021

Remerciements

Je remercie tout d'abord Allah qui est toujours m'aide et me donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

*Je tiens à remercier particulièrement Monsieur **Dr. DJIMAI Hocine**, mon encadreur, pour avoir accepté de diriger ce travail, l'expression de mon profond et sincère remerciement, pour ses efforts, ses critiques constructives et sa confiance et pour m'avoir ouvert les portes pour ses conseils et encouragements durant cette difficile période de recherche.*

*J'exprime ma profond respect et gratitude au professeur **Dr. BILHI Guerira**, pour ses précieux conseils et son encouragement.*

*Je tiens également à remercier les membres du jury **Dr. DJOUDI tarek** et **Dr. DJEBLOUN Youcef** pour l'honneur qu'ils m'ont accordé en acceptant de juger mon travail.*

*Sincères remerciements à **MERABTI youcef Pr. SEDIRA Lakhdar** et **DJRADI Farouk, KATALLA Ismail, Boubakar, Yassine, BOUTEBBA abdelghafer.***

Enfin, nous remercions également ma famille respectueuse et mes amies, je n'aurais jamais pu réaliser ce travail sans votre soutien.

Mes sincères remerciements à tous.

Dédicace

Je dédie ce travail à tous ceux que j'aime et j'estime en particulier :

A mes parents et mon deuxième maman (djemaa) qui m'ont toujours soutenue avec beaucoup d'amour

A mes sœurs : Nisrine, Hanane, Dounia, Chaima, Sarah, Asma.

A mes frères : Lbahri, Tahir, Rami, Hafnawi, Ahmed, Tamir, Ziyad.

A ma famille Mrabti. Et notre chère voisine, Siham, Khaira.

A tous mes chers amis : Sahraoui, Salah eddine Mounib, Amira Hecini et mes amis

Et mes meilleurs amis : Abbassi Manar, Djihan, Hasna, Basma, Fati, Ikhlasse, abbassi manar, guiton manar

Ainsi que pour tous mes amis et mes collègues.

Merabti Fatima El Kahraa

Table des matières

Sommaire

Remerciements.....	I
Dédicaces.....	II
Table des matières	III
Liste des Figures	VIII
Liste des Tableaux	IX
Introduction Générale	1

Chapitre I

Généralités sur les matériaux composites

I. A.1 Matériaux composites.....	3
I.1.1 Définition	3
I.1.2 Caractéristiques générales	4
I.2.3 Classification des matériaux composites	5
I.2 Classification des matériaux composites	5
I.2.1 Classification suivant la forme des constituants.....	5
I.2.1.2 Composites à particules.....	6
I.2.1.3 Classification suivant la nature des constituants.....	6
I.3. Avantages et inconvénients des composites	7
I.4 Les bio composites.....	8
I.5 Diversité des fibres papetières, diversité des propriétés	9
I.5.1 Fibres de bois.....	9
I.5.2 Fibres de chanvre	10
I.5.3 Fibres de lin	10
I.5.4 Autres fibres	11
I.5.5 Propriétés des fibres végétales	11
I.B.1. Historique de palmier dattier	12
I.1 Introduction.....	12
I.2 Structure des palmiers dattiers.....	13
1. Noyau de dattes.....	3
2. Tronc	14

3.	Rachis de palmier dattier	4
4.	Pétioles (kornafs)	5
I.3	Répartition géographique du palmier dattier	5

Chapitre II

Comportement mécanique des matériaux composites

Introduction.....	23
II.1 Propriétés élastiques d'un matériau composite	23
II.1.1 Matériau unidirectionnel	23
II.2. La matrice de rigidité et de souplesse	3
II.3. Module d'élasticité.....	4
II.4. Matériau orthotrope	4
II.5. Matrices de rigidité et de souplesse	4
II.6. Modules de l'ingénieur	5
II.7. Propriétés élastiques d'un matériau orthotrope dans le repère hors axes principal	6
II.7.1. Essais de Flexion 3 points	8
a. Principe	8
II.7.2. Flexion trois points	9

Chapitre III

Partie expérimentale et résultats et discussion

Introduction.....	30
III.1. Matériaux utilisés	30
III.1.1. Présentation des constituants des matériaux composite	31
III.2. Decoupage des eprouvettes	33
III.3. Flixion trios points	33
III.4. Résultats et discussion.....	34
Conclusion générale	41
Référence bibliographique	42

Table des Matières

Résumé.....

Liste des Figures

Chapitre I

Généralités sur les matériaux composites

Figure I.1 : Matériaux composites.....	3
Figure I.2 : Classification des bio composites	8
Figure I.3 : Le bois, ressource naturelle renouvelable.....	9
Figure I.4 : Farine de bois à usage industriel.....	9
Figure I.5 : Plantation de chanvre à fibre.....	10
Figure I.6 : Fibres de chanvre observées au microscope, avec micro flambage dans les zones de compression.....	10
Figure I.7 : Lin en fleur.....	11
Figure I.8 : Fibres de lin observées au microscope.....	11
Figure I.9 : Schéma de noyau de dattes.....	13
Figure I.10 : Schéma de tronc.....	14
Figure I.11 : Schéma de palme.....	14
Figure I.12 : Schéma de pétioles.....	15

Chapitre II

Comportement mécanique des matériaux composites

Figure II.1 : Matériaux composite unidirectionnel.	23
Figure II.2 : Axes principaux (1, 2, 3) d'une couche de stratifié et axes de référence.....	26
Figure II.3 : Représente le montage de flexion trois points.....	28

Chapitre III

Partie expérimentale et resultats et discussion

Figure III.1: Constituant de base du matériau étudié.	30
Figure III.2: protocole de préparation une plaque de pétiole aggloméré de taille (0-10mm).	32
Figure III.3 : Machine de traction.....	33
Figure III. 4 : Courbes de Charge-Déplacement des matériaux composite p14 sollicités par flexion trois points.....	35
Figure III. 5: Courbes de Charge-Déplacement des matériaux composite p17 sollicités par flexion trois points.....	35
Figure III. 6 : Courbes de Charge-Déplacement des matériaux composite p20 sollicités par flexion trois points.....	36
Figure III. 7 : Courbes de Charge-Déplacement des matériaux composite p23 sollicités par flexion trois points.....	37
Figure III. 8 : Courbes de Charge-Déplacement des matériaux composite p26 sollicités par flexion trois points.....	39

Liste des Tableaux

Chapitre I

Généralités sur les matériaux composites

Tableau I.1. Exemples de matériaux composites, pris au sens large4

Tableau I.2. Propriétés mécaniques de plusieurs plantes annuelles..... 12

Chapitre III

Partie expérimentale et résultats et discussion

Tableau III.1. Pourcentage de renfort et maîtrises. 31

Tableau III.2. Les valeurs moyennes du module d'élasticité des différents types des éprouvette matériaux composites. 38

INTRODUCTION

GÉNÉRALE

Introduction générale

Grâce à leurs bonnes propriétés mécaniques et leur légèreté, les matériaux composites sont considérés comme des matériaux incontournables dans plusieurs domaines tels que l'industrie automobile, aérospatiale, aéronautique, navale et le secteur sportif. Néanmoins, les enjeux environnementaux conduisent à diminuer l'utilisation des matériaux issus des ressources fossiles. De plus le mouvement vers la diminution des gaz à effet de serre et les règlements qui sont imposés afin d'améliorer l'efficacité de l'exploitation de carburants, nécessitent des matériaux plus légers avec une empreinte de carbone plus faible. Alors, les matériaux composites usuels tendent à être remplacés par des matériaux plus "verts" et plus légers tels que les matériaux bios composites. C'est dans cette optique que notre recherche est menée sur la contribution à l'élaboration à trouver la combinaison appropriée de matériaux composites issus de déchets de palmier dattier, car nous nous sommes réalisés cinq formulations du même type de pétiote agglomérée et colle blanche mais dans des proportions différentes et étudions la flexion trois points sur les différents types de plaques de matériau composite.

Le premier chapitre

Comporte des généralités sur les composites. Nous avons distingué les différentes constitutions de composites. Et puis, les matériaux composites ont été classés selon trois paramètres (Caractéristiques générales, Classification des matériaux composites classification des matériaux composites) et Nous présentons l'histoire de palmier dattier et leur structure et donnons le détail des palmiers dattiers et l'état de l'art.

Le deuxième chapitre :

Nous présentons le comportement mécanique des matériaux composite et il a noté que les propriétés élastiques d'un matériau composite et la méthode de fixation trois points.

Le troisième chapitre

C'est la partie expérimentale de ce travail. Nous avons entamé cette partie pour la caractérisation physico-mécanique des plaques à différents pourcentages de pétiote agglomérée (de la palme de datte - noir et colle blanche ; nous coupons les plaques en éprouvette, puis nous les appliquons à l'essai de flexion trois points sur les vingt éprouvettes et trouvons les résultats de l'élasticité.

Chapitre I
GÉNÉRALITÉ SUR
LES MATÉRIAUX
COMPOSITES

I.A.1. Matériaux composites

I.1.1. Définition

Dans un sens large, le mot “composite” signifie “constitué de deux ou plusieurs parties différentes”. En fait, l'appellation matériau composite ou composite est utilisée dans un sens beaucoup plus restrictif, qui sera précisé tout au long de ce chapitre. Nous en donnons pour l'instant la définition générale suivante. Un matériau composite est constitué de l'assemblage de deux matériaux de natures différentes, se complétant et permettant d'aboutir à un matériau dont l'ensemble des performances est supérieur à celui des composants pris séparément. [1]

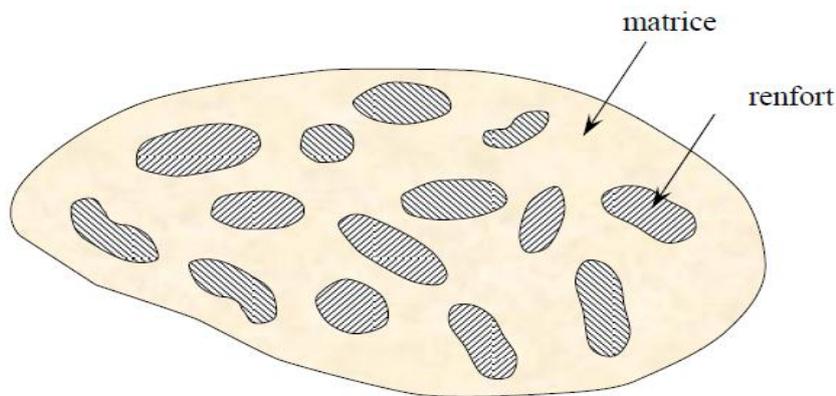


Figure I.1 : Matériaux composites [1].

Des exemples de matériaux composites pris au sens large sont donnés au tableau I.1.

Tableau I.1 :. Exemples de matériaux composites, pris au sens large [1].

Type de composite	constituants	Domaines d'application
1. Composite à matrice organique 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, etc. Menuiserie Bâtiment Sports, bâtiment Toiture, terrasse, etc. Automobile Domaines multiples
2. Composites à matrice minérale 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

I.1.2. Caractéristiques générales

Un matériau composite consiste dans le cas le plus général d'une ou plusieurs Phases discontinues réparties dans une phase continue.

Dans le cas de plusieurs Phases discontinues de natures différentes, le composite est dit hybride. La phase Discontinue est habituellement plus dure avec des propriétés mécaniques supérieures à celles de la phase continue. La phase continue est appelée la matrice. La Phase

discontinue est appelée le renfort ou matériau renforçant (figure I.1). Une Exception importante à la description précédente est le cas de polymères modifiés par des élastomères, pour lesquels une matrice polymère rigide est chargée avec des particules élastomères. Pour ce type de matériau, les caractéristiques statiques du polymère (Module d'Young, Contrainte à la rupture, etc.) ne sont pratiquement pas modifiées par l'adjonction de particules élastomères, alors que les caractéristiques au choc sont améliorées. [1]

I.2.3. Classification des matériaux composites

Ainsi, pour accéder à la description d'un matériau composite, il sera nécessaire de spécifier :

- La nature des constituants et leurs propriétés ;
- La géométrie du renfort, sa distribution ;
- La nature de l'interface matrice-renfort.

La géométrie du renfort sera caractérisée par : sa forme, sa taille, la concentration du renfort, sa disposition, etc.

Si l'ensemble de ces paramètres concourt à déterminer les propriétés du composite, les modélisations descriptives ne tiendront compte que de certains paramètres, du fait de la complexité des phénomènes mis en jeu.

Par exemple, la forme du renfort sera schématiquement approchée soit par des sphères, soit par des cylindres.

La concentration du renfort est habituellement mesurée par la fraction volumique ou par la fraction massique. La concentration du renfort est un paramètre déterminant des propriétés du matériau composite. [1]

I.2. Classification des matériaux composites

I.2.1. Classification suivant la forme des constituants

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

- Les matériaux composites à particules ;
- Les matériaux composites à fibres.

Un matériau composite est un composite à fibres si le renfort se trouve sous forme de fibres.

Les fibres utilisées se présentent soit sous forme de fibres continues, soit sous forme de fibres discontinues : Fibres coupées, fibres courtes etc.

L'arrangement des fibres, leur orientation permettent de moduler à la carte les propriétés mécaniques des matériaux composites, pour obtenir des matériaux allant de matériaux fortement anisotropes à des matériaux isotropes dans un plan.

Le concepteur possède donc là un type de matériau dont il peut modifier et moduler à volonté les comportements mécanique et physique en jouant sur :

- ❖ La nature des constituants ;
- ❖ La proportion des constituants ;
- ❖ L'orientation des fibres, suivant le cahier des charges imposées.

L'importance des matériaux composites à fibres justifie une étude exhaustive de leurs comportements mécaniques. [1]

I.2.1.2. Composites à particules

Un matériau composite est un composite à particules lorsque le renfort se trouve sous forme de particules.

Une particule, par opposition aux fibres, ne possède 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, la diminution du retrait, etc.

Dans de nombreux cas, les particules sont simplement utilisées comme charges pour réduire le coût du matériau, sans en diminuer les caractéristiques.

Le choix de l'association matrice-particules dépend des propriétés souhaitées.

Par exemple, des inclusions de plomb dans des alliages de cuivre augmenteront leur facilité d'usinage. [1]

I.2.1.3. Classification suivant la nature des constituants

Selon la nature de la matrice, les matériaux composites sont classés suivant des composites à matrice organique, à matrice métallique ou à matrice minérale. Divers renforts sont associés à ces matrices.

Seuls certains couples d'associations ont actuellement un usage industriel, d'autres faisant l'objet d'un développement dans les laboratoires de recherche. Parmi ces composites, nous pouvons citer :

a) Composites à matrice organique, avec :

- Des fibres minérales : Verre, carbone, etc... ;
- Des fibres organiques : Kevlar, polyamides, etc... ;
- Des fibres métalliques
- : Bore, aluminium, etc....

b) Composites à matrice métallique, avec :

- Des fibres minérales : Carbone, carbure de silicium ;
- Des fibres métallo-minérales : Fibres de bore revêtues de carbure de silicium.

c) Composites à matrice minérale, avec :

- Des particules métalliques : Cermets ;
- Des particules minérales : Carburent, nitrures, etc.

Les matériaux composites à matrice organique ne peuvent être utilisés que dans le domaine des températures ne dépassant pas 200 à 300 °C, alors que les matériaux composites à matrices métallique ou minérale sont utilisés au-delà : jusqu'à 600 °C pour une matrice métallique, jusqu'à 1000 °C pour une matrice céramique. [1]

I.3. Avantages et inconvénients des composites

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

- Légèreté.
- Rigidité.
- Bonne résistance à la fatigue et aussi à la corrosion.
- Insensibilité aux produits comme les graisses, les liquides hydrauliques, les peintures et les solvants.
- Possibilité de concevoir le matériau selon le besoin (pour les sandwichs et les stratifiés), d'intégrer des accessoires et permettre la réduction de bruit.

Cependant certains inconvénients freinent leur diffusion :

- La sensibilité à la chaleur.
- Les coûts des matières premières et des procédés de fabrication.
- La gestion des déchets engendrés et la réglementation de plus en plus stricte.
- Le recyclage est actuellement très limité parce que le broyage ou les autres procédés sont très coûteux et fournissent une matière de faible qualité. [2, 3]

Ces quelques inconvénients et défis à relever, ont poussé les chercheurs et les pouvoirs publics à investir et orienter les recherches vers les ressources renouvelables et biodégradables. [3]

I.4. Les bio-composites

Dans nos jours, l'utilisation des ressources renouvelables dans les matériaux composites devient de plus en plus fréquente, exigeantes et étudiées, en raison de leur importance économique, environnementale et mécanique, et leurs larges applications, sont des matériaux aux appellations diverses (bio composite, biodégradable, biocompatible, etc.)

Un bio composite est un matériau composite dont l'une des parties au moins, renfort ou matrice, est issue de ressources renouvelables, tels que des renforcements de fibres naturelles ou des bios polymères.

Les bio composites présentent différents niveaux de respect de l'environnement en fonction de leurs matériaux constitutifs et de leur biodégradabilité. La Figure (1.2) présente un

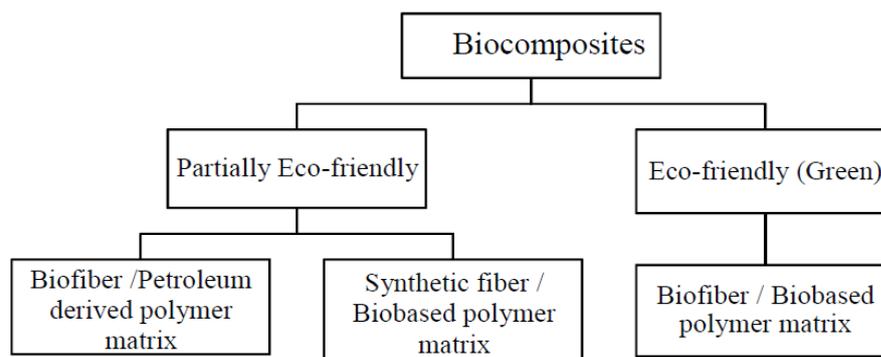


schéma de ces catégories de bio composites d'après la définition actuelle. Selon le type de polymère utilisé, ces composites peuvent également être entièrement biodégradables. [4]

Figure I.2 : Classification des bio composites [4].

Les bio composites ayant des propriétés mécaniques élevées sont la cible de nombreux efforts de recherche, Cependant, l'état immature des bio polymères, la variabilité des propriétés des fibres et les difficultés de traitement des composites ont limité leurs performances, empêchant ainsi leur capacité à concurrencer les matériaux composites synthétiques traditionnels.

Néanmoins, l'avantage évident des bio composites du point de vue environnementale a encouragé de nouveaux efforts pour développer de nouveaux matériaux, ainsi que pour caractériser et améliorer les propriétés des matériaux bios composites actuellement développés. Il est prévu qu'une industrie des bio composites performante, respectueuse de l'environnement et économiquement stable soit possible avec de tels progrès continus. [5]

I.5. Diversité des fibres papetières, diversité des propriétés

Le terme "fibre papetière" recouvre une grande variété de fibres. En effet, il est possible de fabriquer du papier à partir de toutes les fibres végétales. Elles ont des caractéristiques différentes selon l'essence du végétal, plante ou arbre. Examinons les principales fibres utilisées dans les bio composites :

- Bois, chanvre et lin.
- Comparons leurs propriétés mécaniques, notamment leur résistance à la traction et leur module de young (module d'élasticité). [6]

I.5.1. Fibres de bois

Le bois étant présent partout, leurs fibres sont facilement accessibles. Elles peuvent provenir de résineux ou de feuillus. La longueur d'une fibre de bois résineux est d'environ 2 mm et son diamètre d'environ 40 μm ; la longueur d'une fibre de bois feuillus est d'environ 1 mm et son diamètre d'environ 20 μm . Les fibres de bois utilisées dans les bio composites sont souvent issues de déchets de l'industrie de la construction. Le bois est parfois disponible sous forme de farine, notamment pour les Wood-plastic composites (WPC) : on ne parle alors plus réellement de fibres mais de cellulose, hémicelluloses et lignine sous forme de fines particules. [6]



Figure I.3 : Le bois, ressource naturelle renouvelable [6].



Figure I.4 : Farine de bois à usage industriel [6].

I.5.2. Fibres de chanvre

Le chanvre est une plante s'élevant de 1 à 3 mètres. Ses fibres ont une bonne résistance à la traction (550-900 MPA), un module de Young élevé (70 GPa), une longueur moyenne de 20 à 50 mm et un diamètre de 10-51 μm . Grâce à cette solidité, elles sont privilégiées en tant que renfort dans les composites, mais également dans d'autres secteurs comme le textile. De plus, le chanvre est cultivé dans les pays à climat tempéré, dans l'est de l'Europe, en Italie, en Chine et en France, premier producteur européen : son accessibilité est un atout majeur pour les fabricants de bio composites. La tendance de l'offre est à la hausse et des expériences d'implantation du chanvre en France sont tentées avec succès, en Isère par exemple. [6]



Figure I.5 : Plantation de chanvre à fibre [6].

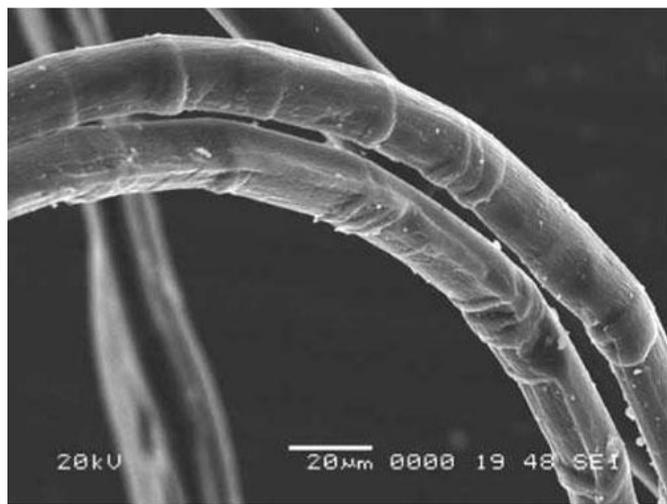


Figure I.6 : Fibres de chanvre observées au microscope, avec micro flambage dans les zones de compression [6].

I.5.3. Fibres de lin

La tige du lin atteint 0,60 à 1,20 m de hauteur pour un diamètre de 1 à 3 mm. Les fibres de cette plante herbacée annuelle se caractérisent par une longueur importante, 33 mm en moyenne, et par un diamètre de 20-76 μm , ce qui lui permet de remplacer le coton dans l'industrie textile. Leur résistance à la traction est de 800-1500 MPa et leur module de Young de 60-80 GPa : ces propriétés leur valent d'être utilisées dans la fabrication de papiers spéciaux : papier cigarette ou papier Bible. Leur rendement est supérieur au rendement moyen de la plupart des autres fibres de plantes annuelles, avec parfois deux tonnes par hectare et par an. Le lin est produit dans le monde entier notamment en Asie, en Europe ou encore en Egypte. [6]



Figure I.7 : Lin en fleur [6].

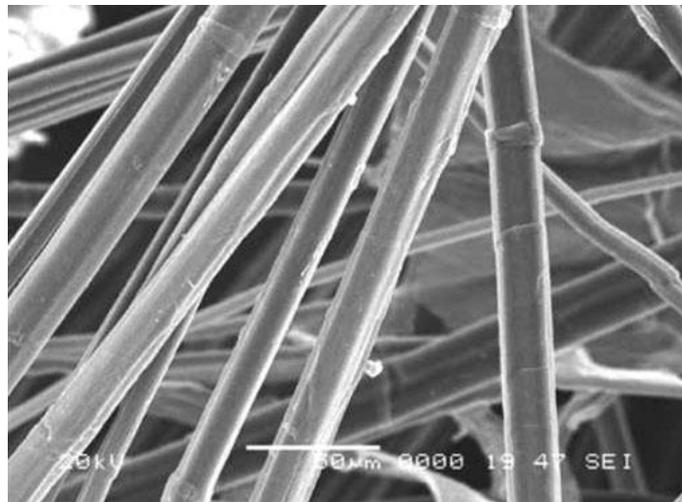


Figure I.8 : Fibres de lin observées au microscope [6].

I.5.4. Autres fibres

D'autres fibres végétales peuvent entrer dans la fabrication de bio composites :

- Fibres de coton, longues et résistantes - Plante cultivée dans les régions chaudes telles que l'Amérique, l'Afrique, l'Asie ou l'Europe ;
- Fibres de miscanthus, plante originaire d'Afrique et d'Asie du sud, aujourd'hui implantée dans plusieurs parties du monde ;
- Fibres d'abaca, un bananier textile qui pousse aux Philippines ;
- Fibres de kénaf, une plante cultivée dans les régions tropicales, avec un grand rendement (10 t/an/ha) ;

- Fibres de jute, une plante cultivée principalement en Inde et au Bangladesh ;
- Fibres de sisal, une plante tropicale cultivée en Amérique du Sud et en Afrique ;
- Fibres de ramie, une plante cultivée en Asie ;
- Fibres de coco, très résistantes, produites en majorité en Inde et au Sri Lanka. [6]

I.5.5. Propriétés des fibres végétales

Elles varient selon la plante, son implantation géographique et son essence. La norme utilisée pour mesurer ses propriétés mécaniques peut être un facteur d'incertitude. Ces plantes étant présentes partout dans le monde, différentes méthodes peuvent être mises en œuvre pour les essais de traction, ce qui provoque une grande dispersion dans les valeurs de module de Young ou d'allongement par exemple. [6]

Fibres	Module d'Young en traction E (GPa)	Allongement à la rupture en traction A (%)	Contrainte à la rupture en traction σ_u (MPa)	Densité
Végétales :				
- Lin	12 à 85	1 à 4	600 à 2 000	1,54
- Ramie	61,4 à 128 27 65 ± 18	1,2 à 3,8 3,2	400 à 938 755 800 à 1 000	1,56
- Chanvre	35	1,6	389	1,15
- Jute	26,5	1,5 à 1,8	393 à 773	1,44
- Sisal	9 à 21	3 à 7	350 à 700	1,45
- Coton	5,5 à 12,6	7 à 8	287 à 597	1,5 à 1,6

Tableau I.2 : Propriétés mécaniques de plusieurs plantes annuelles [6].

I.B.1. Historique de palmier dattier

I.1. Introduction

Le palmier dattier est une espèce monocotylédone, arborescente, dioïque et diploïde. Il a été dénommé *Phoenix dactylifera* L. par Linné en 1734. *Phoenix dactylifera* L., provient du mot "Phoenix" qui signifie dattier chez les phéniciens, et «dactylifera» dérive du terme grec «dactylos» signifiant doigt, allusion faite à la forme du fruit.

Une autre source mentionne le nom de l'oiseau légendaire égyptien ; qui était capable de résister et même de renaître, après avoir connu le feu. Selon Glossaire l'intermédiaire des Terminologie doctrinale, le palmier dattier est considéré par les arabes comme arbre noble, ils lui ont donné le nom « Nakhla » qui signifie le pur, le meilleur ou l'essentiel.

Le palmier dattier offre de larges possibilités d'adaptation, c'est une espèce thermophile ayant une activité qui se manifeste à partir d'une température de +7 à +10 °C.

Le palmier dattier offre de larges possibilités d'adaptation, c'est une espèce thermophile ayant une activité qui se manifeste à partir d'une température de +7 à +10 °C. La température de 10°C est le zéro de la végétation.

L'intensité maximale de végétation est atteinte à des températures supérieures à 30°C, elle se stabilise ensuite et commence à décroître à partir de 38-40°C. [7]

I.2. Structure des palmiers dattiers

Le palmier dattier est un arbre à feuilles persistantes. Celles-ci portent le nom de palmes et ont une durée de vie de 3 à 7 ans, leur formation s'achève en une année. Après une légère période de repos, la période végétative commence par l'apparition de nouvelles palmes ou palmes de l'année. Au début de la période reproductrice, et à l'aisselle des feuilles ou palmes, des bourgeons donnent naissance à des spathes. Le palmier dattiers est dioïque en effet, Le palmier est une herbe géante de 20 à 30m de hauteur, au tronc cylindrique (le stipe), portant une couronne de feuilles, les feuilles sont pennées, divisées avec une Longueur de 4 à 7m. Il porte des inflorescences mâles ou femelles. [8]

a. Noyau de dattes

Le noyau est appelé (pierre) et le pluriel est (noyaux), et il est appelé la graine, l'ajmah, et le pluriel (Les graines, ajam), et il est appelé en Basra et Najd (Fasma et le pluriel de fassem), à Bagdad, al-Ahsa et en Libye (Le noyau pluriel), et en Oman et au Yémen (Ajmah) et au Maroc fourrage, os), et en Egypte (Noyau, urticaire), il est défini comme le corps solide, son la forme est oblongue, pointue à ses extrémités et occupe le milieu du fruit, et son poids varie entre 0,5-4 g, 12-20 mm de long et 6-15 mm de large La longueur de la graine est généralement trois fois sa largeur , et il représente 10-20% du poids du fruit entier, comme il représente 11,5% à Al-Halawi, 14% à Al-Khadrawi et Al-Zahdi 10,5%.



Figure I.9 : Schéma de noyau de dattes

b. Tronc

Qu'on appelle plus justement « stipe », est cylindrique, c'est-à-dire d'un même diamètre de base en haut, sauf à la base, où l'on trouve les racines respiratoires. Mais le stipe ne sera d'un diamètre vraiment constant que si la croissance de l'arbre a été régulière depuis son plus jeune âge. [9]



Figure I.10 : Schéma de tronc.

c. Rachis de palmier dattier

La branche de palmier ou la paume du palmier sont les feuilles ramifiées du palmier, de forme plumeuse, rugueuses au toucher et aux bords tranchants. On l'appelle aussi la feuille de palmier ou l'osier. Sa longueur est généralement de plusieurs mètres et est utilisée dans de nombreuses industries



Figure I.11 : Schéma de palme.

d. Pétioles (kornafs)

Sont les bases pétiole du palmier qui restent collées au stipe après la mort de la palme. Ils se dessèchent à leur extrémité et assurent une protection du tronc. Leur présence permet de grimper sur le palmier.

Entre les kornafs, le tronc est recouvert d'un Fibrillum, qui est bourre fibreuse, sorte de tissage végétal que l'on appelle le lif. [9]



Figure I.12 : Schéma de pétioles.

I.3. comportement mécanique des matériaux composites :

La production des dattes dans le monde est variable et a une grande importance économique.

Au niveau mondial : Le nombre des palmiers dattiers est estimé à plus de 100 millions. Sa répartition, présente que l'Asie est en première position avec 60 millions des palmiers dattiers (Arabie saoudite, Bahreïn, Émirats arabes unis, Iran, l'Irak, le Koweït, Oman, Pakistan, Turkménistan et Yémen) ; tandis que l'Afrique est en deuxième position avec 32,5 millions des palmiers dattiers (Algérie, Egypte, Libye, Mali, Maroc, Mauritanie, Niger, Somalie, Soudan, Tchad et Tunisie). Le fuguer (1.3) présente la distribution géographique du palmier dattier au niveau mondial [10].

A. Mouaki en 2017 son travail a été mené dans le but d'étudier le comportement mécanique des structures sandwichs. Cette étude comporte un volet expérimental et un volet analytique. Les structures sandwichs étudiées sont le résultat de l'assemblage de deux matériaux différents, le contreplaqué d'une part pour utiliser comme des peaux et le liège aggloméré d'autre part pour utiliser comme un cœur. Il est utilisé la méthode graphique pour l'évaluation du module de cisaillement du cœur et le module de la flexion des peaux du sandwich par des essais de flexion trois points, avec la variation de la distance entre les appuis. Le comportement mécanique de ces structures sandwichs étudiées a montré que la rigidité globale est dépendue à la longueur du sandwich. A travers l'étude expérimentale, il est tiré les conclusions suivantes

Une série d'essais de flexion trois points menés sur des éprouvettes des poutres sandwichs avec une variation entre les appuis qui sont permis de déterminer l'influence de module de la rigidité globale du sandwich à partir de la pente de la courbe expérimentale charge-déplacement. Elle augmente lorsque la distance entre les appuis diminue, donc la rigidité globale est dépendant à la longueur des sandwichs. Les valeurs du module de cisaillement du cœur obtenu par l'essai de la flexion trois points des sandwichs sont différents que les valeurs obtenus par les chercheurs car le cœur absorbe une quantité de la colle qui est utilisé entre les deux peaux et le cœur. La rupture des sandwichs dans les différents essais de flexion, commence par l'endommagement de la peau supérieure par compression, ensuite l'endommagement de la peau inférieure par traction, suivie par un écrasement dans le cœur et enfin la rupture complète [11].

H. Djemai : En 2017 a étudié le comportement mécanique des panneaux sandwichs cette étude comporte un volet expérimental un volet analytique et numérique. Les structures sandwichs étudiées sont le résultat de la combinaison de quatre matériaux différents, le composite verre polyester et le contreplaqué d'une part utilisés comme des peaux et le liège aggloméré et

polystyrène d'autre part comme un cœur. La caractérisation mécanique expérimentale a été effectuée par des essais de traction, de compression et de flexion trois points sur les peaux et le cœur ainsi que sur ces sandwichs. Les différents essais montrent que :

- La rigidité globale du sandwich, stratifié dans les peaux et liège aggloméré dans le cœur est plus élevée par rapport aux autres sandwichs réalisées.
- La rigidité globale des sandwichs basés sur le liège aggloméré au cœur est plus élevée par rapport aux sandwichs basés sur le polystyrène au niveau du cœur.
- La rigidité globale est dépendante de la géométrie et du matériau du sandwich utilisé [12].

Le travail de **Boumhaout. M et al en 2017**, porte sur la caractérisation thermomécanique de matériaux composites à base de mortier et de fibres de palmier dattier (FPD). L'objectif est d'évaluer les propriétés d'isolation thermique ainsi que les performances mécaniques de ce matériau pour l'isolation thermique des bâtiments. Le pourcentage en volume de la maille des fibres de palmier dattier dans les échantillons d'essai variaient de 0% à 51%. Les caractéristiques thermiques de ces échantillons ont été déterminées expérimentalement termes de conductivité, de diffusivité, de capacité et d'effusivité. La résistance à la flexion et à la compression des échantillons ont été systématiquement évaluées. Les résultats montrent que le maillage (FPD) a un effet positif sur les propriétés thermomécaniques du matériau composite. En effet, il augmente significativement la capacité d'isolation du mortier, augmente le taux d'amortissement de diffusion de la chaleur et rend le mortier plus léger. Le maillage (FPD) améliore également la ductilité du mortier, respectant les exigences mécaniques pour les matériaux de construction. Le composite maillé mortier- (FPD) pourrait être classé parmi les matériaux structuraux et isolants selon la classification fonctionnelle de RILEM [13].

Jablons Youssef : Cette étude en 2018 est son travail a été dans Le but d'étude de la rupture en mode I d'ouverture des matériaux composite cette étude est d'analyser un cas de rupture des matériaux composites, c'est le mode le plus dangereux (mode I).

Ce travail nous a permis de dégager les points suivants :

Des informations théoriques et pratiques qui concernent les matériaux composites, leur fabrication et leur utilisation dans les conceptions des pièces mécaniques.

L'examen microscopique et macroscopique des plaques moulé par contact a révélé des défauts et des problèmes liés au processus de fabrication :

- Présence de porosité importante ;
- Différence d'épaisseur d'un endroit à un autre du moule ;

- Formation du bulle d'air : siège de concentration de contrainte.

Nous avons mené une expérimentation dans laquelle nous avons mesuré :

1- Les caractéristiques mécaniques en traction du composites en trouvent :

L'augmentation du taux de fibres de verre dans les stratifiés moulés, entraîne une amélioration du module de Young.

L'augmentation du taux de fibres de verre dans les stratifiés, entraîne une augmentation de la résistance à la rupture.

2- La détermination expérimentale du facteur d'intensité de contrainte pour les différents

Taux de fibres de verre a montré que :

- L'amorçage de l'endommagement est caractérisé par une valeur K_{am} . Indépendante de la longueur d'entaille initiale.
- L'utilisation des courbes KR permet de caractériser le déclenchement brutal de la rupture par une valeur K_{ings} . Indépendante de a/W .
- La ténacité augmente avec la teneur en fibre de verre.

3- L'analyse fractographique ainsi que les observations visuelles et microscopiques des ruines ont mis en évidence les types d'endommagement suivants :

- Formation des fissures transverses en traction ;
- Le chemin de la fissuration derrière la fissure initiale est tortueux ;
- Déchaussement et décohésion de fibres de verre ;
- Délaminage du composite localisé entre les couches du renfort verre.

Comme perspectives futures, nous recommandons une analyse approfondie du procédé de fabrication pour réduire et ou éliminer les défauts émanant [14].

Djoudi tarek : En 2018 étude la élaboration et caractérisation de composites bio-sources à base de fibres de palmier dattier La disponibilité et le prix des matières premières sont essentiels à la réussite de tout projet industriel, c'est pourquoi de nombreux chercheurs s'efforcent de trouver des matériaux alternatifs à bas prix grâce à l'utilisation de déchets naturels ou au recyclage. Le palmier dattier produit chaque année d'énormes quantités de palmiers secs sous forme de déchets laissés au cours de sa croissance et de son évolution naturelle. Le recyclage et l'exploitation de ces déchets au lieu de les brûler contribueraient à transformer les déchets végétaux en une véritable richesse utilisable efficacement et dans le respect de l'environnement. Dans ce contexte, cette étude comprend une composante expérimentale qui consiste en la caractérisation physico-mécanique de la matière première (Palm), l'élaboration et la

caractérisation mécanique de bio composites et le développement et l'étude du comportement (rigidité globale DG) des poutres de structure sandwich. L'étude a commencé par caractériser une composante majeure du palmier dattier qui est le palmier mature. Le palmier étant décomposé en essentiellement deux parties, le pétiole et le rachis, la caractérisation a ensuite été effectuée sur le bois fibreux et les fibres de ces deux parties. La caractérisation physique concernera la densité des fibres et de la matrice végétale (lignine) ainsi que la teneur en humidité dans les différentes parties du palmier. Les tests mécaniques ont permis de déterminer les caractéristiques mécaniques du bois fibreux et des fibres extraites des deux parties de la paume après séchage. Au terme de cette étude, les résultats obtenus montrent l'influence de la position de l'échantillon testé sur les propriétés physico-mécaniques. Ils ont également permis de situer ce type de bois fibreux et ces fibres parmi d'autres résultats de la littérature scientifique et d'envisager de les utiliser dans la mise en œuvre de matériaux composites et dans des éléments d'isolation. La caractérisation mécanique des matériaux composites à base de ces fibres a été réalisée par l'utilisation de deux types de matrice différents (époxyde, polypropylène). Des essais de traction réalisés pour des composites à différents pourcentages de fibres (4, 7, 10 et 15%), révèlent une amélioration des propriétés mécaniques de la matrice vierge proportionnelle à la teneur massique en fibres. Essais de compression sur des matériaux composites à base de particules de bois de pétiole et de matrice naturelle montrant les caractéristiques isotropes et anisotropes de ces matériaux testés. Les résultats obtenus permettent de valoriser ces déchets pour d'éventuelles applications industrielles. La valeur de la rigidité globale du sandwich à noyau de particules de bois est élevée par rapport au cœur du bois de pétiole brut. La rigidité globale du sandwich en bois à base de palme est plus élevée que celle du sandwich avec noyau en liège aggloméré. L'observation macroscopique des faciès de fracture montre la bonne adhérence entre les peaux et le cœur. Cela est dû à la méthode utilisée dans la préparation de la structure sandwich [15].

Almi kenza : En 2018 étude le développement et caractérisation de matériaux abas du bios de palmier dattier adaptés aux applications de développement durable en Algérie Face aux besoins de plus en plus importants aux panneaux de particules en Algérie et dans le monde entier, il est nécessaire d'exploiter des ressources naturelles disponibles et durables et les utilisées comme alternatives au bois. Il s'agit de la biomasse engendrée par les résidus de palmiers dattiers, la plantation intensive de ces derniers constitue une source de matières premières de plus en plus importante dans le pays. L'abandon de cette biomasse peut avoir un impact négatif sur l'environnement. Le développement de nouveaux matériaux composites à faible coût et à

diverses applications à partir de cette ressource naturelle s'inscrit pleinement dans les perspectives de développement durable dans l'Algérie.

L'objectif de ce travail est de contribuer au développement des panneaux de particules en bois de palmier dattier pour une utilisation dans le domaine de bâtiment. À travers cette thèse, nous avons pu valoriser tout type de bois issu de déchet agricoles du palmier dattier par leur utilisation sous forme des particules associés avec deux types de liants disponibles à faible coût (la colle poly acétate de vinyle et la résine polyester insaturé) dans la préparation des panneaux de particules. La thèse comporte deux parties essentielles, le but de la première partie était la détermination des propriétés de tout type de bois rejeté du palmier dattier pour bien les identifier et faciliter leur incorporation dans une matrice. La deuxième partie avait comme but l'analyse de l'influence des paramètres d'élaboration des matériaux composites sur leurs propriétés mécaniques, physiques et thermiques afin d'optimiser la mise en œuvre de ces paramètres et déterminer un procédé de fabrication convenable à la production des panneaux avec des meilleurs propriétés [16].

A.Guermite : En 2018 a fait une étude expérimentale des structures sandwiches à base des bio-source Le but de ce travail est élaborations et caractérisations des sandwiches à base des bio-sources. Les structures sandwiches étudiées sont le résultat de la combinaison de trois matériaux différents, matériau composites (fibre de rachis/époxy) d'une part pour utilisés comme des peaux et liège aggloméré et pétiole brut d'autre part comme un cœur. La caractérisation mécanique expérimentale a été effectuée par des essais de flexion trois points sur les peaux ainsi que sur ces sandwiches. Ces essais sont effectués pour l'évaluation du module d'élasticité des peaux et la rigidité globale du sandwich.

Il préparait les fibres de rachis par ce protocole (Figure. I.14) et découpait le pétiole brut et le liège aggloméré par un disque de bois des éprouvettes de forme rectangulaire (140x20x15 mm³) pour utiliser comme des cœurs dans les sandwichs [17].

Tahar Dhaouadi : En 2018 Cette étude consiste à caractériser les propriétés mécaniques en traction, flexion et résistance au choc de trois matériaux biocomposites afin d'évaluer leur aptitude à remplacer des matériaux composites dans des applications automobiles.

Les matériaux à caractériser sont constitués de la même matrice polypropylène / élastomère polyoléfine renforcée par trois renforts différents.

Les formulations, et sont renforcées respectivement par 30wt% de biochar, 30wt% de miscanthus et le troisième renfort est un mélange entre 15wt% de biochar et 15wt% de miscanthus.

Pour améliorer l'adhésion entre les renforts et la matrice, 3wt% d'anhydride polypropylène modifié ont été ajoutés aux composites.

Les résultats expérimentaux ont montré que les trois renforts améliorent le module d'Young de la matrice.

La formulation a présenté les meilleures propriétés en traction et en flexion par rapport aux deux autres matériaux [18].

Boughediri Sara : En 2019 étude l'utilisation croissante des matériaux composites engendre des problèmes de gestion des déchets qui en résultent. On s'oriente alors de plus en plus vers la mise en œuvres de produits biodégradables, soit en ayant recours à des polymères biodégradables, soit par incorporation des fibres biodégradables dans des matériaux polymériques. Cette dernière a récemment attiré l'attention des scientifiques et ingénieurs en raison des avantages qu'elles présentent par rapport aux fibres de renforcement classiques comme les fibres de verre ou de carbone.

Dans ce contexte, nous avons choisi les fibres de spadice et de life comme renfort aux matériaux composite, ces fibres étant principalement disponibles en abondance, ce qui rend leurs bio composites très économiques.

Dans ce travail nous nous intéressons en premier lieu à l'étude structurale microscopique de fibres de spadice et de life, afin de déduire le mode d'extraction approprié à ces fibres.

Un traitement chimique par l'NaOH pour les fibres de spadice avec différentes concentrations (2% et 5%) et avec différentes durées d'immersion (24h et 48h), vise principalement à connaître l'effet de traitement sur ces fibres, ainsi que l'effet sur l'interface fibres/matrice par le biais d'observations microscopiques et de test des propriétés mécaniques.

Ensuite, un protocole de réalisation des bio composites à base de deux types de résines différente est mis en place, puis ces bio composites sont soumis aux essais de traction [19].

Taher Masri : Ont 2019 étude l'Effet de la lignine sur les propriétés mécaniques d'un matériau composite à base de feuillets de palmier dattier et de déchets de polystyrène expansé leurs étude expérimentale sur un matériau composite obtenu à partir de déchets végétaux et industriels. Les déchets de feuillets de palmier dattier ont été utilisés comme renfort sous forme de fibres courtes, et les déchets de polystyrène expansé ont été recyclés et utilisés comme matrice

pour la préparation des feuillets en matériau composite polystyrène (LPC). Le matériau LPC sans lignine a été préparé en utilisant une proportion massique de 70/30% entre le renfort et la matrice. Afin d'évaluer l'effet de la présence de lignine sur les propriétés mécaniques du matériau LPC, trois combinaisons entre renfort, matrice et lignine sont considérées. Les trois proportions massiques entre le renfort, la matrice et la lignine sont respectivement (70 / 28,5 / 1,5%), (70/27/3%) et (27 / 26,5 / 4,5%). Des essais de flexion en trois points ont été réalisés pour obtenir les propriétés mécaniques à la fois du module de flexion et de la contrainte maximale. Une étude comparative entre les propriétés mécaniques du matériau LPC sans lignine (Fibres / Matrice) et du matériau composite avec présence de la lignine (Fibre / Matrice / lignine) est réalisée. Les résultats ont montré que la présence de lignine dans le matériau LPC réduit les propriétés mécaniques de flexion du matériau [20].

Chapitre II
COMPORTEMENT
MÉCANIQUE DES
MATÉRIAUX
COMPOSITES

Introduction

Les champs des déformations et des contraintes dans un milieu sont liés par des lois appelées lois de comportement, caractérisant le comportement mécanique du milieu. Ces lois sont décrites par des axiomes qui permettent de rendre compte au mieux des phénomènes observés. L'expérience montre que de nombreux milieux solides déformables ont, pour une température donnée, un comportement élastique linéaire.

II.1. Propriétés élastiques d'un matériau composite

II.1.1. Matériau unidirectionnel

La cellule élémentaire d'un matériau composite unidirectionnel peut être considérée comme constituée d'une fibre entourée d'un cylindre de matrice. Le matériau est alors appelé matériau orthotrope de révolution ou isotrope transverse.[1]

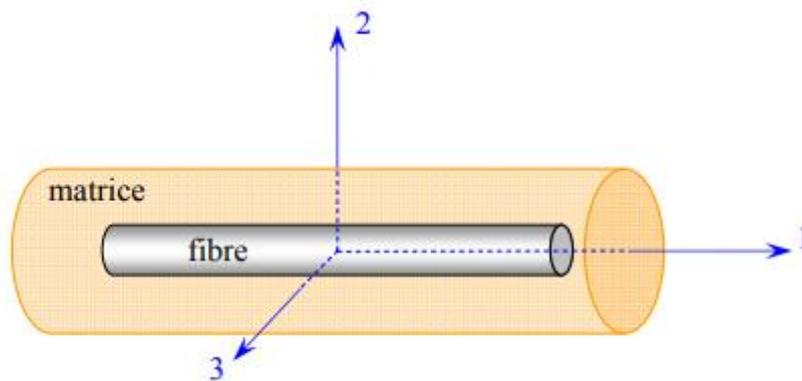


Figure II. 2 : Matériau composite unidirectionnel.

II.2. La matrice de rigidité et de souplesse

La loi de Hooke s'écrit suivant l'une des deux formes matricielles[1]:

La forme directe :

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{12} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{23} & C_{22} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{C_{22}-C_{23}}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{Bmatrix} \quad (\text{II. 1})$$

La forme inverse :

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{12} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{23} & S_{22} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{S_{22}-S_{23}}{2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{pmatrix} \quad (\text{II.2})$$

II.3. Module d'élasticité

Les propriétés élastiques du matériau composite unidirectionnel dépendent de 5 Constante indépendante :

- Les expressions des modules en fonction des constantes de rigidité sont[1] :

$$\begin{aligned} E_L &= C_{11} - \frac{2C_{12}^2}{C_{22} + C_{33}} & \nu_{LT} &= \frac{C_{12}}{C_{22} + C_{33}} \\ E_T &= C_{22} + \frac{C_{12}^2(C_{22} - 2C_{33}) + C_{11}C_{33}^2}{C_{12}^2 - C_{11}C_{22}} \\ \nu_{TL} &= \frac{C_{12}(C_{33} - C_{22})}{C_{12}^2 - C_{11}C_{22}} & G_{LT} &= C_{66} \end{aligned} \quad (\text{II.3})$$

- Les expressions des modules en fonction des constantes de souplesse sont[1] :

$$\begin{aligned} E_L &= \frac{1}{S_{11}} & \nu_{LT} &= -\frac{S_{12}}{S_{11}} \\ E_T &= \frac{1}{S_{22}} & \nu_{TL} &= -\frac{S_{12}}{S_{22}} & G_{LT} &= \frac{1}{S_{66}} \end{aligned} \quad (\text{II.4})$$

II.4. Matériau orthotrope

Un matériau monoclinique suivant deux plans perpendiculaires est dit orthotrope. De plus, un matériau qui possède deux plans de symétries perpendiculaires possède obligatoirement le troisième et ce type de matériau est dit orthotrope. Un matériau orthotrope est caractérisé par 9 constantes élastiques indépendantes si les plans de symétries sont connus.

II.5. Matrices de rigidité et de souplesse

La loi de Hooke s'écrit suivant l'une des deux formes matricielles[1] :

- La forme directe :

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & 0 & 0 & 0 \\ C_{12} & C_{22} & C_{23} & 0 & 0 & 0 \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & C_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{Bmatrix} \quad (\text{II.5})$$

- La forme inverse :

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{23} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} \quad (\text{II.6})$$

II.6. Modules de l'ingénieur

Le comportement élastique d'un matériau composite orthotrope peut être décrit par les 9 modules indépendants :

- ✓ modules d'Young : $E_L ; E_T ; E_{T'}$
- ✓ coefficients de Poisson : $\nu_{LT} ; \nu_{LT'} ; \nu_{TT'}$
- ✓ modules de cisaillements : $G_{LT} ; G_{LT'} ; G_{TT'}$

Donc la matrice s'écrit à la forme suivant[1] :

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_L} & -\frac{\nu_{LT}}{E_L} & -\frac{\nu_{LT'}}{E_L} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{LT}}{E_L} & \frac{1}{E_T} & -\frac{\nu_{TT'}}{E_T} & 0 & 0 & 0 \\ -\frac{\nu_{LT'}}{E_L} & -\frac{\nu_{TT'}}{E_T} & \frac{1}{E_{T'}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{TT'}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LT'}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{1}{G_{LT}} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \sigma_3 \\ \sigma_4 \\ \sigma_5 \\ \sigma_6 \end{Bmatrix} \quad (\text{II.7})$$

II.7. Propriétés élastiques d'un matériau orthotrope dans le repère hors axes principal : [1]

Le comportement élastique d'un matériau composite unidirectionnel ou tissu, exprimé dans les directions principales étant exposé précédemment: un axe suivant la direction des fibres ou de la chaîne, les deux autres axes étant orthogonaux. Or, nous avons vu que les stratifiés étaient

élaborés par couches successives, dont la direction des fibres ou de la chaîne est décalée d'une couche à l'autre.

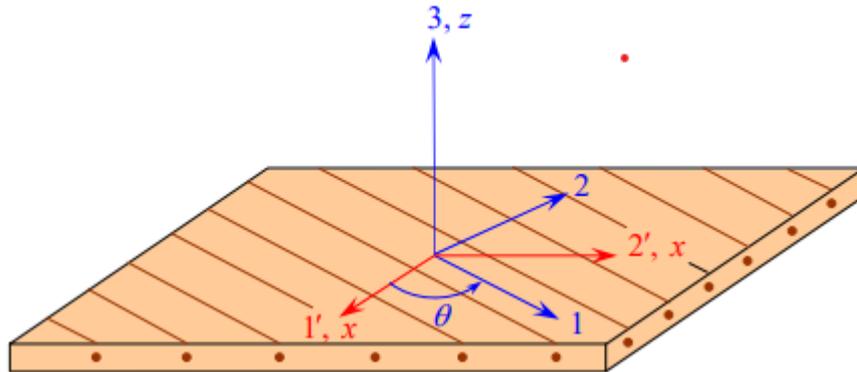


Figure II.3 : Axes principaux (1, 2, 3) d'une couche de stratifié et axes de référence.

Les matrices de rigidité C' et la matrice de souplesse S' , exprimées dans la base (1', 2', 3), sont obtenues en appliquant aux matrices de rigidité et de souplesse, rapportées à la base (1, 2, 3). Pour appliquer ici ces relations de changement de base :(1, 2,3) à (1' ,2' ,3') se fait dans ce cas présente par une rotation d'angle $(-\theta)$.

➤ Relations de la matrice de rigidité :

$$C' = T_{\sigma}^{-1} C T_{\epsilon} \tag{II.8}$$

➤ Relations de la matrice souplesse :

$$S' = T_{\sigma}^{-1} S T_{\sigma} \tag{II.9}$$

La matrice de rigidité C' , et de souplesse S' exprimées dans la base (1',2',3') s'écrivent sous la forme :

$$\begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & 0 & 0 & A_{16} \\ A_{12} & A_{22} & A_{23} & 0 & 0 & A_{26} \\ A_{13} & A_{23} & A_{33} & 0 & 0 & A_{36} \\ 0 & 0 & 0 & A_{44} & A_{45} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & A_{45} & A_{55} & 0 \\ A_{16} & A_{26} & A_{36} & 0 & 0 & A_{66} \end{bmatrix} \tag{II.10}$$

➤ L'expression des constantes de rigidité dans le système d'axe (1',2',3'). Pour un renfort tissu :

$$C'_{11} = C_{11} \cos^4 \theta + C_{22} \sin^4 \theta + 2(C_{12} + 2C_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta$$

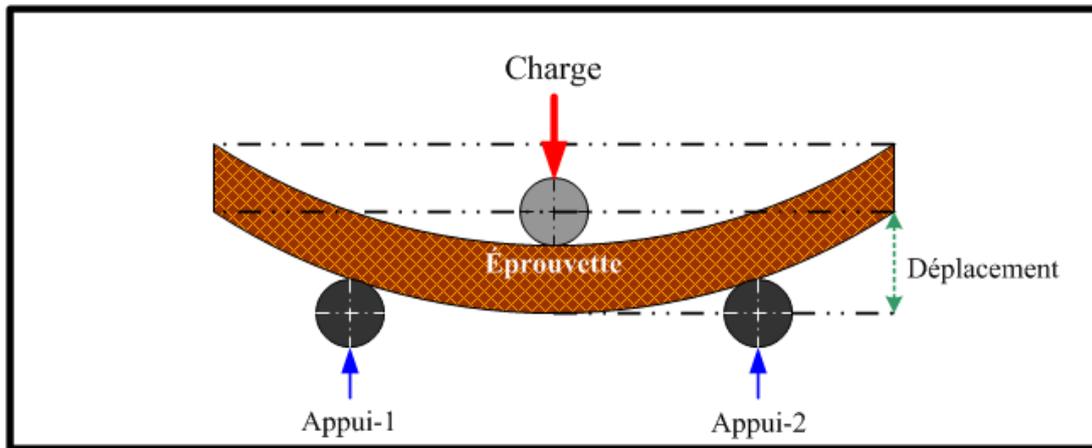
$$C'_{12} = (C_{11} + C_{22} - 4C_{66}) \sin^2 \theta \cos^2 \theta + C_{12}(\sin^4 \theta + \cos^4 \theta)$$

$$\begin{aligned}
 S'_{55} &= 2(S_{22} - S_{23}) \sin^2 \theta + S_{66} \cos^2 \theta & S'_{56} &= 0 \\
 S'_{66} &= 2[2(S_{11} + S_{22} - 2S_{12}) - S_{66}] \sin^2 \theta \cos^2 \theta + S_{66}(\sin^4 \theta + \cos^4 \theta)
 \end{aligned}
 \quad (\text{II.12})$$

II.7.1. Essais de Flexion 3 points

a. Principe

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



La figure II.3 : Représente le montage de flexion trois points.

II.7.2. Flexion trois points

On peut déterminer le module d'élasticité par l'équation selon la norme ASTM 790-81.2005 : [12]

$$E_{sb} = \frac{\Delta P * L^3}{\Delta \delta * 4B * t_f^3}
 \quad (\text{II.13})$$

Chapitre III

PARTIE

EXPÉRIMENTALE ET

RÉSULTATS ET

DISCUSSION

Introduction

Les matériaux composites doivent répondre aux exigences des contraintes mécaniques imposées, à travers le choix judicieux de renforts et de matrice. L'utilisation des matériaux composites dans des domaines bien spécifique (aéronautique, automobile, aérospatiale, isolation, etc...), représente un avantage considérable dans la mesure où, nous pouvons concevoir un matériau composite qui répond à l'exigence des contraintes [12,21].

Dans ce chapitre on présente les matériaux et les techniques considérés dans notre travail, qu'il a été divisé en quatre parties :

- Première partie indique les matériaux de base utilisés et les procédés d'élaboration de ces structures matériaux composite
- Deuxième partie est consacré aux essais de flexion trois points sur les matériaux composite élaborés pour déterminer la rigidité globale.
- Troisième partie Nous extrayons les résultats de flexion trois points et extrayons la bonne élasticité pour chaque éprouvette.

III.1. Matériaux utilisés

Dans ce travail nous avons élaboré des matériaux composites à partir du pétiole aggloméré de palmier dettier de notre région (Biskra) comme renfort ou charge et colle blanche comme matrice (lient) (Figure I)



Figure III.1 : Constituant de base du matériau étudié

- Nous mélangeons le pétiole aggloméré avec la colle blanche et obtenons un mélange que nous mettons dans le moule
- Presser le dispositif sur une presse avec une pression de 10 bars pendant 5 minutes.
- Laisser ce dispositif dans une étuve à 50°C pendant 24 heures.
- Démouler la plaque résultante (plaque du pétiole aggloméré), puis poser dans une étuve à 70°C pendant 3 heures juste pour sécher.
- Laisser les plaques à température ambiante pendant 15 jours pour bien sécher

Enfin, on peut résumer ces étapes d'élaborations du pétiole aggloméré par ces protocoles.

Tableau III.1 : Pourcentage de renfort et maîtrises.

matériaux	M _f (g)	M _R (g)	V _f (l)	V _m (l)
P14	41	251	0.14	0.86
P17	50	242	0.17	0.83
P20	58	234	0.20	0.80
P23	67	225	0.23	0.77
P26	76	216	0.26	0.74

III.1.1. Présentation des constituants des matériaux composite

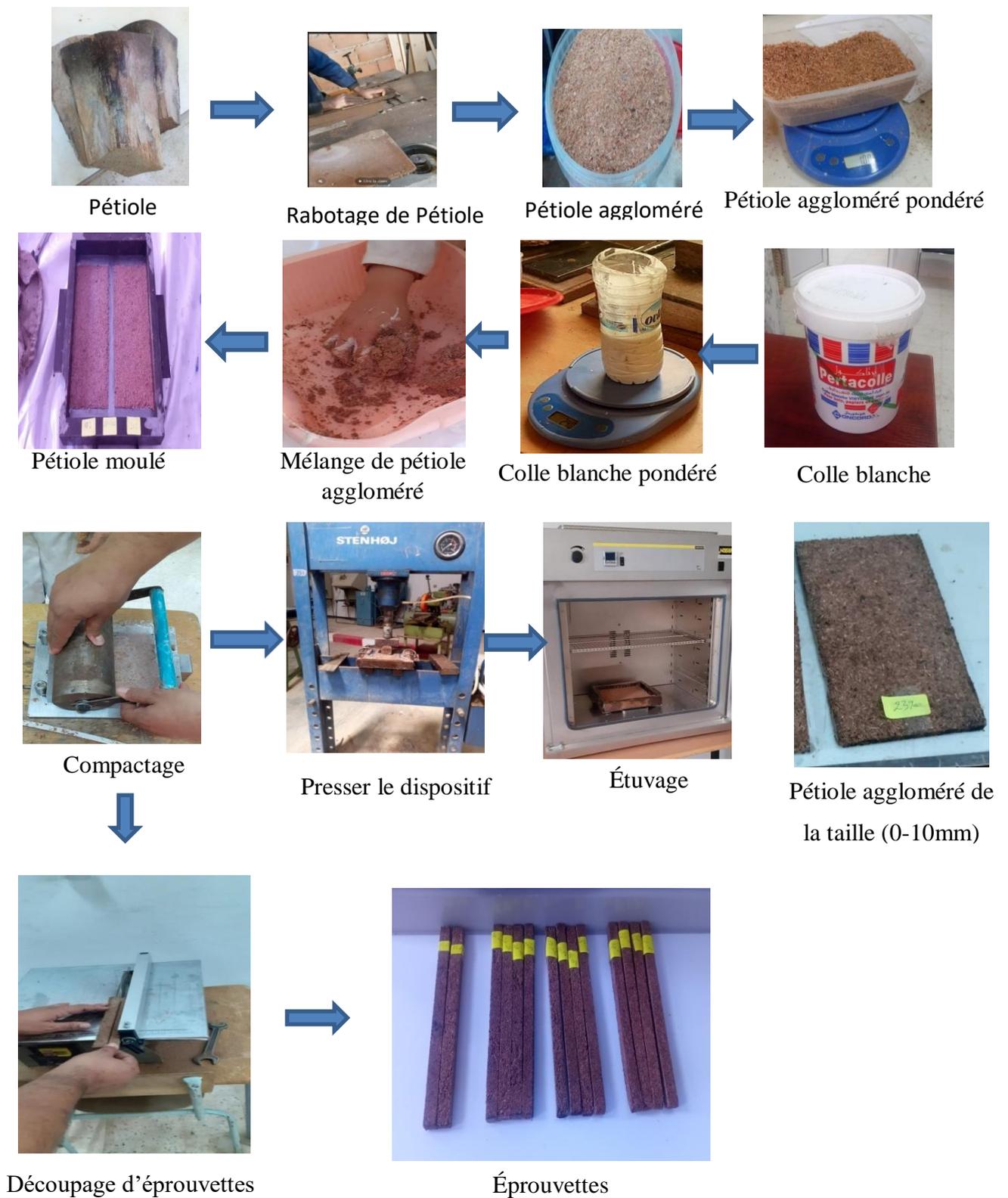


Figure III.2 : Protocole de préparation une plaque de pétiole aggloméré de taille (0-10mm).

III.2. Decoupage des éprouvettes

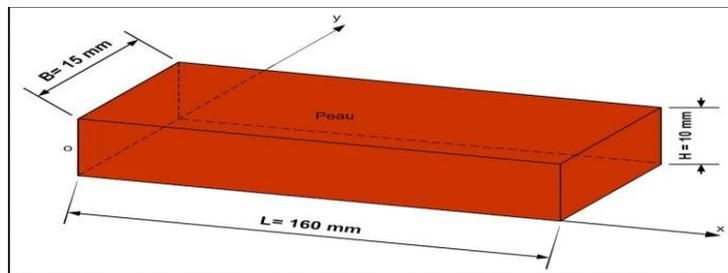
Nous découpons les éprouvette par l'appareil de découpage (fuggur III .2) au niveau du hall technique de département de génie mécanique , nous découpons 20 éprouvettes dans chaque plaque quatre échantillons.



Plaque de matériaux utilisé

Machine du coupage

Les éprouvettes



III.3. Flexion trois points

Les testes effectués Dans cette étude sont les essais de flexion trois points sur les vingt éprouvettes de type de matériau composite ,Ces essais permettent de déterminer la rigidité globale. Nous avons faite les vingt essais des flexions dans le machine traction (figure III.2)de type INSTRON modèle 5969 de capacité 5 kN, avec pilotage et acquisition des données par le logiciel Bluhill3.quatre éprouvettes utilisées dans chaque type du matériau composite pour déterminer la rigidité globale.



Figure III.3 : Machine de traction



P 14 01



P 17 01



P 20 01



P 23 01



P 26 01

III.4. Résultats et discussions

Les élasticités mécaniques ont été calculées à partir des courbes charge-déplacement des matériaux composites sollicités par flexion trois points. Ils sont tracés par l'Excel.

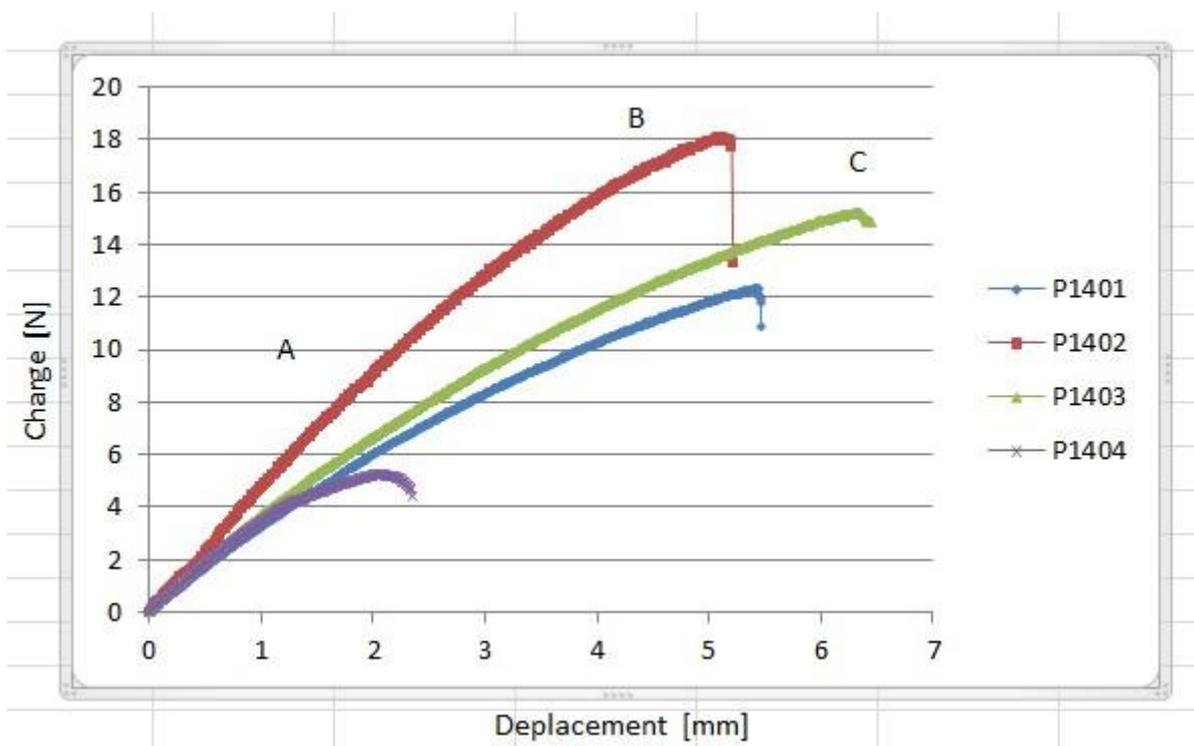


Figure III.3 : Courbes de Charge-Déplacement des matériaux composites p14 sollicités par flexion trois points.

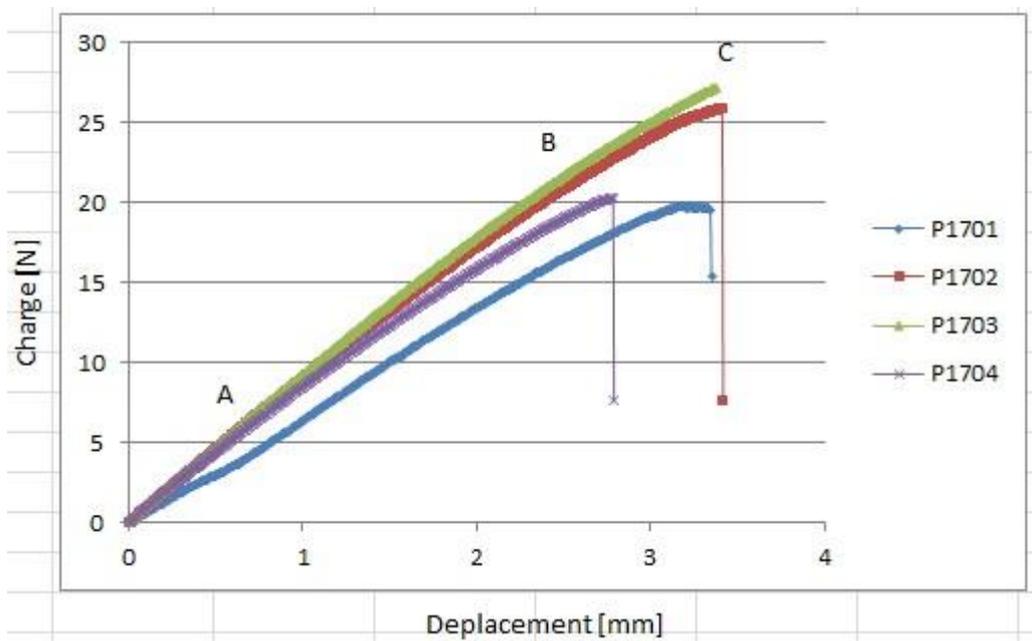


Figure III.4 : Courbes de Charge-Déplacement des matériaux composites p17 sollicités par flexion trois points

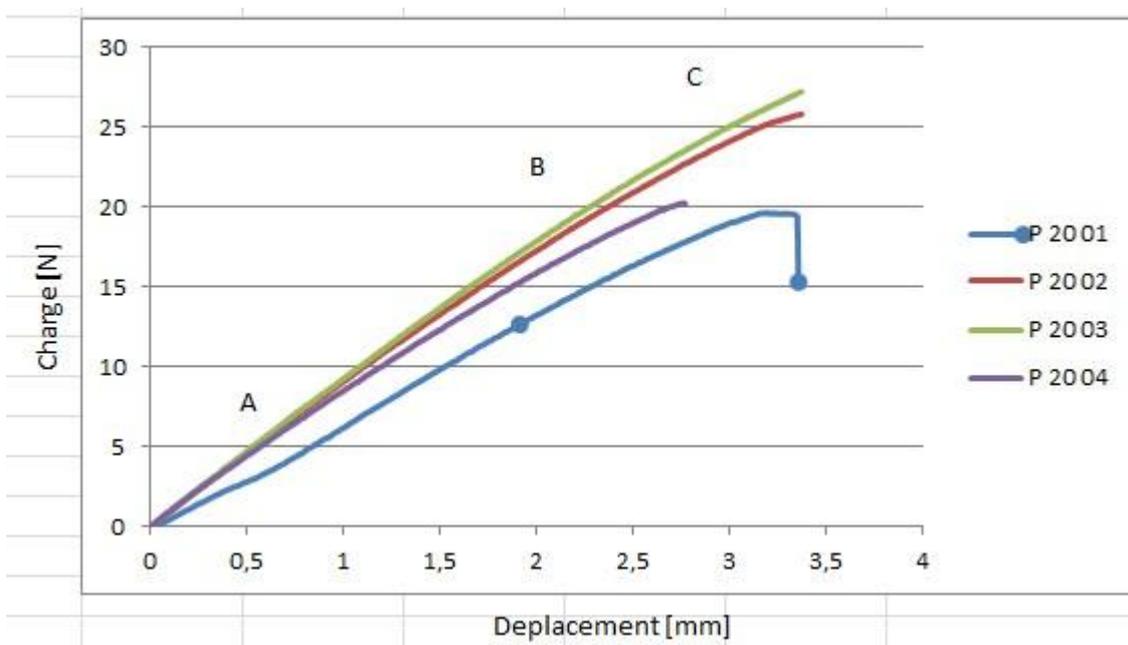


Figure III.5 : Courbes de Charge-Déplacement des matériaux composites p20 sollicités par flexion trois points

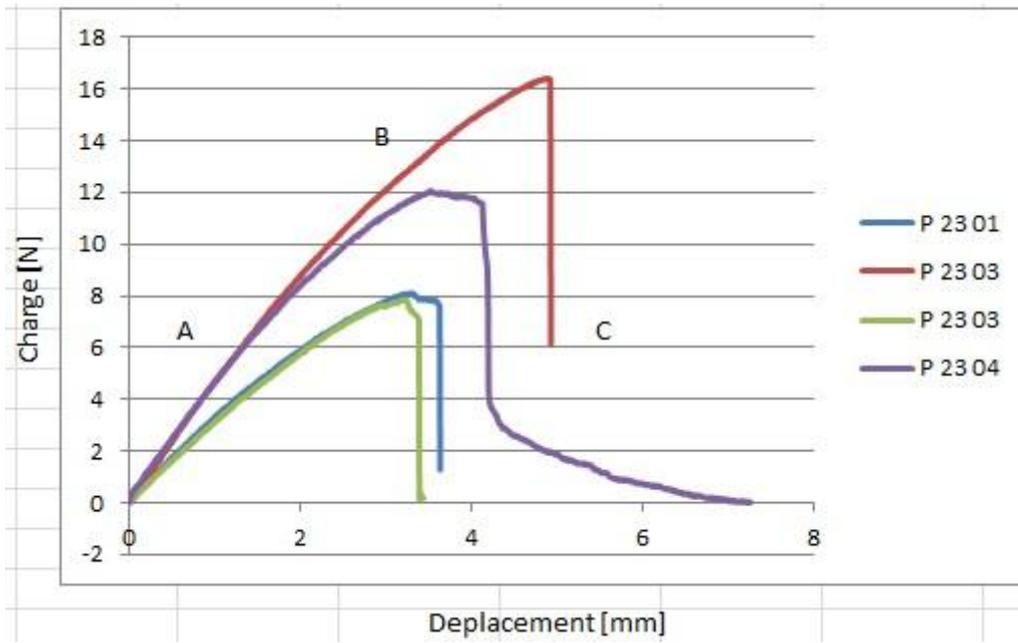


Figure III.6 : Courbes de Charge-Déplacement des matériaux composites p23 sollicités par flexion trois points

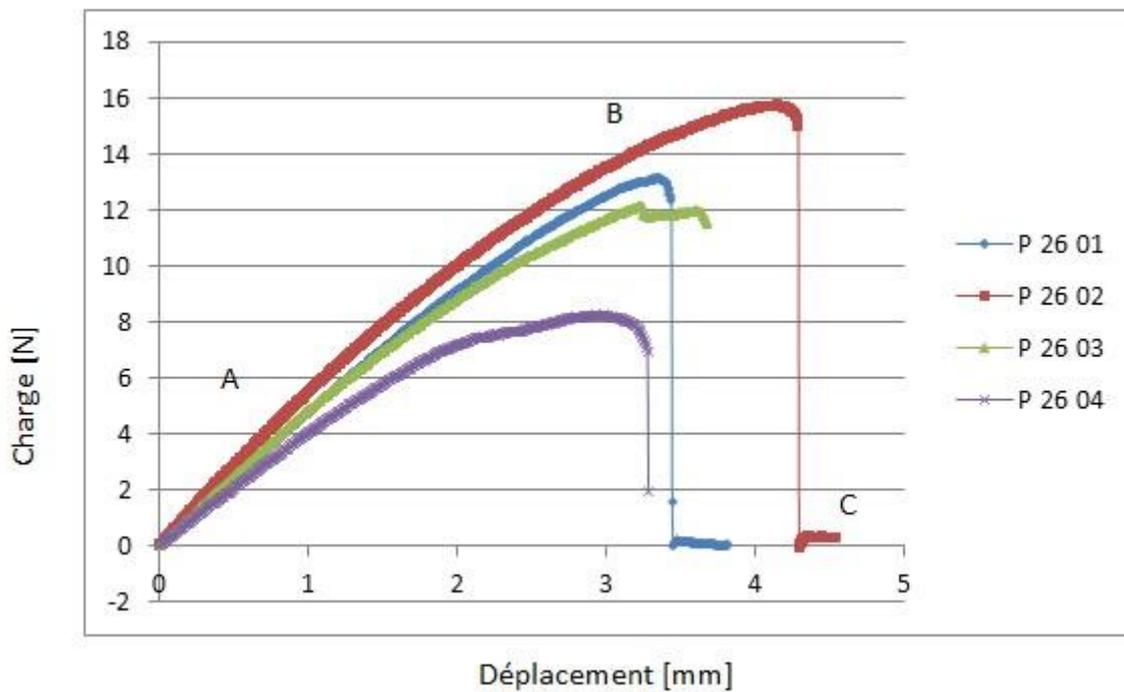


Figure III.7 : Courbes de Charge-Déplacement des matériaux composites p26 sollicités par flexion trois points

Les figures III.3, III.4, III.5, III.6. et III.7 donnent l'évolution de la charge appliquée en fonction du déplacement, pour différents types des matériaux composite (p14, p17, p20, p23 et p26) sollicités en flexion trois points. Le comportement en flexion trois points peut se décomposer aussi en 3 phases principales :

- La première phase correspondant à une petite augmentation linéaire de la charge avec la flèche. A partir de cette partie on peut déterminer la rigidité globale par la formule :

$$E_{sb} = \frac{\Delta P * L^3}{\Delta \delta * 4B * t_f^3}$$

Avec E_f est le module de flexion :

$y = \frac{\Delta P}{\Delta \delta}$: Est la pente de la phase linéaire de la courbe charge - déplacement.

- La deuxième phase correspond au comportement non-linéaire jusqu'à la valeur maximale de la charge pater plastique ;
- La troisième phase correspondant à la chute de la charge jusqu'à la rupture finale de l'éprouvette.

Le tableau présente les valeurs moyennes de la rigidité globale dans les quatre types des matériaux composites étudiés.

Tableau III.2 : Les valeurs moyennes du module d'élasticité des différents types des éprouvette matériaux composite.

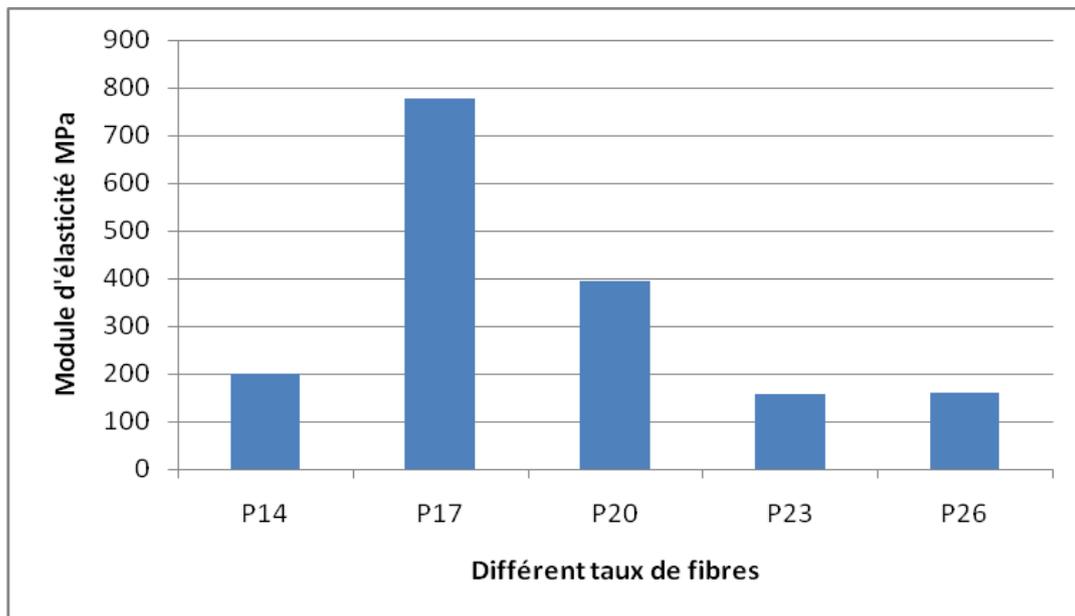
P14	L (mm)	B (mm)	t (mm)	E (MPa)
P14.01	160	14.94667	11.1833	168.991
P14.02	160	14.7233	10.45667	240
P14.03	160	14.50333	10.33	173.589
P14.05	160	14.50333	9.61333	219
			E_{MOY}	200.395
			Ecartype	34.734

P17	L (mm)	B (mm)	t (mm)	E(MPa)	
P17.01	160	14.78	11.566	/	
P17.02	160	14.7833	8.9	808.820	
P17.03	160	14.5466	9.1166	795.841	
P17.04	160	14.58333	9.1166	726.634	
				E_{MOY}	777.099
				Ecartype	44.182

P20	L (mm)	B (mm)	t (mm)	E(MPa)	
P20.01	160	14.6133	10.31333	403.954	
P20.02	160	14.3233	10.77	397.071	
P20.03	160	14.74	11.26	333.464	
P20.04	160	14.40667	11.1233	438.220	
				E_{MOY}	393.177
				Ecartype	43.688

P23	L(mm)	B(mm)	t (mm)	E(MPa)	
P23.01	160	14.0633	12.06	130.815	
P23.02	160	14.33	11.8566	156.565	
P23.03	160	14.49	11.0667	204.840	
P23.04	160	14.48667	11.52	140.988	
				E_{MOY}	158.302
				Ecartype	32.782

P26	L (mm)	B (mm)	t (mm)	E(MPa)	
P26.01	160	14.12333	10.61	160.124	
P26.02	160	14.04333	12.08	156.515	
P26.03	160	14.41667	10	167.599	
P26.04	160	14.34	11.97	/	
				E_{MOY}	161.413
				Ecartype	5.653



En ce qui concerne les résultats du module d'élasticité des éprouvettes dans le tableau III.2 Montre que une augmentation du facteur de élasticité de 14% à 17% et nous notons également une dimonution du facteur d'élasticité apré la valeur de 17% .du rapport de fibre ,pui ntons que p17 il est bonne pour le meilleur module d'élasticité.

III.5. Les photos des éprouvettes après l'essai de flexion trois points sur microscope optique



P14



P17



P20



P26



P23

CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion générale

Les matériaux composites ont toujours eu un grand impact sur le développement en cours dans divers domaines en raison de leur importance .Ils sont entrés dans diverses industries qui essaient d'obtenir des matériaux légers, solides, antichocs, bon marché et ayant une durée de vie plus longue. ...etc, selon le domaine d'utilisation.

Notre étude s'est basée sur des matériaux composites en raison de leur grande importance dans divers domaines maintenant, où nous avons fait le côté expérimentale dans le hall technologique de l'université de Biskra en préparant cinq plaques de dimensions $(160*15*10)\text{mm}^3$ constituées principalement d'un matériau composite à partir de pétiote aggloméré et de colle blanche, où le poids total du matériau composite est de 292 grammes à chaque fois que nous préparons la plaque, et les plaques diffèrent entre elles par la proportion de pétiote aggloméré, où nous utilisons à chaque fois (14 %, 17 %, 20 %, 23 %, et 26 %) du poids total de la plaque.

Ensuite, nous avons découpé chaque plaque en quatre éprouvettes, de sorte que le total des éprouvettes soit de vingt éprouvettes, ce sur quoi nos expériences seront basées.

Les éprouvettes que nous avons obtenus, nous avons mené des expériences sur eux dans le cas de flexion de trois points puis en exprimant les résultats en traçant les courbes pour chaque éprouvette.

Au final, nous avons trouvé que l'éprouvette P17 est plus raisonnable et obtient des résultats raisonnables.

Bébliographies

- [1]. Berthelot J-M. Mécanique des matériaux et structures composites. Institut Supérieur des Matériaux et Mécaniques Avancés. 2010. P5 ; P6
- [2]. Vannucci, P ; Matériaux composites structuraux, 2007, Université de Versailles et Saint-Quentin-en-Yvelines.
- [3]. Ly, E.H.B ; Nouveaux matériaux composites thermoformables à base de fibres de cellulose, 2008, Grenoble INPG.
- [4]. Misra, M. and L.T. Drzal, Natural fibers, biopolymers, and biocomposites2005: Taylor & Francis.
- [5]. Cutter, A.G; Development and characterization of renewable resource-structural composite materials, 2008, UC San Diego.
- [6]. Web site: <http://cerig.pagora.grenoble-inp.fr/memoire/2018/fibre-papetiere-biocomposite.h>
- [7]. Bailon, J.-P. and J.-M. Dorlot, Des matériaux2000: Presses inter Polytechnique.
- [8]. J.M. Berthelot, “comportement mécanique et analyse des structures”, édition Masson, Paris, 1996.
- [9]. Barkat Mohammed ; Elaboration es matériaux composites bio-sourcés à base des fibres de palmier dattier. Mémoire de Master. Université de Biskra. Année 2018.
- [10]. M, Senoussi, CH, Chenouf, Extraction et caractérisation physico-chimique de l’huile des noyaux de dattes (Ghars, Deglat-Nour, Meche- Degla), mémoire de master, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi- B.B.A, Algérie, 2019.
- [11]. A. Mouaki ; Etudier le comportement mécanique des structures sandwiches. Mémoire de Master. Université de Biskra. Année 2017.
- [12]. H. Djemai ; Contribution à l’étude de l’endommagement dans les matériaux composites sandwiches. Thèse de Doctorat ; Université de Biskra, Soutenue publiquement le 08/01/2017.
- [13]. Boumhaout. M ; La caractérisation thermomécanique de matériaux composites à base de mortier et de fibres de palmier dattier (FPD). Mémoire de Master. Unéversitée de Béjaia. Année 2017.

- [14]. Jablons Youssef ; Elaboration et caractérisation de composites bio-sourcés à base de fibres de palmier dattier. Thèse de Doctorat, Université de Biskra, Soutenue publiquement le : 14/12/2019.
- [15]. Djoudi Tarik ; Elaboration et caractérisation de composites bio-sourcés à base de fibres de palmier dattier. Thèse de Doctorat, Université de Biskra. Soutenue publiquement le : 14/12/2019.
- [16]. Almi Kenza ; Développement et caractérisation de matériaux à base du bois de palmier dattier adaptés aux applications de développement durable en Algérie. Thèse de Doctorat, Université de Biskra, Soutenue publiquement le 18 / 04 /2018.
- [17]. A.Guermite ; Etude expérimentale des structures sandwiches à base des bio-sources. Mémoire de Master ; Université de Biskra. Soutenue publiquement le 25/06/2018.
- [18]. Tahar Dhaouadi ; Caractérisation et modélisation des propriétés mécaniques des biocomposites à fibres courtes aléatoires. Mémoire de Licence. École de technologie supérieure université du QUÉBEC. Année : Le 24 Septembre 2018.
- [19]. Boughediri Sara; Réalisation d'un nouveau matériau biocomposite à base de matrice résine. Mémoire de Master .Université Mohamed Khider de Biskra. Année universitaire : 2018 – 2019.
- [20]. Tahar Masri , Houdayfa Ounis , Adel Benchabane , Lakhdar Sedira; Effect of Lignin on the Mechanical Properties of a Composite Material Based on Date Palm Leaflets and Expanded Polystyrene Wastes. TECNICA ITALIANA-Italian Journal of Engineering Science. Année : June, 2019.
- [21]. Arias F, Kenis Paul J. A, Xu B ; J. Mater. Res, 16 : 597-605, 2001.

Abstract

The study completed is Composite material of equal dimensions 160 * 15 * 10 made of composite materials of agglomerated petiole and white glue, and their total weight is 292 grams, and they differ from each other in the percentage of agglomerated petiole added each time in relation to the total weight of the sandwich panels (14%, 17%, 20%, 23%, and 26%) then divided into test specimens and a bending test of three points, then the results were translated into curves, and in the end, we found that the results of P 17 are closer to the reasonable.

Keywords

Composite material, Agglomerated petiole, White glue, Three-point bending, P 17.

Résumé

L'étude réalisée porte sur des matériux composite de dimensions égales 160*15*10 constitués de matériaux composites de pétiole aggloméré et de colle blanche, et leur poids total est de 292 grammes, et ils diffèrent entre eux par le pourcentage de pétiole aggloméré ajoutées à chaque fois par rapport au poids total des panneaux sandwich (14 %, 17 %, 20 %, 23%, et 26%) puis divisés en éprouvette et une essaie de flexion de trois points, puis les résultats ont été traduits en courbes, et à la fin, nous avons trouvé que les résultats de P 17 sont plus proches du raisonnable.

Mots clés

Matériau composite, Pétiole aggloméré, Colle blanche, Flexion en trois points, P 17.

ملخص

الدراسة المنجزة هي مادة مركبة ذات ابعاد متساوية 160*15*10 تتكون من مواد مركبة من السويقات المتكتلة و الصمغ الابيض و وزنها الكلي هو 292 غرام و تختلف فيما بينها في نسبة السويقات المتكتلة المضافة في كل مرة بالنسبة للوزن الكلي للالواح الشطائرية (14%، 17%، 20%، 23%، و 26%) و بعدها قسمت الى عينات و اجریت عليها تجربة الانحاء في ثلاث نقاط و بعدها ترجمت النتائج الى منحنيات و في الاخير و جدنا ان نتائج P 17 اقرب الى المعقول

الكلمات المفتاحية

مواد مركبة، السويقات المتكتلة، الصمغ الابيض، الانحاء في ثلاث نقاط , P 17.