



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des Sciences et de la Technologie
Génie Mécanique

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine: Sciences et Techniques.

Filière : Génie Mécanique.

Spécialité: Construction Mécanique.

Réf.:...

Présenté et soutenu par :

BATOUCHE Yazid

Thème

**Caractérisation thermomécanique
des bio -déchets de la région de Biskra.**

Jury:

Dr.	GUERIRA Belhi	MCA	Université de Biskra	Président
Dr.	BELGHAR Nouredine	Prof	Université de Biskra	Rapporteur
Dr.	BEGAR Abdelhakim	MCA	Université de Biskra	Examineur
Dr.	GUETTAF TEMAM Tahar	MRA	CRTI-URMA d'Annaba	Co-Rapporteur

Année universitaire: 2020-2021

Remerciement

Je dois d'abord je remercie « **Allah** », le tout puissant, pour m'avoir donné le courage et la santé pour réaliser ce modeste travail.

Ce travail a été réalisé sous la direction de Monsieur **BELGHAR Noureddine**, professeur à l'Université de Biskra. Je tiens à lui exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements pour m'avoir encadré pendant la durée de ce mémoire.

Je remerciement à les membres du jury pour avoir accepté la tâche de l'évaluation de ce travail : le Monsieur **GUERIRA Belhi** MCB à l'université de Biskra et le Monsieur **BEGAR Abdelhakim**.

Un grand remerciement également au Monsieur **Taher GUETTAF TEMAM**, Maitre de recherche -B- à l'Université de anaba.et Monsieur **Mohamed Aymen KETHIRI** et le Monsieur **DJEMAI Hocine** MCB à l'université de Biskra pour leurs aides et leurs disponibilités.

Enfin je remercie **TRIR Boubakeur**, **KELALA Khaled**, **HECINI Amira**, **BOUKHALFI Anissa**, **WALI MOHAMED Salem**, et à toutes les personnes, qui ont aidé, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Dédicace

Je profite de cette occasion pour dédier ce modeste travail :

À Ma mère;

À Mon père;

À Mes sœurs et mes frères ;

À toute ma famille et mes proches;

À tous mes amis chacun par son nom;

À tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Batouche
Yazid

Sommaire

Contents

Remerciement.....	2
Dédicace	3
Sommaire.....	4
Liste de figures	7
Liste de tableaux.....	9
Nomenclatures	10
Résumé:	11
Introduction générale.....	13

CHAPITRE I

PARTIE A

GENERALITE SUR LE MATERIAU COMPOSITE

I.1.Introduction	15
I. 2.Notions de base	15
I.2.1Définition	15
I. 2. 2. Bio-composite	16
I. 3. Différents types de composites	16
I. 4. Constitution des matériaux bio composite.....	17
I. 4.1. La matrice.....	17
I. 4.1.1 Matrices thermodurcissables (TD).....	18
I. 4.1.2 Matrices thermoplastiques (TP).....	18
I. 4.1.3 Matrices élastomères	19
I. 4.1.4.Matrices thermostables	20
I. 4. 2. Renfort.....	20
I. 4.2.1. Classification des Renforts.....	21
I. 4.2.2. Généralités sur les fibres naturelles	21
I. 4.2.3. Classification des fibres	22
I. 4.2.4. Composition chimique.....	23
I. 4.2.5. Morphologies des fibres naturelles	23

PARTIE B

GENERALITES SUR LE PALMIER DATTIER

I.1. Introduction	26
I.2. Historique et origine :	27
I.3. Etude morphologique du palmier dattier	27
I.3.1. Le tronc	28
I.3.2. La couronne	29
I.3.3. La palme	29
I.3.4. Le grappe	29
I.4. Répartition géographique du palmier dattier	29
I.4.1. Dans le monde	29
I.4.2. Dans l'Algérie	30
I.5. Sous-produits de palmier dattier	31
I.5.1. Sous-produits de palmier dattier et leurs applications	31
I.5.2. Estimation du tonnage du palmier dattier et de leurs sous-produits	32
I.6. Fibres de bois palmier dattier	32
I.7. Propriétés physiques et mécaniques des fibres de palmier dattier	33
I.7.1. Propriétés physiques	33
I.7.2. Propriétés mécaniques	34
I.8. Synthèse des travaux réalisés sur le bois du palmier dattier	38

CHAPITRE II

II.1. Introduction	41
II.2. matérielle et méthode	41
II.2.1. Matériau utilisé	41
II.2.2. Préparation du renfort	41
II.2.3. La Balance électronique	43
II.2.4. Pied à Coulisse numérique	44
II.2.5. Méthode de diffraction des rayons X (DRX)	44
II.2.6. Machine des essais de traction	45
II.3. Préparation des éprouvettes de traction	46
II.3.1. Des éprouvettes avant que de traction	47
II.3.2. Des éprouvettes après de traction	47

Chapitre III

III.1. Résultats et discussion.....	49
III.2. Essai mécanique	50
III.2.1. Calcul du module d'Young de traction E :.....	51
III.2.2.Détermination de la contrainte max σ_{max} et de la déformation max ϵ_{max}	52
III.3. Détermination de la contrainte max σ_{max} et de la déformation max ϵ_{max}	53
III.4.Détermination de la contrainte max σ_{max} et de la déformation max ϵ_{max}	55
III.4.1.Détermination du module d'Young E	55
III.5. Détermination de la contrainte max σ_{max} et de la déformation max ϵ_{max}	56
III.5.1.Détermination du module d'Young E	57
III.5.2.Détermination de la contrainte max σ_{max} et de la déformation max ϵ_{max}	58
III.5.3.Détermination du module d'Young E	57
III.5.4.Détermination de la contrainte max σ_{max} et de la déformation max ϵ_{max}	60
III.5.5.Détermination de la contrainte max σ_{max} et de la déformation max ϵ_{max}	61
III.5.6.Détermination de la contrainte max σ_{max} et de la déformation max ϵ_{max}	62
III.6. Récapitulation des résultats obtenus	62
III.7.Discussion et comparaison entre les caractéristiques du bois de tronc sec et du bois de tronc humide	64
Conclusion Générale	65
Bibliographie	66

Liste de figures

Figure I.1 Matériau composite	15
Figure I.2 Différentes familles de Matrice	17
Figure I.3 Classification des Renforts	21
Figure I.4 Classification générale des fibres	22
Figure I.5 Illustration d'une structure possible de lignine	23
Figure I.6. Angle des micros fibrille d'une fibre végétale	24
Figure I.1 Schéma morphologique de palmier dattier	28
Figure I.2 Schéma d'une palme de palmier dattier	29
Figure I.4 Localisation des oasis dans le Sahara algérien.....	30
Figure I.5Présente une micrographie de la fibre de palmier dattier	33
Figure I. 6 Comparaison des valeurs moyennes de module de Young des fibres de palmier dattier	37
Figure I.7 Module de Young spécifique de fibres de palmiers dattier [48]	37
Figure I.8 Effet NaOH à la propriété mécanique de fibre de surface du tronc de.....	38
Figure II.1 branchât Palmier dattier.....	41
Figure II.2 Moulinette à broyer	42
Figure II.3 Fibres les tiges broyées	42
Figure II.4 l'appareil de tamisage	43
Figure II.5 Balance électronique	43
Figure II.6 Pied à Coulisse numérique	44
Figure II.7 Photographie de l'appareil de rayons X.....	45
Figure II.8 Machine de traction.....	46
Figure II.9 essais de traction sur les tiges de dattiers	46
Figure II .10 a et b essais les tiges de dattier avant que de traction	47
Figure II .11 a et b essais les tiges de dattier après de traction	47
Figure III.1 La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) de palmier	49
Figure III.2 La courbe de comportement de bois de branchât du palmier dattier en traction.	51
Figure III.3 la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation de bois sèche (0.002% de déformation)	51
Figure III.4 La courbe de comportement de bois de branchette du palmier dattier en traction. ...	52

Figure III.5 la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation de bois sèche (0.002% de déformation).....	53
Figure III.6 La courbe de comportement de bois de branchette du palmier dattier en traction.	54
Figure III.7 la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation de bois sèche (0.0025% de déformation).....	54
Figure III. 8 La courbe de comportement de bois de branchette du palmier dattier sèche.	55
Figure III. 9 la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation de bois sèche (0.0025% de déformation).....	56
Figure III. 10 La courbe de comportement de bois de branchette du palmier dattier en traction.	57
Figure III. 11 la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation de bois sèche (0.0025% de déformation).....	57
Figure III. 12 La courbe de comportement de bois de branchette du palmier dattier sèche.	58
Figure III. 13 la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation de bois sèche (0.0025% de déformation).....	59
Figure III. 14 La courbe de comportement de bois de branchette du palmier dattier en traction.	60
Figure III. 15 la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation de bois sèche (0.0025% de déformation).....	60
Figure III. 16: La courbe de comportement de bois de branchât du palmier dattier sèche.	61
Figure III. 17: la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation de bois séché (0.0025% de déformation).....	62

Liste de tableaux

Tableau I. 1 Type de composite	17
Tableau I.2. Différentes caractéristiques des résines thermoplastiques et thermodurcissables.	19
Tableau I.1 Superficie et nombre de palmiers complantés	27
Tableau I.2 Différentes variétés de palmier dattier en Algérie	31
Tableau I.3 Propriétés physiques des fibres de palmier dattier	34
Tableau I.4 Propriétés mécaniques des fibres de palmier dattier et d'autres fibres naturelles	34
Tableau I.5 Valeurs moyennes des propriétés mécaniques des fibres de palmiers dattier	35
Tableau I.6 Propriétés mécaniques des huit types de fibres de palmier dattier	35
Tableau I.6 Propriétés mécanique des fibres de la surface du palmier dattier en Algérie	39
Tableau. III.1. les dimensions des différents échantillons soit humide ou sèche.....	50
Tableau. III.2. représente tous les valeurs concernant les essais du bois humide de branchette du palmier dattier et calcule les valeurs moyennes à chaque paramètre.....	63
Tableau. III.3. représente tous les valeurs concernant les essais du bois sec de la branchette du palmier dattier et calcule les valeurs moyennes.....	63

Nomenclatures

Paramètres expérimentaux :

D (m) : Diamètre de la fibre

L (m) : Longueur de la fibre

M (Kg) : Masse

ρ (g/cm³) : La masse volumique

F (N): Force

ε (%) : Déformation

σ (MPa) : Contrainte

E (MPa) : Module d'Young

G (MPa) : Module de cisaillement

μ et λ (Mpa) : Coefficient de Lamé

τ (joule) : Couple de torsion

θ (degré) : Angle

ω (rad/s) : Pulsation de l'oscillation

IG (Kg.m²) : Moment d'inertie de la masse

T (s) : Période de l'oscillation

Techniques:

DRX: Diffraction des Rayons X

Résumé:

Le présent travail est une étude de la caractérisation des propriétés mécanique et structure des constituants de bois du palmier dattier. Le palmier dattier est une plante très important dans les régions aride et semi-aride, il constitue un élément majeur dans l'activité socio-économique de la région, cependant peu de travaux ont essayé d'explorer ses propriétés en vue de son utilisation pour d'autres utilisation non conventionnel. Cette étude prend exactement cet aspect en charge et constitue un pas important dans la caractérisation de ces constituants pour leur utilisation des déchets pour des applications adapte. Des essais mécaniques sont réalisés afin d'identifier les propriétés de ses éléments.

Abstract:

This work is a study of the characterization of the mechanical properties and structure of the wood constituents of date palm. The date palm is a very important plant in arid and semi-arid regions, it constitutes a major element in the socio-economic activity of the region, however little work has tried to explore its properties with a view to its use for other unconventional use. This study takes exactly this aspect into account and constitutes an important step in the characterization of these constituents for their use of waste for modernized applications. Mechanical tests are carried out to identify the properties of its elements.

Introduction générale

Introduction générale

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifère* L.) est une plante monocotylédone à fleurs de la famille des dattes (*Arecaceae*), l'une des cultures les plus importantes d'Afrique du Nord et du Moyen-Orient. Il existe plus de 950 variétés de palmiers dattiers en Algérie comme Deglet Nour, Ghars, Fergus et Mech Degla ... etc.

L'Algérie est classée 2^{ème} au monde dans la production après l'Égypte avec (15,508, 590 tonnes par an), si l'on dit en Algérie cela signifie la région de Biskra en 1^{re} position au niveau national.

Cette grande quantité de production implique une grande quantité des déchets palmier, sachant que le palmier dattier est différent des autres types de palmiers tels que (palmier à sucre (SP) "*Borassus* ou *Arenga pintèrent*", palmier à huile (OP) "*Élaeis*" et palmier à pêche (PP) *Bactris gasipaes* ") il est constitué de plusieurs parties (tronc, fibres superficielles, pétiole, maille, rachis, bouquets, pédicelles, folioles, etc.).

L'utilisation de ses déchets locaux en termes de matière première et de son taux d'intégration au processus de développement, le bois est largement utilisée dans plusieurs domaines par l'humanité, continue à avoir une grande importance.

Le plan de la réduction de cette mémoire de fin d'étude est composé de trois chapitres:
Le premier chapitre présente deux parties :

Dans la première partie représente une étude bibliographique concernant la présentation générale des matériaux composites, leur mise en œuvre et leurs domaines application.

Et d'autre partie représente une recherche bibliographique concernant de la morphologie du palmier dattier et différents constituants.

Dans le deuxième chapitre, représente un protocole expérimental, pour effectue les essais est un travail de nature expérimentale, nous commençons par la présentation de la façon de la préparation des échantillons pour les essais mécaniques comme la traction et caractérisation physique comme la spectroscopie infrarouge.

Le troisième chapitre En fin, on présente les essais mécaniques (, traction,) et les résultats sur des échantillons de différents constituants du palmier dattier.

CHAPITRE I

PARTIE A

GENERALITE SUR LE MATERIAU

COMPOSITE

I.1. Introduction

Les matériaux composites ont été utilisés depuis des siècles. Leurs avantages par rapport aux matériaux classiques résident dans leurs performances et leur légèreté. Ces atouts ont attiré de nombreuses industries comme l'aérospatial, l'automobile, les infrastructures, le sport...etc.

Le développement des matériaux composites s'est fait de façon évolutive mais aussi révolutionnaire [1].

I. 2. Notions de base

I. 2.1 Définition

Un matériau composite peut être défini d'une manière générale comme l'assemblage de deux ou plusieurs matériaux, l'assemblage final ayant des propriétés supérieures aux propriétés de chacun des matériaux constitutifs. On appelle maintenant de façon courante "matériaux composites" des arrangements des fibres, des renforts qui sont noyés dans une matrice dont la résistance mécanique est beaucoup plus faible. Le schéma général d'un matériau composite est donné sur la (figure I.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 [2,3].

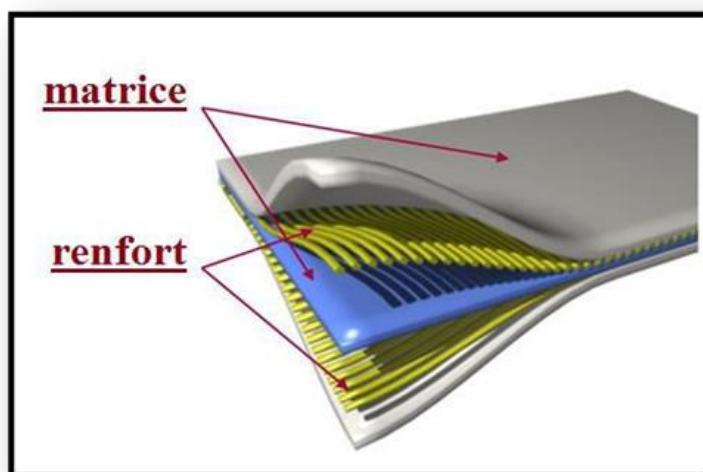


Figure I.1 Matériau composite [4].

I. 2. 2. Bio-composite

Un bio composite (ou agro-composite) est un matériau composite comprenant une ou plusieurs phases d'origine biologique. En termes de renforcement, cela pourrait inclure des fibres végétales telles que le coton, le lin, le chanvre et autres, ou des fibres de bois recyclées ou de déchets de papier, ou même des sous-produits à partir de cultures vivrières. Les fibres de cellulose régénérées (viscose / rayonne) sont également incluses dans cette définition, puisqu'elles sont produites aussi à partir d'une ressource renouvelable. Les matrices utilisées pourraient être des polymères issus de ressources renouvelables, comme les huiles végétales et l'amidon. A l'heure actuelle, les polymères synthétiques dérivés du pétrole prédominent. Ils sont soit des thermoplastiques soit des thermodurcissables [5].

Les composites à matrice thermodurcissable sont rigides et résistants, mais fragiles. Les composites à matrice thermoplastique présentent de faibles propriétés mécaniques et ductiles (ils présentent des déformations importantes avant de se rompre).

Les composites à base de matrice thermoplastique et de renforts naturels ont été largement étudiés ces dernières décennies en raison de l'épuisement des ressources pétrolières et les réglementations environnementales, qui ont la particularité d'être recyclables et biodégradables [6,7].

I. 3. Différents types de composites

Il existe plusieurs types de matériaux composites dont les principaux sont résumés dans le Tableau I. 1 suivant :

Type de composite	Constituents	Domains application
1. Composites à matrice organique Papier, carton Panneaux de particules Panneaux de fibres Toiles en duites 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/ micro sphères	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, bio-médecine, etc. Pièces thermo-mécaniques
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

Tableau I.1 Type de composite [8]

I. 4. Constitution des matériaux bio composite

I. 4.1. La matrice

Les matrices ont essentiellement pour rôle de lier les fibres, de transférer les contraintes imposées sur le matériau aux fibres, de les protéger contre les agressions extérieures et de donner la forme finale du matériau. Elles doivent être en outre assez déformable et présenter une certaine compatibilité avec le renfort. Ainsi, pour pouvoir apporter aux matériaux composites des propriétés mécaniques spécifiques élevées, la matrice doit posséder une bonne affinité aux fibres et une masse volumique faible [9].

Il existe différentes familles de matrices utilisées dans les matériaux composites (Figure I.2).

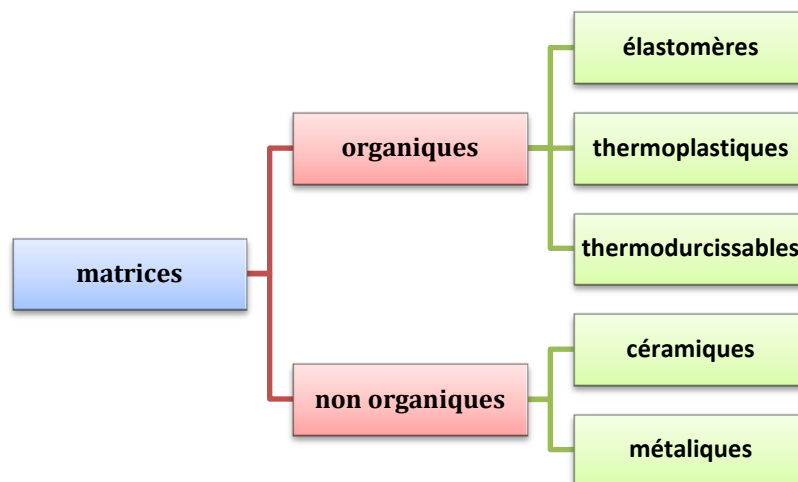


Figure I.2 Différentes familles de Matrice [10].

Dans le cas des composites à matrices organiques CMO, les résines (polymères ou matrices plastiques) les plus utilisées sont :

I. 4.1.1 Matrices thermodurcissables (TD)

Ce sont les polymères qui prennent leur forme définitive au premier refroidissement, ordinairement sous l'action de la chaleur ou de la pression, la réversibilité de leur transformation physico-chimique est impossible. La réticulation (gélification ou pontage) est l'opération par laquelle la matière première est transformée en matériau rigide, insoluble et infusible.

C'est grâce à leur structure fortement réticulée et l'immobilisation de leurs molécules que les thermodurcissables ne peuvent s'écouler, ils possèdent une dureté élevée et s'offrent une bonne tenue au fluage à l'ambiante contrairement aux thermoplastiques. C'est pour ces raisons là qu'ils sont souvent utilisés comme éléments structuraux. Ils sont aussi employés dans les matériaux composites pour leur fluidité avant réticulation et pendant la mise en œuvre ainsi que pour leur résistivité thermique. Ils ont une grande résistance mécanique. On en cite [11] :

- ❖ les polyesters insaturés : polyesters condensés, vinylesers, dérivés allyliques...etc.
- ❖ les résines de condensation : phénoliques, furaniques...etc.
- ❖ les résines époxydes.
- ❖ les aminoplastes : urée, mélamine, formaldéhydes...etc.
- ❖ les alkydes.

I. 4.1.2 Matrices thermoplastiques (TP)

Les thermoplastiques sont dérivés de polymères légèrement ramifiés (linéaires). C'est pour cette raison qu'ils se déforment et se ramollissent sous l'action de la chaleur, qui se traduit par l'écoulement des chaînes moléculaires les unes sur les autres. En refroidissant, ils reprennent une nouvelle forme. Cette caractéristique particulière de ramollissement au chauffage et de durcissement au refroidissement peut se répéter un bon nombre de fois car, contrairement aux matières thermodurcissables, les thermoplastiques ne subissent aucune transformation chimique ce qui facilite leur fabrication et leur recyclage. Cependant, leur sensibilité à la chaleur reste un inconvénient majeur dans des conditions réelles de travail. Néanmoins, il s'est développé actuellement des résines thermoplastiques avec des résistances thermiques élevées [12].

De nos jours, les pièces fabriquées à partir de thermoplastiques peuvent couvrir toute une gamme de produits, allant des épingles et capteurs à des grands réservoirs d'eau et peuvent inclure des formes complexes telles que des revêtements, des adhésifs, des mousses, des

plastiques renforcés (armés), ainsi que des matériaux résistants aux températures élevées [11].

Les principales familles de thermoplastiques trouvées dans le commerce sont :

- ❖ les polyéthylènes,
- ❖ les polypropylènes,
- ❖ les plastiques à base de poly (chlorure de vinyle),
- ❖ les polystyrènes,
- ❖ les acryliques,
- ❖ les nylons,
- ❖ les cellulosiques.

Le tableau suivant (Tableau I.2) représenté certaines caractéristiques des résines thermoplastiques et thermodurcissables :

Caractéristiques	Thermoplastiques	Thermodurcissables
Etat de base	Solide (prêt A l'emploi polymérisé)	Liquide visqueux À polymériser
Stockage matière de base	Illimité	Temps réduit (précautions à prendre)
Mouillabilité des renforts	Difficile	Aisée
Moulage	Chauffage (fusion/ramollissement +refroidissement de fixation)	Chauffage continu
Cycle	Court	Plus long (polymérisation)
Tenue au choc	Assez bonne	Limitée
Tenue thermique	Réduite sauf nouveaux TP thermostables	Meilleure
Chute set déchets	Recyclables	Perdus
Conditions de mise En œuvre	bonnes+ propreté	émanations pour méthode humide (allergie possible)

Tableau I.2. Différentes caractéristiques des résines thermoplastiques et thermodurcissables [11].

I. 4.1.3 Matrices élastomères

Les élastomères ont des structures et des propriétés voisines de celles des matières thermoplastiques, (On peut même les inclure dans la famille des thermoplastiques). Ils sont plus connus sous le nom de "caoutchouc". Ce sont des polymères fortement élastiques, ils sont assez spéciaux du fait qu'ils peuvent être étirés de plusieurs fois leur longueur et ils reprennent toujours leur forme initiale sans garder une déformation permanente.

Dans la famille des élastomères on retrouve :

- ❖ le poly isoprène (caoutchouc naturel),
- ❖ le polybutadiène,
- ❖ le polyisobutylène,

La principale différence entre un thermoplastique et un élastomère est la température de transition vitreuse. Cette dernière est en dessous de la température ambiante pour le thermoplastique ce qui le rend dur et cassant alors qu'elle est en dessus de l'ambiante pour l'élastomère le rendant mou et souple (Cette règle n'est valable que pour les polymères amorphes).

Les élastomères sont fortement réticulés et la plupart des objets en caoutchouc ne contiennent qu'une seule macromolécule, ce qui les rend difficilement recyclables [12].

I. 4.1.4. Matrices thermostables

Ce sont des polymères présentant des caractéristiques mécaniques stables sous des pressions et des températures élevées (>200°C) appliquées de façon continue. Cette propriété est mesurée en déterminant la température que peut supporter la résine durant 2000 heures sans perdre la moitié de ses caractéristiques mécaniques [12]. Mais tout comme les résines élastomères, les thermostables ne sont pas très employés dans l'industrie des composites.

I. 4. 2. Renfort

D'un point de vue renfort, les fibres naturelles sont une alternative écologique pour des applications courantes et pour les pièces techniques. Ces fibres naturelles intéressantes d'un point de vue bilan carbone et recyclage, peuvent apporter de part de leur nature, des propriétés supplémentaires au composite, notamment en terme de résistance aux vibrations et gain de poids.

De nombreux travaux sont en cours pour réaliser des composites bio sources combinant les fibres naturelles, transformées en un support adéquat, et de résines compatibles. Mais à ce jour, les caractéristiques générales de ces matériaux restent très insuffisantes dans l'objectif de réaliser des pièces techniques, notamment, car les renforts utilisés ne sont pas suffisamment optimisés et/ou compatibles avec la résine. [13].

Les renforts assurent les propriétés mécaniques du matériau composite et un grand nombre de fibres est disponible sur le marché en fonction des coûts de revient recherchés pour la structure réalisée. [14].

I. 4.2.1. Classification des Renforts

Les Renforts peuvent être classés en fonction de leur nature,

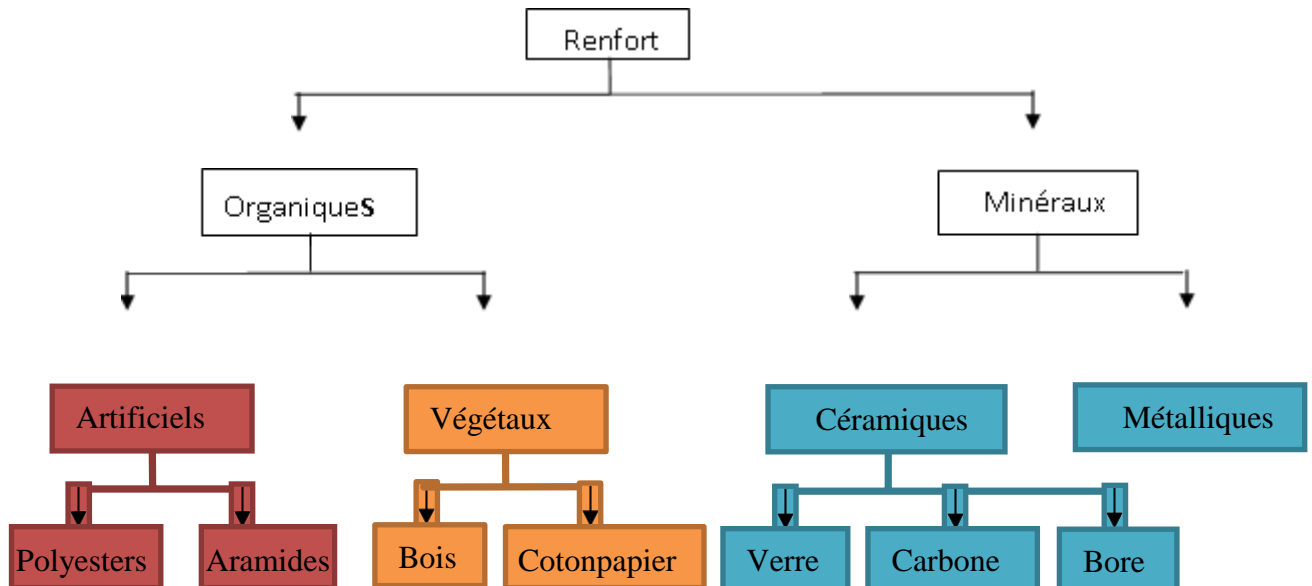


Figure I.3 Classification des Renforts

I. 4.2.2. Généralités sur les fibres naturelles

Sur la figure suivante, nous avons représenté une classification synthétique des fibres à usage matériaux. On distingue trois grandes familles: les fibres inorganiques obtenues par fusion ou pyrolyse, les fibres chimiques (synthétiques + artificielles) issues de ressources fossiles ou de la biomasse et les fibres naturelles. Les fibres naturelles sont subdivisées en 2 sous-familles, les fibres animale set les fibres végétales [15].

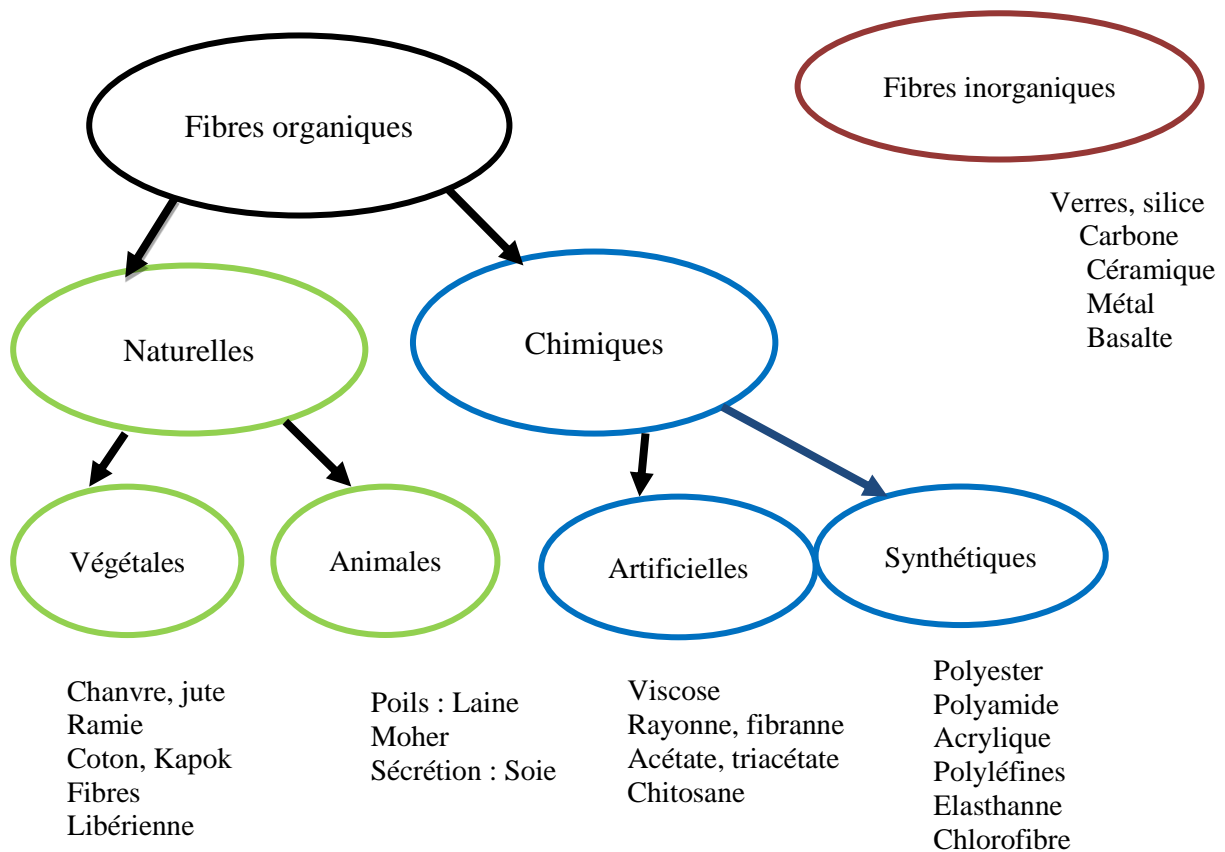


Figure I.4 Classification générale des fibres [15]

I. 4.2.3. Classification des fibres

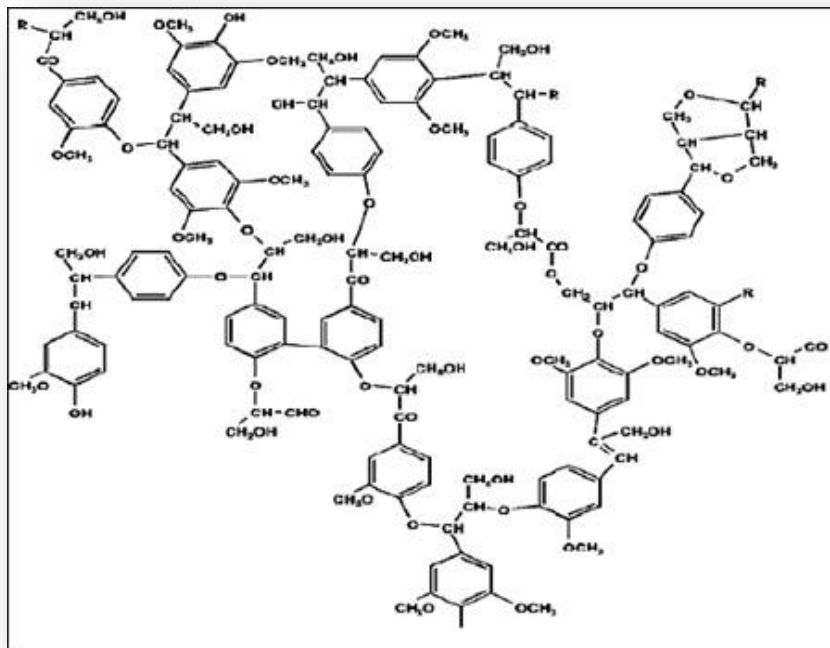
Globalement, dans le domaine des matériaux composites rigides thermoplastiques (TP) ou thermodurcissables (TD), on va trouver essentiellement des fibres inorganiques type verre, carbone, céramique, basalte, mais aussi des fibres chimiques essentiellement synthétiques avec le plus souvent les para-aramide. [15]

Comme nous l'avons déjà évoqué les contraintes environnementales et économiques orientent les marchés vers les fibres naturelles disponibles et renouvelables et à faible impact environnemental. Dans ces fibres, les fibres animales et le coton pour les fibres végétales sont majoritaires et plus destinées au textile / habillement, tandis que les autres fibres végétales et en particulier les fibres des plantes à tiges vont se retrouver dans des applications plus techniques. Ces fibres de plantes à tiges (lin, chanvre ou jute) devant assurer un rôle de maintien de la plante, possèdent des caractéristiques, notamment de rigidité, appréciables pour la réalisation de matériaux composites TD et TP [15].

I. 4.2.4. Composition chimique

Les fibres naturelles sont des structures biologiques principalement composées de cellulose, hémicelluloses et lignines [16]. Elles contiennent aussi des extractibles, des protéines et certains composés inorganiques en faibles proportions [17]. La cellulose est une macromolécule linéaire qui peut avoir une structure amorphe ou cristalline [18], tandis que les hémicelluloses ont une structure ramifiée. Le degré de polymérisation des hémicelluloses est généralement compris.

Entre 200 et 300 et leur structure dépend de l'espèce végétale [19, 20, 21]. La cellulose et les hémicelluloses forment le groupe des holo celluloses. Les macromolécules de cellulose ont une bonne résistance mécanique et un caractère hydrophile. La lignine est constituée d'un réseau tridimensionnel complexe [22] qui apporte de la rigidité, de l'hydrophobie et une bonne résistance à la décomposition. On trouve également des cires, des tannins, des minéraux et des pectines.



I.5 Illustration d'une structure possible de lignine [23]

I. 4.2.5. Morphologies des fibres naturelles

Les macromolécules de cellulose vont former en s'associant une micro fibrille de cellulose. Les chaînes de cellulose qui constituent les micro fibrilles sont organisées en spirales et forment un angle avec l'axe de la fibre nommé angle micro fibrillaire. Ces micros fibrilles vont à leur tour s'associer entre-elles grâce à des ponts hémicelluloses pour former

des macros fibrilles qui vont constituer l'essentiel de la paroi de la fibre. La paroi de la fibre est constituée de 3 couches S1, S2 et S3 pour lesquelles l'angle microfibrillaire est différent. En principe la couche S2 est la plus importante, et c'est elle qui impose majoritairement les propriétés mécaniques de la fibre. Cette couche peut également se subdiviser en plusieurs couches très fines. De façon générale, plus l'angle microfibrillaire est important, plus le caractère élastique s'accroît [24].

Ces faisceaux de fibres sont à l'échelle des machines de préparation industrielle. Ainsi, ils peuvent être séparés en fibres élémentaires par des opérations mécaniques, chimiques et biochimiques [25].

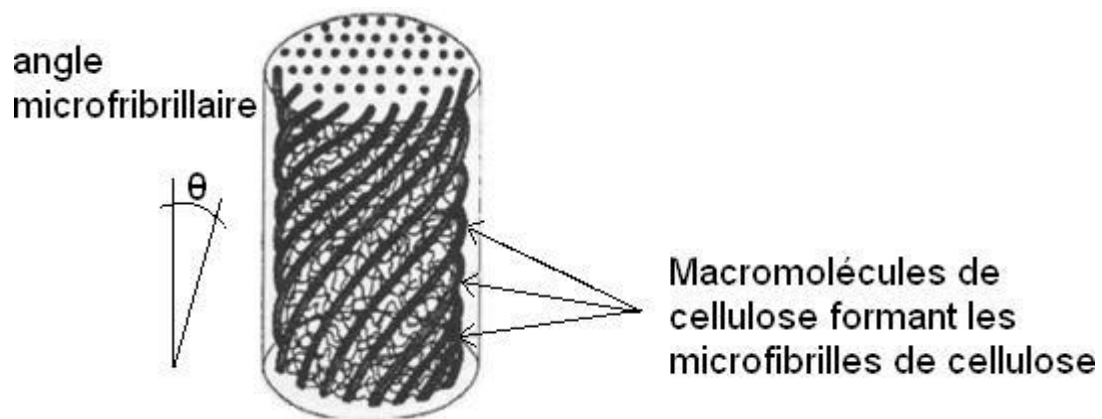


Figure I.6. Angle des micros fibrille d'une fibre végétale [24]

CHAPITRE I

PARTIE B

GENERALITES SUR LE PALMIER

DATTIER

I.1. Introduction

La récolte des dattes et le processus d'élagage saisonnier des palmiers génèrent de grandes quantités de déchets de palmiers accumulés chaque année dans les terres agricoles de différents pays. Ces quantités de déchets de biomasse importantes présentent un intérêt économique potentiel car ce type de déchet peut être considéré comme de nouvelle source de fibres cellulosiques. Ces résidus agricoles des palmiers dattiers, principalement des rachis et des feuilles, peuvent être considérés comme des sources de fibres végétales pour l'élaboration des matériaux composites en rependant à la demande croissante de matériaux renouvelables et biodégradables [26].

Ainsi, ce chapitre est consacré à une étude bibliographique sur les déchets de palmiers dattier et leur utilisation comme renfort dans l'élaboration des matériaux composites. En premier lieu, une description générale des palmiers dattiers est donnée notamment pour le cas de l'Algérie. Les déchets générés par le palmier dattier et leur utilisation et applications sont également présentées. La synthèse bibliographique, conduite dans le présent chapitre, met l'accent sur l'importance des propriétés morphologiques, physiques, mécaniques de renfort à base de palmiers dattier utilisé dans l'obtention des composites [26].

I.2. Historique et origine

L'histoire du palmier dattier, indissociable de celle des oasis, n'a pas encore livré tous ses secrets. Les vestiges archéobotanique les plus anciens, attestant de la consommation de datte, sont des graines carbonisées et minéralisées d'assemblages néolithiques d'Arabie orientale et datées du VI^e millénaire av.

Le palmier dattier, est connu depuis la plus haute antiquité .Sa culture remontant en effet au début du néolithique, il aurait été l'une des premières plantes cultivées par l'homme.

Les palmiers les plus anciens remontent au miocène. Le palmier dattier a été cultivé dans les zones chaudes entre l'Euphrate et le NIL vers 4500 ans avant J.C. De là, sa culture fut introduite en Basse Mésopotamie vers l'an 2500 ans avant J-C. depuis, elle progressa vers le Nord du pays et gagna la région côtière du plateau Iranien puis la vallée de l'Indus [27].

Le palmier dattier *Phoenix dactylifera* est l'un des arbres fruitiers le plus anciennement cultivé dans le monde. Il est rustique s'adaptant aux régions les plus arides du monde et constitue la principale source de vie de la population saharienne. Cette espèce se trouve principalement dans la région afro-asiatique. Les statistiques de l'année 2012 montrent que seulement en Algérie il y'a environ 18 millions palmiers dattier de différentes variétés (Tableau I.1) [28].

	DegletNour (Dattesfines)	Elghers (Dattesmolles)	DeglaBeida (Dattesblanche)	Superficie occupée (ha)
Nombred'arbre	6 998 143	2 795 995	8 407 502	
TotalenAlgérie		18 201 640		163 985

Tableau I.1 Superficie et nombre de palmiers complantés [29]

I.3. Etude morphologique du palmier dattier

Le palmier dattier est une composante essentielle de l'écosystème oasien grâce à son adaptation aux conditions climatiques, sa haute valeur nutritive de ses fruits et ses multiples utilisations de ses produits. Le Phoenix est une plante dioïque, avec deux organismes mâles et femelles. Dans certains ouvrages le palmier est considéré comme une herbe géante. Son hauteur varie de 20 à 30m, avec un tronc cylindrique (le stipe), portant une couronne de feuilles (les palmes).

Les feuilles sont pennées, divisées avec une longueur de 4 à 7m. Il porte des inflorescences mâles ou femelles. Les fruits du palmier (dattes) sont portés par les grappes (Figure I.1) [29].

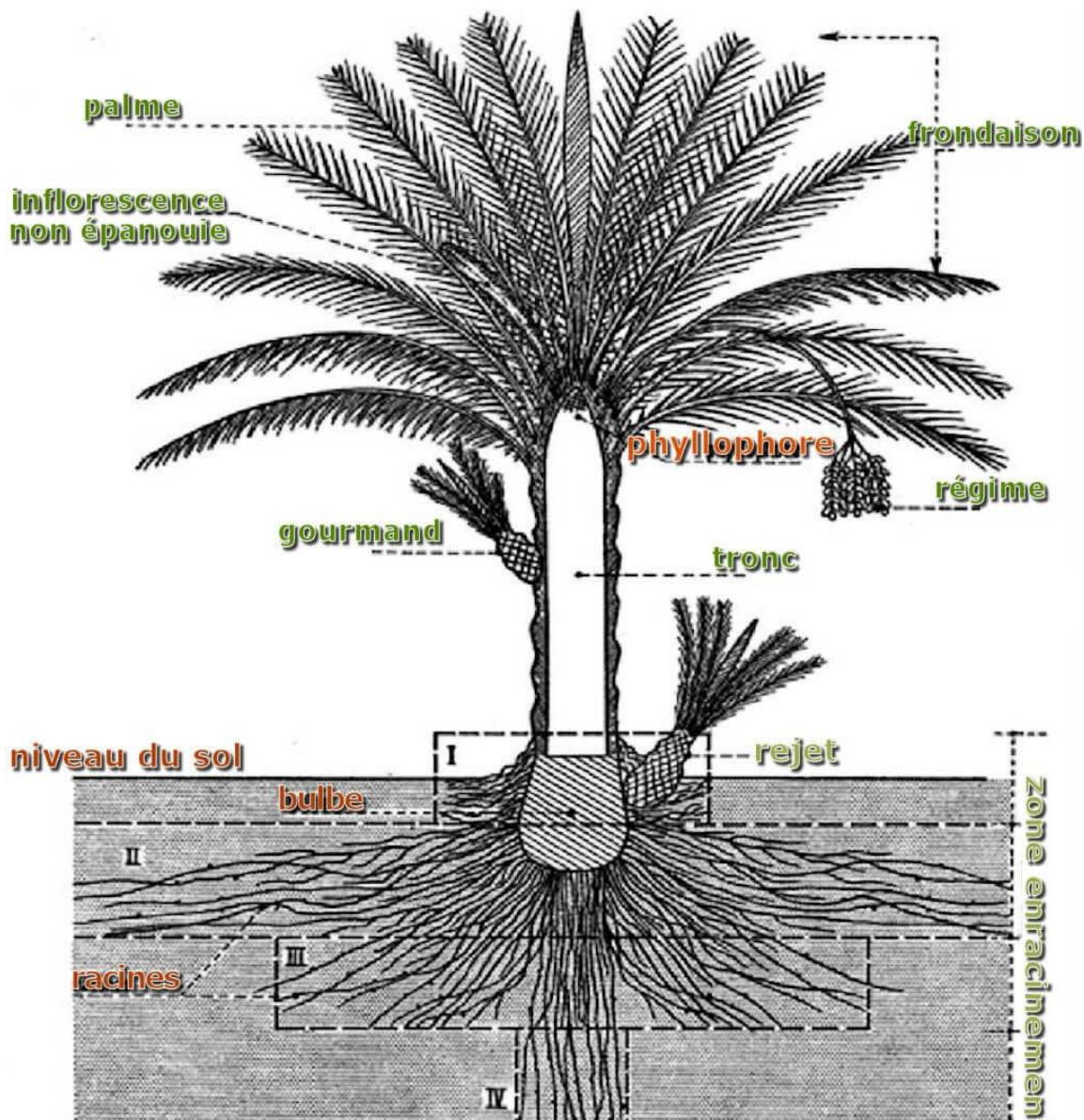


Figure I.1 Schéma morphologique de palmier dattier [31].

I.3.1. Le tronc

Le tronc, appelé le stipe, est la tige robuste du palmier. Il se présente sous forme d'une colonne cylindrique unique sans branche avec un diamètre légèrement variable selon les conditions climatiques [32].

Le tronc est couverte par des anciens pétioles. Les fibres des pétioles ne forment pas un tissu comme dans le bois ordinaire. Ce tissu présente des couches assez semblables à des toiles d'araignées.

I.3.2. La couronne

Toutes les palmes vertes sont appelées couronne. Chez un palmier dattier mature, on peut trouver 50 à 200 palmes. Ces dernières sont reproduites par le bourgeon terminal ou Phyllophore [33].

I.3.3. La palme

Les palmes appelées localement Djérid sont les feuilles du palmier constituées de rachis le long duquel sont déposés des folioles (Figure I.2). Elles sont longues de 4 à 7 mètres [32]. Chaque année, le palmier dattier produit un ensemble de palmes par le mouvement de bourgeon et débarrasse un nombre similaire de palmes par dessèchement [33]. L'ensemble des feuilles au sommet du stipe est appelé couronne ; elle peut faire de 6 à 10 mètres d'envergure [32].

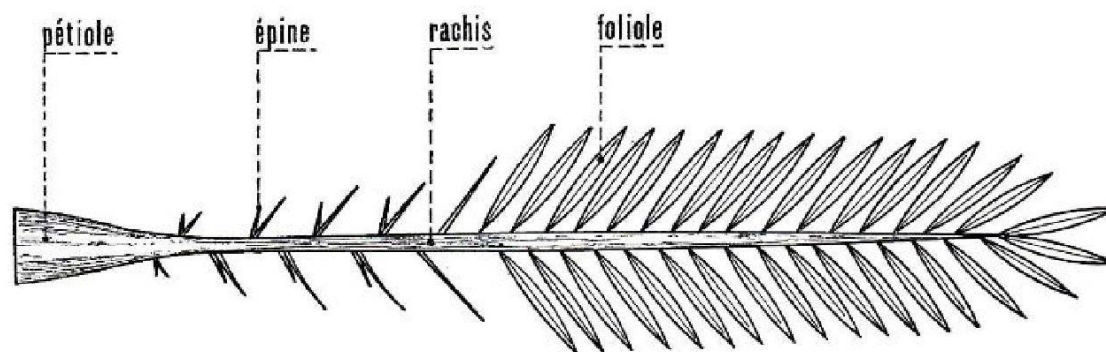


Figure I.2 Schéma d'une palme de palmier dattier [33].

I.3.4. Le grappe

La grappe, appelée régime de dattes, est la partie qui supporte les fruits du palmier. On parle aussi de régime pour les bananes. Il est accroché au palmier par la hampe, qui est d'ailleurs tellement résistante qu'elle doit être sciée pour être décrochée. Il peut contenir plus de 1000 fruits [33].

I.4. Répartition géographique du palmier dattier

I.4.1. Dans le monde

Le palmier dattier est cultivé actuellement dans plusieurs pays du monde et son aire de culture s'étale dans l'hémisphère Nord entre les parallèles 9° (Cameroun) et 39° (Elche en Espagne), où il bénéficie d'une situation particulière lui permettant de murir ses fruits [34]. Les zones les plus favorables sont comprises entre le 24° et 34° de latitude Nord (Maroc, Algérie, Tunis, Egypte, Irak,...etc.). Aux Etats-Unis la culture s'étend du 33° aux 35 parallèles [31].

I.4.2. Dans l'Algérie

Le palmier dattier est cultivé dans les régions sahariennes du pays : Ziban (Biskra), Le Souf (El-Oued), Oued-Righ (M'Ghair, Touggourt...), Ouargla, M'Zab (Ghardaïa), Touat (Adrar), Gourrara (Timimoun), Tidikelt (In-Salah), Saoura (Béchar), Hoggar-Tassili (Tamanrasset, Djinet)[35]. On trouve également de petites palmeraies dans le sud des Wilayas steppiques (Tébessa, Khenchella, Batna, Djelfa, Laghouat, M'Sila, Naâma, El-Bayedh) .

Du point de vue quantitatif la production Algérienne représente un peu plus de 10% de la production mondiale. Mais de point du vue qualitatif, elle occupe le premier rang grâce à la variété DegletNour qui est considéré comme la meilleure variété de datte [34].

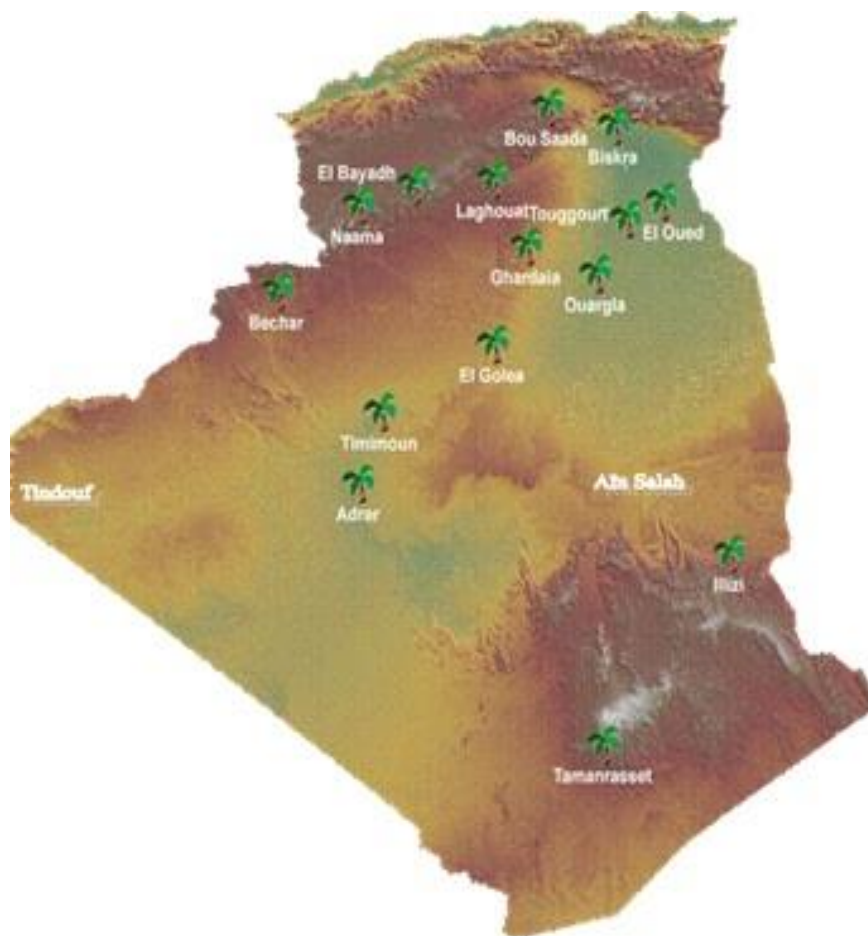


Figure I.4 Localisation des oasis dans le Sahara algérien [36].

I.4.3. Variétés de palmier dattier en Algérie

Selon la littérature on peut distinguer plusieurs variétés de palmier dattier dont les plus répandues sont : Deglet Nour, El Ghers, Mech Degla, Degla Baida. Les autres variétés sont présentées dans le tableau (I.2) [33].

Varieties	Nombre palmier dattier	Localisation
ElGhers	2.500.000	OudRigh, Zibens, Ouedsouf, Ouargla, M'zeb, ElGolia, Biskra (Tolga)
DegletNour	1.500.000	OudRigh, Zibens, Ouedsouf, Ouargla, M'zeb, ElGolia, Biskra (Tolga)
Mechdegl	1.500.000	OudRigh, Zibens, Ouedsouf, Ouargla, Biskra (Tolga)
Tilemson	500.000	Touat, ElBoléa, Gourara, Tidikelt
Tin-Nacer	400.000	Touat, ElGolia, Tidikelt
DeglaBeida	300.000	OudRigh, Zibens, Ouedsouf
Tazerait	100.000	M'zeb, Tidikelt, Saoura
Tegaza	70.000	Touat, Tidikelt, ElGolia, Hoggar
Temjouhart	50.000	ElGolia, Gourara, M'zeb
Takerbouch	42.000	Tidikelt, Touat
Tafzouine	35.000	M'zeb, Ouedsouf, OudRigh
Tantebouch	10.000	OudRigh, Ouargla, Tidikelt
Timedouel	8.000	M'zeb, ElGolia

Tableau I.2 Différentes variétés de palmier dattier en Algérie [37].

La région de Tolga (Biskra) connue comme l'une des régions à potentiel phoenicicoles très important à l'échelle mondiale, surtout par la variété DegletNour [38].

I.5. Sous-produits de palmier dattier

I.5.1. Sous-produits de palmier dattier et leurs applications

Le palmier dattier est une source importante des autres sous-produits exploités par la production saharienne, hors de sa production de dattes pour l'alimentation humaine, tel que [39,40].

Par fermentation microbiologiques des dates communes, on trouve le vinaigre, l'alcool et les levures :

- ❖ Farine de dattes utilisées dans la panification,
- ❖ Par extraction il existe le jus de dattes, utilisé comme sucrerie,
- ❖ Tronc d'arbre, exploité classiquement dans la menuiserie, bois de chauffage et charpentes de bâtiments, Pour les clôtures, brises vent, dans la confection de couffins et de chapeau, les palmes sèches sont employées, celles-ci peuvent même servir en industrie de papier,
- ❖ Les régimes de dattes, comme balais traditionnels ou comme bois de chauffage.
- ❖ Le Life pour la fabrication des semelles de sandales,
- ❖ Boisson demandée certainement par la population locale, le lagmi, c'est la sève qui circule dans le stipe.

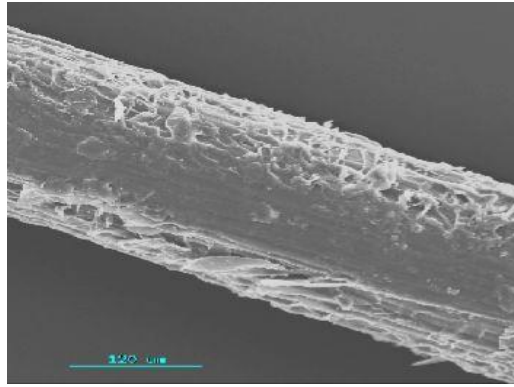
I.5.2. Estimation du tonnage du palmier dattier et de leurs sous-produits

Nous comptons plus de 100 millions de palmiers dattiers dans le monde selon [41, 38,42]. Chaque année, les palmes sont enlevées sèches et fraîches. Leur estimation annuelle est de l'ordre de 1 130 000 tonnes de palmes découpées. En Algérie, il existe plus de 10 millions arbres de palmier dattier [43], [38] et [33], avec plus de 800 variétés de dattes [41]. La partie consommable des palmes sèches est évaluée environ de 135 103 tonnes de palmes sèches / an, on estime aussi que les pédicelles de dattes est environ de 5 103 tonnes de pédicelles / an, avec 67500 tonnes de déchets de dattes [39] et [42].

I.6. Fibres de bois palmier dattier

Le palmier dattier a une structure fibreuse, possédant quatre types de fibres [44]:

- ❖ Fibres de bois de tronc.
- ❖ Fibre de feuille sa niveau des pédoncules.
- ❖ Fibres de tige au niveau des tiges des pédoncules et du support dattier (grappe).
- ❖ Fibres de surface autour de son tronc ou de bases de palmes (pétiole)
- ❖ Fibres de life (entre le Kornef et le tronc : bourre fibreuse appelée life).



La figure I.5 : **Présente une micrographie de la fibre de palmier dattier** [45].

A l'échelle microscopique, la fibre de palmier dattier se compose d'une couche externe appelée mur primaire, ce mur encercle une autre couche, qui est le mur secondaire. Le mur secondaire est constitué de trois couches, ces dernières relient le mur secondaire au lumen. Chaque mur se compose de micros fibrilles cristallines à base de cellulose réunies entre elles par la lignine et l'hémicellulose qui sont amorphes.

L'angle entre l'axe de fibre et les micros fibrilles s'appelle l'angle micro fibrillaire ou l'angle spiral, qui conditionne la rigidité de la fibre. Si les micros fibrilles sont orientées en spirale à l'axe de fibre, ce dernier est plus malléable. En revanche, si les micros fibrilles sont parallèles à l'axe de la fibre, les fibres sont rigide, inflexible, et ont une résistance à la traction élevée [46].

I.7. Propriétés physiques et mécaniques des fibres de palmier dattier

I.7.1. Propriétés physique

Les propriétés physiques des fibres naturelles sont essentielles pour déterminer leur adéquation aux différentes applications industrielles ainsi qu'aux composites de fibres naturelles. La longueur, le diamètre et la densité de la fibre ainsi que le rapport d'aspect (L/D), la conductivité thermique, le coût et la disponibilité sont considérés comme des critères et des propriétés clés qui peuvent déterminer l'utilisation potentielle de tout type de fibre naturelle dans différentes applications industrielles. La fibre de palmier dattier peut être considérée comme l'un des types naturels les plus disponibles par rapport à d'autres fibres naturelles utilisées dans les composites polymères pour l'industrie automobile [47].

Property	Petiole	Rachis	Thorns	Leaflets	Bunch	Pedicels	Spathe	Fibrillum
Bulk density (kg/m ³)	160 ± 54	635 ± 22.8	431 ± 39.8	411 ± 41.4	555 ± 11.8	425 ± 23.6	328 ± 42.4	209 ± 31.7
Absolute density (kg/m ³)	866 ± 20.5	751 ± 10.2	716 ± 22.2	830 ± 23.6	826 ± 13.7	749 ± 25.6	897 ± 10.4	786 ± 23.6
Water absorption (% by mass)	146.32 ± 21	36.88 ± 10	83.85 ± 3.1	96.6 ± 1.4	63.2 ± 5	73.78 ± 3	130.83 ± 2	115.11 ± 15
Porosity (%)	81.52	15.44	39.80	50.6	32.8	43.25	63.43	73.41

Tableau I.3 Propriétés physiques des fibres de palmier dattier [48].

I.7.2. Propriétés mécaniques

Les propriétés mécaniques des fibres naturelles peuvent être fortement affectées et déterminées par plusieurs variables importantes telles que la structure, l'angle micro fibrillaire, la composition chimique, les dimensions des cellules et les défauts. Les angles micro fibrillaires sont responsables des propriétés mécaniques des fibres. Plus l'angle est élevé, plus la rigidité des fibres est élevée, tandis que les angles plus grands fournissent généralement une ductilité plus élevée.

En général, les fibres naturelles avec une résistance mécanique plus élevée possèdent une teneur en cellulose plus élevée, une longueur de cellule plus longue, un degré plus élevé de polymérisation de la cellulose et un angle de microfibre inférieur.

Les propriétés mécaniques importantes telles que la résistance à la traction et le module de Young augmentent habituellement à mesure que la teneur en cellulose et la longueur de la cellule augmentent. Les propriétés mécaniques de la fibre de palmier dattier et d'autres types de fibres naturelles sont indiquées dans le tableau I.4 [47].

Les propriétés mécaniques moyennes [49].

Sur plusieurs fibres de palmier dattier (30 essais) sont présentées dans le tableau I.4.

Properties	Diameter (μm)	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Elongation at break (%)
Jute	25–200	393–773	13–26.5	1.16–1.5
Flax	10–40	600–2,000	12–85	1–4
Sisal	50–200	468–640	9.4–22.0	3–7
Coir	100–450	131–175	4–6	15–40
Raw date palm fiber	100–1,000	58–203	2–7.5	5–10

Tableau I.4 Propriétés mécaniques des fibres de palmier dattier et d'autres fibres naturelles [47]

Diameter (μm)	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	Elongation to break (%)
100–1,000	170–275	5–12	5–10

Tableau I. 5 Valeurs moyennes des propriétés mécaniques des fibres de palmiers dattier [49]

Les valeurs typiques pour la résistance à la traction des fibres de palmier dattier brut étaient entre 170-275 MPa, où les valeurs pour le module de Young étaient comprises entre 5-12 GPa. L'allongement à la rupture était de 5 à 10%. [49] ont reportés que la résistance à la traction des fibres de palmier dattier est comparable à celle des autres fibres naturelles, part contre le module de Young est inférieur à celui de toutes les autres fibres naturelles, à l'exception de celui de la fibre de coco, qui présente un plus faible module. Il convient de mentionner que ces valeurs (résistance à la traction et de module de Young) sont sensibles à de nombreux paramètres, y compris les espèces et la variété de la plante, les variables agricoles telles que la qualité du sol, les conditions météorologiques, le niveau de maturité de la plante et la qualité de la plante. En outre, les fibres de palmier dattier ont un diamètre relativement important qui varie selon leur longueur. Les valeurs typiques pour le diamètre de fibres de palmier est de 100-1,000 μm , qui est plus élevé que celles pour d'autres fibres [49]. Les valeurs moyennes de la résistance à la traction, de l'allongement à la rupture et du module d'élasticité pour les huit échantillons de fibres de palmier dattier [48]. Sont résumés dans le tableau I.6. Les résultats montrent que les propriétés mécaniques des huit résidus de palmiers dattiers diffèrent légèrement. La valeur la plus élevée de la résistance à la traction et du module de Young est celle de Rachis et cela peut être dû à ses propriétés chimiques et physiques (Teneur de porosité). Relativement élevée en cellulose et moindre taux

Property	Petiole	Rachis	Thorns	Leaflets	Bunch	Pedicels	Spathe	Fibrillum
Diameter (mm)	0.40–1.00	0.60–0.75	0.70–0.73	0.35–0.90	0.30–0.50	0.63–0.77	0.43–0.51	0.50–0.80
Tensile strength (MPa)	90 \pm 8.87	213 \pm 58	95.35 \pm 48	100.12 \pm 43.87	113.95 \pm 54	86 \pm 5.00	120.5 \pm 12.5	90 \pm 30.70
Elongation (%)	0.95 \pm 0.42	4.38 \pm 1.96	3.67 \pm 1.14	2.68 \pm 0.49	3.37 \pm 1.39	2.37 \pm 0.15	2.41 \pm 0.05	4.59 \pm 0.90
Young's modulus (GPa)	7.00 \pm 2.00	8.50 \pm 2.33	3.87 \pm 2.13	4.00 \pm 1.33	4.33 \pm 2.67	3.00 \pm 1.00	5.00 \pm 1.00	3.66 \pm 2.33

Tableau I. 6 Propriétés mécaniques des huit types de fibres de palmier dattier [48]

La résistance à la traction et les valeurs de module de Young des fibres de fibrillium obtenues dans le travail [48]. sont comparables à celles rapportées dans la littérature, mais celles du pétiole obtenues dans ce travail sont significativement plus élevées que celles de la littérature. Cette différence peut être attribuée à plusieurs facteurs tels que les différentes sources de fibres, les différentes conditions de test, les défauts (fissures) de la fibre de cellulose et le mécanisme de rupture de la fibre.

Ce pourrait être aussi la raison de la grande dispersion des résultats des essais mécaniques, même dans des conditions de laboratoire soigneusement contrôlées. On notera également que tous les échantillons, à l'exception des pétioles, ont un allongement important à la rupture. Cela pourrait avoir une relation avec le contenu élevé de la lignine qui caractérise le bois de palmier dattier, la lignine étant la composante chimique responsable du comportement tenace et élastique de la fibre; Néanmoins, le bois des palmes de palmier se situent parmi les fibres naturelles qui ont des propriétés mécaniques faibles [48].

La figure I.6 montre que les valeurs de module de Young de feuilles de palmier dattiers sont proches de celles des fibres de coco et sont considérablement inférieures à celles de la plupart des fibres végétales. Cela s'explique par la structure physique des fibres naturelles telles que la structure cristalline, le degré de cristallinité, l'angle en spirale des fibres, le degré de polymérisation, le contenu de la porosité et la taille du lumen en plus la composition chimique.

Cependant, lorsque le module spécifique (module de Young/masse volumique apparente) est considéré, les fibres de palme de palmier dattiers indiquent des valeurs comparables ou supérieures à celles d'autres fibres naturelles, comme le montre la figure I.7. Ces propriétés spécifiques supérieures constituent l'un des principaux avantages de l'utilisation de composites avec des fibres de dattes dans les applications qui exigent en même temps une résistance élevée et une légèreté.

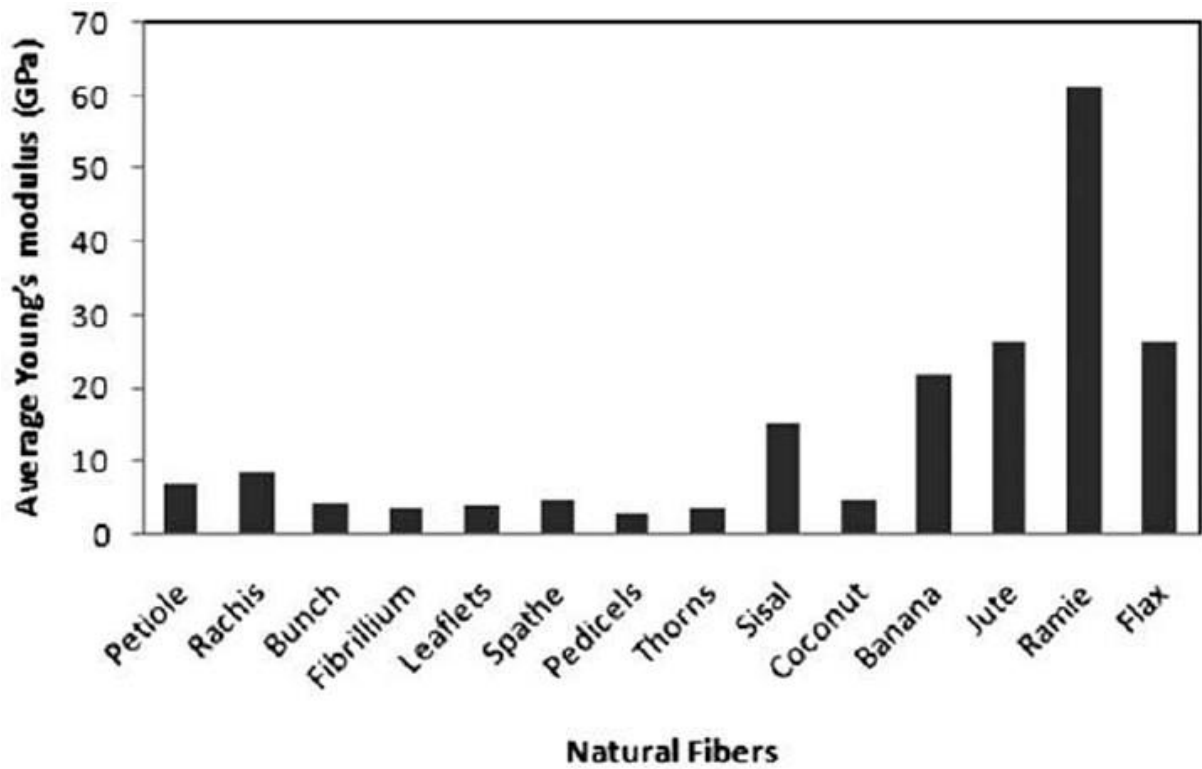


Figure I. 6 Comparaison des valeurs moyennes de module de Young des fibres de palmier dattier [48].

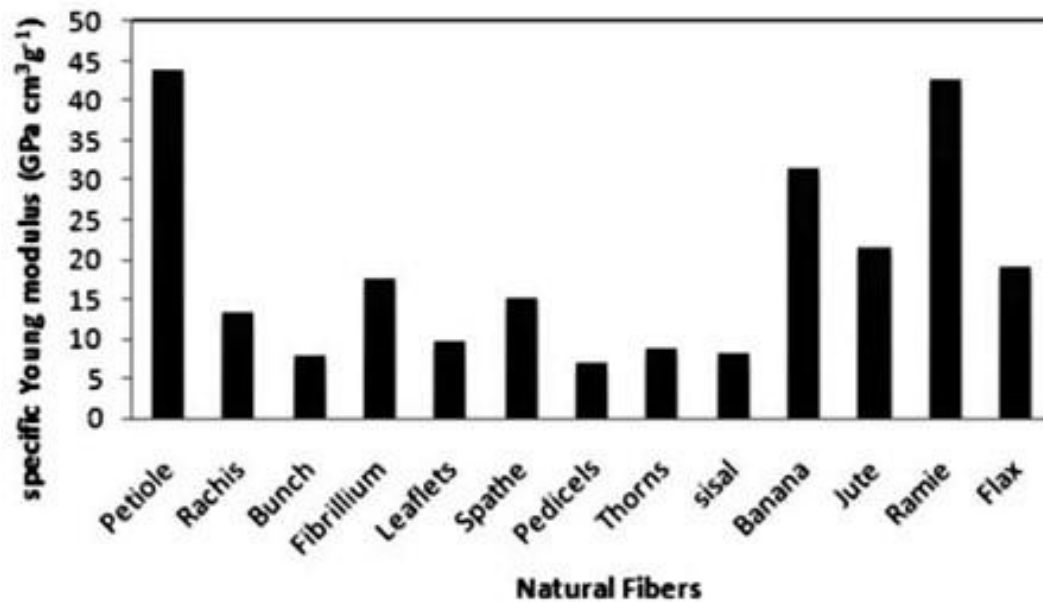


Figure I.7 Module de Young spécifique de fibres de palmiers dattier [48]

I.8. Synthèse des travaux réalisés sur le bois du palmier dattier

Les déchets de palmier dattier a déjà fait l'objet de nombreuses études permettant de déterminer ses propriétés mécaniques, thermiques et leur structure physico-chimique. Les travaux exploitent la possibilité de l'incorporation de ces déchets dans des différentes matrices afin d'obtenir des bio-composites adaptés aux applications de construction et de l'isolation favorable à l'environnement. La majorité de ces travaux ont porté sur la caractérisation mécanique.

H.H. Abdel-Rahman et al [50] ont déterminé expérimentalement les propriétés mécaniques des tiges de palmes de palmier dattier (rachis). Les résultats des essais montrent que la résistance à la traction de la paroi de tige est comprise entre 116 à 208 N/mm², alors que les propriétés de cœur de rachis est proche de la moitié de ces valeurs. Le module d'élasticité des tiges se situe entre 10 à 30 KN/mm².

D'après **Ahmad Alawaret al [51]** les propriétés mécaniques des fibres de surface du tronc de palmier dattier, avant et après le traitement chimique de NaOH pour différentes concentrations. (Figure. I.8) procure les résultats suivants :

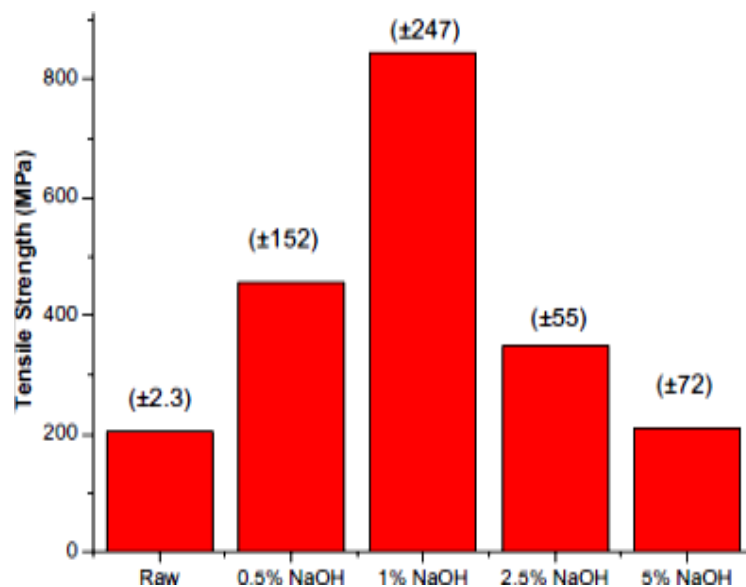


Figure I.8 Effet NaOH à la propriété mécanique de fibre de surface du tronc de Palmier dattier [51].

Ils ont observé que l'application du traitement chimique, provoque l'augmentation de la résistance à la traction du palmier dattier. Pour un taux de 01% NaOH, la résistance atteint son maximum, cette résistance diminue lorsque la concentration de NaOH augmente. Les résultats obtenus des propriétés mécaniques de quatre types de fibres de surface de palmier dattier sont présentés dans le tableau (I.6) [52].

Varieties	Sec			Humide		
	Résistance traction (MPa)	Allong (%)	Module d'élast (GPa)	Résistance à la traction (MPa)	Allong(%)	Module d'élast (GPa)
Dokar	290±20	11±2	5,2±3	300±2	12±2	3,55±2
El-Ghers	88,75±20	11,1±2,5	3,5±1,2	90,1±18	12±3	3,1±1,5
Deglet-nour	72,34±18	8,7±2,2	3,15±1,5	74,34±1,5	9,5±2,5	2,3±2
Degla-bidha	71,15±16	7,5±2,3	2,5±1	73,19±13	8,5±2,7	2,1±1

Tableau I.6 Propriétés mécanique des fibres de la surface du palmier dattier en Algérie [53].

Le tableau (I.6) montre que les fibres de Dokhar sont les plus résistantes et qui présentent plus d'allongement. De plus, l'humidité est en étroite corrélation positive avec la résistance et l'allongement à la rupture des fibres. Cependant, les fibres à l'état sec ont un module d'élasticité un peu plus élevé que celui de l'état humide.

Le Dokhar renferme des fibres de surface très poreuses ce qui permet l'absorption de plus d'eau et ou sa porosité moyenne a été estimée d'environ 35% [50]. D'autre part, selon les auteurs [49], le traitement thermique de plus de 260°C (Analyse Thermogravimétrique TGA) appliqué montre que les fibres de surface de palmier dattier traitées par de la soude (NaOH) ont une meilleure résistance vis-à-vis à la dégradation thermique.

Chapitre II

Protocole

Expérimentale

II .1. Introduction

Les composites renforcés de fibres végétales attirent une attention de plus en plus grande en raison de leur faible coût, leur densité peu élevée, leur biodégradabilité et leur disponibilité, leur facilité de mise en œuvre, leur haut module spécifique et leur capacité à être recyclé. Ces avantages présentent de l'intérêt pour des applications dans divers domaines domestique et industriel, qui exigent des matériaux légers, des possibilités de recyclage, le minimum d'impact sur l'environnement et une réduction du coût de la matière.

II.2. matérielle et méthode

II .2.1 Matériau utilisé

Le matériau composite est obtenu à partir des déchets naturels de palmier dattier **branchât** de Deglet-Nour.



Figure II.1 **branchât Palmier dattier**

II.2.2 Préparation du renfort

Le renfort végétal choisi dans cette étude est obtenu à partir de la fibre du branchât de palmier dattier de type Deglet-Nour qui est en abondance dans notre région.

Il sont utilisés sous forme de fibre courte, le broyage des fibres du branchât ont été après le nettoyage et lavées à l'eau distillée.

Pour obtenir un renfort sous forme courte, nous avons utilisé une moulinette domestique de type BZN pour broyer de branchât de palmier dattier, illustrée sur la (FigureII.2.) suivant



Figure II.2 Moulinette à broyer



FigureII.3 Fibres les tiges broyées

Pour déterminer la granulométrie de la fibre nous avons utilisés L'appareil de tamisage (Figure II.4). Elle est composée de plusieurs tamis à différentes ouvertures permettant d'obtenir des différents diamètres, la longueur des fibres mesurées était inférieure à 07 mm



Figure II.4 l'appareil de tamisage

II .2.3. La Balance électronique

Les spécimens ont été pesés avec une balance électronique dotée d'une précision de 10^{-3} g disponible au niveau des ateliers du hall technologique de département de génie mécanique de l'université de Biskra comme montré dans la (figure II.5).

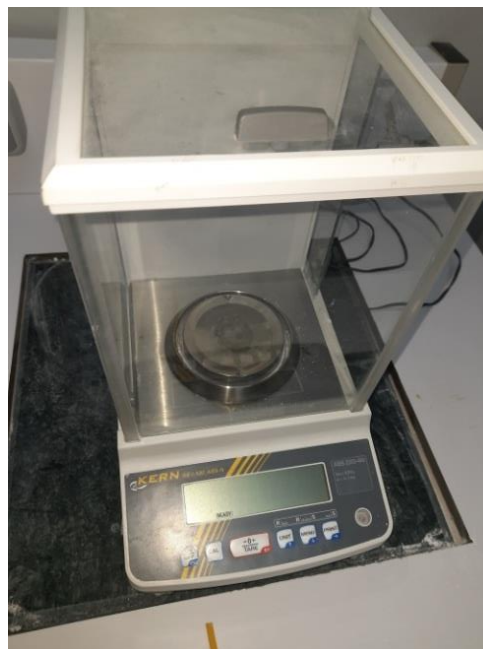


Figure II.5 Balance électronique

II.2.4. Pied à Coulisse numérique

Le pied à coulisse est un outil spécifique conçu pour mesurer les cotes d'une pièce. Il peut être aussi appelé calibre à coulisse. En réalité, cet instrument de mesure de précision est utilisé dans plusieurs domaines à résolution : 1/100, R&R $\pm 0,012$. On atelier du hall technologique de département de génie mécanique de l'université de Biskra comme montré dans la (figure II.6).



FigureII.6 Pied à Coulisse numérique

II.2.5. Méthode de diffraction des rayons X (DRX)

La diffraction des rayons X (DRX) est utilisée pour l'identification des phases d'un matériau cristallin. Cette méthode n'est applicable qu'à des matériaux composés d'un nombre relativement important de cristaux aux orientations non préférentielles (céramiques, roches, monocristaux et chaînes de polymères).

Cette étude a été faite dans une machine de type D8 ADVANCE du laboratoire des rayons X de la faculté des sciences et de la Technologie de l'université de Biskra. (Figure. II.7). Dans notre cas, l'analyse par DRX a été réalisées sous vide à l'aide d'un système de diffractométrie X'Pert Pro (diffraction des rayons X sur poudre) avec une intensité monochromatique du rayonnement Cu $K\alpha$ de la longueur d'onde de 0,154 nm enregistrée entre $2\theta=10^\circ$ à 80° . La longueur de l'échantillon utilisé était de 35 mm exposé à la température ambiante. Le matériau de l'anode utilisé est le Cu et les réglages du générateur sont 40 mA et 40 Kv.

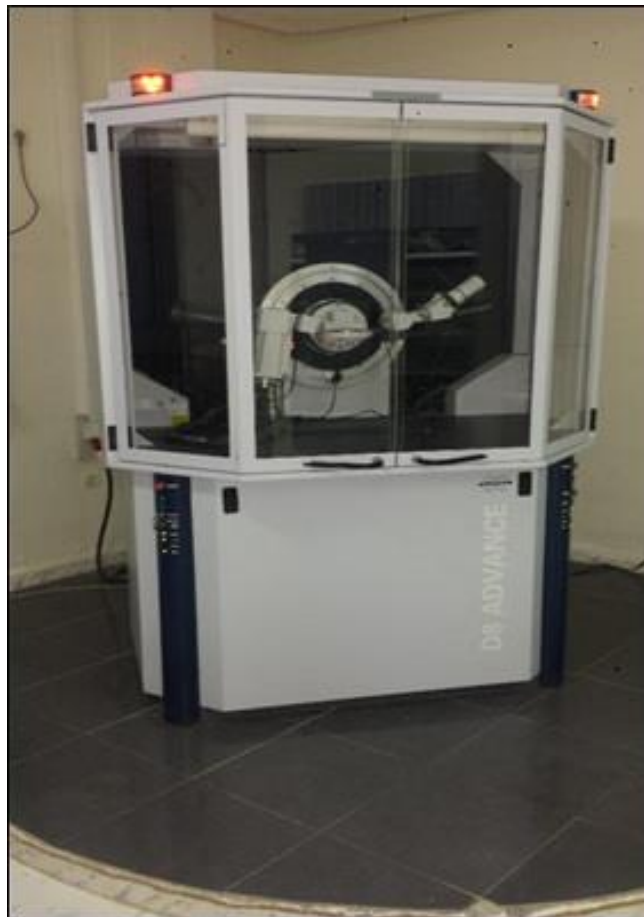


Figure II.7 Photographie de l'appareil de rayons X

II.2.6. Machine des essais de traction

Pour effectuer les essais mécaniques de traction on utilise la machine de traction dotée d'une cellule de 10 KN. La déformation est mesurée avec un extensomètre à pince et le logiciel de commande et d'acquisition de données de la machine permet la réalisation des séquences de chargement complexes. Cette machine est disponible au niveau du laboratoire de RDM du département de génie mécanique de l'université de Biskra.



Figure II.8 Machine de traction

II.3. Préparation des éprouvettes de traction

Des essais de traction sur les tiges de dattiers ont donnés des résistances supérieures à 100 Newton pour un diamètre $d = 03$ mm. $L=100$ mm comme le (Figure II.9).



Figure II.9 essais de traction sur les tiges de dattiers

II.3.1 Des éprouvettes avant que de traction

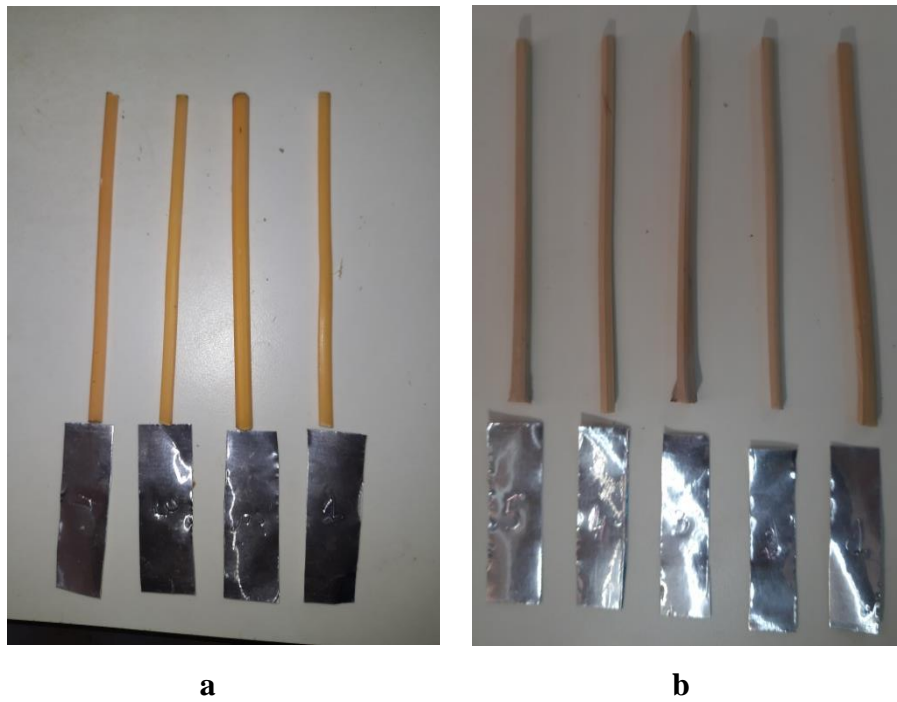


Figure II .10 a et b essais les tiges de dattier avant que de traction

II.3.2 Des éprouvettes après de traction



Figure II .11 a et b essais les tiges de dattier après de traction

Chapitre III

Résultats et discussion

III.1 Résultats et discussion

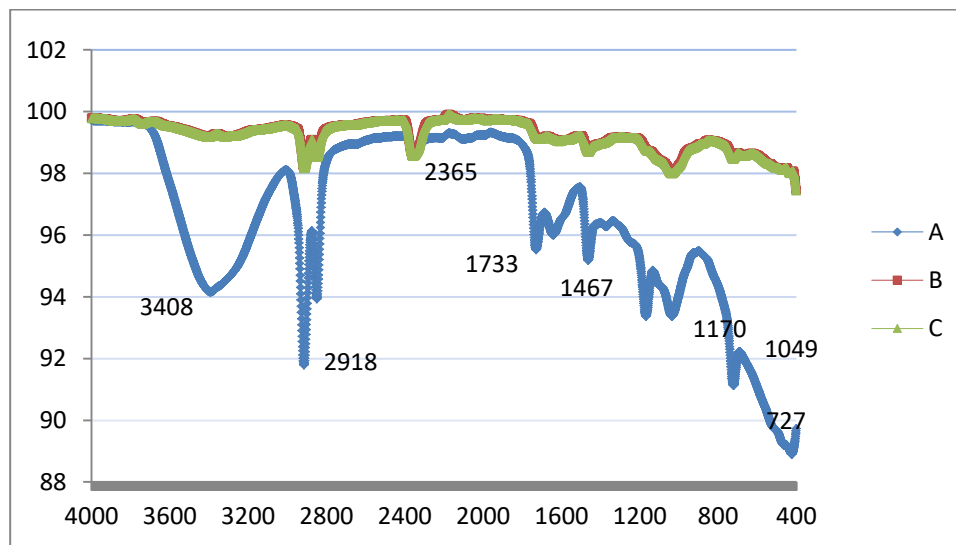


Figure III.1 La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) de palmier

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FTIR) est un outil utile pour déterminer l'interaction des produits chimiques et peut donner une indication rapide et qualitative sur le changement de la structure chimique des composites de bois de palmier. Elle est réalisée pour confirmer l'élimination des matériaux non cellulose, en plus de l'identification des groupes fonctionnels (Beroual, 2020)

Les résultats des spectres de transformation de Fourier - Infrarouge (FT-IR) des échantillons sont présentés à la Fig. 3. La figure indique qu'il y a une forte large à 3408 cm^{-1} qui peut être identifiée comme les caractéristiques du spectre (FTIR) de le groupe d'étirement (-OH) sur la chaîne cellulosique. Par rapport à l'étude de (Alotabi, 2020).

On peut voir que, d'une part, il existe un pic d'étirement moyen à 2918 cm^{-1} qui pourraient être dus à la présence de la fonction Alcane (C-H), il existe des pics d'étirement moyens à 1733 et 1467 cm^{-1} qui pourraient être dus à la présence de la fonction Alcane (C-H). d'autre part, une forte largeur à 1170 cm^{-1} peut être attribuée au groupe (C=O) et à la vibration d'étirement du groupe ester dans l'hémicellulose (Bezazi, 2014). Pic de flexion variable à 1049 cm^{-1} dû aux groupes fonctionnels alcène (C = C) et alcane (-C-H) conjugués dans la lignine, respectivement (Amroun, 2015).

Une fonction alcool primaire (CO) est obtenue à 727 cm^{-1} . Des résultats similaires ont été obtenus dans la littérature.

III.2. Essai mécanique

Pour effectuer les essais mécaniques nous avons préparés quatre éprouvettes de bois humide et sèche de branchât du palmier dattier pour l'essai de traction dans le sens ou la direction longitudinale ont été testées pour le calcul des propriétés mécaniques. Ces propriétés ont été calculées le module de Young est le tableau III.1 suivant représente les dimensions des différents échantillons soit humide ou sèche.

Eprouvette Humide n°	E1	E2	E3	E4
Diamètre D (mm)	4.10	3.40	2.80	2.50
Longueur L (mm)	100	100	100	100
Eprouvette sèche n°	M1	M2	M3	M4
Diamètre D (mm)	3.80	3.20	3.80	2.90
Longueur L (mm)	100	100	100	100

La première caractérisation concerne la détermination du comportement mécanique des différents l'état de bois soit sec au humide de branchât du palmier dattier en essais de traction.

L'essai de traction du bois de branchât du palmier dattier est réalisé sur des éprouvettes sec et humide

La courbe sur la figure (III.2) suivant donne la courbe type de contrainte-déformation de traction des éprouvettes humide (E1).

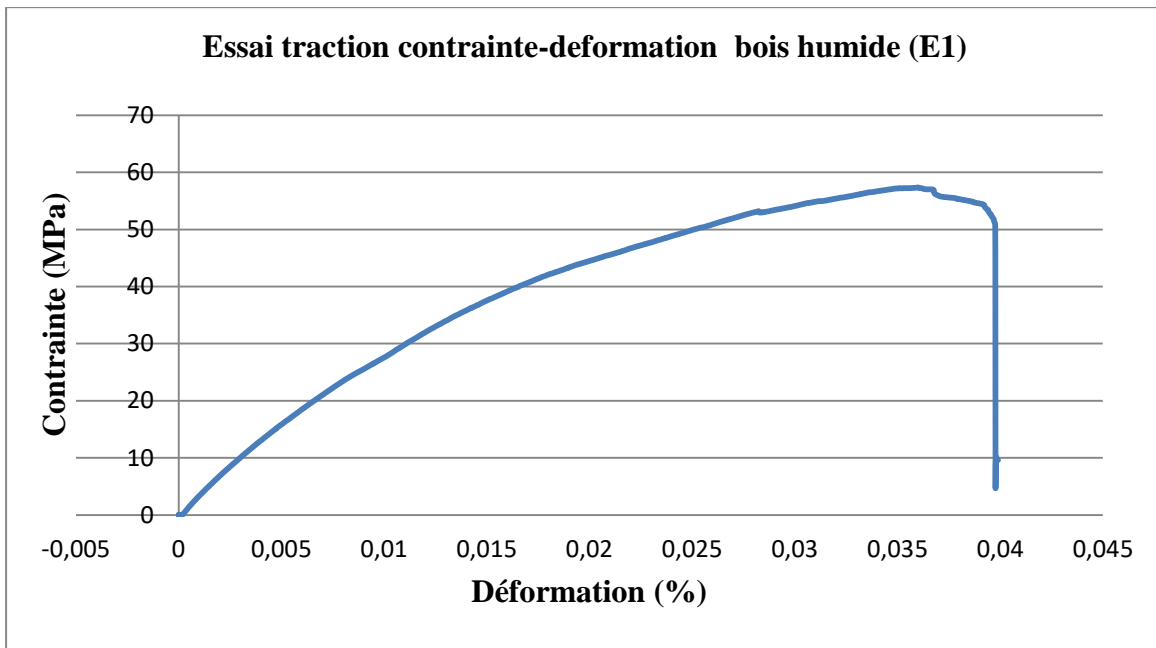


Figure III. 2 La courbe de comportement de bois de branchât du palmier dattier en traction.

III.2.1 Calcul du module d'Young de traction E

Calcul du module d'Young de traction E Nous obtenons la valeur du module d'Young de traction à partir de graphe III. 3, en considérant la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation sans dépassé une déformation de 0.002%.

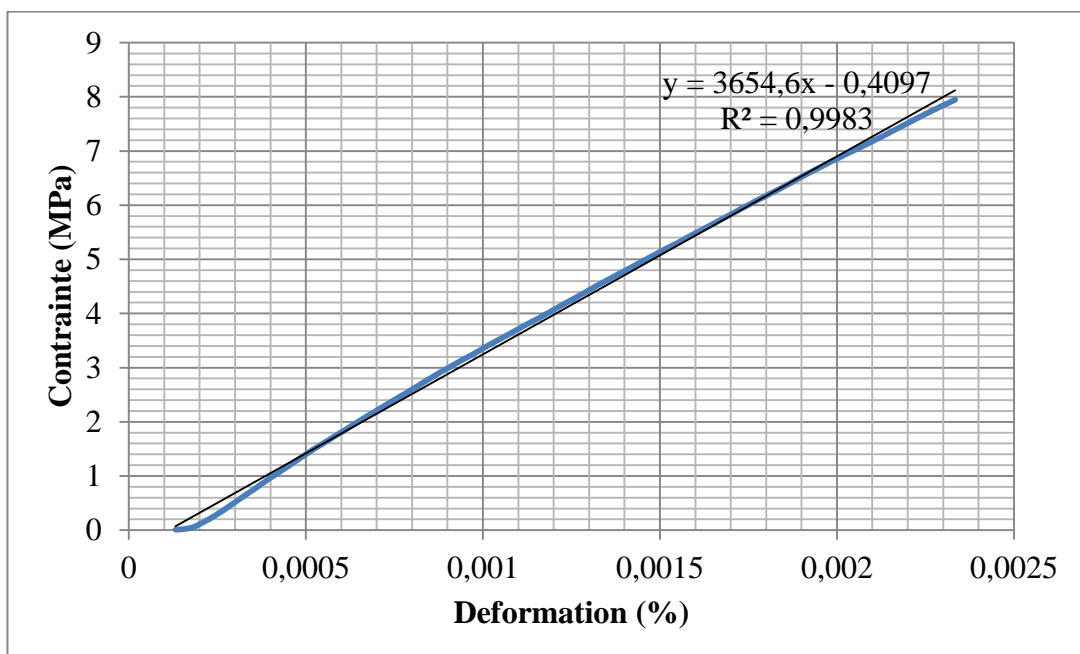


Figure III. 3 la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation de bois sèche (0.002% de déformation)

A partir de ce graphe la valeur du module de Young est donc :

$$E = 3.6 \text{ GPa}$$

III.2.2 Détermination de la contrainte max σ_{max} et de la déformation max ϵ_{max}

Et la détermination de la contrainte max σ_{max} et de la déformation max ϵ_{max} Nous obtenons les valeurs de σ_{max} et ϵ_{max} à partir du graphe de la figure III.4, le point de changement du comportement représente le point max, donc :

$$\sigma_{max} = 58 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{max} = 0,035$$

La courbe sur la figure (III. 4) suivant donne la courbe type de contrainte-déformation de traction des éprouvettes humide (E2).

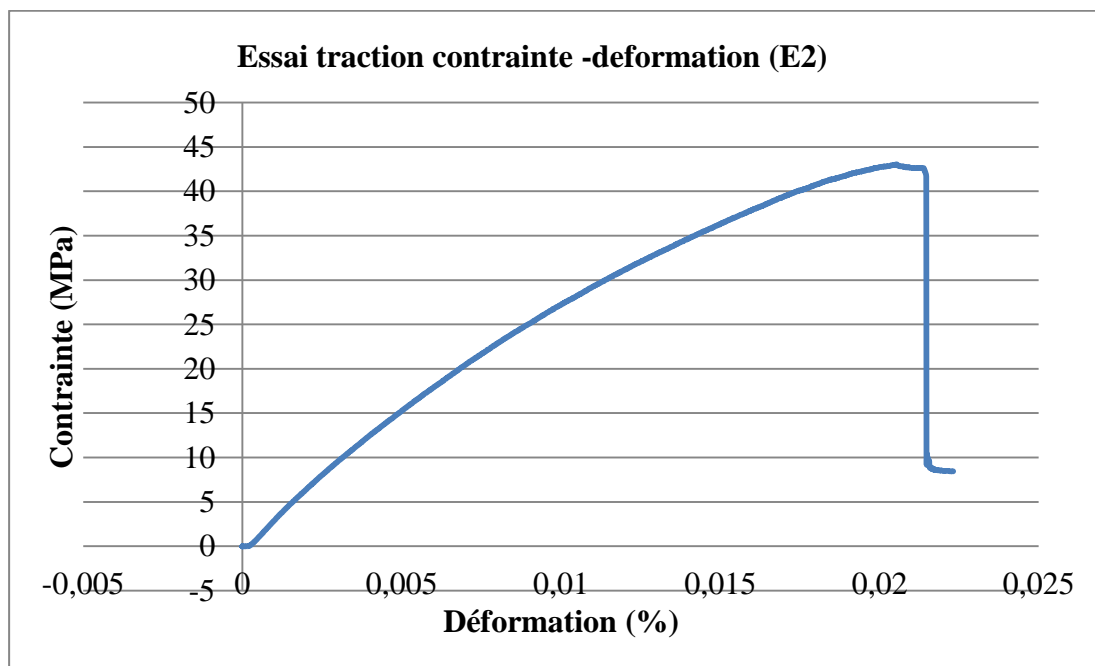


Figure III. 4 La courbe de comportement de bois de branchette du palmier dattier en traction.

Nous déterminons la valeur du module d'Young à partir du graphe suivant, la valeur du module d'Young correspond à la pente de la partie linéaire de la courbe.

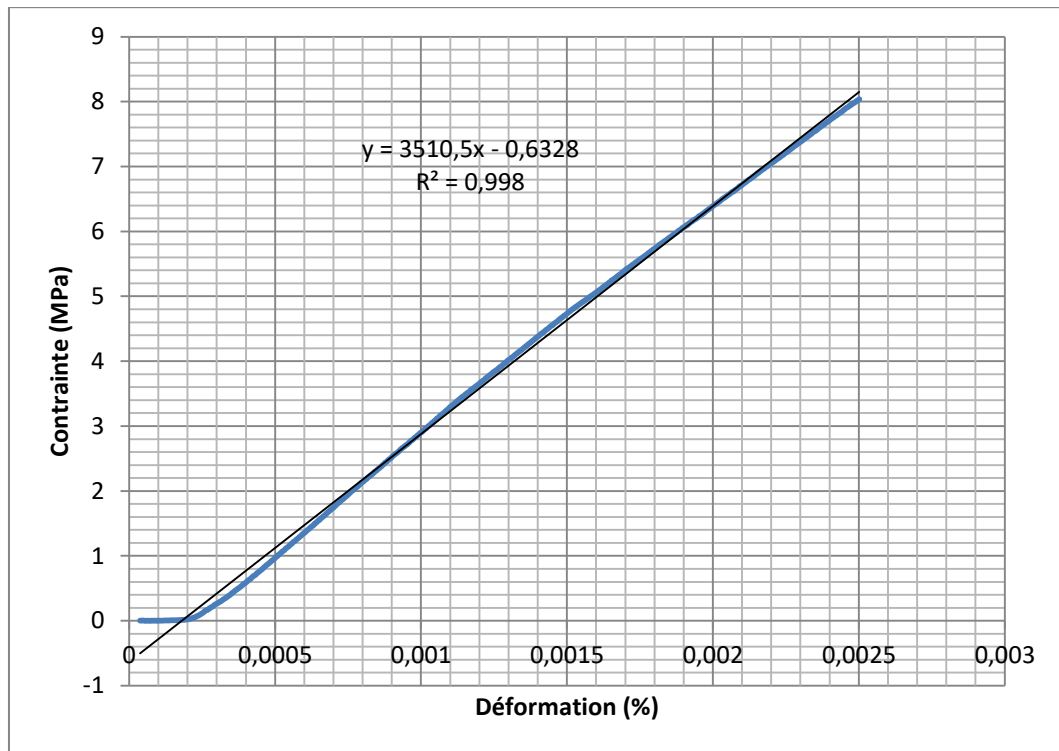


Figure III. 5 la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation de bois sèche (0.002% de déformation)

A partir de ce graphe la valeur du module de Young est donc :

$$E = 3.5 \text{ GPa}$$

III.3 Détermination de la contrainte max σ_{max} et de la déformation max ϵ_{max}

Nous déterminons les valeurs de contrainte maximal et déformation maximale σ_{max} et ϵ_{max} à partir les graphes figure III.4, ces points se présentent comme suit :

$$\sigma_{max} = 43 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{max} = 0,020$$

La courbe sur la figure (III. 6) suivant représente l'essai de traction de contrainte-déformation sur éprouvette humide (E3).

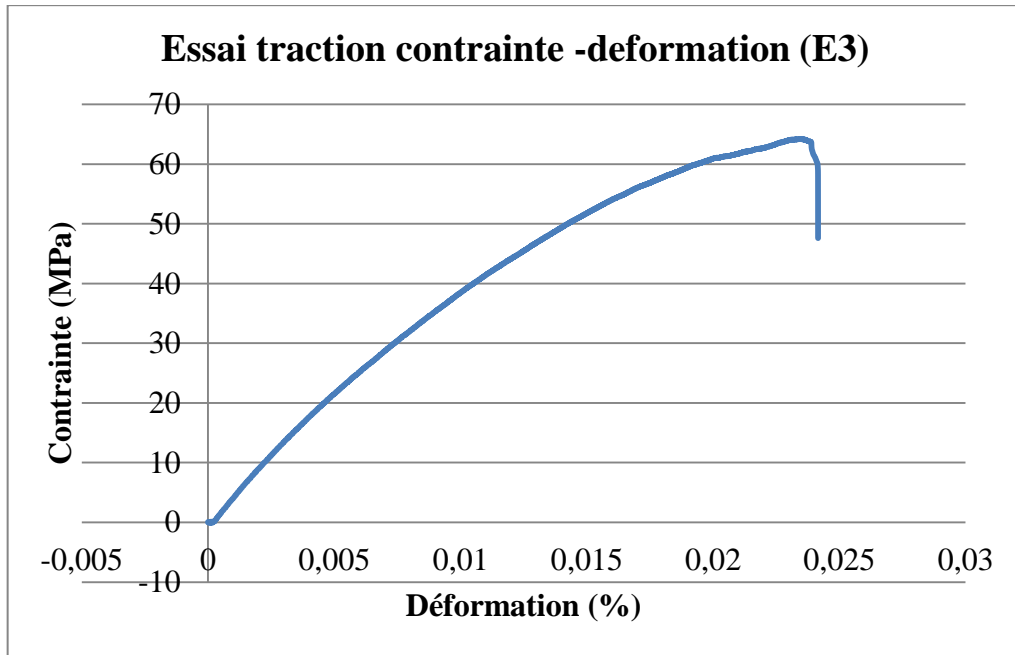


Figure III. 6 La courbe de comportement de bois de branchette du palmier dattier en traction.

Nous déterminons la valeur du module d'Young à partir du graphe suivant, la valeur du module d'Young correspond à la pente de la partie linéaire de la courbe.

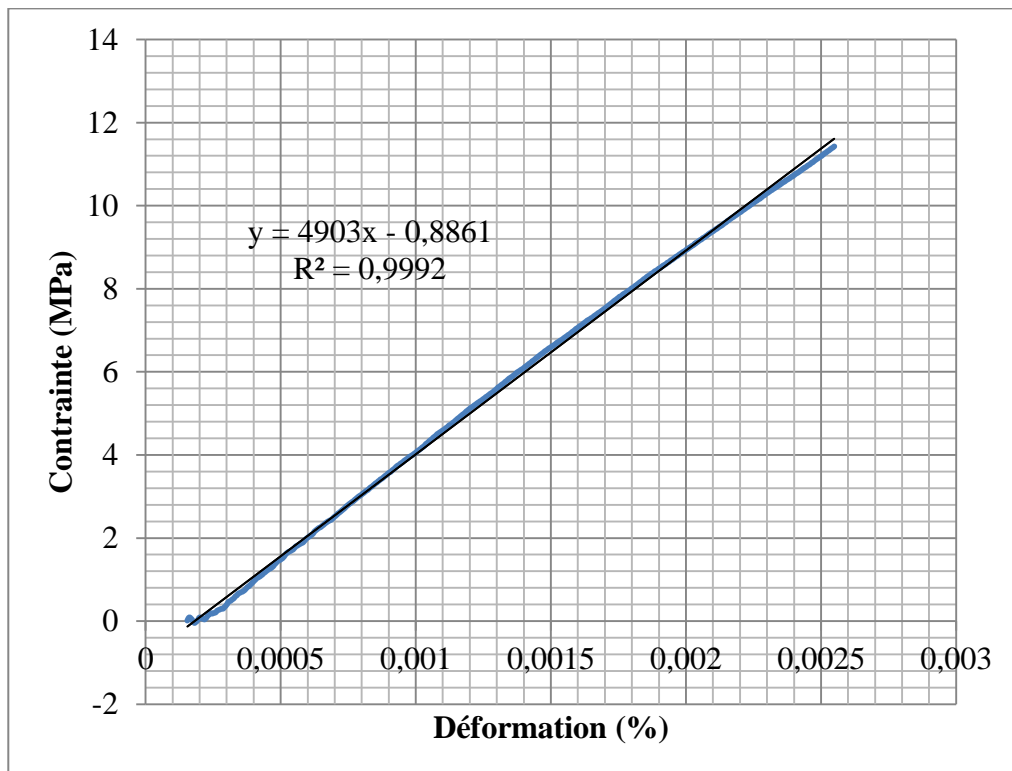


Figure III. 7 la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation de bois sèche (0.0025% de déformation)

$$E = 4.9 \text{ GPa}$$

III.4 Détermination de la contrainte max σ_{max} et de la déformation max ϵ_{max}

Nous déterminons les valeurs de contrainte maximal et déformation maximale σ_{max} et ϵ_{max} à partir les graphes figure III.6, ces points se présentent comme suit :

$$\sigma_{max} = 64 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{max} = 0,025$$

Figure (III.8) représente la courbe de la traction contrainte-déformation sur éprouvette humide (E4).

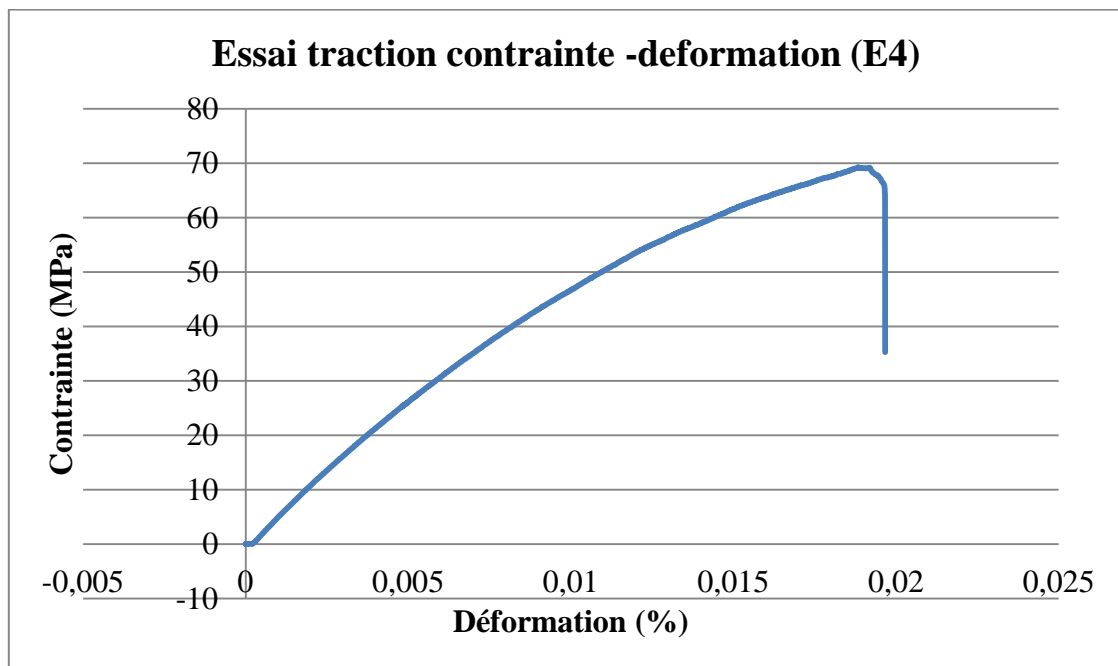


Figure III. 8 La courbe de comportement de bois de branchette du palmier dattier sèche.

III.4.1 Détermination du module d'Young E

Nous obtenons la valeur du module d'Young de traction à partir de graphe III.8, en considérant la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation sans dépassé une déformation de 0.0025%.

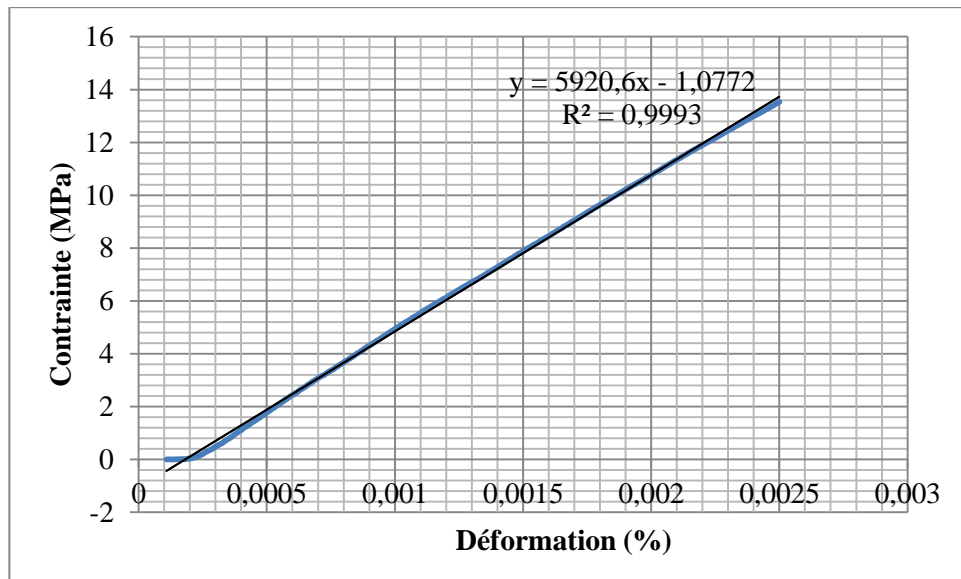


Figure III. 9 la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation de bois sèche (0.0025% de déformation)

La valeur du module d'Young trouvé est :

$$E = 5.9 \text{ GPa}$$

III.5 Détermination de la contrainte max σ_{max} et de la déformation max ϵ_{max}

Nous obtenons les valeurs de contrainte maximal et déformation maximale σ_{max} et ϵ_{max} à partir du graphe de la figure III.8, le point de changement du comportement représente le point max, donc:

$$\sigma_{max} = 69 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{max} = 0,020$$

On passe maintenant les essais sur des éprouvettes sèches. Les courbes sur la figure III.10, III.13 III.15, III.17 donne la courbe type de contrainte-déformation de traction

Figure (III.10) représente la courbe de la traction contrainte-déformation sur éprouvette sèche (M1)

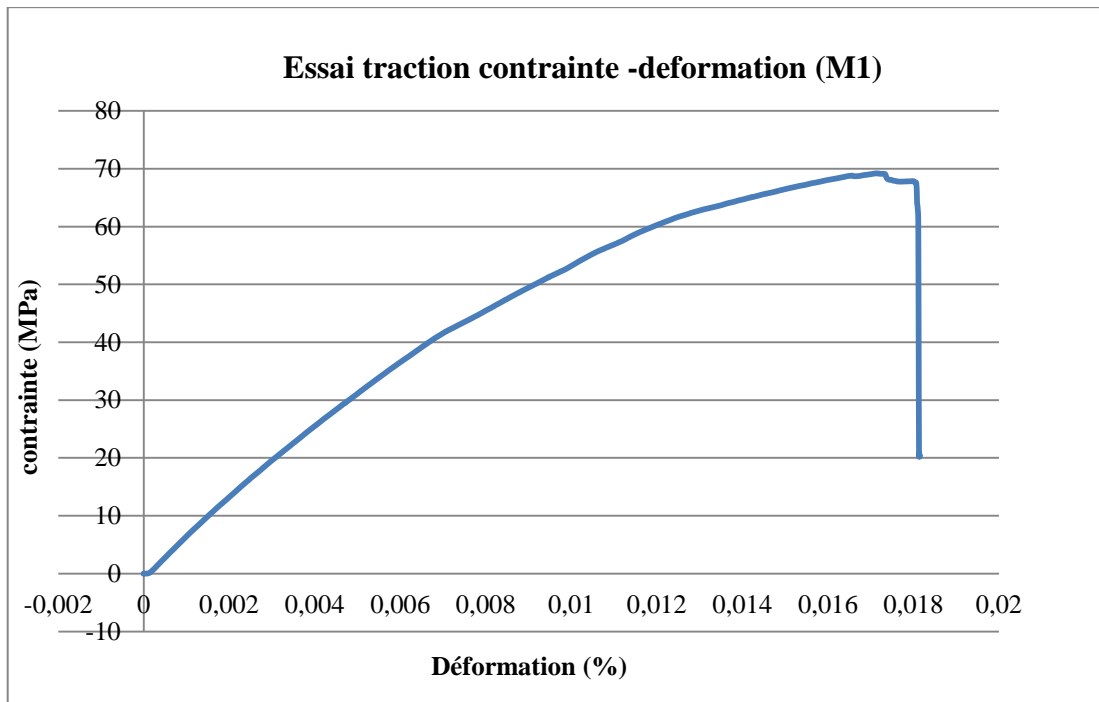


Figure III. 10 La courbe de comportement de bois de branchette du palmier dattier en traction.

III.5.1 Détermination du module d'Young E

Nous obtenons la valeur du module d'Young de traction à partir de graphe III.10, en considérant la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation sans dépassé une déformation de 0.0025%.

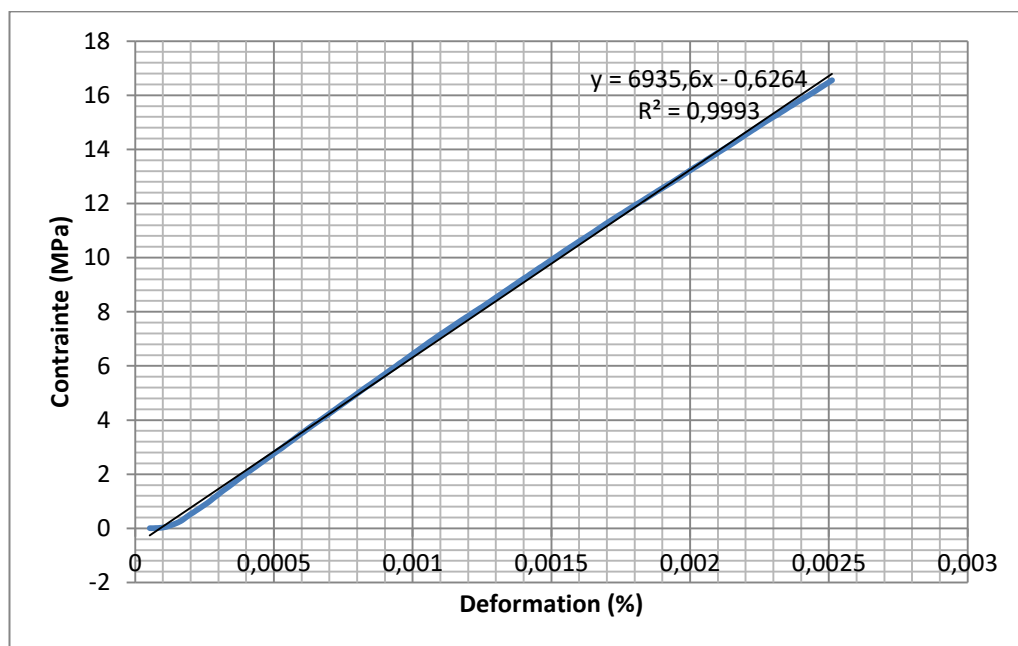


Figure III. 11 la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation de bois sèche (0.0025% de déformation)

La valeur du module d'Young trouvé est :

$$E = 6.9 \text{ GPa}$$

III.5.2 Détermination de la contrainte max σ_{max} et de la déformation max ϵ_{max}

Nous obtenons les valeurs de σ_{max} et ϵ_{max} à partir du graphe de la figure III.10, le point de changement du comportement représente le point max, donc:

$$\sigma_{max} = 69 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{max} = 0,016$$

Figure (III.12) représente la courbe de la traction contrainte-déformation sur éprouvette sèche (M2)

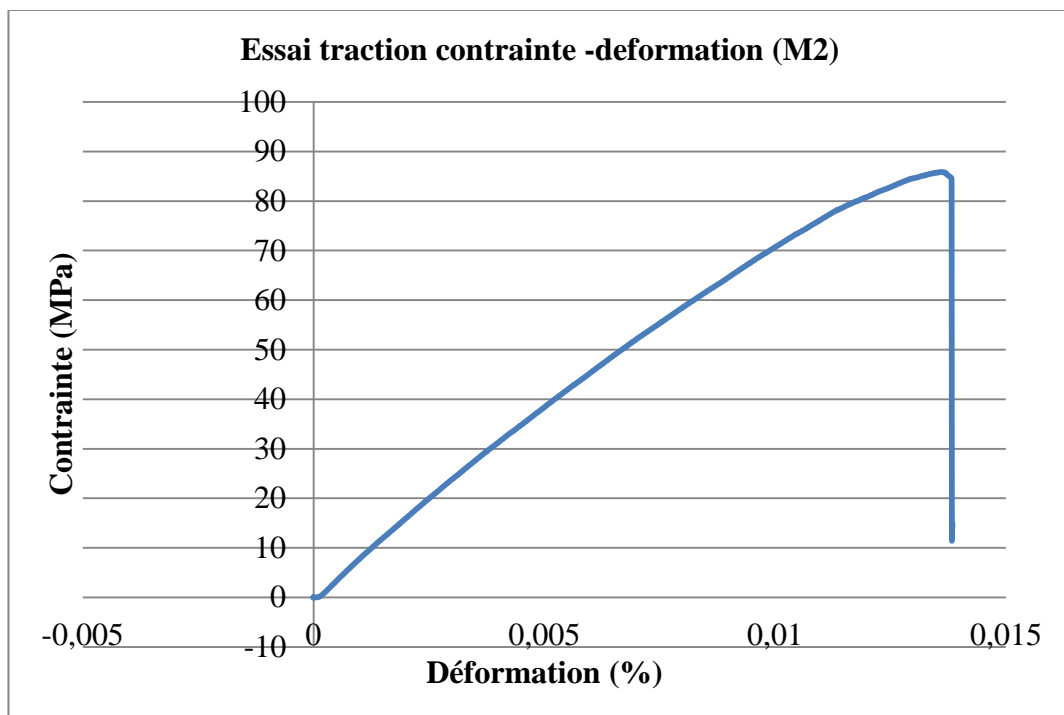


Figure III. 12 La courbe de comportement de bois de branchette du palmier dattier sèche.

III.5.3 Détermination du module d'Young E

La valeur du module d'Young est déterminée à partir du graphe de la figure III.11, la valeur trouvée pour le module correspond à la pente de la partie linéaire de la courbe.

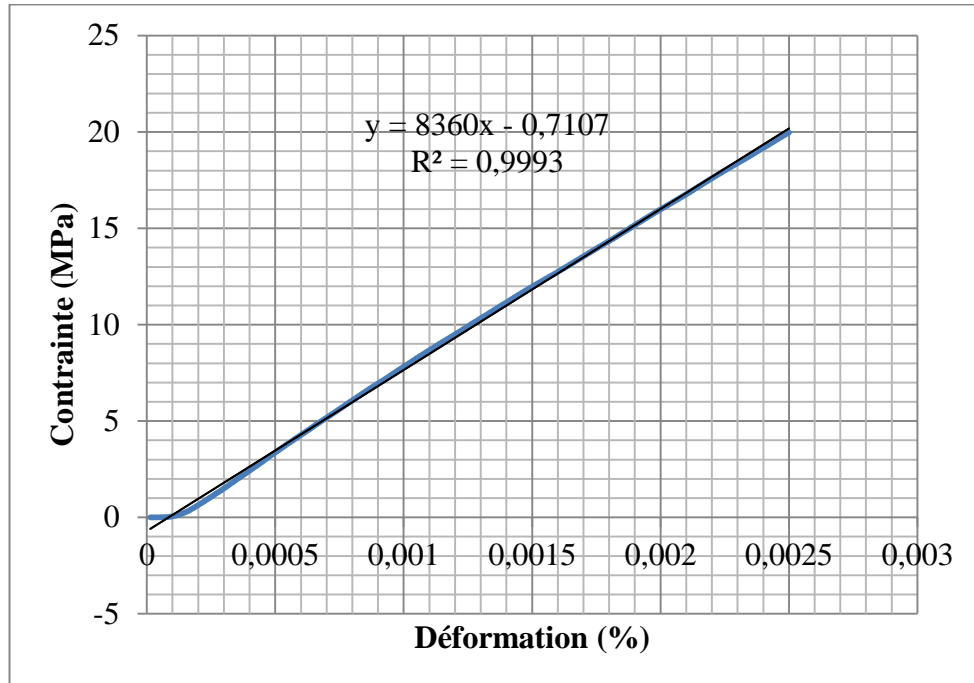


Figure III. 13 la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation de bois sèche (0.0025% de déformation)

La valeur du module d'Young trouvé est :

$$E = 8.3 \text{ GPa}$$

III.5.4 Détermination de la contrainte max σ_{max} et de la déformation max ϵ_{max}

Nous remarquons que les valeurs de σ_{max} et ϵ_{max} à partir du graphe de la figure III.12, le point de changement du comportement représente le point max, donc :

$$\sigma_{max} = 87 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{max} = 0,014$$

Figure (III.14) représente la courbe de la traction contrainte-déformation sur éprouvette sèche (M3)

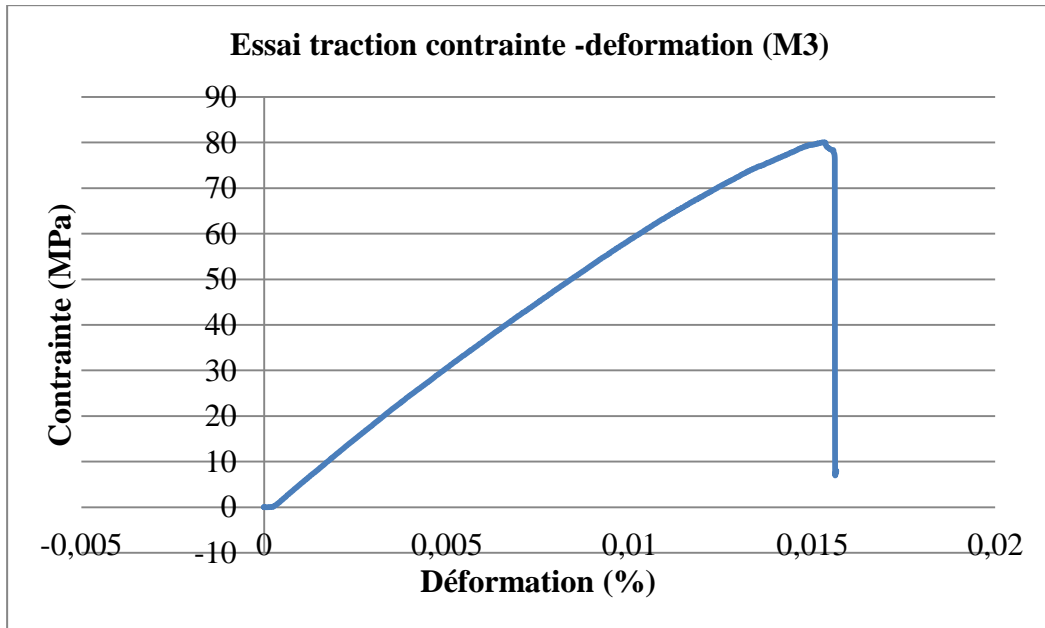


Figure III. 14 La courbe de comportement de bois de branchette du palmier dattier en traction.

La valeur du module d'Young est déterminée à partir du graphe de la figure III.15, la valeur trouvée pour le module correspond à la pente de la partie linéaire de la courbe.

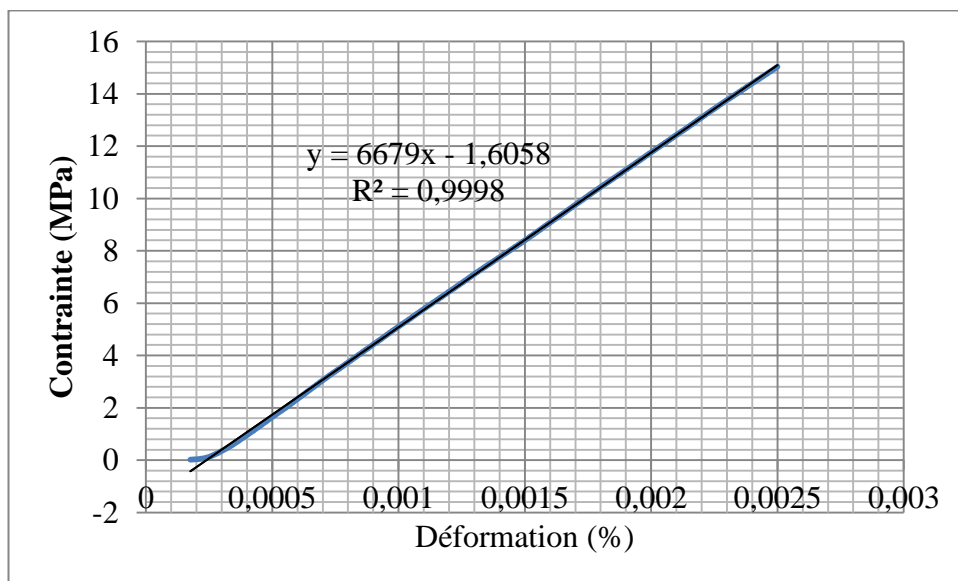


Figure III. 15 la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation de bois sèche (0,0025% de déformation)

La valeur du module d'Young trouvé est :

$$E = 6.6 \text{ GPa}$$

III.5.5. Détermination de la contrainte max σ_{max} et de la déformation max ϵ_{max}

Nous obtenons les valeurs de σ_{max} et ϵ_{max} à partir du graphe de la figure III.14, le point de changement du comportement représente le point max, donc:

$$\sigma_{max} = 80 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{max} = 0,015$$

La courbe de traction obtenue pour le bois de la branchette sèche est représentée sur la figure III.16.

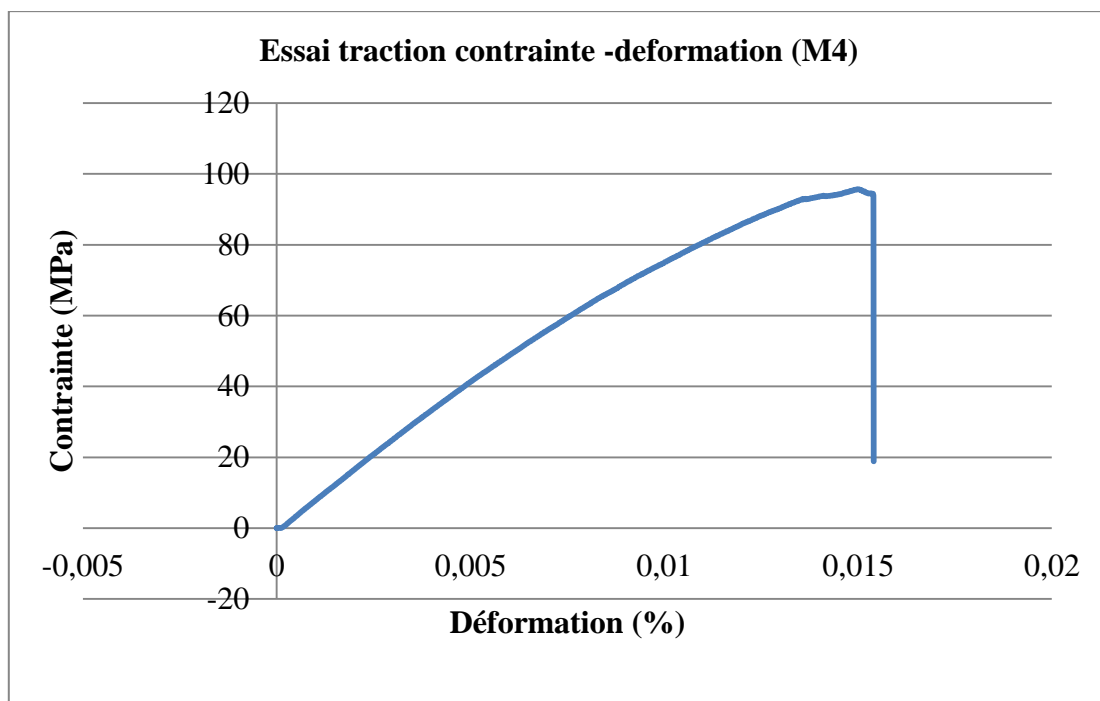


Figure III. 16 La courbe de comportement de bois de branchât du palmier dattier sèche.

La valeur du module d'Young est déterminée à partir du graphe de la figure III.17, la valeur trouvée pour le module correspond à la pente de la partie linéaire de la courbe.

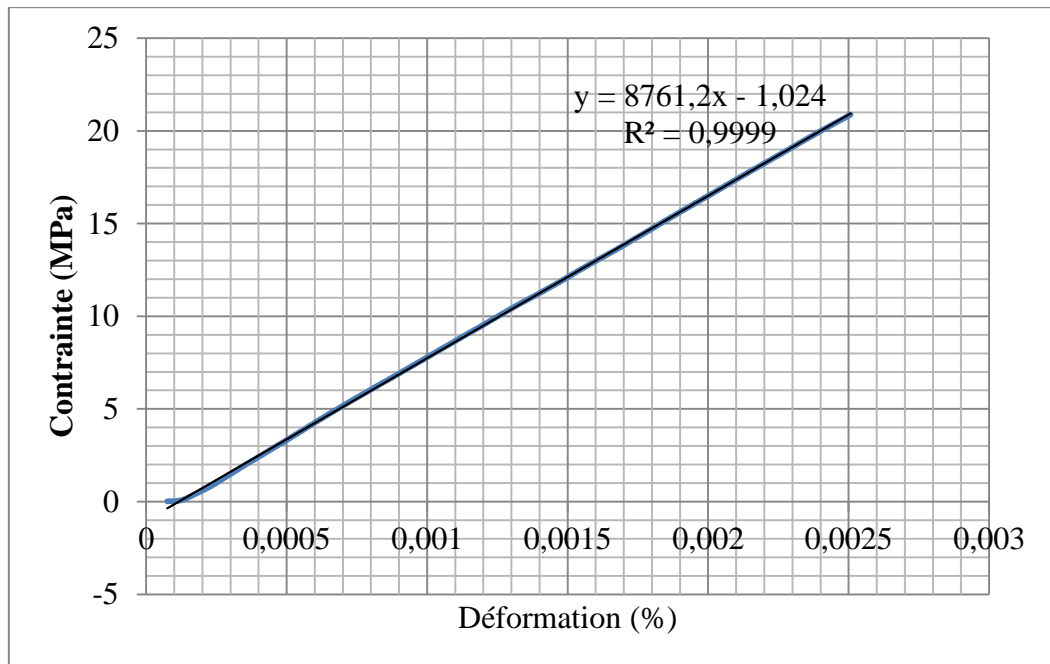


Figure III. 17 la partie linéaire de la courbe contrainte-déformation de bois séché (0.0025% de déformation)

La valeur du module d'Young trouvé est :

$$E = 8.7 \text{ GPa}$$

III.5.6 Détermination de la contrainte max σ_{max} et de la déformation max ϵ_{max}

Nous obtenons les valeurs de σ_{max} et ϵ_{max} à partir du graphe de la figure III.16, le point de changement du comportement représente le point max, donc:

$$\sigma_{max} = 96 \text{ MPa}$$

$$\epsilon_{max} = 0,015$$

III.6 Récapitulation des résultats obtenus

Le tableaux .III.2 suivant représente tous les valeurs concernant les essais du bois humide de branchette du palmier dattier et calcule les valeurs moyennes à chaque paramètre

Eprouvette	E1	E2	E3	E4	Moyenne
Module Young E (GPa)	3.6	3.5	4.9	5.9	4.4
Contraint max σ_{max} (MPa)	58	43	64	69	58.5
Déformation max ϵ_{max} (%)	0,035	0,020	0,025	0,020	0.025

A partir du calcul des valeurs moyennes des essais de traction des branchettes du bois de palmier dattier, nous trouvons que la valeur moyenne de module d'Young est 4.4 (GPa) et même aussi pour la contrainte maximale est 58.5 (MPa), et la moyenne de la déformation maximale est 0.025(%).

Le tableau III.3 suivant représente tous les valeurs concernant les essais du bois sec de la branchette du palmier dattier et calcule les valeurs moyennes.

Eprouvette	M1	M2	M3	M4	Moyenne
Module Young E (GPa)	6.9	8.3	6.6	8.7	7.6
Contraint max σ_{max} (MPa)	69	87	80	96	83
Déformation max ϵ_{max} (%)	0,016	0,014	0,015	0,015	0.015

A partir du tableau III.3 les valeurs moyennes des essais de traction des branchettes du bois de palmier dattier sèche, nous trouvons que la valeur moyenne de module d'Young est 7.6 (GPa) et même aussi pour la contrainte maximale est 83 (MPa), et la moyenne de la déformation maximale est 0.015(%).

III.7 Discussion et comparaison entre les caractéristiques du bois de tronc sec et du bois de tronc humide

D'après les tableaux (III.2 et III.3), nous remarquons ne pas le même forme de comportement pour le bois sec et le bois humide, la courbe commence par une partie linéaire suivie d'un comportement non linéaire.

Nous remarquons que la valeur du module d'Young du bois sec est supérieure à la valeur du module d'Young de bois humide.

$$***E_{sec}=7.6 \text{ GPa} > E_{hum}=4.4 \text{ GPa}***$$

Et la contrainte max pour le bois sèche de la branchette est supérieur à la contrainte du bois humide.

$$***\sigma_{maxsec}=83 \text{ MPa} > \sigma_{maxhum}=58.5 \text{ MPa}***$$

Par contre il est trouvé que la déformation max du bois humide est supérieure à la déformation max du bois sèche.

$$***\epsilon_{maxhum}=0,025 > \epsilon_{maxsec}=0,015***$$

Conclusion Générale

Ces résultats sont très importantes, nous a permis de mettre en évidence l'hétérogénéité des compositions structurale du bois palmier dattier.

À partir des spectres FTIR, on a pu montrer l'interaction des produits chimiques et peut donner une explication rapide et qualitative sur le changement de la structure chimique des composites de bois de palmier. Ces résultats nous a confirmer l'élimination des matériaux non cellulosiques, en plus de l'identification des groupes fonctionnels résultats des spectres de transformation de Fourier - Infrarouge (FT-IR) des échantillons sont présentés.

Ces résultats indique aussi , qu'il y a un fort large à 3408 cm^{-1} qui peut identifier les caractéristiques du spectre (FTIR) du groupe d'étirement (- OH) sur la chaîne cellulosique.

On peut voir que, d'une part, il existe un pic d'étirement moyen à 2918 cm^{-1} qui pourraient être dus à la présence de la fonction alcane (C-H), il existe des pics d'étirement moyens à 1733 et 1467 cm^{-1} qui auraient être dus à la présence de la fonction alcane (C-H). d'autre part, une forte largeur à 1170 cm^{-1} peut être attribuée au groupe (C O) et à la vibration d'étirement du groupe ester dans l'hémicellulose. Un pic de flexion observé variable à 1049 cm^{-1} dû aux groupes fonctionnels.

Finalement les résultats mécanique, montre que le taux d'humidité minime les valeurs des grandeurs mécaniques en terme de la résistance maximale et de module d'Young, mais inversement provoque une augmentation de la souplesse ce qui se traduit par une déformation max plus importante.

Enfin, comme perspective est de caractériser thermiquement les matériaux à base des déchets de bois du palmier dattier comme une substitution par exemple comme une poudre nanométrique de fibres dans les matériaux de construction.

Bibliographie

- [1] MEKIDECHE SALIH, VALORISATION DES DECHETS COMME CONSTITUANTS DES BIO-COMPOSITES ; MEMOIRE DE MASTER, UNIVERSITE DE M'SILA, ANNEE UNIVERSITAIRE : 2017 / 2018.
- [2] ELOUAER, A. (2011). CONTRIBUTION A LA COMPREHENSION ET A LA MODELISATION DU COMPORTEMENT MECANIQUE DE MATERIAUX COMPOSITES A RENFORT EN FIBRES VEGETALES (DOCTORAL DISSERTATION, REIMS).
- [3] BERTHELOT JEAN-MARIE (2010) MATERIAUX COMPOSITES (5^o ÉD.) : COMPORTEMENT MECANIQUE ET ANALYSE DES STRUCTURES. EDITION LAVOISIER.
- [4] [HTTPS://FR.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/MAT%C3%A9RIAU_COMPOSITE](https://fr.wikipedia.org/wiki/Mat%C3%A9riau_composite) (2017).
- [5] FOWLER P.A; HUGHES J.M; ELIAS R.M. BIOCOSITES TECHNOLOGY: ENVIRONMENTAL, CREDENTIALS AND MARKET FORCES, JOURNAL OF THE SCIENCE OF FOOD AND AGRICULTURE, 2006, 86, 1781-1789.
- [6] DAVID SEDAN, ETUDE DES INTERACTIONS PHYSICO-CHIMIQUES AUX INTERFACES FIBRES DE CHANVRE/CIMENT. INFLUENCE SUR LES PROPRIETES MECANQUES DU COMPOSITE, THESE DE DOCTORAT, FACULTE DES SCIENCES ET TECHNIQUES, UNIVERSITE DE LIMOGES, 2007.
- [7] M. ABDELMOULEH, S. BOUFI, M.N. BELGACEM, A. DUFRESNE, SHORT NATURAL-FIBRE REINFORCED POLYETHYLENE AND NATURAL RUBBER COMPOSITES: EFFECT OF SILANE COUPLING AGENTS AND FIBRES LOADING, COMPOSITES SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2007 (67) 1627-1639.
- [8] JEAN-MARIE BERTHELOT. MECANIQUE DES MATERIAUX ET STRUCTURES COMPOSITES. INSTITUT SUPERIEUR DES MATERIAUX ET MECANQUES AVANCES. LE MANS. FRANCE.
- [9] MUSTAPHA MALHA, « MISE EN OEUVRE, CARACTERISATION ET MODELISATION DE MATERIAUX COMPOSITES : POLYMERE THERMOPLASTIQUE RENFORCE PAR DES FIBRES DE DOUM », THESE DE DOCTORAT, UNIVERSITE MOHAMMED V –AGDAL, MARS 2013.
- [10] MEKIDECHE SALIH, VALORISATION DES DECHETS COMME CONSTITUANTS DES BIO-COMPOSITES. . MEMOIRE DE MASTER, UNIVERSITE DE M'SILA, ANNEE UNIVERSITAIRE : 2017 / 2018.
- [11] A. BLAGA, LES PLASTIQUES THERMODURCISSABLES.THE EDITORS OF MODERN PLASTICS ENCYCLOPEDIA. NEW YORK, 1975.
- [12] M.CHATAIN, MATERIAUX COMPOSITES : PRESENTATION GENERALE (AM 5000). TECHNIQUES DE L'INGENIEUR, 2005.
- [13] BŁĘDZKI A. K, JASZKIEWICZ A, URBANIAK M, STANKOWSKA-WALCZAK D, BIOCOSITES IN THE PAST AND IN THE FUTURE ,FIBRES & TEXTILES IN EASTERN EUROPE; 20, 6B (96): 15-22 (2012)
- [14] LAURENT GORNET." GENERALITES SUR LES MATERIAUX COMPOSITES". ENGINEERING SCHEOL. (2008).

- [15] THESE RAPHAËL. KUENY BIOCOMPOSITES : COMPOSITES DE HAUTES TECHNOLOGIES EN RENFORT DE FIBRES NATURELLES ET MATRICE DE RESINES NATURELLES, (2013).
- [16] S. PANTHAPULAKKAL, A. ZERESHKIAN, M. SAIN, PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF WHEAT STRAW FIBERS FOR REINFORCING APPLICATION IN INJECTION MOLDED THERMOPLASTIC COMPOSITES, ELSEVIER, BIORESOURCE TECHNOLOGY 97 265–272 (2006).
- [17] R.M ROWELL, R.A YOUNG, J.K ROWELL: PAPER AND COMPOSITES FROM AGRO-BASED RESOURCES. ED ROWELL R.M.LEWIS PUBLISHERS, BOCA RATON, USA, (1997)
- [18] G.B MITRA, P.S MUKHERJEE, X-RAY DIFFRACTION STUDY OF FIBROUS POLYMERS /DEGREE OF PARACRYSTALLINITY A NEW PARAMETER FOR CHARACTERIZING FIBROUS POLYMERS, POLYMER,21, P. 1403-1409. (1980).
- [19] FENDEL. D, WEGENER. G, WOOD CHEMISTRY ULTRASTRUCTURE AND REACTIONS, EDITION K.V. SARKANEN ET G.H. LUDWIG, WILEY INTERSCIENCE, P. 106. (1984)
- [20] IMIZU. K., CHEMISTRY OF HEMICELLOSES, WOOD AND CELLULOSIC CHEMISTRY, EDITION D. N-S. HON ET N. SHIRAIISHI, , P.177-214. (1991)
- [21] MAZUMDAR. A.K, A NOTE ON THE HEMICELLOSES OF SOME BAST FIBERS, JOURNAL OF SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH, (1955), 14, P. 542-544.
- [22] A. DAY A. KATIA RUEL, G. NEUTELINGS, D. CRONIER, H. DAVID, S. HAWKINS, B. CHABBERT, LIGNIFICATION IN THE FLAX STEM: EVIDENCE FOR AN UNUSUAL LIGNIN IN BAST FIBERS, PLANTA, 222 (2) PP 234-245 (2005).
- [23] K.FREUDENBERG, A.C. NEISH, THE CONSTITUTION AND BIOSYNTHESIS OF LIGNIN. CONSTITUTION AND BIOSYNTHESIS OF LIGNIN, NEW YORK: SPRINGER-VERLAG, PP. 47–74.(1968).
- [24] J.R DANIEL, CELLULOSE, STRUCTURE AND PROPERTIES, ENCYCLOPEDIA OF POLYMER SCIENCE AND INGENEERING, EDITION WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION, 3, PP. 91-123. (1987)
- [25] HERZOG (1926), INDUSTRIAL APPLICATION OF NATURAL FIBRES / JÖRG MÜSSIG EDITOR P 284
- [26] TAHAR MASRI, CONTRIBUTION AU DEVELOPPEMENT DES MATERIAUX DE CONSTRUCTION A BASE DES SOUS-PRODUITS DU PALMIER DATTIER. THESE DE DOCTORAT, UNIVERSITE DE BISKRA, SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 02 JUILLET 2018.
- [27] SEGHIR ZAHRA, GHENAIM MANAR, CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE DE QUELQUES CULTIVARS DU PALMIER DATTIER (PHOENIX DACTYLIFERA.L) DANS LA REGION DE BISKRA. MÉMOIRE DE MASTER, UNIVERSITÉ DE BISKRA, LE: SAMEDI 3 OCTOBRE 2020.
- [28] YUCEF DJEBLOUN, MABROUK HECINI, TAREK DJOUDI, AND B. GUERIRA, "EXPERIMENTAL DETERMINATION OF ELASTIC MODULUS OF ELASTICITY AND POISSON'S COEFFICIENT OF DATE PALM TREE FIBER," JOURNAL OF NATURAL FIBERS, PUBLISHED ONLINE, 11 JAN 2018.
- [29] INSTITUT TECHNIQUE DE DEVELOPPEMENT DE L'AGRONOMIE SAHARIENNE (ITIDAS), RAPPORT SUR LA SITUATION DU SECTEUR AGRICOLE, MINISTERE DE L'AGRICULTURE, DU DEVELOPPEMENT RURAL ET DE LA PECHE, ALGERIE. SAHARIENNE 2012, BISKRA, ALGERIE.

- [30] DJEBLOUN YOUCEF, CONTRIBUTION A LA CARACTERISATION DES MATERIAUX COMPOSITES RENFORCES DE FIBRES VEGETALES. THESE DE DOCTORAT, UNIVERSITE DE BISKRA, SOUTENUE PUBLIQUEMENT LE 28/10/2018.
- [31] MUNIER P. (1973). LE PALMIER DATTIER, ED.G.P.MAISONNEUVE ET LAROSE. PARIS .P:9-13, 16-17, 19-20, 22-29, 32, 43, 45, 56, 118, 124,130.
- [32] B. TAALLAH, "ETUDE DU COMPORTEMENT PHYSICO-MECANIQUE DU BLOC DE TERRE COMPRIMEE AVEC FIBRES," THESE DE DOCTORAT, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA, 2014.
- [33] T. GUETTAF TAMEM, "MODELISATION DU COMPORTEMENT MECANIQUE DES CONSTITUANTS DU PALMIER DATTIER," THESE DE DOCTORAT, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER DE BISKRA, 2017.
- [34] AMORSI G., 1975. LE PALMIER DATTIER EN ALGERIE, ED, OPTIONS MEDITERRANEENNES No25 TLEMCEM P 126-131P.
- [35] DJOUAB A., 2007 : PREPARATION ET INCORPORATION DANS LA MARGINE D'UN EXTRAIT DE DATTES DES VARIETES SECHES. THESE DE MAGISTER, DEP DE TECHNOLOGIE ALIMENTAIRE, UNIV : BOUMERDES , 102P.
- [36] BELGUEJ M., 2010 : « PRESERVATION DES ESPECES OASIENNES ET STRATEGIE A METTRE EN OEUVRE. CAS DU PALMIER DATTIER (PHOENIX DACTYLIFERA.L). ATELIER TENU A L'INRAA, LLES 13 ET 14/12/2010. 22 DIAPOS.
- [37] A. BESSAS, BENMOUSSA, LARBI, AND K. MOHAMED, "DOSAGE BIOCHIMIQUE DES COMPOSES PHENOLIQUES DANS LES DATTES ET LE MIEL RECOLTES DANS LE SUD ALGERIEN," IN DEPARTEMENT DE BIOLOGIE. SIDI BEL ABBES : UNIVERSITE DJILLALI LIABES, 2008, PP. 81.
- [38] C. F. BENZIOUCHE SALAH EDDINE, "LA CONDUITE DU PALMIER DATTIER DANS LES PALMERAIES DES ZIBANS (ALGERIE) QUELQUES ELEMENTS D'ANALYSE," EUROPEAN JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH, VOL. 42, PP. 644-660, 2010.
- [39] A. CHEHMA, H. LONGO, "VALORISATION DES SOUS-PRODUITS DU PALMIER DATTIER EN VUE DE LEUR UTILISATION EN ALIMENTATION DU BETAIL," REV. ENERG. REN. : PRODUCTION ET VALORISATION – BIOMASSE, PP. 59-64, 2001.
- [40] A. ROUGEULLE, "DES ETUVES A DATTES A BAHRAIN ET EN OMAN : LE PROBLEME DE L'APPARITION DE TECHNIQUES DE TRANSFORMATION DE LA DATTE," PAIEORIENT, VOL. 8, 1982.
- [41] K. ABDELOUAHED, "CARACTERISATION DES FIBRES DE PALMIER DATTIER ET PROPRIETES DES BETONS ET MORTIERS RENFORCES PAR CES FIBRES EN CLIMAT CHAUD ET SEC," THESE DE DOCTORAT, ENP ALGER, 2005, PP. 154.
- [42] A. CHEHMA, HF. LONGO, AND A.SIBOUKEUR, "ESTIMATION DU TONNAGE ET VALEURS ALIMENTAIRE DES SOUS-PRODUITS DU PALMIER DATTIER CHEZ LES OVINS," RECHERCHE AGRONOMIQUE, VOL. 7, PP. 7-15, 2000.
- [43] A. KRIKER , G. DEBICKI , A. BALI , M.M. KHENFER , AND M. CHABANNET, "MECHANICAL PROPERTIES OF DATE PALM FIBRES AND CONCRETE REINFORCED WITH DATE PALM FIBRES IN HOT-DRY CLIMATE," CEMENT & CONCRETE COMPOSITES, VOL. 27, PP. 554–564, 2005.

- [44] K. ABDELOUAHED, "CARACTERISATION DES FIBRES DE PALMIER DATTIER ET PROPRIETES DES BETONS ET MORTIERS RENFORCES PAR CES FIBRES EN CLIMAT CHAUD ET SEC," THESE DE DOCTORAT, ENP ALGER, 2005, pp. 154.
- [45] AMINA.DJOUDI, MOHAMMED MOULDI.KHENFER, AND A. BALI, "ETUDE D'UN NOUVEAU COMPOSITE EN PLATRE RENFORCE AVEC LES FIBRES VEGETALE DU PALMIER DATTIER," PRESENTED AT 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE ON SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT INFRASTRUCTURES IN DEVELOPING COUNTRIES, ORAN (ALGERIA), 2009.
- [46] TROUY –TRIBOULOT, M. CH. ET TRIBOULOT, P. MATERIAU BOIS - STRUCTURE ET CARACTERISTIQUES. 2001, VOL. CB1, N° 925, PP. 1-26.
- [47] F.M. AL-OQLA, O.Y. ALOTHMAN, M. JAWAID, S. SAPUAN, M. ES-SAHEB, PROCESSING AND PROPERTIES OF DATE PALM FIBERS AND ITS COMPOSITES, BIOMASS AND BIOENERGY, SPRINGER 2014, PP. 1–25
- [48] K. ALMI, S. LAKEL, A. BENCHABANE, A. KRIKER, CHARACTERIZATION OF DATE PALM WOOD USED AS COMPOSITES REINFORCEMENT, ACTA PHYS. POL. A 127 (4) (2015) 1072–1074.
- [49] AL. KHANBASHI. KAW, MECHANICS OF COMPOSITE MATERIALS, CRC PRESS, 2005.
- [50] H. ABDEL-RAHMAN, R. AL-JURUF, F. AHMAD, AND I. ALAM, "PHYSICAL, MECHANICAL AND DURABILITY CHARACTERISTICS OF DATE PALM FROND STALKS AS REINFORCEMENT IN STRUCTURAL CONCRETE," INTERNATIONAL JOURNAL OF CEMENT COMPOSITES AND LIGHTWEIGHT CONCRETE, VOL. 10, PP. 175- 181, 1988.
- [51] A. ALAWAR, A. M. HAMED, K. AL-KAABI, "CHARACTERIZATION OF TREATED DATE PALM TREE FIBER AS COMPOSITE REINFORCEMENT," COMPOSITES: PART B 40, PP. 601–606, 2009.
- [52] A. KRIKER , G. DEBICKI , A. BALI , M.M. KHENFER , AND M. CHABANNET, "MECHANICAL PROPERTIES OF DATE PALM FIBRES AND CONCRETE REINFORCED WITH DATE PALM FIBRES IN HOT-DRY CLIMATE," CEMENT & CONCRETE COMPOSITES, VOL. 27, PP. 554–564, 2005.
- [53] A. BESSAS, BENMOUSSA, LARBI, AND K. MOHAMED, "DOSAGE BIOCHIMIQUE DES COMPOSES PHENOLIQUES DANS LES DATTES ET LE MIEL RECOLTES DANS LE SUD ALGERIEN," IN DEPARTEMENT DE BIOLOGIE. SIDI BEL ABBES: UNIVERSITE DJILLALI LIABES, 2008, PP. 81.