



Université Mohamed Khider de Biskra
Faculté des sciences exactes et des sciences de la nature
et de la vie
Département des sciences de la nature et de la vie
Filière : Sciences biologiques

Référence / 2022

MÉMOIRE DE MASTER

Spécialité : Biotechnologie et valorisation des plantes

Présenté et soutenu par :
KHIREDDINE Aicha et REMLI Faiza

Le : mercredi 29 juin 2022

Méthodes d'extraction de la cellulose à partir du palmier dattier

Jury :

Mme. BELKHARCHOICH Hafida	MCB	Université de Biskra	Président
Mme. MEGDOUD Amel	MAA	Université de Biskra	Rapporteur
Mr BENAMOR Bilal	MCB	Université de Biskra	Examineur

Année universitaire : 2021/2022

Remerciements

Nous remercions, en premier lieu, Allah le tout-puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'Il nous a donnée pour terminer ce mémoire.

On voudrait tout d'abord remercier notre encadreur madame Megdoud Amel, pour le suivi, sa disponibilité et le soutien qu'elle nous a apporté par ces idées

Comme j'exprime mon respect et mes remerciements aux membres de jury le président et l'examineur, pour avoir accepté de présider et d'examiner notre travail et de l'avoir commenté.

Enfin je remercie tous les enseignants du département de sciences de la nature et la vie de l'université de Mohamed Khider de Biskra.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail,

A

*Ma mère, tes prières m'ont toujours accompagnée pour
m'accomplissement de ce travail.*

A

*Mon père, son courage et son amour m'ont inspiré à
continuer ce travail.*

A

Mes sœurs Bassmala et Alaâ.

A

*Mon Frères Mohamed, Abdelrahmen, Talal, Mortadha
et Asil.*

A toute mes amis et mes collègues

*A ceux qui me souhaitent un avenir plein de joie, de
réussite et de bonheur.*

Khiredidine Aicha.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail,

A

*Ma mère, tes prières m'ont toujours accompagnée pour
m'accomplissement de ce travail.*

A

*Mon père, son courage et son amour m'ont inspiré à
continuer ce travail.*

A

Mes sœurs Zainab et Hiba.

A

Mon Frères Khireddine et Abdelkader.

A mes amis Hassiba, Djouhena et Laïla, et mes collègues.

*Je remercie mon Oncle Al- Haj, Bouha, Firas, Donia,
Aya areej, Israâ et toute la famille Remli.*

*A ceux qui me souhaitent un avenir plein de joie, de
réussite et de bonheur.*

Remli Faiza.

Table des matières

Sommaire

Remerciements	2
Dédicace.....	3
Table des matières	5
Sommaire	5
Liste des Tableaux.....	I
Liste des Figures.....	II
Liste des Abréviations	III
Introduction.....	1
Chapitre 1 : Généralités sur le palmier dattier	3
1.1. Systématique.....	3
1.2. Botanique	3
1.3. Origine	4
1.4. Historique	5
1.5. Ecologie.....	5
1.6. Répartition géographique du palmier dattier.....	6
1.6.1. Dans le monde	6
1.6.2. En Algérie	6
1.7. Produits et sous produits du palmier dattier	7
1.7.1. Produits	7
1.7.2. Sous produits	7
1.7.2.1. Pâte de datte.....	7
1.7.2.2. Farine de datte	7
1.7.2.3. Sirop de datte.....	8
1.7.2.4. Sucre de datte	8
1.7.2.5. Alcool.....	8
1.7.2.6. Vinaigre.....	8
1.7.2.7. Huile de palmier	8
Chapitre 2 : Bois du palmier dattier	10
2.1. Description du bois	10

2.2.	Fibres végétales du palmier dattier	11
2.3.	Composition chimique du bois	11
2.3.1.	Cellulose	11
2.3.2.	Hémicellulose	12
2.3.3.	Lignine	12
2.3.4.	Pectine	12
2.4.	Utilisation du bois du palmier dattier.....	13
Chapitre 3 : Matériel et Méthodes		16
3.1.	La méthode mécanique	16
3.1.1.	Le matériel végétal.....	16
3.1.2.	La méthode d'extraction	16
3.2.	La méthode biologique.....	19
3.2.1.	Le matériel végétal et biologique	19
3.2.2.	La méthode d'extraction	19
3.3.	La méthode chimique.....	23
3.3.1.	Le matériel végétal.....	23
3.3.2.	La méthode d'extraction	23
Chapitre 4.....		28
Résultats et discussions.....		28
Chapitre 4 : Résultats et Discussions.....		29
4.1.	Résultat de la méthode mécanique	29
4.1.1.	Discussion :	30
4.2.	Résultats de la méthode biologique	31
4.2.1.	Discussion :	33
4.3.	Résultat de la méthode chimique.....	35
4.3.1.	Discussion	39
Conclusion		44
Conclusion		45
Références Bibliographiques		47
Annexes		52
Résumés		54

Liste des Tableaux

Tableau 1 Présence de cellulose dans différentes parties du palmier dattier.	12
Tableau 2 Utilisation des déchets du palmier dattier (Djoudi, 2019).	13
Tableau 3 Matériel utilisé dans la méthode mécanique.	16
Tableau 4 Matériel utilisé dans la méthode biologique.	19
Tableau 5 Matériel utilisé dans la méthode chimique.	23
Tableau 6 : Résumé la méthode d'extraction de la cellulose de Benchikhet <i>al.</i> (2019).	25
Tableau 7 : Résultats de la méthode mécanique	29
Tableau 8 : Composition chimique du bois de <i>P. radiata</i> et <i>E. globulus</i> (Monroyet <i>al.</i> , 2011).	31
Tableau 9 : Effet du traitement à la xylanase des fibres des tiges du fruits du palmier dattier (Hassan <i>et al.</i> , 2014).	31
Tableau 10 : Cristallinité en pourcentage de la cellulose % des résidus du palmier natifs, pulpés et hydrolysés respectivement dans : les frondes, les feuilles et les fibres de coco (Mehannyet <i>al.</i> , 2020).	32
Tableau 11 : La compositions chimique de Lignoncellulose (Sanchez, 2009).	33
Tableau 12 : Composition chimique du tronc du palmier dattier (DPTM) (Shaikh <i>et al.</i> , 2021).	35
Tableau 13 : Composition chimique de déférent partie du palmier dattier (Boumediriet <i>al.</i> , 2019).	35
Tableau 14 : La composition chimique comparatives des fibres de palmier de dattier et de biomasse /fibres naturelles (Alotaibiet <i>al.</i> , 2019).	36
Tableau 15 : Données d'analyse thermique TGA des fibres de différents parties du palmier dattier (Alotaibiet <i>al.</i> , 2019).	36
Tableau 16 ; Le pourcentage de la cellulose extraite de différentes parties du palmier dattier (Galiwangoet <i>al.</i> , 2019).	39

Liste des Figures

Figure 1 Différents composants du palmier dattier (Sbiai, 2011).	4
Figure 2 Répartition géographique du palmier dattier dans le monde (Zango, 2016).....	6
Figure 3 Répartition des palmiers dattiers en l'Algérie par wilaya en 2014 (Benzouche, 2012).....	7
Figure 4 Structure de tronc d'arbre (Moutee, 2006).....	10
Figure 5 Représentation schématique de la molécule de cellulose (Ragoubi, 2010).	11
Figure 6 : Fibres et produits DPTM à différents stades expérimentaux(Shaikh <i>et al.</i> , 2021)..	24
Figure 7 : Effet de la température sur la densité absolue des fibres de nervure centrale de palmier dattier (Elseify <i>et al.</i> , 2020).....	29
Figure 8 :Composition chimique des morceaux de bois provenant de <i>P. radiata</i> et <i>E. globulus</i> témoins et biotraités. (a) Xylane + mannane (hémicellulose), (b) glucane (cellulose) et (c) lignine Corrigé en fonction du poids perte (Monroy <i>et al.</i> , 2011).....	31
Figure 9 : Illustration SEM de la nanocellulose A et B extraite des 3 types de résidus de palmier ; à partir de frondes de palmier et de nanocellulose C & D à partir de feuilles de palmier (Mehanny <i>et al.</i> , 2020).....	32
Figure 10 : Observation TEM (La microscopie électronique en transmission) des whiskers ou nanocristaux de cellulose extraits du palmier dattier (Bendahou <i>et al.</i> , 2009).	35
Figure 11 :FT-IR Spectrum par CNW(Benchikhet <i>et al.</i> , 2019).	36
Figure 12 : (a-d) micrographies SEM de (a) DPISH, (b) DPTRF,(c) DPLST et (d) DPFBS à des grossissements de 1000x(Alotaib <i>et al.</i> , 2019).....	37
Figure 13 : Isolation de cellulose par XRD (Tedjan <i>et al.</i> , 2020).....	37
Figure 14 : Isolation de cellulose par SEM (Tedjan <i>et al.</i> , 2020).....	37
Figure 15 : Diffractogramme DRX de la fibre ultime du palmier dattier fibre d'anta-nelm (Derrouiche <i>et al.</i> , 2015).....	38
Figure 16 : Images MEB montrant des fibres de palmier dattier non traitées, différents grossissements (a) X120, (b) X 500 (Derrouiche <i>et al.</i> , 2015).....	38
Figure 17 : (A) et (B) ; Courbes TGA et DTG des celluloses et α -cellulose obtenues à partir de différentes parties de palmier dattier sous différentes vitesses de chauffage(Derrouiche <i>et al.</i> , 2015).....	38
Figure 18 :Image SEM (X) et (Y) des cellules de palmier dattier et α -cellulose isolées du (a) rachis, (b) feuillet (c) fibre et (d) la cellulose commerciale (Galiwango <i>et al.</i> , 2019).....	39

Liste des Abréviations

- KPDFL : Khalasa Date Palm Leaf et Fiber
- FPR : les Fibres du palmier rachis
- FPF : les Fibres du Palmier Foliaire
- DPM : palmier dattier maille
- NaClO₃ : chlorer sodium
- KOH : hydroxide potassium
- NaOH : hydroxide sodium
- H₂SO₄ : acide sulfurique
- Lip : laccases or ligninolytic peroxydases
- ScCO₂ : dioxyde de carbone supercritique
- DPTM : date palm trunk mech
- NaClO₂ : hypochlorite Sodium
- CH₃COOH : acide acétique
- H₂O₂ : peroxyde Hydrogène
- HCl : acide Hydrochlorique
- CNC : nanocellulose
- VBs : Faisceaux vasculaires
- FSs : Filaments de fibres
- DPLST : dattier palmier de tronc sèche
- PPFBS : dattier palmier pédoncule de fruit sèche
- DPLSH : Dattier palmier pétiole sèche

- DPTRF : Dattier palmier gaine foliaire
- TEM : La microscopie électronique en transmission
- TGA : analyse thermo-goniométrique
- XRD : Analyse par diffraction des rayons X
- FT-IR : Fourier transform infrared spectroscopy
- SEM : Scanning electron microscope
- pH : potentiel d'hydrogène
- P/v: poids/volume
- % : pourcent
- °C : Degrés Celsius
- h : houer
- T : température

Introduction

Introduction

Le palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.), est une monocotylédone thermophile vivace bien adaptée aux climats arides et semi-arides. Il est la plaque tournante de l'écosystème oasien car il assure un microclimat propice au développement du maraîchage en pleine terre. Outre les fameux et délicieux fruits « dattes » qui représentent une source économique importante, le palmier dattier fournit également de nombreux produits aux propriétés alimentaires et thérapeutiques, comme le pollen, les fleurs, les feuilles et les graines (Hannachi *et al.*, 1998).

Les dattes peuvent être consommées directement ou utilisées comme matière première pour fabriquer de nombreux produits, notamment du sucre liquide, les pâtes de dattes, les jus, les sirops, la confiserie, l'alcool, le vinaigre, la farine de datte, l'huile de palmier dattier.

Toutes les parties du palmier peuvent être récupérées pour faire de l'artisanat. Les troncs et les palmes sont utilisés pour fabriquer des gourdes, des bibelots et des récipients, les troncs sont utilisés pour décorer et fabriquer des toits, les palmes sont vendus sous deux formes différentes selon l'utilisation : les palmes sèches sont également utilisés pour les coussins et les lits traditionnels. Les draps humides sont utilisés pour les chapeaux et les petites serviettes pour le pain; les branches sont utilisées pour les meubles tels que les lits et les coussins, les feuilles sèches pour les brise-vent, l'alimentation du bétail, les lits et les toits. Les noyaux et les résidus de dattes sont utilisés dans l'alimentation du bétail (Sidi ahmed et Manon, 2018).

Ces dernières années, le matériau caractéristique des déchets de palmier dattier a été un domaine de recherche clé, l'objectif principal est de transformer et d'extraire ces matériaux pour protéger l'environnement et la santé publique et d'améliorer les propriétés mécaniques et physiques des matériaux recyclables ou des matériaux biodégradables.

Parmi ces substances figurent les fibres végétales qui sont composés d'une couche de microfibrilles de la cellulose partiellement cristallines. Cette dernière est recouverte d'une matrice de polysaccharides amorphes (l'hémicellulose et la pectine) liés par des liaisons hydrogène et des liaisons covalentes avec la lignine (Mohammad, 2007).

Le but de cette étude était d'examiner les différentes méthodes d'extraction de la cellulose de différentes parties du palmier dattier et de comprendre la meilleure façon de l'extraire.

Dans notre travail, nous examinerons plusieurs faits saillants. Pour présenter cette étude, elle a été divisée en quatre chapitres :

➤ Dans le premier chapitre, nous fournirons des informations générales, la systématique, la botanique, l'origine, l'histoire, l'écologie, la répartition géographique et les produits et sous-produits du palmier dattier.

➤ Le deuxième chapitre porte sur le bois du palmier dattier, où l'on distingue la description du bois, les fibres végétales du palmier dattier, la composition chimique du bois, et les usages du bois de palmier dattier.

➤ Le troisième chapitre est la partie du matériel et méthodes d'extraction de la cellulose.

➤ Le quatrième chapitre qui comprend les résultats et la discussion.

➤ Enfin, une conclusion générale résumant les principaux résultats de l'analyse et les perspectives de ce travail.

Partie I : Synthèse Bibliographique

Chapitre 1

Généralités sur le palmier dattier

Chapitre 1 : Généralités sur le palmier dattier

1.1. Systématique

Le palmier dattier est une plante monocotylédone, monoïque, le palmier mâle est «appelé DOKKARS», et le palmier femelle est «appelé NAKHIL». Le genre *Phoenix* comprend 12 espèces, et l'espèce *dactylifera* L. se distingue des autres espèces du même genre par son long tronc élancé et ses feuilles blanches (Alaoui, 2005 ; Peyron, 2000).

Selon (Djoudi, 2018), le palmier dattier est classé comme suit :

Embranchement	Phanérogames.
Sous-embranchement.....	Angiospermes.
Classe.....	Monocotylédones.
Groupe.....	Phoenocoides.
Famille.....	Palmae
Sous-famille.....	Coryphoideae
Genre.....	<i>Phoenix</i>
Espèce.....	<i>Phoenix dactylifera</i> L.

1.2. Botanique

Selon Sbiai (2011), le palmier dattier se constitue principalement de 10 parties figure 1 à savoir:

-Palmes : sont est les feuilles du palmier constituées d'un axe le long duquel les folioles sont déposées. Elles mesurent de 4 à 7 mètres de long. Les feuilles plus âgées peuvent rester sur la tige pendant des mois voir des années avant de tomber. L'ensemble des feuilles au sommet de la tige s'appelle la couronne, il peut mesurer de 6 à 10 mètres de large.

-Jeune palme : elle est enroulée pendant toute sa croissance comme les brins d'herbe ou les feuilles de bambous.

-Régimes de dattes : un régime de dattes (ou spéculum) est la partie qui supporte le fruit d'un palmier. Il est attaché au palmier par un arbre si solide qu'il faut le scier pour le décrocher. Il peut contenir plus de 1000 fruits et le palmier doit avoir au moins 7 ans pour produire des dattes.

-Dattes : ces fruits sont des baies ovales, de 3 cm de long. Une pulpe très sucrée entoure les graines. Récoltées à l'automne, la couleur varie du rouge vif au jaune vif selon les variétés.

- Gourmand : est une branche secondaire qui se développe sur la branche principale d'une plante.

-Stipe : il rappelle le tronc des arbres mais est en fait composé de fibres végétales des anciennes feuilles. Son diamètre peut varier légèrement selon les conditions climatiques.

- Cicatrices annulaires : ces cicatrices annulaires correspondent au point d'attache de la feuille ancienne une fois le pétiole (support de la feuille) tombé. Elles permettent au grimpeur de s'y accrocher pour atteindre les dattes.

-Rejet : est une jeune pousse du végétal, qu'il est possible de planter pour obtenir un nouveau palmier. Celui-ci sera choisi par l'homme parmi une sélection des meilleurs palmiers.

-Bulbe : se situant à la base du stipe, le bulbe constitue la réserve du palmier. De là part le système racinaire d'où émergent les racines primaires courtes de moins d'un mètre, et longues de plus de 20 mètres.

-Racines : elles sont nombreuses et profondes jusqu'à 20 mètres, elles sont capables d'aspirer des centaines de litres d'eau par jour.

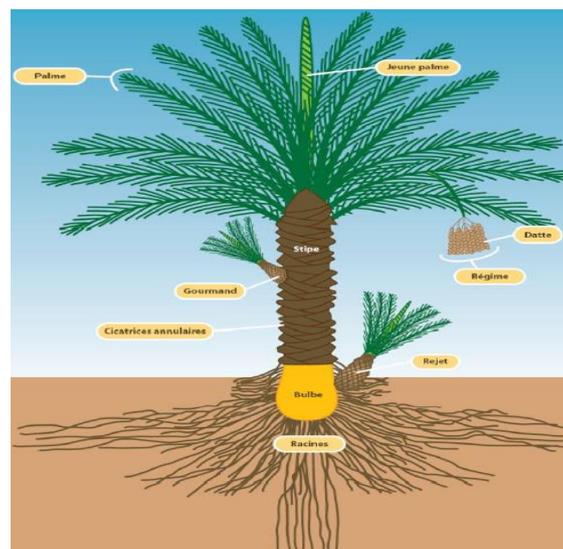


Figure 1 : Différents composants du palmier dattier (Sbiai, 2011).

1.3. Origine

Selon de Minier (1973), l'ascendance du palmier dattier est inconnue. Parce que la forme du palmier dattier est similaire à celle du pin sycomore et du canari phénix. Ces deux espèces sont apparentées au palmier dattier. D'où l'hypothèse d'ancêtres possibles des palmiers dattiers par ces deux espèces ou leurs hybrides.

Plusieurs régions ont été supposées être des centres d'origine possibles pour cette plante. Parmi ces régions, la péninsule arabe (est un croissant fertile), perse et îles Canaries.

On pense que le palmier dattier cultivé est venu de Phoenix et existe toujours près de son aire de répartition d'origine (Asie du Sud-Ouest ou Afrique du Nord-Est). D'autres suggèrent qu'il pourrait provenir d'une ou plusieurs formes sauvages réparties dans sa région de dispersion actuelle et converties plus ou moins en formes cultivées.

1.4. Historique

Le palmier est apparu au second Jurassique moyen, tandis que le phénix n'est apparu qu'à l'Eocène tertiaire (Munier, 1974). Les dattes étaient connues, cultivées et vendues quatre mille ans avant le prophète Mahomet (Matallah, 1970). Il a été introduit sur la côte Est de l'Afrique par les Arabes au début du XVIe siècle (Idder, 1992). Dès le début du 19e siècle, un petit nombre de palmiers dattiers étaient cultivés au Pérou, en Argentine, en Afrique du Sud, au Mexique et en Australie. Aux États-Unis, la Californie a également récemment créé des plantations (Nedjar 1991 in Ei-nadjar, 1998), importées d'Algérie, d'Irak et d'Égypte entre 1911 et 1922 (Nixon, 1966).

1.5. Ecologie

Les palmiers dattiers ont besoin d'environnements spécifiques pour leur développement, notamment la maturation des fruits (Girard, 1962).

Selon de Gilles (2000), les palmiers dattiers nécessitent :

- De la température : Les palmiers dattiers sont une espèce thermophile.
- De la lumière : Le palmier dattier est une plante qui aime le soleil.
- D'humidité : Le palmier dattier est une espèce très sensible à l'humidité de l'air lors de la fructification et de la floraison.
- Du sol : Les palmiers dattiers se comportent différemment selon le type de plantation.
- De l'eau : Les palmiers peuvent vivre dans des conditions sèches, à condition que les besoins en eau des racines soient satisfaisants. L'approvisionnement en eau doit être suffisant pour couvrir tous les besoins du palmier dattier afin de compenser les pertes dues à l'évaporation à la surface du sol.

1.6. Répartition géographique du palmier dattier

1.6.1. Dans le monde

La culture du palmier dattier est concentrée dans les régions arides au Sud de la Méditerranée et dans la frange méridionale du Proche Orient depuis le sud-est de l'Iran jusqu'à la côte atlantique de l'Afrique du Nord à l'Ouest, entre les altitudes 15° et 35° Nord. L'Espagne reste le seul pays d'Europe à produire des dattes principalement dans la célèbre palmeraie d'Elche, située à l'Ouest d'Alicante à 39° Nord.

L'aire de culture historique, traditionnelle, du dattier est celle pour laquelle la *Phoenici* culture y est millénaire. Il s'agit du Moyen et du Proche-Orient, de l'Afrique du Nord et d'une partie du Nord-ouest de l'Inde et du Pakistan (Figure 2) (Zango, 2016).

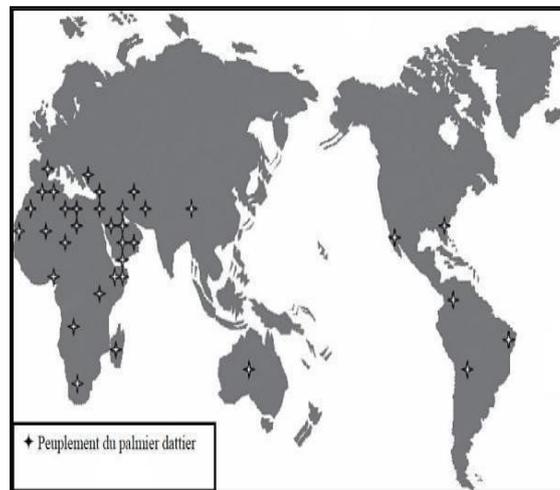


Figure 2 : Répartition géographique du palmier dattier dans le monde (Zango, 2016).

Le palmier dattier se trouve aussi en Afrique subsaharienne notamment dans les pays sahéliens. Il a également été introduit au Mexique, en Argentine et en Australie où il est cultivé à plus faible échelle (Zango, 2016).

1.6.2. En Algérie

Le palmier dattier est cultivé dans les oasis au sud du pays en particulier au nord du Sahara, sa culture occupe une superficie de 167. 000 ha (Ministère de l'Agriculture et du développement Rural, 2015) avec 18,6 millions de palmiers et plus de 800 variétés, dont les plus importantes sont : Deglet Nour, Ghars et Mech Degla.

L'Algérie se classe après les Émirats Arabes Unis, l'Arabie saoudite et l'Irak mais avant l'Égypte, la Tunisie et le Maroc, cela la classe à la quatrième position de monde arabe. Bien que ce patrimoine soit reparti sur 17 wilayas du pays, néanmoins, il est concentré

principalement dans les wilayas Sud- Est et Sud-Centre du pays. La première place est occupée par Biskra avec plus 23 % du patrimoine national, suivie par la wilaya d’Adrar de près de 21% et la wilaya d’El Oued avec plus de 20 % (Benziouche, 2012).

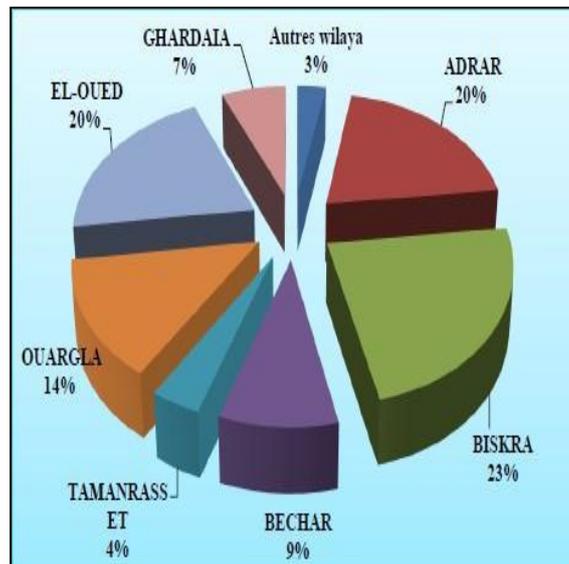


Figure 3 Répartition des palmiers dattiers en l’Algérie par wilaya en 2014 (Benziouche, 2012).

1.7. Produits et sous produits du palmier dattier

1.7.1. Produits

La datté constitue un substrat de choix pour la production de nombreux autres produits tels que le jus de dattes (Siboukeur, 1997), l’alcool (Ould EL Hadj et *al.*, 2001)...etc

1.7.2. Sous produits

1.7.2.1. Pâte de datté

Les dattes molles ou ramollies par humidification donnent lieu à la production de pâte de datté. La fabrication est faite mécaniquement. Lorsque le produit est trop humide il est possible d’ajouter la pulpe de noix de coco ou la farine d’amande douce. La pâte de datté est utilisée en biscuiterie et en pâtisserie (Espiard, 2002).

1.7.2.2. Farine de datté

Elle est préparée à partir de dattes sèches ou susceptibles de le devenir après dessiccation. Riche en sucre, cette farine est utilisée en biscuiterie, pâtisserie, aliments pour enfants (Kendri, 1999) et dans la fabrication du yaourt (Benamara et *al.*, 2004; Amellal, 2008).

1.7.2.3. Sirop de datte

Il est fabriqué à base de dattes saines car il est important d'éviter tout arrière goût de fermentation. C'est un produit stable d'une couleur plus ou moins brune qui peut être utilisé comme un édulcorant (Mimouni, 2015).

1.7.2.4. Sucre de datte

Ce produit est obtenu par concentration et déshydratation des sirops de dattes pour l'obtention d'un composé solide. Il est de couleur plus au moins brune et possède un pouvoir édulcorant supérieur à celui du glucose (Chelghoum, 2012).

1.7.2.5. Alcool

Selon Ould El Hadj et *al.*, (2001), les dattes constituent un substrat de choix pour la production de l'alcool éthylique. La fermentation permet d'obtenir de 30 à 34 litres d'alcool pur pour 100kg de dattes (Espiard, 2002).

1.7.2.6. Vinaigre

Les dattes peuvent être utilisées pour l'élaboration du vinaigre. Ce dernier a été produit par culture de la levure *Saccharomyces uvarum* sur un extrait de datte (Boughnou, 1988 ; Ould el hadj et *al.*, 2001 ; Benamara et *al.*, 2007).

1.7.2.7. Huile de palmier

La production mondiale d'huile de palme (HP) a atteint, avec 7,8 millions de tonnes en 1987, la production la plus importante après l'huile de soja elle est la plus importante sur le marché mondial. L'huile de palme est composée de proportions plus ou moins égales d'acides palmitique et oléique (44% et 39%), bien que de grandes quantités d'acide linoléique et une certaine quantité d'acide stéarique soient présentes. Ces acides sont les plus courants dans la nature (Pantzaris, 1988).

Chapitre 2

Bois du Palmier Dattier

Chapitre 2 : Bois du palmier dattier

2.1. Description du bois

Le bois est une ressource naturelle et renouvelable produite par l'arbre au cours de sa croissance. Comme les autres matériaux naturels, le bois est un matériau hétérogène, aux propriétés physico-chimiques, mécaniques et biologiques très variables d'une essence à l'autre. Des différences de comportement peuvent également être trouvées au sein d'une même espèce (Abani *et al.*, 2008 ; Agopyan *et al.*, 2005).

Les éléments qui composent le tronc de l'arbre comprennent le bois, l'écorce et le cambium, qui est une fine couche située entre les deux couches précédentes (Jebrane, 2009).

Plusieurs zones peuvent également être distinguées dans le bois d'une (Dias de Moraes, 2003) :

-Ecorce: elle est constituée de cellules mortes, imperméable cependant elle laisse passer les gazs pour la respiration des cellules du cambium et de l'aubier.

-Liber: composé par des cellules mortes dans leur majorité. Les cellules du liber les plus proches du cambium lui munissent par la sève élaborée des feuilles par leurs canaux.

-Cambium: c'est une couche mince de cellules mères qui assure la croissance de l'arbre. Il n'est visible qu'à l'aide de microscope.

-Aubier: ses cellules composantes soient mortes et vivantes sont de proportions divers. Il amène la sève brute des racines aux feuilles.

-Duramen: il est constitué de cellules mortes qui ont achevé leur développement, sont soumis à une modification chimique et physique qui leur confère plus de durabilité naturelle. On le considère comme support de l'arbre ainsi appelé bois parfait.

-Moelle: tissu que représente l'axe de l'arbre et se régénère au premier stade de la croissance mais sa structure reste stable.

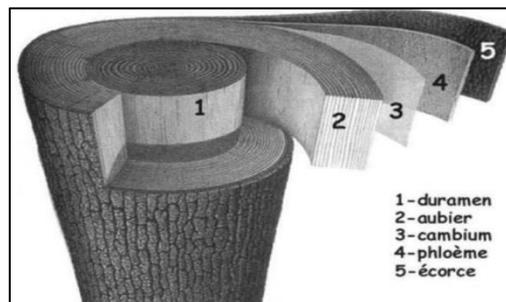


Figure 4 Structure de tronc d'arbre (Moutee, 2006).

2.2. Fibres végétales du palmier dattier

Les fibres lignocellulosiques désignent des structures biologiques fibreuses dérivées de plantes, généralement composées de cellulose, d'hémicellulose et de lignine (Jodin, 1994 ; Neto, 1996), et moins extraits sans azote, protéines brutes, lipides et minéraux (Rowell, 1996).

Le palmier dattier a une structure fibreuse avec quatre types de fibres (kriker, 2005) :

- Fibres de bois du tronc.
- Fibres foliaires au pédoncule.
- Fibres de la tige au niveau du pédoncule et de la tige du support (grappe) des palmiers dattiers.
- Fibres superficielles entourant la base de son tronc ou de sa paume (pétiole).
- Les fibres de vie (entre les Kornafs).

2.3. Composition chimique du bois

Le bois est un matériau très hétérogène, sa composition chimique est donc complexe. On peut classer les matériaux de structure en trois catégories (Ledhem, 2005). Il constitué principalement de cellulose, hémicelluloses et lignine. A ces trois constituants, viennent s'ajouter des substances extractibles de nature organique et des substances minérales (cendres) (Rowell, 2005).

Dans la paroi cellulaire, la proportion relative en cellulose, d'hémicelluloses et de lignine varie, en fonction de la couche considérée (Rowell, 2005).

2.3.1. Cellulose

C'est un polymère régulier de glucose de formule moléculaire $(C_6H_{10}O_5)_n$. Comme il existe de nombreux groupes hydroxyles dans la chaîne, les liaisons hydrogène intramoléculaires et intermoléculaires favorisent l'arrangement de ces derniers dans les domaines cristallins, et la séparation des régions amorphes est d'environ 30 nm (Tlijani, 2016).

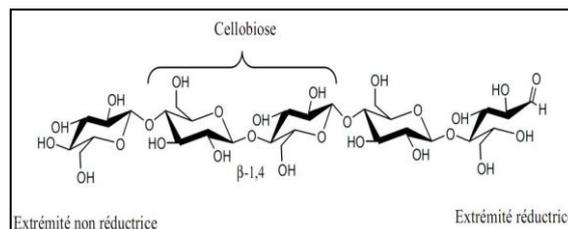


Figure 5 : Représentation schématique de la molécule de cellulose (Ragoubi, 2010).

Tableau 1 : Présence de cellulose dans différentes parties du palmier dattier.

	Cellulose (%)	Référence
Feuille	33.5	(Bendahou, 2007)
Rachis	44	
Maille	46	(Alawar, 2009)

2.3.2. Hémicellulose

L'hémicellulose est très hydrophile, soluble en milieu alcalin, et facilement hydrolysable dans les acides (Ragoubi, 2010 ; Nenonene, 2009).

Les hémicelluloses sont des polysaccharides pariétaux non cellulosiques extraits des végétaux. Elles constituent le principal liant dans la structure pariétale des végétaux en s'associant par liaisons hydrogènes aux micros fibrilles de cellulose et à la cellulose de la paroi cellulaire (Ville, 2011).

2.3.3. Lignine

Après la cellulose, la lignine est la matière organique la plus abondante dans les végétaux. Elle est chimiquement très différente de la cellulose et de l'hémicellulose. C'est un polymère tridimensionnel amorphe de nature phénolique, qui assure la rigidité de la paroi cellulaire (Dias de Moraes, 2003).

La lignine est la colle qui maintient l'ensemble des fibres végétales et leurs parois (Mustapha, 2013). Ces polymères aromatiques se trouvent dans les tissus secondaires des plantes supérieures. Ils rendent les murs imperméables et résistants aux attaques microbiennes. La lignine a des fonctions de protection des polysaccharides contre la dégradation biologique et atmosphérique et la tolérance à l'humidité (Sarkanen et *al.*, 1971).

2.3.4. Pectine

La pectine regroupe des hétéro polysaccharides, que l'on trouve couramment dans les parois cellulaires primaires des fibres végétales autres que le bois. La structure de la pectine dépend de l'espèce végétale et les proportions des différents types varient en fonction de leur emplacement dans la paroi cellulaire. La pectine est le composé le plus hydrophile des fibres végétales en raison de la présence de groupes acide carboxylique (Biagiotti, 2004).

2.4. Utilisation du bois du palmier dattier

Tableau 2 : Utilisation des déchets du palmier dattier (Djoudi, 2019).

Déchets	Utilisations
Tronc d'arbre	Utilisé dans l'ébénisterie traditionnelle, bois de chauffage et charpentes de maison.
Palmes sèches	Utilisées comme clôtures, brises vent, dans la confection de couffins, de chapeau; etc., ils peuvent même servir en industrie de papier.
Régimes de dattes	Comme balais traditionnels, et comme combustibles.
Lif	Confection des semelles de sandales, des cordes et des filets.
Déchets des dattes	Dans l'alimentation du bétail et café.

Partie II : La partie expérimentale

Chapitre 3

Matériel et méthodes

Chapitre 3 : Matériel et Méthodes

Dans ce chapitre, nous avons traité une synthèse de recherche de 15 articles et énoncer les trois méthodes d'extraction de la cellulose, qui sont la méthode mécanique (4 articles), biologique (4 articles) et chimique (7 articles).

3.1. La méthode mécanique

3.1.1. Le matériel végétal

Tableau 3 : Matériel utilisé dans la méthode mécanique.

Matériel végétal	Région d'étude	Références
-Foliaire de palmier dattier	Qatar	Mahdi <i>et al.</i> , (2020)
-Rachis de palmier dattier -Foliaire de palmier dattier	Algérie (Biskra)	Djoudiet <i>et al.</i> , (2019)
-Fibres de nervure centrale de palmier dattier	Egypte	Elseify <i>et al.</i> , (2020)
-Tige de feuille de palmier dattier -Tige de bouquet de fruits de palmier dattier -Gaine de feuille de palmier dattier -Tronc de palmier dattier -bambou	L'Arabie saoudite	Supian <i>et al.</i> , (2021)

3.1.2. La méthode d'extraction

✚ Selon Mahdi *et al.* (2020) les fibres du palmier dattier ont été extraites de KPDLF (Khalasa Date Palm Leaf and Fiber) et conservés dans un sac en plastique ;

- Tous les échantillons ont été immergés dans l'eau et lavés ;
- Les faisceaux ont été déchiquetés et séchés ;
- La fibre a été extraite par une brosse à aiguille conçue.

➤ **La teneur en cellulose du KPDLF** : Méthode de densité :

La teneur en cellulose de KPDLF a été déterminée en évaluant la densité apparente et réelle à l'aide respectivement d'un hydromètre à hélium et utilisation de benzène et la méthode d'Archimède ;

-Cependant, pour mesurer la densité apparente des KPDLF, le benzène a été utilisé comme solvant non polaire ;

-Les échantillons de KPDLF ont été d'abord pesés dans à l'air libre, puis immergés dans du benzène, puis pesés à nouveau ;

-Pour déterminer la masse volumique apparente de KPDLF (ρ_A), l'équation suivante peut être utilisée :

$$\rho_{KPDLF} = (\rho_b \cdot W_{fa}) / (W_{fa} - W_{fb})$$

ρ_b est la densité du benzène ; W_{fa} et W_{fb} sont les poids des fibres dans l'air et le benzène, respectivement.

✚ Dans un autre travail ; Djoudi *et al.*, (2019) (FPR : les Fibres du Rachis du palmier) et (FPF : les Fibres des Feuilles du Palmier) ont été trempées dans de l'eau distillée pendant une période d'une semaine à 10 jours.

-FPR et FPF sont coupés de 20 à 30 cm de taille ;

-Les pièces ont été stockées dans un sac plastique pendant 30 à 45 jours puis déchiquetés en 0,2 à 0,8cm ;

- Puis ont été lavées à l'eau distillée et séchées dans une étuve (110 ± 1) ° C ;

-Par la suite elles sont broyées dans un broyeur électrique ;

-Les fibres résultantes sont passé au tamisage pendant 30 min ;

-Enfin, les fibres lavées et séchées.

✚ Dans l'étude d'Elseify *et al.*, (2020) le DPM a été coupé en morceaux de longueur 30cm ;

-Les fibres ont été immergées dans une solution d'hydroxyde de sodium avec différentes concentrations et différentes températures ;

- Les fibres ont été pressés par une balle roulante puis lavées ;
- Par la suite elles ont été neutralisés dans une solution d'acide acétique glacial à 5 % ;
- Enfin, un enroulement mécanique de l'échantillon non traité.

➤ La mesure de la densité

La mesure de la densité absolue a été effectuée conformément aux méthodes d'Archimède ASTM D8171 – 18 :

-Les fibres de cellulose étaient sous forme de disques comprimés pour éliminer tous les vides d'air.

-Les disques ont été préparés en comprimant les faisceaux de fibres sous une pression et une température élevées de près de 35 bars et 180 °C respectivement.

-La mesure est effectuée en mesurant le poids de l'échantillon dans l'air et une autre fois dans le liquide, et à partir de la différence de poids, la densité est automatiquement calculée à l'aide d'un densitomètre.

-Trois échantillons ont été testés pour chacun et la moyenne a été mesurée.

✚ Dans le travail de Supian *et al.*, (2021) les fibres du palmier dattier ont été renforcées avec du bambou ;

- Préparation de fibres du palmier d'une taille de 0,8 à 1 mm ;
- Approvisionnement en fibre de bambou ;
- Fabrication de 3 types d'échantillons : composite fibre de palmier, composite fibre de bambou, composite fibre de palmier et bambou ;
- Laver les fibres et les sécher à 60°C pendant 24 heures ;
- Couler le mélange de fibres dans un moule de dimensions 150 mm 150 mm 3 mm ;
- Transférer le mélange dans une presse à chaud à 110 °C pendant 10 min ;
- Relâcher le mélange dans une presse à froid après 10 minutes de refroidissement.

3.2. La méthode biologique

3.2.1. Le matériel végétal et biologique

Tableau 4 : Matériel utilisé dans la méthode biologique.

Matériel végétal (l'espèce et partie de l'arbre)	Région d'étude	Matériel biologique	références
-P. radiata -E. globulus	/	<i>L. sulphureus</i> <i>G. trabeum</i>	Monrroy <i>et al.</i> , (2011)
Tiges de fruits du palmier dattier	Egypte	Xylanases	Hassan <i>et al.</i> , (2014)
-Frondes du palmier dattier -Feuilles du palmier dattier -Fibre de coco	Egypte	Champignon brun	Mehannyet <i>et al.</i> , (2020)
-Cellulose de bois herbe et déchets	Mexico	Champignons Enzymes	Sánchez (2009)

3.2.2. La méthode d'extraction

✚ Nous avons vu nécessaire de citer le travail de Monrroy *et al.*, (2011) qui ont utilisé les espèces *P. radiata* et *E. globulus*, car la méthode biologique dans leur travaux peut être extrapoler sur le palmier dattier.

- ils ont coupé le bois de *P. radiata* et *E. globulus* en 2,0 cm x 2,5 cm x 0,5cm ;
- Les morceaux du bois sont ensuite séchés à l'air pendant 10 h et stockés dans un sac en plastique ;
- Puis faire tremper les morceaux du bois dans de l'eau pendant 36 heures ;
- Les morceaux de bois sont pressés pour éliminer l'excès d'eau ;
- Ensuite ils ont été autoclavés (121 °C/30 min) ;
- 300 g des morceaux de bois ont été chargés et inoculés avec 500 mg de champignons ;
- l'incubation du bois est faite dans une pièce acclimatée à 25 °C et 55% d'humidité relative pendant 8 semaines ;

- Après biodégradation, les champignons de surface sont éliminés du bois ;
- Les morceaux de bois sont séchés à 40 °C pendant 48 heures.
- La cellulose a été isolée à partir de bois bio-traité selon la procédure suivante :
 - Un échantillon de 2 g a été traité avec une solution aqueuse contenant 80 ml d'eau, 2,50 g de NaClO₃ et avec 2 ml d'acide acétique à 80 °C pendant 90 min ;
 - Le résidu insoluble (holocellulose = hémicellulose + cellulose) a été refroidi, filtré à travers un filtre en verre et lavé avec de l'eau distillée et de l'acétone ;
 - La cellulose entière a été séchée à 40 °C et pesée ;
 - 0,5 g d'holocellulose a été traité avec 12,5 ml de KOH à 5% à 20 °C pendant 20 min ;
 - La cellulose obtenue a été filtrée à travers un filtre en verre et lavée avec de l'eau distillée, une solution d'acide acétique 1 M, puis à nouveau avec de l'eau ;
 - Il a été séché à 40°C ;
 - Biologiquement non traité (témoin) et le bio-bois ont été traités pendant 1 semaine pendant 150 min pour conditionner et 35 min pour extraire la cellulose ;
- ✚ Les fibres végétales mentionnées dans l'étude d'Hassan *et al.* (2014) ont été collectées puis séparées et coupées en 2-3 cm ;
 - Ensuite, elles ont été lavées à l'eau distillée ;
 - Un traitement alcalin a été effectué avec NaOH 15 % NaOH (basé sur des tiges séchées au four) à 150 °C pendant 3 h ;
 - La pâte résultante a été blanchie avec un mélange de chlorite de sodium et d'acide acétique à 80 °C pendant 1 heure ;
 - Le traitement enzymatique de la pulpe a été effectué à l'aide d'enzymes xylanases ;
 - 20 g de pâte blanchie ont été traités avec des enzymes xylanase inductibles par un tampon (pH 5,3) dans un flacon erlenmeyer de 500 ml à une consistance de 10 % ;

-Les échantillons ont reçu les codes 0.0E, 0.01E, 0.02E, et 0.04E dans les sections suivantes où E représente le traitement enzymatique et le nombre représente la concentration de l'enzyme utilisée (g/g de pâte).

-Le mélange a été maintenu sous agitation à 50°C pendant 4h.

-Enfin de réaction, la température a été portée à 90°C pour inactiver les enzymes.

-Puis la pâte de cellulose a été filtrée et lavée à l'eau distillée.

✚ L'étude réalisée par Mehanny *et al.*, (2020) ont procédé comme suit :

-Coupez les frondes et les feuilles du palmier dattier en morceaux ;

-Les morceaux ont été broyés à l'aide d'un mélangeur domestique ;

-Le traitement a été effectué en mélangeant 100 mg de biomasse avec 1 L de 10% NaOH ;

- Puis chauffage à 160°C pendant deux heures ;

-Les fibres ont été soigneusement lavées et séchées à l'air ;

-Ensuite l'exposition des fibres à l'acide hydrolysé : 10 g de pulpe et 200 ml de H₂SO₄ 20% et chauffage à 120°C pendant 30 minutes sous agitation ;

-Lorsque les champignons bruns apparaissent, on ajoute 1500 ml d'eau distillée congelée ;

- Cette suspension a été versée sur un filtre Millipore 0,22 µm pendant 24h ;

-La pâte concentrée obtenue a été neutralisée avec du NaHCO₃ à 5 % jusqu'à pH 7-8 ;

-Mettre ensuite la suspension obtenue on la pâte dans une centrifugeuse à 6000 rpm pendant 15min ;

-Verse ensuite le surnageant on pâte et remplacez-le par de l'eau déminéralisée ;

-Le tube de 50 ml a été agité et recentrifugé ;

-Finalement, les deux dernières étapes ont été répétées 1-2 fois jusqu'à l'obtention d'un pH7.

✚ Dans un autre travail de Sánchez (2009), ils ont collecté tous les champignons qui biodégradent le bois afin d'une :

• **Biodégradation de résidus lignocellulosique :**

Les champignons possèdent deux type de systèmes enzymatiques extracellulaire ; le système hydrolytique qui produit des hydrolases responsables de la dégradation de polysaccharides et le système ligninolytique oxydatif.

• **Biodégradation de la lignine :**

Parmi celles-ci, les enzymes peroxydases de lignine ; les peroxydases de manganèse et laccases des champignons de la pourriture blanche (notamment *Botrytis cinerea*,.....) qui oxydent le substrat par deux étape consécutives d'oxydation à un électron avec formation de radicaux cationique intermédiaires, Lip dégrade les unités de lignine non phénolique , tandis que Mnp génère du Mn, qui agit comme un oxydant diffusible sur les unités de lignine phénolique et non phénolique via des réaction de peroxydation lipidique.

• **Biodégradation de la cellulose :**

Il s'agit d'endo-1-4-8-glucanases et de la B-glucosidase , on pense que les endoglucanases souvent appelées carboxyméthylcellulases (en raison du substrat artificiel utilisé pour leur détection) initient l'attaque de manière aléatoire sur plusieurs sites internes dans les régions amorphes de la fibre de cellulose , ce qui ouvre des sites pour une attaque ultérieure par cellobiohydrolases ,souvent appelée exo glucose ,et qui peut hydrolyser la cellulose hautement cristalline

• **Biodégradation de l'hémicellulose :**

-Malgré la présence des mêmes enzymes biodégradables pour la cellulose et l'hémicellulose, cette dernière n'a besoin que de plus d'enzymes. l'hémicellulose est converti en xylène et en glucides.

-La dégradation complète d'hémicellulose nécessite l'action coopérative d'une variété d'enzymes hydrolytiques.

-l'Action se fait sur des substrats distincts, l'endo-1,4- β -xylanase (EC 3.2.1.8) génère des oligosaccharides à partir du clivage du xylane et la xylane 1,4- β -xylosidase (EC 3.2.1.37) produit des xyloses à partir d'oligosaccharides.

-De plus, la dégradation de l'hémicellulose nécessite:

► Enzymes telles que les xylanestérases, féruliques et p-coumariques

- ▶ Les estérases, les α -1 arabinofuranosidases et les α -4-O méthyl glucuronosidases, agissant en synergie pour hydrolyser efficacement le bois.

3.3. La méthode chimique

3.3.1. Le matériel végétal

Tableau 5 Matériel utilisé dans la méthode chimique.

Matériel végétal	Région d'étude	Références
-Tronc du palmier dattier	L'arabie saoudite	Shaikh <i>et al.</i> (2021)
-Rachis du palmier dattier	/	Ladhar <i>et al.</i> (2017)
-Les rachis du palmier dattier	Le Maroc	Bendahou <i>et al.</i> (2009)
-La pulpe de bois est récupérée à partir d'un déchet	L'Algérie (Sétif)	Benchikh <i>et al.</i> (2019)
-Tronc du palmier dattier	L'Arabie Saoudite	Alotaibi <i>et al.</i> (2019)
-Pétiole du palmier dattier		
-La gaine foliaire du palmier dattier		
-Pédoncule du fruit de palmier dattier		
-Gaines du palmer dattier	L'Algérie (Oued souf)	Tedjaniet <i>et al.</i> (2020)
-Fibre du palmier dattier	La Tunisie	Derrouiche <i>et al.</i> (2015)
-Rachis du palmier dattier	L'Emirat arabes unis	Galiwango <i>et al.</i> (2019)
-Fibres du palmier dattier		
- Feuille du palmier dattier		

3.3.2. La méthode d'extraction

- ✚ Dans l'étude de Shaikh *et al.*, (2021), les fibres du tronc du palmier ont été prélevées et lavées plusieurs fois pour enlever la saleté ;

-Les fibres ont été séchées à température ambiante et broyées en une fine poudre, qui a été traité avec du ScCO₂ ; puis avec une solution NaOH à 20 % à 90 °C pendant 6h ;

-Ensuite la filtration de poudre avec un chiffon en nylon pour éliminer la matière extraite ;

-La poudre a été lavée est séchée à 100°C ; puis elle a été blanchie avec une solution de chlorite de sodium ;

-Le pH a été augmenté à 3,7 en ajoutant de l'acide acétique à 70 ° C pendant 4 h ;

-La cellulose a été collecté et filtré ;

-Enfin, lavée pour se débarrasser des acides et séchée jusqu'à un poids constant.

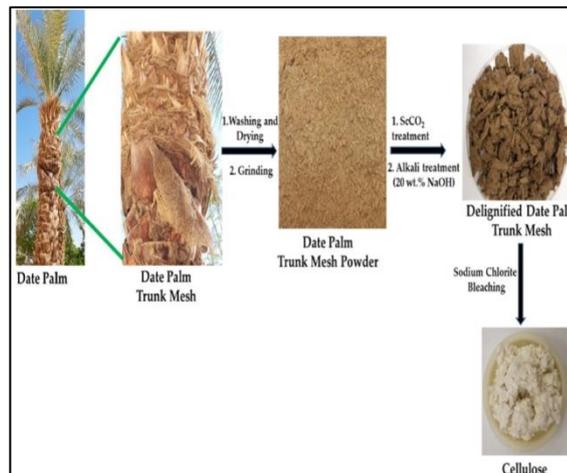


Figure 6 : Fibres et produits DPTM à différents stades expérimentaux (Shaikh *et al.*, 2021).

-Lors de l'étude de Ladhar *et al.*, (2017) une collection de rachis du palmier dattier a été effectué ; puis les rachis sont broyés ;

-La poudre obtenue a été traitée avec une solution de soxhlet avec un mélange de toluène/éthanol (38/62 v/v) pour éliminer les impuretés ;

-Par la suite séché à 80°C pendant 2 h et traitée en solution alcaline ;

-La poudre a été blanchie avec du chlorite de sodium pour éliminer la lignine ;

-L'étape finale consiste à décomposer la cellulose blanchie par infusion du manipulateur micro-fluidique (modèle M-110 EH-30) plutôt que de la soumettre à une hydrolyse.

✚ Dans autre travail de Bendahou *et al.*, (2009) ils ont utilisé les rachis dans le mélange Toluène-Ethanol (62/38), 24h ;

- Parois cellulaires sont purifiées ;

-Un traitement alcalin de NaOH 2%, à 80 °C, 2 h (×2) ;

-Un Blanchiment à NaClO₂, pH=4.8, 70°C, 1h (×2) ;

- Obtention d'une Pâte blanchie ;
- L'Hydrolyse Acide H₂SO₄, 65 %, pendant 45 min ;
- Obtention de nano cristaux de cellulose.

Tableau 6 : Résume la méthode d'extraction de la cellulose de Benchikh *et al.*, (2019).

Méthode	Traitement alcalin	Blanchiment	Hydro lyse	Filtration
Méthode 1	NaOH (5%) T=70°C, t=1h	NaClO (50%) + acetate buffer	Acide Sulfurique (65%) t =30 m, T=45°C	Centrifugation + ultrasons
Méthode 2	Toluène + Ethanol t=24h NaOH (2%), T=80°C, t=2h	NaClO (50%) t=6h	Acide Sulfurique (65%) t=30m, T=45C	/
Méthode 3	NaOH (2%), T=15°C t=1h; Déminéralise water T=80°C, t=1h;	/	NaOH (2%), T=15°C t=1h; Déminéralise water T=80°C, t=1h;	Lyophilisation T= -30°C, t=96h ;
Méthode 4	Na ₂ SO ₃ (5%) T=74°C, t=2h NaOH (17,5%), t=2h;	NaClO (0.7%) + acide acétique, t= 24h ;	Acide Sulfurique (64%), t=45min, T=45°C;	Centrifugation t=25min

✚ Dans l'étude d'Alotaibi *et al.* (2019) ; la méthode d'extraction est définie comme suit :

- Collecte des résidus d'élagage ;
- Nettoyage des matériaux avec de l'eau de robinet pour éliminer toute poussière et impuretés attachées ;
- Les matériaux de palmier dattier immergées dans un récipient rempli d'eau douce pendant 5 jours à température atmosphérique pour le rouissage ;
- Après 5 jours, les fibres ont été séchées dans étuve à 70-80 C, pendant 3 jours ;
- Les fibres séchées ont été broyées en poudre fine à l'aide d'un moulin à café ;
- La composition chimique de toutes les fibres de palmier dattier à été analysée, pour déterminer la teneur en cellulose et lignine ;

-Il a été effectué un broyage des échantillon de biomasse et l'extraction pendant 5 à 6 h dans solution d'éthanol, pour éliminer les résines, cires, stérols, graisses, acides gras, tanins, gommes, sucres et autres matières colorées ;

-Ensuite, une analyse chimique du résidu extrait en hémicellulose et cellulose en utilisant une solution d'un mélange de chlorite de sodium (NaClO_3), et hydroxyde de sodium (NaOH), l'hémicellulose calculée par la différence entre la quantité d'holocellulose et de cellulose.

✚ En Algérie et dans le travail de Tedjani *et al.*, (2020) ; ils ont procédé comme suit :

- Laver le matériel végétal à l'eau et séché à 105°C ;
- Coupe du matériel en petits morceaux de diamètre égal ou inférieur à 0.25 mm, (pour obtenir des petits morceaux de gaine de 10g ;
- Les morceaux ont été dispersés dans 800ml d'eau distillée sur un agitateur ; $T=50^\circ\text{C}$ pendant 2h ;
- Premier traitement au solvant toluène éthanol pendant 6h ;
- Traitement alcalin : solution 20% de NaOH -eau ajoutée au mélange sous agitation à 105°C pendant 1.5 h afin de solubiliser toutes les fibres ;
- Laver les échantillons avec de l'eau distillée pour obtenir de la pectine, de la lignine et de l'hémicellulose ;
- Les fibres de cellulose insolubles, restées après le premier traitement alcalin, soumises à un traitement de délignification avec 1 % NaClO (à $\text{pH}=5$ ajusté avec 10 % de CH_2COOH) à 70°C pendant 1h ;
- Les pastilles insolubles obtenues de l'étape précédente, sont mélangées avec une solution d'hydroxyde de potassium à 5 % pendant 15h ; suivies d'un lavage à acide concentré de 1 % à 80°C pendant 1h (pour obtenir une pure fibre de cellulose en éliminant tout les résidus indésirables tels que les minéraux).

✚ La méthode d'extraction dans le travail de Derrouiche *et al.*, (2015) est décrite de la manière suivante :

-Un feuille de palmier dattier a été traitée pour 90 min, dans une solution préchauffée à 90°C , contenant de l'hydroxyde de sodium, du peroxyde d'hydrogène, 3g/l d'un agent mouillant et 25ml /l de stabilisant de peroxyde hydrogène ;

-Pour optimiser l'extraction de cellulose, une concentration optimale en NaOH et H_2O_2 ;

-Pour son extraction il faut fixer la quantité appropriée d'hydroxyde de sodium pour la régulation du ph ;

-Ensuit, choisir la concentration optimale en peroxyde d'hydrogène qui assure le meilleur rendement d'extraction, au taux minimal.

✚ Par ailleurs l'étude de Galiwango *et al.*, (2019) résumant l'extraction de la cellulose en une composition de la cellulose commerciale avec celle extraite des échantillons.

-Les échantillons ont été lavés avec de l'eau distillée pour éliminer poussière et tout autre impureté, puis séchée dans une zone à l'ombre ;

-10g de la biomasse ont été passés à travers un tamis à maille de 250 μ m puis pesé ;

- Les résines et les cires et autres ont été éliminés par extraction en utilisant du benzène /éthanol, pendant 5h ;

- Les différentes parties de la biomasse de palmier dattier étudiées dans cette étude ont été traitées de la même manière ;

- La procédure d'isolement de la cellulose était telle que décrite ci-dessous 5g de l'échantillon de biomasse sans extrait ont été pesés dans un bécher de 250ml et lessivés en utilisant 200 ml de HCl 0.1 M, avec chauffage à 100 C, et agitation pendant 2h, le mélange a été ensuite filtré.

Chapitre 4

Résultats et discussions

Chapitre 4 : Résultats et Discussions

4.1. Résultat de la méthode mécanique

Tableau 7 : Résultats de la méthode mécanique

Références	Matériel végétal	Cellulose (%)	Hémicellulose (%)	Lignine (%)	Densité (g/cm ³)	
Mahdi <i>et al.</i> (2020)	Foliole du palmier dattier	47.14	16.13	34.77	1.233	
	Fibre du Coco	43.00	0.30	45.00	1.200	
Djoudiet <i>al.</i> (2019)	Rachis et foliole du palmier dattier	/	/	/	1.030	
Elseifyet <i>al.</i> (2020)	Fibres de nervure centrale du palmier dattier	44.14 ± 2.1	29.93 ± 0.97	25.93 ± 2.8	1.324	
	Fibres de nervure centrale du palmier dattier	Non Traité	51.45 ± 0.86	27.36 ± 0.97	21.19 ± 1.81	/
		Doux	54.90 ± 1.33	25.42 ± 2.75	20.58 ± 1.42	/
		Moyen	60.42 ± 1.10	22.22 ± 3.50	17.15 ± 2.47	/
Grave		69.31 ± 1.83	15.38 ± 1.83	15.30 ± 2.75	/	
Supianet <i>al.</i> (2021)	Tige de feuille du palmier dattier	35.00	15.40	20.10	1.26	
	Tige de bouquet de fruits du palmier dattier	44.00	26.00	11.00	1.15	
	Gaine de feuille du palmier dattier	43.50	24.00	18.00	1.26	
	Tronc du palmier dattier	40.00	9.75	29.50	1.28	
	Bambou	73.83	12.49	10.15	1.25	

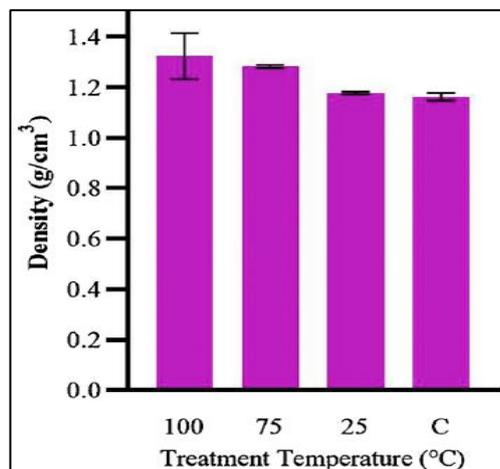


Figure 7 : Effet de la température sur la densité absolue des fibres de nervure centrale de palmier dattier (Elseify *et al.*, 2020).

4.1.1. Discussion :

Nous notons les résultats de l'extraction de la cellulose en utilisant la méthode approuvée par Mahdi *et al.*, (2020), que le pourcentage de la cellulose est la plus élevée, suivie de la lignine et de l'hémicellulose avec un rapport de 47.14%, 34.34% et 16.13%, respectivement.

La densité de la cellulose dans les fibres est estimée à 1.20g/cm^3 , ce qui témoigne de l'extraction de matières solubles des fibres, ce qui a permis de réduire les pores dans les fibres.

Aussi, les fibres de coco ont donné 43% la cellulose. Cela signifie que la fibre du palmier dattier a donné de meilleurs résultats que la fibre de coco.

Djouidi *et al.*, (2019), se sont concentrés sur la résistance à la traction et l'élasticité des parties du palmier dattier et ils ont conclu que la densité était estimée à 1.030g/cm^3 , ce qui est un résultat légèrement inférieur aux résultats de Mahdi *et al.*, (2020), ce qui signifie que malgré l'utilisation des folioles du palmier dattier dans les deux études, c'est-à-dire que la différence de la méthode d'extraction de la cellulose a affecté la densité des fibres

Alors que le pourcentage le plus élevé de la cellulose sur le palmier dattier dans les résultats d'Elseify *et al.*, (2020) a atteint 69,31% et cela à une température de 100°C et une concentration de 5% de NaOH pendant 3 heures. Ces auteurs ont également montré qu'il s'agit de la meilleure densité du matériau extrait, car il était à une température de 100°C .

Dans la même étude et sur différentes températures et concentrations, nous constatons que le meilleur résultat de la cellulose est extrait à 100°C .

Par ailleurs ; dans l'étude de Supian *et al.*, (2021) ; nous notons que le pourcentage le plus élevé de cellulose a été trouvé dans le bambou, qui est estimé à 73,83% par rapport aux différentes parties du palmier dattier.

Dans tous les résultats donnés dans le tableau en haut, nous constatons que le pourcentage de la cellulose extraite est le plus élevé par rapport à la lignine et à l'hémicellulose.

Malgré le pourcentage élevé de la cellulose extraite dans l'étude de d'Elseify *et al.*, (2020), il demeure faible le pourcentage de l'extraction de la cellulose dans les différentes parties du palmier dattier.

Par conséquent, l'étude d'Elseify *et al.* (2020) a donné les meilleurs résultats, où il sont utilisé NaOH 5% pendant 3 heures à une température de 100, ce qui a permis la dissolution des matériaux contenus dans les fibres du palmier dattier telles que la lignine, l'hémicellulose et les impuretés et ce qui a conduit à l'augmentation de la densité des fibres à 1,324 g/cm³.

4.2. Résultats de la méthode biologique

Tableau 8 : Composition chimique du bois de *P. radiata* et *E. globulus* (Monrroy *et al.*, 2011).

Espèce	<i>P. radiata</i>	<i>E. globulus</i>
	(%)	(%)
Composition chimique		
Cellulose (Glucane)	44.3 ± 0.1	45.4 ± 0.3
Lignine	26.3 ± 0.2	25.0 ± 0.1
Hémicellulose (xylan + mannan)	17.3 ± 0.2	18.5 ± 0.1

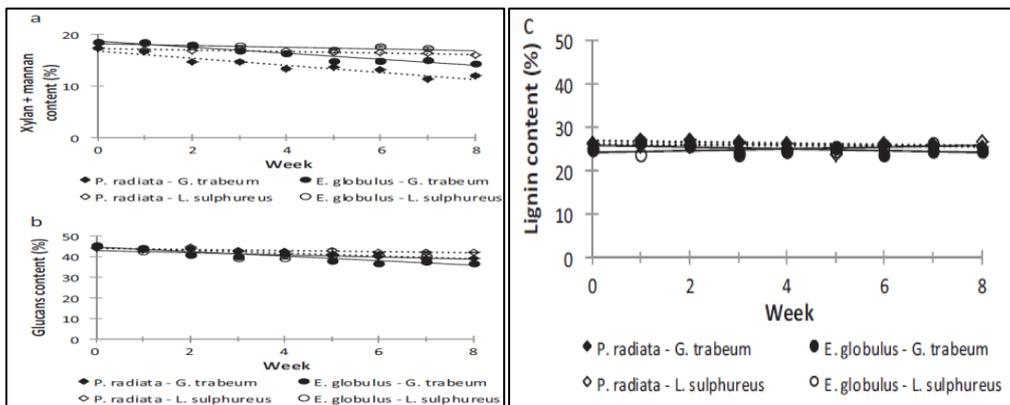


Figure 8 : Composition chimique des morceaux de bois provenant de *P. radiata* et *E. globulus* témoins et biotraités. (a) Xylane + mannane (hémicellulose), (b) glucane (cellulose) et (c) lignine Corrigé en fonction du poids perte (Monrroy *et al.*, 2011).

Tableau 9 : Effet du traitement à la xylanase des fibres des tiges du fruits du palmier dattier (Hassan *et al.*, 2014).

Traitement enzymatique	Cellulose microfibrillée (%)	Degré de polymérisation (DP)	Densité g/cm ³
0.0E	18.4	1264	1.11
0.01E	12.5	1557	1.16
0.02E	12.1	1705	1.35
0.04E	10.9	1559	1.21

Tableau 10 : Cristallinité en pourcentage de la cellulose % des résidus du palmier natifs, pulpés et hydrolysés respectivement dans : les frondes, les feuilles et les fibres de coco (Mehanny *et al.*, 2020).

	Frondes (%)	Feuilles (%)	Fibre de coco (%)
Natif (état naturel)	28	29	31
Pâte	33	30	32
CNC	/	27	/

*CNC (nanocellulose)

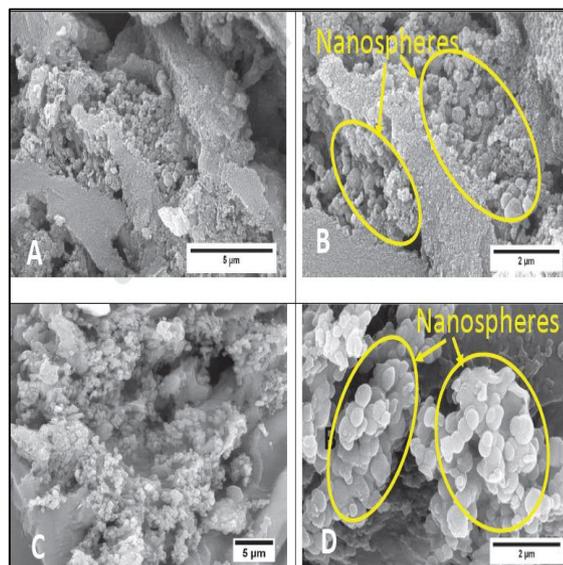


Figure 9 : Illustration SEM de la nanocellulose A et B extraite des 3 types de résidus de palmier ; à partir de frondes de palmier et de nanocellulose C & D à partir de feuilles de palmier (Mehanny *et al.*, 2020).

Tableau 11 : La compositions chimique de Lignoncellulose (Sanchez, 2009).

Composition chimique Type des fibres	Lignine (%)	Hémicellulose (%)	Cellulose (%)
Tiges de bois	18-25	24-40	40-55
Tiges des résineux	25-35	25-35	45-55
Fibres libériennes graines de lin	23	25	47
Fibres libériennes kéraf	15-19	22-23	31-39
Fibres libériennes jute	21-26	18-21	45-53
Fibres de feuilles abaca (manila)	8.8	17.3	60.8
Fibres de feuille sisal (agave)	7-9	21-24	43-56

4.2.1. Discussion :

Les tableaux a montré les différents résultats obtenus à partir de l'extraction de la cellulose de différentes parties du palmier dattier est autre espèces par la méthode biologique :

Les résultats présentés dans le tableau 8 de Monroy et *al.* (2011), montre la biodégradation du bois par les champignons bruns a montré des résultats élevés de la dégradation de la cellulose chez l'espèce *E. globulus* (45,4%) par rapport à l'espèce *P. radiata* (44,3%).

Ils sont constatés que la biodégradation de l'hémicellulose était plus rapide, ce qui permettait la biodégradation de la cellulose.

Les champignons bruns ont travaillé sur la biodégradation du bois dur (*E. globulus*) et tendre (*P. radiata*), ce qui signifie que ces champignons peut être utilisé dans tous les types de bois car il sont donné de bons résultats de biodégradation dans les deux espèces. On note aussi que la durée de la biodégradation a pris des semaines et dans cette étude elle a atteint 8 semaines pour obtenir des résultats satisfaisants, et cela peut être coûteux et aléatoire.

Les résultats dans tableau 9 d'Hassan *et al.* (2014), ont montré que le degré de polymérisation augmentait avec l'augmentation de l'enzyme, et cela est dû à la décomposition

de l'hémicellulose. La meilleure valeur pour la cellulose lors du traitement enzymatique était dans le traitement 0.02E qui a donné la valeur la plus élevée (1705), pour le degré de polymérisation et de la densité (1.35).

Aussi, la diminution du pourcentage de cellulose à 0,04E (10.9) est due au début de la biodégradation de la polymérisation de la cellulose.

Les résultats dans tableau 10 de Mehanny *et al.* (2020), montrent que la valeur de la cellulose à l'état naturel est la plus élevée dans la noix de coco. Par contre ; lors de sa transformation en pâte, les frondes ont la plus haute teneur en cellulose. On remarque également une augmentation de la cellulose dans toutes les parties après traitement (Pâte). La nano cellulose a pu être extraite des feuilles avec une valeur de 27%.

La figure 9 montre également la forme de la nanocellulose, de sorte que nous notons que la nanosphère dans une partie des feuilles montre clairement la pureté de la nanocellulose, et c'est la preuve de l'extraction de la nanocellulose avec un bon processus.

Dans le travail de Sanchez (2009), où ils ont utilisé des champignons, les résultats montrent que :

Le pourcentage le plus élevé de l'hémicellulose est dans les tiges de bois (24-40%) ;

Le pourcentage le plus élevé de lignine est retrouvé dans tige des résineux (25-35%) ;

Le pourcentage le plus élevé de la cellulose est dans les fibres de feuilles abaca (60.8 %) ;

Malgré les différentes parties utilisées pour extraire la cellulose, nous avons constaté que la biodégradation a pu extraire une proportion acceptable de la cellulose sans recourir à un traitement chimique.

Tous les résultats donnés dans le tableau, montrent que le pourcentage de la cellulose extraite est le plus élevé par rapport à la lignine et l'hémicellulose.

Les résultats observés de l'extraction de la cellulose de manière biologique, prend un certain temps avec les champignons bruns par rapport à l'activité enzymatique. Le pourcentage de la cellulose n'était pas très élevé.

Nous constatons également que la biodégradation des champignons et des enzymes fonctionne dans tous les types de bois, ce qui contribue à la facilité d'extraction de la cellulose de tout type de bois. De plus la cellulose, l'hémicellulose et la lignine possède chacune d'elle une enzyme et des champignons spéciaux pour les biodégrader.

L'utilisation de la méthode biologique est préférable en termes de ne pas utiliser de traitement chimique, ce qui peut nuire à la santé. Ce ci dit ; les enzymes et les champignons ne laissent aucun effet secondaire, mais ils ont besoin d'une longue période pour avoir des résultats satisfaisants.

4.3. Résultat de la méthode chimique

Tableau 12 : Composition chimique du tronc du palmier dattier (DPTM) (Shaikh *et al.*, 2021).

	α -Cellulose (%)	Lignine (%)
DPTM (mail)	33.70 (\pm 3.17)	22.53 (\pm 2.91)
Mailles délignifiés DPTM	65.91 (\pm 2.50)	2.16 (\pm 0.30)
Cellulose	94.50 (\pm 1.70)	0.32 (\pm 0.08)

*Date Palm TrunkMesh (DPTM).

Tableau 13 : Composition chimique de déférent partie du palmier dattier (Boumediri *et al.*, 2019).

Type de fibre	Cristallinité (%)	Taille de cristallite (nm)
Faisceaux vasculaires (VBs)	65.71	5.58
Filaments de fibres (FSs)	69.77	5.63
Fibre de sisal	77.6	3.37

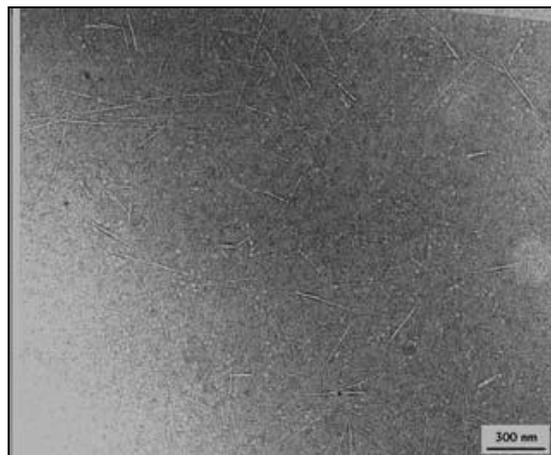


Figure 10 : Observation TEM (La microscopie électronique en transmission) des whiskers ou nanocristaux de cellulose extraits du palmier dattier (Bendahou *et al.*, 2009).

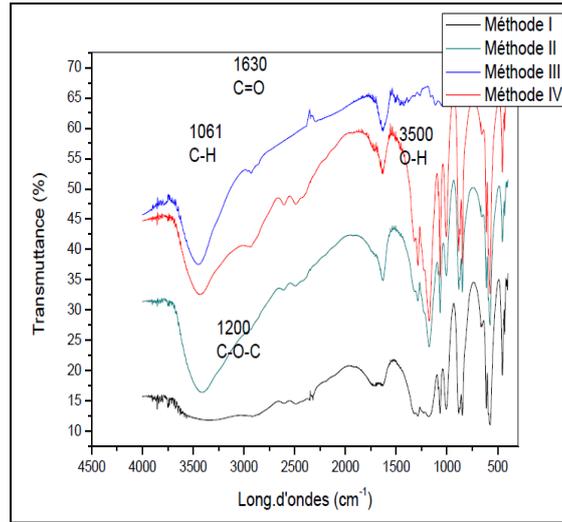


Figure 11 : FT-IR Spectrum par CNW (Benchikh *et al.*, 2019).

Tableau 14 : La composition chimique comparatives des fibres de palmier de dattier et de biomasse /fibres naturelles (Alotaibi *et al.*, 2019).

Composition chimique / Type des Fibres	Cellulose (%)	Hémicellulose (%)	Lignine (%)
Feuilles Palmier dattier Tunisie	33.5	59.5	27
Bois chêne vert	43	28.3	16.3
Bois d'olivier	41.5	24.33	15.64
Fibre de gaine du palmier dattier	43.70	29.02	13.33
DPLST	35	15.40	20.13
DPFBS	44	26	11.45
DPLSH	43.50	24	18
DPTRF	40	9.75	29.48

*DPLST (tronc sec du dattier palmier de), PPFBS (pédoncule sèche de fruit du palmier dattier), DPLSH (pétiole sec du palmier dattier), DPTRF (gaine foliaire du dattier palmier).

Tableau 15 : Données d'analyse thermique TGA des fibres de différents parties du palmier dattier (Alotaibi *et al.*, 2019).

Simple	Tonset (°C) a	T5 (°C) b	Wibes (%) c	Résiduel(%) d
DPLSH	188.4	196.1	67.4	25.1
DPTRF	187.6	195.8	69.2	23.9
DPLST	245.1	253.9	67.9	24.6
DPFBS	245.3	254.4	71.4	23.7

*a : température de début de décomposition thermique, b : température de début de décomposition thermique à laquelle 5 (%) de perte de poids, c : perte de poids maximale, d : poids des résidus de charbon.

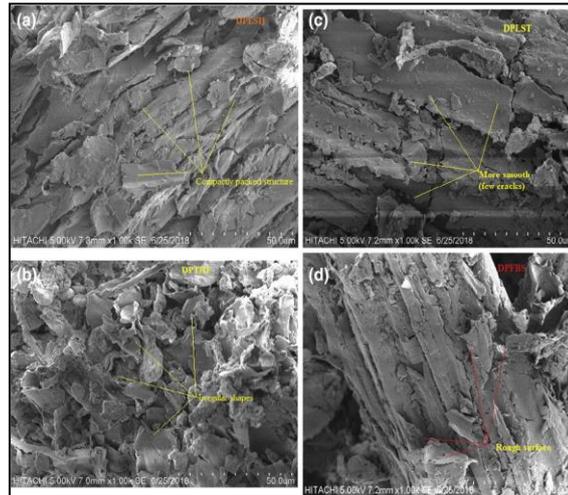


Figure 12 : (a-d) micrographies SEM de (a) DPISH, (b) DPTRF, (c) DPLST et (d) DPFBS à des grossissements de 1000x (Alotaibi *et al.*, 2019).

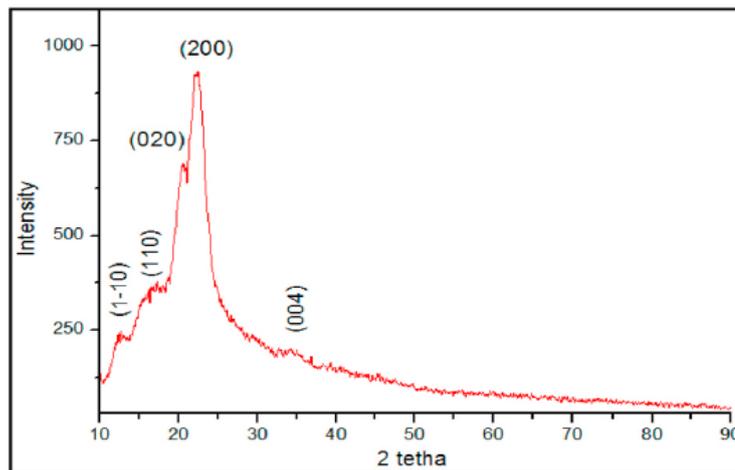


Figure 13 : Isolation de cellulose dar XRD (Tedjaniet *al.*, 2020).

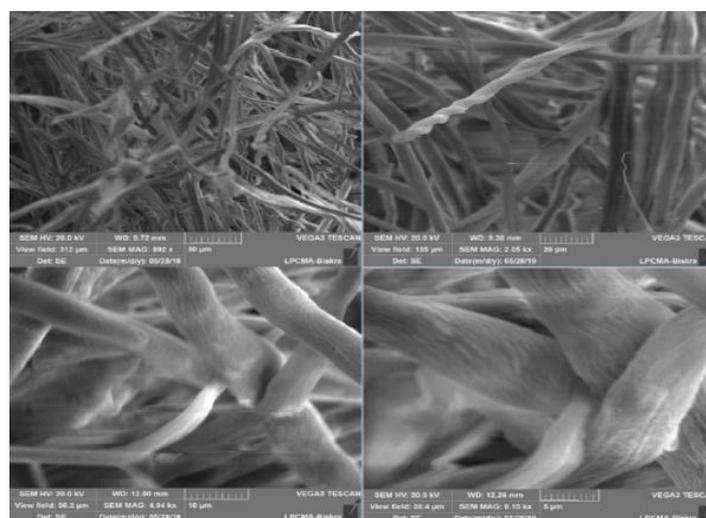


Figure 14 : Isolation de cellulose par SEM (Tedjaniet *al.*, 2020).

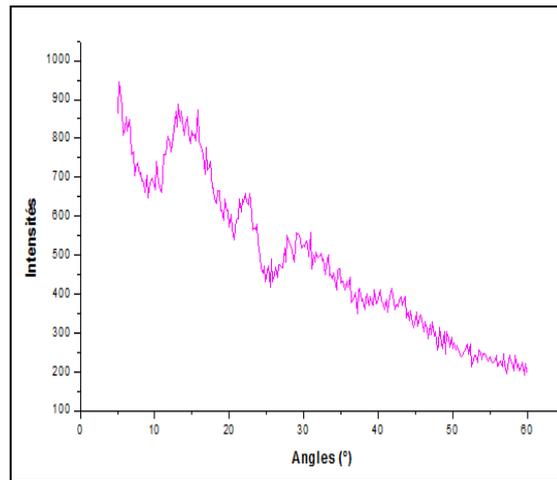


Figure 15 : Diffractogramme DRX de la fibre ultime du palmier dattier fibre d'anta-nelm (Derrouiche *et al.*, 2015).

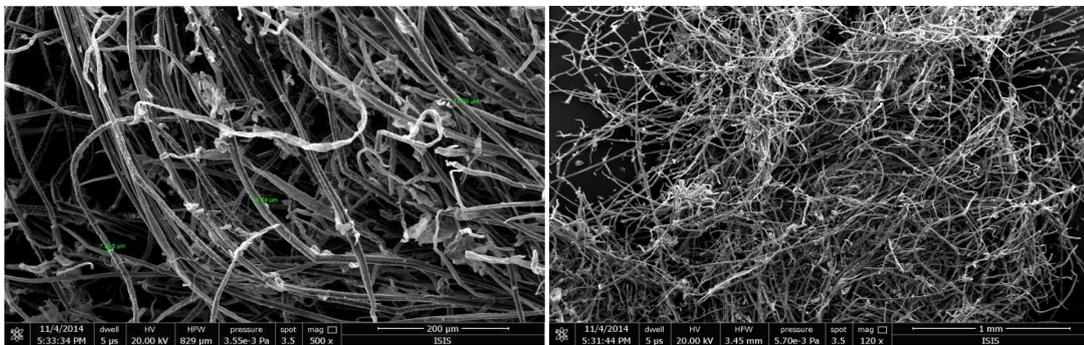


Figure 16 : Images MEB montrant des fibre de palmier dattier non traitées, différents grossissements (a) X120, (b) X 500 (Derrouiche *et al.*, 2015).

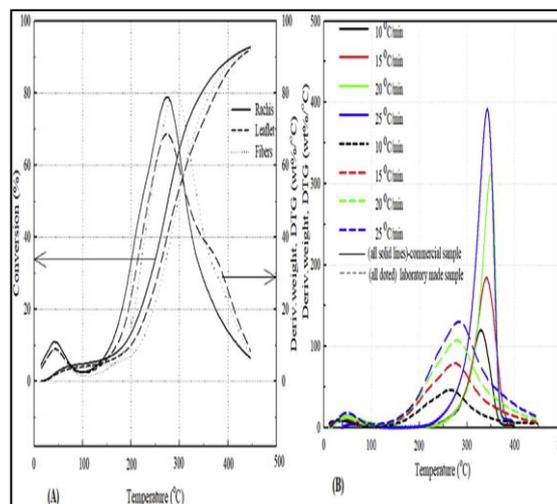


Figure 17 : (A) et (B) ; Courbes TGA et DTG des celluloses et α -cellulose obtenues à partir de différentes parties de palmier dattier sous différentes vitesses de chauffage (Derrouiche *et al.*, 2015).

Tableau 16 : Le pourcentage de la cellulose extraite de différentes parties du palmier dattier (Galiwango *et al.*, 2019).

Palmier dattier	Cellulose	Isolation de cellulose	α-cellulose
Rachis	32.00 _ 1.00	74.70 _ 1.00	78.63 _ 1.00
Feuille	21.00 _ 2.60	71.50 _ 0.00	75.64 _ 0.00
Fibre	33.00 _ 1.00	73.82 _ 1.00	70.40 _ 1.00

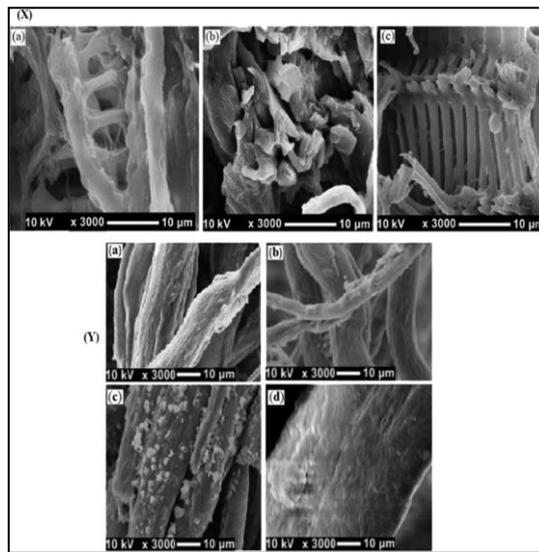


Figure 18 : Image SEM (X) et (Y) des cellules de palmier dattier et α -cellulose isolées du (a) rachis, (b) feuillet (c) fibre et (d) la cellulose commercial (Galiwango *et al.*, 2019).

4.3.1. Discussion

Les résultats dans le tableau 12 de Shaikh *et al.*, (2021), montrent qu'après avoir retiré la lignine, nous avons obtenu 65,91% de α - cellulose. On note également la pureté de la cellulose par rapport à la lignine, de sorte que le pourcentage de lignine dans la cellulose atteint 0,32%.

Dans l'étude menée par Ladhar *et al.*, (2017), elle s'est appuyée sur l'étude physique de la liaison du caoutchouc avec des fibres de cellulose et de nanocellulose à différentes concentrations de NaOH et différentes températures. Mais ; elle n'a pas montré les résultats de l'extraction de la cellulose, car il a montré que la liaison du caoutchouc avec des fibres de la cellulose produit une liaison serrée qui peut aider à étudier le serrage et la flexion des fibres de la cellulose, ce qui augmente ses propriétés mécaniques et physiques.

Cela signifie que la liaison de la cellulose avec du caoutchouc peut contribuer à un développement dans le domaine de l'extraction de la cellulose à partir de déchet de palmier dattier.

Le pourcentage de cristallinité dans les résultats du tableau 13 de Boumediri *et al.*, (2019), exprime le pourcentage d'extraction de la cellulose, de sorte que nous trouvons la valeur la plus élevée est de 69,77 % dans le palmier dattier.

Mais par rapport aux autres fibres, on retrouve le pourcentage le plus élevé de sisal avec 77,6%. Bien que le pourcentage de cristalline soit élevé dans le sisal, sa taille est inférieure à la taille de cristalline pour la cellulose extraite des palmiers dattiers, et cela peut être dû au mode d'extraction de la cellulose ou à la qualité de la cellulose trouvée dans les palmiers dattiers.

Dans l'étude Bendahou *et al.*, (2009), observation TEM (figure 10), de nanocristaux de palmier dattier, ont été utilisées comme source pour préparer des nanocristaux ou whiskers de la cellulose. L'observation des nanocristaux de la cellulose issue des ulves du palmier dattier montre, que ces derniers présentent un facteur de forme intéressant par rapport aux whiskers de la cellulose extraits d'autres plantes étudiées dans la littérature.

Les moyennes statistiques pour la longueur et le diamètre sont voisines de 260 nm et 6,1 nm, respectivement. Ce facteur de forme important, couplé au faible coût et à la disponibilité du matériau de base, le palmier dattier, rendent ces whiskers particulièrement intéressants en tant que renfort pour les matériaux polymères.

La Figure 10 montre la micrographie MET des whiskers ou nanocristaux du palmier dattier. La longueur et le diamètre moyens sont d'environ 260 nm et 6,1 nm, respectivement.

Dans l'étude Benchikh *et al.*, (2019), les pics dans les spectres FT-IR (figure 11), peuvent être trop exploités pour l'évaluation du type de cristallinité CNW (cellulose 1, cellulose 2 ou mélange de deux composants et de la cellulose amorphe).

La plage 1500-850 cm^{-1} en dit long sur la structure cristalline du matériau cellulosique, les pics à 1420-1430 cm^{-1} et 893-897 cm^{-1} sont très importants pour élucider la structure cristalline et à partir de la cotation spectrale (1420/893 cm^{-1}) et (1375/2900 cm^{-1}).

De cette analyse, on peut déduire que selon les spectres FT-IR de la pâte du bois traité, la méthode 4 présente une cristallinité élevée (le pic à 850-1500 et 1420-1430 cm^{-1}) alors qu'ils sont très faibles dans la méthode 3 voire inexistant dans les FT-IR.

Alotaibi *et al.* (2019), donnent la composition de quatre types de fibres obtenues à différent partir de palmier, on peut conclure qu'il existe une différence notable entre l'échantillon de fibre en ce qui concerne les quantités de cellulose et lignine et hémicellulose et en comparaison, la composition chimique d'autres matériaux ligneux et non ligneux.

Cependant on peut noter que la teneur en hémicellulose du DPTRF est relativement faible, et la plus élevée est dans Feuilles Palmier dattier de Tunisie.

Comparée à d'autres échantillons ; la teneur en lignine du DPFBS est relativement faible. On remarque que la quantité de cellulose était élevée dans DPFBS, et on note le pourcentage le plus bas est dans les feuilles Palmier dattier. On conclue que la cellulose peut être facilement extraite de DPFBS.

Dans le tableau 15 des résultats d'Alotaibi *et al.* (2019), les températures de décomposition thermique correspondent à une perte de poids de 5 % d'environ 196 °C pour le DPTRF et DPFBS et le DPLST, d'environ 254°, étaient proches des T°C de début de dégradation thermique des échantillons, respectivement. Cela indiquait que la tolérance initiale à la chaleur du DPFBS et le DPLST, d'environ 254°C, étaient proches des températures de début dégradation thermique des échantillons, respectivement.

De ce fait la tolérance initiale à la chaleur du DPFBS et du DPLST était relativement supérieure à celle du DPTRF et du DPLST. Il a été signalé que lorsque les températures atteignent la plage de 170°C à 600°C, la lignine et d'autres matériaux inorganiques se dégradent après la décomposition thermique des hémicellulose de la cellulose et des matériaux volatils.

L'analyse XRD (figure 12), est le plus souvent utilisée pour déterminer le pourcentage de cristallinité et la structure des échantillons étudiés, elle montre les diagrammes XRD d'échantillons de fibres DPLSH, DPTRF, DPLST, DPFBS. Les fibres du palmier dattier sont essentiellement composées de la lignine, l'hémicellulose, la cellulose.

Dans le travail de Tedjani *et al.*, (2020) ;

La (figure 13), La cellulose isolée montre que les pics autour de 12.64° , 22.51° , 34.33° correspondent à la cellulose vers et aux plans cristallographiques

Les observations SEM (figure 14), révèlent que l'échantillon s'est également avéré être des agrégats de microfibrilles uniformes d'environ 2 à 10 µm de largeur, ceci indique que l'hydrolyse acide n'a pas conduit à l'acquisition de nano fibres.

Derrouiche *et al.*, (2015), montrent que les diagrammes de rayons X (figure 15), de la fibre ultime de palmier dattier sont illustrés à la figure 1 les pics de diffraction des fibres linocellulosiques sont à $2\theta = 14.67^\circ$, 16.39° et 22.53° pour (110), et (200) sont caractéristiques de la cellulose. La lignine et les hémicelluloses sont plus amorphes que la cellulose mais les zones amorphes offrent plus de volume libre qui peut stocker plus d'eau.

Dans la même étude, les résultats MEB (figure 16), les études de caractéristiques morphologiques permettent d'assurer une comparaison entre différentes méthodes d'extraction. Elles donnent que les fibres contiennent que certaines quantités de lignine.

On remarque dans le tableau 10 ; la quantité de la cellulose dans les rachis ; les feuilles et fibres ; la plus élevée est dans les rachis. Il est facile d'isoler la cellulose dans les rachis.

Figure 17 (A) : représente la décomposition de la cellulose isolée, elle se produit à des températures comprises entre 150 et 500°C selon la source de biomasse. La conversion cinétique thermique était également plus favorable pour le rachis que pour les parties folioles ; par exemple à $T=300^\circ\text{C}$ la conversion est de 52% de foliole et 62 % pour le rachis.

Figure 17 (B): montre les régimes de décomposition thermique des α -celluloses fabriquées en laboratoire et comme réalisées sont : $T^\circ = 30$ à 500°C telle qu'obtenues sous différentes vitesses de chauffage.

La microscopie électronique à balayage a été utilisée pour détecter les différences entre la morphologie de surface des échantillons de cellulose isolée du rachis, de folioles et des fibres de la biomasse du palmier dattier dans cette l'étude de Galiwango *et al.* (2019).

La figure 18 (a) et (c) montrent que l'isolement cellulosique a produit des structures de macro fibrilles squelettiques en forme de bâtonnets avec une épaisseur et diamètres intra – fibrillaires comparables.

Les micrographies SEM de la cellulose de feuillet de la biomasse du palmier dattier ont des formes et des distributions de microfibrilles non uniformes avec des morphologies entrelacées, il en va de même pour les α -cellulose commerciales.

Figure (18) ;(a) et (d) : montrent les images MEB de α -cellulose isolées des différentes parties des déchets du palmier dattier et de l' α -cellulose dérivées du rachis ,des folioles et des parties fibreuses de la biomasse du palmier dattier. Elles ont des formes et des distributions de micro -fibrilles non uniforme avec morphologie entrelacées. Il en va de même pour les α -cellulose commerciales. Cependant, pour les α -cellulose isolées des déchets du palmier dattier avaient des agglomérats nodulaires qui sont observés dans les images MEB obtenues par Alawar *et al.*, (2009), alors qu'aucun agglomérat nodulaire n'est observé par Ovando-Medina *et al.*, (2015).

On conclut que l'analyse MEB de fibre de cellulose a révélé des morphologies de surface en forme de bâtonnets, la cellulose dérivée de la fibre du palmier dattier a donc un potentiel dans la production de nanocristaux de la cellulose

D'après les résultats obtenus par la méthode chimique, nous constatons que plus la concentration de NCl est élevée, plus le pourcentage de la cellulose extraite est élevé, et d'autre part, la solubilité de la lignine et de l'hémicellulose augmente.

Nous avons également obtenu la meilleure température pour extraire la cellulose des parties du palmier dattier à 100°C pendant 2 heures.

La différence dans les fractions utilisées pour extraire la cellulose du palmier dattier nous donne différents pourcentages de cellulose, et le meilleur pourcentage de cellulose extrait est dans la palme.

Conclusion

Conclusion

L'objectif de notre mémoire consiste à l'étude différentes méthodes extraction de la cellulose dans différentes parties du palmier dattier, dans le but de profitez des déchets du palmier dattier.

La synthèse des différents travaux consultés de la partie expérimentale de notre travail, montre que la méthode mécanique donne des résultats qui consiste en : différence de La méthode d'extraction de la cellulose a affecté la densité des fibres.

Nous avons trouvé le pourcentage le plus élevé de la cellulose sur le palmier dattier dans les résultats d'Elseify *et al.*, (2020), qui a atteint 69,31%, et cela à une température de 100° C et une concentration de 5% de NaOH pendant 3 heures.

De plus l'extraction chimique de la cellulose montre que plus la concentration de NaOH est élevée, plus le pourcentage de la cellulose extrait est élevé. D'autre part, la solubilité de la lignine et de l'hémicellulose augmente aussi.

Nous avons constaté aussi que la meilleure température pour extraire la cellulose est à 100° C pendant 2 heures, 200ml de HCl 0.1M. L'extraction de la cellulose dans les différentes parties utilisées du palmier dattier nous donne de différents pourcentages de la cellulose, et le meilleur pourcentage extrait est au niveau de la palme.

Les résultats de la densité des fibres végétales du palmier 1.324 g/cm³ dans les rachis (Elseify *et al.*, 2020).

Quand à la méthode biologique nous constatons que la biodégradation avec des champignons et des enzymes fonctionne dans tous les types du bois, ce qui contribue à la facilité d'extraction de la cellulose. Nous avons également noté que pour la cellulose, la lignine et l'hémicellulose ; elles possèdent une enzyme et des champignons spéciaux pour les biodégrader. L'inconvénient de cette méthode est que les champignons doivent êtres préparés à l'avance (élevage), donc du temps pour obtenir la cellulose.

De ce fait ; nous concluons que la meilleure méthode d'extraction de la cellulose est la méthode chimique mais avec des précautions à prendre lors de l'utilisation des produits chimiques, en particulier à des concentrations élevées.

Par ailleurs, la méthode mécanique demande des machines lourdes et chères et une difficulté à obtenir de la cellulose pure, mais uniquement des fibres.

Finalement, d'autres travaux et études peuvent êtres suggérés pour étudier d'autres aspects des méthodes de séparation de la cellulose dans le but de les développer et d'optimiser l'utilisation des déchets du palmier dattier.

Bibliographie

Références Bibliographiques

-Abani S., Kriker A., & Bali A. (2008). Effect of curing and mix design types on performance of date palm fibres reinforcement concrete under hot dry environment. Inorganic bonded-fiber composites conference (IIBCC), Université de Ouragla, Algérie, pp. 254-259.

-Agopyan V., Savastano Jr. H., John V. M., Cincotto M. A. (2005). Developments on vegetable fibre-cement, based materials in São Paulo, Brazil: an overview. *Cement and Concrete Composites*, 27(5), pp.527-536.

-Alaoui S. (2005). La conduite technique du palmier dattier (*Phoenix Dactylifera L.*). Estem, Paris, pp.102-112.

-Alawar A., Hamed A. M., & Al-Kaabi K. (2009). Characterization of treated date palm tree fiber as composite reinforcement. *Composites Part B: Engineering*, 40(7), pp. 601-606.

-Amellal C. H. (2008). Aptitudes technologiques de quelques variétés communes de dattes: formulation d'un yaourt naturellement sucré et aromatisé. Thèse de doctorat, LRTA, Université Boumerdes, Algérie, 186 p.

-Benamara S., Chibane H., Boukhelifa M., (2004). Essai de formulation d'un yaourt naturel aux dattes, *Revue Industrie Agricole et Alimentaire*, Actualités technique et scientifiques, No ½ mensuel, Algérie, pp. 11-14.

-Benamara S., Gougam H., Amellal C. H., Djouab A., Benahmed A. Et Noui Y., (2007). Some Technologic Proprieties of Commun date (*Phoenix dactylifera L.*) Fruits. *American Journal of Food Technologies*, vol 8. pp. 1557-4571.

-Bendahou A., Dufresne A., Kaddami H., Habibi Y. (2007). Isolation and structural characterization of hemicelluloses from palm of *Phoenix dactylifera L.* *Carbohydrate Polymers*, France, revue, 13 octobre 2006, 68(3), pp. 601-608.

-Benzouche S. E. (2012). Analyse de la filière dattes en Algérie: constats et perspectives de développement. Etude de cas de la daïra de Tolga. Thèse Doctorat, ENSA, El Harrach, Alger, 470p.

-Biagiotti J. M. K. J., Puglia D., Kenny J. M. (2004). A review on natural fibre-based composites-part I: structure, processing and properties of vegetable fibres. *Journal of Natural Fibers*, 1(2), 37-68. vol. 1, pp. 37-68.

-Boughnou N. (1988). Essai de production de vinaigre à partir de déchets de dattes. Thèse magister, INA. El- Harrach, Alger, p82.

-Carmen S ., 2009. Lignocellulosic residues: Biodegradation and bioconversion by fungi. Research Centre for Biological Sciences, Universidad Autónoma de Tlaxcala, Tlaxcala, México, 185-194.

-Chelghou M. (2012). Essai de production de biomasse "*Saccharomyces cerevisiae*" à partir des dattes "Ghars". Mémoire d'Ingénieur. Département d'agronomie. Batna, 52 p.

-Dias de Moraes P. (2003). Influence de la température sur les assemblages bois. Thèse Doctoral dissertation, Nancy 1, France, 211p.

-Djoudi T. (2019). Elaboration et caractérisation de composites bio-sourcés à base de fibres de palmier dattier. Thèse Doctoral, Université Mohamed Khider-Biskra, 161p.

-Djoudi T., M. Hecini., D. Scida., D. Youcef., et B. Guerira., (2018). Caractérisation physique et mécanique du bois et des fibres issus d'une palme mûre de palmier dattier. *Matériaux & Techniques*, revue, janvier 2018, 106(4), pp. 403.

-El - Nadjar M. (1998). Contribution à l'étude de quelques caractéristiques morphologiques et biochimiques du fruit de quelques cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.) dans la vallée de l'Oued - Righ. Mémoire d'ing. agr., INFS / AS, Ouargla.

-Espiard E. 2002. Introduction à la transformation industrielle des fruits. Ed. Lavoisier, France, pp. 147-155.

-Gilles P. (2000). Cultiver le palmier dattier. Ed. La librairie du Gridao, France, pp. 916.

-Girard. (1962). Note sur le palmier dattier. C.F.P.A. de Touggourt, 133 p.

-Hanachi S., Khitri D., Benkhalifa A., Brac de Perrière, R. A., 1998. Inventaire variétal de la palmeraie algérienne, Algérie, 225 p.

-Idder M. A. (1992). Aperçu bioécologique sur *Parlatoria blanchardi* Targ. Homoptera, Diaspididae) en palmeraies de Ouargla et utilisation de son ennemi *Pharoscygnus semiglobosus* Karsh. (Coleoptera, Coccinellidae) dans le cadre d'un essai de lutte biologique. These de magister en sciences agronomiques, INA El-Harrach, Alger, 102 p.

-Jebrane M. (2009). Fonctionnalisation chimique du bois par transesterification des esters d'enol. Thèse Doctoral, Université des Sciences et Technologies Bordeaux1, France, 155 p.

-Jodin P., Association pour la Recherche sur le Bois en Lorraine. (1994). Le bois matériau d'ingénierie, Arbolor, 433 p.

-Kendri S. (1999). Caractéristiques biochimiques de la biomasse « *Saccharomyces cerevisiae* » produite à partir des dattes « Variété Ghars ». Mémoire d'ingénieur agronome. Université d'agronomie Batna, 62 p.

-Kriker A., Debicki G., Bali A., Khenfer M. M., &Chabannet M. (2005). Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate. *Cement and Concrete Composites*, 27(5), pp. 554-564.

-Ledhem A. (1997). Contribution à l'étude d'un béton de bois: mise au point d'un procédé de minimisation des variations dimensionnelles d'un composite argile-ciment-bois. Thèse Doctoral, Lyon, INSA, France, pp. 255.

-Maatalah S. (1970). Contribution à la valorisation de la datte algérienne. Mémoire d'ingénieur en agronomie, IN À., Alger, 113 p.

-Mimouni Y. (2015). Développement de produits diététiques hypoglycémiant à base de dattes molles variété «Ghars», la plus répandue dans la cuvette de Ouargla. Thèse Doctorat en biologie, Université Ouargla, 169p.

-Mohammad D. H. B. (2007). The Improvement of Interfacial Bonding, Weathering and Recycling of Wood Fibre Reinforced Polypropylene Composites. Thèse de doctorat, University of Waikato, Hamilton, New Zealand, 194 p.

-Moutee M. (2006). Modélisation du comportement mécanique du bois au cours du séchage, Thèse de doctorat, Université Laval, pp. 194.

-Munier P. (1973). Le palmier dattier. Ed. Maisonneuve, Paris, 221 p.

-Munier P. (1974). Le problème de l'origine du palmier dattier et l'Atlantide *Revue Fruits*. vol. 29, n ° 3, (I.F.A.C.), pp. 233-238.

-Mustapha M. (2013). Mise en œuvre, caractérisation et modélisation matériaux composites: Polymère thermoplastique renforcé par des fibres de Doum, Thèse doctorat, Université Mohamed V- Ag dal Rabat, 188 p.

-Nenonene A. (2009). Élaboration et caractérisation mécanique de panneaux de particules de tige de kénaf et de bioadhésifs à base de colle d'os, de tannin ou de mucilage. Thèse Doctoral, National Polytechnique de Toulouse, France, 217 p.

-Neto C. P., Seca A., Fradinho D., Coimbra M. A., Domingues F., Evtuguin D., Cavaleiro J. A. S. (1996). Chemical composition and structural features of the macromolecular components of *Hibiscus cannabinus* grown in Portugal. *Industrial Crops and Products*, University of Aveiro, Portugal, 5(3), pp. 189-196.

-Nixon R. W. (1966). Growing dates in the united states - Agriculture information Bulletin n ° 207. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, pp. 3-38.

-Ould El-Hadj M.D., Sebihi A.H., Siboukeur O. (2001). Qualité hygiénique et caractéristique physico-chimique du vinaigre traditionnel de quelques variétés de dattes d'Ouargla. Revue Energie Renouvelable, Production et valorisation-Biomasse, pp. 87-92.

-Pantzaris T. (1988). Utilisation d'huile de palmier. PORIM/ITERG/IRHO, Pans. 15 avril 1988, Oléagineux, Vol. 44, n° 6 - Juin 1989.

-Peyron G. (2000). Cultiver le palmier-dattier, Estem, Editions Quae, 112 p.

-Ragoubi M. (2010). Contribution à l'amélioration de la compatibilitéinterfaciale fibres naturelles/matrice thermoplastique via un traitement sous décharge couronne. Thèse Doctoral dissertation, Nancy 1, France, 201 p.

-Rowell R. M. (2005). Handbook of woodchemistry and wood composites. CRC press, 487 p.

-Rowell R. M., &Rowell J. (1996). Paper and composites from agro-basedresources. CRC press.

-Sarkanen K. V., Ludwig C. H. And Editors. (1971). Lignins : Occurrence and Formation, Structure, Chemical and MacromolecularProperties, and Utilization. Interscience, Californie, Revue, 22 avril 2008, p. 896.

-Sbiai A. (2011). Matériaux composites a matrice epoxydechargee par des fibres de palmier dattier. Effet de l'oxydation au tempo sur les fibres. Thèse doctorat, Ecole doctorale Matériaux de Lyon, France, 250 p.

-Siboukeur O. (1997). Qualité nutritionnelle, hygiénique et organoleptique du jus de dattes. Thèse de Magister, INA, El-Harrach, Alger, 106 p.

-Sidi ahmed C., Manon M. (2018). Valorisation des produits et sous-produits du palmier dattier : un savoir –faire des femmes de tidjikja qui se perd. Réseau Associatif de Développement Durable des Oasis, FAO - Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture, Centre d'Actions et de Réalisations Internationales, TENMIYA - Centre des Innovations pour le Développement, Mautritanie.

-Terral J. F. Origines et domestication du palmier dattier (*Phoenix dactylifera* L.). État de l'art et perspectives d'étude, Rev. D'ethnoécologie, pp. 15.

-Tlijani M. (2016). Contribution à la caractérisation thermophysique de matériaux bio-isolants: valorisation des déchets de bois de palmier. Thèse Doctoral, Université Paris-Est, France, 185 p.

-Ville H. (2011). Matériaux composites fibres naturelles/polymère biodégradables ou non. Thèse Doctoral, Ecole des Mines d'Alès, France, 190 p.

-Zango O. (2016). Agro biodiversité et élaboration d'un modèle architectural du palmier dattier au Sahel. Cas du Niger, Thèse de Doctorat, Université de Montpellier, p. 203.

Annexes

Annexe 1 les articles inclus dans la partie expérimentale

-Alotaibi M., Alshammari B. A., Saba N., Alothman O. Y., Sanjay M. R., Almutairi Z., Jawaid M. (2019). Characterization of natural fiber obtained from different parts of date palm tree (*Phoenix dactylifera* L.). Life Science and Environment Research Institute, King Abdulaziz City for Science & Technology, P.O. Box 6086, Riyadh 11442, Saudi Arabia, 69-76.

-Benchikh L., Merzouki A. (2019). Comparative Study of Extraction of Cellulose Nanocrystals (CNC) from Wood Pulp. Laboratoire de Physico-Chimie des Hauts Polymères, Département de Génie des Procédés, Faculté de Technologie, Université Ferhat Abbas Sétif 1, Algérie, 62-69.

-Bendahou A., Kaddami H., Raihane M., Habib Y., Dufresne A. (2009). Ecole Française de Papeterie et des Industries Graphiques, Institut National Polytechnique de Grenoble (EFGP-INPG), BP 65, 38402 Saint-Martin d'Hères Cedex, France, 54(7), 571-575.

-Derrouiche I., Ben Marzoug I., Sakli F., Roudesli S. (2015). Study of Extraction and Characterization of Ultimate Date Palm Fibers. Textile Engineering Laboratory of High Institute of Technology Studies in Ksar Hellal, Monastir, Tunisia, 4(5-1): 7-14.

-Djoudi T., Hecini M., Scida D., Djebloun, Y., Djemai H. (2021). Physico-mechanical characterization of composite materials based on date palm tree fibers. Journal of Natural Fibers, Algérie, 18(6), 789-802.

-Elseify L. A., Midani M., Hassanin A. H., Hamouda T., Khiari R. (2020). Long textile fibres from the midrib of date palm: Physicochemical, morphological, and mechanical properties. Industrial crops and products, Egypte, 151, 112466.

-Galiwango E., Nour S. A., Al-Marzouqi A. H., Mahdi M. A., Abbas A. K., (2019). Isolation and characterization of cellulose and α -cellulose from date palm biomass waste. Department of Chemical and Petroleum Engineering, United Arab Emirates University, P. O. Box 15551, Al Ain, United Arab Emirates .02937.

-Hassan M. L., Bras J., Hassan E. A., Silard C., Mauret E. (2014). Enzyme-assisted isolation of microfibrillated cellulose from date palm fruit stalks. *Industrial Crops and Products*, Egypte, 55, 102-108.

-Ladhar A., Arous M., Kaddami H., Ayadi Z., Kallel A. (2017). Correlation between the dielectric and the mechanical behavior of cellulose nanocomposites extracted from the rachis of

the date palm tree. In IOP conference series: materials science and engineering, Tunisia, vol. 258, No. 1, p. 012001.

-Mahdi E., Ochoa D. R. H., Vaziri A., Dean A., Kucukvar M. (2021). Khalasa date palm leaf fiber as a potential reinforcement for polymeric composite materials. *Composite Structures*, Qatar, 265, 113501.

-Mehanny S., Abu-ElMagd E. E., Ibrahim M., Farag M., Gil-San-Millan R., Navarro J., El-Kashif E. (2021). Extraction and characterization of nanocellulose from three types of palm residues. *Journal of materials research and technology*, Egypt, 10, 526-537.

-Monrroy M., Ortega I., Ramírez M., Baeza J., Freer J. (2011). Structural change in wood by brown rot fungi and effect on enzymatic hydrolysis. *Enzyme and Microbial Technology*, Chile, 49(5), 472-477.

-Shaikh H. M., Anis A., Poulouse A. M., Al-Zahrani S. M., Madhar N. A., Alhamidi A., & Alam M. A. (2021). Isolation and characterization of alpha and nanocrystalline cellulose from date palm (*Phoenix dactylifera* L.) trunk mesh. *Polymers*, King Saud University, Saudi Arabia, 13(11), 1893.

-Supian A.B.M., Jawaid M., Rashid B., Fouad H., Saba N., Dhakal H. N., Khiari R. (2021). Mechanical and physical performance of date palm/bamboo fibre reinforced epoxy hybrid composites. *Journal of materials research and technology*, Malaysia, 15, 1330-1341.

-Tedjani C., Ben Mya O., Rebiai A. (2020). Isolation and characterization of cellulose from date palm tree spathe sheath. Department of Chemistry, Faculty of Exact Sciences, University of El Oued, El Oued, Algeria, 100307.

Résumés

ملخص

بعد مختلف الابحاث المتحصل عليها ، قمنا بتجميع المراحل المختلفة لطرق استخلاص السليلوز وهي : الطريقة البيولوجية، الميكانيكية والكيميائية. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها من هذه الطرق أن الطريقة البيولوجية لاستخراج السليلوز كانت 45.4%، الطريقة الميكانيكية 69.31% و الطريقة الكيميائية 74.70%. تتكون المعالجة الكيميائية لعزل السليلوز من أجزاء مختلفة من النخيل مع حمض HCL وعند درجة حرارة 100 °C لمدة ساعتين. كانت هذه أفضل نتيجة. تم توضيح التمييز عن طريق TGA، spectroscopie ، و FT-IR ، ومسح الإلكترون SEM و XRD حيود المجهر الإلكتروني لإظهار تبلور عالي للسليلوز ، مع إزالة اللجنين والهيميسليلوز.

الكلمات المفتاحية: نخيل التمر؛ السليلوز ؛ طرق الاستخلاص ؛ طريقة بيولوجية ؛ طريقة كيميائية.

Résumé

Après les synthèses des recherches obtenues nous avons synthétisé les différentes étapes des méthodes d'extraction de la cellulose et qui sont : la méthode biologique ; mécanique et chimique. Les résultats obtenus de ces méthodes ont montré que la méthode biologique d'extraction de la cellulose était de 45,4 % , la méthode mécanique était de 69,31 % et la méthode chimique était de 74,70%. Le traitement chimique consistant à isoler la cellulose de différentes parties de palmier dattier à HCl et à une température de 100° C pendant 2 h. C'était le meilleur résultat. La distinction a été montrée par TGA, spectroscopie, FT-IR, SEM à balayage d'électrons et diffraction au microscope électronique XRD une cristallinité élevée de la cellulose, tout en éliminant la lignine et l'hémicellulose.

Mots clés : Palmier dattier ; cellulose ; méthodes d'extraction ; méthode biologique ; méthode chimique.

Abstract

After synthesizing the research obtained, we have synthesized the different stages of the cellulose extraction methods, which are: the biological method; mechanical and chemical. The results obtained from these methods showed that the biological method of cellulose extraction was 45.4%, the mechanical method was 69.31% and the chemical method was 74.70%. isolate the cellulose from different parts of date palm in HCl and at a temperature of 100° C. for 2 h. It was the best result. The distinction was shown by TGA, spectroscopy, FT-IR, scanning electron SEM and XRD electron microscope diffraction to show high crystallinity of cellulose, while removing lignin and hemicellulose.

Keywords: Date palm; cellulose; extraction methods ; biological methode ; chemical methode.