

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne Démocratique et Populaire  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed Khider – Biskra  
Faculté des Sciences et de la technologie  
Département : Génie Mécanique  
Réf :.....



جامعة محمد خيضر بسكرة  
كلية العلوم والتكنولوجيا  
قسم: الهندسة الميكانيكية  
المرجع: .....

Thèse présentée en vue de l'obtention  
Du diplôme de  
**Doctorat LMD en Génie Mécanique**  
Spécialité (Option) : Matériaux et Structures

**Modélisation du comportement mécanique des  
constituants du palmier dattier**

Présentée par :

**Taher GUETTAF TEMAM**

Soutenue publiquement le .....

**Devant le jury composé de**

Pr. MOUMMI Nouredine	Professeur	Président	Université de Biskra
Dr. DERFOUF Semcheddine	Maitre de conférences A	Encadreur	Université de Biskra
Pr. HADID Mohamed	Professeur	Co-Encadreur	Université de Biskra
Pr. BRIOUA Mourad	Professeur	Examineur	Université de Batna 2
Dr. BELGHAR Nouredine	Maitre de conférences A	Examineur	Université de Biskra

## REMERCIEMENTS

Je dois tout d'abord remercier ALLAH, pour m'avoir donné la santé et la force pour accomplir ce travail.

Le moment est venu d'exprimer toute ma reconnaissance à mon directeur de thèse Monsieur **DERFOUF Semcheddine**, maître de conférences à l'Université de Biskra, pour m'avoir confié ce travail, pour ses précieux conseils tout au long de la réalisation de ce travail.

Je le remercie aussi co-directeur de thèse Monsieur **HADID Mohamed**, Professeur à l'Université de Biskra pour ses idées stratégiques ce qui a permis d'obtenir des résultats de haute qualité.

Je tiens très sincèrement à remercier Monsieur **MOUMMI Nouredine**, Professeur à l'Université de Biskra, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter de présider le jury de cette thèse. Je tiens à exprimer ma gratitude aux Messieurs **BRIOUA Mourad** Professeur à l'Université de Batna et **BELGHAR Nouredine**, maître de conférences à l'Université de Biskra, d'avoir acceptés d'examiner ce travail.

Parmi les enseignants, je tiens à remercier plus particulièrement mes enseignants Monsieur **ATTAF Abdallah** Professeur à l'Université de Biskra et Monsieur **BEN TEMAM Hachemi**, Professeur à l'Université de Biskra et Monsieur **PRIMA Abdelhafid** Professeur à l'Université de Biskra et Monsieur **GUERIRA Belhi** maître assistant pour leurs aides et conseils.

Je souhaite ensuite remercier tous les étudiants de master et de licence que j'ai eu l'occasion de travailler avec eux dans le cadre des projets de fin d'études (PFE) ces dernières années. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes remerciements à la famille du département de Génie Mécanique de l'Université de Biskra en particulier monsieur **Kamal AOUAS**, **Tarek DJOUDI** et docteur **Houssine Djamai** tous les directeurs et les membres des laboratoires LGEM et LGM.

Je tiens également à remercier mes collègues, mes amis et mes frères Docteur **BOUZAHER Med Taher**, **GRINE Ramzi**, **DJADI Adnan**, **ZEROUALI Mohamed**, **HADJI Fares** et **BEN ALIA Abdsattar**,

Nous remercions toutes les personnes qui nous ont aidés ne serait-ce qu'avec un mot d'encouragement.



<b>REMERCIEMENTS .....</b>	<b>I</b>
<b>TABLE DES MATIERES .....</b>	<b>II</b>
<b>LISTE DES FIGURES.....</b>	<b>VI</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX.....</b>	<b>X</b>
<b>NOMENCLATURE.....</b>	<b>XI</b>
<b>RESUME.....</b>	<b>XII</b>
<b>Introduction Générale.....</b>	<b>1</b>
<u><i>Chapitre I / Généralités sur le bois</i></u>	
<b>I. Généralités sur le bois :.....</b>	<b>5</b>
<b>I.1 Types des matériaux naturels :.....</b>	<b>5</b>
<b>I.1.1 Plantes annuelles : .....</b>	<b>5</b>
<b>I.1.2. Arbres : .....</b>	<b>5</b>
<b>I.1.2.1. Tronc d'arbre :.....</b>	<b>5</b>
<b>I.1.3 Le bois :.....</b>	<b>6</b>
<b>I.2 Structure macroscopique du bois :.....</b>	<b>6</b>
<b>I.2.1 L'Ecorce : .....</b>	<b>6</b>
<b>I.2.2 Le Liber :.....</b>	<b>6</b>
<b>I.2.3 Le Cambium: .....</b>	<b>6</b>
<b>I.2.4 L'Aubier :.....</b>	<b>6</b>
<b>I.2.5 Le Duramen :.....</b>	<b>6</b>
<b>I.2.6 La Moelle: .....</b>	<b>6</b>
<b>I.3 Le plan ligneux des résineux et feuillus :.....</b>	<b>7</b>
<b>I.4 Fibre végétale :.....</b>	<b>8</b>
<b>I.4.1 Définition de la fibre végétale :.....</b>	<b>8</b>
<b>I.4.2 Classification des fibres végétales :.....</b>	<b>9</b>
<b>I.4.3. Morphologie de la fibre végétale :.....</b>	<b>9</b>
<b>I.4.4 Structure de la fibre végétale :.....</b>	<b>11</b>
<b>I.4.5 Composition chimique des fibres végétales :.....</b>	<b>12</b>
<b>I.5. Effet de la morphologie, de la structure et de la composition chimique sur les propriétés mécaniques de la fibre végétale :.....</b>	<b>13</b>

<b>I.5.1</b>	Effet de la morphologie des fibres végétales sur les propriétés mécaniques :.....	<b>13</b>
<b>I.5.2</b>	Effet de la structure des fibres végétales sur les propriétés mécaniques :.....	<b>14</b>
<b>I.5.3</b>	Effet de la composition chimique des fibres végétales sur leurs propriétés mécaniques :.....	<b>15</b>
<b>I.6</b>	Effet des caractéristiques des fibres végétales sur les propriétés des biocomposites .....	<b>15</b>
<b>I.6.1</b>	Effet de la morphologie des fibres végétales biocomposites :.....	<b>16</b>
<b>I.6.2</b>	Effet de la structure des fibres végétales des biocomposites :.....	<b>16</b>
<b>I.6.3</b>	Effet de la composition chimique des fibres végétales sur le comportement mécanique des biocomposites :.....	<b>17</b>
<b>I.6.4</b>	Effet des propriétés mécaniques des fibres végétales des biocomposites :.....	<b>18</b>

**Chapitre II / Généralités sur le palmier dattier**

<b>II.1</b>	Généralités sur le palmier dattier :.....	<b>20</b>
<b>II.2.</b>	Variétés de palmier dattier en Algérie :.....	<b>20</b>
<b>II.3</b>	Etude morphologique du palmier dattier :.....	<b>21</b>
<b>II.3.</b>	Parties constituants du palmier dattier :.....	<b>22</b>
<b>II.3.1</b>	Le tronc :.....	<b>22</b>
<b>II.3.2</b>	La couronne :.....	<b>22</b>
<b>II.3.3</b>	Palme :.....	<b>23</b>
<b>II.4.</b>	Fibres du palmier dattier :.....	<b>23</b>
<b>II.5.</b>	Sous-produits de palmier dattier :.....	<b>24</b>
<b>II.5.1.</b>	Sous-produits de palmier dattier et leurs applications :.....	<b>24</b>
<b>II.5.2.</b>	Estimation du tonnage du palmier dattier et de leurs sous produits :.....	<b>25</b>
<b>II.6</b>	Synthèse des travaux réalisés sur le bois du palmier dattier :.....	<b>25</b>
<b>II.6.a</b>	Influence du taux de fibres (palmier dattier et paille) sur les résistances mécaniques en flexion : .....	<b>29</b>
<b>II.6.b</b>	Influence du taux de fibres (de palmier dattier et de paille) sur les résistances mécaniques en mode compression :.....	<b>30</b>

**Chapitre III / Equipements utilisés**

<b>III A.</b>	Les équipements utilisés :.....	<b>37</b>
<b>III.A.1</b>	Le Microscope optique :.....	<b>37</b>
<b>III.A.2</b>	La Balance électronique :.....	<b>37</b>
<b>III.A.3</b>	L'Etuve de séchage pour la déshumidification:.....	<b>38</b>
<b>III.A.4</b>	Machine des essais de traction :.....	<b>38</b>

<b>III.A.4.1 Mécanisme conçu pour le maintien des éprouvettes de bois :</b> .....	<b>39</b>
<b>A. Partie de fixation Mâle du spécimen de traction :</b> .....	<b>40</b>
<b>B. Partie assurant le glissement (Femelle) :</b> .....	<b>41</b>
<b>III B. Les techniques expérimentales utilisées :</b> .....	<b>42</b>
<b>III. B. 1-La masse volumique :</b> .....	<b>42</b>
<b>III. B.1.1 Préparation du spécimen :</b> .....	<b>42</b>
<b>III.B.2. La technique de séchage :</b> .....	<b>43</b>
<b>III.B.2.1 Méthode de séchage :</b> .....	<b>43</b>
<b>III.B.2.2 Préparation des spécimens :</b> .....	<b>43</b>
<b>III. B. 3 Technique d'absorption :</b> .....	<b>44</b>
<b>III.B.3.1 Absorption le bois du régime de dattes :</b> .....	<b>45</b>
<b>III.B.3.2 Préparation des spécimens :</b> .....	<b>45</b>
<b>III.B.3.1.a Solution proposée :</b> .....	<b>45</b>
<b>III. B. 4 Conception du dispositif de correction des éprouvettes de traction :</b> .....	<b>46</b>

**Chapitre IV : Résultats & Interprétations**

<b>A / RESULTATS DES OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES :</b> .....	<b>50</b>
<b>IV .1 Caractérisation du bois du regime de datte :</b> .....	<b>50</b>
<b>IV. 2 Observations microscopiques du bois du régime (selon la coupe transversale) :</b> .....	<b>50</b>
<b>IV. 3 Préparations des spécimens :</b> .....	<b>51</b>
<b>IV.3. a) La coupe longitudinale :</b> .....	<b>51</b>
<b>IV.3. b) La coupe transversale :</b> .....	<b>52</b>
<b>IV.4 Ecrasement du bois du régime de datte humide :</b> .....	<b>53</b>
<b>IV.5 Extraction des fibres :</b> .....	<b>55</b>
<b>IV.6 La PALME:</b> .....	<b>55</b>
<b>IV.6.1 Le PETIOLE :</b> .....	<b>55</b>
<b>IV.6.1.a) Coupe longitudinal du petiole :</b> .....	<b>55</b>
<b>IV. 6.1.b) Coupe transversal du pétiole :</b> .....	<b>56</b>
<b>IV.6.2 Le RACHIS :</b> .....	<b>57</b>
<b>IV.6.2.a) La coupe longitudinale :</b> .....	<b>57</b>
<b>IV.6.2.b) La coupe transversale :</b> .....	<b>57</b>
<b>IV.7 La variation des diamètres des fibres pour un pas de distance entre les fibres :</b> .....	<b>58</b>
<b>IV.7.1 La variation des diamètres des différentes couches :</b> .....	<b>58</b>
<b>IV.7.2 Préparations des spécimens pour l'observation :</b> .....	<b>58</b>

<b>B / RESULTATS DES EVALUATIONS ET CALCULS DE DIAMETRE DES FIBRES</b>	<b>..59</b>
<b>a- Bois de Deglet Nour</b>	<b>.....59</b>
<b>A. Diamètres des Fibres</b>	<b>.....59</b>
<b>B. Variation de la distance entre les fibres</b>	<b>.....60</b>
<b>b- Bois d'El Ghers</b>	<b>.....61</b>
<b>A. Diamètres des fibres</b>	<b>.....62</b>
<b>B. Variation de la distance entre les fibres</b>	<b>.....62</b>
<b>c- Bois de Mech-Degla</b>	<b>.....63</b>
<b>A. Diamètres des fibres</b>	<b>.....63</b>
<b>B. Variation de la distance entre les fibres</b>	<b>.....64</b>
<b>IV.8 La composition de la matière</b>	<b>.....65</b>
<b>IV.8.1 Calcul des composants fibres et matrices</b>	<b>.....65</b>
<b>a) Bois de Deglet Nour</b>	<b>.....66</b>
<b>A. Calcul de la section globale</b>	<b>.....67</b>
<b>B. Calcul de la section occupée par les fibres</b>	<b>.....67</b>
<b>b) Pour le bois d'El Ghers</b>	<b>.....69</b>
<b>c) Pour le bois de Mech-Degla</b>	<b>.....71</b>
<b>C / RESULTATS DES EVALUATIONS ET CALCULS DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES</b>	<b>.....75</b>
<b>Introduction</b>	<b>.....75</b>
<b>IV.9 -La masse volumique</b>	<b>.....75</b>
<b>IV.9.1 Préparation du spécimen</b>	<b>.....75</b>
<b>IV.9.2 Masse volumique du bois de régime de datte de Deglet Nour</b>	<b>.....76</b>
<b>IV.9.3 Masse volumique de bois de la grappe du palmier dattier d'EL Ghers</b>	<b>.....78</b>
<b>IV.9.4 Masse volumique de bois de la grappe du dattier de Mech Degla</b>	<b>.....80</b>
<b>IV.9.5 Comparaison entre les variétés étudiées</b>	<b>.....81</b>
<b>IV.10 Taux d'humidité</b>	<b>.....83</b>
<b>IV.10.1 la technique de séchage</b>	<b>.....83</b>
<b>IV.10.2 Méthode de séchage</b>	<b>.....84</b>
<b>IV.10.3 Préparation des spécimens</b>	<b>.....85</b>
<b>IV.10.3.1 Étude le taux de l'humidité pour la variété de Deglet Nour</b>	<b>.....86</b>
<b>A. Comparaison entre le taux de l'humidité des différents éléments étudiés</b>	<b>.....89</b>
<b>IV.10.3.2 Étude le taux d'humidité variété El Ghers</b>	<b>.....90</b>

A.	Étude comparative entre les différents éléments des bois du régime de datte El Ghers :.....	93
<b>IV.10.3.3</b>	<b>Étude le taux d'humidité de la variété Mech Degla :.....</b>	<b>93</b>
A.	Étude comparative entre les taux de l'humidité de différentes parties de bois du régime de Mech Degla :.....	96
<b>IV.10.4</b>	<b>Étude comparative entre les taux de l'humidité de différentes variétés de bois du régime :.....</b>	<b>97</b>
	Introduction : .....	99
<b>IV.11</b>	<b>Taux d'absorption : .....</b>	<b>99</b>
<b>IV.11.1</b>	<b>Technique d'absorption :.....</b>	<b>99</b>
<b>IV.11.2</b>	<b>Absorption le bois du régime de datte complète :.....</b>	<b>99</b>
<b>IV.11.2.1</b>	<b>Préparation des spécimens : .....</b>	<b>100</b>
<b>IV.11.2.2</b>	<b>Solution proposée : .....</b>	<b>100</b>
<b>IV.11.2.3</b>	<b>Calcul de la variation de l'absorption en fonction du temps :.....</b>	<b>101</b>
<b>IV.11.2.4</b>	<b>Comparaison entre les variétés :.....</b>	<b>102</b>
<b>IV.11.3</b>	<b>Taux d'absorption de l'eau de différentes couches :.....</b>	<b>102</b>
<b>IV.11.3.1</b>	<b>Absorption d'eau des différentes couches et variétés de bois de régime :.....</b>	<b>103</b>
<b>IV.11.3.2</b>	<b>Calcul de la variation massique du bois de régime en fonction du temps :.....</b>	<b>103</b>
<b>IV.11.3.3</b>	<b>L'absorption d'eau des différentes couches et variétés de bois de régime :.....</b>	<b>104</b>
<b>IV.12</b>	<b>CONCLUSION GENERALE &amp; PERSPECTIVES :.....</b>	<b>106</b>
<b>IV.12.1</b>	<b>Conclusion sur les observations optiques réalisées et des calculs des diamètres de fibres des différents régimes des différentes variétés de palmiers dattiers :.....</b>	<b>106</b>
<b>IV.12.2</b>	<b>Conclusion sur les taux d'absorption pour les différentes éprouvettes des différents régimes des différentes variétés de palmiers dattiers :.....</b>	<b>107</b>
<b>IV.12.3</b>	<b>Conclusion sur les taux d'humidité retrouvé pour les différentes éprouvettes des différents régimes des différentes variétés de palmiers dattiers :.....</b>	<b>107</b>
<b>IV.12.4</b>	<b>Conclusion sur les tests de tractions adoptés pour les différentes éprouvettes des différents régimes des différentes variétés de palmiers dattiers :.....</b>	<b>108</b>

## LISTE FIGURE

<b>Figure. (I.1):</b> Structure de tronc d'arbre:.....	5
<b>Figure (I.2):</b> Section transversale d'un tronc d'arbre:.....	7
<b>Figure (I.3) :</b> Plan ligneux typique des résineux:.....	8
<b>Figure (I.4) :</b> Plan ligneux typique des feuillus:.....	8
<b>Figure (I.5):</b> Variation du diamètre le long de l'axe de la fibre de lin.:.....	10
<b>Figure (I.6) :</b> Structure de la fibre végétale:.....	11
<b>Figure (I.7) :</b> Modèle de la description de structure d'une fibre végétale:.....	12
<b>Figure (I.8) :</b> Exemple de défaut structural sur une fibre de Lin:.....	14
<b>Figure (I.9) :</b> Variation du module d'Young axial avec l'angle microfibrillaire de la Fibre:.....	15
<b>Figure (II.1) :</b> Schéma morphologique de palmier dattier.:.....	22
<b>Figure (II.2) :</b> Schéma d'une palme de palmier dattier.:.....	23
<b>Figure (II.3) :</b> Observation de la fibre de surface du tronc par (MEB) :.....	23
<b>Figure (II.4) :</b> Bois d'un pétiole du palmier dattier:.....	24
<b>Figure (II.5) :</b> Observation de la fibre de Liffe du tronc par (MEB):.....	24
<b>Figure (II.6) :</b> Effet NaOH à la propriété mécanique de fibre de surface du tronc de palmier dattier.:.....	26
<b>Figure(II.7) :</b> Variations de densité en fonction de pourcentage de fibres . :.....	27
<b>Figure (II.8) :</b> Variations de densité en fonction de pourcentage de fibres.:.....	27
<b>Figure (II.9) :</b> Variations d'absorption en fonction de pourcentage de fibres:.....	28
<b>Figures (II.10):</b> Microstructure d'une fibre de palmier dattier.:.....	29
<b>Figure (II.11) :</b> Evolution des contraintes de flexion des éprouvettes de béton contenant de (0 à 06) % de fibre.:.....	30
<b>Figure (II.12) :</b> Influence du taux de fibres sur la résistance en compression.:.....	30
<b>Figure (II.13) :</b> Caractéristiques géométriques des éprouvettes du bois de tronc du palmier.:.....	31
<b>Figure (II.14) :</b> Description la branchette de datte.:.....	32
<b>Figure (II.15) :</b> Coupe longitudinale d'un morceau de tronc du palmier dattier.:.....	33
<b>Figure (II.16) :</b> Représente l'essai mécanique de la flexion.:.....	33

<b>Figure (II.17) :</b> Représente les essais mécaniques bois tronc de la compression parallèle et perpendiculaire aux fibres.:	34
<b>Figure (II.18) :</b> a) schéma fonctionnelle de mécanisme de compression, b) mécanisme réalise pour mesure la compression dans le pétiole.:	35
<b>Figure (II.19):</b> Essai de traction de fibre.:	35
<b>Figure (III.1):</b> Le microscope optique digital (DigiBlue QX5 QSG) :	37
<b>Figure (III.2) :</b> Balance électronique :	37
<b>Figure (III.3) :</b> Etuve d'humidité :	38
<b>Figure III.4 :</b> Machine de traction INSTRON 6959 :	39
<b>Figure III.5 :</b> Extensomètre placé sur l'éprouvette :	39
<b>Figure (III.6) :</b> Dispositif conçu :	39
<b>Figure(III.7) :</b> Spécimen métallique fixe sur notre dispositif :	40
<b>Figure (III.8) :</b> Spécimen métallique démontable :	40
<b>Figure (III.9) :</b> assemblage des pièces du dispositif proposé :	40
<b>Figure (III.10) :</b> Vue de gauche et de dessus de la pièce (06) :	41
<b>Figure (III.11) :</b> dessin de la pièce dénommée <b>cœur</b> :	41
<b>Figure(III.12) :</b> dessin descriptif des pièces (06,07) partie femelle :	41
<b>Figure(III.13) :</b> dessin du dispositif conçu :	41
<b>Figure (III .14) :</b> Spécimens proposées pour la mesure da la masse volumique : <b>Cœur</b> :.....	42
<b>Figure (III.15) :</b> Spécimens proposées pour la mesure da la masse volumique : <b>Peau</b> :.....	43
<b>Figure (III.16):</b> Les formes des spécimens étudiées :	44
<b>Figure (III.17):</b> Spécimen de régime de palmier dattier :	45
<b>Figure (III.18):</b> Procédure d'absorption de l'eau :	45
<b>Figure (III.19):</b> Masselotte sur pièce circulaire de polystyrène :	46
<b>Figure (III.20) :</b> Principe de fonctionnement du dispositif de correction de formes des éprouvettes en bois :	46
<b>Figure (III.21) :</b> Spécimens après l'opération de correction de direction :	47
<b>Figure (III.23) :</b> Spécimens après l'usinage :	47
<b>Figure (III.22) :</b> spécimens en fixation :	47
<b>Figure (III. 24) :</b> Description les spécimens dans l'étuve :	47
<b>Figure (III.25) :</b> Spécimens préparés avant essais de traction :	48
<b>Figure (IV.1):</b> Observations microscopiques de la microstructure du bois du régime de datte à (10, 60, 200) fois :	50

<b>Figure (IV.2):</b> Microstructure : Coupes longitudinales des peaux des différentes variétés agrandissement 60 fois (A : Deglet Nour, B : El Ghers, C : Mech-Degla) :.....	<b>51</b>
<b>Figure (IV.3) :</b> Microstructure : Coupes longitudinales des cœurs des différentes variétés agrandissement 60 fois (A : Deglet Nour, B : El Ghers) :.....	<b>52</b>
<b>Figure (IV.4):</b> Microstructure : Coupes transversales des peaux des différentes variétés agrandissement 60 fois (A : Deglet Nour, B : El Ghers, C : Mech-Degla) :.....	<b>52</b>
<b>Figure (IV.5):</b> Microstructure : Coupes transversal des peaux des différentes variétés agrandissement 60 fois (A : Deglet Nour, B : El Ghers, C : Mech-Degla) :.....	<b>52</b>
<b>Figure (IV.6):</b> Structure du bois du régime de datte (conçu par SOLIDWORKS) :.....	<b>53</b>
<b>Figure (IV.7):</b> Bois du régime de datte de la peau différentes variétés après écrasement : agrandissement 10 fois (A : Deglet Nour, B : El Ghers, C : Mech-Degla) :.....	<b>54</b>
<b>Figure (IV.8):</b> Bois du régime de la datte de cœur différentes variétés après écrasement : agrandissement X10 fois (A : Deglet Nour, B : El Ghers, C : Mech-Degla) :.....	<b>54</b>
<b>Figure (IV.9):</b> Bois du régime de datte de la peau crase des différentes variétés agrandissement 60 fois (A : <b>Deglet Nour</b> , B : <b>El Ghers</b> , C : <b>Mech-Degla</b> ) :.....	<b>54</b>
<b>Figure (IV.10):</b> Effet d'écrasement dans le sens longitudinal des fibres agrandissement 60 fois (A : <b>Deglet Nour</b> , B : <b>El Ghers</b> , C : <b>Mech-Degla</b> ) :.....	<b>55</b>
<b>Figure (IV.11):</b> Différents états des fibres existant : agrandissement 60 fois (A : <b>fibre humide</b> , B : <b>fibre sèche</b> , C : <b>fibre saturée</b> ) :.....	<b>55</b>
<b>Figure (IV.12):</b> Bois du pétiole de différentes couches, coupe longitudinal : agrandissement 60 fois (A : <b>cœur</b> , B : <b>peau</b> ) :.....	<b>55</b>
<b>Figure (IV.13):</b> Coupe transversale du bois du pétiole : agrandissement 10 fois :.....	<b>56</b>
<b>Figure (IV.14):</b> Coupe transversal bois du pétiole grandissement 60 fois (A : <b>cœur</b> , B : <b>peau</b> ) :.....	<b>56</b>
<b>Figure (IV.15):</b> Structure du bois du pétiole (solidworks) :.....	<b>56</b>
<b>Figure (IV.16):</b> Microstructure : coupes transversales du rachis (partie médiane) agrandissement 60 fois :.....	<b>57</b>
<b>Figure (IV.17):</b> Observations de la microstructure du bois du rachis de différentes états et positions (agrandissement 60 fois) :.....	<b>57</b>
<b>Figure (IV.18):</b> Positions observations dans le sens longitudinal :.....	<b>58</b>
<b>Figure (IV.19):</b> Principe de mesure pour l'observation dans le sens transversal :.....	<b>58</b>
<b>Figure (IV.20):</b> Variation des diamètres des fibres différentes couches selon les positions :.....	<b>60</b>
<b>Figure (IV.21):</b> Variation de la distance entre les fibres des différentes couches :.....	<b>61</b>

<b>Figure (IV.22):</b> Variation des diamètres des différentes fibres des couches :.....	<b>62</b>
<b>Figure (IV.23):</b> Variation de la distance entre les différentes fibres des couches :.....	<b>63</b>
<b>Figure (IV.24):</b> Variation des diamètres des fibres différentes couches selon les positions :.....	<b>64</b>
<b>Figure (IV.25):</b> Variation de la distance entre les fibres de différentes couches :.....	<b>65</b>
<b>Figure (IV.26) :</b> Schéma du modèle de calcul des pourcentages des fibres :.....	<b>66</b>
<b>Figure (IV.27):</b> Variation du pourcentage des fibres de différentes couches :.....	<b>69</b>
<b>Figure (IV.28):</b> Variation du pourcentage des fibres de différentes couches :.....	<b>71</b>
<b>Figure (IV.29):</b> Variation du pourcentage des fibres de différentes couches :.....	<b>74</b>
<b>Figure (IV.30):</b> Coupes transversales de bois du régime de dattes :.....	<b>74</b>
<b>Figure (IV.31):</b> Comparaison entre les coupes initiales et finales :.....	<b>74</b>
<b>Figure (IV.32) :</b> Spécimens proposées pour la mesure de la masse volumique : CŒUR :.....	<b>76</b>
<b>Figure (IV.33) :</b> Spécimens proposées pour la mesure de la masse volumique : PEAU :.....	<b>76</b>
<b>Figure (IV.34) :</b> Présentation des positions étudiées :.....	<b>77</b>
<b>Figure (IV.35) :</b> Variation de la masse volumique du cœur selon les positions :.....	<b>77</b>
<b>Figure (IV.36) :</b> Variation de la masse volumique de la peau selon les positions :.....	<b>78</b>
<b>Figure (IV.37):</b> Comparaison entre masse volumique du cœur et de la peau selon les différentes positions :.....	<b>78</b>
<b>Figure (IV.38):</b> Variation de la masse volumique du cœur selon les positions :.....	<b>79</b>
<b>Figure (IV.39):</b> Variation de la masse volumique de la peau pour différentes positions :.....	<b>79</b>
<b>Figure (IV.40):</b> Comparaison entre la variation la masse volumique du cœur et de la peau selon les différentes positions :.....	<b>79</b>
<b>Figure (IV.41):</b> Variation de la masse volumique du cœur en fonction des différentes positions sélectionnées :.....	<b>80</b>
<b>Figure (IV.42):</b> Variation de la masse volumique de la peau selon les positions :.....	<b>81</b>
<b>Figure (IV.43):</b> Comparaison entre variation de la masse volumique du cœur et de la peau en fonction des différentes positions sélectionnées :.....	<b>81</b>
<b>Figure (IV.44):</b> Comparaison entre la variation de la masse volumique des cœurs de différentes variétés en fonction des différentes positions sélectionnées :.....	<b>82</b>
<b>Figure (IV.45) :</b> Comparaison entre la variation de la masse volumique des peaux des différentes variétés en fonction des différentes positions sélectionnées :.....	<b>82</b>
<b>Figure (IV.46) :</b> A ; Balance et B : Etuve :.....	<b>84</b>
<b>Figure (IV.47):</b> Les formes des spécimens étudiées :.....	<b>85</b>
<b>Figure (IV.48):</b> Variation de la masse en fonction du temps de la variété Deglet Nour :.....	<b>87</b>

<b>Figure (IV.49):</b> variation de l'humidité en fonction du temps de la variété <b>Deglet Nour</b> :....	<b>87</b>
<b>Figure (IV.50) :</b> Courbe de la variation le taux d'humidité en fonction de temps du bois de régime complet de <b>Deglet Nour</b> :.....	<b>88</b>
<b>Figure (IV.51) :</b> Courbe de la variation le taux d'humidité en fonction de temps bois du cœur :.....	<b>88</b>
<b>Figure (IV.52):</b> Courbe de la variation le taux d'humidité en fonction de temps bois de la peau :.....	<b>89</b>
<b>Figure (IV.53):</b> Comparaison le taux d'humidité entre les éléments du bois étudié :.....	<b>90</b>
<b>Figure (IV.54):</b> Variation de la masse du bois de régime <b>d'El Ghers</b> :.....	<b>90</b>
<b>Figure (IV.55) : Variation de l'absorption du taux d'humidité pour la variété El Ghers</b> :.....	<b>91</b>
<b>Figure (IV.56):</b> Courbe de la variation le taux d'humidité en fonction de temps bois du régime :.....	<b>91</b>
<b>Figure (IV.57):</b> Courbe de la variation le taux d'humidité en fonction de temps bois du cœur :.....	<b>92</b>
<b>Figure (IV.58):</b> Courbe de la variation du taux d'humidité en fonction de temps du bois de la peau :.....	<b>92</b>
<b>Figure (IV.59):</b> Comparaison le taux d'humidité entre les éléments du bois étudié :.....	<b>93</b>
<b>Figure (IV.60):</b> Variation de la masse en fonction du temps de <b>Mech Degla</b> :.....	<b>94</b>
<b>Figure (IV.61):</b> Variation de l'humidité en fonction du temps de <b>Mech Degla</b> :.....	<b>94</b>
<b>Figure (IV.62):</b> Courbe de la variation le taux d'humidité en fonction de temps bois du régime complet de la variété <b>Mech Degla</b> :.....	<b>95</b>
<b>Figure (IV.63):</b> Variation le taux d'humidité en fonction de temps du bois du cœur de la variété de <b>Mech Degla</b> :.....	<b>95</b>
<b>Figure (IV.64):</b> Courbe de la variation le taux d'humidité en fonction de temps bois de la peau de la variété de <b>Mech Degla</b> :.....	<b>96</b>
<b>Figure (IV.65):</b> Comparaison le taux d'humidité entre les éléments du bois étudié :.....	<b>96</b>
<b>Figure(IV.66):</b> Comparaison des taux d'humidité du bois du régime des différentes variétés :.....	<b>97</b>
<b>Figure (IV.67):</b> Représente un spécimen de régime de bois de dattier :.....	<b>100</b>
<b>Figure (IV.68):</b> Procédure d'absorption de l'eau :.....	<b>100</b>
<b>Figure (IV.69):</b> Solution proposée pour l'immersion des éprouvettes de bois :.....	<b>100</b>
<b>Figure (IV.70) :</b> Graphe de la variation de l'absorption en fonction du temps :.....	<b>101</b>

<b>Figure (IV.71):</b> Variation l'absorption de l'eau en fonction du temps des différentes variétés :.....	<b>102</b>
<b>Figure (IV.72):</b> Spécimens des différentes couches flottantes à la surface de l'eau :.....	<b>102</b>
<b>Figure (IV.73):</b> Graphe de l'absorption d'eau des différentes couches des différentes variétés du bois de régime en fonction du temps :.....	<b>103</b>
<b>Figure (IV.74) :</b> Graphe de la Variation massique du bois de régime en fonction du temps :.....	<b>103</b>
<b>Figure (IV.75):</b> Graphe de l'absorption d'eau des différentes couches des variétés du bois de régime en fonction du temps :.....	<b>104</b>
<b>Figure (IV.76) :</b> Variation l'absorption de l'eau des cœurs en fonction du temps des différentes variétés :.....	<b>104</b>
<b>Figure (IV.77) :</b> Variation l'absorption de l'eau des peaux en fonction du temps des différentes variétés :.....	<b>105</b>

## LISTE DES TABLEAUX

<b>Tableau (I.1) :</b> Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales:.....	<b>10</b>
<b>Tableau (I.2) :</b> Dimensions des fibres de Kénaf:.....	<b>11</b>
<b>Tableau (I.3) :</b> Composition Chimique de quelques plantes à fibres, .:.....	<b>13</b>
<b>Tableau (II.1):</b> Différentes variétés de palmier dattier en Algérie:.....	<b>21</b>
<b>Tableau (II.2) :</b> Propriétés mécanique des fibres de la surface du palmier dattier en Algérie:.....	<b>26</b>
<b>Tableau (II.3):</b> Caractéristiques physiques.:.....	<b>28</b>
<b>Tableau (III.1) :</b> Dimensions des spécimens pour l'étude d'humidité :.....	<b>43</b>
<b>Tableau (IV.1) :</b> Variation des diamètres en fonction des distances pour les positions de la variété Deglet Nour :.....	<b>59</b>
<b>Tableau (IV.2) :</b> Valeurs moyennes du diamètre pour les différentes positions :.....	<b>59</b>
<b>Tableau (IV.3) :</b> Valeurs moyennes des distances entre les fibres selon les positions :.....	<b>60</b>
<b>Tableau (IV.4) :</b> Variation des diamètres et des distances selon les positions de la variété d'El Ghers :.....	<b>61</b>
<b>Tableau (IV.5) :</b> Valeurs moyennes du diamètre pour les différentes positions :.....	<b>62</b>
<b>Tableau (IV.6) :</b> valeurs moyennes des distances entre les fibres selon les positions :.....	<b>62</b>
<b>Tableau (IV.7) :</b> Variation des diamètres et distances selon les positions de la variété Mech-Degla :.....	<b>63</b>
<b>Tableau (IV.8) :</b> Valeurs moyennes du diamètre pour les différentes positions :.....	<b>64</b>
<b>Tableau (IV.9) :</b> valeurs moyennes des distances entre les fibres selon les positions :.....	<b>64</b>
<b>Tableau (IV.10) :</b> Variation des diamètres et distances de la variété Deglet Nour :.....	<b>67</b>
<b>Tableau (IV.11) :</b> Variation du pourcentage des fibres dans la peau :.....	<b>68</b>
<b>Tableau (IV.12) :</b> Pourcentage des fibres dans le cœur :.....	<b>68</b>
<b>Tableau (IV.13) :</b> Variation des diamètres et des distances de la variété d'El Ghers :.....	<b>70</b>
<b>Tableau (IV.14) :</b> Variation du pourcentage des fibres dans la peau :.....	<b>70</b>
<b>Tableau (IV.15) :</b> Variation du pourcentage des fibres dans le cœur :.....	<b>71</b>
<b>Tableau (IV.16) :</b> Variation des diamètres et distances de la variété de Mech-Degla :.....	<b>72</b>
<b>Tableau (IV.17) :</b> Variation du pourcentage des fibres dans la peau :.....	<b>73</b>
<b>Tableau (IV.18) :</b> Variation du pourcentage des fibres dans le cœur :.....	<b>73</b>
<b>Tableau (IV.19):</b> Variation de la masse volumique selon les positions :.....	<b>77</b>

<b>Tableau (IV.20) :</b> Variation de la masse volumique de différentes zones pour différentes positions :.....	<b>78</b>
<b>Tableau (IV.21):</b> Variation de la masse volumique pour différentes positions :.....	<b>80</b>
<b>Tableau (IV.22) :</b> Dimensions des spécimens pour l'étude d'humidité :.....	<b>85</b>
<b>Tableau (IV.23):</b> Variation de la masse en fonction du temps :.....	<b>86</b>

## LISTE DES SYMBOLES

<b>T</b>	Direction d'anisotropie du bois tangentielle
<b>R</b>	Direction d'anisotropie du bois radiale
<b>L</b>	Direction d'anisotropie du bois axiale (longitudinale)
<b>D</b>	Diamètre (mm)
<b>S<sub>1</sub>,S<sub>2</sub> et S<sub>3</sub></b>	Parois secondaire de la cellule
<b>Θ</b>	Angle microfilaire (°)
<b>MDF</b>	Moyenne densité fibre
<b>MEB</b>	Microscope électronique balayage
<b>TGA</b>	Thermo gravimétrique analyse
<b>E</b>	Module d'Young (MPa)
<b>H</b>	Humidité (%)
<b>MOD</b>	Microscope optique digitale
<b>FIB</b>	Fibre
<b>DIS</b>	Distance entre fibres (mm)
<b>M-D-F-peau</b>	Moyenne diamètres fibre peau (mm)
<b>M-D-F-cœur</b>	Moyenne diamètres fibre cœur (mm)
<b>M-Dis-F-peau</b>	Moyenne distance entre fibres peau (mm)
<b>M-Dis-F-coeur</b>	Moyenne distance entre fibres coeur(mm)
<b>A</b>	Section globale de morceau (mm <sup>2</sup> )
<b>L</b>	Longueur du morceau en position 1(mm)
<b>E</b>	Épaisseur (mm)
<b>a</b>	Section occupée par les fibres (mm)
<b>F(%)</b>	Pourcentage de fibre
<b>M(%)</b>	Pourcentage de la matrice
<b>ρ</b>	Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> )
<b>V</b>	Volume (mm)
<b>M</b>	Masse (kg)

**الملخص :** تتوفر في المناطق الجافة و شبه الجافة على نخيل التمر باعداد كبيرة. حيث تلعب دور هام في النشاط الاقتصادي و الاجتماعي الذي يساهم في تلبية بعض حاجيات هذه المناطق الجافة . و للنخيل منتجات من تمر . كما ان للنخيل من جميع الاصناف دقلة نور والغرس والمش دقلة بقايا من الخشب سنوية الجريد اليابس وحوامل التمر جد ضخمة التي ينتهي بها المطاف في بعض الصناعات التقليدية المعروفة في المنطقة او بعض المنتجات الزراعية كاسمدة اما الباقي فيكون مصيره الحرق او الرمي او التحلل . الا ان هذا الاستغلال جد ضعيف ناتج عن شح وضعف البحث العلمي في هذا المجال . وفي بحثنا هذا نهتم بدراسة البناءات المورفولوجية للالياف و المصفوفة لخشب حامل التمر الذي نجدها جد معقدة . كما نسعي الى توفير المعطيات حوله وذلك من اجل التعرف على كيفية توظيفه واستغلاله . وهذه الدراسة تهتم بهذه الحقيقة بدراسة المكونات للخشب من الياف و نسبة الرطوبة و التصرف الميكانيكي وفق المحيط الخاص به و تطورها في جميع الاتجاهات الطولية والعرضية.

**Résumé :** Dans les régions arides et semi arides, nous retrouvons les palmiers dattiers en masse et cette richesse joue un role important au développement de ces dernières, spécialement dans l'activité économique et sociale. Sachant que la datte est le fruit des palmiers mais reste à savoir qu'il dispose aussi d'un bois de tronc et de palmes assez important utilisés dans les fabrications traditionnelles relatives à ces régions ou entant qu'engrais fertilisant les terres utiles, ces pratiques sont limitées raison du manque de données scientifiques et techniques dans ce domaine. Dans otre recherche une large base de données techniques aussi physique, technique t microscopique définissant l'aspect morphologique des fibres et du bois des variétés Deglet Nour, Mech Degla et El Ghers pris en charge par cette étude de recherche. Des caractérisations on été réalisées telle que la microscopie optique, le taux d'absorption et le taux d'humidité ont révélés beaucoup de déductions aussi des tests mécaniques telle que les tests de traction ont été réalisés.

**Abstract :** In the arid and semi-arid regions, we find palm trees in mass and this wealth plays an important role in the development of the latter, especially in economic and social activity. Knowing that the date is the fruit of palm trees but remains to know that it also has a wood of trunk and palm rather important used in the traditional fabrications relating to these regions or as fertilizer fertilizing the useful lands, these practices Are limited due to the lack of scientific and technical data in this field. In the course of this research, a large technical data base defining the morphological aspect of the fibers and wood of the Deglet Nour, Mech Degla and El Ghers varieties is included. Characterizations were carried out such that optical microscopy, absorption rate and moisture content revealed many deductions also mechanical tests such as tensile tests were performed.

## **Introduction Générale**

Le développement d'un pays dans le domaine de la construction dépend de la fonction de ses ressources locales en termes de matière première disponible et de son taux d'intégration au processus de développement de la société. L'augmentation de la demande sur les matériaux de construction et l'inflation de leur prix (ciment, acier etc...), rendent l'utilisation de matériaux locaux de plus en plus nécessaires. Parmi ces choix, le bois, qui n'est qu'un tissu complexe produit par les plantes et arbres, apparaît comme une réponse aux problèmes environnementaux, malgré le développement de divers matériaux synthétiques, le végétale, un des premiers matériaux plus utilisé par l'humanité, continue à avoir une grande importance et à être très largement utilisé dans plusieurs domaines (boulevard, bâtiment, ameublement). Si le bois de différents arbres a eu un très grand intérêt du point de vue étude et développement, ceci n'est pas le cas pour le bois du palmier dattier. Cette plante d'une générosité sans égale qu'à connue nos ancêtres et que nous continuons à reconnaître. Il se trouve que le palmier dattier n'est pas vraiment un arbre mais plutôt une plante primitive. Les populations du grand sud exploitent le palmier dattier surtout pour son fruit qui est la datte. Les autres possibilités du palier comme matériaux structural n'ont pas suscité l'intérêt de nos chercheurs. En effet, Le palmier englobe plusieurs constituants pouvant avoir des utilisations spécifiques.

Et c'est justement le but de notre travail qui veut inaugurer une voie dans l'accomplissement de cette tâche.

Notre thèse est organisée comme suit :

Deux grandes partie classique une bibliographique ou théorique suivie d'une autre partie expérimentale la première partie englobe deux chapitres ou le premier chapitre on a présenté le bois au niveau de la structure macroscopique et microscopique. Ensuite nous avons donné sa

structure morphologique et composition chimique. Et en fin on a présenté son comportement mécanique et ses propriétés physiques.

Dans le deuxième chapitre nous présentons le palmer dattier en termes de la morphologie et de la composition chimique et les travaux réalisés sur le bois de palmier dattier.

Dans la seconde partie de cette thèse soit la partie expérimentale nous retrouvons le troisième chapitre est une présentation de l'équipement utilisée pour l'observation de la microstructurale de bois du palmier dattier par microscope optique digital MOD et une étuve de séchage pour valoriser l'humidité, une balance électronique propose des pesées judicieuses et un dispositif spécifique pour exécution des essais mécaniques à été inventé au titre de cette recherche.

Le quatrième chapitre est un travail de nature expérimentale, nous retrouvons ensemble de résultats et interprétations relatifs aux multiples caractérisations engagées dans le quel nous commençons par la présentation de l'observation de la microstructure de ce bois et puis de déterminer la variation du diamètre de fibre et composant de la matière, ensuite nous déterminons quelques caractéristiques physiques telle que la masse volumique, le taux d'humidité et l'absorption de l'eau de différentes couches sans oublier de voir le comportement mécanique qu'offre ces types de bois par la pratique d'essais mécaniques (traction) et les résultats sur des spécimens de différentes couches du bois du régime de datte en fonction du temps de séchage.

*Chapitre II :*  
*Morphologie*  
*du palmier*  
*dattier*

## I. Généralités sur le bois

### I.1 Types des matériaux naturels

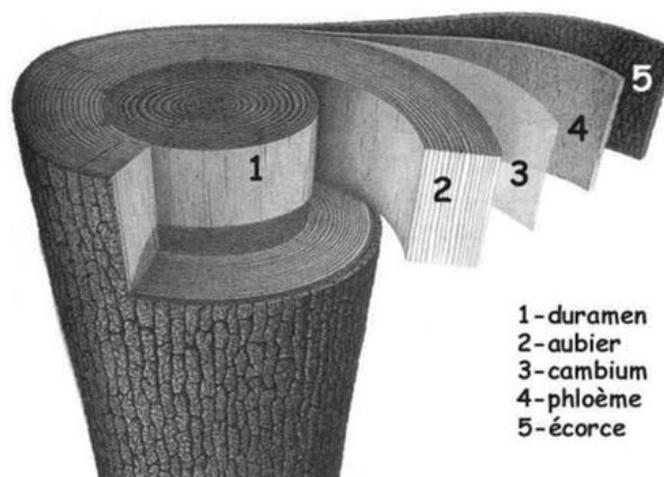
Les matériaux naturels comportent trois lots essentiels, les matériaux d'origines végétales, animales ou minérales. Dans cette étude qui concerne les matériaux végétaux, on peut distinguer deux types principaux :

**I.1.1 Plantes annuelles :** Plusieurs espèces peuvent être signalées : le Chanvre, le Lin, la Jute, la Ramie, la Sisal, le Coton,... etc. Leurs fibres sont classées en trois groupes selon leurs sources, citant [1]:

- Les fibres extraites des tiges des plantes (Chanvre, Ramie, Jute, Lin, Kennaf,...).
- Les fibres dures issues des feuilles comme les feuilles de Sisal, de Henequen, de l'Abaca, de l'Ananas,...
- Les fibres dérivant d'enveloppe de fruits et des graines (Coton, Noix de Coco,...).

**I.1.2. Arbres :** On peut citer parmi les arbres : le palmier dattier [2], le Pin, le Hêtre, le Chêne, le Sapin, l'Épicéa, le Peuplier [3], la source des fibres issus des arbres peut être le tronc, les branches, les feuilles ou même les tiges des feuilles [2-3].

**I.1.2.1. Tronc d'arbre :** Vu à l'œil, les composants essentiels du tronc de l'arbre sont : le bois (Duramen, Aubier), l'écorce (Phloème : écorce interne, écorce externe) et une formation fine apparaît entre le bois et l'écorce nommée le Cambium (voir Figure. I.1). celui-ci sert à produire les cellules du bois et de l'écorce [4-5].



**Figure. (I.1):** Structure de tronc d'arbre [5].

**I.1.3 Le bois :** C'est une matière mixte formée par des fibres criblés avec des caractéristiques mécaniques et thermiques intéressantes. Les propriétés diverses du bois lui fournissent des utilisations multiples (l'industrie du bâtiment, chauffage,...). La technologie facilite de profiter les caractéristiques du bois lui-même ou celles de ses composants (fibres, lignine, cellulose,...) [6]. Par ailleurs, c'est un matériau anisotrope, pour cela ces propriétés physiques varient selon la position choisie. On peut distinguer dans le bois la direction longitudinale (L), tangentielle (T) et radiale (R) [5] et [7].

## **I.2 Structure macroscopique du bois**

Les éléments composants le tronc de l'arbre sont le bois, d'Ecorce et le Cambium qui est une couche mince positionnée entre les deux précédentes (Figure I.2). Le rôle du Cambium est la genèse les cellules du bois et de l'écorce, donc il est le lot le plus important de l'arbre. Par conséquent, les cellules mères concernées donnent naissance chaque année à des cellules filles par division cellulaire. Il sert à la création du Liber et au bois d'Aubier vers l'extérieur vers l'intérieur du tronc respectivement [8].

On peut distinguer aussi plusieurs zones [9]:

**I.2.1 : L'Ecorce :** Elle est constituée de cellules mortes, imperméable cependant elle laisse passer les gaz pour la respiration des cellules du Cambium et de l'Aubier.

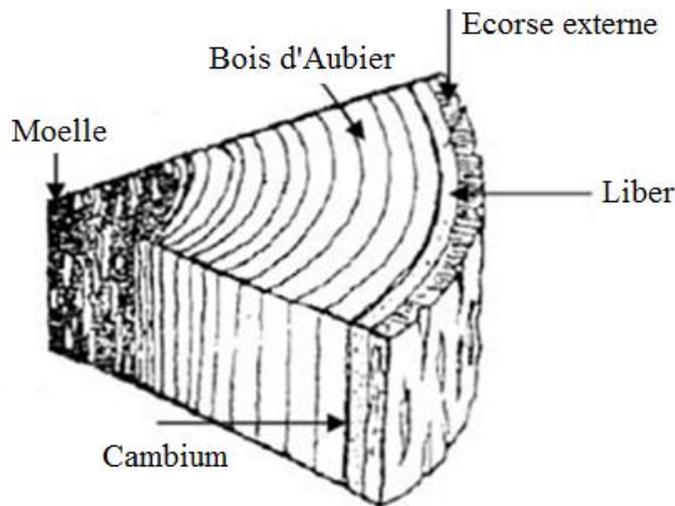
**I.2.2 Le Liber :** Composé par des cellules mortes dans leur majorité. Les cellules du Liber les plus proches du Cambium lui munissent par la sève élaborée des feuilles par leurs canaux.

**I.2.3 Le 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.

**I.2.4 L'Aubier :** Ses cellules composantes soient mortes et vivantes sont de proportions divers, en voie de dramatisation. Il amène la sève brute des racines aux feuilles.

**I.2.5 Le Duramen :** Il est constitué de cellules mortes qui ont achevé leur développement, sont soumis à une modification chimique et physique leur confère plus de durabilité naturelle. On le considère comme support de l'arbre ainsi appelé **Bois Parfait**.

**I.2.6 La Moelle:** Tissu représente l'axe d'arbre et se génère au premier stade de la croissance mais sa structure reste stable.



**Figure (I.2):** Section transversale d'un tronc d'arbre [8].

### I.3 Le plan ligneux des résineux et feuillus

Il y en a deux grands types des arbres : les gymnospermes (résineux ou conifères) et les angiospermes (feuillus). La structure anatomique des résineux est simple et constituée essentiellement de cellules longitudinales (Figure I.3) : les trachéides. Les trachéides du bois de printemps renferment fréquemment des points sombres facilitant la circulation de substances nécessaires. Toutefois, la fonction des trachéides du bois d'été est définie pour le soutien grâce à l'épaisseur de leur paroi. On retrouve aussi chez les résineux des cellules parenchymateuses en direction longitudinale et transversale qui sert un réservoir des aliments. Enfin, chez certains résineux on trouve des canaux résinifères en direction longitudinale, transversale ou les deux.

Un aspect ligneux plus différencié apparaît chez les feuillus (Figure I.4). Le tissu se forme généralement de nombre important de fibres dirigées axialement et jouent un rôle de soutien. Ces fibres ont une paroi plus épaisse que celles des trachéides. Selon les essences, l'épaisseur de la paroi varie et leur confère ainsi une densité caractéristique. Les vaisseaux assurent la fonction de conduction chez les feuillus. Le bois à pores diffus désigne que ces vaisseaux ayant presque des tailles égaux et sont distribués régulièrement dans le cerne, s'ils sont concentrés sur l'extrémité du cerne, on l'appelle le bois à zone initiale poreuse. Également, les cellules parenchymateuses centrales et radiales jouent un rôle de stockage des nutriments [10-11].

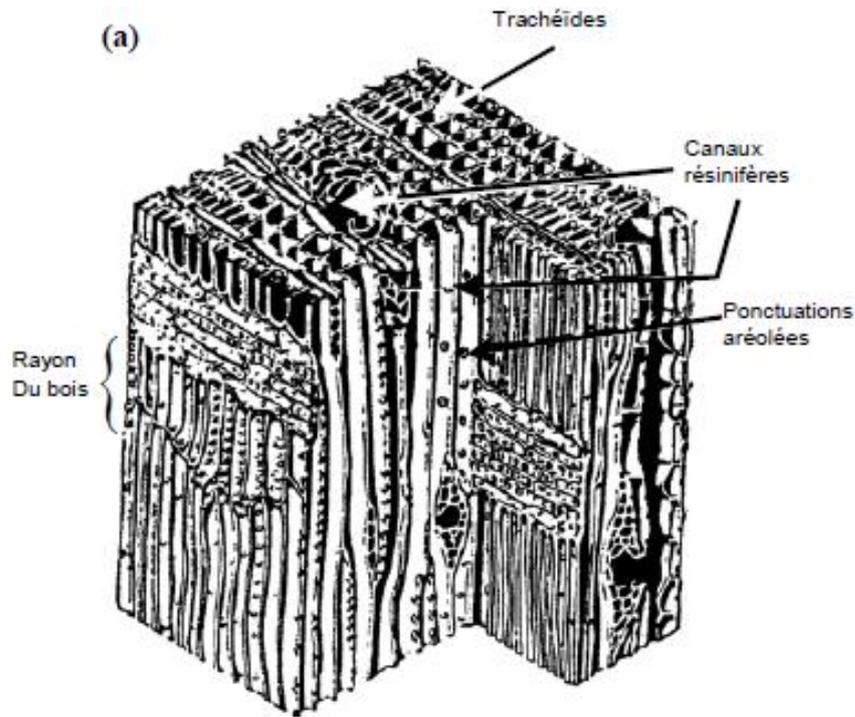


Figure (I.3) : Plan ligneux typique des résineux [12].

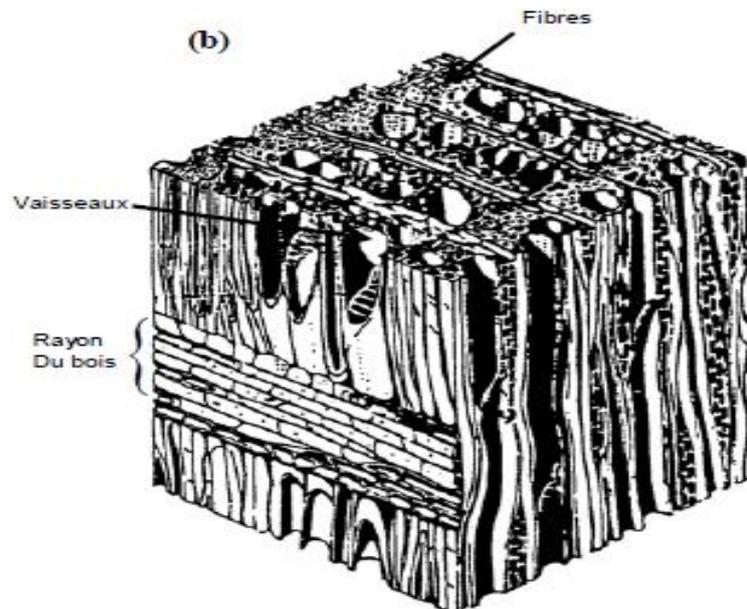


Figure (I.4) : Plan ligneux typique des feuillus [12].

## I.4 la Fibre végétale

### I.4.1 Définition de la fibre végétale

On désigne par les fibres ligno-cellulosiques des constructions biologiques fibrillaires issues du végétal habituellement constituées de cellulose, d'hémicelluloses et de lignine [13], [14] et d'un taux plus faibles d'extraits non azotés, de matière protéique brute, de lipide et de

matière minérale [15]. La variation de chacun de ces constituants est souvent en fonction de l'espèce de l'âge et des organes de la plante. [14] et [16-17].

### **I.4.2 Classification des fibres végétales**

On ne peut pas classer les fibres végétales pratiquement car il existe plusieurs paramètres spécifiant les fibres. Les fibres végétales peuvent être classées selon l'organe source de la plante : fibres de tiges (Kénafe, Jute, Lin, Ramie, etc.), de feuilles (Sisal, Abaca, Paille de graminées, etc.), de fruits (Noix de Coco) et de graines (Coton, Kapok, etc.). [18-19]. Selon le taux de holocellulose (cellulose et hémicelluloses) et de lignine, il y a les fibres ligneuses (dures et tendues dérivant de matériaux ligneux comme le bois d'œuvre, résidus d'industrie du bois, etc.), souvent exploitées pour la création des panneaux de particules, et les fibres non ligneuses (lisses, flexibles, issues de plantes annuelles contenant peu de lignine telle que Kénafe, Chanvre, Sisal, Jute, Lin, etc.) [20].

Les fibres végétales, de par leur longueur, peuvent être groupées en deux concepts : les fibres longues et les fibres courtes. Les fibres libériennes qui sont longues issues des tiges et leurs écorces de plantes annuelles sont fines. Pourtant, les fibres longues lignocellulosiques provenant de feuilles, de tronc d'arbres, d'enveloppe de fruits, etc., sont plus riches en lignines qui les offrent plus de dureté et rigidité. Les fibres courtes ou étoupes sont aussi des fibres lignocellulosiques qui sont adjointes aux fibres longues. Les fibres longues des poils de la graine de coton représentent un cas spécifique c'est qu'ils sont monocellulaires et presque complètement celluloses. [1]

### **I.4.3 Morphologie de la fibre végétale**

Morphologiquement, la fibre végétale varie énormément en fonction de leur origine. Par conséquent, les dimensions des fibres végétales suivant l'espèce (tableau I.1) et dans la même espèce, l'organe source (tableau 1.2), le degré de maturité et aussi des conditions environnementales de croissance de la plante. Le diamètre présente une variabilité très importante même au niveau de la même fibre végétale (figure I.5). [21]

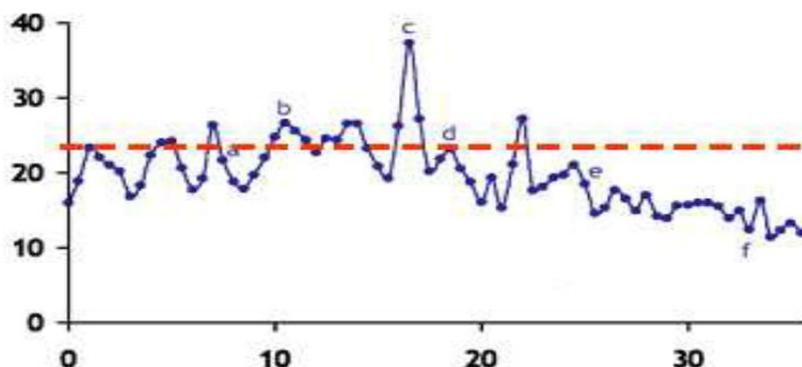


Figure (I.5): Variation du diamètre le long de l'axe de la fibre de lin. [21].

Nature des fibres	Longueur (mm)	Diamètre (μm)	Angle microfibrillaire (°)	Ratio L/D
<b>Lin</b>	4-77	5-76	10	1687
<b>Chanvre</b>	5-55	10-51	6.2	960
<b>Ramie</b>	40-250	16-126	7.5	3500
<b>Kénaf (filasse)</b>	1,4 -5	14- 23	-	124
<b>Kénaf (bois)</b>	0,4 -1,1	18 - 37	-	20
<b>Jute</b>	-	25- 200	8	110
<b>Sisal</b>	0,8 - 8	7 - 47	20	100
<b>Noix de coco</b>	0,3 - 1	12 - 24	45	35
<b>Pin</b>	2,7 – 4,6	32 – 43	-	97
<b>Sapin</b>	2,7 – 4,6	32 – 43	-	97
<b>Tremble</b>	0,7- 1,6	20- 30	-	48

Tableau (I.1) : Propriétés morphologiques de quelques fibres végétales [1].

La fibre végétale varie aussi selon le caractère de l'épaisseur de sa paroi cellulaire qui lui-même dépend de celle de la porosité des fibrilles. [22].

La porosité des fibrilles (relation du diamètre du lumen par rapport au diamètre total de fibre) qui explique l'hygrophilie de la fibre végétale, [23], peut balancer entre plusieurs valeurs [17]. Le lin comme exemple a une porosité de  $6,8 \% \pm 3,5 \%$ , et la fibre de palmier, possède une porosité de 10 % alors que le coton a une fibre à porosité qui peut dépasser à 90 % [21].

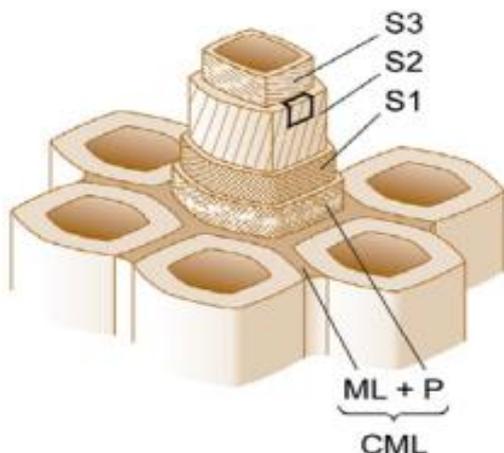
Origine des fibres	Longueur (mm)	Diamètre ( $\mu\text{m}$ )
<b>Ecorce</b>	2.5 – 4.5	14 – 33
	2.32	22
	1.4 – 5	14 – 23
	2.88	20
<b>Tige sans écorce</b>	0.6	37.2
	0.74	22
	0.4 – 1.1	18 – 37
	0.6	30
<b>Tige entière</b>	1.29	22

**Tableau (I.2) :** Dimensions des fibres de Kéna [17].

#### I.4.4 Structure de la fibre végétale

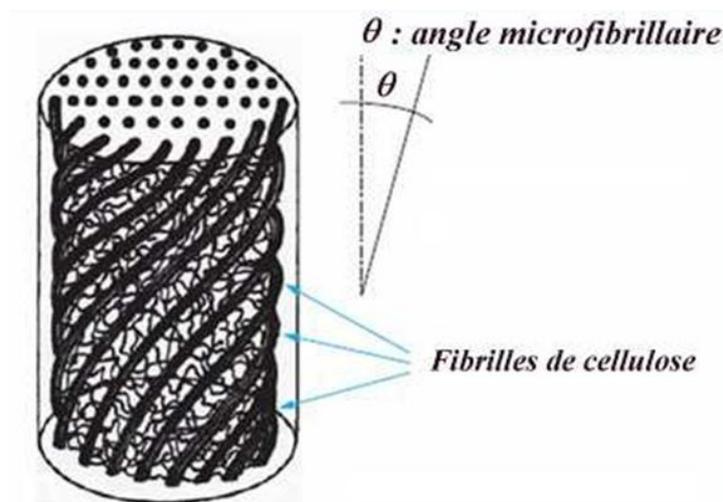
La structure des fibres végétales est aussi très variable. Elle se compose presque seulement de fibrille cellulosique dans le cas du poil unicellulaire chez la graine de coton, habituellement elle est un montage de fibrilles formées des couches de cellules longues attachées entre elles par des hémicelluloses et de la lignine. Alors la fibre végétale elle-même représente un composite à le soutien qui est composé par les strates de microfibrilles cellulosiques de part cristalline, recouvert par un complexe polysaccharidique tendre (hémicelluloses et pectine) réunie par liens hydrogène et covalentes à la lignine [20] et [24].

La fibre végétale contient beaucoup de parois parallèles à son axe et rangées en couches orientées vers le sens radial. Ces couches divers forment la lamelle moyenne, la paroi primaire, la paroi secondaire, et entourent le lumen à différents diamètres en fonction de l'espèce [25]. Trois couches, (figure I .6).de microfibrilles qui forment la paroi secondaire (S1, S2 et S3).



**Figure (I.6) :** Structure de la fibre végétale [25].

Les micro-fibrilles sont disposées dans les fibres natives de façon ou elles forment un angle microfibrillaire si l'on réfère à l'axe de la fibre (figure I.7), cette angle varie d'une espèce végétale à l'autre. Les propriétés mécaniques d'allongement et de rigidité de la fibre sont expliquées dans une part par l'angle micro-fibrillaire [21] et [26].



**Figure (I.7) :** Modèle de la description de structure d'une fibre végétale [24].

#### I.4.5 Composition chimique des fibres végétales

Des travaux de recherche ont certifié l'hétérogénéité de la constitution chimique des fibres végétales changeant d'une espèce à l'autre, même au sein d'un seul type (longue ou courte) [21] et [27-29]. Dans une espèce quelconque, la composition chimique est en fonction du stade végétatif de la plante, sa géomorphologie et de l'organe source de la fibre. [14], [16] et [22]. La teneur de la fibre en cellulose peut varier selon l'espèce allant de 35 % à plus de 90 % pour la fibre technique de coton [30-31]. Encore, pour la même espèce, le changement de cette teneur peut atteindre 50 % [21]. Comme la teneur en cellulose, celle de la lignine dans la fibre végétale présente une fluctuation aussi bien interspécifique qu'intraspécifique (tableau I.3). Le taux de lignine de la fibre végétale varie autant selon la géomorphologie de la plante [17].

Des proportions cellulose-hémicellulose-lignine rencontrées chez les fibres végétales sont très différentes suivant l'espèce. Concernant l'espèce elle-même, ces proportions sont en fonction de l'organe dont les fibres sont issues, du stade du développement et des conditions de croissance des plantes.

Type de fibre	Cellulose	Hémicellulose	Lignine	Cendre
Chanvre	57- 77	14 – 17	9 - 13	2.5
Kéna f (Ecorce)	44 – 60.8	20.3 - 23	10 - 19	2 - 5
Kéna f (bois)	37 - 49	18 – 24	15 - 21	2 - 4
Jute (Ecorce)	45 - 63	18 – 21	21 - 26	0.5 - 2
Jute (bois)	41 - 48	18 – 22	21 - 24	0.8
Sisal	47 - 62	21 – 24	7 - 9	0.6 - 1
Résineux	48	15	25.3	0.2
Feuillus	52.8	21.8	22.3	0.4

**Tableau (I.3) :** Composition Chimique de quelques plantes à fibres, [32].

## **I.5. Effet de la morphologie, de la structure et de la composition chimique sur les propriétés mécaniques de la fibre végétale**

La fibre végétale présente une grande variabilité constitutive et anatomique, donc une variabilité de leurs propriétés mécaniques [15] et [33].

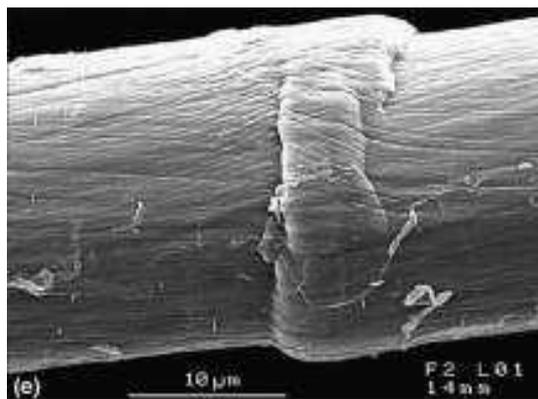
### **I.5.1 Effet de la morphologie des fibres végétales sur les propriétés mécaniques**

Les paramètres expliquant les propriétés mécaniques des fibres végétales sont les caractéristiques telles que sont la masse volumique, la longueur, le facteur de forme, la porosité (diamètre du Lumen). Par conséquent, d'après [34], comme la masse volumique des fibres lignocellulosiques est basse, elle offre à ces matériaux des propriétés mécaniques spécifiques nombreuses, les contraintes en traction chez les fibres courtes sont plus importantes que chez les fibres longues, en raison que ces dernières ont de plus de possibilités de contenir des déformations. En outre, les dimensions des particules ou des fibres, et notamment le facteur de forme, agissent sur les propriétés mécaniques des panneaux.

Pour cela, les appuis s'interprètent comme des poids en excès ou comme des éléments améliorateurs des propriétés mécaniques des composites, selon le facteur de forme est faible ou élevé (inférieur ou supérieur à 10). Les grandes particules, d'après, créent chez les composites une meilleure résistance au développement de fissures et au même temps une réduction de la réaction à l'introduction de fissures. La bonne distribution des particules plus fines et plus fibreuses aboutissent à des propriétés mécaniques. [35-36].

### I.5.2 Effet de la structure des fibres végétales sur les propriétés mécaniques

La diversité interspécifique et intraspécifique des propriétés mécaniques des fibres végétales est due à plusieurs critères : l'espèce, l'organe de provenance, le rapport cellulose-hémicelluloses-lignine, taux de polymérisation et de la cristallinité de la cellulose, l'angle microfibrillaire, malformations structurels. [21], [34] et [37]. Parmi les polymères dont la norme d'élasticité est trop élevée (90 à 137) GPa est la cellulose cristalline, par rapport à celui de la fibre de verre ayant 75 GPa. [24] et [38-39]. D'autant plus que l'état de cristallinité de la cellulose est élevé dans une fibre c'est un indicateur de ses bonnes propriétés mécaniques. Les anomalies structurelles habituelles (figure I.8) rencontrés au sein de l'étendue des fibres sont des résultats de changement intense de morphologie, d'arrangement chimique, de construction et de comportement mécanique propre de ces fibres [21] et [40-41]. Ces malformations apparaissent pour réaction aux contraintes multiples affectant le fonctionnement des plantes. [21], [34] et [37].



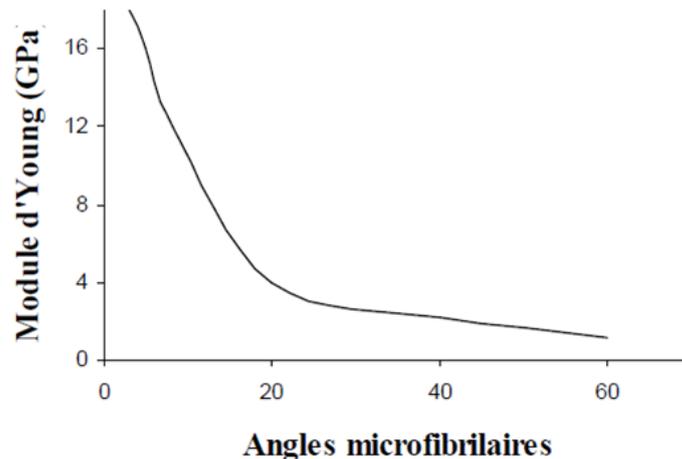
**Figure (I.8)** : Exemple de défaut structural sur une fibre de Lin [40].

La masse volumique de la fibre végétale est un peu faible (1,2 à 1,5 g/cm<sup>3</sup>) moins que celle des fibres de verre (2,55 g/cm<sup>3</sup>) par exemple. Vu la sensibilité de ce paramètre, la masse volumique est parmi les facteurs favorisant les fibres cellulosiques et lignocellulosiques pour la fabrication des matériaux complexes structuraux et non structuraux choisies puisque sont légères [42].

Le rôle de l'angle microfibrillaire intervient étroitement dans la déformation élastique de la fibre végétale et à partir son élongation à la séparation en traction. Pour cela, la fibre lignocellulosique, vu que les forces de traction sont un peu faibles, connaît un changement retournable à cause de l'arrangement graduel des microfibrilles cellulosiques avec le cœur de la fibre et un changement élasto-visco-plastique des polymères amorphes [21]. Lorsque le taux

d'excitation de la fibre est élevé, la déformation de celle-ci atteint un stade définitif qui peut se continuer jusqu'à la rupture. Il s'agit d'une déformation élastique plus importante lorsque l'angle microfibrillaire est large avec une invite de la fibre en traction faible.

D'après **P. Navi** [43], il est à signaler qu'il y a une relation opposée entre l'angle microfibrillaire de la fibre et le module d'Young correspondant (figure I.9).



**Figure (I.9) :** Variation du module d'Young axial avec l'angle micro-fibrillaire de la fibre [43].

### **I.5.3 Effet de la composition chimique des fibres végétales sur leurs propriétés mécaniques**

Beaucoup des chercheurs considèrent que les caractéristiques mécaniques meilleures des fibres cellulosiques dérivent des liaisons hydrogènes qui se génèrent le long et entre les chaînes cellulosiques, et de degrés de cristallinité de la cellulose [24], [29] et [44-45]. Les hémicelluloses ont une fonction primordiale dans les propriétés plastiques de la fibre cellulosique parce qu'ils renferment un liant amorphe, au moment où la lignine joue un rôle de collant, de tendant et de solidifiant dans la fibre ligno-cellulosique [44-45].

### **I.6 Effet des caractéristiques des fibres végétales sur les propriétés des biocomposites**

Plusieurs recherches ont certifié l'influence des propriétés des fibres sur les caractéristiques mécaniques du papier [17] et [46-47]. Cependant, la relation liant les propriétés mécaniques des composites et les caractéristiques morphologiques, structurales, chimiques et mécaniques des fibres distinctives reste mal connue.

Néanmoins, l'usage des fibres végétales dans les composites a généralement des inconvénients de convenance avec la majorité des résines communs surtout celles thermoplastiques, vu que la grandeur élevée de la polarité et le pouvoir tampon.

### **I.6.1 Effet de la morphologie des fibres végétales biocomposites**

En industrie des composites et concernant les thermo-pressés et des thermoformés, notant une phase intéressante pour le renforcement du matériau est la compression sous température contrôlée. A cette époque de l'élaboration, la porosité et l'épaisseur des parois primaire et secondaire des fibres cellulosiques et ligno-cellulosiques influencent sur la densité des fibres de renfort, donc agissent fortement sur la compressibilité du matériau [48], et enfin les propriétés mécaniques des panneaux. Le taux de compressibilité (proportion de la densité du panneau sur celle du bois) sert parfois comme un critère pour la résistance des panneaux. C'est pour ça qu'un taux de compressibilité élevé exige un contact fibre-matrice et fibres-fibres plus proches pour fournir au composite une adhérence élevée et absolument des propriétés de résistance plus importantes [40] et [49].

Un obstacle affronté par l'utilisation des fibres trop longues c'est leur distribution dans le composite, alors causant une irrégularité élevée de son comportement mécanique. Selon [42] dans un travail sur des fibres végétales différentes parmi lesquelles le sisal notamment, ont signalé que lorsque on utilise des fibres à partir de 23 mm de longueur on rencontre une faiblesse des propriétés physiques des fibres et des composites.

Puisque les fibres végétales sont poreux et leur surface sont rugueuses, ils se confient souvent à des liaisons de type mécanique, à cause de l'enchaînement de structure entre les résines thermodurcissables et le substrat fibreux [50-51].

### **I.6.2 Effet de la structure des fibres végétales des biocomposites**

Les remarques de **P. Navi & al** [43] (figure I.9) montrent que le taux de la déformation élastique engendré par l'angle microfibrillaire peut servir un élément décisif du comportement en déformation du composite, surtout au niveau de l'interface fibre matrice.

**L. H. Groom & al** dans ces travaux [40] a soutenue cette suggestion et ont décrit une corrélation positive entre l'angle micro-fibrillaire et le module d'élasticité de panneaux de fibres de densité moyen (MDF) à base de bois de pin.

De plus, la souplesse des composants de la fibre peuvent influencer sur la plasticité du composite.

En outre, pendant l'élongation des fibres, la cellulose cristalline et sa forme moléculaire qui a un aspect hélicoïdal induit un couplage torsion/traction qui peut avoir des effets divers sur la déformation du composite de part la présence ou l'absence de compatibilité de déformation des composants fibres et matrice.

### **I.6.3 Effet de la composition chimique des fibres végétales sur le comportement mécanique des biocomposites**

Les relations chimiques existantes entre les éléments du substrat fibreux et la matrice orientent autrement le comportement mécanique des composites. Une cohésion élevée fibre-matrice assure une transmission facile et constant des contraintes de la matrice aux fibres, donnant aux composites des propriétés mécaniques meilleures. Sur la surface des fibres, des liens s'établissent entre les groupes fonctionnels hydroxyle de la cellulose et des hémicelluloses eux-mêmes et avec les groupements fonctionnels de la matrice polymère donnant des liaisons chimiques plus ou moins fortes, qui configurent la réaction mécaniques du composite. Ces groupes hydroxyle participent aussi étroitement dans la forte envie des fibres végétales vers l'eau, mettant donc cette liaison chimique rude avec les résines thermoplastiques autrement dites hydrophobes généralement. Les fibres peuvent se lier, grâce à leur polarité (40 à 54,3 mJ.m<sup>-2</sup>), par interférence électrostatique (relations de type van der Waals et acide-base) à des matrices de polarité compatible.

Extraits de la lignine, les phénols associés avec d'autres résines phénoliques, des isocyanates, des carbohydrates ou du formaldéhyde afin de fabriquer des colles thermodurcissables adoptées soit pour la réalisation des panneaux de particules ligno-cellulosiques ou coller des contreplaqués [44 - 45] et [52]. D'autres liaisons covalentes formées par la lignine avec les autres éléments de la fibre cellulosique.

Les hémicelluloses et la lignine, à la cour d'opération de production de panneaux de fibres et de panneaux de particules et en présence de l'eau et sous température et de pression, sont d'une coté hydrolysés en hydrates de carbone de poids moléculaire faible hydrosolubles et d'autre coté en produits de décomposition, qui peuvent se comporter comme adhésif dans les panneaux élaborés [53].

Les fibres ligno-cellulosiques ont généralement l'acidité faible (pH : 4,3 à 5,9) et leur pouvoir tampon peuvent aussi affecter ou favoriser la force d'adhésion fibre-matrice. Marquant les résines synthétiques conventionnelles courantes ont un pH de compatibilité tellement variable de très acide à très basique. Toutefois le pH des résines urées formaldéhyde comme exemple est basique et un pouvoir tampon faible [54-55]. En beaucoup de raisons tel que la forte polarité, le caractère hautement hydrophile, l'aptitude au gonflement relativement élevé, les fibres ligno-cellulosiques enregistrent habituellement assez de problèmes de compatibilité avec la majorité des résines conventionnelles, particulièrement les résines thermoplastiques, utilisées en industrie des composites [56-57].

#### **I.6.4 Effet des propriétés mécaniques des fibres végétales des biocomposites**

Il en a une relation négative entre le module d'élasticité en traction des panneaux de fibres de densité moyenne et le module d'Young des fibres constitutives individuelles [40]. (Figure I.9). Le même auteur signale la même connexion entre la rigidité et la résistance des panneaux MDF en traction et les propriétés mécaniques de la fibre individuelle en traction. Pour sélectionner des fibres ligno-cellulosiques qui vont présenter un soutien pour les composites, on doit référer de leurs propriétés mécaniques dépendants du leur taux en cellulose et de l'angle microfibrillaire [58].

En conclusion et à travers ce qui à été évoqué dans ce chapitre il est important de signaler que l'utilisation pratique d'un matériau ne peut être faite qu'après une connaissance précise de ses caractéristiques physiques, tout ceci est dans le but de la comprendre.

L'ensemble des essais mécaniques aux quels doit subir un matériau tel que le bois, sont exposer. Également, certains paramètres jugés important et qui peuvent affecter les propriétés physico-mécaniques seront exposés à savoir l'humidité et la densité.

*Chapitre I :*  
*Généralites*  
*sur le bois*

## II.1 Généralités sur le palmier dattier

**Phoenix dactylifera**, ou **palmier dattier** est un ancien arbre fruitier, cultivé dans le monde depuis des siècles [2,59], rustique, s'acclimatant aux conditions maximales d'aridité dans le monde et représentant la source essentiel vitale de la population saharienne [60]. La distribution de cette espèce est dans la région afro-asiatique [2], elle représente l'élément principal de système oasis, vue que sa bonne tolérance aux conditions climatiques, l'intérêt alimentaire de ses fruits et l'usage multiple de ses sous produits [61]. On distingue les deux sexes séparément avec palmier mâles et femelles, donc le Phoenix est une plante dioïque [2,61].

Selon les chercheurs, le palmier dattier est une source de matières premières pour des applications industrielles [2,62-63]. C'est dans cette logique que cette étude s'inscrit.

Le palmier comporte cinq types principaux du bois, celui de folioles, du rachis, du bois de tronc, de pétioles et de la grappe [2,64].

Cette étude est une revue bibliographique sur le palmier dattier. La première partie est consacrée à la morphologie du palmier, les sous produits, les fibres et les variétés du palmier. La deuxième partie est consacrée aux travaux de recherche menés par les différents chercheurs, sur le palmier dattier.

## II.2. Variétés de palmier dattier en Algérie

Selon la littérature on peut distinguer plusieurs variétés de palmier dattier dont les plus répondues sont: **Deglet Nour**, **El Ghers**, **Mech Degla**, **Degla Baida** [2, 59,65]. Les autres variétés sont présentées dans le tableau (II.1).

Variétés	Nombre palmier dattier	Localisation
<b>El Ghers</b>	2.500.000	Oud Righ, Zibens, Oued souf, Ouargla, M'zeb, El Golia, Biskra(Tolga)
<b>Deglet Nour</b>	1.500.000	Oud Righ, Zibens, Oued souf, Ouargla, M'zeb, El Golia, Biskra(Tolga)
<b>Mech degla</b>	1.500.000	Oud Righ, Zibens, Oued souf, Ouargla, Biskra(Tolga)
<b>Tilemson</b>	500.000	Touat, El Boléa, Gourara, Tidikelt
<b>Tin-Nacer</b>	400.000	Touat, El Golia, Tidikelt
<b>Degla Beida</b>	300.000	Oud Righ, Zibens, Oued souf
<b>Tazerait</b>	100.000	M'zeb, Tidikelt, Saoura
<b>Tegaza</b>	70.000	Touat, Tidikelt, El Golia ,Hoggar
<b>Temjouhart</b>	50.000	El Golia, Gourara, M'zeb
<b>Takerbouch</b>	42.000	Tidikelt, Touat
<b>Tafezouine</b>	35.000	M'zeb, Oued souf, Oud Righ
<b>Tantebouch</b>	10.000	Oud Righ, Ouargla, Tidikelt
<b>Timedouel</b>	8.000	M'zeb, El Golia

**Tableau (II.1):** Différentes variétés de palmier dattier en Algérie [59].

La région de Tolga (Biskra) connue comme l'une des régions à potentiel phoenicicoles très important à l'échelle mondiale, surtout par la variété Deglet Nour [66].

### II.3 Etude morphologique du palmier dattier

Appartenant à la classe des monocotylédones, le palmier dattier à une anatomie distincte, il n'a pas de cambium (une couche mince apparait entre le bois et l'écorce), alors que le bois de palmier a une structure et des propriétés bien définies et diffère de celle des autres arbres [67]. Le palmier est par conséquent une herbe géante de 20 à 30m de hauteur, à

un tronc cylindrique (le stipe), basé sous une couronne de feuilles pennées, avec une longueur qui varie de 04 à 07 m. Il peut avoir des inflorescences mâles ou femelles [59].

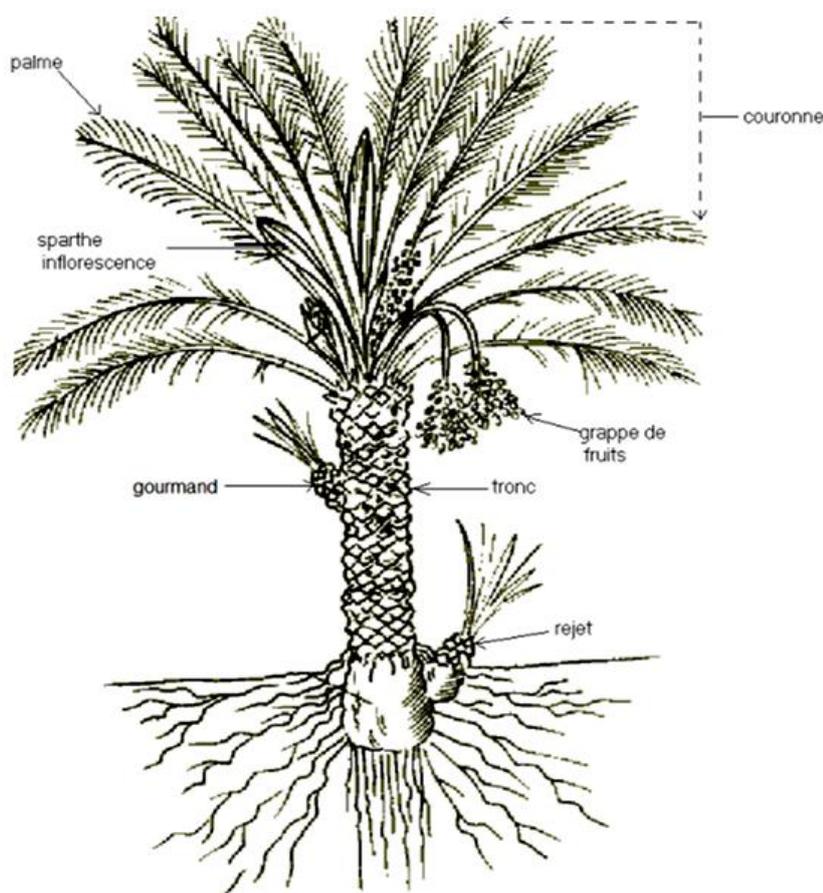


Figure (II.1) : Schéma morphologique de palmier dattier. [59]

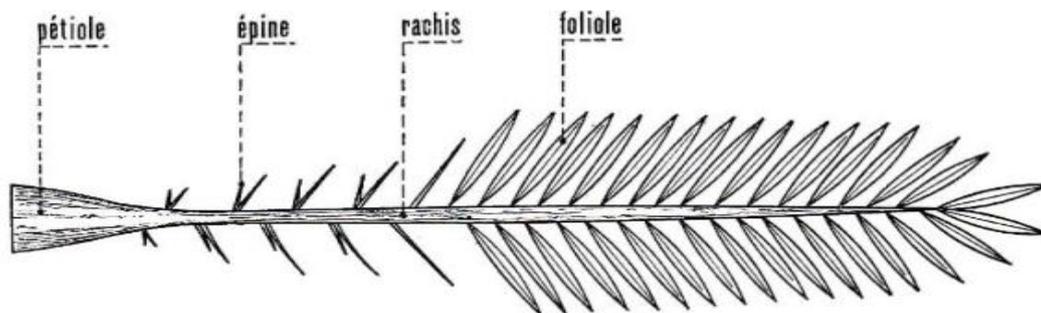
### II.3. Parties constituants du palmier dattier :

On distingue dans le palmier dattier selon la littérature [62] est constitué de :

**II.3.1 Le tronc :** Le tronc du palmier dattier est unique et coronaire sans rameaux appelé stipe. Ceci finit par un bourgeon terminal unique qui prolifère des feuilles appelées palmes (frondes), habituellement il est cylindrique. L'écorce, l'enveloppe extérieure, c'est seulement une extension de la base des pétioles des feuilles [68]. Les pétioles contenant des fibres formant un tissu qui diffère à celui au bois ordinaire. Ce tissu ressemble des couches des toiles d'araignées (ils sont placés les unes à coté des autres sans ordre.). Le tronc est structuré par des fibres pétiolaires associés les unes sur les autres de l'intérieur à l'extérieur. C'est pourquoi le bois est plus dur à l'extérieur qu'à l'intérieur [68].

**II.3.2 La couronne :** Toute les palmes vertes sont appelées couronne. Chez un palmier dattier mature, on peut trouver 50 à 200 palmes. Ces dernières sont reproduites par le bourgeon terminal ou « **Phyllophore** ».

**II.3.3 Palme :** La feuille pennée ou la palme, appelée encore « **Djérid** » dont les folioles sont situées en ordre incliné usuellement le long du rachis étalant jusqu'au pétiole. Les épines sont les segments inférieurs convertis à partir de folioles, de nombre variable, et de longueur variable. Le pétiole est encore nommé **Kornaf** est dur et relativement rigide [69]. Le palmier dattier produit annuellement un ensemble de palmes par le mouvement de bourgeon et débarrasse un chiffre presque identique de palmes par dessèchement [69, 70].

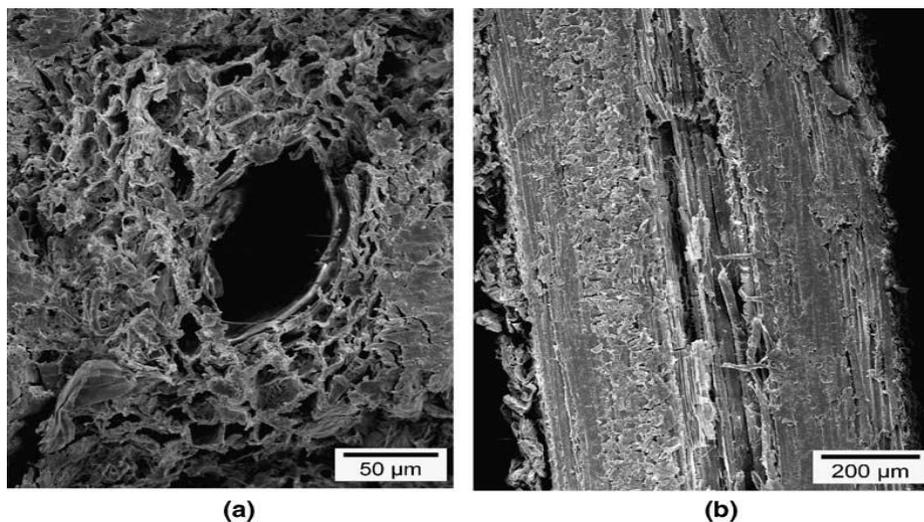


**Figure (II.2) :** Schéma d'une palme de palmier dattier. [59]

#### II.4. Fibres du palmier dattier

La structure fibreuse du palmier dattier englobe quatre types de fibre [65]:

- Fibres de bois de tronc.



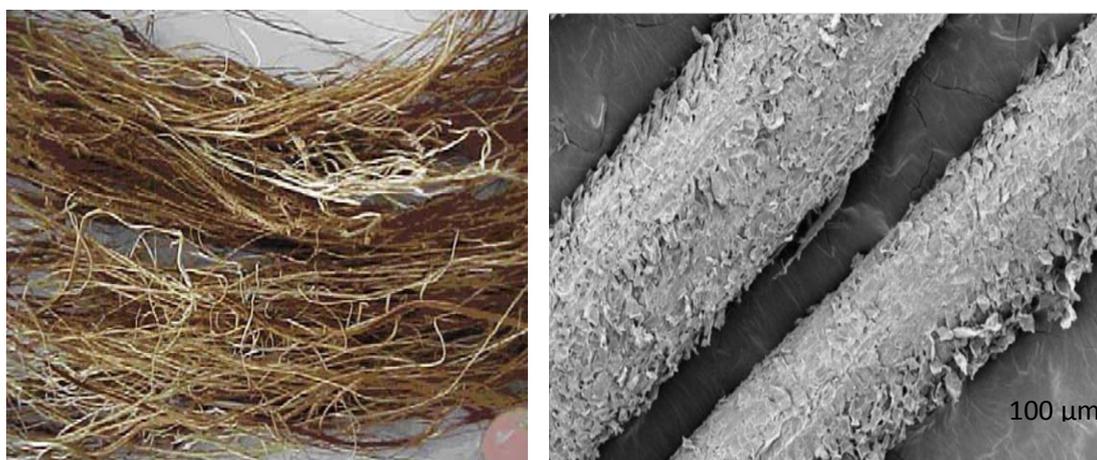
**Figure (II.3) :** Observation de la fibre de surface du tronc par (MEB), a) coupe transversale, b) coupe longitudinale. [2]

- Fibres de feuilles au niveau des pédoncules.
- Fibres de tige au niveau des tiges des pédoncules et du support dattier (grappe).
- Fibres de surface autour de son tronc ou de bases de palmes (pétiole)



**Figure (II.4) :** Bois d'un pétiole du palmier dattier [71].

- Fibres de Liffe (entre les Kornaf, le tronc est recouvert d'une bourre fibreuse que l'on appelle le Liffe).



**Figure (II.5) :** Observation de la fibre de Liffe du tronc par (MEB). [64]

## II.5. Sous-produits de palmier dattier

**II.5.1. Sous-produits de palmier dattier et leurs applications :** Le palmier dattier est une source importante des autres sous-produits exploités par la production saharienne, hors de sa production de dattes pour l'alimentation humaine, tel que [60], [72]. Par fermentation microbiologiques des dates communes, on trouve le vinaigre, l'alcool et les levures,

- Farine de dattes utilisées dans la panification,
- Par extraction il existe le jus de dattes, utilisé comme sucrerie,
- Tronc d'arbre, exploité classiquement dans la menuiserie, bois de chauffage et charpentes de bâtiments,

- Pour les clôtures, brises vent, dans la confection de couffins et de chapeau, les palmes sèches sont employées, celles-ci peuvent même servir en industrie de papier,
- Les régimes de dattes, comme balais traditionnels ou comme bois de chauffage.
- Le Liffe pour la fabrication des semelles de sandales,
- Boisson demandée certainement par la population locale, le lagmi, c'est la sève qui circule dans le stipe.

### **II.5.2. Estimation du tonnage du palmier dattier et de leurs sous produits**

Nous comptons plus de 100 millions de palmiers dattiers dans le monde selon [65], [66-73]. Chaque année, les palmes sont enlevées sèches et fraîches. Leur estimation annuelle est de l'ordre de 1 130 000 tonnes de palmes découpées.

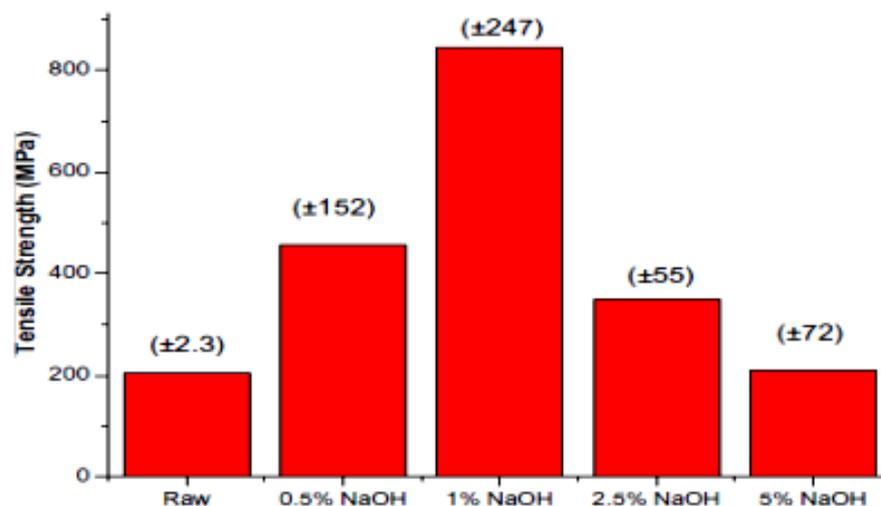
En Algérie, il existe plus de 10 millions arbres de palmier dattier [2], [60] et [66], avec plus de 800 variétés de dattes [65]. La partie consommable des palmes sèches est évaluée environ de  $135 \cdot 10^3$  tonnes de palmes sèches / an, on estime aussi que les pédicelles de dattes est environ de  $5 \cdot 10^3$  tonnes de pédicelles / an, avec 67500 tonnes de déchets de dattes [60] et [73].

### **II.6 Synthèse des travaux réalisés sur le bois du palmier dattier**

Nombreux sont les travaux faites sur le bois du palmier dattier afin de caractériser ses propriétés mécaniques, thermiques et de créer une méthode d'incorporation dans les matrices cimentaires ou argileuses pour ajuster des composites qui servent à soutenir un matériau de construction et dans le domaine de l'isolation.

**H.H.Abdel-Rahman** et al. [74]. identifia les propriétés mécaniques des tiges des palmes du palmier dattier (rachis), ils à trouvé que la résistance à la traction de la paroi de la tige est comprise entre [116 à 208]  $N/mm^2$ . Celle de cœur ne représente que le moitié de ces valeurs. D'autre part, le module d'élasticité des tiges est compris entre (10 à 30)  $KN/mm^2$ .

D'après **Ahmad Alawar** et al. [75], les propriétés mécaniques des fibres de surface du tronc de palmier dattier, avant et après le traitement chimique de NaOH pour différentes concentrations. (Figure. II.5) procure les résultats suivants :



**Figure (II.6)** : Effet NaOH à la propriété mécanique de fibre de surface du tronc de palmier dattier. [75]

Ils ont observé que l'application du traitement chimique, provoque l'augmentation de la résistance à la traction du palmier dattier. Pour un taux de 01% NaOH, la résistance atteint son maximum, cette résistance diminue lorsque la concentration de NaOH augmente. Les résultats obtenus des propriétés mécaniques de quatre types de fibres de surface de palmier dattier sont présentés dans le tableau (II.2) [2].

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

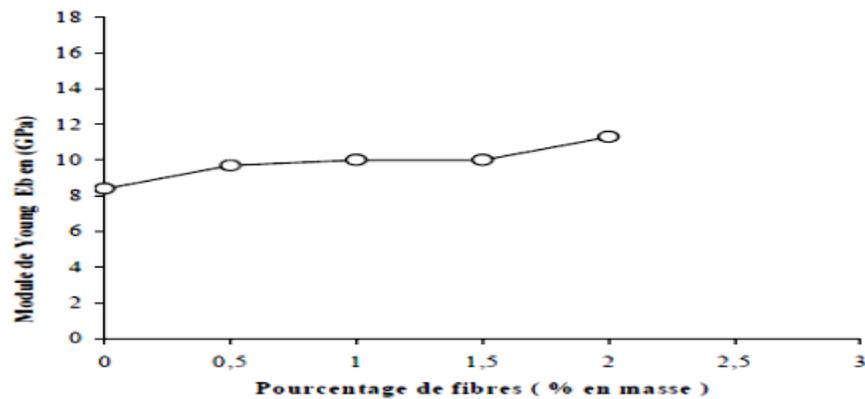
**Tableau (II.2)** : Propriétés mécanique des fibres de la surface du palmier dattier en Algérie [59].

Le tableau (II.2) montre que les fibres de Dokhar sont les plus résistantes et qui présentent plus d'allongement. De plus, l'humidité est en étroite corrélation positive avec la résistance et l'allongement à la rupture des fibres. Cependant, les fibres à l'état sec ont un module d'élasticité un peu plus élevé que celui de l'état humide.

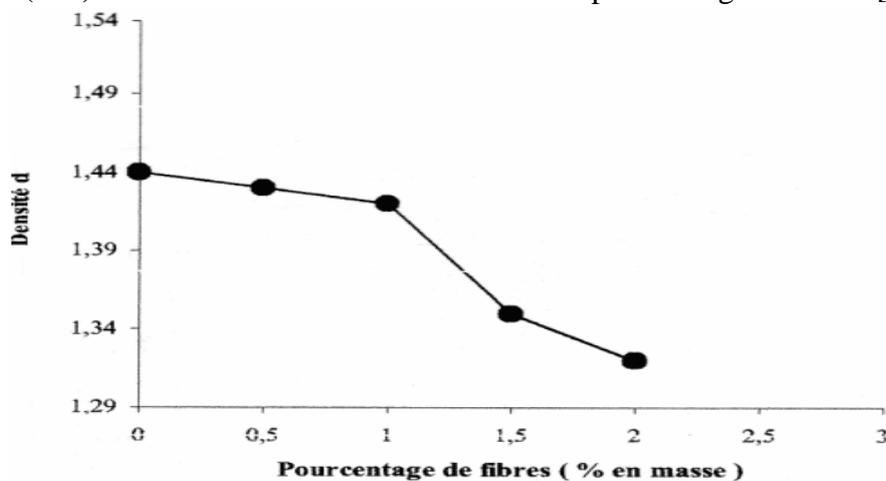
Le Dokhar renferme des fibres de surface très poreuses ce qui permet l'absorption de plus d'eau et sa porosité moyenne a été estimée d'environ 35% [2]. D'autre part, selon les auteurs [75], le traitement thermique de plus de 260°C (Analyse Thermogravimétrique TGA) appliqué montre que les fibres de surface de palmier dattier traitées par de la soude (NaOH) ont une meilleure résistance vis-à-vis à la dégradation thermique.

Grâce au développement des matériaux composites et la sollicitation des chercheurs, les fibres de palmier dattier sont ajoutées comme matière de soutient dans les matrices inorganiques telle que le plâtre et le ciment [2,76] afin de corriger la résistance à la traction et l'amélioration des propriétés thermique du matériau.

**A. Djoudi** et al. [76] parle d'une proposition de l'incorporation des fibres de palmier dattier dans le plâtre, le renforcement de plâtre avec des pourcentages de fibres du palmier suggère que l'augmentation du taux de fibres conduit à la croissance du module d'élasticité (voir la figure. II.6) et à la décroissance de la densité de matériau figure (II.7).

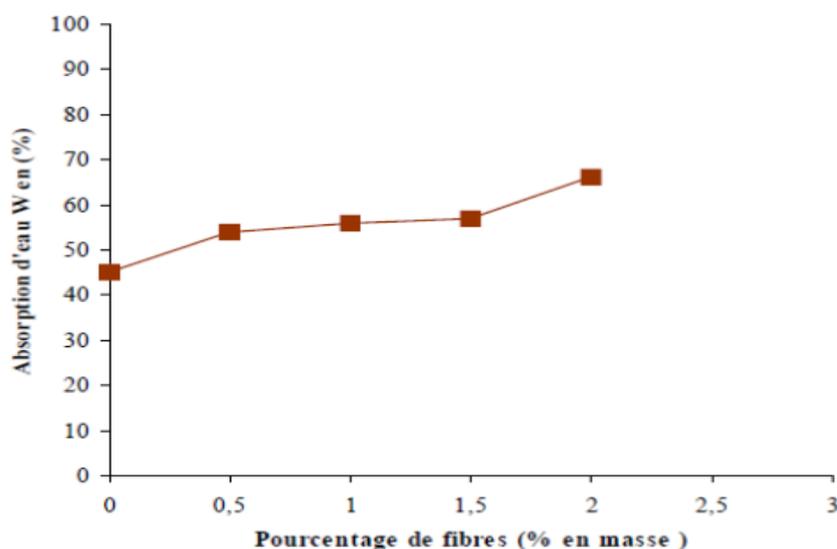


**Figure(II.7) :** Variations de densité en fonction de pourcentage de fibres [76].



**Figure (II.8) :** Variations de densité en fonction de pourcentage de fibres. [76]

La figure ci-dessus indique que l'augmentation de la teneur en fibres a causé la diminution de la densité cela peut être expliqué par le grand volume de vide créé par la présence des fibres d'où la diminution de la densité du composite.



**Figure (II.9) :** Variations d'absorption en fonction de pourcentage de fibres [76].

On conclut que l'absorption de l'eau augmente au fur et à mesure que le taux des fibres augmente (figure III.9), cela est dû aux hydrophilités des fibres, qui absorbent une quantité importante d'eau.

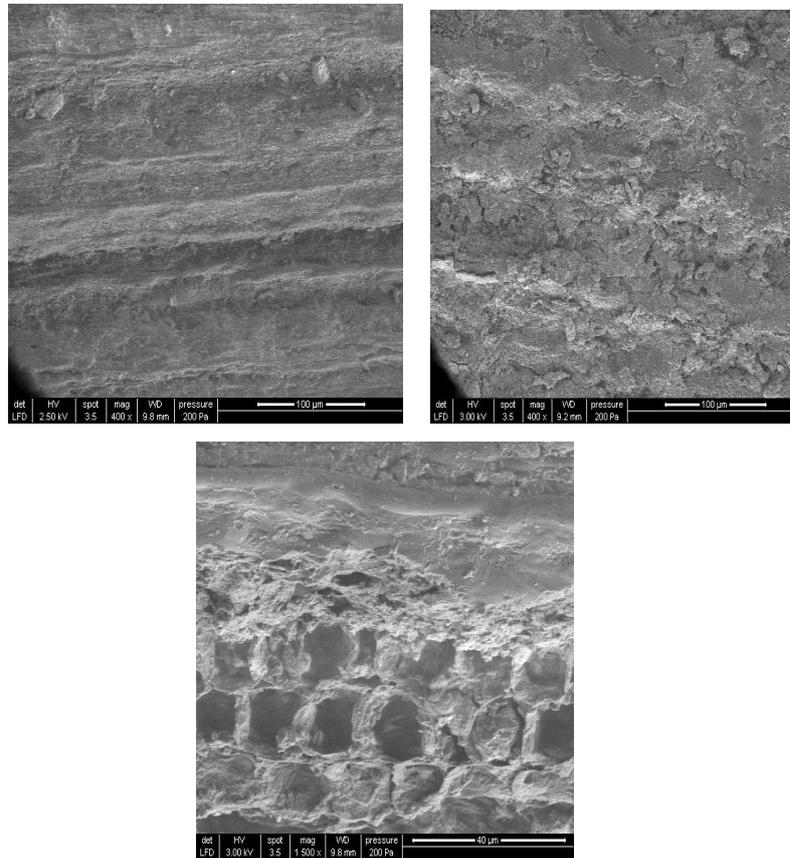
Selon **S. Imen et al.** [77] qui a employé des fibres de paille de la région d'Annaba et des fibres de palmier dattier de la région de Biskra pour la fabrication des éprouvettes de béton de terre, les caractéristiques physiques obtenues sont exprimées dans le tableau (II.3) .

Caractéristiques	Fibres de pailles	Fibres de palmier dattier
Masse volumique apparente (Kg/m <sup>3</sup> )	215	352
Absorption d'eau (%)	422	146
Diamètre (mm)	1-4	1-2
Longueur (mm)	10-50	10-40

**Tableau (II.3) :** Caractéristiques physiques. [77]

Les photos suivantes représentent l'observation par le microscope électronique à balayage (MEB), pour examiner la rugosité de la surface de la fibre.

L'état de la surface joue un rôle très important dans le phénomène de l'adhérence entre la fibre et la matrice.

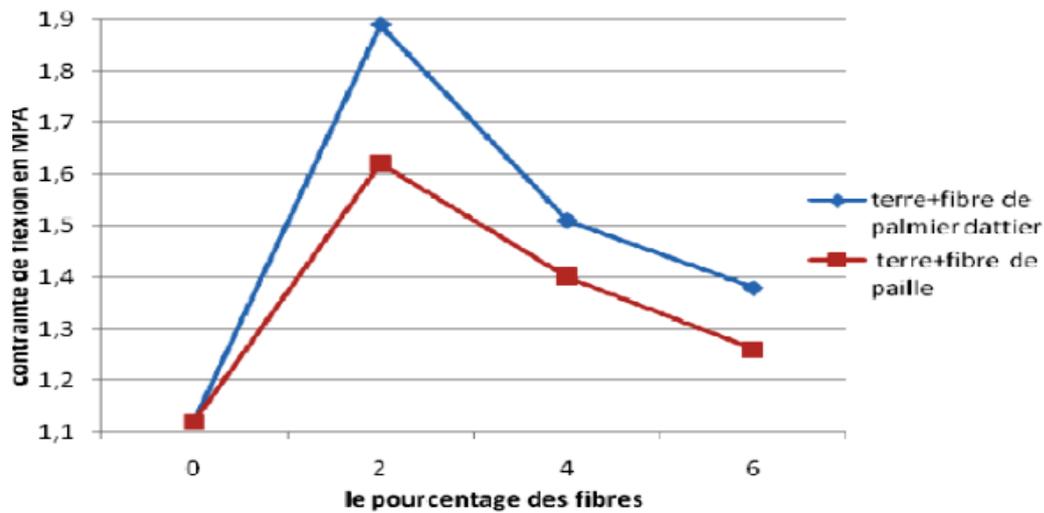


**Figures (II.10):** Microstructure d'une fibre de palmier dattier. [77]

### **II.6.1 Influence du taux de fibres (palmier dattier et paille) sur les**

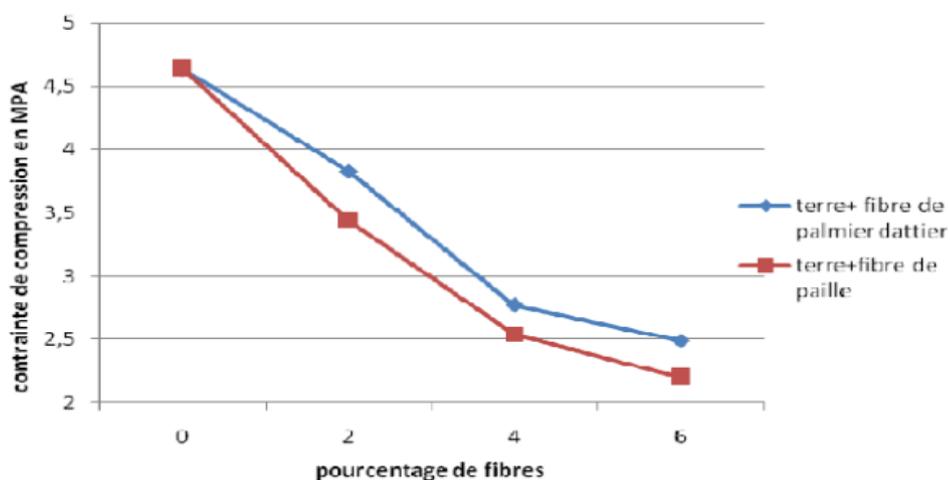
**résistances mécaniques en flexion :** A partir de la contrainte de flexion de la terre 100 %, nous avons remarqué que les contraintes sont au minimum, par contre pour les cas contenant des fibres il y'a une augmentation des valeurs des contraintes de la flexion, le rôle de la fibre est d'armer la structure.

On remarque aussi que les valeurs de la résistance du béton renforcée par les fibres de palmier dattier sont meilleures que celles du béton renforcé de fibres de paille.



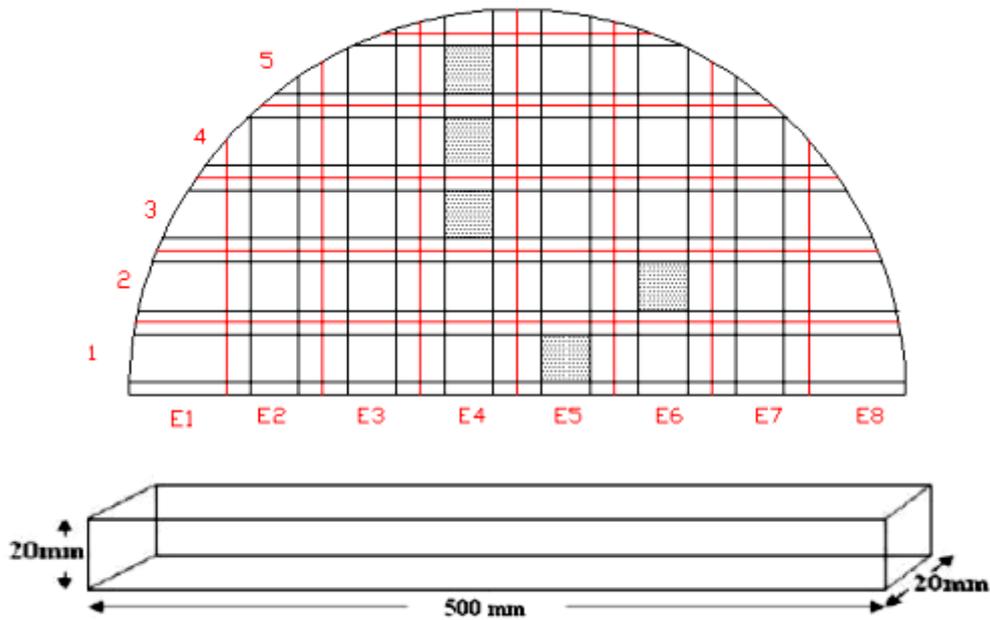
**Figure (II.11) :** Evolution des contraintes de flexion des éprouvettes de béton contenant de (0 à 06) % de fibre. [77]

**II.6.2 Influence du taux de fibres (de palmier dattier et de paille) sur les résistances mécaniques en mode compression :** L'augmentation du taux de fibres dans la brique de terre influe négativement sur les contraintes de compression. Il apparaît clairement que l'incorporation de fibres dans le béton de terre n'améliore pas la résistance à la compression.



**Figure (II.12) :** Influence du taux de fibres sur la résistance en compression. [77]

A. Ellouze et al. [78] dans ces travaux de caractérisation du bois de tronc du palmier dattier, à son âge non productif de la région du sud de la Tunisie, les essais ont été effectués dans le but d'étudier le comportement mécanique du bois de tronc de palmier en mode de compression et en mode de flexion afin de déterminer le module d'Young.



**Figure (II.13) :** Caractéristiques géométriques des éprouvettes du bois de tronc du palmier.

[78]

Les éprouvettes ont été testées en flexion statique, avec l'effort exercé tangentiellement, la distance entre appuis est de 400 mm et la charge est appliquée au centre de la face radiale de l'éprouvette. Vu l'anisotropie du matériau, le module d'Young du tronc de palmier diffère pour l'essai de flexion, avec l'essai de compression. En effet, le module d'Young pour l'essai de flexion est  $E = 6000 \text{ MPa}$ , par contre le module d'Young pour l'essai de compression est  $E = 2875 \text{ MPa}$ .

Le module d'Young peut varier pour une charge appliquée longitudinalement aux fibres, avec une autre pour une charge appliquée transversalement, ses propriétés varient selon la direction considérée (parallèle, perpendiculaire à la fibre du bois...).

Les paramètres influencent sur la résistance à la traction, à la compression et même à la flexion cela dépend de :

- type de bois
- humidité
- direction des sollicitations
- densité du bois
- vitesse de sollicitations.

D'après **S. Abdelaziz** et al [79]. La valorisation des tiges des palmiers dattiers dans la composition et formulation des mortiers pour les propriétés physiques et mécaniques, de la région de Biskra située au sud est de l'Algérie, tout en utilisant le bois de branchettes de la datte. Cet essai est effectué dans le but de valoriser les tiges branchettes de par leurs incorporations dans la formulation des mortiers et des bétons afin de diminuer la propagation de fissures. Cet essai est réalisé sur des éprouvettes de mortier des dimensions (40×40×160 mm) contenant des tiges. L'incorporation des tiges dans le mortier diminue le risque d'une rupture fragile car la forte résistance des tiges à la traction leur permet de reprendre l'effort après rupture du mortier. L'ajout de nanotubes de carbone a permis de gagner de la résistance.

Les tiges utilisées dans cette étude proviennent des branchettes de dattes (variété : Elghers) de l'arbre palmier dattier. La tige de dattier est composée essentiellement des éléments biologiques suivants : cellulose, hémicellulose et lignine.



**Figure (II.14)** : Description la branchette de datte. [79]

Des essais de traction sur les tiges de dattiers ont donnés des résistances supérieures à 100 Newton pour un diamètre  $d = 03$  mm.

La bonne résistance des tiges à la traction permet que celles-ci reprennent l'effort de traction après rupture du mortier. Cette reprise sera d'autant plus efficace si les tiges sont en bonne position, ceci nécessite une technique spéciale de mise en œuvre des tiges.

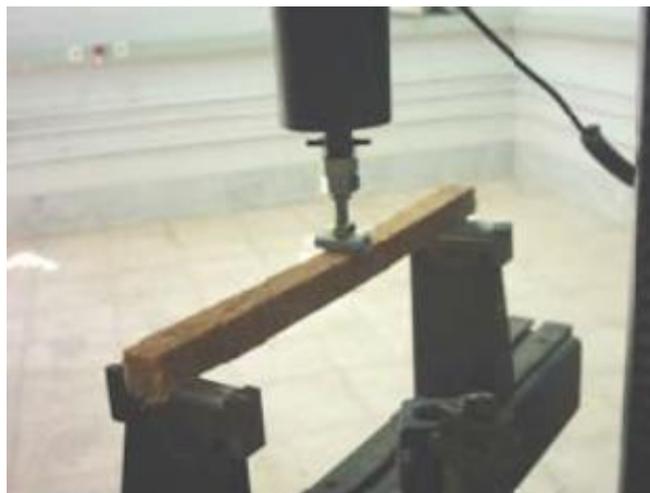
Le nombre de tiges à introduire est un paramètre important, on a constaté que pour la dimension des éprouvettes étudiées, l'incorporation de 02 tiges donne des résultats meilleurs que ceux obtenus avec 04 tiges. Une étude d'optimisation peut être nécessaire pour s'assurer du bon nombre de tiges à utiliser.

D'autre part, selon **M. Keramat Jahromi**, et al [80], les propriétés technologiques du tronc de palmier dattier sont applicables tout en concevant une machine du grimpeur. Le tronc de palmier dattier à utiliser dans la conception de cette machine qui sera directement reliée au tronc et à son usage comme appui.



**Figure (II.15) :** Coupe longitudinale d'un morceau de tronc du palmier dattier. [80]

La teneur en humidité et la densité moyenne du tronc sont respectivement 228.98 % et  $1.16 \text{ g/cm}^3$ . Les résultats de la valeur de la force des essais de flexion ont induit à la contrainte de flexion moyenne, à noter que les dimensions des éprouvettes sont  $20 \times 20 \times 280 \text{ mm}$  et le module de la flexion du tronc à été mesuré et la valeur trouvée est de 7.166 pour une force de 273.4 MPa.



**Figure (II.16) :** Représente l'essai mécanique de la flexion. [80]

La valeur du module d'élasticité et la valeur de la force de l'essai de compression sont respectivement 281.3 et 4.458 MPa. La direction de la force lors de l'essai est perpendiculaire.

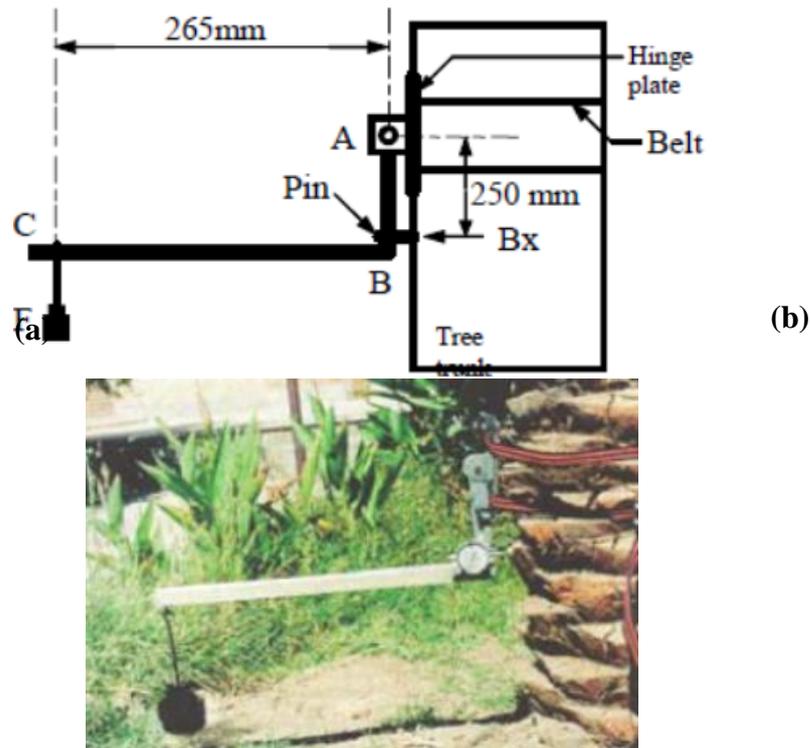


**Figure (II.17) :** Représente les essais mécaniques bois tronc de la compression parallèle et perpendiculaire aux fibres. [80]

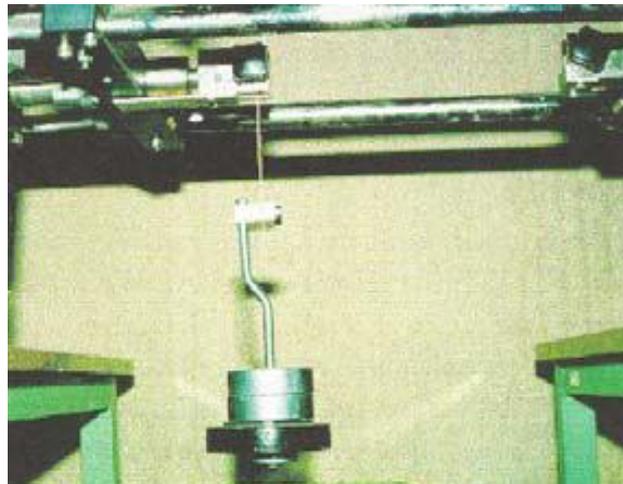
La charge déduite lors de l'essai de dureté est de 0.7319 KN pour une valeur de la dureté mesurée est de 1.61 HRV

Selon **M. Shamsi.** et al. [81]. Qui à effectué une étude pour trouver quelques propriétés physiques et mécaniques jugées importantes du palmier dattier. Les propriétés mécaniques de tronc du palmier telles que la résistance au cisaillement, à la traction et à la compression sont déterminées comme pour 09 échantillons choisies pour de différents endroits dans les troncs vivants et testés par des équipements appropriés. Les résultats relatifs à la résistance du tronc de l'arbre (la résistance à la traction longitudinale et la résistance à la pression longitudinale) sont relativement [60 et 5.34] MPa. Il à également indiqué que la résistance à la pression radiale est 2.96 MPa et la résistance au cisaillement longitudinale est de 1.10 MPa.

L'expérience a été effectuée sur les pétioles de tronc. Elle a montré que la résistance à la compression radiale de pétioles de l'arbre est de 6.38 MPa et la résistance au cisaillement longitudinale de pétioles est de 1.00 MPa.



**Figure (II.18) :** a) schéma fonctionnelle de mécanisme de compression, b) mécanisme réalise pour mesure la compression dans le pétiole. [81]



**Figure (II.19):** Essai de traction de fibre. [81]

Les résultats des essais réalisés sur le tronc de l'arbre peuvent être employés pour réduire les dommages humains, des arbres et des machines dans les opérations de cultures des palmiers dattier. Les résultats ont montrés qu'il y avait des différences significatives dans les propriétés physiques relatives à la taille, l'espacement, le rendement et la circonférence des arbres. Ces résultats peuvent être employés pour déterminer la gamme acceptable des tailles et des valeurs des dispositifs pour une nouvelle machine techniquement acceptable de service du palmier dattier.

***Chapitre III :***  
***Protocole***  
***expérimentale***

## III A. Protocole expérimentale

### III.A.1 Le Microscope optique

Pour l'ensemble des observations, le moyen utilisé est le microscope optique digital (DigiBlue QX5 QSG) représenté sur la figure (III.1). Cet appareil est disponible au niveau de hall technologie de département génie mécanique de l'université Biskra. Le microscope en question peut être connecté à un microordinateur via un port USB pour la prise de photos, il permet des agrandissements de 10 fois, 60 fois et 200 fois.



**Figure (III.1):** Le microscope optique digital (DigiBlue QX5 QSG).

### III.A.2 La Balance électronique :

Les spécimens ont été pesés avec une balance électronique dotée d'une précision de  $10^{-3}$ g disponible au niveau des ateliers du hall technologique de département de génie mécanique de l'université de Biskra comme montré dans la figure (III.2).



**Figure (III.2) :** Balance électronique

### III.A.3 L'Etuve de séchage pour la déshumidification

Les spécimens ont été séchés dans une étuve d'humidité, l'objectif du procédé de séchage est de diminuer la teneur en eau existante dans le bois, cet équipement est aussi disponible des ateliers du hall technologique de département de génie mécanique de l'université de Biskra comme montré dans la figure (III.3).



**Figure (III.3) :** Etuve d'humidité

### III.A.4 Machine des essais de traction

Pour effectuer les essais mécaniques de traction on utilise la machine de traction de marque **INSTRON 5969** dotée d'une cellule de 10 KN. La déformation est mesurée avec un extensomètre à pince et le logiciel de commande et d'acquisition de données de la machine permet la réalisation des séquences de chargement complexes. Cette machine est disponible au niveau du laboratoire de RDM du département de génie mécanique de l'université de Biskra.



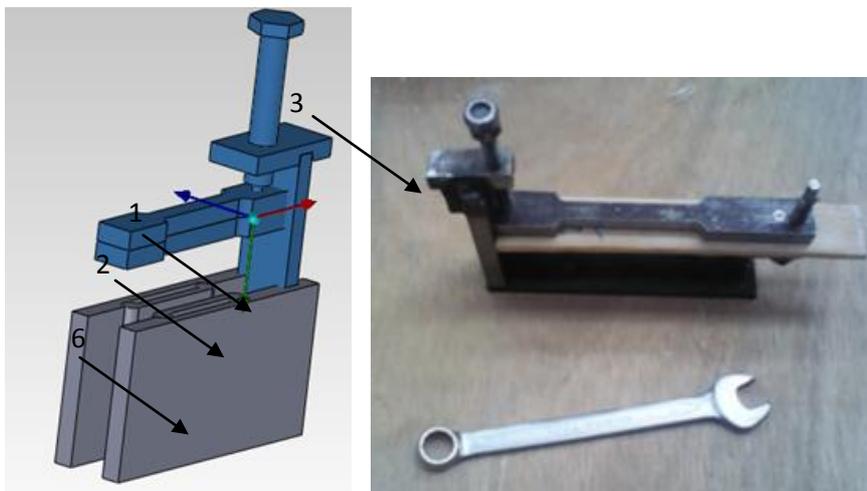
**Figure (III.4) :** Machine de traction  
INSTRON 6959.



**Figure (III.5) :** Extensomètre placé sur  
l'éprouvette.

Au cours de notre préparation des éprouvettes destinées aux essais de traction le phénomène de flambement de ces éprouvettes coupées posé un handicap majeur au déroulement de ces essais, raison de l'alignement non directionnel de ceux-ci cette problématique nous à poussé à concevoir un dispositif qui assuré une orientation directionnelle stable de nos éprouvette avant tout essai de traction proposé

#### III.A.4.1 Mécanisme conçu pour le maintien des éprouvettes de bois.



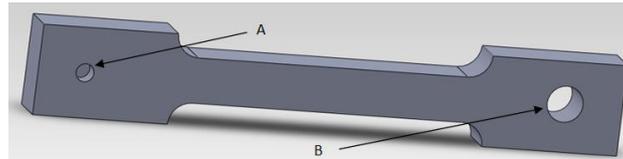
**Figure (III.6) :** Dispositif conçu

Ce mécanisme est composé de plusieurs pièces et on peut le subdivisé en deux parties.

### A. Partie de fixation Mâle du spécimen de traction

La partie de fixation du mécanisme proposé se compose de plusieurs pièces

- **pièce 01** : cette pièce est conçue en forme du spécimen de l'éprouvette destinée à l'essai de traction elle est métallique en acier doux comme indiqué sur la figure (III.7).



**Figure(III.7) :** Spécimen métallique fixe sur notre dispositif

A : trou de guidage

B : trou a filetage

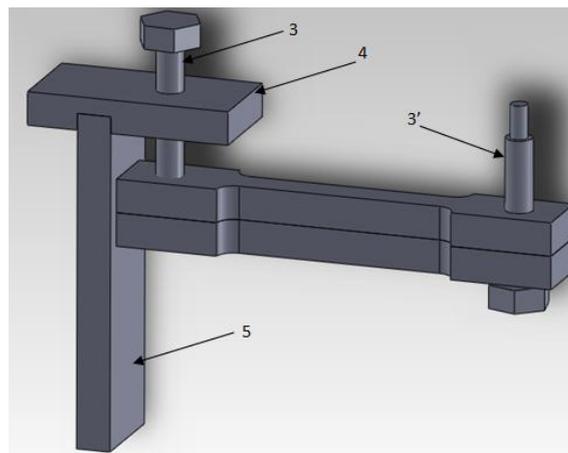
- **pièce 02** : c'est une pièce de la même forme que la pièce 01 voir figure (III.8)



**Figure (III.8) :** Spécimen métallique démontable

A : trou de guidage fileté

B : trou fileté



**Figure (III.9) :** assemblage des pièces du dispositif proposé

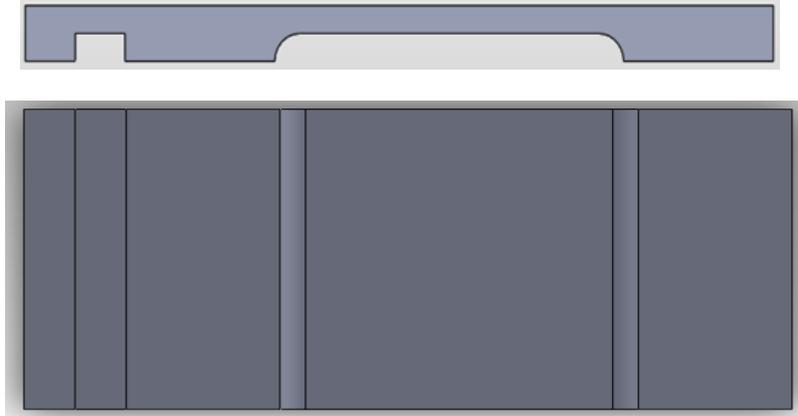
**Pièce 03 et 03'** : écrou M8

**Pièce 04** : contre support fileté M8

**Pièce 05** : guide de la première partie avec à la deuxième partie,

## B. Partie assurant le glissement (Femelle)

**Pièce 06** : c'est une pièce, qui permet le positionnement de la pièce 07 conformément sur la pièce 01 voir la figure (III.10)).



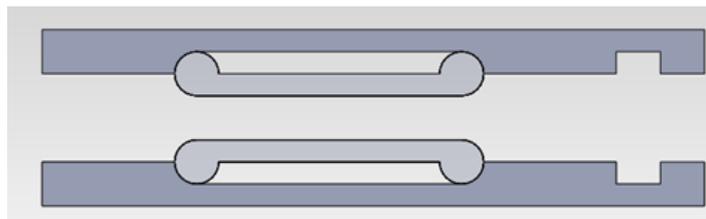
**Figure (III.10)** : Vue de gauche et de dessus de la pièce (06)

**Pièce 7** : cette pièce, nous avons choisit de l'appelée **le cœur**.



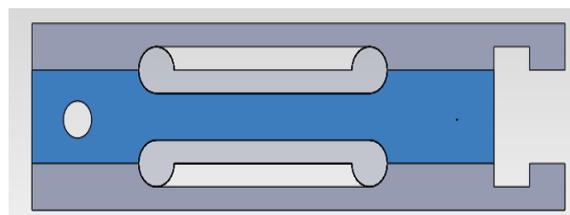
**Figure (III.11)** : dessin de la pièce dénommée **cœur**

Dans cette phase, on soude la pièce 06 avec 07 pour trouver la forme extérieure des pièces 01 et 02 comme montrée dans la figure (III.12).



**Figure(III.12)** : dessin descriptif des pièces (06,07) partie femelle

La figure suivante (III.13) montre le sens du glissement des pièces 01 et 02 de couleur bleu dans le dessin de la figure dans l'ensemble de la partie 02.



**Figure(III.13) :** dessin du dispositif conçu.

### **III .B. Les techniques expérimentales utilisées**

#### **III. B. 1-La masse volumique :**

Certains bois sont légers (peuplier, épicéa,...) et d'autres sont très lourds (chêne,...). La densité varie non seulement d'une essence à l'autre, mais aussi cela varie au sein d'une même espèce à savoir même pour le même arbre pour des régions différentes . Par ailleurs, cette variation concerne la teneur en eau et elle s'exprime par la relation suivante [82], [83] et[84].

$$\rho_x = \frac{M_x}{V_x} \quad (1)$$

Où  $M_x$  et  $V_x$  sont respectivement la masse et le volume à l'humidité X.

#### **III. B.1.1 Préparation du spécimen**

Pour la mesure de la masse volumique il existe deux méthodes principales et qui sont les plus utilisées leurs principe est basé sur la mesure des deux paramètres celui de la masse et celui du volume.

- ✓ la première méthode concerne la mesure indirecte du volume.
- ✓ la deuxième procédure concerne la mesure directe du volume par l'usage du récipient Becher.

Dans notre cas d'étude nous considérons la première méthode vu la forme assez complexe de notre bois qui est la matière d'étude et comme second soucis il faut prendre en compte le phénomène de l'absorption rapide de l'eau par le bois cela nous incite à éviter d'aboutir à de résultats erronés dues au gonflement du bois ce qui provoque aussi des variations de dimensions et des variations de la masse.

Nos spécimens sont de forme cubique afin de faciliter le calcul du volume de chaque spécimen, qui présente différentes couches comme le montrent les figures qui suivent :



**Figure (III .14) :** Spécimens proposées pour la mesure de la masse volumique : **Cœur**.



**Figure (III.15) :** Spécimens proposées pour la mesure de la masse volumique : **Peau**.

L'équation qui suit indique la relation de la masse avec le volume :

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (1)$$

$$V (m^3) = L \times I \times e \quad (2)$$

M : Masse, V : Volume et  $\rho$ : Masse volumique

### III.B.2. La technique de séchage :

Les spécimens ont été séchés à une température de 60°C jusqu'à la stabilisation de la masse indiquée sur l'étuve et balance précision (0.001) Grammes pour les différents intervalles de temps.

L'objectif du procédé de séchage est de diminuer la teneur en eau existante dans la structure interne du bois. Cette technique a été effectuée sur trois spécimens de différentes variétés étudiées et sur les différentes couches. Les résultats sont donnés pour le séchage à l'état naturel ou et à l'état humide.

#### III.B.2.1 Méthode de séchage :

On détermine le taux d'humidité des différentes couches de bois du régime de dattes des différentes variétés du palmier dattier, le travail. La classification des palmiers dattiers sont essentiellement basés sur la variété productive. Il s'agit de trois variétés : **Mech-dagula**, **Deglet Nour** et **El Ghers**. Cette étude a été faite juste après la récolte de dattes, on a découpé le bois du régime pour prendre le taux de l'humidité, on va préparer le bois du régime de dattes, pour l'étude en couvrant le spécimen par nylon (plastique) afin de conserver le taux d'humidité déjà existant lors de la récolte.

### III.B.2.2 Préparation des spécimens :

Nous avons préparé trois morceaux de bois des régimes et la distance entre les positions est toujours de 50 cm avec une longueur de mesure de 40 mm pour les morceaux non séparés comme le montre la figure III.16, les dimensions des spécimens sont exposées dans le tableau (III.1):

couche	peau	cœur	Régime complet
longueur	40	40	40
largueur	30	30	/
Epaisseur	3	5	/

**Tableau (III.1) :** Dimensions des spécimens pour l'étude d'humidité



**Figure (III.16):** Les formes des spécimens étudiées.

La teneur en eau est définie comme la masse d'eau présente dans le bois rapportée à sa masse anhydre dans quelque temps de séchage, elle est exprimée par la relation suivante [84]:

$$H(\%) = \frac{m_{avant} - m_{après}}{m_{après}} \times 100 \quad (3)$$

$m_{avant}$  : la masse avant le séchage.

$m_{après}$  : la masse après le séchage.

H(%) : le pourcentage de l'humidité extraite.

A partir de la relation (1) le taux de l'humidité est calculé pour une température de 60°C.

### III. B. 3 Technique d'absorption

Le but de cette partie est de déterminer le taux d'absorption du volume des vides du bois étudié et d'avoir une idée sur le phénomène de reprise en eau et la porosité du bois.

Pour cela, cette partie est consacrée à la détermination de gain massique en eau. Les trois variétés et les couches, sont préalablement séchés dans une balance et étuve d'humidité à une

température de 60°C jusqu'au poids stabilise. Le choix de cette température est lié au séchage conventionnel pris entre 50 °C et 100° C [83].

### III.B.3.1 Absorption le bois du régime de dattes

Dans cette partie de notre étude, nous allons voir la quantité d'absorption d'eau des différents bois du régime des dattes pris en charge par l'étude.

### III.B.3.2 Préparation des spécimens

Nous coupons une partie de bois du régime des dattes voir figure (III.17), des trois variétés est qui sont **El Ghers, Mech Degla et Deglet-Nour**, la distance entre les positions 50cm, après la préparation des spécimens, nous les pesons et puis nous les exposons directement dans une étuve et chaque fois une pesée est faite jusqu'à la stabilisation de la masse, sous un degré de température de 60°C°.

La dernière quantité de chaque spécimen est enregistrée comme valeur de référence est cela pour une élongation ou gonflement de 30 mm comme indiqué dans figure (III.18).



**Figure (III.17):** Spécimen de régime de palmier dattier.



**Figure (III.18):** Procédure d'absorption de l'eau.

Après la préparation des spécimens nous plongeons nos spécimens dans un bocal qui contient de l'eau distillée nous remarquons que le bois flotte sur l'eau raison de la densité inférieure à celle de l'eau comme il est illustré dans la figure (III.18).

#### III.B.3.1.a Solution proposée

Certains spécimens flottants sur la surface de l'eau se voient non complètement plongés ce qui nécessite la pose d'une masselotte sur une pièce circulaire de polystyrène comme indiqué sur la figure (III.19):



**Figure (III.19):** Masselotte sur pièce circulaire de polystyrène

Chaque fois que nous avons calculé la masse avant de peser, le travail c'est fait relativement dans la variation de la masse par rapport au temps, et comme cette dure jusqu'à la stabilisation de masse, c'est-à-dire après la saturation par absorption de l'eau distillée qui dure 27 jours.

L'utilisation de la relation (1) nous permet de calculer le taux d'absorption de l'eau de nos spécimens :

$$\Delta m(\%) = \frac{m_{\text{après}} - m_{\text{avant}}}{m_{\text{avant}}} \times 100 \quad (4)$$

$\Delta m(\%)$  : le pourcentage de la quantité de l'eau d'absorber par les spécimens de bois.

$m_{\text{avant}}$  : la masse avant l'absorption de l'eau c'est-à-dire l'état initiale.

$m_{\text{après}}$  : la masse après l'absorption de l'eau c'est-à-dire l'état finale.

### III. B. 4 Conception du dispositif de correction des éprouvettes de traction

Le principe de ce dispositif est d'appliquer une pression constante sur les pièces 05 et 01 qui sont les spécimens afin de redresser leurs formes qui sachant le tendent à prendre des formes décrites comme cavité voir la figure (III.20).



**Figure (III.20) :** Principe de fonctionnement du dispositif de correction de formes des éprouvettes en bois

Les spécimens en bois objet de notre étude présentent des aléas gênant à la pratique des essais de traction que l'étude mécanique propose, parmi ces aléas nous retrouvons les fissures surtout surgissant à la surface médiane de l'éprouvette du au développement des fibres de bois qui n'ont pas des directions précises et cela du au positionnement des fibres qui ne sont pas uniforme. Voir l'image au dessous :



**Figure (III.21) :** Spécimens après l'opération de correction de direction

Et pour éviter cet obstacle on a utilise le dispositif proposé et cette opération est faite pour obtenir des dimensions plus exacte, comme le montre les figures (III.22), (III.2) et (III.24).



**Figure (III.22) :** spécimens en fixation  
Après avoir obtenu nos spécimens on les pèse puis on la sèche à température de 60° C, voir la figure (III.24):



**Figure (III.23) :** Spécimens après l'usinage



**Figure (III. 24) :** Description les spécimens dans l'étuve

Après séchage, quelques spécimens, nécessitent un polissage en utilisant une machine de la polisseuse voir la forme suivante qui représente des spécimens des différentes épaisseurs, 10, 08, 05, 04, 02 mm



**Figure (III.25) :** Spécimens préparés avant essais de traction

*Chapitre IV :*  
*Résultats*  
*&*  
*Interprétations*

## A/ RESULTATS DES OBSERVATIONS MICROSCOPIQUES

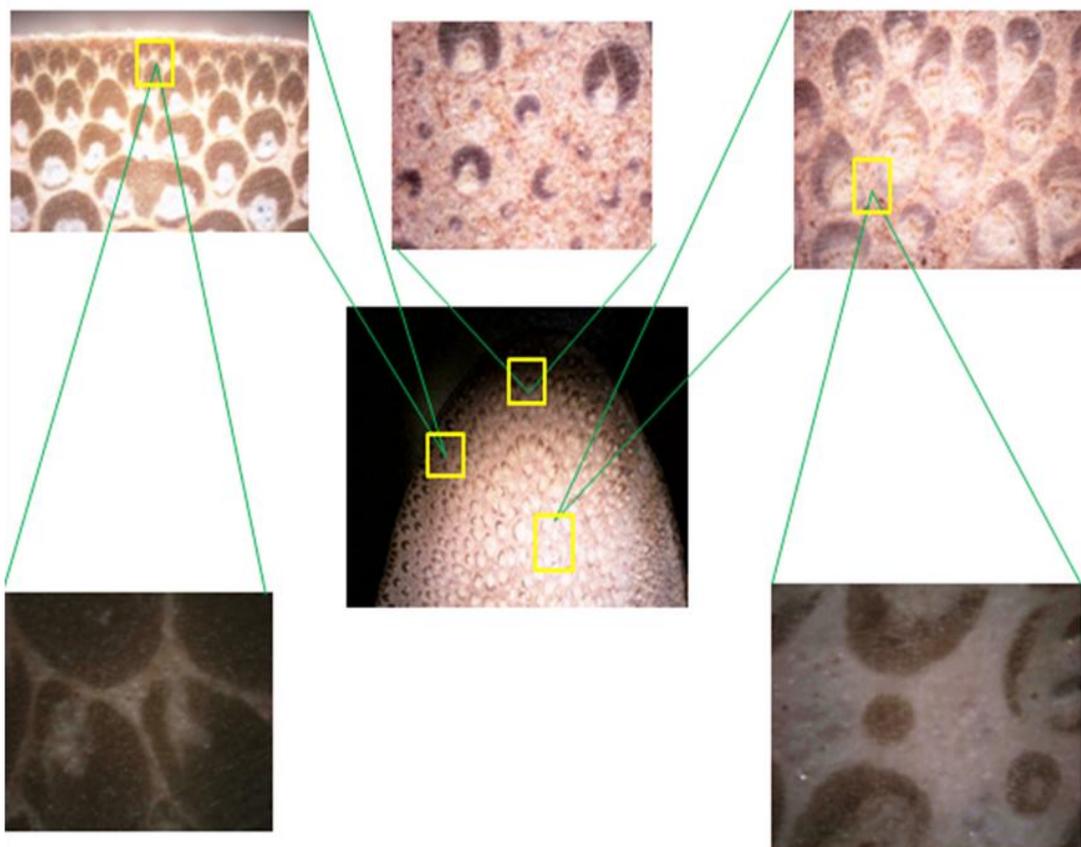
La caractérisation microstructurale des bois du palmier dattier exposé dans notre démarche expérimentale est basée sur les observations optiques microscopiques, on ne s'intéressera qu'à deux composantes à savoir, la fibre et la matrice soit (la cellulose et la lignine). En effet, la troisième composante qui est l'hémicellulose reste invisible.

### IV.1 Caractérisation du bois du regime de datte

Dans cette étude nous avons caractérisé la structure du bois du régime de datte pour différentes couches et par la microscope optique, nous avons identifié les différences observées entre le bois de la couche exterieur et celui de la couche interieur du régime.

### IV. 2 Oservations microscopiques du bois du regime (selon la coupe transversale)

Nous avons préparé des spécimens de petites dimensions dont l'épaisseur ne dépasse pas 05 mm. Ceci étant effectué par sciage manuelle pour obtenir un bon état de surfaces.



**Figure (IV.1):** Observations microscopiques de la microstructure du bois du régime de datte à (10, 60, 200) fois.

De l'observation microscopique, nous avons constaté que la matière analysée est constituée de 03 couches:

1. Une première couche située à partir de la face extérieure, que l'on a appelée la peau, son épaisseur est généralement comprise entre 03 à 05 mm, avec des diamètres des fibres assez petits et leurs concentration est maximale.
2. Une deuxième couche, juxtaposé à la première est située dans la zone médiane dont l'épaisseur est souvent comprise entre 01 et 03 mm, les fibres ont un taux de concentration relativement faible par rapport à la première couche.
3. Une troisième couche qui n'est que la partie interne du bois du régime de datte, on l'a appelée le cœur. Cette partie est caractérisée par des grands diamètres de fibres par rapport aux fibres de la peau.

### IV. 3 Préparations des spécimens

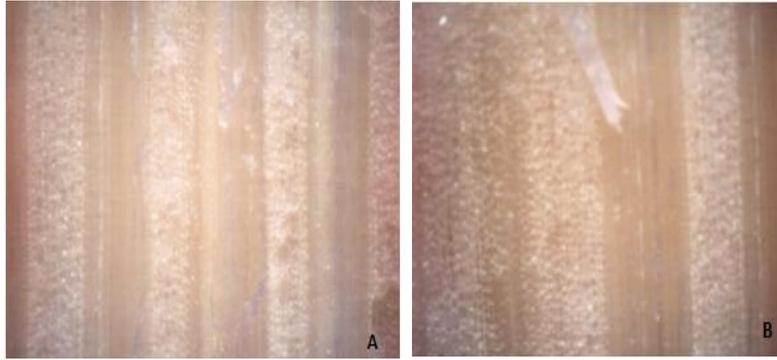
Nous avons découpé des petits morceaux de bois de palmier afin de pouvoir concrétiser nos observations dans les deux sens directionnel (transversal et longitudinal).

#### IV.3 . a) La coupe longitudinale

Selon la direction longitudinale les spécimens sont de dimensions 20, 10 et 5 (mm). Le coupage à été effectuée grâce un cutter, voir les figures (IV.2) et (IV.3).



**Figure (IV.2):** Microstructure : Coupes longitudinales des peaux des différentes variétés agrandissement 60 fois (A : Deglet Nour, B : El Ghers, C : Mech-Degla)



**Figure (IV.3) :** Microstructure : Coupes longitudinales des cœurs des différentes variétés agrandissement 60 fois (A : Deglet Nour, B : El Ghers)

A partir des observations microscopiques des coupes longitudinales, nous constatons clairement l'existence de différentes couches. La couche dite peau est constituée de plusieurs fibres de petits diamètres et la couche dite cœur est constituée d'un nombre moyen de fibres mais de diamètres plus grands que ceux de la couche de peau.

#### IV.3. b) La coupe transversale

Les figures (IV.4) et (IV.5), illustrent des coupes transversales indiquant la différence entre les couches, la peau et le cœur pour un agrandissement de 60 fois.



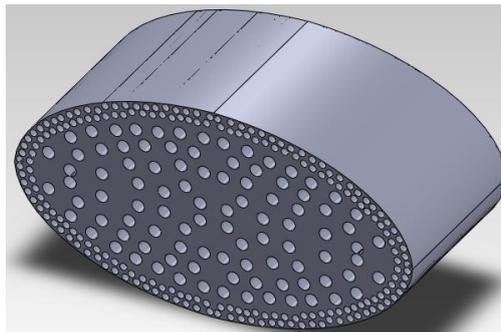
**Figure (IV.4):** Microstructure : Coupes transversales des peaux des différentes variétés agrandissement 60 fois (A : Deglet Nour, B : El Ghers, C : Mech-Degla).



**Figure (IV.5):** Microstructure : Coupes transversal des peaux des différentes variétés agrandissement 60 fois (A : Deglet Nour, B : El Ghers, C : Mech-Degla).

De ces observations, nous remarquons que la structure du bois du régime de datte est composée d'une matrice de lignine, dans laquelle sont dispersées des fibres de renforcement avec une orientation essentiellement unidirectionnelle. Leur composition chimique est essentiellement de la cellulose. La fibre contient deux vaisseaux vasculaires qui sont responsable du transport de la sève vers les produits.

Des observations microscopiques des coupes transversales, nous remarquons que les couches des peaux contiennent un nombre de fibres plus élevé par rapport aux couches des cœurs, comme il est indiqué dans la figure (IV.6).



**Figure (IV.6):** Structure du bois du régime de datte (conçu par SOLIDWORKS).

Ces observations microstructurales révèlent que la structure du bois du régime de datte des différentes variétés est composée des deux couches, la première située dans la partie extérieure et constituée d'un grand nombre de fibres dont les diamètres sont petits. Par contre la deuxième couche contient un nombre moins grand de fibres mais les diamètres qui sont plutôt assez grands. Cela s'explique par les faits que le bois du régime de datte doit assuré :

- Le renforcement de la structure sous l'effet de la charge du fruit en développement croissant.
- La compacité de la peau afin de garder la quantité d'eau nécessaire dans le cœur.
- Facilitation de transport de la sève dans la partie intérieure du bois de régime.

#### **IV.4 Ecrasement du bois du régime de datte humide**

Dans le but de voir l'adhérence entre la fibre et la matrice on procède à l'écrasement du bois. Nous monterons par la suite la procédure d'extraction des fibres du bois et pour cela nous utilisons la machine de pliage des tôles disponible dans nos ateliers de département de mécanique. Les figures (IV.7), (IV.8) et (IV.9) montrent cette opération.



**Figure (IV.7):**Bois du régime de datte de la peau différentes variétés après écrasement : agrandissement 10 fois (A : Deglet Nour, B : El Ghers, C : Mech-Degla).



**Figure (IV.8):**Bois du régime de la datte de cœur différentes variétés après écrasement : agrandissement X10 fois (A : Deglet Nour, B : El Ghers, C : Mech-Degla).



**Figure (IV.9):** Bois du régime de datte de la peau crase des différentes variétés agrandissement 60 fois (A : Deglet Nour, B : El Ghers, C : Mech-Degla).

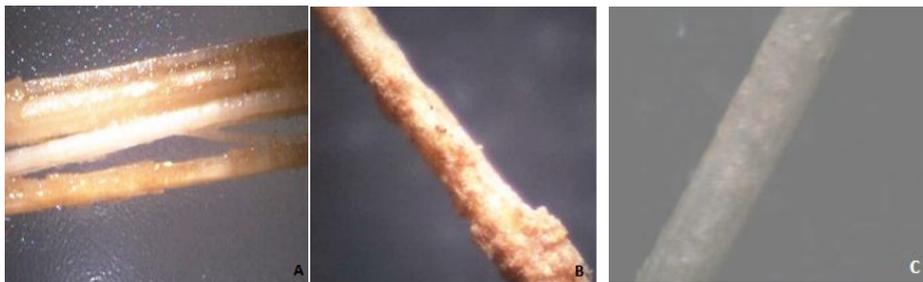
L'opération d'écrasement n'a pas vraiment donnée de bons résultats à cause de la forte concentration de la lignine. Celle-ci crée des contraintes sur les fibres et cela provoque des défauts sur les fibres et la propagation des fissures dans le sens longitudinal comme indiqué dans les photos de la figure (IV.10).



**Figure (IV.10):** Effet d'écrasement dans le sens longitudinal des fibres agrandissement 60 fois (A : Deglet Nour, B : El Ghers, C : Mech-Degla).

#### IV.5 Extraction des fibres

Après l'opération d'écrasement quelques fibres n'ont pas succombées à l'effet des contraintes, les photos de la figure (IV.11) illustrent les différents états existant de fibres (humide, sèche et saturée).

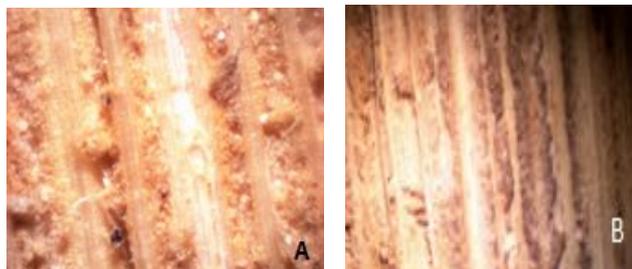


**Figure (IV.11):** Différents états des fibres existant : agrandissement 60 fois (A : fibre humide, B : fibre sèche, C : fibre saturée).

**IV.6 La PALME :** Les palmes se composent de deux parties le pétiole et le rachis.

##### IV.6.1 Le PETIOLE

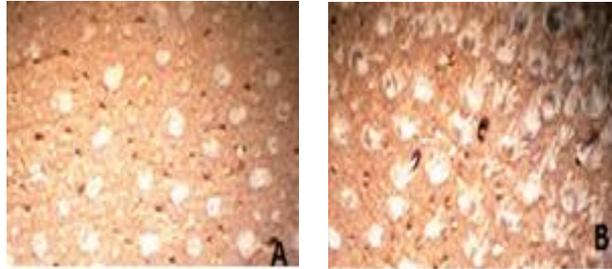
**IV.6.1.a) Coupe longitudinal du pétiole :** Dans cette partie nous séparons les deux couches de la même façon que celles précédente.



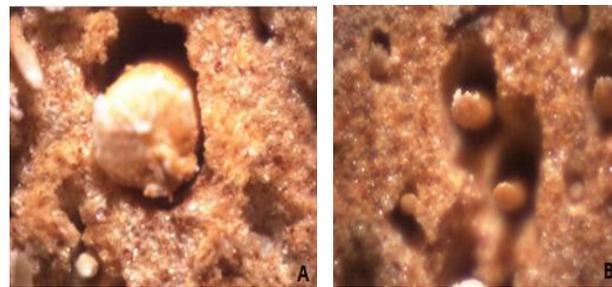
**Figure (IV.12):** Bois du pétiole de différentes couches, coupe longitudinal : agrandissement 60 fois (A : cœur, B : peau).

De ces observations microscopiques nous avons remarqué que la distribution des fibres est plus forte dans la couche extérieure (peau) que dans la couche intérieure (cœur).

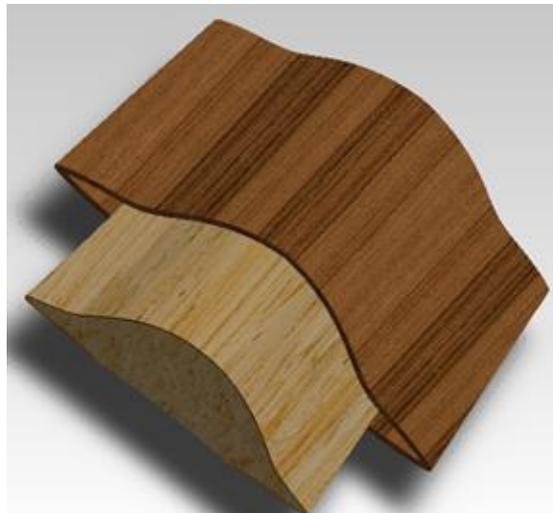
#### IV. 6.1.b) Coupe transversal du pétiole



**Figure (IV.13):** Coupe transversale du bois du pétiole : agrandissement 10 fois.



**Figure (IV.14):** Coupe transversal bois du pétiole grandissement 60 fois (A : cœur, B : peau).



**Figure (IV.15):** Structure du bois du pétiole (solidworks).

Des observations optiques de la microstructure du bois du pétiole nous remarquons que celle-ci est constituée de deux couches, extérieurement une peau et intérieurement le cœur. Les observations microstructurales montrent que cette structure naturelle assure de par son architecture la protection contre les conditions climatique afin d'éviter toute perte d'humidité.

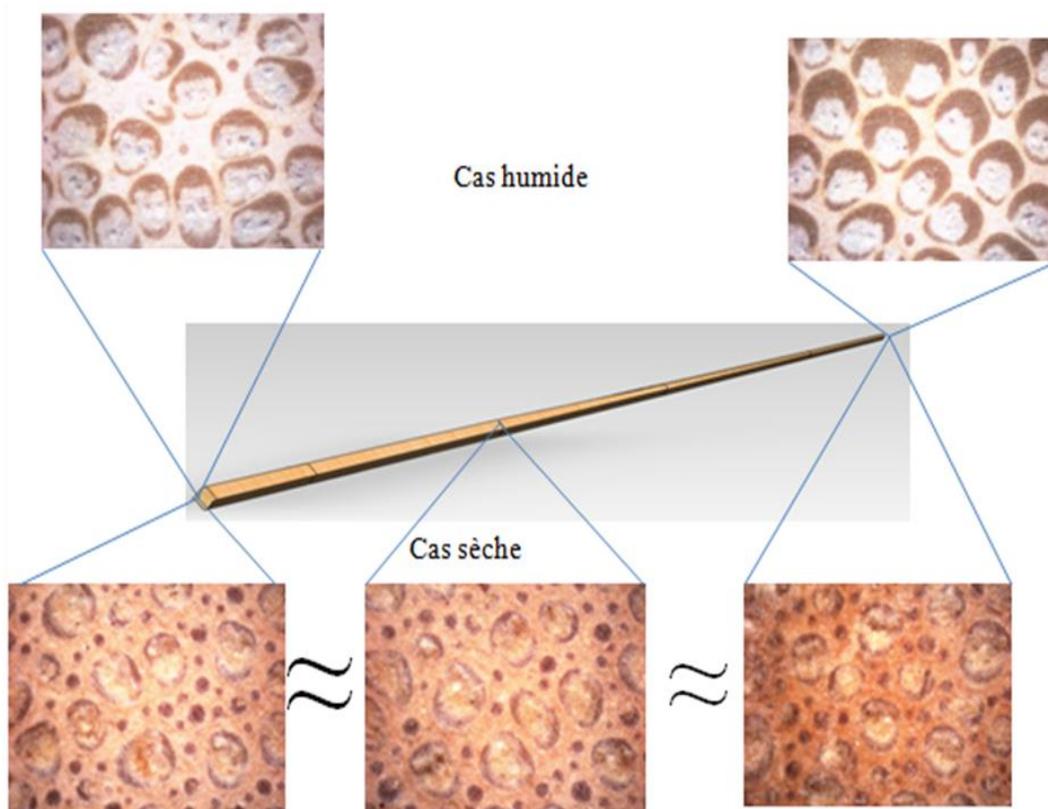
## IV.6.2 Le RACHIS

**IV.6.2.a) La coupe longitudinale :** Les observations optiques de la figure (IV.16) (photos de la partie médiane entre pétiole et rachis) nous montrent que le nombre de fibres dans la couche extérieure est grand avec un empilement de fibre fait de manière compacte et les vides entre les fibres diminuent par rapport à la couche intérieure.



**Figure (IV.16):** Microstructure : coupes transversales du rachis (partie médiane) agrandissement 60 fois.

**IV.6.2.b) La coupe transversale :** Trois échantillons prélevés de différentes positions du rachis ont été observés



**Figure (IV.17):** Observations de la microstructure du bois du rachis de différents états et positions (agrandissement 60 fois).

Les observations de microstructures, nous laisse voir que les structures des différentes positions choisies sont similaires dans la concentration de fibres c'est-à-dire constitué d'une seule couche.

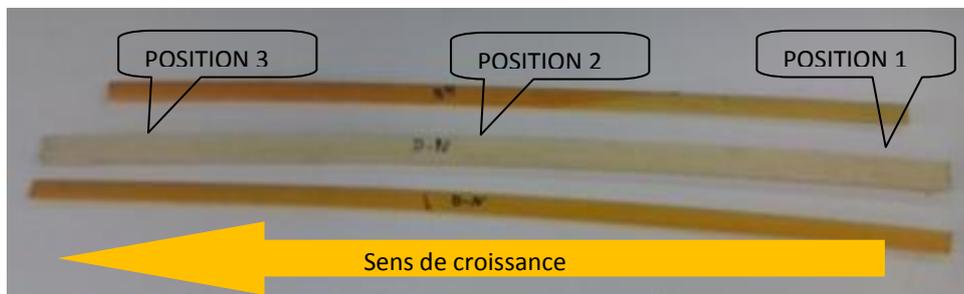
## IV.7 La variation des diamètres des fibres pour un pas de distance entre les fibres

### IV.7.1 La variation des diamètres des différentes couches

Il s'agit d'évaluer le diamètre des fibres dans les deux directions (transversale et longitudinale) et pour différentes positions (tous les 50 cm).

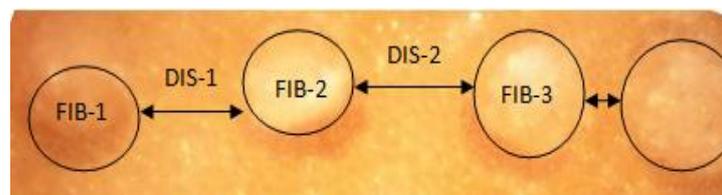
### IV.7.2 Préparations des spécimens pour l'observation

Nous séparons les couches de manière à les obtenir en forme de ruban dans le sens longitudinal de chaque couche. Ensuite, une poursuite des fibres est recommandée afin d'éviter leur déviation. Nous limitons le largeur de la position initiale pour suivre la fissure entre la matrice et la fibre de la position 01 notée Pos 01 et la coupe des spécimens se fait dans la position comme illustrée, dans la figure (IV.18). Nous procédant après à la mesure des diamètres des fibres et la distance qui les séparent.



**Figure (IV.18):** Positions observations dans le sens longitudinal.

Après le choix des positions, nous découpons des morceaux par le cutter et on spécifie les positions concernées par l'observation, la distance choisie entre les positions est prise 50 cm.



**Figure (IV.19):** Principe de mesure pour l'observation dans le sens transversal.

L'espace visuel du microscope réservé à l'échantillon ne peut englober toutes les dimensions du spécimen, donc l'observation sera faite en plusieurs prises.

## B/ RESULTATS DES EVALUATIONS ET CALCULS DE DIAMETRE DES FIBRES

### a- Bois de Deglet Nour :

Le tableau (IV.1), regroupe les résultats obtenus relatifs à l'évaluation du diamètre et la distance entre les fibres du bois de la variété **Deglet Nour**.

Zone	Fibre	Diamètre de la fibre			Distance entre les fibres		
		Pos 01	Pos 02	Pos 03	Pos 01	Pos 02	Pos 03
Peau	1	0,35	0,3	0,2	0,35	0,25	0,25
	2	0,55	0,5	0,3	0,45	0,4	0,2
	3	0,4	0,3	0,35	0,35	0,35	0,3
	4	0,5	0,4	0,2	0,55	0,3	0,1
	5	0,5	0,5	0,3	0,6	0,45	0,1
	6	0,2	0,25	0,2	0,5	0,3	0,25
Cœur	1	0,5	0,6	0,45	0,5	0,45	0,3
	2	0,85	0,75	0,65	0,9	0,9	0,5
	3	1,25	0,9	0,7	0,95	0,9	0,8
	4	0,9	0,85	0,75	0,75	0,7	0,3
	5	0,75	0,7	0,5	0,6	0,6	0,4
	6	0,95	0,9	0,6	1	0,9	0,8

**Tableau (IV.1) :** Variation des diamètres en fonction des distances pour les positions de la variété Deglet Nour.

**A. Diamètres des Fibres :** Le tableau (IV.2) illustre la moyenne du diamètre de la fibre pour les différentes positions pour **Deglet-Nour**.

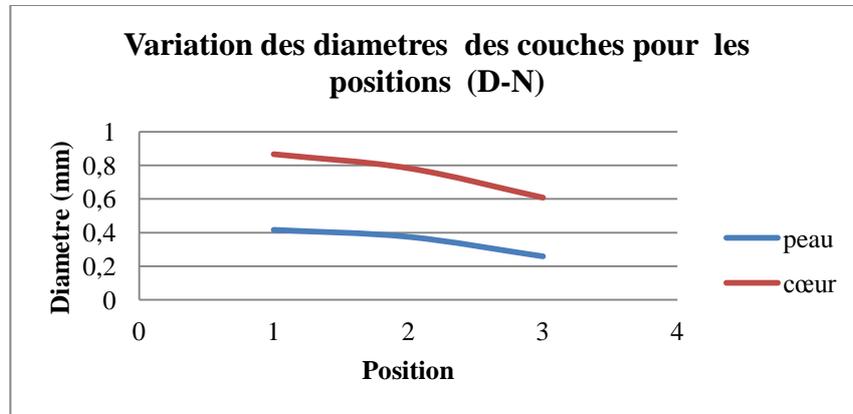
Couche	Pos 01	Pos 02	Pos 03
∅ moy fibre Peau	0,416667	0,375	0,258333
∅ moy fibre Cœur	0,866667	0,783333	0,608333

**Tableau (IV.2) :** Valeurs moyennes du diamètre pour les différentes positions.

Ø moy fibre Peau: moyenne du diamètre de la fibre de la peau.

Ø moy fibre Cœur : moyenne du diamètre de la fibre du cœur.

La figure suivante représente la variation du diamètre de la fibre selon la position.



**Figure (IV.20):** Variation des diamètres des fibres différentes couches selon les positions.

La figure (IV.20), montre la variation du diamètre de fibre selon la position, de peau ou de cœur, nous pouvons remarquer que le diamètre de la fibre est grand au départ (position initiale) puis diminue progressivement jusqu'à la fin du régime.

#### B. Variation de la distance entre les fibres :

Le tableau (IV.3) montre les valeurs moyennes de la variation de la distance entre les fibres et les différentes positions.

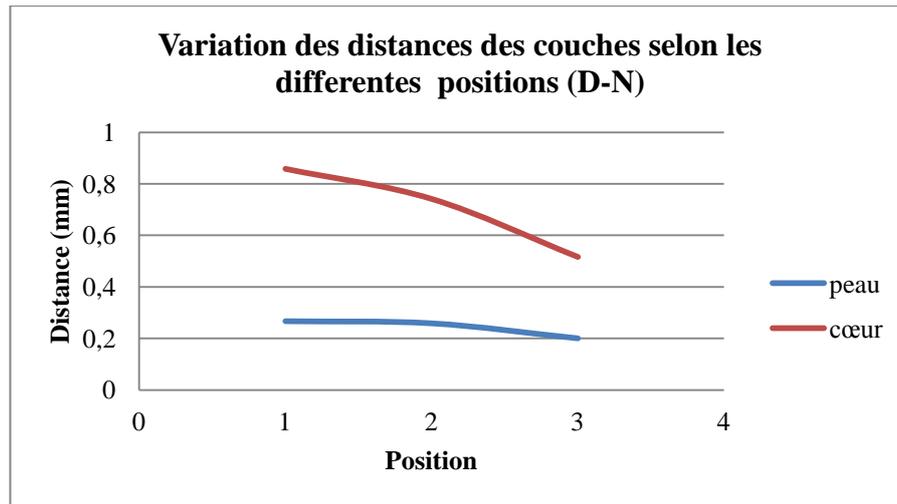
Couche	Pos 01	Pos 02	Pos 03
<b>Dist Moy Fibre Peau</b>	<b>0,266667</b>	<b>0,258333</b>	<b>0,2</b>
<b>Dist Moy Fibre Cœur</b>	<b>0,858333</b>	<b>0,741667</b>	<b>0,516667</b>

**Tableau (IV.3) :** Valeurs moyennes des distances entre les fibres selon les positions.

**Dist Moy Fibre Peau** : la distance moyenne de la entre les fibres de la peau.

**Dist Moy Fibre Cœur** : la distance moyenne entre les fibres du cœur.

La courbe suivante illustre la variation de la distance entre les fibres selon les différentes positions.



**Figure (IV.21):** Variation de la distance entre les fibres des différentes couches.

L'examen de la courbe de la figure (IV.21) montre que la distance entre les fibres pour le cœur diminue d'une façon rapide par comparaison à celle de la peau. .

#### b- Bois d'El Ghers :

Le tableau suivant regroupe les résultats obtenus relatifs à l'évaluation du diamètre et la distance entre les fibres du bois de la variété **El Ghers**.

Couche	Fibre	Diamètre fibre			Distance entre les fibres		
		Pos 01	Pos 02	Pos 03	Pos 01	Pos 02	Pos 03
Peau	1	0,7	0,6	0,6	0,6	0,5	0,4
	2	0,8	0,7	0,5	0,5	0,4	0,2
	3	0,65	0,3	0,4	0,6	0,55	0,4
	4	0,85	0,85	0,7	0,4	0,4	0,3
	5	0,5	0,5	0,3	0,7	0,5	0,5
	6	0,9	0,75	0,6	0,5	0,45	0,35
Cœur	1	1,2	0,8	0,7	1,2	1,05	0,9
	2	0,7	0,75	0,5	1	0,8	0,8
	3	1	0,8	0,8	1,5	1	0,7
	4	0,8	0,85	0,75	0,9	0,5	0,45
	5	0,9	0,7	0,6	0,9	0,8	0,7
	6	0,95	0,9	0,8	0,8	0,6	0,4

**Tableau (IV.4) :** Variation des diamètres et des distances selon les positions de la variété d'El Ghers.

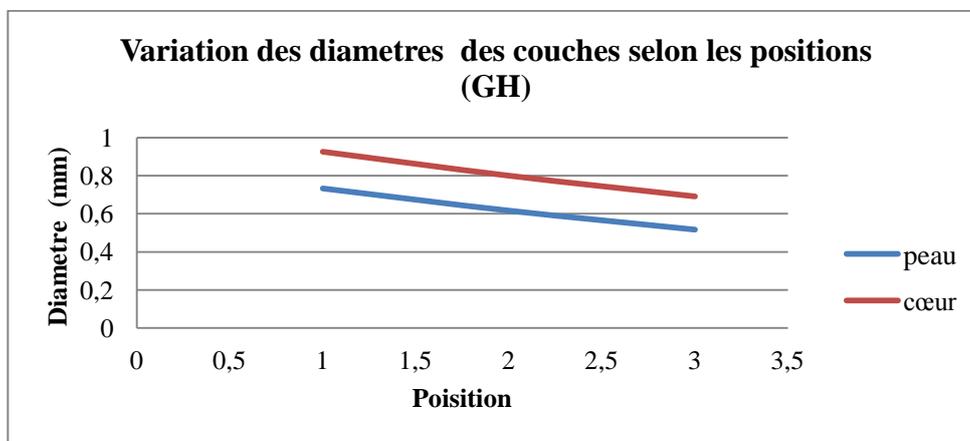
### A. Diamètres des fibres

Le tableau (IV.5), illustre la variation moyenne du diamètre de fibre selon les différentes positions pour **El Ghers**.

Couche	Pos 01	Pos 02	Pos 03
Ø moy fibre Peau	0,733333	0,616667	0,516667
Ø moy fibre Cœur	0,925	0,8	0,691667

**Tableau (IV.5) :** Valeurs moyennes du diamètre pour les différentes positions.

La courbe de la figure (IV.22) représente la variation du diamètre de la fibre selon la position.



**Figure (IV.22):** Variation des diamètres des différentes fibres des couches.

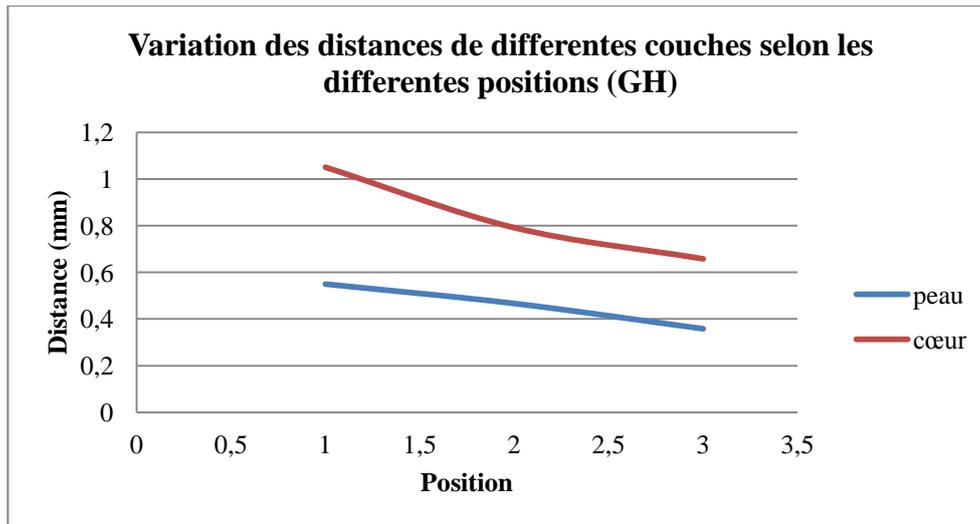
La courbe de la figure (IV.22), exprime la variation du diamètre de fibre selon la position, soit la peau et le cœur, nous pouvons remarque que le diamètre de la fibre est grand au départ du régime, puis diminue progressivement jusqu'à la fin du régime.

**B. Variation de la distance entre les fibres :** Le tableau (IV.6) représente les valeurs moyennes de la variation des distances entre les fibres selon les positions.

Couche	Pos 01	Pos 02	Pos 03
Dist Moy Fibre Peau	0,55	0,466667	0,358333
Dist Moy Fibre Cœur	1,05	0,791667	0,658333

**Tableau (IV.6) :** valeurs moyennes des distances entre les fibres selon les positions.

La courbe Figure (IV.23) illustre de la variation des distances entre les fibres selon les positions.



**Figure (IV.23):** Variation de la distance entre les différentes fibres des couches.

L'examen de la courbe figure (IV.23) montre que la distance entre les fibres pour le cœur diminue d'une façon rapide en comparaison avec celle de la peau.

### c- Bois de Mech-Degla

Le tableau (IV.7), regroupe les résultats obtenus relatifs à l'évaluation du diamètre et la distance entre les fibres du bois de la variété Mech-Degla.

Zone	Fibre	Diamètre de la fibre			Distance entre les fibres		
		Pos 01	Pos 02	Pos 03	Pos 01	Pos 02	Pos 03
Peau	1	0,8	0,6	0,5	0,7	0,6	0,55
	2	0,7	0,5	0,4	0,8	0,6	0,6
	3	1,1	0,9	0,8	1,2	1	0,9
	4	0,8	0,85	0,6	0,5	0,4	0,3
	5	0,7	0,6	0,6	0,8	0,8	0,7
	6	1,3	0,75	0,7	0,6	0,5	0,3
Cœur	1	1,1	1,05	0,9	1,6	1,5	1,2
	2	1,7	1,5	1,3	1,4	1,2	1
	3	1	0,9	0,8	1,8	1,9	1,5
	4	1,9	1,4	1,2	2,1	1,9	1,7
	5	1,4	1,2	1	1,7	1,2	1,1
	6	1,2	1,1	0,8	1,5	1,1	1

**Tableau (IV.7) :** Variation des diamètres et distances selon les positions de la variété **Mech-Degla**.

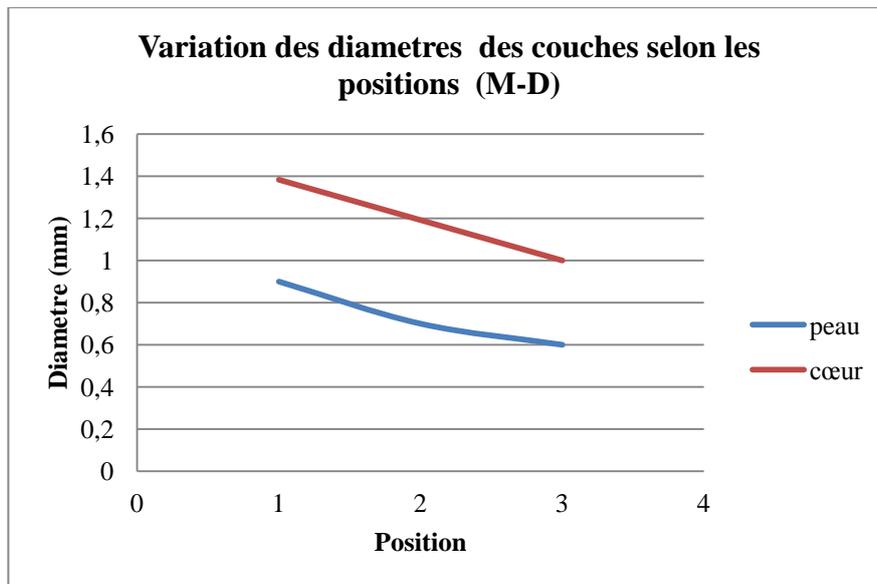
#### A. Diamètres des fibres :

Le tableau (IV.8) illustre la moyenne du diamètre de fibre selon les différentes positions pour **Mech-Degla**.

Couche	Pos 01	Pos 02	Pos 03
Ø moy fibre Peau	0,9	0,7	0,6
Ø moy fibre Cœur	1,383333	1,191667	1

**Tableau (IV.8) :** Valeurs moyennes du diamètre pour les différentes positions.

La figure suivante représente la variation du diamètre de la fibre selon la position.



**Figure (IV.24):** Variation des diamètres des fibres différentes couches selon les positions.

A partir de la figure (IV.24), qui montre la variation du diamètre de fibre selon la position, la peau et le cœur, nous pouvons remarque que le diamètre de la fibre est maximum au début, puis progressivement diminue jusqu'à la fin du régime.

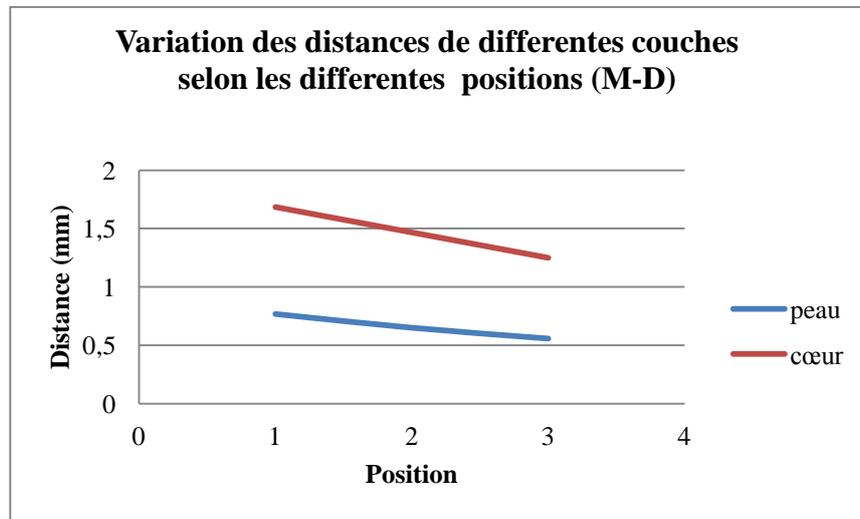
#### **B. Variation de la distance entre les fibres :**

Le tableau (IV.9) indique les moyennes de la variation de distance entre les fibres selon les positions.

Couche	Pos 01	Pos 02	Pos 03
Dist Moy Fibre Peau	0,766667	0,65	0,558333
Dist Moy Fibre Cœur	1,683333	1,466667	1,25

**Tableau (IV.9) :** valeurs moyennes des distances entre les fibres selon les positions.

La courbe figure (IV.25) illustre la variation des distances entre les fibres des différentes couches selon les positions



**Figure (IV.25):** Variation de la distance entre les fibres de différentes couches.

L'examen de la courbe ci-dessus figure (IV.25) montre que la distance entre les fibres pour le cœur diminue d'une façon rapide par comparaison à celle de la peau.

Les observations microscopiques montrent que les variations du diamètre de fibre et la distances sont assez grands aux départ, puis diminue progressivement jusqu'à la fin du régime.

## IV.8 La composition de la matière

L'approche utilisée dans cette partie est comme suit, on considère que la surface occupée par les fibres n'est pas poreuse, c'est-à-dire que la section observée des spécimens est occupée par les deux composantes qui sont et les fibres et la matrice.

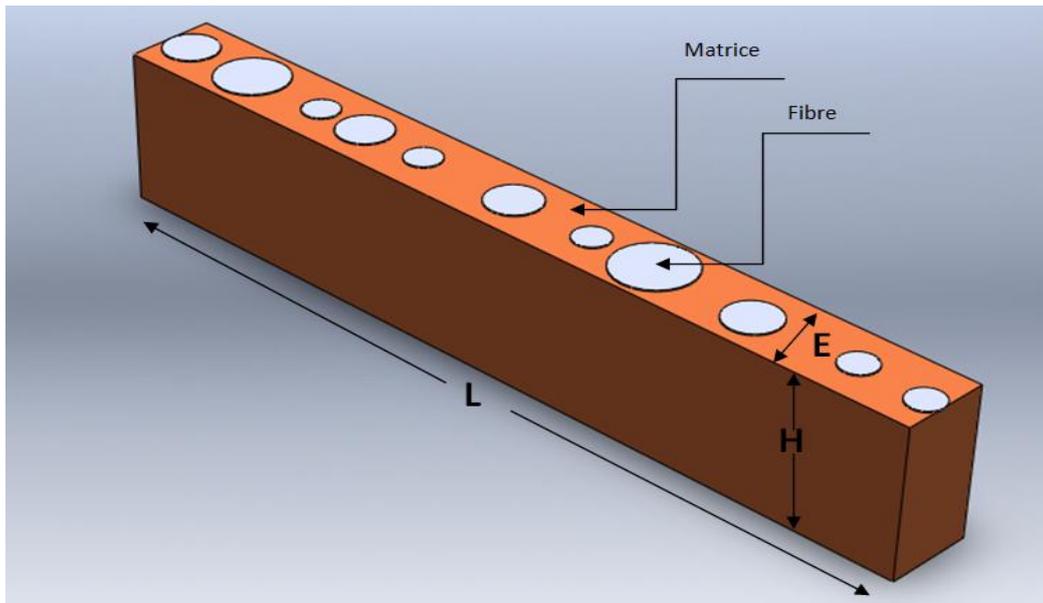
### IV.8.1 Calcul des composants fibres et martices

Pour calculer le pourcentage des composés proposés, il faut connaître les diamètres, et la distance entre les fibres

Puis on procède au :

- Calcul de la section globale dans la coupe transversale de chaque position.
- Calcul de la section de la fibre.
- Calcul de la section globale de la fibre.
- Calcul du taux de fibre.

La figure qui suit illustre le principe de la démarche utilisée:



**Figure (IV.26) :** Schéma du modèle de calcul des pourcentages des fibres.

Dans notre procédure nous considérons que la structure des spécimens est prise dans le sens transversal pour les différentes positions.

**a) Bois de Deglet Nour :**

Le tableau (IV.10), indique les diamètres et les distances entre les fibres selon l'orientation transversale. La longueur du bois du régime de datte de la variété de **Deglet Nour**, est prise en moyenne 01 mètre.

Zone	Fibre	Diamètre de la fibre			Distance entre les fibres		
		Pos 01	Pos 02	Pos 03	Pos 01	Pos 02	Pos 03
Peau	1	0,8	0,75	0,7	0,3	0,2	0,1
	2	0,7	0,55	0,5	0,5	0,3	0,2
	3	0,7	0,6	0,6	0,45	0,25	0,25
	4	0,6	0,5	0,4	0,5	0,35	0,35
	5	0,7	0,6	0,5	0,4	0,4	0,2
	6	1	0,9	0,8	0,4	0,3	0,25
	7	0,9	0,6	0,6	0,5	0,3	0,15
	8	0,8	0,7	0,65	0,3	0,2	0,15
	9	0,7	0,65	0,5	0,3	0,2	0,2
	10	0,9	0,75	0,7	0,4	0,3	0,15

<b>Cœur</b>	<b>1</b>	<b>0,95</b>	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>	<b>0,9</b>	<b>0,7</b>	<b>0,4</b>
	<b>2</b>	<b>0,9</b>	<b>0,9</b>	<b>0,75</b>	<b>1,2</b>	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>
	<b>3</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1</b>	<b>1,1</b>	<b>0,75</b>	<b>0,55</b>
	<b>4</b>	<b>0,85</b>	<b>0,8</b>	<b>0,85</b>	<b>1</b>	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>
	<b>5</b>	<b>1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,75</b>	<b>0,9</b>	<b>0,65</b>	<b>0,5</b>
	<b>6</b>	<b>1,2</b>	<b>0,95</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>	<b>0,4</b>
	<b>7</b>	<b>0,9</b>	<b>0,85</b>	<b>0,7</b>	<b>1,15</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>
	<b>8</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>	<b>0,65</b>	<b>0,9</b>	<b>0,75</b>	<b>0,5</b>
	<b>9</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>	<b>0,75</b>	<b>0,55</b>	<b>0,4</b>	<b>0,3</b>
	<b>10</b>	<b>1,1</b>	<b>1</b>	<b>0,9</b>	<b>1,1</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>

**Tableau (IV.10) : Variation des diamètres et distances de la variété Deglet Nour.**

À partir de ce tableau on calcule les moyennes des différents paramètres :

#### **A. Calcul de la section globale**

Pour trouver la section de la coupe on doit tout d'abord trouver la longueur et la largeur.

$$\text{Pour la longueur } L_{\text{peau}} = (\varnothing \text{ moy fibre} \times 10)_{\text{peau}} + (\text{Dist Moy Matrice} \times 10)_{\text{peau}} \quad (5)$$

$$L_{\text{cœur}} = (\varnothing \text{ moy fibre} \times 10)_{\text{cœur}} + (\text{Dist Moy Matrice} \times 10)_{\text{cœur}} \quad (6)$$

**Pour le largeur E : E = 1. 2mm (El Ghares, Dagulet Nour) / E = 2 mm (Mech-Dagula)**  
mesuré à partir de l'échelle du microscope.

$$L_{\text{peau}} = (0.78 \times 10) + (0.405 \times 10) = (7.8) + (4.05) = 11.85 \text{ mm}, \quad A = 11.85 \times 1.2$$

$$A = L \times E \quad \text{donc} \quad A = 14.22 \text{ mm}^2$$

**A** : section globale de morceau (mm<sup>2</sup>)

**L** : longueur du morceau en position 1

**E** : Epaisseur.

#### **B. Calcul de la section occupée par les fibres :**

$$a = ((M-D-F)^2 \times \pi \times 10) / 4 = ((0.78)^2 \times 3.14 \times 10) / 4 = 4,77594 \text{ (mm}^2) \quad (7)$$

**a** : La section occupée par les fibres.

Après le calcul des sections globales et élémentaires des fibres dans la coupe transversale on peut déduire le pourcentage des composants comme indiqué dans la relation suivante:

$$F (\%) = \frac{a}{A} * 100 \quad \text{et} \quad M (\%) = 100 - F \quad (8)$$

<b>Zone</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>
<b>Ø moy fibre peau</b>	<b>0,78</b>	<b>0,66</b>	<b>0,595</b>
<b>Dist Moy fibre-peau</b>	<b>0,405</b>	<b>0,28</b>	<b>0,2</b>
<b>L</b>	<b>11,85</b>	<b>9,4</b>	<b>7,95</b>
<b>E</b>	<b>1,2</b>	<b>0,95</b>	<b>0,8</b>
<b>A</b>	<b>14,22</b>	<b>8,93</b>	<b>6,36</b>
<b>a</b>	<b>4,77594</b>	<b>3,41946</b>	<b>2,779096</b>
<b>Fibre (%)</b>	<b>33,58608</b>	<b>38,29183</b>	<b>43,69648</b>

**Tableau (IV.11) :** Variation du pourcentage des fibres dans la peau

À partir du tableau (IV.11), nous remarquons que le pourcentage de fibre de la peau augment progressivement du début a la fin. En passent de 34% à 44%.

Le tableau (IV.12) illustre, les pourcentages des composants selon la position du bois du régime de datte de Deglet Nour.

<b>Zone</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>
<b>Ø fibre -cœur</b>	<b>0,97</b>	<b>0,88</b>	<b>0,785</b>
<b>Dist Cœur</b>	<b>0,96</b>	<b>0,705</b>	<b>0,485</b>
<b>L</b>	<b>19,3</b>	<b>15,85</b>	<b>12,7</b>
<b>E</b>	<b>2</b>	<b>1,2</b>	<b>1</b>
<b>A</b>	<b>38,6</b>	<b>19,02</b>	<b>12,7</b>
<b>a</b>	<b>7,386065</b>	<b>6,07904</b>	<b>4,837366</b>
<b>Fibre (%)</b>	<b>19,13488</b>	<b>31,9613</b>	<b>38,0895</b>

**Tableau (IV.12) :** Pourcentage des fibres dans le cœur.

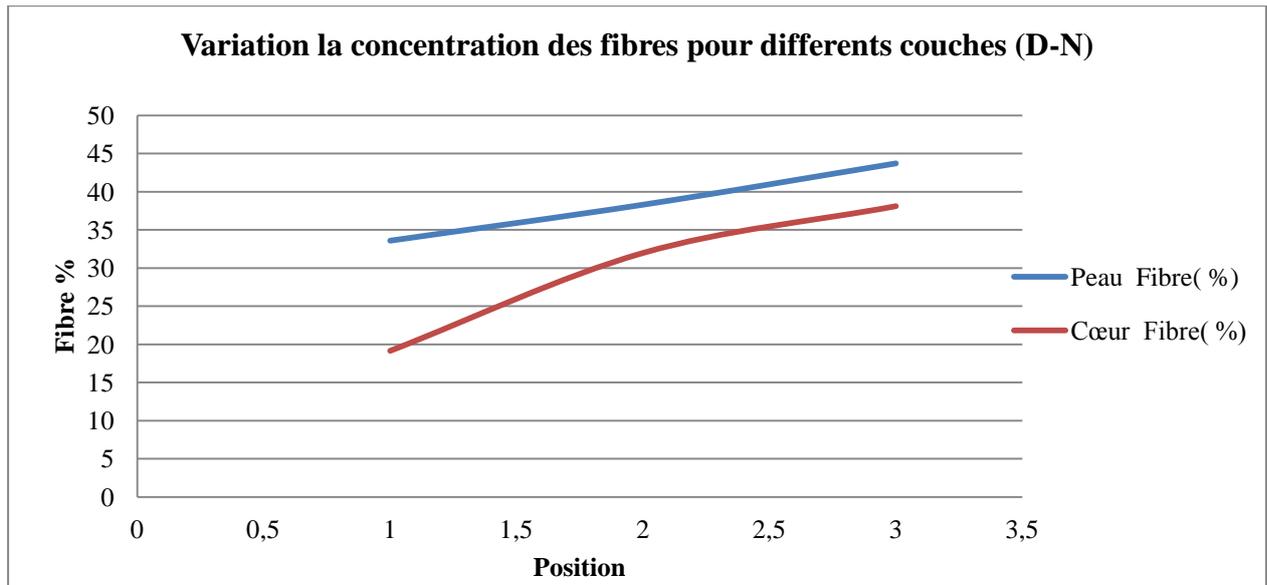
Des résultats obtenus, on peut conclure que le pourcentage de fibre du cœur augmente progressivement pour atteint du 38%.

L'examen de tableaux représentait le pourcentage des différents constituant, montre que :

Dans le sens longitudinal, pour les différentes positions, le pourcentage des fibres augmente de 05% pour la peau.

Dans le cœur le pourcentage des fibres augmente par rapport à la position, de 12 à 06 %.

La courbe suivante montre la variation de la concentration des fibres des différentes couches.



**Figure (IV.27):** Variation du pourcentage des fibres de différentes couches.

L'examen des courbes, montre que le pourcentage de fibres de la peau est plus élevé que celui de la zone cœur pour les deux de cas. Cette différence nous parait logique car, le cœur constitue l'élément essentiel des transports de la sève pour les fruits. Par contre la peau est une couche soumise à l'influence de agents atmosphériques et protège le cœur. Un autre paramètre à considérer, relatif à la structure qui doit supporter la flexion à la charge des fruits pendant la croissance.

#### b) Pour le bois d'El Ghers

Le tableau (IV.13) indique les diamètres et la distances entre les fibres selon l'orientation transversale, la longueur du bois du régime de datte d'Elghers est prise en moy = 01 mètre.

Zone	Fibre	Diamètre fibre			Distance entre les fibres		
		Pos 01	Pos 02	Pos 03	Pos 01	Pos 02	Pos 03
Peau	1	0,95	0,9	0,7	0,9	0,75	0,2
	2	0,85	0,8	0,9	0,7	0,6	0,4
	3	1	0,95	0,8	0,8	0,6	0,4
	4	0,9	0,8	0,7	1	0,8	0,8
	5	1	1,1	0,9	1,2	0,9	0,6
	6	1,1	0,9	1	0,8	0,6	0,7
	7	1	1	0,85	0,6	0,5	0,55
	8	0,7	0,7	0,6	0,7	0,6	0,7
	9	0,9	0,8	0,7	0,8	0,7	0,6
	10	0,6	0,5	0,4	1,2	0,7	0,6

<b>Cœur</b>	<b>1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>0,9</b>	<b>1,1</b>	<b>1</b>	<b>0,8</b>
	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>0,8</b>	<b>0,8</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0,9</b>
	<b>3</b>	<b>1,2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,6</b>
	<b>4</b>	<b>0,8</b>	<b>0,7</b>	<b>0,75</b>	<b>0,9</b>	<b>0,7</b>	<b>0,5</b>
	<b>5</b>	<b>1,15</b>	<b>0,9</b>	<b>0,7</b>	<b>1,1</b>	<b>0,8</b>	<b>0,6</b>
	<b>6</b>	<b>0,9</b>	<b>1</b>	<b>0,8</b>	<b>1,2</b>	<b>0,8</b>	<b>0,85</b>
	<b>7</b>	<b>0,9</b>	<b>0,85</b>	<b>0,45</b>	<b>1,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,7</b>
	<b>8</b>	<b>1,1</b>	<b>0,9</b>	<b>0,7</b>	<b>1,3</b>	<b>0,9</b>	<b>0,8</b>
	<b>9</b>	<b>0,95</b>	<b>0,85</b>	<b>0,7</b>	<b>0,8</b>	<b>0,5</b>	<b>0,4</b>
	<b>10</b>	<b>1,1</b>	<b>0,9</b>	<b>1</b>	<b>1,3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>

**Tableau (IV.13) :** Variation des diamètres et des distances de la variété **d'El Ghers**.

À partir de ce tableau on passe au calcul des différents paramètres :

Le tableau (IV.14) illustre, les pourcentages des composants selon la position du bois du régime de datte dans la peau **d'El Ghers**.

<b>Zone</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>
<b>Ø fibre –Peau</b>	<b>0,9</b>	<b>0,845</b>	<b>0,755</b>
<b>Dist Peau</b>	<b>0,87</b>	<b>0,675</b>	<b>0,555</b>
<b>L</b>	<b>17,7</b>	<b>15,2</b>	<b>13,1</b>
<b>E</b>	<b>1,5</b>	<b>1,3</b>	<b>1</b>
<b>A</b>	<b>26,55</b>	<b>19,76</b>	<b>13,1</b>
<b>a</b>	<b>6,3585</b>	<b>5,605096</b>	<b>4,474696</b>
<b>F% peau</b>	<b>23,94915</b>	<b>28,36587</b>	<b>34,15799</b>

**Tableau (IV.14) :** Variation du pourcentage des fibres dans la peau

Du tableau (IV.14), nous remarquons que le pourcentage de fibre de la peau augmente progressivement du début à la fin. En passant de 24% à 34%. Par contre le tableau (IV.15) illustre, les pourcentages des composants selon la position du bois du régime de datte dans le cœur **d'El Ghers**.

<b>Zone</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>
<b>Ø fibre -cœur</b>	<b>1,02</b>	<b>0,9</b>	<b>0,78</b>
<b>Dist Cœur</b>	<b>1,08</b>	<b>0,85</b>	<b>0,715</b>
<b>L</b>	<b>21</b>	<b>17,5</b>	<b>14,95</b>
<b>E</b>	<b>2</b>	<b>1,5</b>	<b>1</b>

<b>A</b>	<b>42</b>	<b>26,25</b>	<b>14,95</b>
<b>a</b>	<b>8,16714</b>	<b>6,3585</b>	<b>4,77594</b>
<b>F% cœur</b>	<b>19,44557</b>	<b>24,22286</b>	<b>31,94609</b>

**Tableau (IV.15) :** Variation du pourcentage des fibres dans le cœur.

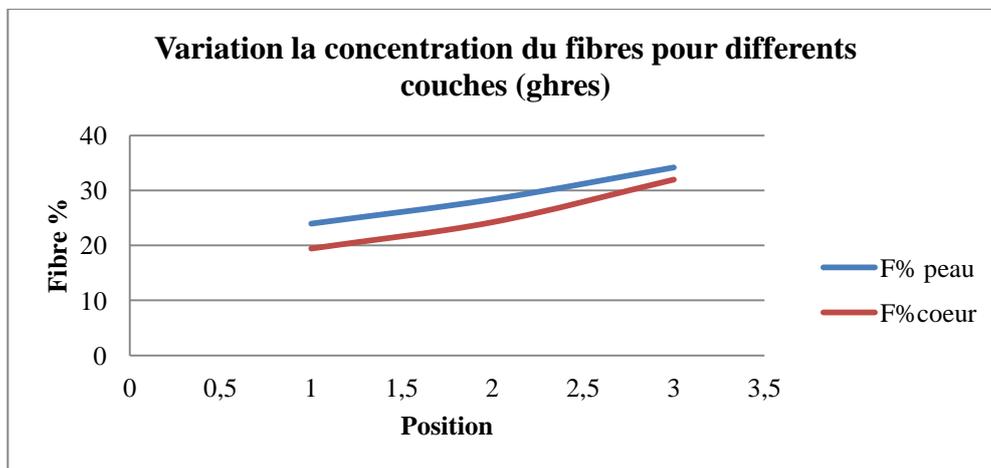
Du tableau (IV.14), nous remarquons que le pourcentage de fibre du cœur augmente progressivement du début à la fin. En passant de 19% à 32%.

L'examen de tableaux révèle le pourcentage des différents constituants, montre que :

Dans le sens longitudinal, pour les différentes positions, le pourcentage des fibres augmente de 5 à 6% pour la peau.

Dans le cœur le pourcentage des fibres augmente par rapport à la position, de 5 à 7%.

La courbe suivante montre la variation de la concentration des fibres des différentes couches.



**Figure (IV.28):** Variation du pourcentage des fibres de différentes couches.

L'examine des courbes ci-dessus, montre que le pourcentage de fibre de la peau est plus élevée et que dans les deux de cas, il augmente du début à la fin.

Ce différent paraît logique car, le cœur constitue l'élément essentiel des transports de la sève pour les fruits. Par contre la peau est une couche soumise à l'influence des agents atmosphériques et à pour rôle la protection du cœur.

### c) Pour le bois de Mech-Degla :

Le tableau (IV.16), indique les diamètres et les distances entre les fibres dans le sens transversal selon la position. La longueur du bois du régime de datte de la variété de **Mech-Degla**, étant en moyenne 1 mètre.

Zone	N°	diamètre de la fibre			distance entre les fibres		
		Pos 01	Pos 02	Pos 03	Pos 01	Pos 02	Pos 03
Peau	Fib 1	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7	0,4
	Fib 2	1	1	0,8	0,8	0,7	0,6
	Fib 3	1,1	1,1	1	0,95	0,9	0,6
	Fib 4	0,8	0,75	0,6	1,2	1	0,4
	Fib 5	0,9	0,8	0,7	1,1	0,85	0,55
	Fib 6	0,8	0,7	0,55	0,4	0,2	0,2
	Fib 7	1,1	1,2	0,9	0,6	0,55	0,4
	Fib 8	0,6	0,6	0,5	0,8	0,85	0,6
	Fib 9	1,2	1,1	0,8	1	0,7	0,5
	Fib 10	0,8	0,6	0,5	1,05	0,8	0,35
Cœur	Fib 1	1,3	1,2	1	1,2	1,1	1
	Fib 2	1,1	0,9	0,7	1,1	1,2	0,9
	Fib 3	1,1	1,1	1,1	1	0,8	0,7
	Fib 4	0,9	0,8	0,7	0,9	0,85	0,75
	Fib 5	1,2	1	0,8	0,2	0,2	0,3
	Fib 6	0,8	1,1	0,9	1,5	1,2	1
	Fib 7	0,3	0,3	0,2	1,3	1,1	0,8
	Fib 8	1,4	1,1	1	1,15	1	0,5
	Fib 9	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4	0,4
	Fib 10	1,2	1,1	0,9	1,2	1,05	0,8

**Tableau (IV.16) : Variation des diamètres et distances de la variété de Mech-Degla.**

Ce tableau permet de calculer les moyennes des différents paramètres :

Le tableau (IV.17) illustre, les pourcentages des composants du bois du régime de datte dans la peau de Mech-Degla.

Zone	Pos 01	Pos 02	Pos 03
Ø fibre -Peau	0,91	0,865	0,715
Dist Peau	0,87	0,725	0,46
L	17,8	15,9	11,75
E	1,6	1,2	1

<b>A</b>	<b>28,48</b>	<b>19,08</b>	<b>11,75</b>
<b>a</b>	<b>6,500585</b>	<b>5,873566</b>	<b>4,013116</b>
<b>F% peau</b>	<b>22,82509</b>	<b>30,78389</b>	<b>34,15418</b>

**Tableau (IV.17) :** Variation du pourcentage des fibres dans la peau

Du tableau (IV.17), nous remarquons que le pourcentage de fibre de la peau augmente progressivement du début à la fin. En passant de 23% à 34%.

Le tableau (IV.18) illustre, les pourcentages des composants du bois du régime dans le cœur de **Mech-Degla**

<b>Zone</b>	<b>Pos 01</b>	<b>Pos 02</b>	<b>Pos 03</b>
<b>Ø fibre -cœur</b>	<b>1,02</b>	<b>0,94</b>	<b>0,8</b>
<b>Dist Cœur</b>	<b>1,005</b>	<b>0,89</b>	<b>0,715</b>
<b>L</b>	<b>20,25</b>	<b>18,3</b>	<b>15,15</b>
<b>E</b>	<b>2</b>	<b>1,5</b>	<b>1,1</b>
<b>A</b>	<b>40,5</b>	<b>27,45</b>	<b>16,665</b>
<b>a</b>	<b>8,16714</b>	<b>6,93626</b>	<b>5,024</b>
<b>F% cœur</b>	<b>20,16578</b>	<b>25,26871</b>	<b>30,14701</b>

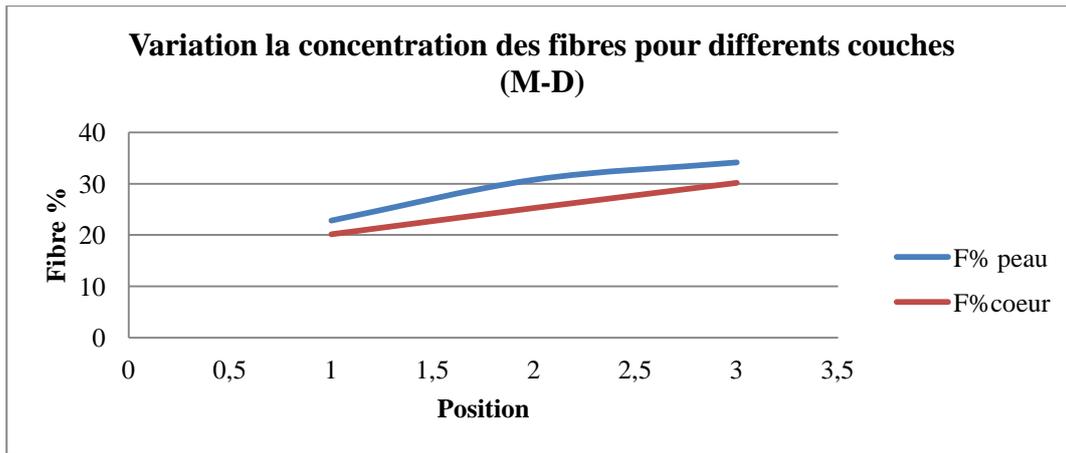
**Tableau (IV.18) :** Variation du pourcentage des fibres dans le cœur.

Du tableau (IV.18), nous remarquons que le pourcentage de fibre du cœur augmente progressivement du début à la fin. En passant de 20% à 30%. L'examen de tableaux représentant le pourcentage des différents constituants, montre que :

Dans le sens longitudinal, pour les différentes positions, le pourcentage des fibres augmente de 4 à 7 % pour la peau.

Dans le cœur le pourcentage des fibres augmente par rapport à la position, de 5%.

La courbe qui suit illustre la variation de la concentration des fibres selon la position de différentes couches.



**Figure (IV.29):** Variation du pourcentage des fibres de différentes couches

Des résultats d'observations obtenus le diagramme ci-dessus représente la variation du pourcentage des fibres de la peau selon les positions est plus élevée par rapport le cœur, et tout les deux augmentent au même temps.

D'après les observations microstructurales nous avons constaté que la structure du bois du régime du palmier dattier varie selon les positions comme il est montré dans la figure (IV. 30) Les figures suivantes exposent les proportions de diamètres de bois du régime de datte dans leurs positions de coupe.



**Figure (IV.30):** Coupes transversales de bois du régime de dattes.

Cette figure montre aussi la proportion entre diamètre de la position initiale et position finale du bois du régime de datte



**Figure (IV.31):** Comparaison entre les coupes initiales et finales.

## C / RESULTATS DES EVALUATIONS ET CALCULS DES CARACTERISTIQUES PHYSIQUES

De par sa nature le désert est une région aride ou ces plantes possèdent un comportement assez spécifique, le palmier dattier répond à cette exigence qui fera objet de cette étude ou nous nous intéresserons aux propriétés physiques du bois du régime de datte pour nos trois variétés.

Le vif de cette étude comprendra la détermination de

- ✓ La masse volumique de chaque couche du bois du régime de datte
- ✓ Taux d'humidité du bois humide par rapport au bois sec
- ✓ Taux d'absorption d'eau qui va permettre d'évaluer la quantité d'eau absorbée et contenue dans le bois.

### IV.9 -La masse volumique :

Certains bois sont légers (peuplier, épicéa,...) et d'autres sont très lourds (chêne,...). La densité varie non seulement d'une essence à l'autre, mais aussi cela varie au sein d'une même espèce à savoir même pour le même arbre pour des régions différentes [82]. Par ailleurs, cette variation concerne la teneur en eau et elle s'exprime par la relation suivante [83].

$$\rho_x = \frac{M_x}{V_x} \quad (1)$$

Où  $M_x$  et  $V_x$  sont respectivement la masse et le volume à l'humidité X.

#### IV.9.1 Préparation du spécimen

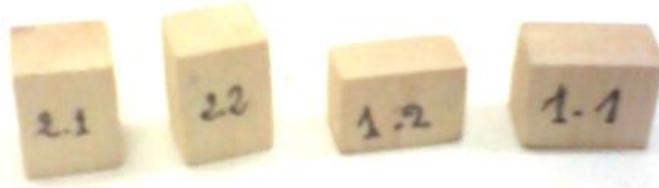
Pour la mesure de la masse volumique il existe deux méthodes principales et qui sont les plus utilisées leurs principe est basé sur la mesure des deux paramètres celui de la masse et celui du volume.

- ✓ la première méthode concerne la mesure indirecte du volume.
- ✓ la deuxième procédure concerne la mesure directe du volume par l'usage du récipient Becher.

Dans notre cas d'étude nous considérons la première méthode vu la forme assez complexe de notre bois qui est la matière d'étude et comme second soucis il faut prendre en compte le

phénomène de l'absorption rapide de l'eau par le bois cela nous incite à éviter d'aboutir à de résultats erronés dues au gonflement du bois ce qui provoque aussi des variations de dimensions et des variations de la masse.

Nos spécimens sont de forme cubique afin de faciliter le calcul du volume de chaque spécimen, qui présente différentes couches comme le montrent les figures qui suivent :



**Figure (IV.32) :** Spécimens proposées pour la mesure de la masse volumique : **CŒUR**.



**Figure (IV.33) :** Spécimens proposées pour la mesure de la masse volumique : **PEAU**.

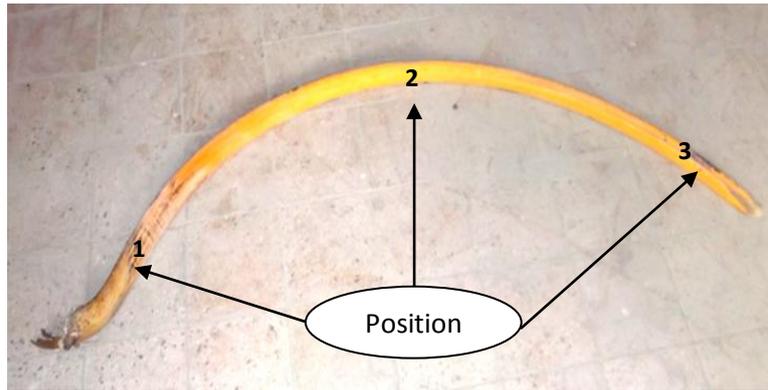
L'équation qui suit indique la relation de la masse avec le volume :  $\rho = \frac{M}{V}$  (1)

$$V (m^3) = L \times I \times e \quad (2)$$

M : Masse, V : Volume et  $\rho$ : Masse volumique

#### **IV.9.2 Masse volumique du bois de régime de datte de Deglet Nour :**

Le tableau I, montre les différentes valeurs de la masse volumique relative de la zone dite la peau et celle dite cœur du bois du régime de dattier de la variété de **Deglet Nour** selon pour différentes positions à distance de 50 cm entre chaque position.



**Figure (IV.34) :** Présentation des positions étudiées.

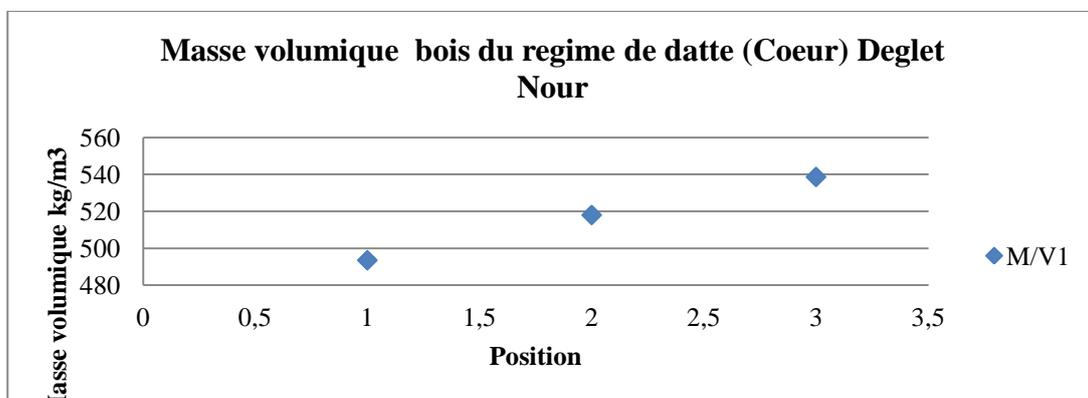
Pour la pesée nous utilisons une balance électrique à précision 0.001g et pour la mesure dimensionnelle nous utilisons un pied à coulisse 0.1 mm.

Variété	Zone	Position	Masse (g)	Longueur (mm)	Largeur (mm)	Epaisseur (mm)	Volume (mm <sup>3</sup> )	$\rho=M/V1$ (kg/m <sup>3</sup> )
Deglet Nour	Cœur	01	2,135	31,6	18,5	7,4	4326,04	493,5229
		02	2,404	32,1	18,3	7,9	4640,697	518,0256
		03	2,6	32,5	18,8	7,9	4826,9	538,648
	Peau	01	1,639	31,6	20,7	4	2616,48	626,4141
		02	1,566	31,3	20,8	3,8	2473,952	632,9953
		03	1,582	31,5	20,6	3,7	2400,93	658,9113

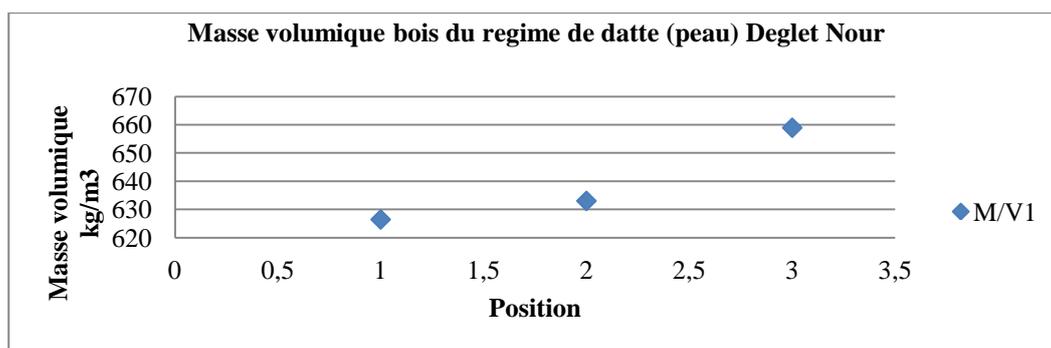
**Tableau (IV.19):** Variation de la masse volumique selon les positions.

À partir des résultats IV.19 collectés du tableau nous remarquons que la masse volumique varie relativement selon la position sélectionnée du cœur entre les valeurs [490-540] kg/m<sup>3</sup> soit une moyenne de 515 kg/m<sup>3</sup> par contre la masse volumique de la peau varie entre 626-660 kg/m<sup>3</sup> soit une moyenne de 640 kg/m<sup>3</sup>.

Les courbes des figures (IV.35), (IV.36) montrent la variation la masse volumique de la zone du cœur en fonction de la position.

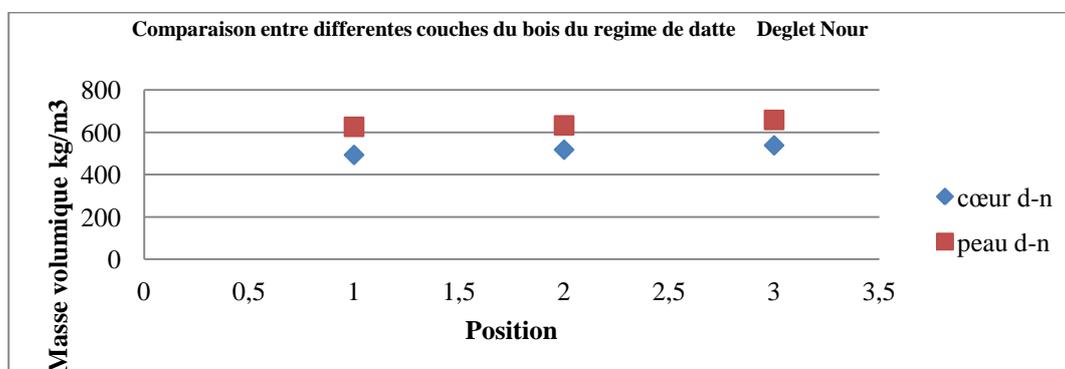


**Figure (IV.35) :** Variation de la masse volumique du cœur selon les positions.



**Figure (IV.36) :** Variation de la masse volumique de la peau selon les positions.

La courbe de la figure (IV.37), représente une comparaison entre les deux couches (peau-cœur) des figures (IV.35) et (IV.36), nous remarquons que la couche de la peau contient une masse volumique élevée par rapport au cœur.



**Figure (IV.37):** Comparaison entre masse volumique du cœur et de la peau selon les différentes positions.

### IV.9.3 Masse volumique de bois de la grappe du palmier dattier d'EL Ghers

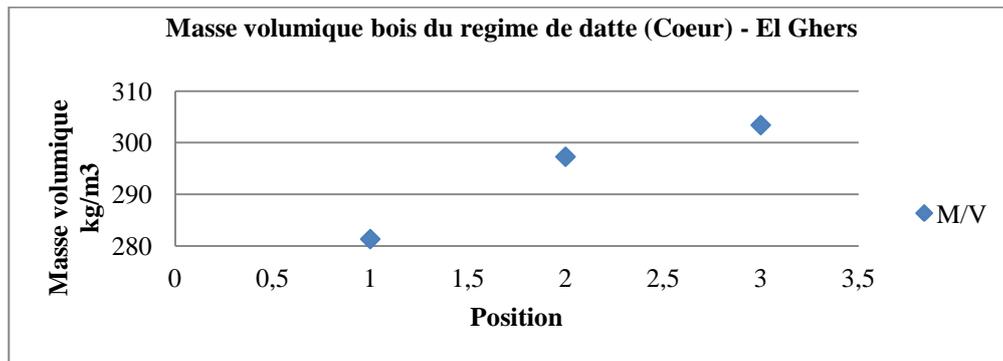
Le tableau IV.20, montre les différentes valeurs de la masse volumique relatives aux zones de la peau et du cœur du bois de régime de palmier dattier de la variété d'EL Ghers pour différentes positions distantes de 50 cm.

Variété	Zone	Position	Masse (g)	Longueur (mm)	Largeur (mm)	épaisseur (mm)	Volume (mm <sup>3</sup> )	$\rho=M/V1$ (kg/m <sup>3</sup> )
El Ghers	Cœur	01	0,9	27,2	11,2	10,5	3198,72	281,3625
		02	1,018	27,1	11,7	10,8	3424,356	297,2822
		03	1,003	27,2	11,8	10,3	3305,888	303,3981
	Peau	01	1,381	30,3	17,9	5,9	3199,983	431,5648
		02	1,289	30,3	18,3	5,2	2883,348	447,0497
		03	1,401	30,6	18	5	2754	508,7146

**Tableau (IV.20) :** Variation de la masse volumique de différentes zones pour différentes positions.

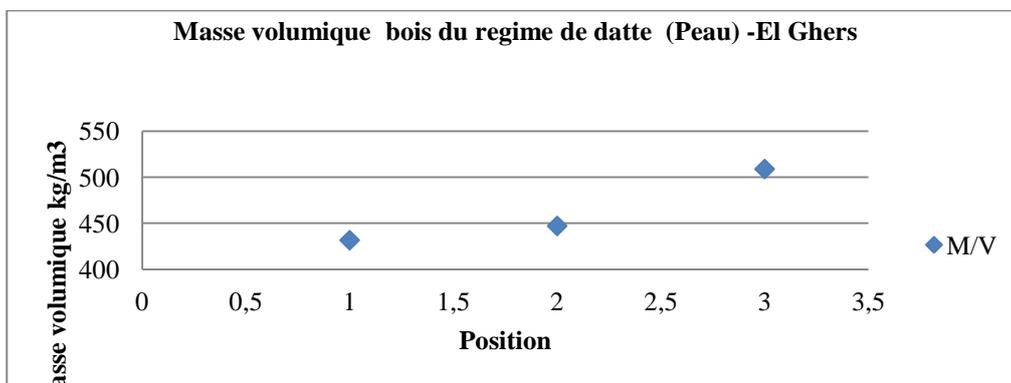
À partir des résultats collectés du tableau (IV.20), nous remarquons que la masse volumique varie relativement selon la position sélectionnée du cœur entre les valeurs [281-303] kg/m<sup>3</sup>, soit une moyenne de 295 kg/m<sup>3</sup> par contre la masse volumique de la peau varie entre 431-508 kg/m<sup>3</sup> soit une moyenne de 462 kg/m<sup>3</sup>.

La courbe figure (IV.38) représente la variation la masse volumique du cœur selon la position



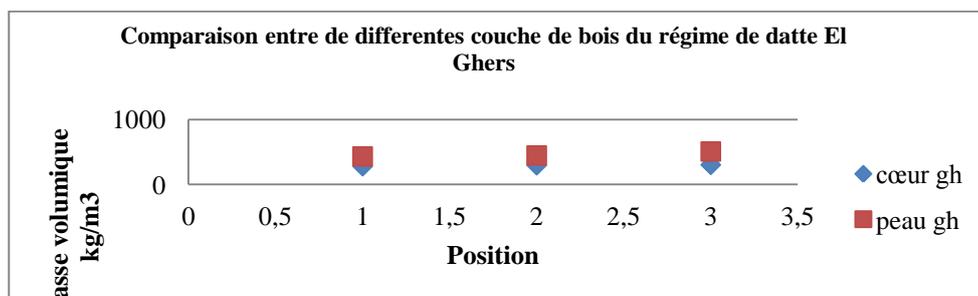
**Figure (IV.38):** Variation de la masse volumique du cœur selon les positions.

La courbe figure (IV.39), montre la variation la masse volumique de la peau pour différentes positions.



**Figure (IV.39):** Variation de la masse volumique de la peau pour différentes positions.

La comparaison entre la masse volumique des différentes couches pour différentes positions, de la variété El Ghers.



**Figure (IV.40):** Comparaison entre la variation la masse volumique du cœur et de la peau selon les différentes positions.

La courbe de la figure (IV.40), illustre la comparaison entre les couches, on remarque que la couche de la peau contient une masse volumique élevée par rapport à celle du cœur.

#### IV.9.4 Masse volumique de bois de la grappe du dattier de Mech Degla:

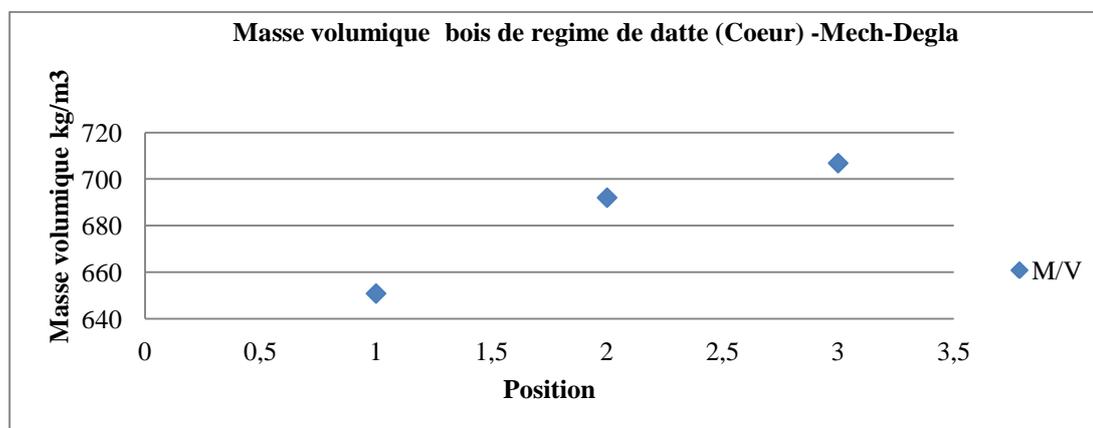
Le tableau (IV.21), montre le calcul de la masse volumique de la peau et du cœur de bois du régime de dattier par l'utilisation de l'équation (1) et (2) de la variété de **Mech Degla**, selon la position et la distance entre les positions 50 cm, comme il est illustre dans la figure (IV.41).

Variété	Zone	Position	Masse (g)	Longueur (mm)	Largeur (mm)	épaisseur (mm)	Volume (mm <sup>3</sup> )	$\rho=M/V1$ (kg/m <sup>3</sup> )
<b>Mech Degla</b>	Cœur	01	1,596	37,4	8,3	7,9	2452,318	650,8128
		02	1,752	37,2	8,3	8,2	2531,832	691,989
		03	1,85	37,1	8,5	8,3	2617,405	706,8069
	Peau	01	1,607	38,2	14,6	4	2230,88	720,3435
		02	1,759	38,1	15,3	3,8	2215,134	794,0829
		03	1,863	38	15	4	2280	817,1053

**Tableau (IV.21):** Variation de la masse volumique pour différentes positions.

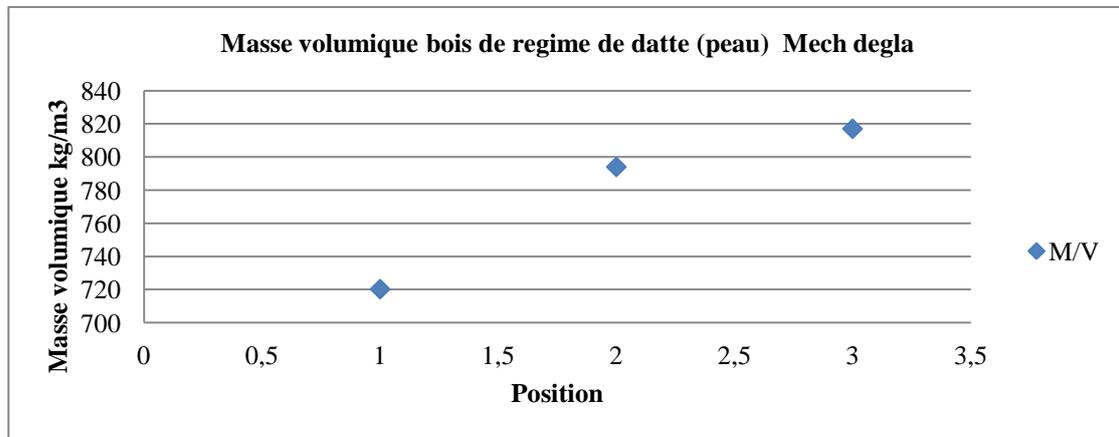
Des résultats collectés du tableau (IV.21), nous remarquons que la masse volumique varie relativement pour différentes positions sélectionnées de la zone du cœur et fluctue entre les valeurs (650-706) kg/m<sup>3</sup> soit une moyenne de 683 kg/m<sup>3</sup> par contre la masse volumique de la peau varie entre (720-817) kg/m<sup>3</sup> soit une moyenne de 777 kg/m<sup>3</sup>.

La courbe de la figure (IV.41), exprime la variation de la masse volumique du cœur en fonction des différentes positions sélectionnées.



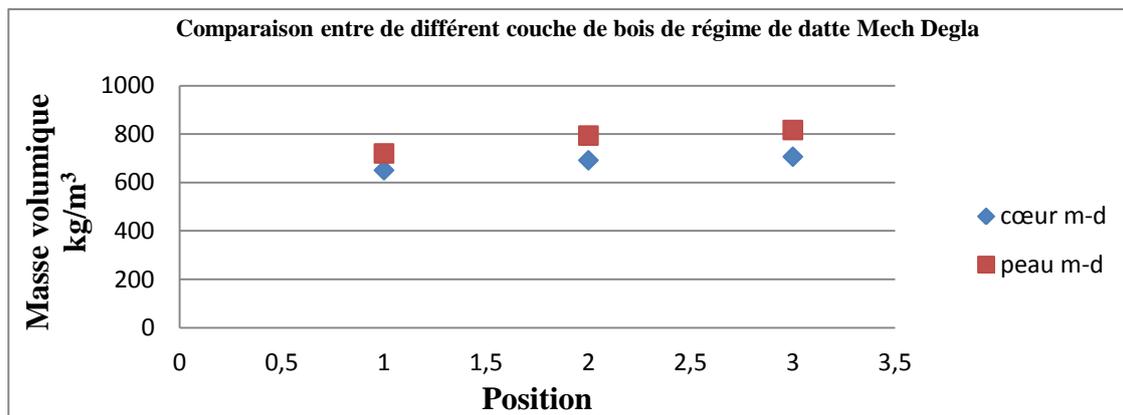
**Figure (IV.41):** Variation de la masse volumique du cœur en fonction des différentes positions sélectionnées.

La courbe de la figure (IV.42), exprime la variation la masse volumique de la peau en fonction des différentes positions sélectionnées.



**Figure (IV.42):** Variation de la masse volumique de la peau selon les positions.

Comparaisons entre les masses volumiques des différentes couches en fonction des différentes positions sélectionnées de la variété **Mech Degla** donne la figure qui suit.

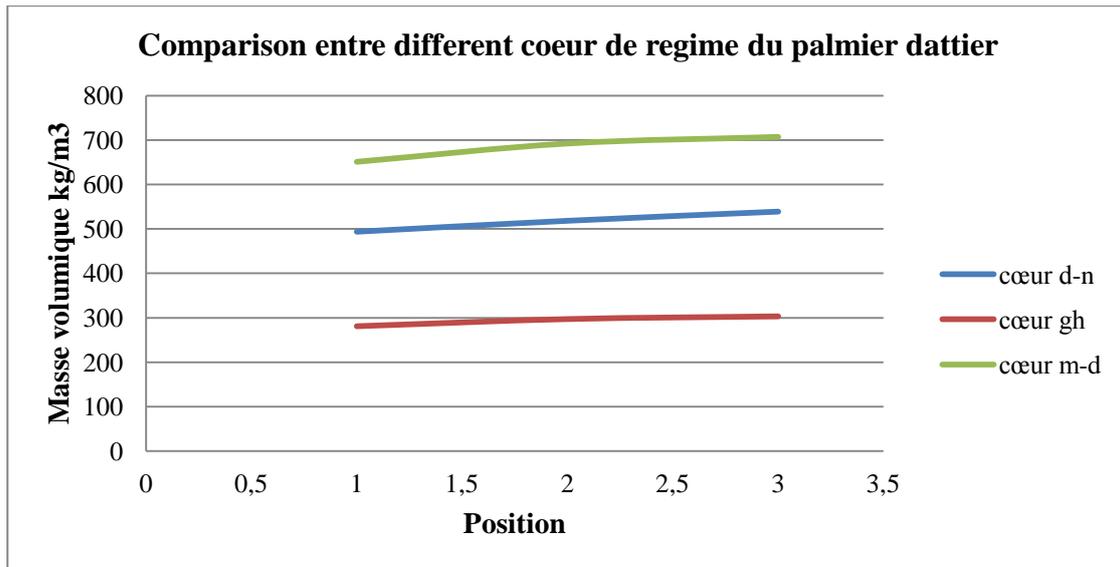


**Figure (IV.43):** Comparaison entre variation de la masse volumique du cœur et de la peau en fonction des différentes positions sélectionnées.

De la comparaison entre les masses volumiques nous déduisons que la couche de la zone de la peau contient une masse volumique assez élevée par rapport à celle de la zone du cœur.

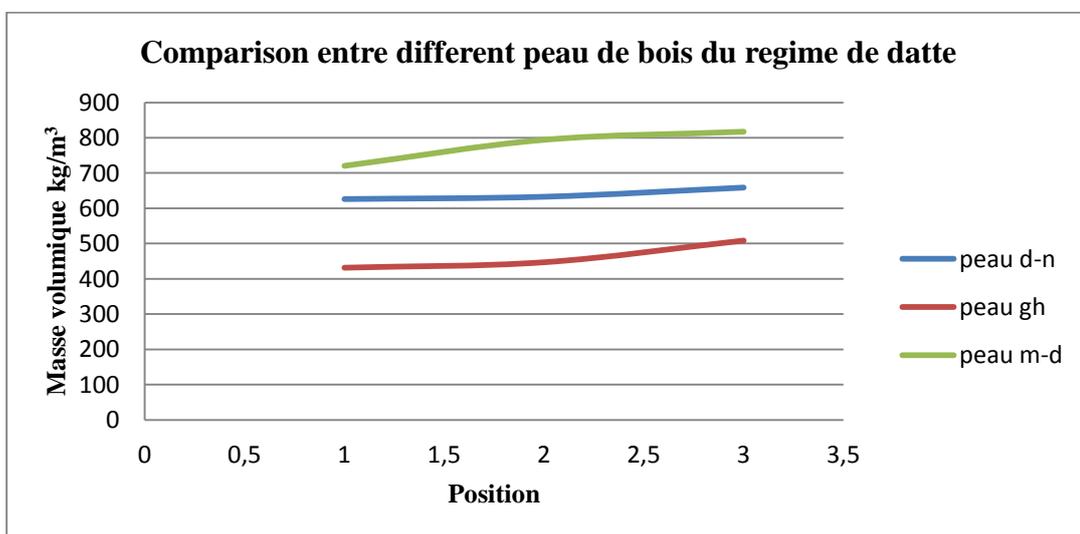
#### IV.9.5 Comparaison entre les variétés étudiées.

La figure (IV.44), présente la comparaison des variations de la masse volumique des cœurs de différentes variétés en fonction des différentes positions sélectionnées.



**Figure (IV.44):** Comparaison entre la variation de la masse volumique des cœurs de différentes variétés en fonction des différentes positions sélectionnées.

La figure (IV.44), exprime la comparaison entre la variation de la masse volumique de la zone du cœur, nous remarquons que la masse volumique de **Mech Degla** à une masse volumique d'environ de  $683 \text{ kg/m}^3$  suivie de celle de **Deglet Nour** d'une valeur de  $515 \text{ kg/m}^3$  puis celle d'**El Ghers** d'une valeur de  $295 \text{ kg/m}^3$ . La figure (IV.45), exprime la comparaison entre les masses volumiques des peaux des différentes variétés étudiées selon les positions.



**Figure (IV.45) :** Comparaison entre la variation de la masse volumique des peaux des différentes variétés en fonction des différentes positions sélectionnées.

La figure (IV.45), est une comparaison entre les peaux, nous remarquons que la masse volumique de **Mech Degla** est contient un masse volumique élève environ de  $777 \text{ kg/m}^3$  et puis **Deglet Nour** environ de  $640 \text{ kg/m}^3$  et dernièrement **El Ghers** environ de  $462 \text{ kg/m}^3$ .

Pour connaître le taux d'humidité des bois il faut savoir que ce dernier (le bois) est un matériau hygroscopique. Il est sensible aux variations atmosphériques (humidité et température), et sa teneur en eau change sous l'effet de la sorption pour tendre vers un état d'équilibre avec l'ambiance. La teneur en eau du bois, est exprimée quantitativement comme le pourcentage de la masse d'eau présente dans le bois, divisée par la masse de matières sèches. Il faut préciser que l'eau dans le bois vert (bois coupé de l'arbre) existe sous trois formes différentes : eau libre, eau liée et vapeur d'eau. L'eau libre ou l'eau capillaire se trouve dans les cavités cellulaires. L'eau libre est soumise à la pression capillaire et, en cela, se distingue de l'eau liquide ordinaire. L'eau liée ou hygroscopique est contenue dans les parois cellulaires. L'eau peut également exister sous forme de vapeur dans des cavités et des micropores qui peuvent se trouver dans des parois cellulaires. Lorsqu'un morceau de bois vert est exposé aux conditions atmosphériques, il commence à sécher et se met en équilibre avec les conditions climatiques. Quand son taux d'humidité est environ 25-30 %, le bois ne contient pas d'eau libre dans ses cavités cellulaires et les parois cellulaires sont saturées d'eau liée.

Il est aussi montré que l'énergie nécessaire pour enlever une molécule de l'eau liée ou hygroscopique est plus grande que l'énergie nécessaire pour évaporer une molécule de l'eau libre. Donc, lors du séchage du bois, l'eau libre existant dans le bois vert s'évapore avant l'eau liée.

#### **IV.10 Taux d'humidité :**

Le taux d'humidité peut se définir de 3 manières distinctes essentiellement c'est le rapport de la quantité d'eau présente dans le bois par rapport

- ✓ A la masse totale d'eau qui peut être perdue.
- ✓ A la masse de bois vert initiale,
- ✓ A la masse de bois sec final, c'est cette dernière mesure qui est utilisée, nommée humidité MS

##### **IV.10.1 la technique de séchage :**

Les spécimens ont été séchés à une température de 60°C jusqu'à la stabilisation de la masse indiquée sur l'étuve et balance précision (0.001) disponible au niveau d'atelier technologie

de département de génie mécanique à l'université de Biskra dans la figure (IV.46), pendant les différents intervalles de temps.



**Figure (IV.46) : A ; Balance et B : Etuve.**

L'objectif du procédé de séchage est de diminuer la teneur en eau existante dans le bois.

Le séchage est réalisé à l'aide d'une balance et étuve d'humidité à  $T = 60^{\circ}\text{C}$ . [83]

Cette technique a été effectuée sur trois spécimens de différentes variétés et différentes couches. Le séchage à l'état naturel ou et à l'état humide a été effectué, tous les résultats sont donnés.

#### **IV.10.2 Méthode de séchage :**

Dans ce chapitre on détermine le taux d'humidité des différentes couche de bois du régime de datte des différentes variétés du palmier dattier, le travaille réalise sur trois variétés de palmier dattier. La classification des palmiers dattiers productive sont basés essentiellement sur la variété productive.

Il s'agit de trois variétés :

- ✓ Palmier dattier sec comme **Mech Degla**
- ✓ palmier dattier demi- molle comme **Deglet Nour**
- ✓ palmier dattier molle comme **El Ghers**

Ces variétés de palmiers dattiers sont très connues dans la wilaya de Biskra au Sud Est de l'Algérie.

Cette étude à été faite juste après la récolte de datte, on a découpé le bois du régime pour prendre le taux de l'humidité, on va préparer le bois du régime de datte, pour l'étude en couvrant le spécimen par nylon (plastique) pour conserver l'humidité.

#### IV.10.3 Préparation des spécimens :

Pour notre étude nous avons préparé trois morceaux de bois des régimes et la distance entre les positions est toujours de 50 cm avec une longueur de mesure de 40 mm pour les morceaux non séparés complet voir la figure (IV.47), les dimensions des spécimens sont exposées dans le tableau (IV.22):

couche	peau	cœur	Régime complet
longueur	40	40	40
largueur	30	30	/
Epaisseur	3	5	/

Tableau (IV.22) : Dimensions des spécimens pour l'étude d'humidité



Figure (IV.47): Les formes des spécimens étudiées.

La teneur en eau est définie comme la masse d'eau présente dans le bois rapportée à sa masse anhydre dans quelque temps de séchage, elle est exprimée par la relation suivante :

$$H(\%) = \frac{m_{\text{avant}} - m_{\text{après}}}{m_{\text{après}}} \times 100 \quad (4)$$

$m_{\text{avant}}$  : la masse avant le séchage.

$m_{\text{après}}$  : la masse après le séchage.

H(%) : le pourcentage de l'humidité extraite.

A partir de la relation (1) on calcule le taux de l'humidité pour une température de 60°C dans l'étuve.

### IV.10.3.1 Étude le taux de l'humidité pour la variété de Deglet Nour :

Après la préparation des spécimens on les pèse en utilisant une balance électronique d'une précision de 0.001g, puis on les sèche et à chaque fois on prend le poids du spécimen.

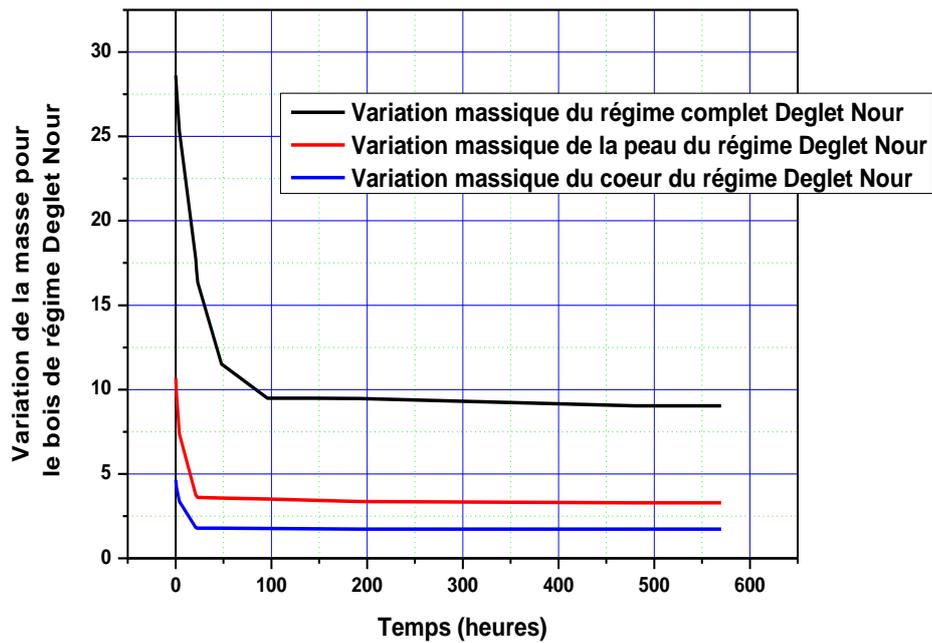
Du tableau (IV.23), qui est la variation massique en fonction de temps de la variété **Deglet Nour**.

Bois	Position	M0	1 h	4 h	21 h	22 h	23 h	48 h	96 h
régime	1	28,606	27,749	25,309	17,756	17,047	16,344	11,523	9,496
	2	28,856	27,973	25,572	16,596	16,036	15,439	11,72	9,509
	3	29,171	28,309	25,85	17,964	17,272	16,592	11,979	9,647
Cœur	1	10,668	9,697	7,366	3,765	3,682	3,61	3,572	3,509
	2	10,702	9,715	7,309	3,828	3,745	3,665	3,598	3,524
	3	10,248	9,189	6,905	3,699	3,624	3,553	3,557	3,498
Peau	1	4,635	4,178	3,369	1,82	1,804	1,794	1,782	1,773
	2	4,362	3,888	2,96	1,749	1,735	1,723	1,7	1,68
	3	4,288	3,844	2,943	1,743	1,727	1,715	1,692	1,67

144 h	192 h	480 h	500 h	570 h
9,493	9,473	9,027	9,027	9,027
9,505	9,494	9,146	9,146	9,146
9,642	9,616	9,299	9,299	9,299
3,442	3,368	3,285	3,285	3,285
3,461	3,401	3,324	3,324	3,324
3,407	3,311	3,25	3,25	3,25
1,75	1,734	1,724	1,724	1,724
1,67	1,664	1,66	1,66	1,66
1,658	1,659	1,647	1,647	1,647

**Tableau (IV.23):** Variation de la masse en fonction du temps.

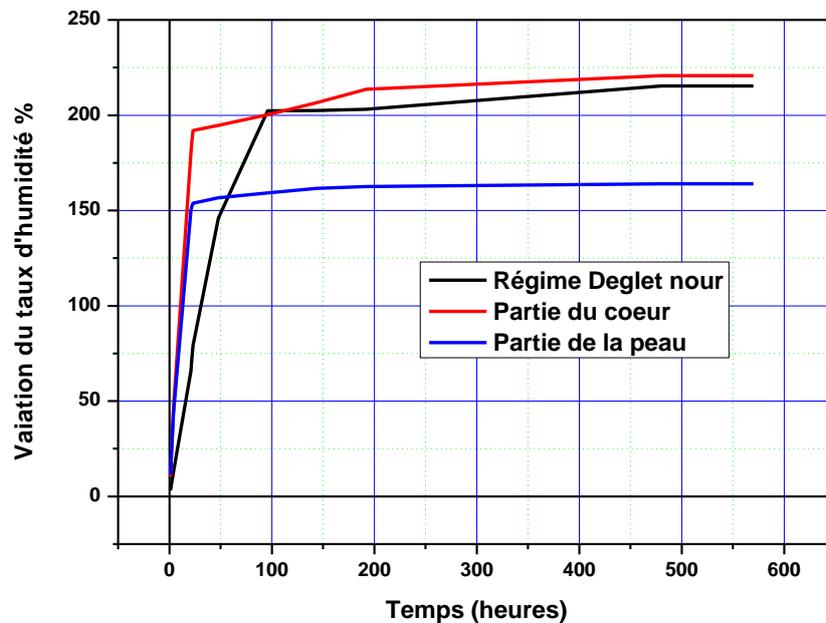
Ce tableau nous à permis de faire la construction des courbes de la figure (IV.48),



**Figure (IV.48) :** Variation de la masse en fonction du temps de la variété **Deglet Nour**

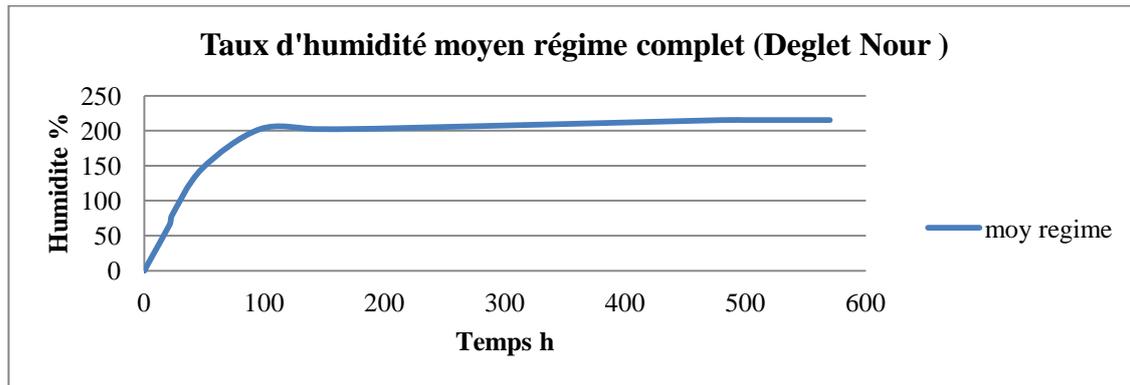
De la même manière et avec le même protocole expérimentale, on procède à l'étude de la variation de l'humidité en fonction du temps.

Cela permet la construction des courbes de la figure (IV.49).



**Figure (IV.49) :** variation de l'humidité en fonction du temps de la variété **Deglet Nour**

Séparément on obtient aussi, la courbe figure (IV.50), qui représente la variation le taux d'humidité en fonction de temps pour le bois du régime complet.

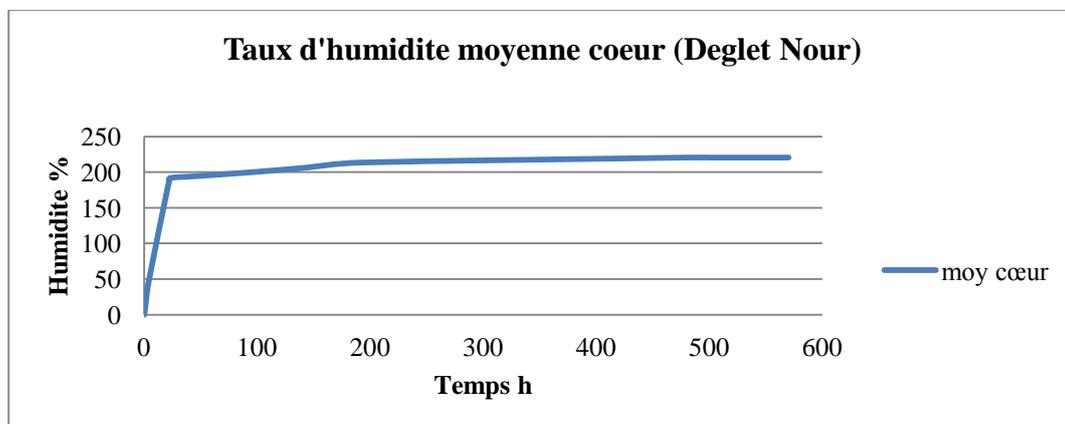


**Figure (IV.50) :** Courbe de la variation le taux d'humidité en fonction de temps du bois de régime complet de **Deglet Nour**.

La courbe de la figure (IV.50), présente le taux de l'humidité de bois du régime de **Deglet Nour** qui contient un taux qui peut atteindre 215 %, on peut la divisé en trois parties :

- ✓ La première partie linéaire, elle est le taux le plus élevé d'une valeur de 145 %, son extraction se fait sur un temps qui ne dépasse pas les 48 heures.
- ✓ la deuxième partie est non-linéaire, elle contient un taux de 55 %, on son extraction se fait sur un temps de 96 heures.
- ✓ la dernière partie est aussi linéaire, la masse se stabilise à l'humidité est de 15 % son extraction se fait sur un temps de 420 heures.

La courbe de la figure (IV.51), représenté le taux d'humidité du cœur de bois du régime pour **Deglet Nour** en fonction de temps.



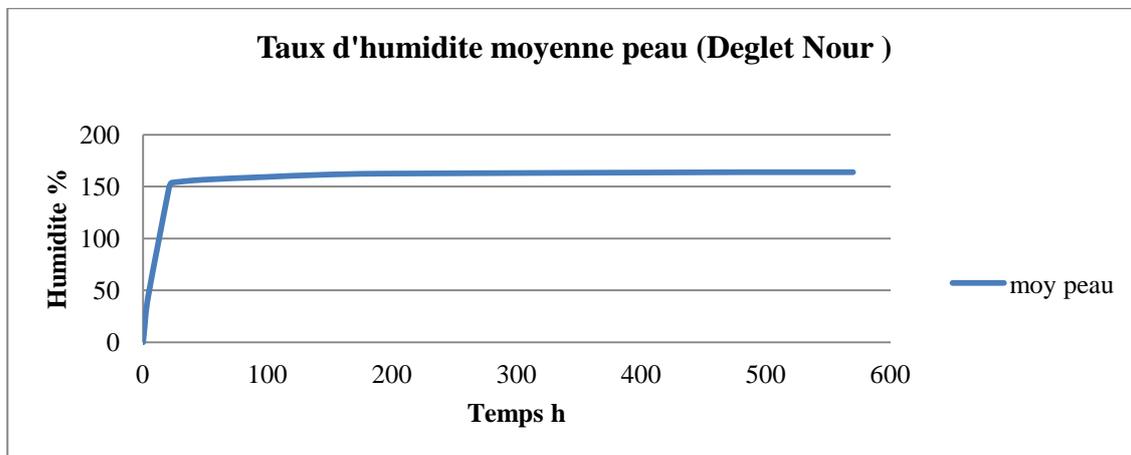
**Figure (IV.51) :** Courbe de la variation le taux d'humidité en fonction de temps bois du cœur.

La courbe figure (IV.51), représente le taux de l'humidité du cœur de bois du régime qui peut atteindre 220 % de la masse du spécimen.

Cette courbe peut aussi être divisée en deux parties :

- ✓ La première partie est linéaire on peut extraire plus 190 % de l'humidité durant 24 heures.
- ✓ la deuxième partie, elle est aussi linéaire, ou on peut extraire 30 % de l'humidité pendant 545 heures

La courbe figure (IV.52), représente le taux de l'humidité de la zone de la peau de bois du régime en fonction de temps



**Figure (IV.52):** Courbe de la variation le taux d'humidité en fonction de temps bois de la peau.

De la courbe figure (IV.52), nous avons remarqué que l'humidité peut atteindre 164 %, et on peut la diviser en deux parties :

- ✓ La première partie, linéaire, le taux de l'humidité est de 154 % durant 24 heures.
- ✓ La deuxième partie, est linéaire aussi, elle contient le reste de l'humidité qui ne dépasse pas 10 % pendant 545 heures.

#### **A. Comparaison entre le taux de l'humidité des différents éléments étudiés :**

À partir la mesures des taux d'humidité des différents bois, la figure (IV.53), représente la comparaison entre les couches et régime non sépare.

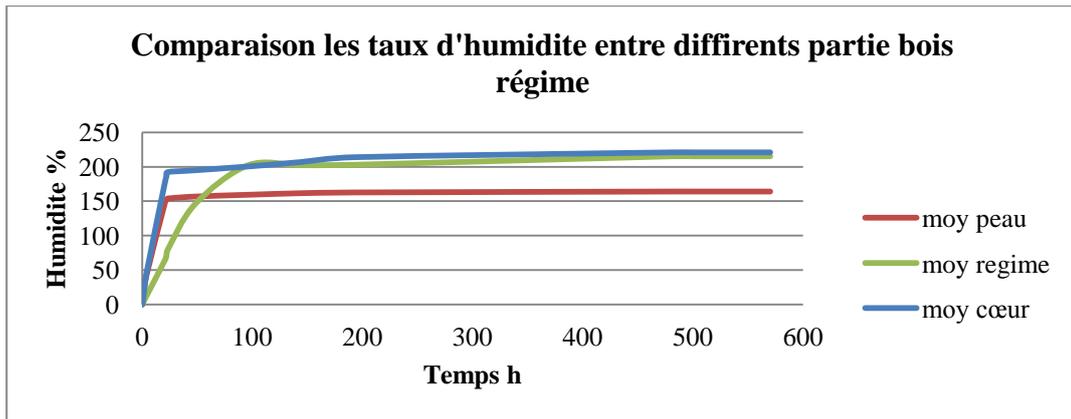


Figure (IV.53): Comparaison le taux d'humidité entre les éléments du bois étudié.

De l'étude comparative des taux de l'humidité des différents éléments du bois du régime est convergent entre le cœur et bois de régime de datte non séparé, quant à la peau, le taux est inférieur à celui de l'autre.

Donc le bois du régime de datte de **Deglet Nour** contient une couche mince de la peau, par contre le grand volume du bois est constitué du cœur.

#### IV.10.3.2 Étude le taux d'humidité variété El Ghers :

De même que pour la variété précédemment étudiée, on procède à l'étude de la variété d'**El Ghers**. La figure (IV.54), illustre la Variation de la masse du bois de régime d'**El Ghers**.

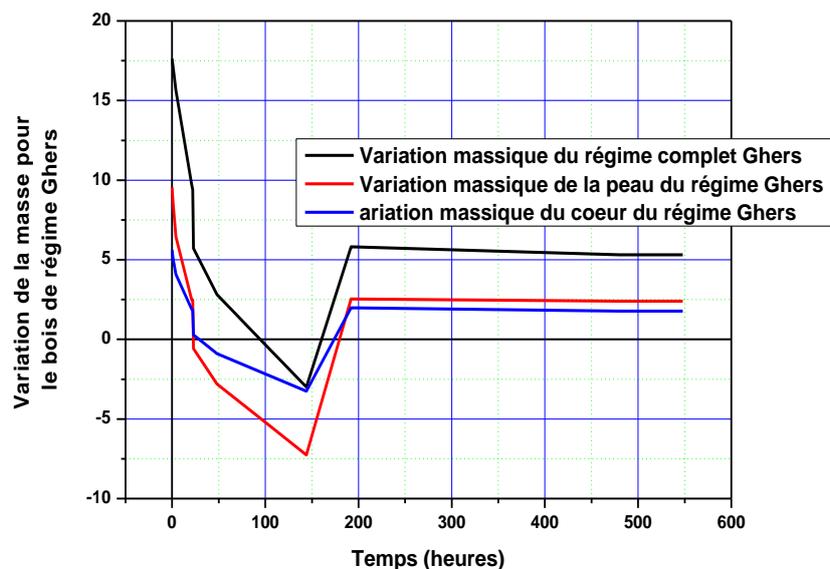
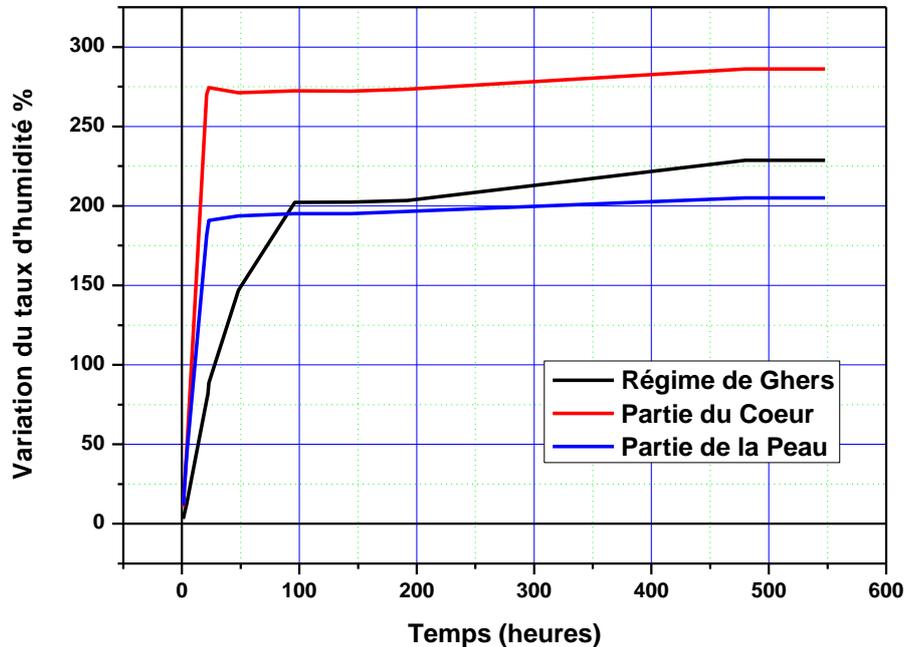


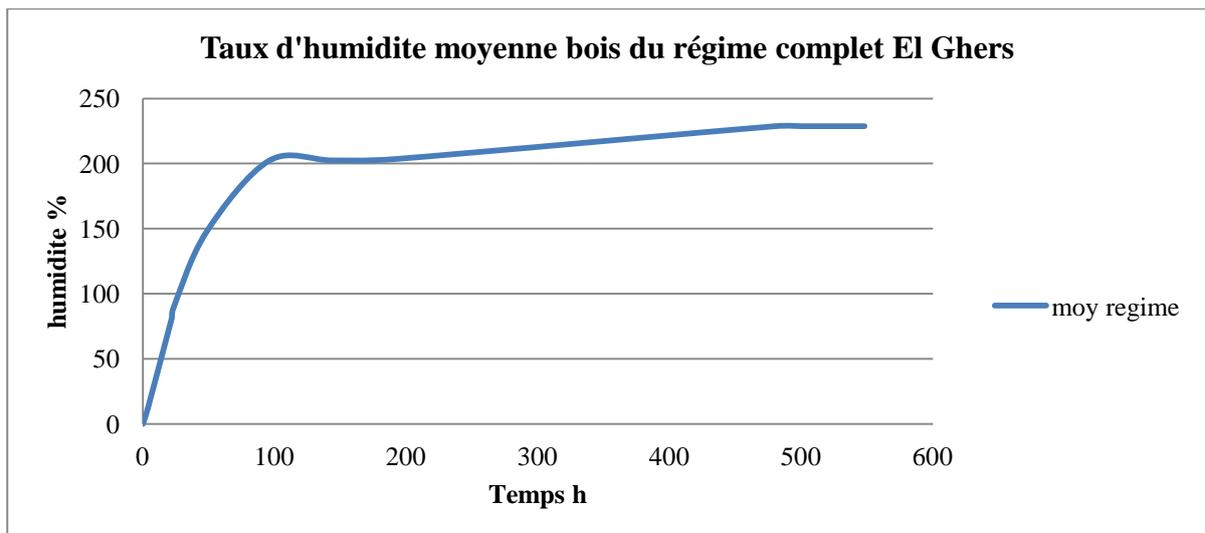
Figure (IV.54): Variation de la masse du bois de régime d'El Ghers.

De même pour le taux de l'humidité en fonction de temps et passant par l'équation (1).



**Figure (IV.55) : Variation de l'absorption du taux d'humidité pour la variété El Ghers**

De ces courbes, on retrouve les courbes qui représentent les différentes couches de bois du régime de la variété d'El Ghers. La courbe figure (IV.56), représente le changement de taux de l'humidité en fonction de temps.

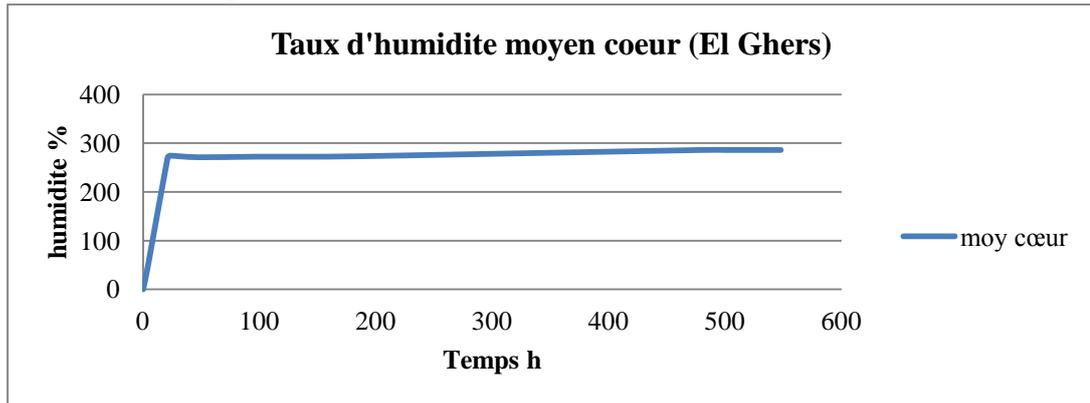


**Figure (IV.56):** Courbe de la variation le taux d'humidité en fonction de temps bois du régime.

La courbe représente le taux de l'humidité de bois du régime d'El Ghers qui peut atteindre 228%, on peut diviser en trois parties :

- La première partie, est linéaire, et comprend un taux élevé de l'humidité 147 %, l'extraction pendant 48 heures.
- La deuxième partie non-linéaire, comprend un taux de 56 %, l'extraction sur 144 heures
- La troisième partie, linéaire, la masse est stabilise et elle comprend 25% de l'humidité, l'extraction pendant 340 heures.

La courbe figure (IV.57), représente le taux de l'humidité de la couche de cœur du **El Ghers** en fonction de temps.

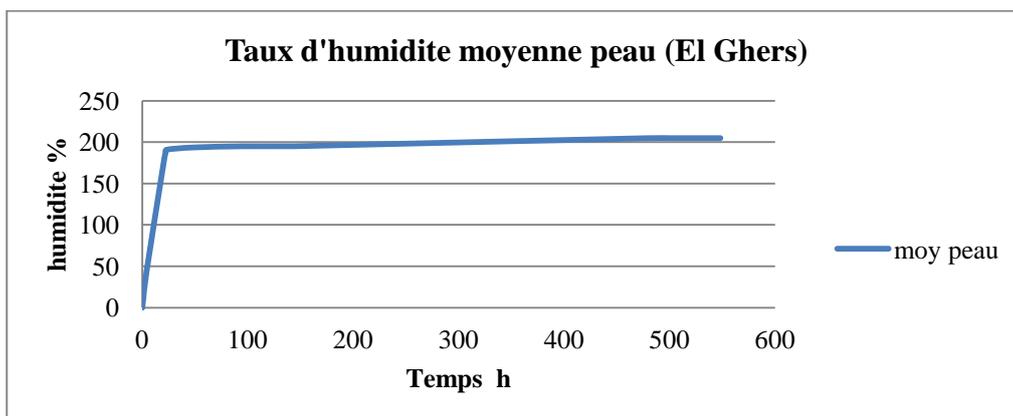


**Figure (IV.57):** Courbe de la variation le taux d'humidité en fonction de temps bois du cœur.

La courbe figure (IV.57), représente le taux de l'humidité du cœur de bois du régime qui représente 286% de la masse de le spécimen, nous pouvons diviser en deux parties :

- ✓ Premier partie, linéaire, on en extrait plus de 274 % de taux d'humidité pendant 24 heures.
- ✓ Deuxième partie, linéaire est la masse stable on extrait le reste de taux de l'humidité quine dépasse pas 12 %. pendant 524 heures.

La courbe figure (IV.58), représente le taux de l'humidité en fonction de temps de la peau de bois du régime El Ghers.



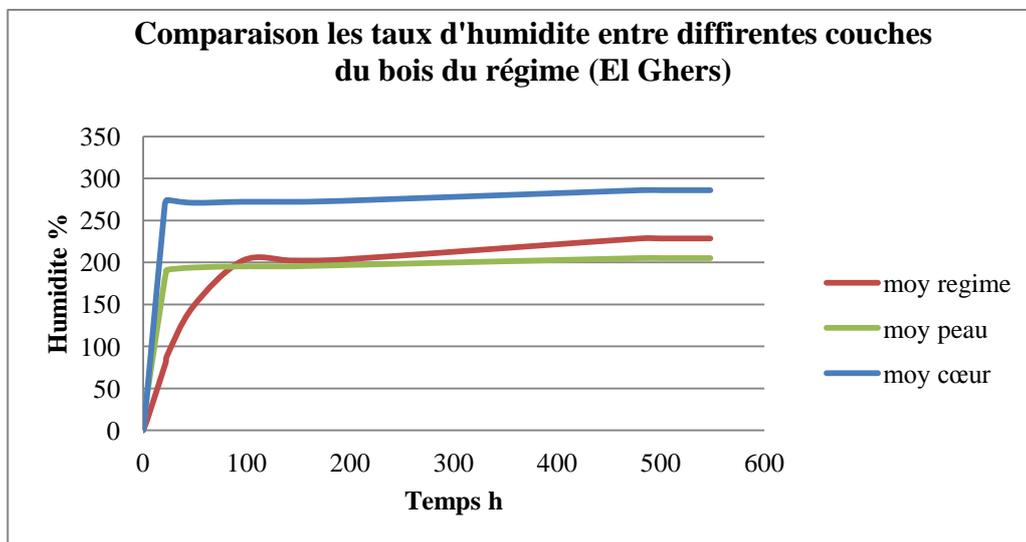
**Figure (IV.58):** Courbe de la variation du taux d'humidité en fonction de temps du bois de la peau.

D'après la courbe figure (IV.58), nous avons remarqué que le taux de l'humidité de la peau de bois du régime pour cette variété (**El Ghers**) est 204 % et que nous pouvons diviser en deux parties principales :

- ✓ La première partie, linéaire, dont le taux de l'humidité est de 190 %, extraite sur 24 heures.
- ✓ La deuxième partie, linéaire, comprend un taux d'humidité qui ne dépasse pas 15 % pendant une longue durée 524 heures.

#### A. Étude comparative entre les différents éléments des bois du régime de datte **El Ghers** :

À partir la mesure du taux d'humidité des différents bois, la figure (IV.59), représente la comparaison entre les couches et régime non sépare.



**Figure (IV.59):** Comparaison le taux d'humidité entre les éléments du bois étudié.

D'après la comparaison entre les courbes des différents éléments de bois du régime d'**El Ghers**, nous trouvons que le taux de l'humidité se diffère d'une partie à une autre, c'est-à-dire que le taux de l'humidité se diminue en allant vers l'extérieur du bois.

- ✓ Donc le bois du régime de datte d'**El Ghers** contient une couche peu épaisse qui est la peau, par contre le grand volume du bois est constitué du cœur.

#### IV.10.3.3 Étude le taux d'humidité de la variété Mech Degla

Les caractérisations respectives de la variation massique et du calcul du taux d'humidité ont conduit à la construction des courbes des deux figures (IV. 60) et (IV.61).

Soit la variation massique sur une durée de 772 heures jusqu'à la stabilité de la masse.

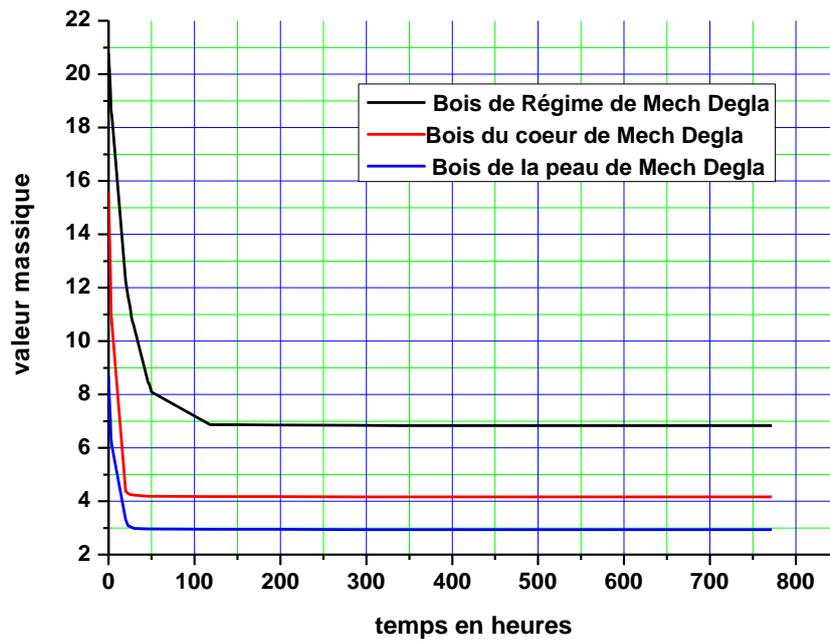


Figure (IV.60): Variation de la masse en fonction du temps de **Mech Degla**.

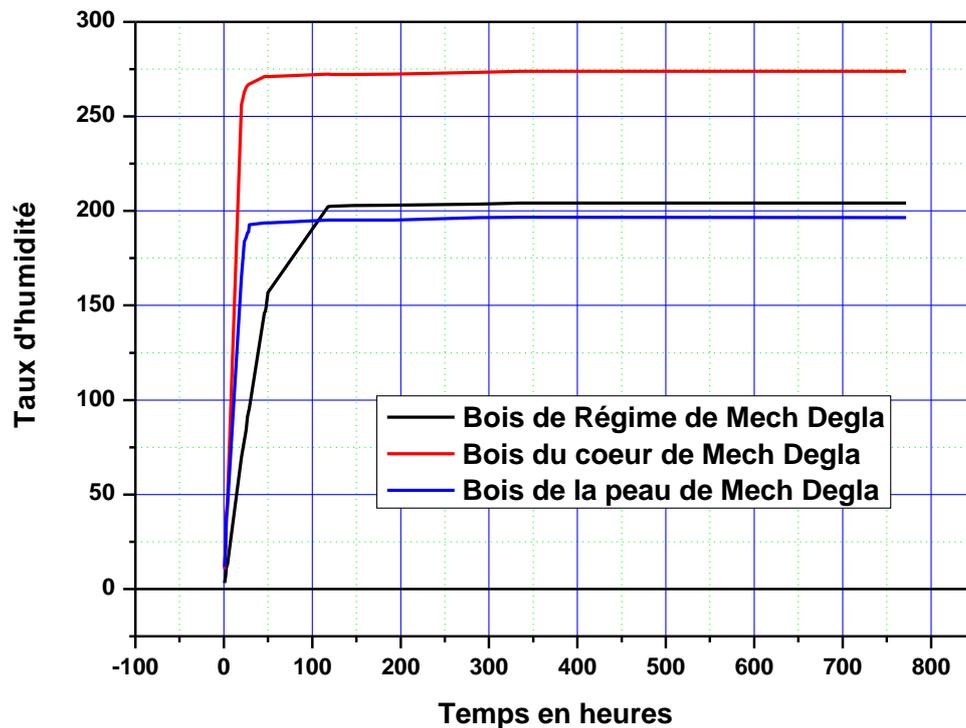
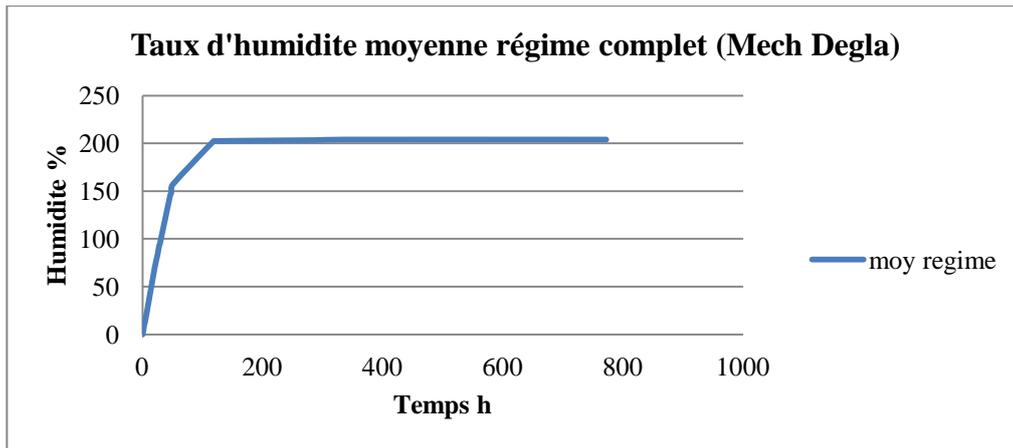


Figure (IV.61): Variation de l'humidité en fonction du temps de **Mech Degla**.

La courbe figure (IV.62), représente la variation de taux de l'humidité en fonction de temps du bois de régime complet de la variété de Mech Degla.

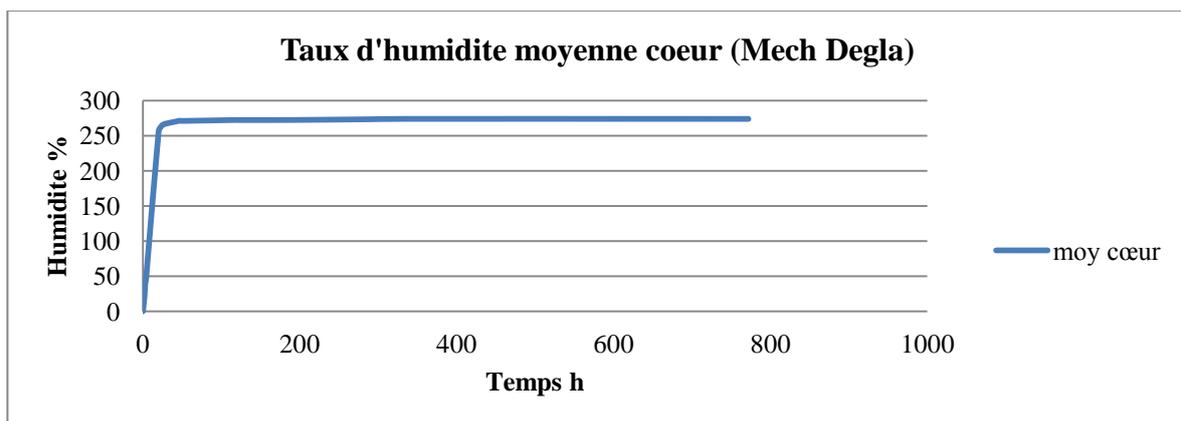


**Figure (IV.62):** Courbe de la variation le taux d'humidité en fonction de temps bois du régime complet de la variété Mech Degla.

De cette courbe, on peut dire que le taux de l'humidité en fonction de temps de bois du régime de la variété de **Mech- Degla** atteint 204% que nous pouvons diviser en trois parties :

- ✓ La première partie est linéaire est comprend le taux le plus élevé de valeur 150% pour une de 48 heures.
- ✓ La deuxième partie est non-linéaire est comprend un taux de 50% pour 72 heures.
- ✓ La troisième partie en fin est aussi linéaire la ou la masse se stabilise, elle comprend un taux moins élevé qui ne dépasse pas 4% pour 645 heures.

La courbe figure (IV.63) et (IV.64), illustrent respectivement le taux de l'humidité du cœur et de la peau de bois du régime de **Mech Degla**.

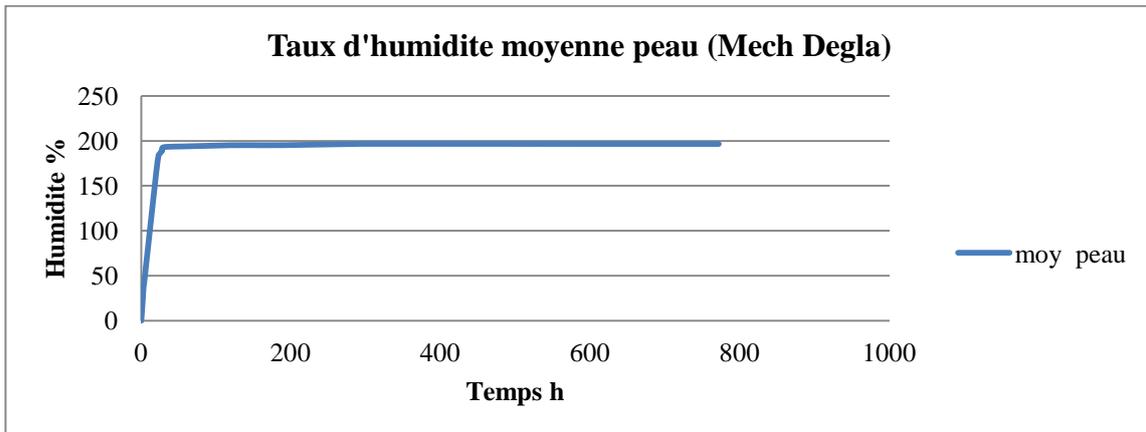


**Figure (IV.63):** Variation le taux d'humidité en fonction de temps du bois du cœur de la variété de **Mech Degla**.

La courbe de la figure (IV.63) représente le taux de l'humidité de la couche de cœur de **Mech Degla**, ce taux peut atteindre 273% de la masse, et peut être divisé en deux parties :

- ✓ La première partie est linéaire est comprend le taux plus élève 270% pour 48 heures.

- ✓ la deuxième partie est aussi linéaire et ne dépasse pas 3% pendant le temps restant.



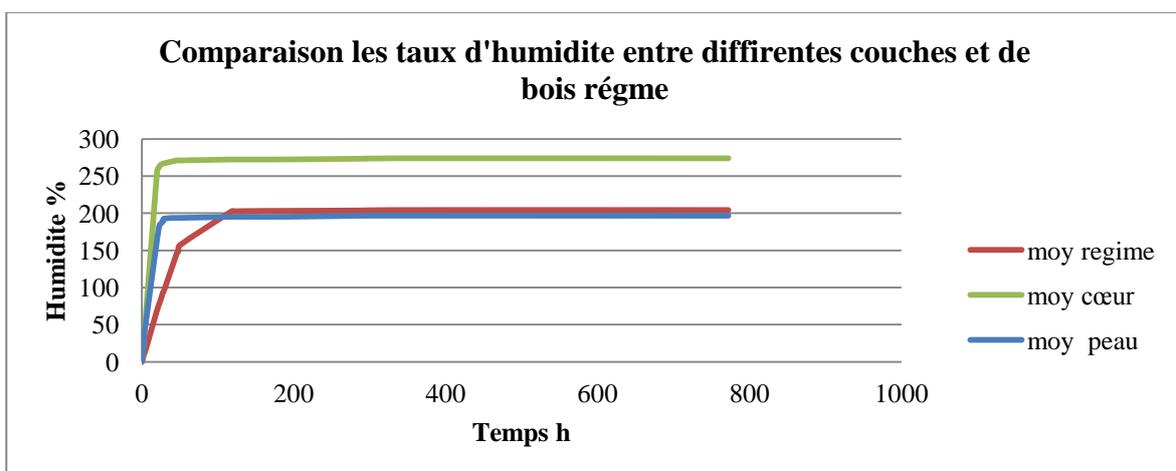
**Figure (IV.64):** Courbe de la variation le taux d'humidité en fonction de temps bois de la peau de la variété de Mech Degla.

Pour la figure (IV.64) qui représente le taux de l'humidité de la peau de **Mech Degla**, l'humidité atteint 196%, et elle est extraite en deux parties :

- ✓ La première partie linéaire ou le taux d'humidité est élevé de 193 % pendant 48 heures
- ✓ La deuxième partie linéaire ou la masse se stabilise et le reste de l'humidité ne dépasse pas 3% pendant le temps restant de 724 heures

#### A. Étude comparative entre les taux de l'humidité de différentes parties de bois du régime de Mech Degla :

À partir la mesure du taux d'humidité de différents bois, la figure (IV.65), représente la comparaison entre les couches et régime non sépare.



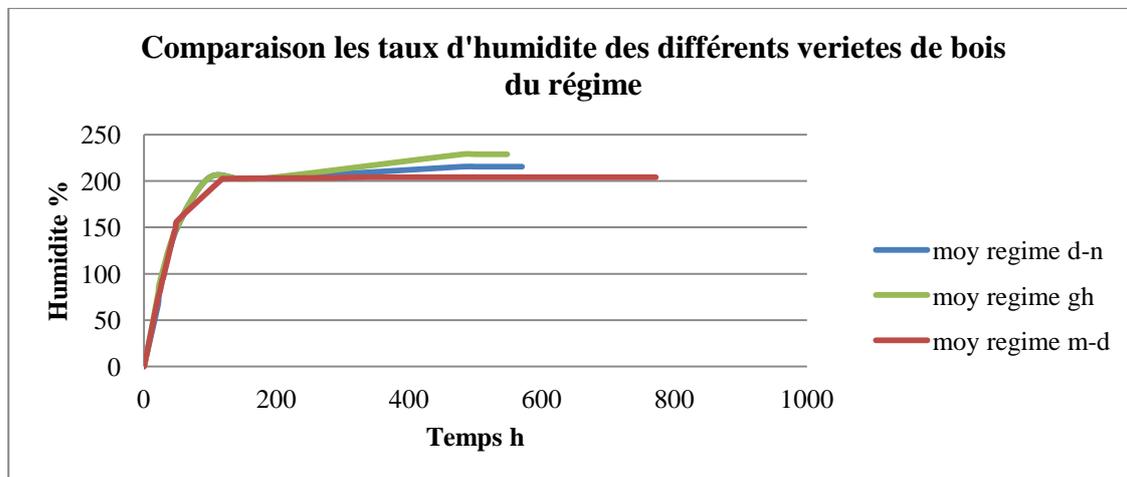
**Figure (IV.65):** Comparaison le taux d'humidité entre les éléments du bois étudié.

De cette comparaison nous trouvons que le taux d'humidité se diffère d'une partie à une autre, le taux le plus élevé est le cœur, puis le bois du régime qui contient un taux moins élevé et en fin, la peau qui est la partie la plus pauvre en eau.

Donc le bois du régime de la datte de **Mech Degla** est conçu d'une couche épaisse qui est la peau, par contre le petit volume du bois se trouve à l'intérieur soit le cœur.

#### IV.10.4 Étude comparative entre les taux de l'humidité de différentes variétés de bois du régime :

Dans la figure (IV.66), nous comparons les taux d'humidité entre les trois variétés de bois du régime complet non sépare.



**Figure(IV.66):** Comparaison des taux d'humidité du bois du régime des différentes variétés.

De la comparaison déjà faite, nous avons remarqué que les bois des régimes contiennent des taux d'humidité variés, le bois du régime de la variété **El Ghers** contient un taux de humidité plus élevé puis celui de **Deglet Nour** et enfin le bois du régime de **Mech Degla**.

De cette comparaison entre les taux d'humidité des bois du régime de datte, on peut dire aussi que l'on peut classer les variétés de palmier dattier comme des produits molle (**El Ghers et Guettar** ...), produits demi-molle comme (**Deglet Nour**, ...), et produits sec comme (**Mech Degla, Dagula-Baida** ...). Dans cette étude nous avons pu déterminer les taux d'humidité des couches du bois du régime de datte. Ceci nous a permis de connaître l'orientation de la distribution des fibres de chaque constituant :

De ce fait pour la variété de **Deglet Nour**, qui montre que le taux d'humidité du cœur est semblable à celui du bois du régime mais celui de la peau est moindre, ceci explique le fait que le régime de datte supporte une charge importante.

Concernant la variété **d'El Ghers**, on a constaté que le taux d'humidité de la peau proche de celui de bois de régime, ceci explique le fait que le volume de la peau est supérieur à celle de la peau de **Deglet Nour**.

## **Introduction**

Les constitutions du bois, notamment les hémicelluloses, la partie amorphe de la cellulose et la lignine dans une moindre mesure sont hygroscopiques, l'eau adsorbée agit sur eux comme un plastifiant. Lorsque la teneur en eau du bois est comprise entre certaines valeurs, elle a une influence sur les propriétés physiques et mécaniques ainsi que sur l'usinage et la mise en œuvre.

Le bois, comme d'autres matériaux d'origines biologiques, gonfle au cours d'une adsorption d'eau et se rétracte au cours d'un séchage. La teneur en eau joue un rôle important lors du séchage, l'imprégnation, de la finition, ainsi que sur le formage du bois. Sous un chargement mécanique, lorsque le bois est soumis à une variation hydrique, sa déformation différée est accélérée. Cela montre qu'il existe un couplage entre le taux d'humidité du bois vert et le taux de l'absorption de l'eau dans le bois séché.

### **IV.11 Taux d'absorption**

Le suivi de la masse est effectué par peser à chaque instant à l'aide de l'analyseur d'humidité jusqu'à la saturation. L'absorption de l'eau représente le poids d'eau d'un spécimen qui peut absorber jusqu'à la saturation, L'absorption est défini comme une quantité d'eau absorbée à l'instant (t) par rapport à la masse sèche de l'échantillon [84].

#### **IV.11.1 Technique d'absorption :**

Le but de cette partie consiste à déterminer le taux d'absorption du volume des vides du bois étudié et d'avoir une idée sur le phénomène de reprise en eau et la porosité du bois. Pour cela, cette partie est consacrée à la détermination de gain massique en eau. Les trois variétés et les couches, sont préalablement séchés dans une balance et étuve d'humidité à  $T = 60^{\circ}\text{C}$  jusqu'au poids stabilise.

Le choix de cette température est lié au séchage conventionnel (température entre  $50^{\circ}\text{C}$  et  $100^{\circ}\text{C}$ ) [84].

#### **IV.11.2 Absorption le bois du régime de datte complète**

Dans cette partie de notre étude, nous allons voir la quantité d'absorption de l'eau de différents bois du régime des dattes qui s'effectuent.

#### IV.11.2.1 Préparation des spécimens :

Nous coupons une partie de bois du régime des dattes voir figure (IV.67) des trois variétés **El Ghers, Mech Degla et Deglet Noir**, la distance entre les positions est de 50 cm, après la préparation des spécimens, nous pesons directement et puis, nous les exposons dans une étuve et chaque fois, on les pèsent jusqu'à la stabilisation de la masse, sous une température de 60C°, cela pour obtenir des spécimens secs sans eau.

Les spécimens étudiés sont long de 30 mm comme il est indique dans figure (IV.67):



**Figure (IV.67):** Représente un spécimen de régime de bois de dattier.

Après les préparations des spécimens nous prenons une coupe qui contient une l'eau distillée et puis nous les posons dans un bocal de la, nous avons remarqué que le bois flotte sur l'eau parce que sa densité est moins élevé que celle de l'eau, comme illustré dans la figure (IV.68).



**Figure (IV.68):** Procédure d'absorption de l'eau.

#### IV.11.2.2 Solution proposée :

Tous nos spécimens sont enfoncés complètement dans de l'eau par le biais d'un cylindre en polystyrène sur le quel repose une masselotte comme illustré sur la figure (IV.69):



**Figure (IV.69):** Solution proposée pour l'immersion des éprouvettes de bois.

Pour la totalité des spécimens et périodiquement nous avons mesuré leurs masses mais avant de faire la pesée, nous devons nettoyer ces spécimens pour collecter les résultats des pesées, ces résultats traduisent la variation de la masse par rapport au temps, l'opération dure jusqu'à la stabilisation de la masse, c'est-à-dire après la saturation par absorption de l'eau distillée et cela dure parfois jusqu'à 27 jours.

#### IV.11.2.3 Calcul de la variation de l'absorption en fonction du temps

De l'équation (1) on déduit le graphe de la variation de l'absorption en fonction du temps, qui montre que le taux d'absorption de l'eau de bois du régime des dattes de différentes variétés :

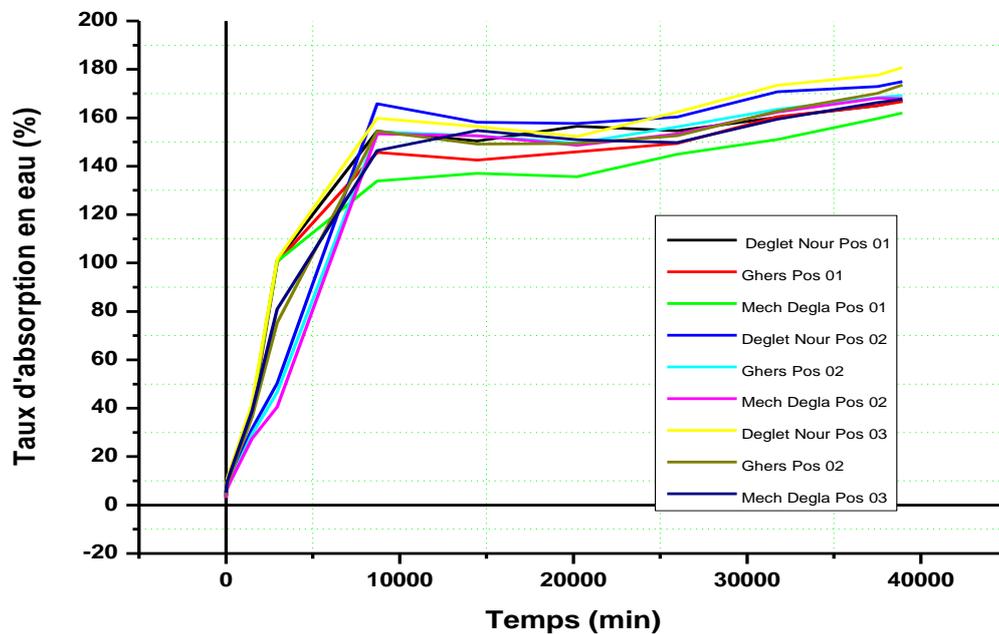


Figure (IV.70) : Graphe de la variation de l'absorption en fonction du temps

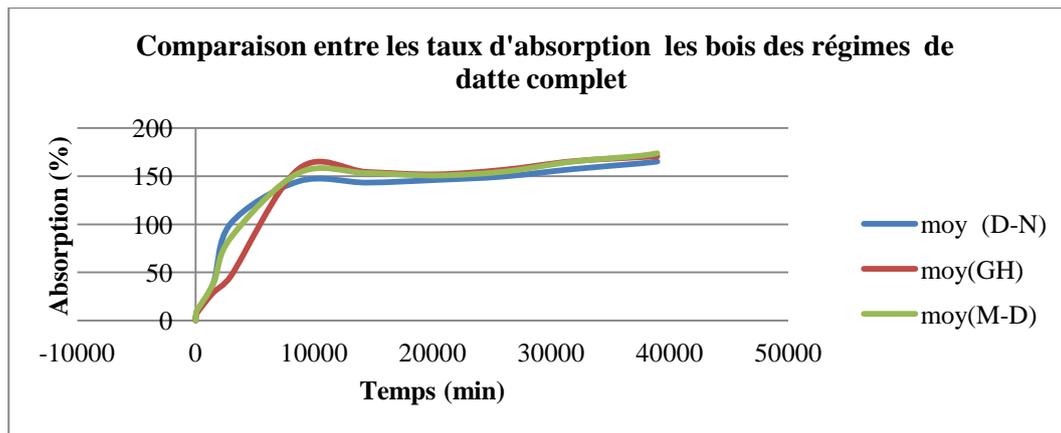
La figure (IV.70), montre que le taux moyen absorbé en fonction du temps des différents régimes et comme exemple la variété de bois de **Deglet Nour**, nous remarquons que le taux d'absorption de l'eau est important et accéléré, c'est-à-dire 144% d'absorption pendant 06 jours et le taux d'absorption restant ne dépasse pas 21 % pendant 20 jours.

De même pour la variété **El Ghers**, le taux d'absorption de l'eau est presque 158 % pendant 6 jours, et le taux restant 12% se finalise pendant 20 jours.

Idem pour la variété **Mech Degla**, on remarque que le taux d'absorption de l'eau est presque 154 % pendant 06 jours et le taux restant 20 % se fait sur 20 jours.

#### IV.11.2.4 Comparaison entre les variétés :

A partir de la figure (IV.70), nous déduisons la courbe globale de toutes les variétés étudiées avec la comparaison du taux d'absorption de l'eau en fonction du temps.



**Figure (IV.71):** Variation l'absorption de l'eau en fonction du temps des différentes variétés

A partir des allures de courbe de la figure (IV.71), nous constatons que le taux d'absorption de l'eau diffère en terme de vitesse d'absorption, mais il est presque de même valeur entre 174% à 165% pour toutes variétés.

#### IV.11.3 Taux d'absorption de l'eau de différentes couches :

Dans cette deuxième partie de notre étude le taux d'absorption de l'eau, nous allons séparer les différentes couches de chaque variété (**El Ghers, Mech Degla et Deglet Nour**).

Nous avons préparés des spécimens de chaque couche a la forme prismatique qu'ont les mêmes dimensions et puis sèche, et après on va les mettre dans une coupe d'eau distille comme illustre dans la figure (IV.72) :



**Figure (IV.72):** Spécimens des différentes couches flottantes à la surface de l'eau.

IV.11.3.1 Absorption d'eau des différentes couches et variétés de bois de régime

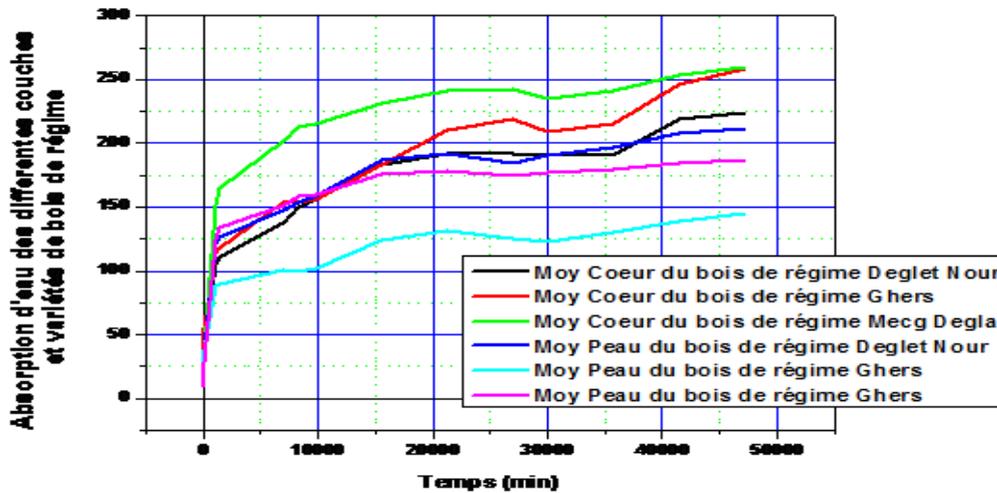


Figure (IV.73): Graphe de l'absorption d'eau des différentes couches des différentes variétés du bois de régime en fonction du temps

IV.11.3.2 Calcul de la variation massique du bois de régime en fonction du temps

On refait la même caractérisation précédente pour nos éprouvettes (c-a-dire) quelles soient complètement immergées dans de l'eau puis on pèse à chaque fois. Les résultats collectés sont représentés dans la figure qui suit. Avec l'usage de l'équation (1) nous obtenons la figure (IV.74) montrant le taux d'absorption de l'eau de chaque couche des trois variétés étudiées.

Ce graphe montre aussi l'augmentation de masse de chaque couche des différentes variétés de bois de dattes en fonction du temps.

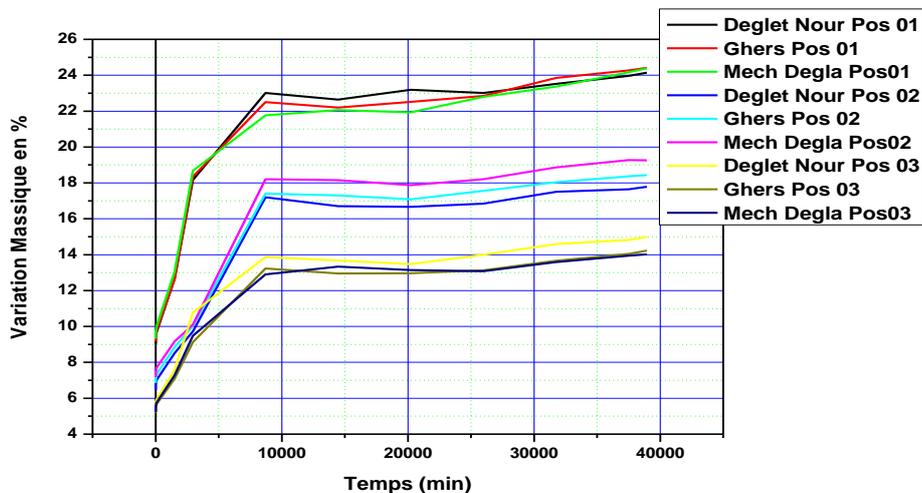
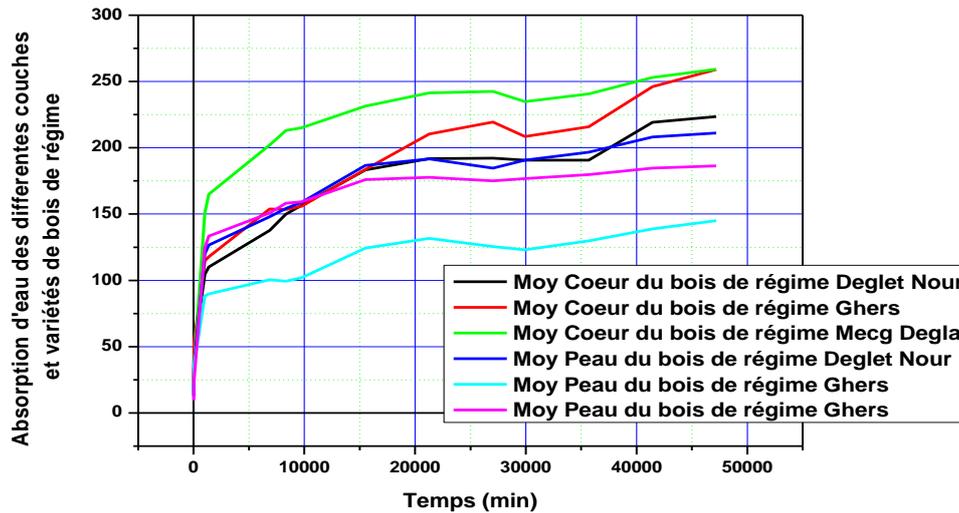


Figure (IV.74) : Graphe de la Variation massique du bois de régime en fonction du temps

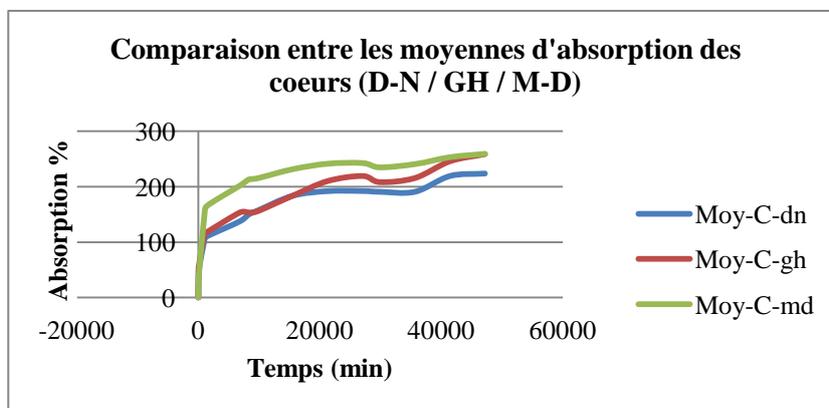
Pour finaliser cette étude nous avons calculé directement la moyenne de chaque couche de chaque variété, on obtient le graphe (IV.75), qui explique la moyenne d'absorption des couches du bois de régime de dattes de chaque variété.

### IV.11.3.3 L'absorption d'eau des différentes couches et variétés de bois de régime



**Figure (IV.75):** Graphe de l'absorption d'eau des différentes couches des variétés du bois de régime en fonction du temps

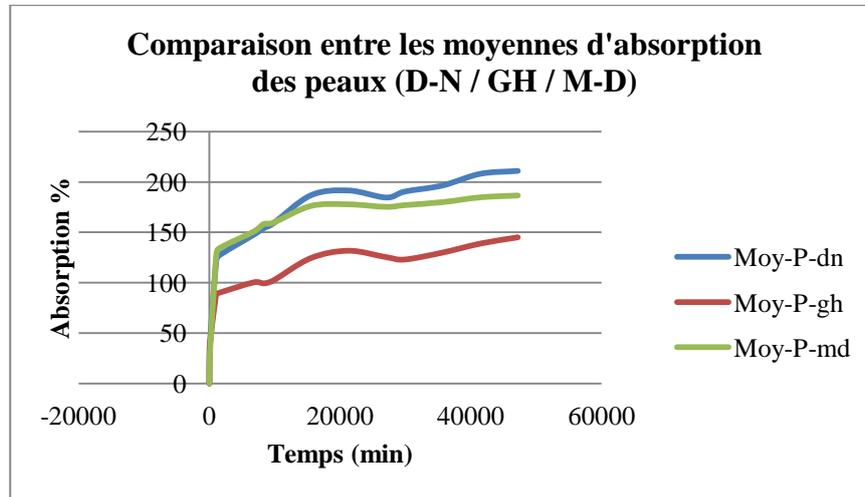
C'est avec le même protocole expérimental et de l'équation (1) nous calculons le taux d'absorption de l'eau des spécimens des différentes variétés en fonction du temps. Nous obtenons les courbes de la figure (IV.76), qui montre que la moyenne d'absorption de l'eau dans le cœur est plus grande par rapport à celle de la peau. De cette figure (IV.76), nous dessinons le diagramme qui montre la comparaison entre le taux d'absorption de l'eau de toutes les couches du cœur des différentes variétés.



**Figure (IV.76) :** Variation l'absorption de l'eau des cœurs en fonction du temps des différentes variétés.

De la figure (IV.76), ci-dessus nous pouvons expliquer que la moyenne du taux d'absorption de l'eau des couches cœurs des bois de régime des dattes des variétés **El Ghers** et **Mech Degla** sont d'une valeur plus de 259% et que celles de **Deglet Nour** est de valeur 223%.

La courbe figure (IV.77), explique la moyenne d'absorption de l'eau de la peau des différentes variétés en fonction du temps.



**Figure (IV.77) :** Variation l'absorption de l'eau des peaux en fonction du temps des différentes variétés.

Des courbes de la figure (IV.77), nous pouvons dire que la moyenne du taux d'absorption de l'eau de la couche de peau du spadice des dattes d'**El Ghers**, de **Mech Degla** et de **Deglet Nour**, nous trouvons le moyenne d'absorption de Deglet Nour est 211%, celle de **Mech Degla** est 186% pour et celle d'**El Ghers** est 145%.

## CONCLUSION GENERALE & PERSPECTIVES

Suite aux travaux engagés dans ce domaine de recherche qui se voit pionnier, plusieurs conclusion apparaissent selon les différentes caractérisations réalisées pour les différentes variétés de palmiers dattiers existants dans notre région soit disant désertique de la wilaya de Biskra, à rappelé que les variétés pris en charge par notre étude sont :

1. DEGLET NOUR,
2. MECH DEGLA
3. EL GHERS

Un ordre de conclusions est proposé comme suit :

### **1. Conclusion sur les observations optiques réalisées et des calculs des diamètres de fibres des différents régimes des différentes variétés de palmiers dattiers.**

Cette étude d'analyse de la microstructure des bois du palmier dattier, nous a permis d'identifier deux dimensions relative a la variation de cette microstructure :

Une direction transversale, qui se manifeste par la composition du bois par deux couches, la première que nous avons appelé « la peau » contenant un nombre important de fibres de petits diamètre et une seconde que nous avons aussi appelé « le cœur » compose d'un nombre moins important de fibres mais de diamètres plus grands.

Une direction longitudinale, caractérisée par une variation croissante du taux de fibre des deux couches en même temps.

Par conséquent, on peut conclure que la microstructure du bois du palmier dattier est complexe par le fait qu'il est composé de deux couches qui lui permettent de résister à supporter une pression croissante constante qui est la charge des dattes celle-ci évolue positivement en croissance jusqu'à ce que le fruit murisse. D'une part et d'autre part en lui permettant de supporter aussi les conditions climatiques extrêmes que l'on retrouve à la région désertique est qui sont les rafales de vent et les variations thermiques.

À remarquer également que cette microstructure « naturelle » permet de résister aux arrangements provoqués par l'agriculteur lors des opérations périodiques.

## 2. Conclusion sur les taux d'absorption pour les différentes éprouvettes des différents régimes des différentes variétés de palmiers dattiers.

Des résultats des courbes obtenues, nous pouvons déduire que le taux moyen d'absorption d'eau de la couche de la peau du spadice des dattes est dans un ordre établie de manière à dire que celui d'**El Ghares** est plus important vient de suite celui de **Mech Degla** et finalement celui de **Deglet Nour**, des valeurs respectives sont données et qui feront objet du premier établissement de la base de données techniques de cette propriété dans ce domaine de recherche.

## 3. Conclusion sur les taux d'humidité retrouvé pour les différentes éprouvettes des différents régimes des différentes variétés de palmiers dattiers.

Des résultats des courbes obtenues et des comparaisons établis, nous remarquons que les bois des régimes des palmiers dattiers contiennent des taux d'humidités divers et des courbes de taux d'humidité construites nous pouvons dire que, le bois de régime de la variété **El Ghers** contient un taux de humidité assez élève suivi de celui de **Deglet-Nour** et finalement par celui de la variété de **Mech Degla**. Les résultats de la comparaison entre les taux d'humidité montre que le bois du régime de dattes forme un classement et ils sont classe selon les variétés de palmier dattier comme des produits molle (**El Ghers et Guettar ...**), produits demi-molle comme (**Deglet Nour, ...**), et produits sec comme (**Mech Degla, Dagula-Baida ...**).

Dans cette étude nous avons pu détermine l'humidité des couches du bois du régime de dattes. Ceci nous à permis de connaitre la distribution des fibres de chaque élément constituant :

De ce fait pour la variété de **Deglet Nour**

Il est claire que le taux d'humidité du cœur est semblable à celui du bois est que celui de la peau est de valeur minimale, ceci explique le fait que le volume du cœur est prépondérant parce que le bois du régime de dattes supportant toute la charge du régime.

Concernant, la variété d'**El Ghers**, on a constaté que le taux d'humidité de la peau est proche de celui de bois global, ceci explique le fait que le volume la peau est supérieur à celle de la peau de **Deglet Nour**.

#### **4. Conclusion sur les tests de tractions adoptés pour les différentes éprouvettes des différents régimes des différentes variétés de palmiers dattiers.**

Après la détermination de la partie linéaire de la courbe des essais mécaniques de traction des différentes positions des cœurs séchés pour les durées relatives de 02 à 288 heures, nous avons remarqué que, le module de Young augmente progressivement, quand on approche de la fin de élément étudié. La moyenne du module de Young varie entre les valeurs de 7036 à de 16161 MPa.

A partir des courbes de tractions qui représentent les résultats des essais mécaniques de traction des couches de peaux et de cœurs et selon les différentes positions. Et après la détermination de la partie linéaire de ces courbes pour les différents temps de séchages proposés soit de 0é à pendant 192 heures, nous avons remarqué que, le module de Young augmente progressivement.

La comparaison entre les moyennes du module de Young des essais mécaniques des différentes couches selon les positions, nous montre que celui de la partie dite peau est très importante par rapport à celle de la partie dite cœur.

La comparaison entre les moyennes du module de Young des essais mécaniques des différentes couches selon les positions, nous montre que la peau est très élève par rapport à celle du cœur.

Comme perspective un élargissement d'investigation sur d'autres propriétés physiques telle que le vieillissement, la valeur énergétique de chauffage, la capacité d'isolation etc... ou de propriétés mécaniques telle les essais de torsions de flexion ou même de cisaillement feront un consolidation scientifique à la base de données technique qui est née maintenant dans ce domaine et sera certainement la bienvenue spécialement dans le domaine des bio composites ou des matériaux verts.

**Références de la partie bibliographique :**

- [1] **L. Y. Mwaikambo**, "Review of the history, properties and application of plant fibres," African Journal of Science and Technology (AJST), vol. 7, pp. 120 - 133, 2006.
- [2] **A. Kriker , G. Debicki , A. Bali , M.M. Khenfer , and M. Chabannet**, "Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate," Cement & Concrete Composites, vol. 27, pp. 554–564, 2005.
- [3] **P. Navi and F. Heger**, Comportement thermo-hydrromécanique du bois: applications technologiques et dans les structures: PPUR presses polytechniques, 2005.
- [4] **R. Pedieu**, "Valorisation des résidus d'écorce de bouleau blanc (betula papyrifera) sous forme de fabrication de panneaux," Thèse de doctorat, Université Laval, 2008, pp. 255.
- [5] **M. Moutee**, "Modélisation du comportement mécanique du bois au cours du séchage," Thèse de doctorat, Université Laval, 2006, pp. 194.
- [6] **J. Natterer**, Construction en bois: matériau, technologie et dimensionnement: presses polytechniques, 2005.
- [7] **M. C. N. Yemele**, "Développement de panneaux de particules à base d'écorce d'épinette noire et de peuplier faux- tremble" Thèse de doctorat, Université Laval, 2008, pp. 174.
- [8] **M. Jebrane** «Fonctionnalisation chimique bois par transesterification des esters d'enol» thèse de doctorat soutenue le 25 Septembre 2009, l'université de bordeaux1.
- [9] **P. Diasde Moraes**, «Influence de la température sur les assemblages bois», thèse de doctorat soutenue le 29 novembre 2003, l'université Henri Poincaré, Nancy 1.
- [10] **R. M. Rowell**, "Handbook of: Wood Chemistry and Wood Composites", 2005 by CRC Press.
- [11] **M. Moutee**, «Modélisation du comportement mécanique du bois au cours du séchage», thèse de doctorat soutenue le aout 2006, l'université de Laval.
- [12] **J. Lemaitre, J. Louis Chaboche** « Mécanique des matériaux solides », 2° édition, DUNOD.
- [13] **P. Jodin**. 1994. « Le Bois, Matériau d'Ingénierie. Association pour la recherche sur le bois en Lorraine, Nancy, France33 »,
- [14] **C. P .Neto, A. Seca, D. Fradinho, M.A. Coimbra, Domingues, F.Evtuguin, D. Silvestre, A. Cavaleiro, J.A.S.** 1996. Chemical composition and structural features of the macromolecular components of Hibiscus cannabinus grown in Portugal. Industrial Crops and Products 5:189-196
- [15] **R.M .Rowell, R.A Young, J.K. Rowell**, 1997. Paper and composites from agro-based resources. Ed Rowell R.M, Lewis publishers, Boca Raton, USA.

- [16] **N. Nishimura, A. Izumi, K. Kuroda.** 2002. "Structural characterization of kenaf lignin: differences among kenaf varieties. *Industrial Crops and Products*". **15**: 115–122
- [17] **C. Ververis, K. Georghiou, N. Christodoulakis, P. Santas, R. Santas.** 2004. "Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and their suitability for paper production". *Industrial Crops and Products*" **19**: 245–254
- [18] **J. A. Youngquist, A.M. Krzysik, B. W. English, H. N. Spelter, P. Chow.** 1996. "Agricultural Fibers for Use in Building Components". In: *The use of recycled wood and paper in building applications: Proceedings of a 1996 symposium Proc. 7286*. Madison, WI: Forest Products Society, pp: 123-134.
- [19] **L.T. Drzal, A.K. Mohanty, M. Misra.** 2002. *Biocomposites: Opportunities for Value-Added Biobased Materials*. Oral presentation ..... "Creating Value for biobased Resources, Moving beyond Petroleum", November, 11-13th. Kansas City, Missouri.
- [20] **C. Wretfors, B. Svennerstedt.** 2006. "Bio fibre technology used for military applications – an overview. Swedish University of Agricultural Sciences Department of Agricultural Biosystems and Technology JBT Report 142, Alnarp, 40 p.
- [21] **K. Charlet, C. Morvan, J. Bréard., J-P. Jernot, M. Gomina.** 2006. "Etude morphologique d'un composite naturel : la fibre de lin ", *Revue des Composites et Matériaux Avancés* **3** : 309-344.
- [22] **W. H. Morrison, D.E. Akin, D.D. Archibald, R.B. Dodd, P.L, Raymer.** 1999. "Chemical and instrumental characterization of maturing kenaf core and bast". *Industrial Crops and Products*. **10**: 21–34.
- [23] **J.A. Robertson, F.D. Monredon, P. Dyssele, F. Guillon, R. Amado, J.F. Thibault.** 2000. "Hydration Properties of Dietary Fibre and Resistant Starch: à European Collaborative Study". *Lebensm.-Wiss. u.-Technol.* **33**: 72-79.
- [24] **A.K. Bledzki, J. Gassan.** 1999. "Composites reinforced with cellulose based fibres". *Progress in Polymer Science* **24**: 221-274.
- [25] **J.J. Harrington.** 1998 "Microfibril Angle in Wood". Ed B.G Butterfield, IA WA/IUFRO, New Zealand.
- [26] **C. Pavithran, P.S. Mukherjee, M. Brahmakumar, A.D. Damodaran.** 1987. "Impact properties of natural fiber composites". *J. Mater. Sci. Letters*. **6**: 882-884.
- [27] **Danforth International, and TAPPI;** English et al, 1994; Han, 1998; Charlet et al. 2006). Dans la même espèce, la composition chimique dépend du degré de maturité de la plante (Neto et al, 1996 ; Morrison et al, 1999 ; Nishimura, et al, 2002), de la

géomorphologie de cette dernière (Morrison et al, 1999 ; Nishimura, et al, 2002), de l'organe de provenance de la fibre.

- [28] **J.T. Han.** (1998). "Properties of non-wood fibers".
- [29] **B. E. English, J. S. Schneider,** 1994. "Paper fiber/low-density polyethylene composites from recycled paper mill waste"; Preliminary Results, in Proceedings, Recycling Conference, May 15-18, Boston, MA, 1994.
- [30] **M. Lewin, E. Pearce.** (1998) "Handbook of Fiber Chemistry, Marcel Dekker Inc, NY", p.1105.
- [31] **A. Keller, M. Leupin, V .Mediavilla, E. Wintermantel.** 2001. "Influence of the growth stage of industrial hemp on chemical and physical properties of the fibres". *Industrial Crops and Products* **13**: 35–48
- [32] **Sources:** Danforth International, and TAPPI; Han, 1998, CTP, 1996 in *Etude Agricole*, 1998.
- [33] **W.B. Banks, J.M .Lawther,** (1994) "Derivation of wood in composites, In *Cellulosic Polymers*", Blends and Composites, Gilbert, R. ed., Hanser Publishers, New York NY, 131.
- [34] **H .Lillholt.** 2002." Strength of cellulose and fibres". Proceedings of the 23rd Riso International Symposium on Materials Science. 2-5 September, 2002, Roskilde, Denmark.
- [35] **M. Beaudoin.** 1976. « Essai d'auto-agglomération à sec des particules de bois ». Thèse de maîtrise de l'Université Laval. Département des sciences du bois. 93 p.
- [36] **Oksman, Clemons,** 1998. "Mechanical Properties of Impact Modified Polypropylene" - Wood Flour Composites. *Journal of Applied Polymer Science.* **67(9)**: 1503-1513.
- [37] **L. Mott, S.M. Shaler, L.H.Groom,** 1996. "Experimental Micromechanics" Quantifying fiber cell wall deformation and fracture". University of Main, USA.
- [38] **A. Ishikawa, T. Okano, J. Sugiyama.** 1997. "Fine structure and tensile properties of ramie fibres in the crystalline form of cellulose" I, II, III1 and IV1 *Polymer.* **38(2)**: 463-468.
- [39] **I. Sakurada, Y. Nukushina, T. Ito.** 1962. "Experimental determination of the elastic modulus of crystalline regions in oriented polymers", *Journal of Polymer Science*, **57**: 651.
- [40] **L. H. Groom, L. Mott, S. M. Shaler, T. Pesacreta.** 1998. "Effect of fiber surface and mechanical properties on the stiffness and strength of medium-density fiber board"

- .Microfibril Angle in Wood, Proceeding of the IAWA/IUFRO International Workshop on the Significance of Microfibril.
- [41] **M. Gomina, K. Charlet, J.P. Jernot, C. Baley, L. Bizet, J. Bréard.** 2007. “Morphologie et comportement mécanique de la fibre de Lin ». Communication orale au 10èmes Journées de la SOACHIM, 7-11 août 2007, Cotonou (Bénin).
- [42] **C.N. Zarate, M.I. Aranguren, M.M .Reboredo.** 2003. “Influence of fiber volume fraction and aspect ratio in resol-sisal composites” *Journal of Applied Polymer Science*. **89**(10): 2714-2722
- [43] **P. Navi.**” Three dimensional modelling of wood microstructure for the prediction of fibre elastic properties”. Proceeding of the Mechanical Behaviour of Wood. Bordeaux, France. (1988) pp70-80.
- [44] **C. Felby, J. Hassingboe, M. Lund.** 2002. “Pilot-scale production of fiberboards made by laccase oxidized wood fibers: board properties and evidence for cross-linking of lignin”. *Enzyme and Microbial Technology* **31**: 736–741
- [45] **Y. Zhang, X .Lu, A. Pizzi, L. Delmotte.** 2003. « Wheat straw particleboard bonding improvements by enzyme pre-treatment”. *Holz als Roh- und Werkstoff* **61**: 49–54.
- [46] **A.F. Kaldor, C.Karlgren, H .Verwest.** 1990.” Kenaf—a fast growing fiber source for papermaking”. *TAPPI* **73**(11): 205–208.
- [47] **P. Khristova, O. Kordsachia, R. Patt, T. Khider, I. Karrar.** 2002. “Alkaline pulping with additives of kenaf from Sudan”. *Industrial Crops and Products* **15**: 229–235
- [48] **B .Dix, V. Thole, R. Marutzky.** 1999. « Poplar a d eucalyptus wood as raw material for woodbased panels”. *Eurowood Technical Workshop Proceedings: Industrial End-uses of Fast-grown Species*. CNR/IRL and CNR/ITL. Florence. P 93-102.
- [49] **A.D. Pugel, E.W. Price, C.Y .Hse.** 1989. “Composites from southern pine juvenile wood. Part 1. Panel fabrication and initial properties”. *Forest Product Journal*. **40**(1): 29-33.
- [50] **C.E .Frazier, N .Jianwen.** 1998. « On the occurrence of network interpenetration in the wood-isocyanate adhesive interface”. *Int. J. Adhesion & Adhesives*. **18**: 81-87.
- [51] **S.Q. Shi, D.J. Gardner.** 2001. « Dynamic adhesive wettability of wood”. *Wood Fiber Science*. **33**(1): 58-68.
- [52] **A. Kharazipour, A .Hüttermann, H.D .Luedemann.** 1997. “Enzymatic activation of wood fibers as a means for the production of wood composites”. *J Adhes Sci Technol*. **11**: 419–27.

- [53] **W. E .Hsu.** 1997. "Wood quality requirements for panel products. Proceeding of CTIA/IUFRO International Wood Quality Workshop, Timber Management toward Wood Quality and End-product Value". Forintek Canada Corp. Québec City, Canada. I-7/10.
- [54] **D.J. Albert, T.A. Clark, R.L. Dickson, J.C.F. Walker.** 2002. "Using acoustics to sort radiate pine pulp logs according to fiber characteristics and paper properties". *International Forest Review.* **4**(1): 12-19.
- [55] **R. M. Rowell, S. Kawai, M. Inoue.** 1995. "Dimensionally stabilized, very low density fibreboard". *Wood and Fiber Science.* **27**(4): 428-436.
- [56] **N.E. Zafeiropoulos, D.R. Williams, C.A. Baillie, F.L. Matthews,** 2002." Engineering and characterisation of the interface in flax fibre/polypropylene composite materials. Part I. Development and investigation of surface treatments". *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing.* **33**(8): 1083-1093
- [57] **R.P. Wool, S.H. Khot. J.J. La Scala, G.I. Williams, S.P. Bunker, S.S. Morye.** 2000. "Sustainable Composites from Renewable Resources". *Proceedings of ACUN-2,* p 619–627,202
- [58] **C. Wretfors, B .Svennerstedt.** 2006. » Bio fibre technology used for military applications – an overview". Swedish University of Agricultural Sciences Department of Agricultural Biosystems and Technology JBT Report 142, Alnarp, 40 p.
- [59] **A. Bessas, Benmoussa, Larbi, and K. Mohamed,** "Dosage biochimique des composés phénoliques dans les dattes et le miel récoltés dans le sud algérien," in Département de biologie. Sidi Bel Abbes: Université Djillali Liabes, 2008, pp. 81.
- [60] **A. Chehma, H. Longo,** "Valorisation des Sous-Produits du Palmier Dattier en Vue de leur Utilisation en Alimentation du Bétail," *Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse,* pp. 59-64, 2001.
- [61] **K. Bousdira,** "Contribution à la connaissance de la biodiversité du palmier dattier pour une meilleure gestion et une valorisation de la biomasse: caractérisation morphologique et biochimique des dattes des cultivars les plus connus de la région de Mzab, classification et évaluation de la qualité," Thèse de magistère, Université de Boumerdes, 2006, pp. 186.
- [62] **R. Soumaya, D-D Sonia, A Ould Mohamed Salem , Z-A, Salwa, R Abdelmadjid, M. Mohamed, T. Mok,** "Genetic diversity and phylogenic relationships in date-palms (*Phoenix dactylifera* L.) as assessed by random amplified microsatellite polymorphism markers (RAMPOs)," *Scientia horticulturae,* vol. 117, pp. 53-57, 2008.

- [63] **R. Khiari, M.F. Mhenni, M.N. Belgacem, and E. Mauret**, "Chemical composition and pulping of date palm rachis and *Posidonia oceanica* – A comparison with other wood and non-wood fibre sources," *Bioresource Technology*, vol. 101, pp. 775-780, 2010.
- [64] **B. Agoudjil, A. Benchabane, A. Boudenne, L. Ibos, and M. Fois**, "Renewable materials to reduce building heat loss: Characterization of date palm wood," *Energy and Buildings*, vol. 43, pp. 491–497, 2011.
- [65] **K. Abdelouahed**, "Caractérisation des Fibres de Palmier Dattier Et Propriétés des Bétons et Mortiers Renforcés par ces Fibres en Climat Chaud et Sec," Thèse de doctorat, ENP Alger, 2005, pp. 154.
- [66] **C. F. Benziouche Salah Eddine**, "La Conduite du Palmier Dattier Dans les Palmeraies des Zibans (Algérie) Quelques éléments d'analyse," *European Journal of Scientific Research*, vol. 42, pp. 644-660, 2010.
- [67] **M. Christine, T-Triboulot, P. Triboulot**, "Matériau bois: Structure et caractéristiques," *Techniques Ingénieur. Construction*, vol. CB1, pp. C925.1-C925.26, 2001.
- [68] **G. Peyron**, « Guide illustré de formation : Cultiver le palmier dattier » Cirad- France, 2000
- [69] **K. Abdelouahed**, "Caractérisation des Fibres de Palmier Dattier Et Propriétés des Bétons et Mortiers Renforcés par ces Fibres en Climat Chaud et Sec," Thèse de doctorat, ENP Alger, 2005, pp. 154.
- [70] **P. Munier**, "Le palmier-dattier," M. Larose, Ed.: Maisonneuve & Larose, 1973, pp. 221.
- [71] **N. Benmansour, B. Agoudjil, A. Boudenne**, "Etude des performances de produits renouvelables et locaux adaptés à l'isolation thermique dans le bâtiment" *Rencontres Universitaires de Génie Civil. Tlemcen*, 29 au 31 Mai 2011.
- [72] **A. Rougeulle**, "Des étuves à dattes à bahrain et en Oman: Le problème de l'apparition des techniques de transformation de la datte.," *PAIEORIENT*, vol. 8, 1982.
- [73] **A. Chehma, HF. Longo, and A.Siboukeur**, "Estimation du tonnage et valeurs alimentaire des sous produits du palmier dattier chez les ovins," *Recherche Agronomique*, vol. 7, pp. 7-15, 2000.
- [74] **R. A.-J. H.H. Abdel-Rahman, F.Ahmad, I. Alam**, "Physical, mechanical and durability characteristics of date palm frond stalks as reinforcement in structural concrete," *international Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, vol. 10, pp. 175-181, 1988.

- [75] **A. Alawar, A. M. Hamed, K. Al-Kaabi**, "Characterization of treated date palm tree fiber as composite reinforcement," *Composites: Part B* 40, pp. 601–606, 2009.
- [76] **A. Djoudi, M Mouldi. K, A. Bali**, "Etude d'un nouveau composite en plâtre renforcé avec les fibres végétales du palmier dattier," SBEIDCO -1st International Conférence on sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) – October 12-14, 2009.
- [77] **S. Imen, R. Belouettar**. Séminaire International, Innovation et valorisation en génie civil et matériaux de construction, « Comportement mécanique des briques de terre crue renforcées par des fibres de palmier dattier et des fibres de paille » Rabat – Maroc / 23-25 Novembre 2011.
- [78] **A .Ellouze, S. Ellouze, S. Medhioub**. Séminaire International, Innovation et valorisation en génie civil et matériaux de construction, « Détermination des caractéristiques mécaniques du bois Tronc de Palmier» Rabat – Maroc / 23-25 Novembre 2011.
- [79] **S. Abdelaziz, A. Bouaziz, R. Hamzaoui, A. Bennabi**. « Valorisation des tiges de dattiers dans la formulation des mortiers : propriétés physiques et mécaniques ». 31èmes Rencontres de l’AUGC, E.N.S. Cachan, 29 au 31 mai 2013.
- [80] **M. Keramat Jahromi, A. Jafari, S.S. Mohtasebi and S. Rafiee**. "Engineering Properties of Date Palm Trunk Applicable in Designing a Climber Machine". *Agricultural Engineering International: the CIGR Ejournal*. Manuscript FP 08 002. Vol.X. March, 2008.
- [81] **M. Shamsi, S.M. Mazloumzadeh**. "Some physical and mechanical properties of date palm trees related to cultural operations industry mechanization". *Journal of Agricultural Technology* 2009, V.5 (1): 17-31.
- [82] **M. Tawfik**, "Etude de matériaux minéraux renforcés par des fibres organiques en vue de leur utilisation dans le renforcement et la réparation des ouvrages," Thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2005, pp. 200.
- [83] **V. Repellin**, "Optimisation des paramètres durée et température d'un traitement thermique du bois. Modification des propriétés d'usage du bois en relation avec les modifications physico-chimiques et ultrastructurales occasionnées par le traitement thermique," Thèse de doctorat, Université Jean Monnet de Saint-Etienne, 2006, pp.262.
- [84] **M. Božiková**, «Thermo physical parameters of corn and wheat flour, » vol. 49, pp. 157-160, 2003.