

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

المدرسة الوطنية العليا للفلاحة الحراش - الجزائر -
ECOLE NATIONALE SUPERIEURE AGRONOMIQUE EL-HARRACH -
ALGER -

Département : Technologie alimentaire

Mémoire

En vue de l'obtention du diplôme de Magister en Sciences agronomiques
Option : Sciences alimentaires

Thème

**Fractionnement et caractérisation des fibres de trois variétés
de dattes algériennes (Degla-Beïda, Haloua et Mech-Degla)**

Présenté par : BOUTALI Asma

Soutenu le : 22 Mai 2012

Jury:

Président: Mme FERHAT Z.

Promoteur: M. BENCHABANE A.

Examineurs: M. HAZZIT M.

M. AOUSSAT A.

Année universitaire: 2011/2012

Remerciements

En premier lieu , je tiens à remercier Dieu Tout Puissant de m'avoir donné le courage et la santé pour achever ce travail.

C'est avec beaucoup de plaisir que j'exprime ici ma profonde gratitude à **M. Benchabane A.**, Maître de conférence à l'ENSA, mon promoteur, pour son encadrement et son soutien depuis mon ingéniorat , sa patience, sa disponibilité et la confiance qu'il m'a témoignée. **M. Benchabane** , je suis très reconnaissant pour le temps que vous m'avez consacré. La rigueur du travail scientifique à vos côtés et nos discussions , en général , auront contribué fortement à mon épanouissement scientifique.

Mes vifs remerciements à **Mme. Ferhat Z**, Maître de conférences à l'ENSA., d'avoir accepté de présider mon jury ainsi que pour sa sympathie et ses encouragements.

Mes vifs remerciements à **M. HAZZIT M.** , Maître de conférences à IENSA, ainsi qu'à **M. Aoussat A.** , Chargé de cours à IENSA, d'avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Je tiens à remercier vivement **M. Ben Alia** pour sa contribution dans les dosages chromatographiques. Je suis reconnaissante à Mohamed pour ses discussions, sa disponibilité, sa sympathie et l'intérêt qu'il a porté à mes travaux.

Je tiens à présenter mes remerciements les plus chaleureux au **CDT Zidour**, pour m'avoir accueillie au Laboratoire Central de l'Intendance de l'armée afin de doser les polyphénols par H.P.L.C. Je remercie également et très sincèrement **Mme Ladaimia H.** (ingénieur) pour son aide, sa gentillesse, ses conseils et l'intérêt qu'elle a apporté à mes travaux.

Mes remerciements vont aussi aux bibliothécaires et aux techniciens du département de Technologie alimentaire pour leur aide, et pour leur bonne humeur.

Dédicace

*A mes très chers parents, à qui je dois
ma réussite;*

A mes frères : Slímane, Yacine et Ilyes

*A mes sœurs ; Khadídja, Hadjira et
Sarah*

*A mes nièces et mes neveux: Maroua,
Faouzi, Houssam, Mayssa et Anes*

*A toute la famille BOUTALI et
TOUBAL MAAMER*

*A mes très chères copines Hanane,
Soraya, Chahínez, Saída, M^{me} Yakout,
Naziha ainsi que Mahdia*

*A Ismahane et Karima (zakiba likom
inchaallah)*

*A toute la promotion des Sciences
alimentaires*

Je dédie ce travail

Asma

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
-------------------	---

Première partie: Bibliographie

Chapitre 1: Le palmier dattier

I. Généralités sur le palmier dattier :.....	3
II. Classification botanique.....	3
III. Morphologie du palmier dattier.....	3
IV. Cycle de développement.....	6
V. Répartition géographique du palmier dattier.....	7
a. Dans le monde.....	7
b. En Algérie.....	8

Chapitre 2: la datte, physiologie composition et technologie

I. Définition de la datte.....	9
II. Formation, développement et maturation de la datte.....	9
III. Les variétés de dattes.....	12
IV. Classifications.....	13
a. Classification selon lconsistance.....	13
b. Classification selon la composition minérale.....	13
c. Classification selon la précocité/périodicité.....	14
V. Production de dattes.....	14
a. Dans le monde.....	14
b. En Algérie.....	15
VI. Composition biochimique de la datte.....	15
7.1. Composition biochimique de la partie comestible "la pulpe".....	16

a.L'eau.....	16
b.Sucres.....	16
c. Protéines et acides aminés.....	17
d. Matières grasses.....	18
e. Fibres alimentaires.....	18
f. Eléments minéraux.....	19
g. Les vitamines	19
h. Les composés phénoliques.....	20
7.2. Composition biochimique de la partie non comestible "Noyau".....	20
VIII. Valeur nutritionnelle de la datte.....	21
IX. Valorisation des dattes.....	21
1. Confiserie à base des dattes:.....	21
a. Les dattes fourrées.....	21
b. Confiserie à base de pâte de dattes.....	21
c. Farine des dattes.....	22
d. Production de sirop, miel, crème et confiture.....	22
2. Mise en valeur des déchets.....	22
a. Alcool des dattes.....	22
b. Vinaigre de dattes.....	22
c. Jus de dattes.....	22
d. Levure alimentaire.....	23
Chapitre 3: Fibres alimentaires	
I- Définition.....	24
II- Origines des fibres alimentaires.....	25
1. La structure des principales fibres alimentaires.....	25

1.1.	La structure de la cellulose.....	25
1.2.	Les hémicelluloses.....	26
1.3.	Les pectines.....	27
1.4.	La lignine.....	28
2.	Organisation des fibres alimentaires.....	29
2.1.	Dans la paroi primaire.....	29
2.2.	Dans la paroi secondaire.....	30
III-	Rôles des fibres alimentaires.....	30
3.1.	Effets sur les structures intestinales et les fermentations.....	30
3.2.	Effets sur les ingestions; le poids et sur la digestibilité des nutriments.....	32
3.2.1.	Effets sur les ingestions et l'évolution du poids.....	32
3.2.2.	Effet sur la digestibilité des nutriments.....	32
3.3.	Effets sur le métabolisme glucidique.....	34
3.4.	Effets sur le métabolisme lipidique et les sécrétions biliaires.....	34
3.4.1.	Effets sur le métabolisme lipidique.....	34
3.4.2.	Effets sur les acides biliaires.....	36
3.5.	Intérêt dans le traitement diététique de l'homme obèse.....	36
IV-	Besoins et sources de fibres alimentaires.....	36
V-	Méthodes d'analyse des fibres alimentaires.....	38
5.1.	Méthode des fibres alimentaires de Prosky.....	38
5.2.	Méthode de dosage des polysaccharides non amylacés (N.S.P) d'Englyst.....	38
5.3.	Méthode des fibres alimentaires d'Uppsala.....	39
5.3.	Méthode alcaline de Selvendran.....	40
5.4.	Comparaison des méthodes globales d'analyse des polysaccharides structuraux des biomasses lignocellulosiques.....	41

Deuxième partie: Matériel et méthodes

1.	Matériel végétal.....	44
1.1.	Prélèvement des échantillons.....	44
1.2	. Description et choix des variétés de dattes.....	44
2.	Méthodes.....	46
2.1.	Détermination de la teneur en eau du matériel végétal.....	46
2.2.	Extraction des fibres alimentaires des trois variétés de dattes.....	47
2.2.1.	Préparation du Matériel Insoluble dans l'Alcool (M.I.A.).....	47
2.2.2.	Dosage de la teneur en cendres du M.I.A.....	49
2.2.3.	Dosage de la teneur en protéines du M.I.A.....	49
2.2.4.	Dosage de la teneur en lipides du M.I.A.....	49
2.3.	Fractionnement des fibres alimentaires.....	49
2.3.1.	Extraction des substances pectiques totales.....	50
2.3.2.	Extraction des lignines.....	50
2.3.3.	Extraction des hémicelluloses.....	50
2.3.4.	Obtention de la cellulose.....	51
2.4.	Caractérisation des fibres.....	53
2.4.1.	Dosage de l'acide galacturonique.....	53
2.4.1.2.	Mode opératoire.....	53
2.4.2.	Dosage des oses neutres par C.P.G.....	55
2.4.2.1.	Principe.....	55
2.4.2.2.	Réactifs.....	55
2.4.2.3.	Matériels et appareillage.....	55

2.4.2.4. Préparation de l'échantillon.....	56
2.4.2.5. Injection en chromatographie en phase gazeuse.....	56
2.4.3. Dosage des polyphénols totaux.....	57
a. Principe.....	57
b. Mode opératoire.....	57
2.4.4. Dosage des polyphénols par H.P.L.C.....	58

Troisième partie: Résultats et discussions

1. Teneur en eau.....	59
2. Teneur en M.I.A.....	60
2.1. Teneur en cendres du M.I.A.....	62
2.2. Teneur en protéines du M.I.A.....	62
2.3. Teneur en lipides du M.I.A.....	63
3. Quantification des fractions de fibres.....	64
3.1. Teneur en pectines.....	64
3.2. Teneur en lignine.....	65
3.3. Teneur en cellulose.....	67
3.4. Teneur en hémicelluloses.....	68
4. Caractérisation des fibres alimentaires.....	72
4.1. Teneur en acide galacturonique (Gal A).....	72
4.2. Teneur en oses neutres.....	75
4.2.1. Teneurs en oses neutres dans les fractions pectiques.....	77
4.2.2. Teneurs en oses neutres dans les hémicelluloses.....	78
4.2.3. Teneurs en oses neutres dans la cellulose.....	80
4.2.4. Teneur en oses neutres dans la lignine.....	81
4.3. Teneur en polyphénols totaux dans les fractions de fibres.....	82
4.4. Teneur en composés phénoliques dosés par HPLC.....	83
4.4.1. Teneurs en composés phénoliques dans les pectines.....	85
4.4.2. Teneurs en composés phénoliques dans les hémicelluloses.....	86

4.4.3. Teneurs en composés phénoliques dans la cellulose.....	88
4.4.4. Teneurs en composés phénoliques dans la lignine.....	89
Conclusion.....	91
Références bibliographiques	94

Résumé:

La composition en fibres de trois variétés de dattes (Degla-Beïda, Haloua et Mech-Degla) communes en Algérie est étudiée. Les fibres de dattes sont fractionnées en pectines solubles dans l'acide, en hémicelluloses, en cellulose soluble dans une solution alcaline et en lignine en utilisant de l'acide chlorhydrique dilué (pH 1,6), solution de NaOH à 17,5%, ainsi qu'une solution aqueuse de NaCl ajustée à un pH compris entre 4,2 et 4,7 par de l'acide acétique (10%), respectivement. Les hémicelluloses (>8% de la M.S.) apparaissent comme les principaux polysaccharides dans les trois variétés dont le xylose est le motif le plus répété dans leur composition, en plus de la présence d'autres sucres neutres et acides. Les résidus alcalins se caractérisent par des quantités notables de substances cellulosiques contenant une forte proportion de sucres neutres. Les fractions pectiques sont plus riches en acide galacturonique qu'en oses neutres (xylose, glucose, galactose, arabinose, rhamnose et mannose). Des teneurs très faibles en lignine riche en polyphénols sont présentes dans les trois variétés avec des traces de sucres neutres. Six monomères phénoliques sont détectés sous formes algycones dans toutes les fractions de polysaccharides expliquant la présence de lignine associée.

Mots-clés: Algérie, Datte, Dagla-Baida, Haloua, Mech-Degla, Fibre, Extraction, Fractionnement, Caractérisation.

Extraction, fractionation and characterization of fiber from three date palm varieties commonly grown in Algeria (Degla-Beïda, Haloua, and Mech-Degla)

Abstract:

Three commonly grown date palm (*Phoenix dactylifera* L.) varieties in Algeria (Degla-Beïda, Haloua, and Mech-Degla) were studied for their fiber composition. Date fibers were fractionated into acid-soluble pectin, 17.5% NaOH soluble hemicelluloses and cellulose, and NaCl soluble lignin fractions by extraction with dilute hydrochloric acid (pH 1.6), aqueous 17.5% NaOH, and aqueous NaCl adjusted to pH=4.2-4.7 with acetic acid (10%) respectively. Hemicelluloses (>8% of D.M.) were the major polysaccharides in the three varieties. The alkaline-soluble polysaccharides contained noticeable amounts of cellulosic substances and a large proportion of neutral polysaccharides. The pectin polysaccharide preparation was high in both galacturonic acid and neutral sugars, including xylose, glucose, galactose, arabinose, and rhamnose. Extraction of the fiber with aqueous 17.5% NaOH produced the hemicelluloses which were rich in xylose and, to a lesser extent, glucose-, arabinose- and galactose-containing polysaccharides, together with associated lignin. Six phenolic monomers were detected in the mixtures of alkycone forms of associated lignin in all polysaccharide fractions, in addition to lignin which is present in lower amounts in the date varieties.

Keywords: Algeria, Date, Degla-Baida, Haloua, Mech-Degla, Fiber, Extraction, Fractionation, Characterization

استخلاص، تجزئة و تمييز الألياف لثلاث أصناف من التمور الشائعة في الجزائر و هي دقلة الجزائر(دقلة البيضاء، حلوة، مش دقلة):

ملخص:

لقد قمنا في هذا البحث بدراسة التركيبية الليفية لثلاثة أصناف من التمور الشائعة في الجزائر و هي دقلة بيضاء و حلوة و مش دقلة. فبعد عزلها في شكل مواد قابلة للذوبان في الكحول، تم فصل مختلف الألياف إلى بكتين، ليجنين ، سيليلوز و إيميسيليلوز و ذلك باستعمال مجموعة من المحاليل الحامضة و القلوية في مختلف الشروط الفيزيائية. و قد أثبتت هذه الدراسة أن الكربوهيدرات المعقدة تحتل الجزء الأكبر من ألياف أصناف التمور الثلاثة التي تحوي كميات ضئيلة من الليجنين. و من خلال تمييز كل الألياف، أظهرت تركيبية البكتين كميات معتبرة من السكريات الحامضة،بالإضافة إلى السكريات المعتدلة، بينما يظهر السيليلوز أغنى بالكلوكوز و الايميسيليلوز أغنى بالكزيلوز. هذا، و يحوي الليجنين نسبة مهمة من ستة مركبات فينولية تتواجد كذلك في الألياف المتعددة السكريات ولكن بكميات أصغر، الشيء الذي يفسر وجود الليجنين المتصل بها.

الكلمات الدالة: الجزائر، تمر، دقلة بيضاء، حلوة،مش دقلة،الألياف، استخلاص، تجزئة ، تمييز

Liste des figures

Figure 1 : Morphologie du palmier dattier.....	5
Figure 2 : différents cultivars de palmiers dattiers à différentes phases de développement	6
Figure 3 : dattes au stade khalal. Cas de la variété Timjuhart et tafiziwin(LechbourGhardaïa).....	10
Figure 4 : datte eu stade kimiri.....	10
Figure 5 : Evolution de la maturité (Bser et Rotab) des variétés Azerza et Tazzequert (Lechbour- Gahrdaïa).....	11
Figure 6 : datte au stade Tamr; Degla Beïda (sèche) et Litm (molle)- Ghardaia.....	11
Figure 7 : a. conservation des dattes en mode Btana, b. vinaigre de dattes (variété Ghars D'al Atteuf), c. Sirop de dattes (rob).....	21
Figure 8 : Séquence primaire de la cellulose et liaisons hydrogène entre deux chaînes de cellulose.....	26
Figure 9 : Principaux glucides constituant les hémicelluloses.....	26
Figure 10 : Représentation schématique de pectines.....	27
Figure 11 : Modèle simplifié de la paroi primaire.....	29
Figure 12 . Les couches S1, S2 et S3 de la paroi secondaire.....	30
Figure 13 : les aliments les plus riches en fibres.....	37
Figure 14 : Variété Mech-Degla.....	45
Figure 15 : Variété Haloua.....	45
Figure 16 : Variété Degla- Beïda.....	45
Figure 17 :Préparation du Matériel Insoluble dans l'Alcool (M.I.A).....	48
Figure 18 :Méthode de fractionnement des fibres.....	52

Figure 19: Principe de dosage des acides uroniques par colorimétrie.....	53
Figure 20: Teneur en eau des variétés de dattes.....	59
Figure 21: M.I.A. des trois variétés de dattes	61
Figure 22 : Pectines des trois variétés de dattes.....	64
Figure 23 : Lignine des trois variétés de dattes	65
Figure 24: Cellulose des trois variétés de dattes.....	67
Figure 25 : Hémicelluloses des trois variétés de dattes.....	68
Figure 26: Teneur en fibres alimentaires de la variété Degla-Beida.....	70
Figure 27: Teneur en fibres alimentaires de la variété H.....	70
Figure 28: Teneur en fibres alimentaires de la variété M.D.....	70
Figure 29: Teneur en AGA des quatres fractions de fibres de dattes (en % de la M.S. de la fibres).....	72
Figure 30: Profil chromatographique de mélange d'oses neutres standards.....	76
Figure 31: Teneur en oses neutres en % de la M.S. des fractions pectiques.....	77
Figure 32: Teneur en oses neutres en % de la M.S. des fractions hémicellulosiques...	78
Figure 33: Teneur en oses neutres en % de la MS des fractions cellulosiques.....	80
Figure 34: Teneur en polyphénols totaux (en % de la MS de fibres).....	82.
Figure 35: Teneur en composés phénoliques dans les pectines des trois variétés de dattes en % la MS de la fibre	85
Figure 36: Teneur en composés phénoliques dans les hémicelluloses des trois variétés de dattes.....	86
Figure 37: Teneur en polyphénols dans la cellulose des trois variétés de dattes en % de la M.S.	88
Figure 38: Teneur en polyphénols dans la lignine des trois variétés de dattes en % de la MS.....	89

Tableau 18 : Récapitulatif des caractéristiques botaniques, morphologiques et technologiques des trois variétés de dattes choisies.....	45
Tableau 19 : Teneur en M.I.A des variétés de dattes au cours du dernier stade de maturation (stade Tamar).....	61
Tableau 20 : Teneur en cendres du M.I.A. des trois variétés de dattes au stade mûr.....	62
Tableau 21 : Teneur en protéines du M.I.A. des trois variétés de dattes au stade mûr.....	62
Tableau 22 : Teneur en lipides du M.I.A. des trois variétés de dattes au stade mûr.....	63
Tableau 23 : Teneur en pectines des variétés de dattes.....	64
Tableau 24 : Teneur en lignine des trios variétés de dattes.....	66
Tableau 25 : Teneur en cellulose des trios variétés de dattes.....	67
Tableau 26 : Teneur en hémicelluloses des trios variétés de dattes.....	69
Tableau 27 : Récapitulatif de la quantité de Gal A donné pour chaque fraction de fibre et la quantité de Gal A total dans 100g de dattes sèches.....	74
Tableau 28 : Temps de rétention des différents oses.....	75
Tableau 29 : Teneur en oses neutres de la lignine des trois variétés de dattes en % de la M.S.....	81
Tableau 30 : Temps de rétention des standards testés.....	83

Liste des tableaux

Tableau 1: Superficies et répartition du nombre total de palmiers dattiers dans le monde.....	7
Tableau 2: configuration de la palmeraie algérienne entre 1983 et 2003.....	8
Tableau 3: Stades d'évolution de la datte.....	9
Tableau 4: Cultivars dominants dans les principaux pays producteurs de datte de l'Ancien Monde.....	12
Tableau 5: Classification des dattes selon la périodicité.....	14
Tableau 6: Production annuelle mondiale de datte en 2005.....	14
Tableau 7 : Production des dattes en Algérie de la campagne agricole (2000/2002).....	15
Tableau 8: Teneur en eau de quelques variétés de datte au stade Tamar.....	16
Tableau 9: Teneur en sucres de quelques variétés de dattes algériennes de la région des Zibans, en % de matière sèche.....	17
Tableau 10: Composition chimique en protéines de variétés de dattes saoudiennes selon les stades de maturité.....	17
Tableau 11: Teneur en acides aminés (mg/100g de matière sèche des principales variétés cultivées dans le Djérid Tunisien.....	18
Tableau 12: Teneur en lipides (g/100 de matière fraîche) de quelques variétés de dattes saoudiennes selon les stades de maturité.....	18
Tableau 13: Composition minérale en mg/100g de MS des dattes de Tunisie (T), des Emirates Arabes Unis (EAU) et de l'Algérie (A).....	19
Tableau 14: Composition vitaminique moyenne de la datte sèche.....	20
Tableau 15 : Composition du noyau.....	20
Tableau 16: Monomères et unités de la lignine.....	28
Tableau 17: Teneurs en fibres des différents aliments.....	37

Liste des abréviations

A.G.A : acide anhydrogalacturonique

A.C. : Acide caféique

A.C.I. : Acide cinnamique

A.O.A.C.: Association of Official Analytical Chemists

Gal A. :Acide galacturonique

A.G. : Acide gallique

A.G.V. : Acides gras volatils

A.H.B. : Acide hydroxybenzoïques

Arab :Arabinose

B.R.S.A. : Boissons rafraîchissantes sans alcool

C.P.G.: chromatographie en phase gazeuse

DA. : Digestibilité apparente

Gala : Galactose

H.B.A. : Hydroxybenzoaldehyde

H₂SO₄: Acide sulfurique

D.B. : Degla Beïda.

D.M.S.O. : Diméthylsulfoxyde

D.O : Densité Optique.

Glu: Glucose

H. : Haloua

H.M.D.S. :Hexaméthylsilazane

H.P.L.C. : **Chromatographie Liquide à Haute Performance**

I.N.R.A.: Institut National de la Recherche Agronomique

K.cal.: kilocalories

Man: Mannose

M.D. :Mech Degla.

M.I.A. : Matériel Insoluble dans l'Alcool

N.S.P : non-strach polysaccharides

O.N. : Oses Neutres.

T.F.A. : Anhydride trifluoroacétique

T.M.S. :Triméthylsilylés

Rham.. : Rhamnose

Xyl. : Xylose

V.: Vanilline

v:v : Volume : volume

INTRODUCTION

En Algérie, la datte a toujours été un élément important de l'alimentation tant humaine qu'animale. Aussi, avec une production de 7,24 millions de tonnes pour l'année 2010/2011 (**Anonyme**, 2011) dont 30% sont des dattes communes à faible valeur marchande destinées à l'alimentation du bétail (**F.A.O**, 2007), l'Algérie est classée au 6^{ème} rang des pays producteurs de dattes sur une production mondiale qui s'élève à plus de 58 millions de tonnes.

De telles quantités de dattes non consommées par la population sont soit de mauvaise texture, soit contaminées par les champignons et/ou infectées par les insectes ou bien sont de qualité médiocre (**Besbes et al.**, 2006).

Ces dattes communes constituent une source très riche en carbohydrates composés, principalement, de sucres et de fibres alimentaires (**Besbes et al.**, 2009).

A ce propos, les fibres alimentaires sont reconnues dans le monde comme étant des composants alimentaires de valeur.

Actuellement, la population s'intéresse de plus en plus aux produits alimentaires naturels qui contribuent à l'alimentation quotidienne tout en continuant de flatter le goût ; cette tendance a permis aux fibres alimentaires, durant les dernières décennies, de prendre une place de plus en plus importante dans l'assiette du consommateur.

Ce phénomène de mode s'est vu conforté par les recherches scientifiques qui ont démontré qu'une absence de ballast a un impact certain sur certaines affections liées au mode de vie, telle que l'obésité.

Par ailleurs, et afin de contrebalancer le manque d'apport en fibres et de prendre en compte cette conscience de plus en plus aigüe dont font preuve les consommateurs, les fibres alimentaires sont introduites dans divers produits alimentaires pour, d'une part, élever la valeur nutritionnelle et physiologique des produits finis et, d'autre part, pour contribuer à d'autres avantages technologiques, plus particulièrement, dans le domaine des fibres alimentaires non solubles.

Dans ce sens, de nombreuses technologies ont été proposées pour l'extraction des fibres alimentaires à partir de substrats végétaux. Certaines de ces technologies ont été appliquées à l'échelle industrielle notamment dans l'industrie céréalière.

Introduction

Les premiers procédés d'extraction ou d'hydrolyse utilisés étaient surtout chimiques. Ces procédés chimiques sont désormais concurrencés par les procédés enzymatiques, plus spécifiques et qui permettent une hydrolyse dans des conditions moins sévères. Cependant, vue sa structure complexe, la biomasse lignocellulosique n'est pas directement accessible aux enzymes. En effet, elle nécessite une phase préalable de prétraitement afin d'améliorer la susceptibilité à l'hydrolyse enzymatique aussi bien de la cellulose que des hémicelluloses. Ce prétraitement peut être mécanique, thermique ou chimique ou bien la combinaison de deux ou trois de ces types d'action.

En somme, la grande disponibilité de ces fibres dans les dattes communes, à faible coût, permet d'envisager une meilleure exploitation et une valorisation rationnelle qui leur conférera un intérêt nutritionnel et technologique certains.

Pour cela, l'objectif de ce travail est de mettre au point un protocole d'extraction chimique qui permet de produire des fibres alimentaires à partir de la pulpe de trois variétés de dattes communes en vue de leur valorisation.

La caractérisation des différentes fractions de par leur composition est le moyen adéquat pour mettre en relief la valeur ajoutée de ces produits.

Dans ce sens, le travail est subdivisé en 3 parties :

- Une partie bibliographique consacrée :
 - ✓ Aux généralités sur le palmier dattier
 - ✓ A la composition chimique et biochimique ainsi qu'aux technologies des dattes
 - ✓ A un rappel sur la structure, la composition, les effets nutritionnels et les méthodes de dosage des fibres.
- La deuxième partie concerne le matériel végétal et les méthodes utilisées pour l'extraction, le fractionnement et la caractérisation des fibres.
- Dans la dernière partie, il s'agit de faire la présentation et la discussion des résultats qui permettront de dégager une conclusion générale et quelques perspectives d'avenir

I. Généralités sur le palmier dattier :

Le palmier dattier, *Phoenix dactylifera L.*, provient du mot "Phanix" qui signifie dattier chez les phéniciens et dactylifera dérive du terme grec "dactulos" signifiant doigt, allusion faite à la forme du fruit (**Djerbi**, 1994).

Le palmier dattier est un arbre de la famille des Arécacées, un palmier facilement reconnaissable à sa tige non ramifiée, le stipe dont l'élongation se fait dans sa partie coronaire, grâce au bourgeon terminal; sa hauteur peut atteindre 15 à 20 m. la longueur des feuilles est de 4 à 6 m. Très répandu dans la zone d'Afrique du Nord , du Moyen-Orient et dans toutes les zones aux climats sensiblement équivalents, il est l'un des *Phoenix* les plus résistants au froid, puisqu'il résiste à des gels de l'ordre de -10°C.

Il est donc légèrement plus résistant que le palmier des Canaries. Le palmier dattier a besoin d'un sol bien drainé mais frais en profondeur. Une seule "branche" de datte peut donner 6 à 8 Kg de fruits. Si nous reportons sur une planisphère les zones de culture du dattier dans le monde, nous constatons que c'est la partie sud du bassin méditerranéen qui a l'apanage de la phoeniculture avec une extension vers les pays du golf persique (**Messaïd**, 2007).

II. Classification botanique

Dans le règne végétal, le palmier dattier est classé comme suit (**Feldman**, 1976):

Groupe: Spadiciflores

Ordre: Palmale

Famille: Palmacées

Sous famille: Coryphoïdées

Tribu: Phoenicées

Espèce: *Dactylifera L.*

Le genre *Phoenix* comporte au moins douze espèces, la plus connue est la dactylifera dont le fruit, la datte, fait l'objet d'un commerce international important (**Espiard**, 2002).

III. Morphologie du palmier dattier

De nombreuses études sur le palmier dattier ont été réalisées au siècle dernier: aux U.S.A par **Keamey** (1906), en Tunisie par **Mason** (1915), en Egypte par **Nixon** (1950) et **Brown** (1924), en Mauritanie par **Chevalier** (1930), en Lybie par **Dowson** (1960), en Algérie par **Matallah**

Le palmier dattier

(1969) et par **Peponoe** (1973) pour plusieurs pays du Maghreb et du Golf. La plupart de ces travaux se basent sur des observations simples, éparpillées et surtout sans aucun support statistique (**Bousdira**, 2006).

La figure 1 représente la morphologie du palmier dattier.

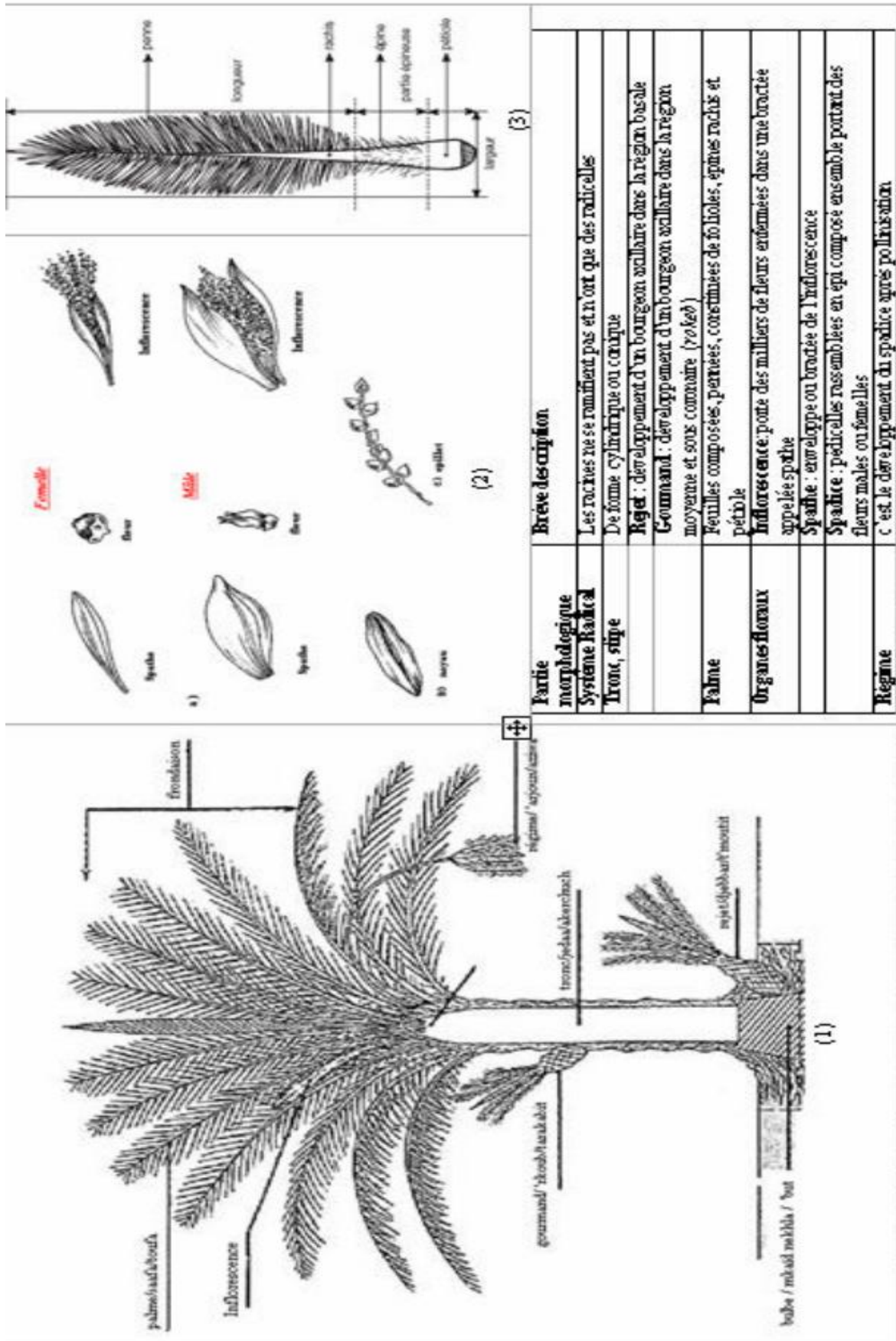


Figure 1 : Morphologie du palmier dattier (Munier, 1973)

IV. Cycle de développement

Selon **Buelguedj** (2002) et **Bousdira** (2006), le palmier dattier en Algérie comporte généralement quatre phases:

Phase 1 : **jeune**, de croissance et de développement (5-7 ans)

Phase 2 : **juvénile**, période d'entrée en production (30 ans)

Phase 3 : **adulte**, début de décroissance de la production (60 ans)

Phase 4 : **sénescence**, chute de la production (80 ans et plus)



TANBUCHT en phase I – Palmeraie de Guettara (Ghardaïa)



HAMRAYA en phase II - Palmeraie de Métlili



TMUHART en phase III – Palmeraie de Métlili (Ghardaïa)



TAQERBUCHT en phase IV – Palmeraie de Métlili (Ghardaïa)

Figure 2: Quelques cultivars de palmiers dattiers à différentes phases de développement

(Bousdira, 2006)

V. Répartition géographique du palmier dattier

a. Dans le monde

Le palmier dattier fait l'objet d'une plantation intensive en Afrique méditerranéenne et au Moyen-Orient.

L'Espagne est l'unique pays européen producteur de dattes principalement dans la célèbre palmeraie d'Elche (**Toutain**, 1996).

Aux États-Unis d'Amérique, le palmier dattier fut introduit au XVIII^{ème} siècle. Sa culture n'a débuté réellement que vers les années 1900 avec l'importation de variétés irakiennes (**Bougedoura**, 1991; **Matallah**, 2004).

Le palmier dattier est également cultivé à plus faible échelle au Mexique, en Argentine et en Australie.

Le palmier dattier

Tableau 1: Superficies et répartition du nombre total de palmiers dattiers dans le monde
(Options méditerranéennes, 1995)

Pays	Nombre de palmiers (par 1,000)	Proportion p.r.p à l'effectif mondial (%)	Superficies (par 1,000 ha)	Proportion p.r.p à l'effectif mondial (%)	Densité de plantation (nombre de palmiers/ha)
Irak	22,30	22,30	125	16,23	178
Iran	21,00	21,00	180	23,38	116
Arabie Saoudite	12,00	12,00	45	5,84	148
Algérie	9,00	9,00	45	5,84	200
Egypte	7,00	7,00	45	5,84	155
Libye	7,00	7,00	27,5	3,57	254
Pakistan	4,38	4,38	-	-	-
Maroc	4,25	4,25	84,5	10,97	50
Tunisie	3,00	3,00	22,5	2,92	133
Soudan	1,33	1,33	-	-	-
Mauritanie	1,00	1,00	-	-	-
Oman	1,00	1,00	-	-	-
Yemen	0,80	0,80	6,4	0,83	125
U.A.E.	0,36	0,36	3,44	0,45	105
Somalie	0,20	0,20	0,35	0,05	577
Bahrein	0,20	0,20	3,7	0,48	50
Israël	0,20	0,20	1,6	0,21	125
Syrie	0,12	0,12	-	-	-
Palestine	0,06	0,06	0,25	0,03	200
Kuwait	0,04	0,04	-	-	-
Autres pays	4,93	4,93	-	-	-
TOTAL mondial	100	100	770	100	173

b. En Algérie

Le palmier dattier est cultivé au niveau de 17 wilayas seulement, pour une superficie de 120830 hectares. Cependant, quatre principales wilayas représentent 83.6% du patrimoine phoenicicole national: Biskra 23%, Adrar 22%, El-Oued 21% et Ouargla 15%.

En plus des superficies et du nombre de palmiers très intéressants, l'Algérie dispose d'une grande diversité phoenicicole (**Tableau 2**).

Le palmier dattier

Tableau2: Configuration de la palmeraie algérienne entre 1983 et 2003. (Série A- D.S.A.S.I. - M.A.D.R) (**Féliachi** ,2005)

	1983	%	1999	%	2003	%	Taux d'accroissement en 20 ans
Superficie phoenicicole (ha)	71 000		100 120		128 800		44,8
Nombre de palmiers	7 659 000		11 670 330		14 605 030		47,5
Nombre de palmiers en rapport	5 871 300	77	8 833 880	76	9 641 680	66	39,1
Variétés demi - molle DN	2 614 600	34	4 228 840	36	5 881 710	40	55,5
Variétés sèches (MD, DB)	3 113 600	41	5 219 930	45	6 363 780	44	51
Variétés molles (GH...)	1 930 800	25	2 221 560	19	2 359 540	16	18,2
Production (tonne)	181 539		427 580		492 217		63,1
Variétés demi - molle DN	71 251	39	197 100	46	244 636	50	70,8
Variétés sèches (MD, DB)	60 401	33	145 506	34	164 453	33	63,2
Variétés molles (GH...)	49 887	28	84 974	20	83 128	17	40

L'inventaire variétal réalisé par **Hannachi et al.** (1998) révèle l'existence de 940 cultivars dans l'ensemble des palmeraies algériennes. Suite aux enquêtes menées par l'équipe du projet RAB98/G31 entre 2001 et 2005 au niveau du Mzab, ce chiffre atteindrait les 1000 cultivars. Cette diversité génétique se retrouve à l'échelle maghrébine ; en effet, la Tunisie (**Rhouma**, 2005) et le Maroc (**Harrak et Chetto**, 2001) disposent respectivement de 305 et 115 cultivars. Notons qu'au niveau du Maroc, 50% du patrimoine phoenicicole est constitué de Khalt (semis) (**SedraMy**, 1995). La Mauritanie, quand à elle, possède 350 cultivars (**Munier**, 1973).

La datte : physiologie, composition et technologie

I. Définition de la datte

La datte, fruit du palmier dattier, est une baie, généralement de forme allongée, oblongue ou arrondie. Elle est composée d'un noyau, ayant une consistance dure, entouré de chair.

La partie comestible de la datte, dite chair ou pulpe, est constituée:

-d'un péricarpe ou enveloppe cellulosique fine dénommée peau

-d'un mésocarpe généralement charnu, de consistance variable selon la teneur en sucre et de couleur soutenue.

-d'un endocarpe de teinte plus claire et de texture fibreuse, parfois réduite à une membrane parcheminée entourant le noyau (**Espiard**, 2002).

Les dimensions de la datte sont très variables, de 2 à 8 cm de longueur et d'un poids de 2 à 8 grammes selon les variétés. Leur couleur va du blanc jaunâtre au noir en passant par les couleurs ambre, rouge, brune plus ou moins foncée (**Djerbi**, 1994).

II. Formation, développement et maturation de la datte

Les fleurs fécondées à la nouaison donnent un fruit qui évolue en taille, en consistance et en couleur jusqu'à la récolte (**Gilles**, 2000). Ainsi, la datte passe par différents stades d'évolution (**Sawaya et al.**, 1983; **Benchabane**, 1996; **Al-Shahib et Marshall**, 2002).

Une terminologie spécifique à chaque région permet de suivre l'évolution de la datte, chaque stade de maturité correspond à une appellation particulière. Une numérotation en chiffres romains est également utilisée (**Tableau 3**).

Tableau 3 : Stades d'évolution de la datte (**Djerbi**, 1994)

Pays	Stades de développement de la datte				
	I	II	III	IV	V
Irak	Hababouk	Kimri	Khalal	Routab	Tamr
Algérie	Loulou	Khalal	Bser	Martouba	Tamr
Libye	-	Gamag	Bser	Routab	Tamr
Mauritanie	Zeï	Tafejena	Engueï	Balah	Tamr

Cependant, de nombreux auteurs ont adapté la terminologie utilisée en Irak.

Les différents stades peuvent être définis comme (**Booji et al.**, 1992) :

La datte : physiologie, composition et technologie

1^{er} stade: Hababouk

Stade qui suit immédiatement la pollinisation. La datte a une forme sphérique de couleur crème. L'évolution du fruit est très lente. Il dure 4 à 5 semaines après la pollinisation.



Figure 3: dattes au stade Hababouk . Cas de la variété Timjuhart et Tafiziwin (Lechbour Ghardaïa) (**Bousdira**, 2006)

2^{ème} stade: Kimri

La datte prend une teinte verte pomme. Ce stade est caractérisé par une élévation rapide du poids et de la taille, une accumulation des sucres réducteurs et des sucres totaux, une grande acidité active et une teneur en eau élevée (**Djerbi**, 1994). Il s'étend de Juin à Juillet et constitue la phase la plus longue de l'évolution de la datte ; il dure de 4 à 14 semaines.



Figure 4: Dattes au stade kimri (**Tirichine**, 2005)

3^{ème} stade: Bser

Selon **Rygg** (1946), ce stade est caractérisé par:

- la lenteur dans l'accroissement du poids (vers la fin le poids diminue)
- l'accroissement rapide dans l'accumulation du saccharose et des sucres totaux; faible accumulation des sucres réducteurs; c'est le stade le plus riche en sucres notamment en saccharose.
- l'accroissement rapide des matières solides

La datte : physiologie, composition et technologie

-le décroissement de l'acidité et de l'humidité

-durée: 3 à 5 semaines.

Le goût de la datte est sucré mélangé au goût âpre aux tanins.

4^{ème} stade: Routab

La datte passe du stade Bser à ce stade par l'apparition progressive de points d'amollissement. Elle devient translucide, sa peau passe du jaune-chrome à un brun presque noir ou au vert selon les variétés (**Figure 5**).

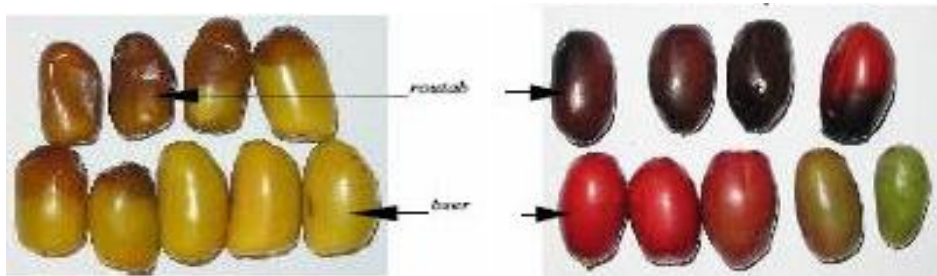


Figure 5: Evolution de la maturité (Bser et Routab) des variétés Azerza et Tazzegguert (Lechbour- Gahrdaïa) (**Bousdira**, 2006).

Pour les variétés sèches et demi-sèches, la datte ne passe pas par ce stade, le Bser vire au marron ou à une couleur rougeâtre, la texture est ridulée au sommet du fruit pour les dattes demi-sèches ou dures pour les dattes sèches. (**Cavell**, 1947). Ce stade est caractérisé par l'insolubilisation des tanins qui se fixent sous l'épicarpe du fruit et l'augmentation de la teneur en monosaccharides. Il dure 2 à 4 semaines. (**Djerbi**, 1994).

5^{ème} stade: Tamr ou Tmar

C'est le stade final de la maturation de la datte. A ce stade on peut distinguer (**Dawson et Aten**, 1963):

- Dattes molles, la pulpe est d'abord molle ensuite elle devient de plus en plus ferme toute en restant souple. Exemple: variété Bent Khala (Ghardaïa-Algérie)
- Dattes sèche, où il n'ya pas de passage par le stade Routab, la teneur en eau reste la même que pour la datte molle à ce stade ; cependant, la texture est plus serrée. La couleur à ce stade est claire. Exemple: variété Mech Degla et Degla Beïda (Biskra- Algérie) (**Figure 6**).



Figure 6: datte au stade Tamr; Degla Beïda (sèche) et Litm (molle)- Ghardaia (**Bousdira**, 2006)

La datte : physiologie, composition et technologie

Le fruit perd beaucoup d'eau. Le rapport sucre/eau reste élevé empêchant la fermentation et l'acidification (oxydation).

III. Les variétés de dattes

Elles sont très nombreuses, seulement quelques-unes ont une importance commerciale. Elles se différencient par leurs saveurs, consistances, formes, couleurs, poids et dimensions (**Buelguedj**, 2001) (**Tableau 4**).

Tableau4: Cultivars dominants dans les principaux pays producteurs de datte de l'Ancien Monde (**Munier**, 1973)

Pays	Cultivars	Pays	Cultivars
Algérie	Degla-beïda, Mech-Degla, Deglet- Nour	Libye	Bikraari, Khadraï, TASFERT
Arabie-Saoudite	Rouzeiz, Koulass, Kouneizi	Maroc	Jihel, Bou feggous, Mehjoul
Egypte	Hayani, Saïdi ou Siwi, Samani	Mauritanie	Ahmer, Tinterguel, Tidiguert, Sekani, Amsersi
Irak	Zahidi, Sayir, Hallaoui, Deri, Hadraoui, Tsiptab, Barhi	Pakistan	Jawan Sor, Berni, Karoch, Siah, Karba, Kalud, Rabai, Dandari, Mazawali, Sabso, Abandan, Alini, Muzawijat, Zard, Jangi
Iran	Savir, Mouzâfti, Kabkab, Chahani, Mordasang	Tchad	Martchiano, Zalao, Mektouli, Koudidou
Tunisie	Deglet-Nour, Allig, Fitmi		

En Algérie, il existe plus de 940 cultivars de dattes (**Hannachi** et *al*, 1998). Les principales variétés cultivées sont:

- La Deglet- Nour: Variété commerciale par excellence. C'est une datte demi-molle, considérée comme étant la meilleure variété de datte du fait de son aspect, son onctuosité et sa saveur. A maturité, la datte est d'une couleur brune ambrée avec un épicarpe lisse légèrement plissé et brillant, le mésocarpe présente une texture fine légèrement fibreuse (**Bouadrar** et *al.*, 1997; **Kendri**, 1999).

La datte : physiologie, composition et technologie

- Les variétés communes: ces variétés sont de moindre importance économique par rapport à Deglet- Nour ; les plus répandues sont: Ghars, Degla- Beïda et Mech- Degla (**Kendri, 1999; Masmoudi, 2000**).

Selon **Buelguedj (2001)**, une grande proportion de variétés communes est de consistance molle.

IV. Classifications

a. Classification selon la consistance

Les dattes sont classées en trois catégories d'après leur consistance. Celle-ci dépend de la teneur en eau de la pulpe. La stabilité de la datte dépend de la proportion de sucres par rapport à la teneur en eau. (**Munier, 1973**)

Le rapport (sucres totaux / eau) appelé aussi indice de qualité ou de dureté permet de connaître le degré de stabilité et d'apprécier l'aptitude à la conservation des dattes.

Nous distinguons :

- Les dattes molles : ayant un indice de dureté inférieur à 2, ces dattes passent par le stade Routab et demeurent molles au stade tamar. Il s'agit de la plupart des dattes à sucres réducteurs telles que : Menakher, Zaidi (**Dowson et Aten, 1963**)

- Les dattes demies molles : dont l'indice de dureté inférieur est compris entre 2 et 3,5.

(**Munier, 1973**). Ces dattes passent par le stade Routab, mais sont un peu sèches au stade tamar. Les sucres sont le plus souvent réducteurs. (**Dowson et Aten, 1963**). Exemple : Deglet Nour, Kenta, Tazerzeit, Khalt, Boufagous.

- Les dattes sèches : présentent un indice « r » supérieur à 3,5, elles ne passent pas par le stade Routab. Elles sont pour la plus part à saccharose (**Munier, 1963**).

b. Classification selon la composition minérale

Haas et Bliss en 1935 ont proposé une classification de dattes selon la composition minérale.

Ils ont distingué (**Bousdira, 2006**):

Groupe 1: contenant K, N, Cl, et Na≈0.6%

Groupe 2: contenant Ca ≈ 0.05%, Mg ≈ 0.04%, et P ≈ 0.04%

Groupe 3: contenant Fe≈ 60ppm, Cu≈ 20ppm, Mn≈ 10ppm.

La datte : physiologie, composition et technologie

c. Classification selon la précocité/périodicité

Selon la précocité, nous distinguons la classification suivante des dattes (**Ben Khalifa et al., 2003**):

Tableau 5: Classification des dattes selon la périodicité (**Ben khalifa et al., 2003**):

Périodicité	Période	Exemple
Précoce	Juillet –Août	Tadment, Ghars, Abbad
Normale	Septembre –Octobre	Adelt, Lianet, Tazizawt
Tardive	Novembre- Janvier	Bayd Lhmam, Wrached

V. Production de dattes

a. Dans le monde

La datte est l'un des fruits les plus importants dans le monde et spécialement dans les pays islamiques qui consomment beaucoup de dattes surtout au mois de Ramadan. 70 % de la production des dattes dans le monde sont produits par l'Égypte, l'Iraq, l'Arabie Saoudite, l'Iran, le Pakistan et l'Algérie (**Nezan El Din, 2000**) (**Tableau 6**).

Tableau 6 : Production annuelle mondiale de dattes (* **Nezan El Din, 2000**; ****FAOSTAT, 2007**; *** **Noui, 2007**)

Pays	Production des dattes en 1995 (1000 tonnes)*	Production des dattes en 1996 (1000 tonnes)*	Production des dattes en 1997 (1000 tonnes)*	Production des dattes en 2005 (1000 tonnes) **	Production des dattes en 2007 (1000 tonnes) ***
Egypte	678	738	710	1170	1100
Iran	780	855	860	997	880
Arabie Saoudite	589	597	597	970	830
Algérie	285	361	303	516	450
Pakistan	533	534	535	497	650
Soudan	140	145	145	328	330
Libye	/	/	/	181	140
Chine	/	/	/	130	
Tunisie	85	74	109	125	110
Maroc	/	/	/	48	540
Iraq	675	650	630	/	910

La datte : physiologie, composition et technologie

b. En Algérie

La production réalisée durant la campagne agricole (2000/2001) est de 4.18 millions de quintaux (Amellal, 2007).

Tableau 7: Production des dattes en Algérie de la campagne agricole (2000/2001) (Amellal, 2007).

wilayas	Deglet-Nour	Ghars et analogues (dattes molles)	Degla -Beïda et analogues (dattes sèches)	Total
Adrar	0	0	572000	572000
Laghouat	350	1990	2070	4410
Batna	210	1430	4870	6510
Biskra	769620	134760	292280	1 196660
Ghardaïa	106000	38600	131400	276000
Tamanrasset	0	0	47930	47930
Tebessa	4620	4000	1740	10360
Djelfa	250	100	50	400
M'sila	0	0	2500	2500
Ouargla	434110	207760	66740	708610
El-Bayadh	0	8750	0	8750
Illizi	90	620	8000	8710
Total	1315250	1713260	2842840	2 842840

L'analyse du tableau 7 montre que plus de 50% de la production nationale de dattes est réalisée par deux wilayas: El-Oued (29%) et Biskra (28%).

VI. Composition biochimique de la datte

Selon Estanove (1990), la datte se compose essentiellement :

- D'eau
- De sucres
 - Non réducteurs = saccharose
 - Réducteurs= glucose, fructose
- De non-sucres: protides, lipides, cellulose, cendres (sels minéraux), vitamines et enzymes.

La datte : physiologie, composition et technologie

7.1.Composition biochimique de la partie comestible "la pulpe"

a. L'eau

La teneur en eau détermine la consistance de la datte. Elle est fonction des variétés, du stade de maturation et du climat. Elle varie entre 8 et 30 % du poids de la chair fraîche avec une moyenne d'environ 19% (Noui, 2007) (**Tableau8**).

Lors du développement de la datte, la teneur en eau évolue comme suit:

- 85% pour le stade Hababouk
- 50-60% pour le stade Kimri
- 35-40% pour le stade Routab
- 5-10% pour le stade Tamar

Tableau 8: Teneur en eau de quelques variétés de datte au stade Tamar (Najeh *et al.*, 1999)

Variété	Teneur en eau
Deglet- Nour	25-28
Allig	19,6
Kenta	17
Degla-Beïda	11

b. Sucres

La pulpe de datte contient du saccharose et des sucres en C₆ (glucose, fructose,...).

Certaines dattes sont totalement dépourvues de saccharose ; par contre ; d'autres en contiennent une proportion élevée (**Munier, 1973**).

La teneur en sucres totaux est très variable, elle dépend de la variété et du climat. Elle varie entre 60 et 80% du poids de la pulpe fraîche.

La forte teneur en sucres de la pulpe de datte confère à ces fruits une grande valeur énergétique.

Pour 100 g de pulpe :

*306 calories pour Deglet-Nour.

*260 calories pour les dattes communes.

Le tableau 9 montre la teneur en sucres dans les dattes, signalons une grande variabilité des teneurs pour le saccharose et les sucres réducteurs. La teneur en saccharose varie entre 0,8 et 52,4 %, celle des sucres réducteurs est de 20 à 94%

La datte : physiologie, composition et technologie

Tableau 9: Teneur en sucres de quelques variétés de dattes algériennes de la région des Zibans (en % de matière sèche) (Açourene et Tama, 1997)

Varietes	Consistance	Sucres Totaux	Saccharose	Sucres réducteurs
Ghars	Molle	87,42	5,00	82,12
Tantboucht		79,8	0,90	78,80
Deglet-Ziane		84,00	2,45	81,45
Ltima	Demi-molle	78,51	4,29	73,40
Safraia		79,00	1,31	77,61
El-Ghazi		94,90	0,80	94,00
Mech-Degla	Sèche	75,10	52,40	20,00
Kenta		72,3	40,55	36,80
Horra		82,46	50,00	29,86

c. Protéines et acides aminés

La pulpe de datte contient de faibles quantités de protéines; en effet le taux de ce constituant est compris entre 1.7 et 3 % du poids de la pulpe à l'état frais (Ahmed *et al.*, 1995).

Tableau 10: Teneur en protéines (g/100 de matière fraîche) de quelques variétés de dattes saoudiennes selon les stades de maturité (Ahmed *et al.*, 1995).

	Khalal min	Khalal max	Bser min	Bser max	Routab min	Routab max	Tmar min	Tamr max
Eau	80,01	85,5	54,5	76,5	35,9	50,4	9,2	32,1
Protéines	1,3	0,7	0,4	1,6	1,1	2,1	1,9	3,0

Les teneurs en acides aminés libres ont surtout été étudiées pour les principales variétés cultivées en Irak. Au cours de ces travaux, 17 acides aminés ont pu être identifiés, mais seuls 7 d'entre eux s'avèrent être présents à des teneurs importantes: l'acide aspartique (ASP), l'arginine (ARG); l'alanine (ALA); l'acide gama-aminobutyrique (GAB), la glycine (GLY), la thréonine (THR), et l'asparagine (ASN) qui se révèle très caractéristique de la variété Menakher (Tableau11).

La datte : physiologie, composition et technologie

Tableau11: Teneur en acides aminés (mg/100g de matière sèche) des principales variétés cultivées dans le Djérid tunisien (**Reynes et al.**, 1995)

	Variété	Valeur
Minimum	Tazerzit Safra	82
Maximum	Bser Halou	700
Moyenne	Deglet Nour	256,4

d. Matières grasses

La pulpe de la datte contient peu de matière grasse. Celle-ci est concentrée dans la peau (2,5-7,5%) et joue un rôle plus physiologique que nutritionnel, ce rôle se traduit par la protection du fruit (**Barreveld**, 1993) (**Tableau 12**).

Tableau 12: Teneur en lipides (g/100 de matière fraîche) de quelques variétés de dattes saoudiennes selon les stades de maturité (**Ahmed et al.**, 1995)

	Khalal min	Khalal max	Bser max	Bser min	Routab min	Routab max	Tmar min	Tamr max
Eau	80,01	85,5	54,5	76,5	35,9	50,4	9,2	32,1
Lipides	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2

e. Fibres alimentaires

Parmi les agents intervenant dans la modification de la fermeté de la datte au cours de la maturation et du stockage, il y a les constituants pariétaux; les pectines, la cellulose, les hémicelluloses et la lignine (**Benchabane et al.**, 1995). Selon ces auteurs, dans une étude sur les composés pariétaux (caractérisation et suivi de l'évolution) de deux variétés de dattes: Ghars et Deglet-Nour, les composés de la paroi végétale sont à leur minimum au stade mûr (Tamar). La paroi cellulaire de la datte mûre est pauvre en pectines (3% MS) mais riche en fibres, plus particulièrement en hémicelluloses. D'autre part, les pectines extraites sont des molécules à masse moléculaire viscosimétrique moyenne ($M_v = 50000$) ayant une teneur moyenne en acide anhydrogalacturonique (50% MS) et une teneur élevée en oses neutres (20 % MS). Leur degré d'estérification supérieur à 50% en fait des pectines hautement méthylées.

La datte : physiologie, composition et technologie

La teneur en fibres totales est comprise en moyenne entre 3 et 14 % de matière sèche, les méthodes analytiques utilisées pour leur dosage influent sur les résultats (**Holland et al.**, 1991 dans **AL-shahib W. et Marshall R.J.**, 2002).

La teneur en fibres totales dépend du stade de maturité des dattes (**Rygg**, 1946) , elle diminue à mesure que la datte perd sa fermeté (**El-Zoghbi**, 1994).

f. Eléments minéraux

L'étude de 58 variétés de dattes cultivées dans la région des Zibans réalisée par **Açourene et al.**(2001), montre que le taux de cendre est compris entre 1,10 et 3,69 % du poids sec. La datte est l'un des fruits les plus riches en éléments minéraux essentiellement le potassium, le magnésium, le phosphore et le calcium.

Tableau 13: Composition minérale(en mg/100g de MS) des dattes de Tunisie (T), des Emirates Arabes Unies (EAU) et de l'Algérie (A) (**Ahmed et al.**, 1995)

	P	K		Ca		Mg		Na		Fe	
	T	T	E.A.U	T	EAU	T	EAU	T	EAU	T	EAU
Max	61	878	916	101	10	82	82	4,95	287	1,06	1,70
Min	35	437	605	21	9,5	30	47	0,63	55	0,24	0,30
Moy	49,24	668,1	763,5	58,9	13,68	61,95	61,25	1,69	136,67	0,66	1,16

	Cu		Mn		Zn		%Cendre		
	T	EAU	T	EAU	T	EAU	T	EAU	A
Max	0.41	0.5	1.00	0.60	0.46	0.60	2.17	1.90	1.10
Min	0.09	0.1	0.00	0.30	0.10	0.10	1.10	1.90	3.70
Moy	0.23	0.3	0.23	0.45	0.30	0.24	1.67	1.48	2.10

g. Les vitamines

En général, la datte ne constitue pas une source importante de vitamines. La fraction vitaminique de la datte se caractérise par des teneurs appréciables de vitamines du groupe B ; ce sont des précurseurs immédiats des coenzymes indispensables à presque toutes les cellules vivantes et jouent un rôle primordial (**Vilkas**, 1993).

La datte : physiologie, composition et technologie

Tableau14: Composition vitaminique moyenne de la datte sèche (**Favier** et *al.*, 1995)

Vitamines	Teneur moyenne pour 100g
Vitamine C	2,00 mg
Thiamine (B1)	0,06 mg
Riboflavine (B2)	0,10 mg
Niacine (B3)	1,70 mg
Acide pantothénique (B5)	0,80 mg
Vitamine B6	0,15 mg
Folate (B9)	28,00 µg

h. Les composés phénoliques

La datte renferme des substrats dits composés phénoliques L'analyse des composés phénoliques de la datte a révélé la présence des acides cinnamiques, des flavones, des flavonones et des flavonols (**Mansouri** et *al.*, 2005).

Selon **Henk** et *al.* (2003), les polyphénols jouent un rôle important dans le corps: ils ont des effets anti-inflammatoires, antioxydants, abaissent la tension artérielle et renforcent le système immunitaire.

7.2.Composition biochimique de la partie non comestible "Noyau"

La graine ou noyau a une forme allongée, une proportion et grosseur variable par rapport à la datte entière, c'est une caractérisation déterminante dans la qualité d'une variété. En effet, elle représente 7 à 30% de la masse de la datte. (**Djerbi**, 1994)

Tableau 15 : Composition du noyau (**Dawson** et **Aten**, 1963)

Eléments	Teneur (%)
Eau	6,46-7,7
Huiles	8,49-8,8
Protéines	5,22
Glucides	62,51
Fibres	16,2
Cendres	1,12

VIII. Valeur nutritionnelle de la datte

La datte constitue un excellent aliment, de grande valeur nutritive et énergétique (Toutain, 1979; Gille, 2000):

- Une forte teneur en sucre confère à ces fruits une grande valeur énergétique
- Une teneur intéressante en sucres réducteurs facilement assimilables par l'organisme
- Les protéines de la datte sont équilibrées qualitativement, mais en faible quantité
- Un rapport important en éléments minéraux. Les dattes sont riches en minéraux plastiques: Ca, Mg, P, S, et en minéraux catalytiques; Fe, Mn. Elles sont reminéralisantes et renforcent notablement le système immunitaire (Albert, 1998).
- Le profil vitaminique de la datte se caractérise par des teneurs appréciables en vitamines du groupe B. Ce complexe vitaminique participe au métabolisme des glucides, des lipides et des protéines (Tortora et Anagnostakos, 1987).

IX. Valorisation des dattes

La technologie de la datte recouvre toutes les opérations, qui, de la récolte à la commercialisation, ont pour objet de préserver toutes les qualités des fruits et de transformer ceux qui ne sont pas consommés, ou consommables, à l'état, en divers produits, bruts ou finis, destinés à la consommation humaine ou animale et à l'industrie (Estanove, 1990).



Figure 7: a. conservation des dattes en mode Btana, b. vinaigre de dattes (variété Ghars D'Al Atteuf), c. Sirop de dattes (rob) (Bousdira, 2006)

1. Confiserie à base des dattes:

a. Les dattes fourrées

Les dattes mures de consistance normale sont dénoyautées et fourrées (Espiard, 2002).

b. Confiserie à base de pâte de dattes

Les dattes molles ou ramollies par humidification donnent lieu à la production de pâte de dattes. La fabrication est toujours faite mécaniquement (Dupaigne et Munier, 1961). Lorsque le produit est trop humide, il est possible d'ajouter la pulpe de noix de coco ou la farine

La datte : physiologie, composition et technologie

d'amande douce. La pâte de dattes est utilisée en biscuiterie et en pâtisserie (**Kendri**, 1999; **Espiard**, 2002).

c. Farine des dattes

La farine de dattes peut être fabriquée à partir des dattes sèches, dattes molles séchées ou bien de pâte de dattes naturelle ou améliorées. (**Dupaigne et Munier**, 1961)

La farine de dattes, de conservation et de transport faciles, est un aliment riche en hydrates de carbone (**Jraidi et Mahjoub**, 1990).

d. Production de sirop, miel, crème et confiture

Ces produits sont fabriqués à base de dattes saines car il est important d'éviter tout arrière goût de fermentation. La technologie de cette gamme de produits est basée sur l'extraction par diffusion des sucres et composants solubles de la datte. On peut ainsi obtenir en six à dix heures de diffusion, selon la variété de la datte, un jus titrant environ 50% d'extrait sec soluble au réfractomètre. Une concentration sous vide permet de porter ce jus à 70% d'extrait sec donnant un sirop de longue conservation ($a_w < 0.6$) (**Espiard**, 2002).

2. Mise en valeur des déchets

Les dattes abîmées peuvent être utilisées, en raison de leur forte teneur en sucres, pour la fabrication de vin, d'alcool ou de vinaigre.

a. Alcool des dattes

Les dattes constituent un substrat de choix pour la production de l'alcool éthylique. Selon **Touzi** (1997), l'alcool éthylique a été produit au laboratoire avec un rendement de 87%.

b. Vinaigre de dattes

Les dattes peuvent être utilisées pour l'élaboration de nombreux produits alimentaires parmi lesquels le vinaigre (**Ould El Hadj et al.**, 2001). Ce dernier a été produit par culture de la levure *Saccharomyces uvarum* sur un extrait de dattes (**Boughnou**, 1988).

c. Jus de dattes

Le jus des dattes est un produit obtenu après ébullition d'un mélange datte /eau puis filtration. Le pH et le degré de Brix de ces produits varient, respectivement, de 5,54 à 6,43 et de 17,4 à 20,6 .

La datte : physiologie, composition et technologie

d. Levure alimentaire

Le jus de dattes par sa richesse en sucre constitue un milieu favorable pour le développement et la croissance des levures.

Les levures produites à partir du jus de datte sont de nature alimentaire. Le procédé de fabrication de levures alimentaire, se résume comme suit : épuration physique du jus, inoculation du milieu qui se caractérise par une température égale à 28°C et un pH de l'ordre de 4,5 à 5. A la fin de la fermentation, il y a la décantation et le lavage du précipité qui va subir un séchage à 30-40°C afin d'obtenir les levures alimentaires (**Estanove**, 1990 ;**Espiard**, 2002).

I- Définition

La fibre alimentaire peut être définie selon des critères botaniques, chimiques, physiques ou nutritionnels. La fibre brute est le résidu de l'analyse des aliments soumis à un traitement à chaud aux acides forts et aux bases. Le terme de fibre brute inclue donc des quantités variables de cellulose, hémicelluloses et lignine. **Trowell** (1974), introduit le concept de "fibre alimentaire" en se basant sur des caractéristiques physiologiques. Selon cet auteur, la fibre est le "résidu" des cellules végétales résistant à l'hydrolyse par les enzymes digestives de l'homme. Cette définition couvre un groupe de substances non digérées dans l'intestin grêle mais qui peuvent être partiellement hydrolysées par des bactéries du colon. La définition de **Trowell**, quoique restrictive, a le mérite de faire la distinction entre la fibre alimentaire et la fibre brute. Selon **Spiller et al.**(1976), le terme "fibre" est peu approprié, la cellulose étant la seule substance à présenter une structure fibreuse sous forme de microbrilles ou fibrilles. Il propose alors le terme "plantix", nomenclature peu utilisée. **Southgate** (1977) définit la fibre de façon analytique comme la somme de la lignine et des polysaccharides autres que l'amidon.

La notion d'"hydrate de carbone non assimilable" est ambiguë puisque certains de ces hydrates de carbone sont fermentés par les microorganismes intestinaux avec production d'acides gras volatils utilisables par l'organisme.

Actuellement, les notions de "fibre soluble ou insoluble" sont largement répandues. La fibre insoluble représente principalement la cellulose et la lignine tandis que la fibre soluble fait référence à des gommés, des mucilages, des pectines et certaines hémicelluloses. Les dosages de fibre insoluble et soluble permettent surtout une distinction des effets biologiques.

Les fibres non purifiées, comme la plupart des aliments, sont en général des fibres mixtes, c'est-à-dire contenant des fibres solubles et insolubles en proportions variables. Enfin, le terme de fibre ne doit pas être strictement lié aux structures végétales naturelles (**Southgate**, 1986). Les différentes substances reprises ci-dessous pourraient aussi être considérées comme des fibres de par leur caractéristique d'indigestibilité dans l'intestin grêle :

- des complexes d'hydrates de carbone et de protéines nés de la réaction de Maillard
- l'amidon résistant
- les fibres animales non digérées par les enzymes digestives comme les amino-polysaccharides (**Furda**, 1983).

Les fibres alimentaires

- les polysaccharides synthétiques ou partiellement synthétisés tels que les oligosaccharides ou la méthylcellulose
- des substances végétales autres que des polysaccharides telles que les cutines, les subérines, les cires et certains pigments

En résumé, les fibres alimentaires sont principalement constituées de polysaccharides plus ou moins complexes bien qu'elles puissent aussi inclure d'autres composants mineurs. Au vu des problèmes de définition, il est donc conseillé d'utiliser en pratique le nom précis, soit de l'aliment (son de blé), ou du composant chimique (β -glucane) plutôt que le terme générique de "fibre alimentaire".

II- Origines des fibres alimentaires

La paroi est responsable de l'énorme diversité des formes et des tailles des cellules végétales et, par conséquent, de l'énorme diversité des formes et des tailles des plantes.

Il existe deux types de parois chez les plantes, les parois primaires (chez les non graminées, elle est de Type I, chez les graminées, de Type II) et les parois secondaires.

Toutes sont composées de polysaccharides variés, de protéines et certaines (les parois secondaires) contiennent également des composés phénoliques (**Carpita**, 1996).

Dans les sections suivantes, nous allons présenter la structure des différentes fibres alimentaires qui les composent pour ensuite aborder l'organisation de ces fibres au sein de la matrice.

1. La structure des principales fibres alimentaires

1.1. La structure de la cellulose

La cellulose est formée de chaînes linéaires non ramifiées constituées d'un enchaînement de β -D-glucopyranoses liés en (1 \rightarrow 4) (**Figure 8**). Le cellobiose, qui correspond à deux β -D-glucopyranoses liés en (1 \rightarrow 4), constitue l'unité de répétition de la cellulose.

L'organisation spatiale de la liaison β -(1,4) de la cellulose fait que les fonctions homologues des monomères se trouvent alternativement au-dessus et en dessous du plan. Cette organisation implique que les chaînes de cellulose sont ensuite liées de manière non-covalente par de nombreuses liaisons de type hydrogène ou forces de Van der Waals et s'organisent en microfibrilles.

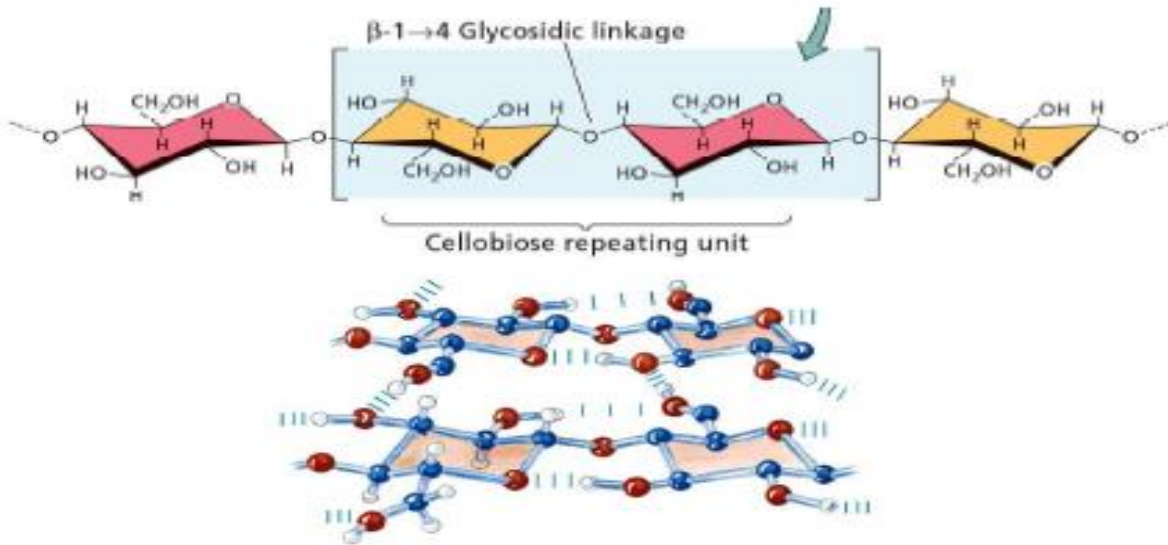


Figure 8: Séquence primaire de la cellulose et liaisons hydrogène entre deux chaînes de cellulose (Somerville *et al.*, 2004).

Chez *Arabidopsis thaliana*, les motifs structuraux dominants qui correspondent aux microfibrilles de cellulose, observés par microscopie électronique, d'un diamètre d'environ 3 nm, enveloppent la cellule et sont liés à des chaînes de polysaccharides de type xyloglucanes (Somerville *et al.*, 2004).

1.2. Les hémicelluloses

Les hémicelluloses sont présentes dans la matrice polysaccharidique non cellulosique des cellules végétales. Les hémicelluloses ne sont pas des précurseurs de la cellulose mais forment une classe de substances très variables. Il s'agit d'homo ou d'hétéro-polysaccharides linéaires ou branchés que l'on peut classer suivant la nature des unités osidiques qui constituent les polymères (D-xylanes, D-mannanes ...). Elles sont généralement solubles dans l'eau et les bases (Joseleau, 1980) et présentent une taille plus petite que la cellulose, soit moins de 200 unités.

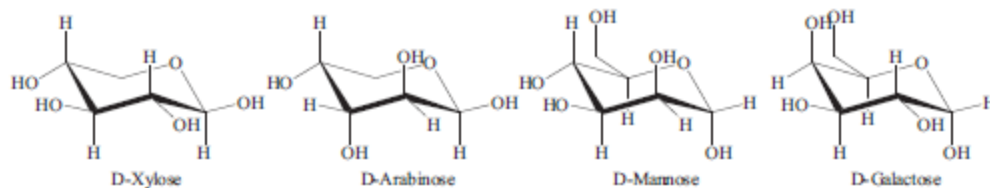


Figure 9: Principaux glucides constituant les hémicelluloses (Sun *et al.*, 1996).

Les fibres alimentaires

Dans les parois primaires de type I, la principale hémicellulose est le xyloglucane.

Le xyloglucane est composé d'un squelette de D- glucose en β -(1,4) ; ces glucoses peuvent être substitués en α -(1,6) par des résidus de D-xylose. Les xyloglucanes ont été particulièrement étudiés car ils sont essentiels pour déterminer l'expansibilité de la paroi primaire. Il est à signaler que l'expansion des parois est un des sujets fondamentaux de la recherche sur les parois végétales (Cosgrove, 2005).

1.3. Les pectines

Les polysaccharides pectiques sont un des composants majeurs des parois primaires.

Les pectines sont représentées par un certain nombre de polysaccharides distincts dont les structures sont représentées sur la **figure 10**.

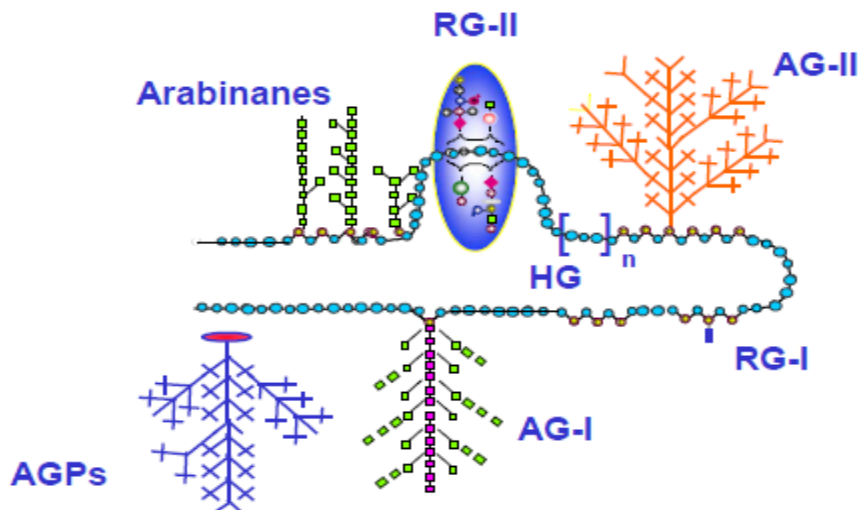


Figure 10 : Représentation schématique de pectines (Doco *et al.*, 1995).

Ces polymères forment ensemble la matrice pectique qui comble les intervalles ou interstices du réseau cellulose-xyloglucane. Les pectines sont principalement caractérisées par la présence d'acide galacturonique.

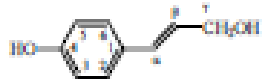

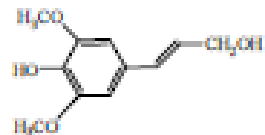
Dans la nature, les substances pectiques sont le plus souvent hautement méthylées et très solubles dans l'eau. Ces substances, présentes dans les membranes, sont liées à la cellulose et sont insolubles dans l'eau ; cette forme est appelée protopectine.

L'hydrolyse de la protopectine dans l'eau chaude à pH acide va libérer des produits solubles (pectines, sucres, ...) (**Berk**, 1976).

1.4. La lignine

La lignine est un polymère pariétal qui constitue la partie non glucidique la plus importante et représente le deuxième constituant le plus abondant dans le végétal. C'est un polymère complexe de nature principalement polyphénolique de haut poids moléculaire et dont la structure tridimensionnelle complexe n'est pas connue de façon très exacte (**Sarkanen et Ludwig**, 1971; **Argyropoulos et Menachem**, 1998). Les lignines sont difficilement dégradées et sont très résistantes à de nombreux agents chimiques et biochimiques. De façon générale, la structure de la lignine naturelle dépend de l'origine botanique, de l'âge de la plante, du type de tissu, des cellules et des couches pariétales dans lesquelles elle se trouve (**He et Terashima**, 1991). Cette forte variabilité naturelle associée aux variations relevant des méthodes d'analyse rend difficile la présentation de la structure de cette dernière. Différentes études ont montré que la structure de la lignine résulte de la copolymérisation de trois monomères aromatiques de type phénylpropène **1.** L'alcool coumarylique (unité hydroxyphényle), **2.** L'alcool coniférylique (unité guaiacyle) et **3.** L'alcool sinapylique (unité syringyle), que l'on désigne sous le terme général de monolignols (**Anvar et Mazza**, 2008) (**tableau 16**).

Tableau 16: Monomères et unités de la lignine (**Barakat**, 2007)

Alcool	Unité	Symbole	Structure
p-coumarylique	p-Hydroxyphényle	H	
Coniférylique	Gaiacyle	G	
Sinapylique	Syringyle	S	

2. Organisation des fibres alimentaires

2.1. Dans la paroi primaire

Les polysaccharides décrits dans les sections précédentes s'organisent et interagissent entre eux pour former la paroi primaire. Le modèle aujourd'hui accepté pour la structure de la paroi primaire veut que les hémicelluloses forment des interactions avec les microfibrilles de cellulose, les pectines constituant un gel occupant le reste de l'espace (Cosgrove, 2000) (figure 11).

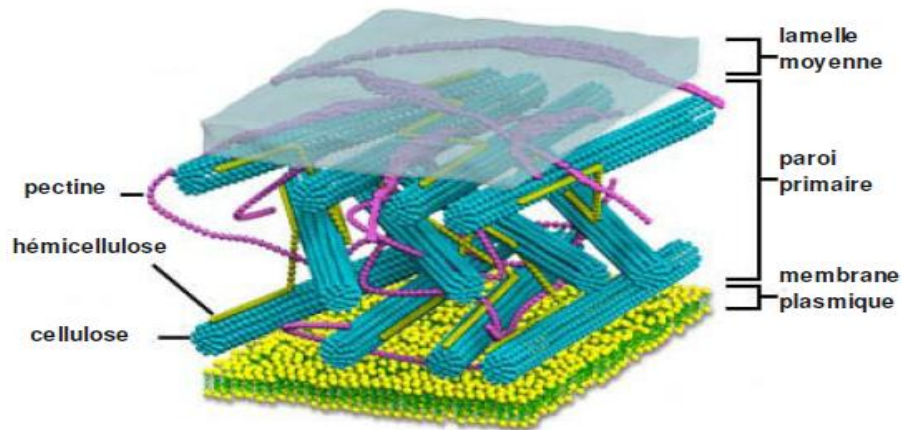


Figure 11: Modèle simplifié de la paroi primaire.

Source: <http://micro.magnet.fsu.edu/cells/plants/cellwall.html>, site « Molecular Expressions », **Michael W. Davidson**, Florida State University (USA).

La cellulose interagit avec les hémicelluloses, les pectines formant une matrice occupant le reste de l'espace. La zone de contact entre deux cellules végétales, et donc deux parois primaires, est appelée la lamelle moyenne

Ce modèle a été complété depuis quelques années car certains résultats suggèrent que d'autres interactions peuvent exister (Cosgrove, 2005). Par exemple, dans des cultures de cellules de rose (*Rosa sp.* 'Paul's Scarlet'), il existe une liaison covalente entre les xyloglucanes et les pectines acides (Thompson et Fry, 2000). De plus, le fait que des hypocotyles de petit-pois (*Pisum sativum*) incorporent du [14C] D-galactose dans un complexe pectine xyloglucane laisse supposer l'existence d'une liaison covalente entre ces deux types de polysaccharides (Cumming *et al.*, 2005). Finalement, il a été montré que la cellulose et les pectines peuvent interagir *in vitro*, même si cette interaction est plus faible que celle observée également *in vitro* entre cellulose et xyloglucane (Zykwinska *et al.*, 2005).

2.2. Dans la paroi secondaire

Il est admis dans la littérature que l'organisation de la paroi secondaire est analogue à celle des parois primaires, avec la cellulose formant des interactions avec les hémicelluloses, la lignine occupant le reste de l'espace. La paroi secondaire est déposée en trois étapes successives formant des couches aux orientations définies, appelées S1, S2 et S3. Cette orientation joue un rôle primordial pour définir les propriétés physiques de ces parois (**Keckes et al.**, 2003) (**Figure12**).

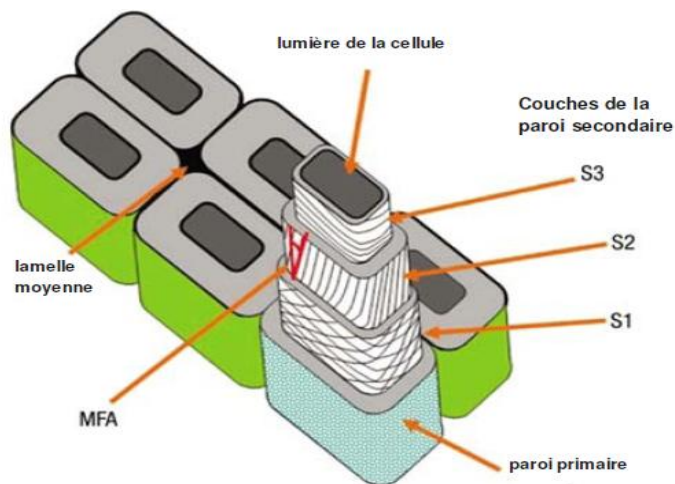


Figure 12. Les couches S1, S2 et S3 de la paroi secondaire.

Les microfibrilles de cellulose de ces couches ont une orientation définie et cette orientation, appelée angle des microfibrilles (*microfibril angle*, MFA), affecte les propriétés du bois.

III- Rôles des fibres alimentaires

3.1.Effets sur les structures intestinales et les fermentations

Les fibres alimentaires exercent une influence favorable sur l'état de santé et le bon fonctionnement de l'intestin. C'est une des raisons pour lesquelles l'ingestion quotidienne de

30 g de fibres est recommandée chez l'homme (**Ashwell**, 1990). Au niveau du côlon, elles peuvent exercer deux types d'action : des effets mécaniques sur la muqueuse, associés à leur structure physique et des effets métaboliques dépendants de leur composition chimique et des produits libérés par leur dégradation microbienne. Les produits de fermentation tels que les acides gras volatils (AGV) exercent un effet *in situ* en modifiant certains paramètres au niveau du côlon comme le pH, la pression osmotique, les mouvements d'eau et la motricité. Les AGV

Les fibres alimentaires

servent également de substrats pour les colonocytes. L'interaction fibre-microflore est donc extrêmement importante : la présence de certains produits de dégradation favorise certaines populations microbiennes au détriment d'autres. Il est donc possible, par un choix judicieux des sources de fibres, de manipuler la composition du régime et d'améliorer l'équilibre intestinal. Il est très difficile de dissocier les effets physiques des effets chimiques des fibres.

De plus, il est généralement admis que c'est la combinaison des deux qui influence le fonctionnement du côlon. Dans ce contexte, il est intéressant de rappeler les actions des fibres sur la morphologie et les structures cellulaires de l'intestin, leur fermentation par la flore intestinale et leurs applications dans le traitement de certains dysfonctionnements intestinaux.

De manière générale, en comparaison aux fibres insolubles, les fibres solubles sont les mieux fermentées au niveau du côlon avec une production plus importante d'AGV.

Cependant, il faut souligner que la solubilité et la fermentabilité d'une fibre ne sont pas liées dans tous les cas. En effet, certaines fibres très solubles comme les gommes de caroube ou de xanthane sont peu fermentescibles. Inversement, le son de riz et la fibre de chou, insolubles, sont bien fermentés. En général, les produits métaboliques résultant de cette fermentation sont les AGV, l'hydrogène, le dioxyde d'azote, le méthane et divers autres gaz. Il faut noter que les AGV sont produits initialement sous forme d'acides qui, rapidement, sont transformés en leurs sels correspondants.

Par ailleurs, les fibres diffèrent non seulement par leurs effets sur les quantités totales d'AGV produites mais aussi par le type d'AGV (**Johnson et al.**, 1990; **Edwards et al.**, 1992; **Mazur et al.**, 1992; **Berggren et al.**, 1993; **Key et Mathers**, 1993). Ces AGV exercent plusieurs rôles importants au niveau du côlon ; parmi ceux-ci, le butyrate est reconnu comme substrat énergétique préférentiel pour le colonocyte (**Roediger**, 1980).

Les AGV sont donc directement utilisables par les cellules intestinales et exercent un rôle trophique sur la muqueuse. L'absorption du sodium par la muqueuse du côlon nécessite la présence des AGV; en outre, le sodium et les AGV sont absorbés de façon concomitante ;

les AGV influençant la motricité intestinale de façon variable. Dans ce sens, l'administration d'AGV dans l'iléum de chiens a augmenté les contractions péristaltiques et diminué le temps de transit (**Kamath et al.**, 1987) ; par contre, ils exerceraient un effet inhibiteur au niveau du côlon (**Kerley et Sunvold**, 1996). Par ailleurs, les AGV, et plus particulièrement l'acide acétique,

augmentent le débit sanguin et le prélèvement d'oxygène dans le côlon (**Kvietys et Granger**, 1981).

Aussi, la production d'AGV par la flore locale anaérobie induit une diminution du pH luminal et peut ainsi inhiber la croissance des bactéries pathogènes : les AGV pourraient donc jouer un rôle dans le processus de contrôle des dérives intestinales (**Fahey**, 1994).

En somme, les fonctions physiologiques des AGV sont nombreuses et responsables en grande partie d'un fonctionnement intestinal harmonieux.

3.2. Effets sur les ingestions; le poids et sur la digestibilité des nutriments

3.2.1. Effets sur les ingestions et l'évolution du poids

D'après **Krotkiewski** (1984), l'ingestion journalière de 20 g de gomme de guar provoque une diminution des ingestions due à une meilleure satiété. Ceci entraîne une diminution du poids alors que dans l'étude, il avait été demandé aux volontaires de ne pas modifier leurs habitudes alimentaires. D'autre part, selon **Duncan et al.** (1983), un régime riche en fibres insolubles, et donc de densité énergétique faible, entraîne une diminution spontanée des ingestions malgré une augmentation de la durée des repas. Les principaux mécanismes proposés pour expliquer la diminution des ingestions provoquées par les différentes fibres alimentaires au-delà du seuil de 30% de la matière sèche (MS) sont les suivants : appétit moindre, augmentation du temps de mastication avec les fibres insolubles, sensation de rassasiement plus rapide, augmentation du temps de transit gastrique et augmentation de la tolérance au glucose.

La diminution des ingestions va entraîner une diminution du poids corporel chez les adultes ou un ralentissement de la croissance chez les jeunes. Néanmoins, l'altération des digestibilités des nutriments peut aussi jouer un rôle non négligeable.

3.2.2. Effet sur la digestibilité des nutriments

Les données qui relatent les effets des fibres sur l'absorption et la digestibilité des nutriments proviennent soit d'expériences ponctuelles, soit d'études épidémiologiques. Les fibres purifiées ont été principalement étudiées pour leurs effets systémiques sur le métabolisme des lipides et l'absorption des minéraux et oligo-éléments tandis que les données épidémiologiques concernent principalement l'absorption du Fe et du Zn avec des régimes à haute teneur en fibres non purifiées (**Reinhold et al.**, 1966).

Les fibres alimentaires

Slavin et **Marlett** (1980) ont montré que l'ajout quotidien de 16 g de cellulose purifiée pendant 1 mois n'entraînait pas de diminution de la digestibilité des protéines et des lipides.

Par contre, la digestibilité apparente (DA) de l'énergie brute était significativement diminuée. Néanmoins, comme la perte d'énergie dans les fèces était due à la cellulose non digérée, les valeurs de la DA ont été corrigées et aucune différence significative n'est apparue. Les auteurs concluent donc que les effets des fibres sur le métabolisme de l'énergie dépendent de la composition et des propriétés physiques des sources de fibres utilisées et qu'il ne faut pas généraliser le concept que les fibres diminuent l'utilisation des nutriments. D'autre part, l'homme a généralement la possibilité d'augmenter ou varier ses ingestions pour compenser les éventuels déficits.

Les données concernant la DA des minéraux individuels sont contradictoires. Plusieurs études épidémiologiques ont mis en évidence des signes cliniques relatifs à des déficits en minéraux et oligo-éléments chez des populations rurales qui ingéraient des aliments très riches en fibres. Une étude contrôlée de 4 semaines a permis à **Behall** *et al.* (1987) de démontrer que la cellulose, la gomme de caroube ou de guar ne modifiaient pas la rétention apparente des minéraux et oligo-éléments. Les doses journalières de fibres étaient comprises entre 19 et 27 g et les apports en minéraux de la ration étaient calculés pour couvrir les besoins journaliers. Selon **Cummings** *et al.* (1979), une dose journalière de 36 g de pectines proposée pendant 9 semaines n'a pas modifié l'homéostasie du Ca chez l'homme.

Divers mécanismes ont été proposés afin d'expliquer les effets des fibres sur la DA des nutriments :

- L'augmentation du volume du digestat observée principalement avec les fibres insolubles provoquerait une accélération du transit peu propice à la digestion et à l'absorption efficaces des nutriments (**Burrows** *et al.*, 1982).
- La dilution des nutriments induite par les fibres alimentaires réduirait leur assimilation.
- Certaines fibres modifieraient l'activité des enzymes pancréatiques soit par un effet de liaison non spécifique ou par la présence d'inhibiteurs spécifiques (**Schneeman** et **Gallaher**, 1985, 1986). Chez le chien, l'incorporation journalière de 5 g de son de blé dans les rations a provoqué une diminution de l'excrétion de la lipase pancréatique après un mois (**Stock-Damgé** *et al.*, 1983).

Les fibres alimentaires

- Certaines fibres se lieraient aux acides biliaires (**Gallaher et Schneeman**, 1986) avec pour effet de diminuer la formation des micelles et donc l'absorption des lipides. Ce mécanisme est remis en question (**Langkilde et al.**, 1993).
- Les fibres solubles augmentent la viscosité du chyme, ce qui ralentirait la diffusion des enzymes et des nutriments vers les sites d'absorption (**Jenkins et al.**, 1978).
- Les fibres formeraient des complexes avec les minéraux avec pour conséquence une diminution de leur biodisponibilité (**Ward et Reichert**, 1986).
- Les fibres se lieraient aux acides aminés essentiels, ce qui contribuerait à diminuer l'utilisation des protéines (**Howard et al.**, 1986).
- Les fibres induiraient des changements morphologiques et histologiques des structures de l'intestin grêle, les processus de digestion et d'absorption seraient ainsi modifiés (**Cassidy et al.**, 1981; **Sigleo et al.**, 1984).

3.3. Effets sur le métabolisme glucidique

Plusieurs enquêtes épidémiologiques ont démontré que la prévalence du diabète sucré était fortement diminuée dans les pays en voie de développement où l'alimentation est constituée de produits céréaliers riches en fibres alimentaires. Inversement, la fréquence de l'obésité et du diabète sucré augmente parallèlement à la consommation en sucres raffinés qui va de pair avec une diminution de l'apport en fibres alimentaires. Les conclusions des enquêtes épidémiologiques ont suscité un grand intérêt si bien que plusieurs équipes à travers le monde ont étudié l'influence des fibres alimentaires sur le métabolisme glucidique. Les fibres ont été utilisées dans les régimes sous plusieurs formes.

L'incorporation d'aliments naturellement riches en fibres comme des fruits, légumes et céréales non raffinées pendant une période de 10 jours a provoqué une diminution de la glycémie postprandiale chez des patients diabétiques non insulino-dépendants (**Miranda et**

Horwitz, 1978) et a même permis de diminuer ou supprimer les injections d'insuline exogène de patients diabétiques insulino-dépendants (**Anderson et al.**, 1980). Dans cette expérience, les apports en fibres étaient respectivement de 11 et 34 g par 1000 Kcal pour le régime contrôle et le régime testé. Les glycémies à jeun des patients diabétiques étaient également modifiées : 152 mg/dl pour le régime enrichi en fibres contre 178 mg/dl pour le régime témoin.

Les fibres alimentaires

3.4.Effets sur le métabolisme lipidique et les sécrétions biliaires

3.4.1. Effets sur le métabolisme lipidique

Chez l'homme, l'hypercholestérolémie est reconnue comme un facteur de risque pour le développement des maladies coronariennes. Par conséquent, de nombreuses études ont été réalisées afin d'étudier les effets hypocholestérolémiants des fibres alimentaires. Certaines expériences ont été menées chez des individus sains et d'autres chez des patients hyperlipidémiques.

Les pectines présentent un effet hypocholestérolémiant proportionnel à la dose ingérée.

Cependant, la dose journalière doit être d'au moins 6 g (**Palmer et Dixon.**, 1966). En deçà, la cholestérolémie reste stable (**Frape et Jones**, 1995). Les pectines ne semblent pas modifier la triglycéridémie.

D'autres fibres solubles présentent également un effet hypolipidémiant. Citons la carboxyméthylcellulose, la gomme de karaya, la gomme de caroube. La cellulose et le son de blé (**Morgan et al.**, 1988) ne sont pas hypocholestérolémiants chez l'homme.

Les rations contenant des aliments à haute teneur en fibres telles que fruits et légumes ont également été étudiées (**Farrell et al.**, 1978; **Anderson et al.**, 1980; **Wisker et al.**, 1994). Les effets sur le métabolisme des lipides sont peu importants et assez difficiles à interpréter. En effet, des patients qui ingèrent de grandes quantités de légumes et de fruits ont tendance à diminuer spontanément leur ingestion quotidienne d'énergie, particulièrement sous forme de lipides. Dès lors, l'effet "fibres" est confondu avec l'effet "ingestion" et est difficilement interprétable.

En conclusion, l'effet hypolipidémiant observé chez l'homme est une propriété des fibres solubles dont les plus efficaces sont les pectines et la gomme de guar.

Après avoir passé en revue l'action des fibres alimentaires sur le métabolisme lipidique, il serait utile de comprendre leurs mécanismes d'action.

La solubilité d'une fibre permet dans une certaine mesure des fermentations dans le gros intestin. Par conséquent les produits de fermentation pourront jouer un rôle métabolique.

Néanmoins, la solubilité n'est pas synonyme de fermentabilité. Cette dernière est donc également une propriété particulière des fibres alimentaires.

Les fibres alimentaires

La viscosité est une caractéristique de certaines fibres solubles : la gomme de guar, les pectines, les xanthanes, la méthylcellulose. Ces fibres forment un gel et ralentissent l'absorption des nutriments et plus particulièrement du glucose. Néanmoins, la mesure de la

viscosité *in vitro* et *in vivo* ne permet pas de prédire la réponse glycémique postprandiale dans tous les cas (**Low et al.**, 1985). Selon **Topping et al.** (1988), les effets sur le métabolisme des stérols ne sont pas en rapport avec la viscosité des fibres.

Certaines fibres peuvent également déplacer le site d'absorption des lipides, probablement en modifiant l'activité de la lipase *in vivo* (**Gallaher et Schneeman**, 1985).

La capacité de rétention d'eau est aussi une propriété importante à considérer. Les fibres à forte capacité de rétention d'eau augmentent de façon significative le volume du contenu intestinal et provoquent une distension des parois du colon. Ceci peut donc également modifier la motricité de façon indirecte.

3.4.2. Effets sur les acides biliaires

L'effet hypocholestérolémiant de plusieurs fibres solubles comme la gomme de guar ou les pectines est actuellement bien établi chez l'homme. Dès lors, une des voies possibles pour expliquer cet effet passe par l'étude des acides biliaires. De nombreuses expériences *in vitro* et *in vivo* ont montré que certaines fibres alimentaires se liaient aux acides biliaires, et dès lors, rendaient ceux-ci indisponibles pour l'émulsion préalable des lipides avant leur absorption. Cette notion de liaison est actuellement discutée. Il s'agirait plutôt d'une "séquestration" des acides biliaires ou de certains lipides due à la viscosité des fibres. Un mécanisme physique est plus probable qu'une véritable liaison chimique (**Langkilde et al.**, 1993).

3.5. Intérêt dans le traitement diététique de l'homme obèse

Des pertes spontanées de poids (**Krotkiewski**, 1984) et de graisse corporelle (**Raben et al.**, 1995) ont été rapportées suite à l'ingestion de fibres solubles ou insolubles chez des patients obèses ou non obèses. De plus, l'ajout d'un supplément de fibres insolubles (**Solum et al.**, 1987; **Ryttig et al.**, 1989) ou mixtes (**Godi et al.**, 1992) provoque chez des patients obèses soumis à une restriction calorique modérée (1200 Kcal/jour) une réduction pondérale plus importante, en comparaison à un régime témoin. Dans une autre étude, il n'existe pas de différence de réduction pondérale (10 kg/4 semaines) entre les patients obèses recevant des fibres insolubles et des patients témoins soumis à une restriction calorique sévère (400 Kcal/jour) (**Astrup et al.**, 1990). Un autre facteur important chez l'humain est la motivation.

IV- Besoins et sources de fibres alimentaires

Chez les adultes et les adolescents, il est recommandé de consommer 25 à 30 g de fibres par jour. Pour les enfants, les recommandations sont « âge + 5 g », soit 10 g par jour pour un enfant de 5 ans, par exemple. (Martin, 2001). De plus, le Programme National Nutrition Santé (PNNS) recommande en consommant plus de glucides d'augmenter de 50 % la consommation de fibres (contenues dans les fruits, les légumes et les féculents, en particulier les légumes secs et les produits céréaliers complets)” (Programme National de la Nutrition et de Santé, 2002) (figure 13, tableau 17).



Figure 13: les aliments les plus riches en fibres (www.dole.fr)

Tableau 17: Teneurs en fibres (g/100g) de quelques aliments (Favier *et al.*, 1995)

Aliments	Fibres
Riz blanc cuit	0.5
Pâtes cuites	1
Tomate crue	1.2
Ananas	1.4
Orange	1.8
Abricot	2.1
Pomme avec peau	2.1
Brocoli cuit	2.7
Poireau cuit	2.7
Pain courant	3.5
Petits pois cuit	6.1
Pain complet	7
Dattes	7.1
Lentilles cuites	7.8
Figues	11
Son de blé	40-45

V- Méthodes d'analyse des fibres alimentaires

5.1. Méthode des fibres alimentaires de Prosky

La méthode des fibres alimentaires de Prosky (Prosky *et al.*, 1985 ; Prosky *et al.*, 1992) est basée sur des hydrolyses enzymatiques successives de la biomasse lignocellulosique afin d'extraire les molécules qui ne font pas partie des fibres alimentaires. Les fibres alimentaires sont quantifiées par gravimétrie.

La méthode de Prosky (Prosky *et al.*, 1985 ; Prosky *et al.*, 1992 ; Asp, 1995 ; Englyst *et al.*, 1996 ; McCleary *et al.*, 2002 ; FAO, 2007) commence par une extraction des lipides, si l'échantillon en contient plus de 10 % (p:p). Cette méthode permet d'extraire ou d'hydrolyser les mono/di/oligo-saccharides, les fructanes, les gommes, les mucilages, l'amidon non résistant (accessible et non résistant à l'hydrolyse par l' α -amylase pancréatique), le RS1 (amidon

Les fibres alimentaires

inaccessible physiquement à l' α -amylase pancréatique), le RS2 (amidon non gélatinisé et fortement résistant à l'hydrolyse par l' α -amylase pancréatique), les tannins solubles à pH neutre, les protéines hydrolysables par voie enzymatique et certaines cendres à l'aide de, successivement, une α -amylase thermotolérante à 100 °C pendant 30 min, une protéase à 60 °C pendant 30 min et une amyloglycosidase à 60 °C pendant 60 min. Les fibres alimentaires totales sont isolées par une précipitation à l'éthanol aqueux 78 % (v:v) suivie d'une filtration sur diatomite. Les fibres alimentaires totales insolubles sont ensuite rincées deux fois à l'éthanol aqueux 95 % (v:v) et deux fois à l'acétone. Les étapes de précipitation à l'éthanol, de rinçage à l'éthanol et à l'acétone extraient les lipides.

Les fibres alimentaires totales sont composées de cellulose, d'hémicelluloses, du RS3 (amidon gélatinisé et fortement résistant à l'hydrolyse par l' α -amylase), des pectines (sauf celles qui sont très hydrosolubles), des gommes (sauf celles qui sont très hydrosolubles), des mucilages (sauf ceux qui sont très hydrosolubles), de la lignine, des tannins insolubles à pH neutre, des protéines non hydrolysables par voie enzymatique et de cendres (**Prosky et al.**, 1985 ; **Prosky et al.**, 1992).

5.2. Méthode de dosage des polysaccharides non amylacés (N.S.P) d'Englyst

La méthode de dosage des polysaccharides non amylacés d'**Englyst et al.** (1994) extrait séquentiellement par voie enzymatique et chimique différentes molécules de la biomasse lignocellulosique qui ne font pas partie des polysaccharides non amylacés. Les polysaccharides non amylacés sont quantifiés par chromatographie et avec ou sans spectrophotométrie après hydrolyse acide.

La méthode des polysaccharides non amylacés (**Englyst et al.**, 1994 ; **Asp**, 1995 ; **Englyst et al.**, 1996) commence par une extraction des lipides, si l'échantillon en contient plus de 10% (p:p). Cette méthode permet d'extraire ou d'hydrolyser les mono/di/oligosaccharides, les fructanes, l'amidon non résistant, le RS1, le RS2, le RS3, les tannins solubles à pH neutre, les protéines hydrolysables par voie enzymatique et certaines cendres à l'aide, successivement, du diméthylsulfoxyde (DMSO) pendant 30 min à 100 °C, une α -amylase thermotolérante à 100 °C pendant 10 min et un mélange de pancréatine et de pullulanase pendant 30 min à 50 °C. Les polysaccharides non amylacés totaux sont isolés par une précipitation à l'éthanol aqueux 80 % (v:v) à pH 2 suivie d'une centrifugation.

Les polysaccharides non amylacés totaux insolubles sont ensuite rincés une fois à l'éthanol aqueux 85 % (v:v) acidifié, une fois à l'éthanol aqueux 99,5 % (v:v) et une fois à l'acétone. Les

Les fibres alimentaires

étapes de précipitation à l'éthanol, de rinçage à l'éthanol et à l'acétone extraient les lipides. Les polysaccharides non amylacés totaux sont composés de cellulose, d'hémicelluloses, des pectines (sauf celles qui sont très hydrosolubles), des gommages (sauf celles qui sont très hydrosolubles), des mucilages (sauf ceux qui sont très hydrosolubles), de la lignine, des tannins insolubles à pH neutre, des protéines non hydrolysables par voie enzymatique et de cendres.

Les polysaccharides non amylacés obtenus sont hydrolysés en monosaccharides à l'aide d' H_2SO_4 12 M pendant 30 min à 35 °C. De l'eau est ensuite ajoutée afin de diluer l' H_2SO_4 jusqu'à 2 M et de poursuivre l'hydrolyse des polysaccharides non amylacés en monosaccharides pendant 1 h à 100 °C. Les monosaccharides sont quantifiés soit par HPLC, soit par GC pour les monosaccharides neutres en les dérivant en acétates d'alditols et par spectrophotométrie pour les monosaccharides acides (acides uroniques) en les transformant en acide 5-formyl-2-furoïque. Cet acide est dosé après réaction avec du 3,5-diméthylphénol en faisant la différence entre l'absorbance à 450 nm et à 400 nm. La somme de tous les monosaccharides déterminés après hydrolyse correspond aux polysaccharides non amylacés (Englyst *et al.*, 1994).

5.3. Méthode des fibres alimentaires d'Uppsala

La méthode des fibres alimentaires d'Uppsala (Theander *et al.*, 1995) extrait séquentiellement par voie enzymatique à l'aide de, successivement, une α -amylase thermotolérante à 100 °C pendant 60 min et une amyloglycosidase à 60 °C pendant 6 h différentes molécules de la biomasse lignocellulosique qui ne font pas partie des fibres alimentaires.

Les fibres alimentaires obtenues sont hydrolysées en monosaccharides à l'aide d' H_2SO_4 12 M pendant 60 min à 30 °C. De l'eau est ensuite ajoutée afin de diluer l' H_2SO_4 jusqu'à 0,47 M et de poursuivre l'hydrolyse des fibres alimentaires en monosaccharides pendant

1 h à 125 °C. La solution est filtrée afin de récupérer les monosaccharides dans le filtrat. Les monosaccharides du filtrat sont quantifiés par GC en les dérivant en acétates d'alditols, alors que les monosaccharides uroniques (acides uroniques) sont quantifiés par spectrophotométrie selon le même protocole que dans la méthode des polysaccharides non amylacés.

Le résidu insoluble de filtration permet de quantifier par gravimétrie la lignine insoluble à pH acide avec les tannins insolubles à pH acide (présents en très faible quantité), qui forment ensemble la « lignine de Klason ». La lignine insoluble à pH acide et les tannins insolubles à pH acide sont volatilisés par calcination. Le résidu insoluble obtenu après calcination est

composé de cendres. La lignine insoluble en milieu acide et les tannins insolubles en milieu acide sont quantifiés par la perte de masse durant la calcination à 500 °C. La somme de tous les monosaccharides déterminés après hydrolyse et de la lignine de Klason correspond aux fibres alimentaires (**Theander et al.**, 1995). La quantification

des polysaccharides non amylacés prend en compte le facteur de conversion des polysaccharides en monosaccharides (gain d'une molécule d'eau par l'hydrolyse), à savoir 91 % pour les monosaccharides acides, 88 % pour les pentoses et les déoxyhexoses et 90 % pour les autres hexoses (**Theander et al.**, 1995).

5.3. Méthode alcaline de Selvendran

La méthode alcaline de **Selvendran et al.** (1985) extrait séquentiellement par voie chimique différentes fractions spécifiques de la biomasse lignocellulosique. Les polysaccharides structuraux sont quantifiés par chromatographie et par spectrophotométrie après hydrolyse acide. Cette méthode se démarque de celles décrites ci-dessus du fait qu'elle permet un fractionnement sélectif des polysaccharides structuraux (plus de deux polysaccharides structuraux) en fonction de leur nature.

Les polysaccharides de toutes les fractions obtenues et neutralisées sont caractérisés et quantifiés en suivant le même protocole que dans la méthode d'Uppsala, c'est-à-dire à partir de l'hydrolyse acide au H₂SO₄, 12 M (**Selvendran et al.**, 1985 ; **Eriksson et al.**, 1997)

5.4. Comparaison des méthodes globales d'analyse des polysaccharides structuraux des biomasses lignocellulosiques

- La méthode de **Prosky** extrait des fractions qui contiennent des polysaccharides structuraux, des polysaccharides non structuraux (mucilages, gommés et amidon RS3) et d'autres composés tels que la lignine, les tannins, les protéines et les cendres. Elle ne donne aucune information sur la structure (cellulose, hémicelluloses et pectines) et la composition en monosaccharides des polysaccharides structuraux isolés des fibres alimentaires. La seule information disponible par cette méthode est le caractère soluble ou insoluble des fibres alimentaires dans l'eau à pH neutre. Cette méthode est utilisée dans le domaine du dosage des fibres alimentaires en alimentation humaine.
- La méthode des polysaccharides **non amylacés** extrait des fractions qui contiennent des polysaccharides structuraux, dose la cellulose, quantifie les monosaccharides constituant les polysaccharides structuraux isolés et sépare les polysaccharides non amylacés solubles et insolubles dans l'eau à pH neutre. Elle ne permet pas de différencier les hémicelluloses, les

Les fibres alimentaires

pectines, les gommes et les mucilages dans les fractions extraites. Cette méthode est employée afin de doser les polysaccharides non amylacés sans ambiguïté.

- La méthode **d'Uppsala**, qui isole des fractions formées des mêmes constituants que celle de Prosky, quantifie les monosaccharides constituant les polysaccharides isolés. Dans la fraction insoluble, cette méthode dose la lignine de Klason. Elle ne permet pas de différencier la cellulose, les hémicelluloses, les pectines, les gommes et les mucilages dans les fractions extraites. Cette méthode est utilisée dans le contexte des fibres alimentaires en alimentation humaine.
- La méthode de **Selvendran** extrait sélectivement les pectines avec les mucilages et les gommes, les xylanes, les xyloglucanes, les mannanes et la cellulose. Les polysaccharides neutres peuvent être séparés des polysaccharides acides par une chromatographie d'échange d'anions. Elle permet de quantifier les monosaccharides constituant les polysaccharides structuraux isolés. Cette méthode extrait sélectivement les principaux types de polysaccharides structuraux et en caractérise la composition. Du fait du nombre important d'étapes d'extraction, l'analyse d'un échantillon est de longue durée, mais apporte une quantité d'information importante concernant les polysaccharides structuraux.

VI- Applications des fibres en technologie agro-alimentaire et en médecine

Les diverses propriétés physico-chimiques des fibres alimentaires ont permis de développer des applications nouvelles pour les industries agro-alimentaires ou le domaine médical. Suite aux modifications des habitudes alimentaires et à l'augmentation de la demande en produits prêts à consommer tels que les sauces ou les produits transformés à base de lait, les industries agroalimentaires sont développées des techniques d'incorporation des fibres purifiées. Dans le but de prévenir ou de traiter certaines pathologies chroniques comme l'obésité, la constipation, le diabète, il est courant d'ajouter des fibres dans les aliments classiques ou diététiques.

✓ Produits allégés :

Il s'agit d'un des principaux domaines d'application des fibres et notamment des fibres solubles. L'inuline constitue ainsi un très bon substitut de matière grasse. Par exemple, 3 à 5% d'inuline vont donner du corps et une sensation en bouche crémeuse à une sauce sans matière grasse. Les fibres insolubles sont, quant à elles, plutôt utilisées comme agent de charge peu calorique dans les préparations pour aliments de régime.

Les fibres alimentaires

✓ **Produits surgelés :**

Par leur pouvoir rétenteur d'eau, les fibres vont éviter les migrations d'eau lors de la congélation/décongélation des aliments et éviter la formation de cristaux de glace au cours du stockage.

Par exemple, l'utilisation de fibres insolubles (2% de la farine) améliore la stabilité des pâtes congelées à cuire.

✓ **Boissons :**

Dans les boissons rafraîchissantes sans alcool (BRSA), l'enrichissement en fibres peut être souhaitable pour des raisons nutritionnelles. Ces produits sont généralement acides et subissent un traitement thermique. L'inuline s'hydrolyse dans ces conditions et ne serait donc pas adaptée à cette application. Par contre, des fibres résistantes au pH et développant peu de viscosité comme les fibres de fruits (pomme, orange) ou d'acacia peuvent parfaitement être utilisées.

✓ **Produits céréaliers :**

Dans les produits secs et fragiles comme les gaufrettes, biscuits,... l'utilisation de fibres insolubles (2% de la farine) permet de réduire les risques de casse et fêlure (par exemple, pour renforcer la structure des cônes de glaces).

Dans les viennoiseries ou autres pâtes levées, ces mêmes fibres vont améliorer le volume des pains.

Dans les produits obtenus par cuisson-extrusion (snacks, crackers...), la combinaison de fibres en petite quantité à de l'amidon riche en amylose (type pois) réduit l'absorption d'huile et permet une bonne expansion.

Dans les pâtes alimentaires, l'utilisation d'inuline à la dose de 8% diminue le collant après cuisson et aide à maintenir la forme des pâtes.

✓ **Produits carnés :**

Les fibres insolubles, grâce à leur pouvoir de rétention d'eau, vont améliorer les rendements à la cuisson de nombreuses charcuteries (saucisses, pâtés,...). Les doses d'emploi peuvent aller jusqu'à 5% si les fibres sont assez neutres en goût (blé, par exemple).

De plus, la présence de fibres va améliorer la stabilité des émulsions.

Les fibres alimentaires

Dans les produits panés, les fibres d'avoine diminuent l'absorption des matières grasses tout en augmentant la fermeté et la croustillance de la panure.

✓ Produits laitiers :

Dans les produits laitiers (desserts gélifiés, crèmes glacées, yaourts,...), les fibres solubles sont indiquées pour plusieurs raisons :

- Leur effet prébiotique les destine tout particulièrement à ces applications,
- La combinaison fibre / protéines forme un gel puissant
- La sensation en bouche des produits est appréciée (notamment pour les produits allégés) (**Chene**, 2003).

1. Matériel végétal

1.1. Prélèvement des échantillons

Les échantillons proviennent de la station expérimentale de l'INRA de Touggourt ; ils ont été récoltés le 10 novembre 2008, au dernier stade de maturation Tamr.

Après les avoir débarrassés de leur impuretés, les échantillons sont conservés au congélateur à -18°C jusqu'au moment de l'analyse pour éviter les problèmes de modification de la structure des constituants, notamment celle des pectines (**Barbier**, 1980).



Figure 14: Variété Mech -Degla



Figure 15: Variété Haloua



Figure 16: Variété Degla-Beïda

1.2. Description et choix des variétés de dattes

Les variétés de dattes retenues dans cette étude sont très répandues dans les palmeraies de la région Sud-Est d'Algérie. Ce sont les variétés : **Degla- Beïda, Mech- Degla et Haloua (tableau 18).**

Tableau 18 : Récapitulatif des caractéristiques botaniques, morphologiques et technologiques des trois variétés de dattes choisies :

Nom vernaculaire	Haloua	Degla-Beïda	Mech-Degla
Sens du nom	Sucrée	Datte blanche	Datte qui n'est pas Deglet-Nour
Couleur	Brun clair	beige	Jaune orangé
Poids moyen	4g	7g	6.5g
Mensurations	2.5/1.5 cm	4.5/2cm	3.5/1.5 cm
Epicarpe	Confondu avec la chair, peu brillant, lisse, sans rides ni plis.	Epais et lisse	Ridé, peu brillant, et cassant.
Mésocarpe	De consistance sèche, peu charnu, et blanchâtre, sa texture est ligneuse dans sa partie interne	Charnu, de consistance sèche et de texture farineuse	Peu charnu, de couleur blanche, de consistance sèche et de texture farineuse
Calice	Voûté, brun, collant à la datte.	Collant de couleur jaune à orange, il	Se décolle facilement, vouté et de couleur

Matériel et méthodes

		est aplati	jaune paille.
Goût	Agréable, caramélisé	Fade	Très bon goût
Importance et répartition	Fréquente dans l'Oued-Righ et les Ziban	Abondante dans les oasis du Sud-Est	Abondante
Date de récolte	Début octobre	Octobre	Octobre-Septembre
Mode de conservation	Dans des sacs	En sac	En sacs ou régimes
Digestibilité	Datte froide	Datte à digestibilité difficile, gonfle l'estomac	Très digestible
Commercialisation	Importante	Importante, acheminée vers les pays de Sahel	Très importante, surtout dans le Nord du pays

1. Méthodes

2.1. Détermination de la teneur en eau du matériel végétal

Le taux d'humidité est défini comme le rapport de la masse totale d'eau de la biomasse sur la masse anhydre de la biomasse en question. La masse sèche de la biomasse a été déterminée avant le début de l'extraction sur la matière première et après l'obtention de chaque fraction de fibres selon la norme **AFNOR** (V- 03- 707 ISO 712, 1989).

2.2. Extraction des fibres alimentaires des trois variétés de dattes

2.2.1. Préparation du Matériel Insoluble dans l'Alcool (M.I.A.)

- Peser 50g de dattes décongelées, dénoyautées, et découpées en petits cubes d'environ 5mm de côté ;
- Dans un bain-marie, placer un bécher contenant 250ml d'éthanol à 95%, ce dernier est porté à ébullition puis les 50g de dattes sont additionnés
- L'ébullition est maintenue pendant 20min avec une homogénéisation manuelle. (Thomas, 2001);
- L'ensemble alcool- prise d'essai est refroidi à température ambiante, puis broyé pendant 5min.
- Le broyat est ensuite transvasé dans un creuset en verre fritté n° 2, puis filtré sous vide ;
- Le résidu est lavé plusieurs fois à l'éthanol 70% jusqu'à élimination des glucides dans le filtrat ;
- Le résidu (M.I.A) est ensuite séché par échange de solvants (éthanol 95%, 3 fois ; acétone, 3 fois), puis conservé dans une étuve à 40°C pendant 4 jours, puis peser (**figure 17**)(Thomas, 2001).

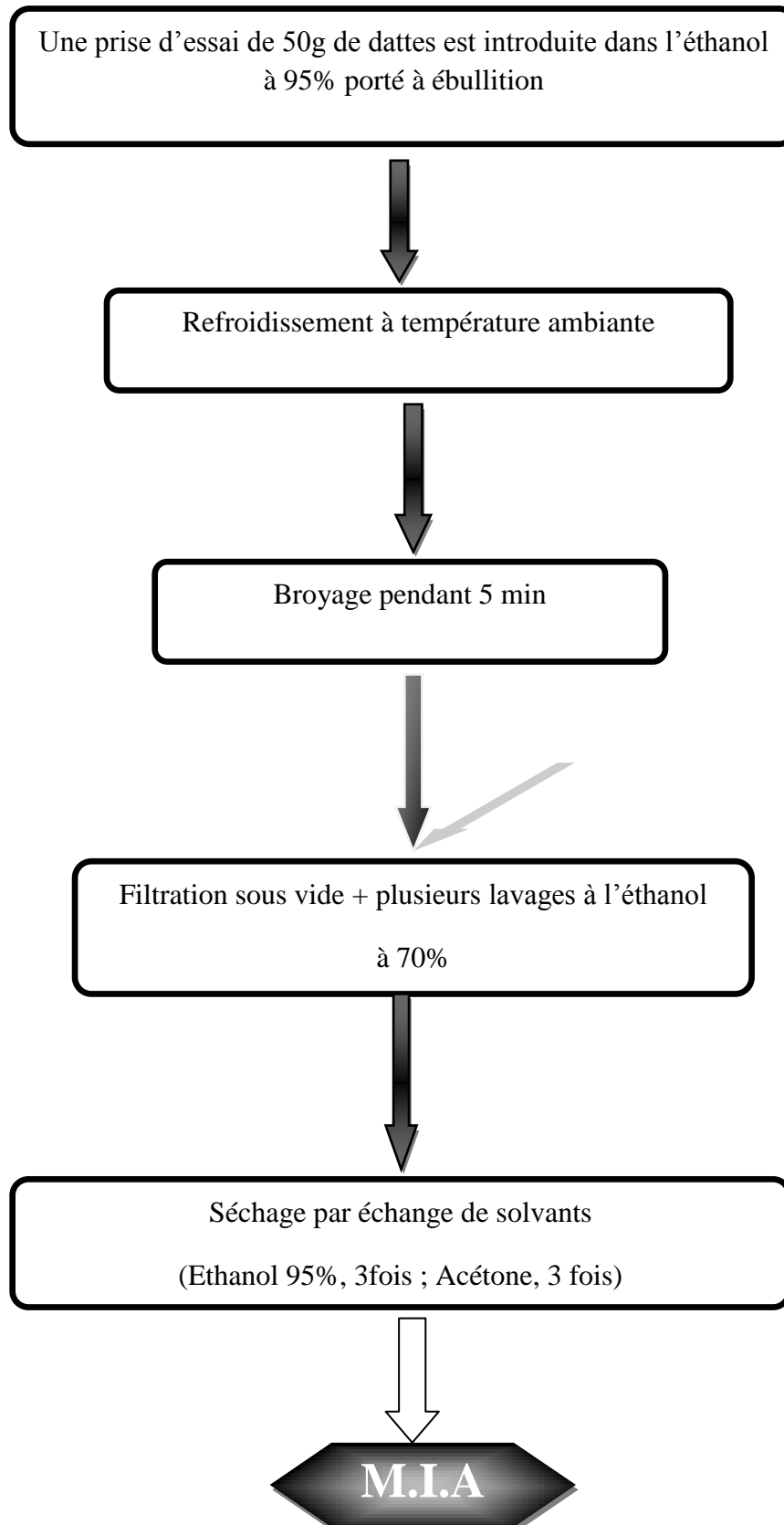


Figure 17 : Préparation du Matériel Insoluble dans l'Alcool (M.I.A).

2.2.2. Dosage des cendres du M.I.A.

La détermination du taux de cendres (*ash content*) est basée sur l'élimination des matières organiques d'un échantillon de matériau par calcination à une température définie durant un temps donné (NF V 05-113, 1972).

2.2.3. Dosage des protéines du M.I.A.

La teneur en azote a été dosée par la méthode de **Kjeldahl** (NF V 04-211, 1971 AFNOR, 1999)

La teneur en protéines est calculée à partir de la teneur en azote multipliée par le coefficient 6.25 et rapporté à la matière sèche.

2.2.4. Dosage des lipides du M.I.A.

La méthode d'extraction par le mélange chloroforme-méthanol a été utilisée (**Folch, Lees et Stanley, 1957; Bligh et Dyer, 1959**). Cette méthode est préférable quand l'extrait est utilisé pour mesurer les acides gras et les stérols (**Shepherd et al., 1974**) ; elle est efficace pour les aliments complexes et fait partie des méthodes officielles AOAC.

A 2g de MIA sont ajoutés 10ml de méthanol, 5ml de chloroforme et 4ml d'eau distillée.

Après une agitation pendant 5min, 5ml de chloroforme sont ajoutés. Après une autre agitation pendant 30 secondes, le mélange est centrifugé pendant 30 min à 5000g ; la phase chloroformique est prélevée et le solvant est évaporé sous vide.

La quantité des lipides est déterminée par gravimétrie.

2.3. Fractionnement des fibres alimentaires

Les fibres alimentaires sont extraites du M.I.A par une séquence d'agents chimiques (principalement par de l'eau, de l'acide dilué et d'une base diluée) inspirée de la méthode décrite par **Sun et al. (1998)** dans le fractionnement des fibres d'Abaca (**figure 18**).

Pour faciliter l'hydrolyse des différentes fractions qui sont fortement liées aux parois cellulaires et afin de libérer les fibres alimentaires, un prétraitement de la matière première avant l'hydrolyse est réalisé.

Matériel et méthodes

Le M.I.A. est additionné à l'eau tiède ($T= 50^{\circ}\text{C}$) (rapport poids/ volume = 1/50). Après 2h de réaction, la fraction fibres est isolée du matériel soluble dans l'eau tiède par filtration sous-vide sur verre fritté n° 2.

Le résidu final est séché à l'étuve à 50°C durant toute une nuit puis pesé pour obtenir la **fraction1**.

2.3.1. Extraction des substances pectiques totales

Les substances pectiques solubles sont obtenues à partir de la **fraction 1** par addition de l'acide chlorhydrique (HCl) dilué ($\text{pH}=1,6$) avec un rapport poids/volume =1/50 à 85°C pendant 4h. Après filtration sur verre fritté n°2, le filtrat est concentré dans un évaporateur rotatif et les pectines sont précipitées avec 4 volumes d'éthanol à 95 % et puis récupérées par centrifugation et/ou filtration et lavées deux fois à l'éthanol à 70 %, les pectines ainsi obtenues sont étuvées à 40°C pendant 24h.

Le résidu est séché à l'étuve à 50°C durant une nuit puis pesé pour obtenir la **fraction 2** (fraction libérée des pectines).

2.3.2. Extraction des lignines

La délignification est exécutée en ajoutant dans le soluté acide (fraction2) le chlorure de sodium (1M, rapport poids/volume =1/50) qui a été ajusté avec de l'acide acétique 10 % jusqu'à obtention d'un pH compris entre 4,2 et 4,7. Après 2 heures de réaction à 75°C , le résidu obtenu nommé **fraction 3** est filtré sur un tissu en nylon et lavé intensivement à l'eau et à l'éthanol, puis séché dans un verre fritté n°2 à 50°C pendant 16 heures.

La lignine récupérée du 1^{er} filtrat, par une re-filtration sur un verre frité n°2, est séchée à l'air libre.

2.3.3. Extraction des hémicelluloses

Pour éviter la rupture de certaines liaisons glycosidiques (arabinofuranosidiques, en particulier), les hémicelluloses ont été extraites par une hydrolyse alcaline.

La préparation hémicellulosique (**fraction4**) est obtenue par extraction pendant 2h, à 20°C , avec NaOH 17,5% à partir du résidu délignifié (rapport 1g de résidu/38ml de NaOH 17,5%).

Les hémicellulose extraites sont séparées du résidu par filtration. Le pH du filtrat est ramené à 5,5 en utilisant HCl à 20% puis le filtrat est concentré à pression réduite et à une température

Matériel et méthodes

de 100°C dans un évaporateur rotatif. Le concentrat ainsi obtenu est ensuite précipité avec 5 volumes d'éthanol à 95%.

Les hémicelluloses précipitées sont filtrées, lavées à l'éthanol à 70%, puis séchées à l'air libre.

2.3.4. Obtention de la cellulose

Après séchage dans une étuve à 50°C durant toute une nuit, le résidu libéré des hémicelluloses est pesé et nommé **fraction 5**.

La **fraction 5** est lavée intensivement à l'eau jusqu'à ce que l'éluant soit neutre (en utilisant la phénophtaléine) puis à l'éthanol à 95% et enfin séchée à 60°C pendant 16h.

Après correction par la teneur en cendres, la masse sèche est considérée comme étant de la cellulose (**fraction 6**).

La **figure 18** récapitule les différentes étapes de fractionnement des fibres (Sun *et al.*, 1998).

Materiel et méthodes

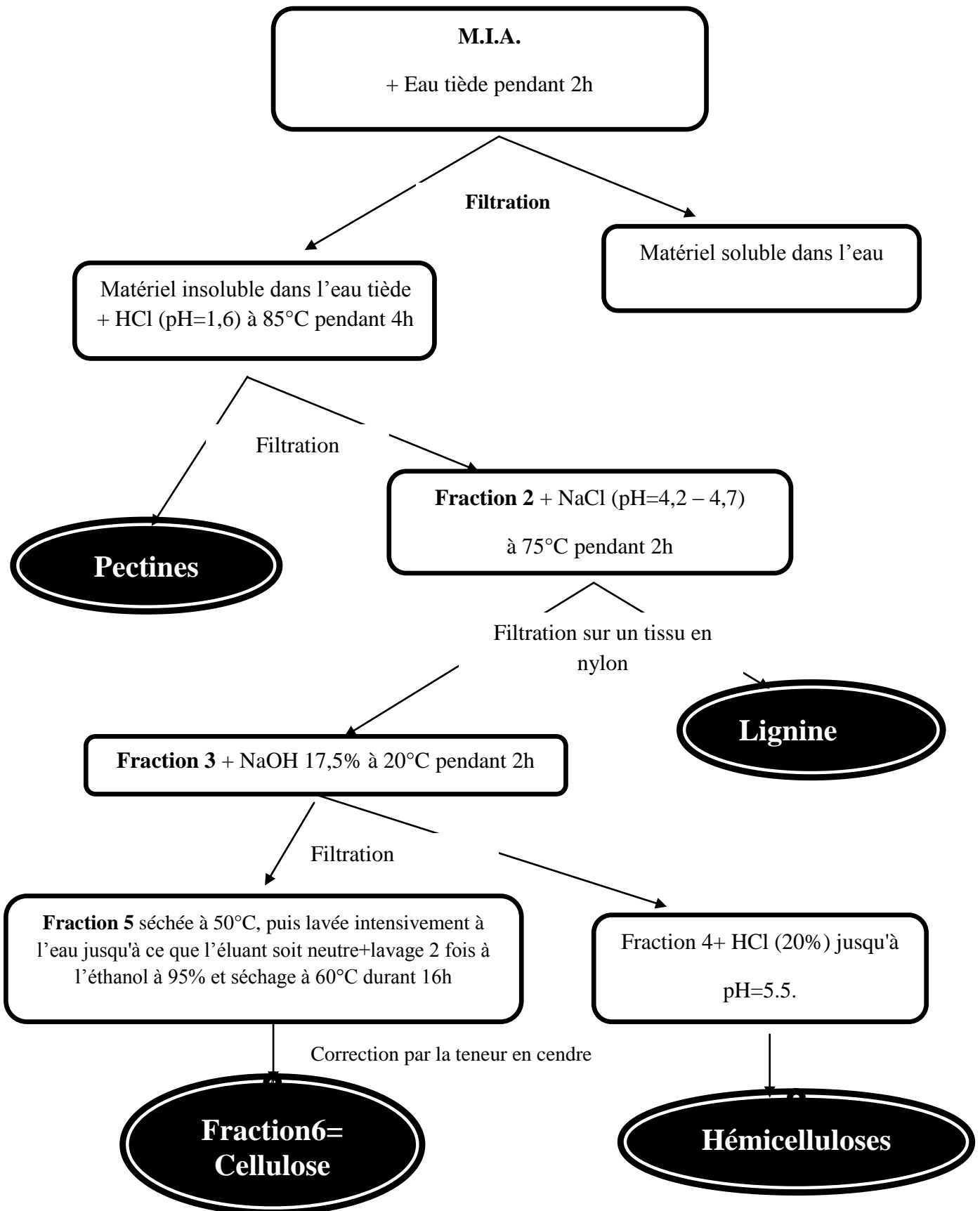


Figure 18: Méthode de fractionnement des fibres (Sun *et al.*, 1998).

2.4. Caractérisation des fibres

2.4.1. Dosage de l'acide galacturonique

Les acides uroniques sont mesurés par la méthode au méthyldiphényle (M.H.D.P) de **Blumenkrantz et Asboe-Hansen (1973)** avec l'acide galacturonique comme standard.

2.4.1.1.Principe :

Le dosage de l'acide galacturonique est basé sur la réaction suivante :

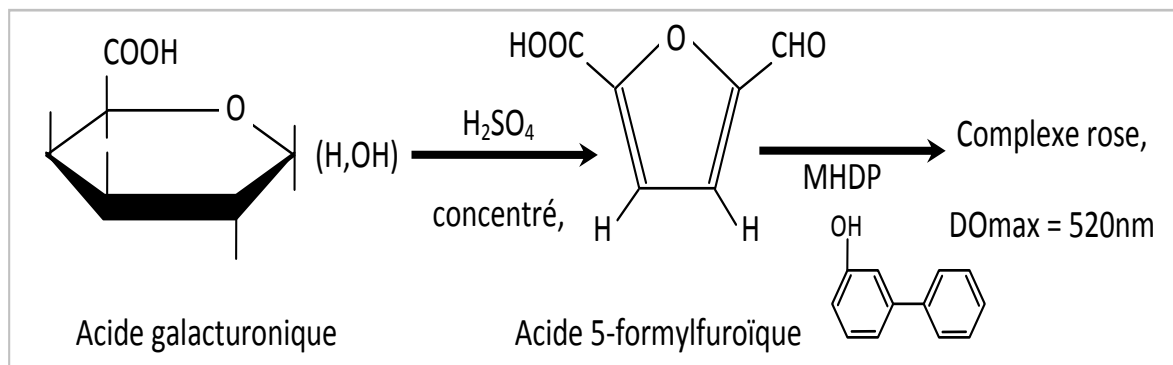


Figure 19: Principe de dosage des acides uroniques par colorimétrie.

Après saponification à la soude, les solutions à doser sont hydrolysées par l'acide sulfurique concentré. Celui-ci a pour effet d'aboutir à la formation de dérivés furfuriques qui réagissent ensuite avec le M.H.D.P pour donner un complexe coloré caractéristique de l'acide galacturonique. Dans le cas de cet acide, le dérivé furfurique est l'acide 5- formyl- furoïque ; l'intensité de la coloration étant proportionnelle à la concentration en acide galacturonique de façon linéaire entre 0 et 100 $\mu g/ml$.

2.4.1.2. Mode opératoire

- Solutions à doser : 0,25 g de chaque fraction de fibre sont dissouts dans 100ml d'eau distillée sous agitation pendant une nuit. Les solutions ainsi préparées sont préalablement déstérifiées par le même volume de NaOH 0,1N pendant 30 minutes à température ambiante puis neutralisées par 2 volumes de HCl N/20.
- M.H.D.P: On fait dissoudre 0,04g de M.H.D.P dans 100 ml de NaOH N/10, on conserve ensuite la solution à 0 °C dans un flacon fermé hermétiquement.
- Dosage : On verse dans un tube à essai en pyrex 1 ml de solution pectique à 0,25 % dont la concentration en acide galacturonique est comprise entre 0 et 100 $\mu g/ml$.

Matériel et méthodes

- Dans un tube à essai, sont ajoutés 6 ml d'acide sulfurique concentré qui subissent une agitation dans un vortex puis sont recouverts d'un bouchon non hermétique. Le mélange est, ensuite, chauffé dans un bain-marie à 85 °C pendant 5 min.
- Après refroidissement dans un bain de glace, 1 ml de réactif M.H.D.P est ajouté. On effectue une agitation au vortex et on attend le développement de la coloration pendant 25 minutes.
- Pour préparer la gamme étalon, on verse 120, 5 mg d'acide galacturonique en poudre dans un flacon de 100 ml. On fait ensuite dissoudre cette quantité d'acide dans 0,5 ml de NaOH 1N puis on complète à 100 ml avec l'eau distillée. Cette solution contient 100 µg d'acide galacturonique / ml. On prépare une gamme étalon à 20, 40, 60, 80, 100 µg / ml.

La lecture est effectuée au spectrophotomètre à 520 nm contre un blanc qui subit le même traitement que l'échantillon, mais au lieu d'ajouter 1ml de réactif M.H.D.P. on ajoute 1ml de NaOH à 0,125N.

On détermine la teneur en acide galacturonique à l'aide de la courbe étalon préalablement établie.

La teneur en acide anhydrogalacturonique est donnée par la loi suivante :

$$A.A.G = p \times d \times DO_{520} \times 0,91$$

Où:

- p : la pente de la courbe étalon ;
- d : le facteur de dilution de l'échantillon ;
- 0,91 : le coefficient correctif de l'acide galacturonique / l'acide anhydrogalacturonique.

2.4.2. Dosage des oses neutres par C.P.G.

L'analyse de la composition en oses neutres a été réalisée selon la méthode **OIV-MA-AS311-06** (2006) avec quelques modifications utilisant les dérivés triméthylsilylés. Cette méthode est très souvent employée du fait de la stabilité au choc thermique des composés apolaires formés et de leur bonne résolution chromatographique. Dans ce cas, chaque monosaccharide modifié sera identifié sous la forme d'un pic.

2.4.2.1.Principe

Les sucres sont des substances trop peu volatiles pour permettre une chromatographie en phase gazeuse directe. Ils doivent subir un traitement afin de leur donner cette propriété : il est nécessaire de les transformer en esters silylés. Cette transformation est effectuée en les traitant, préalablement dissous dans un solvant approprié, par un réactif remplaçant tous les groupements - OH, par des groupements - Si - (CH₃). La silylation des sucres est réalisée classiquement par l'hexaméthylidisilazane (CH₃)₃Si-NH-Si(CH₃), dans la pyridine (C₅H₅N). Cette réaction est très sensible aux traces d'humidité et les hydrolysats doivent être évaporés à siccité avant d'effectuer la réaction d'estérification. L'eau, présente en faible quantité dans les échantillons traités, ne gêne pas la réaction lorsque celle-ci est catalysée par l'acide trifluoroacétique

2.4.2.2.Réactifs

Mélange silanisant donné à titre d'exemple :

- Hexaméthylidisilazane (HMDS) pur
- Anhydride trifluoroacétique (TFA) pur
- Pyridine pure
- Eau distillée
- Produits purs pouvant être utilisés pour préparer les solutions d'étalonnage notamment : glucose, arabinose, galactose, mannose, xylose, rhamnose.

2.4.2.3. Matériels et appareillage

- Pipettes de laboratoire de 1 ml graduées au 1/10 de ml
- Poire pro pipette
- Seringue de 100 µl

Matériel et méthodes

- Tubes à vis de 5 ml de capacité pouvant être fermés par un bouchon à vis muni d'une capsule d'étanchéité à face téflonisée.
- Chromatographe en phase gazeuse équipé d'un détecteur à ionisation de flamme et d'un injecteur fonctionnant en mode "split" : division de 1/30 à 1/50 de volume injecté (2 µl)
- Colonne capillaire polaire D.B.23 longueur 30m (Phase stationnaire polaire Cyanopropyl méthylpolysiloxane, diamètre=0.25mm, épaisseur du film de phase stationnaire 0.2 µm)
- Seringue d'injection de 10 µl.
- Bain à ultra-sons
- Sorbonne de laboratoire.

2.4.2.4.Préparation de l'échantillon

75mg de polysaccharides sont placés dans le tube à vis.

Placer les tubes contenant l'échantillon de même que les réactifs dans la sorbonne.

A l'aide de pipette et de propipette, ajouter dans le tube successivement 0,20 ml de pyridine, 0,7 ml de HMDS et 0,1 ml de TFA.

Fermer hermétiquement le tube à l'aide de son bouchon puis placer le tube dans le bain à ultrasons durant 5 min afin d'obtenir une dispersion complète du résidu sec.

Placer le tube dans un four à 60 °C durant 2 heures afin d'opérer la substitution totale des hydrogènes des hydroxyles ou des acides par des groupes triméthylsilylés (TMS).

Remarque : il ne doit subsister qu'une seule phase après chauffage sinon cela signifie qu'il reste de l'eau dans le tube ; de même qu'il ne doit pas y avoir de dépôt brunâtre ; ce qui indiquerait un excès de sucre non dérivé.

2.4.2.5.Injection en chromatographie en phase gazeuse

Placer le tube refroidi dans la sorbonne, prélever 2 µl à l'aide de la seringue. Injecter dans le chromatographe en mode "split" (division permanente)

Le gaz vecteur est de l'azote (2ml min⁻¹). L'injecteur est maintenu à 240 °C alors que la température du four est programmée à 150 °C pendant 5 min puis à 250 °C pendant 10 min à raison de 5 °C min⁻¹.

Pour identifier et quantifier chaque ose, les temps de rétention et les coefficients de réponse ont été calculés à l'aide d'un mélange d'oses standards et les résultats sont exprimés en % de la M.S.

2.4.3. Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux par la méthode utilisant le réactif de Folin Ciocalteu a été décrit (1965) par **Singleton** et **Rossi** (1965).

a. Principe

La méthode fait appel à un mélange d'acides phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et d'acide phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$) qui est réduit lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleus de tungstène et de molybdène (W_8O_{23}) (**Ribereau-Gayon et al.**,1976). La coloration bleue produite possède une absorption maximum à 760 nm, cette coloration est proportionnelle aux taux de composés phénoliques.

b. Mode opératoire

Dans une fiole Jaugée de 20 ml, on introduit :

- La solution de fibres de dattes (0,2 ml) ;
- Réactif de Folin Ciocalteu (1 ml) ;
- Le bicarbonate (CO_3Na_2) à 4,25% (quantité suffisante pour 20 ml).

On prépare dans les mêmes conditions un témoin avec de l'eau distillée à la place de la solution de dattes puis on porte au bain-marie à 70°C pendant 20 minutes. Après refroidissement on détermine la densité optique à 760 nm par rapport au témoin. L'indice de Folin Ciocalteu est exprimé en degré ou en gramme d'acide gallique/l, on peut utiliser une gamme-étalon établie dans les mêmes conditions avec de l'acide gallique (0 à 1 g/l) ou de la D-catéchine.

2.4.4. Dosage des polyphénols

Les composés phénoliques dans les polysaccharides des dattes sont déterminés par la chromatographie liquide haute performance (H.P.L.C.) selon la méthode d'*Alasalvaret al.* (2005) avec quelques modifications.

Un échantillon de 0.5g est pesé avec précision et mis dans un tube brun de 30ml. Puis 20ml d'un mélange de méthanol et d'acide acétique à 10% (85 :15,v/v) sont ajoutés. La mixture est agitée pendant 5min et ultrasonée pendant 30min. Ensuite, 5ml d'eau distillée et 5ml de NaOH 5M ont été ajoutés dans le tube à essai qui subit une agitation magnétique pendant 4h. La solution est ensuite ajustée à pH=2 avec HCl 0.1N et les polyphénols libérés sont extraits 3fois par 20 ml d'un mélange d'acétate d'éthyl et d'éther diéthylique (1 :1 , v/v). Après décantation, les trois couches sont combinées et évaporées sous vide et l'extrait est dissout dans 2ml de méthanol.

Le dosage chromatographique est effectué, après filtration du soluté, dans un :

- appareil HPLC : thermo Finnigan sous les conditions suivantes :

- pompe : Spectra system (P 100xR)
- Detecteur UV Spectraserie UV100
- Colonne DBS C8 (150X4.6mm, 3u HYPersil).
- Longueur d'onde 300nm.
- Solvant : acide phosphorique à pH= 2.5 (solution A) et acétonitrile (solution B).
- Gradient linéaire : 80% A et 20% B pendant 5-55mn.
- Débit 0.4ml/min
- Injecteur 20ul
- Intégrateur automatique par microordinateur.

10 composés phénoliques standards sont utilisés pour l'identification et le temps de rétention de chaque composé est utilisé pour déterminer approximativement la teneur des composés phénoliques dans les échantillons

1. Teneur en eau

La **figure 20** illustre la teneur en eau des trois variétés de dattes (Degla-Beïda, Haloua, et Mech-Degla).

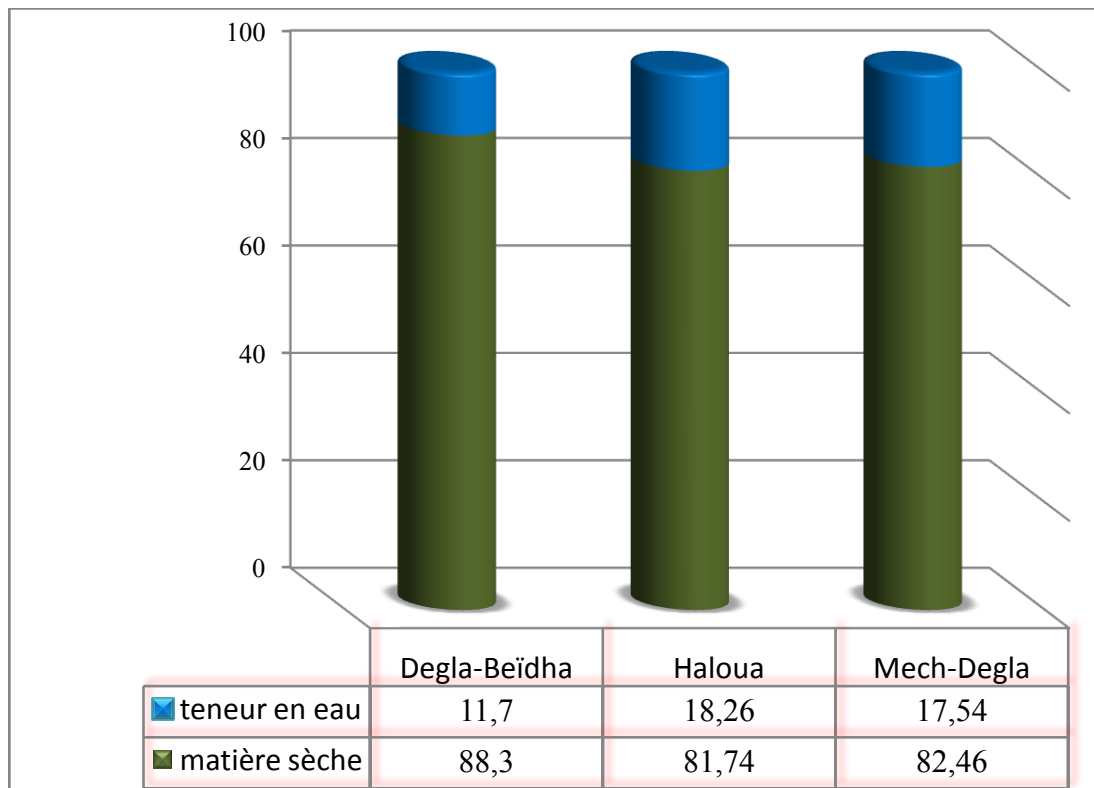


Figure 20: Teneur en eau des variétés de dattes.

Les teneurs en eau des variétés Degla-Beïda, Haloua et Mech-Degla sont, respectivement, de 11,70%, 18,26%, et 17,54% ; la variété Haloua enregistre la teneur en matière sèche la plus élevée.

Il est à rappeler que la teneur en eau détermine la consistance de la datte. En effet,

Mustafa et al., (1986) se basent sur la texture du fruit mûr pour classer les variétés de datte en trois catégories : molle, demi-molle et sèche.

Ainsi, les dattes molles possèdent un taux d'humidité supérieur à 30 % et pas de saccharose ; les dattes demi-molles un taux d'humidité compris entre 20 et 30 % et un niveau élevé de saccharose tandis que les variétés sèches contiennent moins de 20 % d'humidité.

Donc, sur la base de ces travaux, les trois variétés de dattes étudiées peuvent être classées dans la catégorie des dattes sèches.

Résultats et discussions

Ces résultats sont en accord avec ceux d'**Açourene** et **Tama** (1997) qui ont trouvé des teneurs en eau de 14,75% pour Degla-Beïda et de 15% pour Mech-Degla, et ceux d'**Al-Hooti** et *al.* (1992) pour des variétés égyptiennes à savoir 16,3%, 12,8%, 12,8%, et 12.6% pour Bushibal; Habash; Lulu et Shalatoutes, respectivement.

Par ailleurs, **Giddey** (1982), **Gatel** (1982) et **Multon** (1991) classent les dattes dans la famille des aliments à humidité intermédiaire dont la conservation est aisée pour des longues périodes de stockage à température ambiante sachant que la datte est caractérisée par une teneur en eau inférieure à 40%. Dans cette zone d'humidité, précisent les mêmes auteurs, les activités de l'eau (a_w) inférieures à 0,9 sont susceptibles d'inhiber la croissance microbienne.

Au même titre, **Al-Shaarawy** *et al.* (1989) indiquent que toutes les variétés de dattes présentent une chute d'humidité durant la maturation et sa valeur pendant le stade Tamar est inversement proportionnelle à l'élévation du taux de sucres totaux.

2. Teneur en M.I.A.

La teneur en fibres de la datte est déterminée à partir du M.I.A qui permet d'isoler et de purifier les parois des végétaux lorsque ces dernières sont relativement pauvres en protéines, amidon, polyphénols. En effet, le traitement à l'alcool bouillant permet d'inactiver les enzymes pouvant dégrader les polysaccharides pariétaux (pectine, cellulose, hémicellulose, lignine) tout en éliminant les composés alcool-solubles (sucres, acides aminés, pigments, sels, etc.) (**Massiot**, 1988).

La **figure 18** et le **tableau 19** donnent l'aspect et la teneur en M.I.A des trois variétés de dattes au cours du dernier stade de maturation (stade Tamar).



Figure 21: M.I.A. des trois variétés de dattes

Tableau 19: Teneur en M.I.A des variétés de dattes au stade mûr.

Variété	M.I.A (g MF)	Teneur en MS (%) du M.I.A	Rendement en M.I.A	
			%MF	%MS
Degla-Beïda	12,60	89,72	25,2	28,53
Haloua	11,85	89,37	23,7	28,99
Mech-Degla	13,09	87,38	26,18	31,74

A priori, il apparaît que la variété Mech-Degla montre le rendement le plus important, soit 31,74% MS, comparé à celui de la variété Haloua (28,99% MS) et à celui de la variété Degla-Beïda (28,53% MS).

A titre d'exemple, **Thomas et al.** (2000) ont obtenu un rendement en M.I.A. de 33% M.S. pour le fruit du cognassier du Japon (*Chaenomelesjaponica*), alors que ceux obtenus par **Renard et al.**, (1991) et **Massiot et al.** (1994) pour la pomme, se situent autour de 12,6% MS.

Il est à noter que les teneurs obtenues sont inférieures à celles rapportés par **Meftah et Saadi** (1992) pour les variétés Ghars (31,04%) et Deglet-Nour (34,60%).

Résultats et discussions

Dans ce sens, la teneur élevée en M.I.A de la datte peut s'expliquer par sa richesse en fibres totales (pectine, cellulose, hémicellulose et lignine) (Meftah et Saadi, 1992).

Par ailleurs, Boudah et Hamrani (2001) constatent que la teneur en M.I.A (% MS) diminue du stade kimri au stade Routab au cours de la maturation.

El-Zoghbi (1994) attribue cette diminution de la teneur en M.I.A. à la conversion des composés pariétaux (pectines, celluloses, lignines) en composés solubles dans l'alcool.

a. Teneur en cendres du M.I.A.

La teneur en cendres du M.I.A. des trois variétés de dattes au stade mûr est donnée dans le tableau 20.

Tableau 20 : Teneur en cendres du M.I.A. des variétés de dattes au stade mûr

Cendres	Degla-Beida	Haloua	Mech-Degla
% MF du M.I.A.	0,045	0,053	0,056
% MS du M.I.A.	0,050	0,059	0,064

Le taux de cendres représente la quantité totale en sels minéraux présents dans un échantillon. Les cendres représentent 2% du poids à l'état frais des dattes mûres (Cleveland et Fellers, 1932).

Le traitement successif du M.I.A. des trois variétés de dattes par l'eau, l'éthanol et l'acétone a permis d'éliminer les cendres de la pulpe (cf. Tableau 20).

b. Teneur en protéines du M.I.A.

La teneur en protéines du M.I.A. des trois variétés de dattes au stade mûr est donnée dans le tableau 21.

Résultats et discussions

Tableau 21 : Teneur en protéines du M.I.A. des variétés de dattes au stade mûr.

Protéines	Degla-Beida	Haloua	Mech-Degla
% MF du M.I.A.	0,017	0,011	0,021
% MS du M.I.A.	0,018	0,012	0,024

La pulpe de datte ne renferme qu'une faible quantité de protéines. De nombreuses analyses rapportées par différents auteurs ont montré que les matières protéiques représentent environ 2% (**Ghazi et Teffahi, 2007**).

Selon les résultats du **tableau 21**, l'extraction du M.I.A. n'a laissé qu'une faible quantité de protéines, soit des traces.

c. Teneur en lipides du M.I.A.

La teneur en lipides du M.I.A. des trois variétés de dattes au stade mûr est donnée dans le **tableau 22**.

Tableau 22 : Teneur en lipides du M.I.A. des variétés de dattes au stade mûr

Lipides	Degla-Beida	Haloua	Mech-Degla
% MF du M.I.A.	0,016	0,029	0,026
% MS du M.I.A.	0,017	0,032	0,029

La datte mûre ne contient que peu de lipides, quelle que soit la variété considérée. Celle-ci est concentrée dans la peau (2,5 – 7,5%) et joue un rôle physiologique contre l'évaporation de l'eau (**Barreveld, 1993**) alors que dans la pulpe, leur concentration est très faible et varie entre 0,06 – 1,9% de la matière fraîche (**Cleveland et Fellers, 1932 ; Ahmed et al., 1995**).

Dans ce sens, il apparaît que la plus grande quantité de lipides a été dissoute par l'acétone et l'éthanol, qui sont considérés comme des solvants organiques.

3. Quantification des fractions de fibres

a. Teneur en pectines

La **figure 22** et le **tableau 23** donnent l'aspect et la teneur en pectines des trois variétés de dattes.

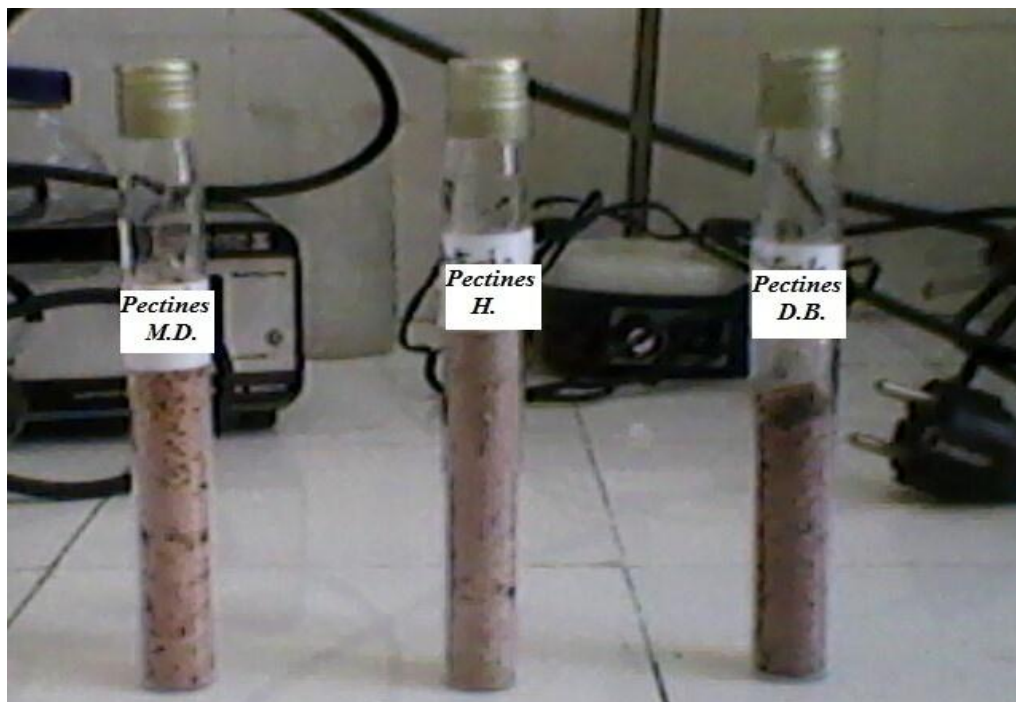


Figure 22 : Pectines des trois variétés de dattes

Tableau 23 : Teneur en pectines des variétés de dattes.

	Poids (g)	% M.S.	% MS du MIA	pour 100g de dattes sèches(g)
Degla-Beida	3,37	83,23	4,14	1,18
Haloua	4,04	81,47	3,55	1,02
Mech-Degla	6,06	83,65	4,59	1,45

A priori, 100g de M.I.A. sec donnent 4,14% de pectines pour la variété Degla-Beida, 3,55% pour la variété Haloua et 4,59% pour la variété Mech-Degla. Dans ce sens, la fraction de pectines de la pulpe de la variété Mech-Degla en fait une source pouvant couvrir les besoins du corps en pectines.

Résultats et discussions

Ces résultats confirment ceux trouvés par **Hussein et al.** (1975) qui ont obtenu des teneurs en pectines égales à 1,8%, 1% et 1,1% de la M.S. pour trois variétés de dattes saoudiennes Jawa, Bentamoda, et Mirshrig, respectivement.

Le rendement en substances pectiques est conforme à celui d'une précédente étude sur les polysaccharides pectiques de la paille du blé (1,1% de la M.S.) extraite avec une solution aqueuse d'acide chlorhydrique dilué (pH=1,6 ; 85°C, 4h) (**Sun et al.**, 1998-a). Toutefois, ce rendement est bien inférieur à celui rapporté pour le matériel pectique isolé à partir de fibres de lin, soit 10 à 15% de pectines isolées avec l'oxalate d'ammonium (Ca^{+2} , chélateur) (McDougall, 1993).

D'autres études ont montré que les substances pectiques sont particulièrement associées à la lamelle moyenne de la cellule des parois de fibres et que leur élimination partielle par le processus de rouissage permet aux faisceaux de fibres de se séparer des cellules environnantes (McDougall, 1993).

Par ailleurs, **Ramulu et Udayasekhara** (2003) ont trouvé 0,3g de pectines dans 100g de pastèque et 2,4g dans 100g de figes. Ils ont aussi constaté que la poire et la goyave contiennent 7% et 16,5 % de pectines, respectivement (% de fibres alimentaires totales).

Enfin, les aliments contenant un pourcentage élevé en fibres solubles sont connus pour leurs effets hypoglycémisants et hypocholestérolémisants dans les expériences animales et humaines (**Lairon**, 1996) ; donc, l'inclusion des fruits riches en fibres solubles tels que les dattes dans les régimes alimentaires est important.

b. Teneur en lignine

La **figure 23** et le **tableau 24** donnent l'aspect et la teneur en lignine des trois variétés de dattes.

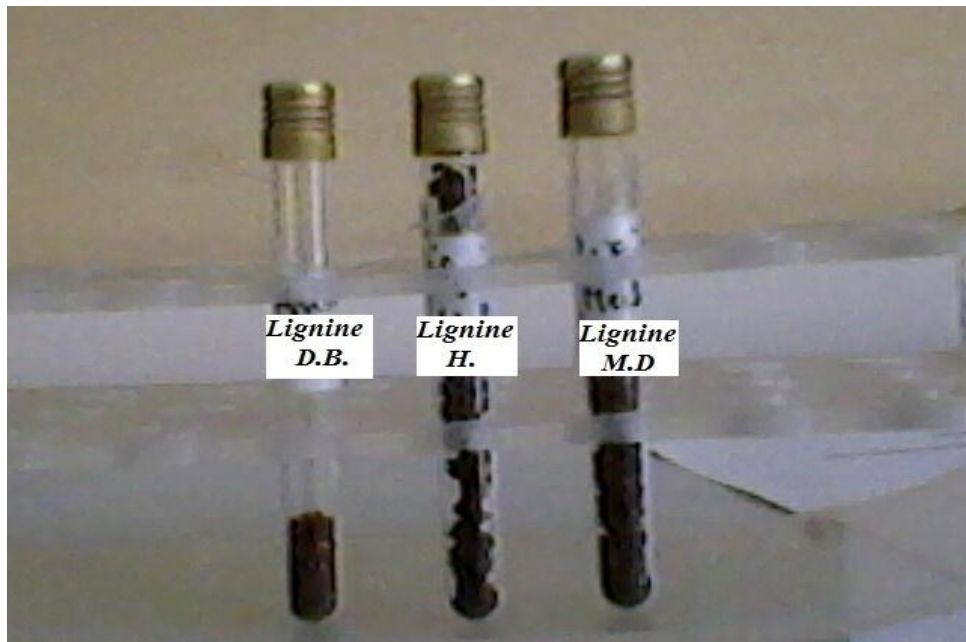


Figure 23 : Lignine des trois variétés de dattes

Tableau 24 : Teneur en lignine des variétés de dattes

	Poids (g)	% M.S.	% MS du MIA	pour 100g de dattes sèches (g)
Degla-Beida	0,08	92,69	1,33	0,37
Haloua	0,05	89,38	0,66	0,19
Mech-Degla	0,21	90,46	2,6	0,82

L'analyse du **tableau 24** montre que la variété Haloua présente la quantité la moins élevée en lignine (soit une teneur égale à 0,19 % de MS de la datte) suivie par la variété Degla-Beida (0,37%) puis de la variété Mech-Degla (0,82%).

En comparant ces résultats avec ceux obtenus pour d'autres espèces, il est à remarquer que les framboises, l'ananas, les poires, la carotte, concombre, les cerises...etc. sont plus riches en lignines. **Vorogen et al.** (1983) et **Jamilah et al.** (2011) ont détecté une teneur de lignine égale à 37% dans la peau du pitaya rouge, alors que la teneur signalée par **Nawirska et Kwasniewska** (2005) pour les pommes était de 16,6%.

Résultats et discussions

De même, **Sun et al.** (1995) ont trouvé une teneur en lignine de 4,0% et 14% (en % de la M.S.) pour la peau du sorgho et la paille du blé, respectivement.

Malgré la faible teneur en lignine des trois variétés de dattes, celle-ci a probablement des rôles fonctionnels dans la paroi cellulaire, en particulier, et dans le corps humain, en général. Les fractions sont en mesure de soutenir les mouvements péristaltiques sans montrer les propriétés d'échange d'ions ni absorber les ions des métaux lourds. (**Nawirska et Oszmianski**, 2001).

c. Teneur en cellulose

La **figure 24** et le **tableau 25** donnent l'aspect et la teneur en cellulose des trois variétés de dattes.



Figure 24: Cellulose des trois variétés de dattes.

Tableau 25 : Teneur en cellulose des variétés de dattes

	Poids (g)	% M.S.	% MS du MIA	pour 100g de dattes sèches (g)
Degla-Beïda	1,49	96,19	20,01	5,70
Haloua	1,59	91,96	13,48	3,90
Mech-Degla	1,41	93,38	24,50	7,77

Résultats et discussions

Ces résultats montrent que la variété Mech-Degla détient la teneur en cellulose la plus élevée, soit 7,77g/100g de dattes) suivie de la variété Degla-Beïda (5,40g/100g de dattes) puis de la variété Haloua (3,9g/100g de dattes).

La proportion de la cellulose dans la plupart des végétaux est située entre 5 et 10% de la M.S. Néanmoins, certains aliments contiennent des quantités moins élevées en cellulose tels que, par exemple, les lentilles (1%), le pois cassé (1,1%), le plantain (1,2%), l'igname (1,6%), la pomme de terre et les champignons (2%). Toutefois, des quantités plus élevées ont été trouvées dans les légumes tels que le céleri, le fenouil, la courgette, les légumes secs et les petits pois (**Englyst et al.**, 1983).

Pour les fruits, la teneur en cellulose est variable d'un fruit à un autre allant de 0,1g/100g de fruits pour les jus de citron et d'orange jusqu'à 6,9-7,5g/100g pour les figes sèches, les pêches, les prunes et les abricots.

Il faut signaler que la cellulose n'est pas digérée dans le tube digestif mais elle est capable de soutenir sensiblement les mouvements péristaltiques sans être impliquée dans les échanges d'ions ou l'absorption des acides biliaires ou leurs sels (**Story et Kritchevsky**, 1976).

d. Teneur en hémicelluloses

En tenant compte du facteur de gonflement des hémicelluloses dans l'eau (20 fois selon **Legentil et Haluk**, 1996), la **figure 25** et le **tableau 26** donnent l'aspect et la teneur en hémicelluloses des trois variétés de dattes.



Figure 25 : Hémicelluloses des trois variétés de dattes.

Tableau 26 : Teneur en hémicelluloses des variétés de dattes

	Poids (g)	%M.S	% MS du MIA	pour 100g de dattes sèches (g)
Degla-Beida	3,617	96,64	36,17	10,32
Haloua	4,339	92,95	43,39	12,57
Mech-Degla	2,747	93,50	27,47	8,71

Les résultats du **tableau 26** suggèrent que les hémicelluloses soient les principales fibres des trois variétés de dattes et que la variété Mech-Degla présente le rendement le plus faible.

Ainsi, l'extraction des hémicelluloses dans des conditions alcalines implique en réalité l'hydrolyse alcaline des liaisons ester ; ce qui aboutit à la libération de la matrice lignocellulosique suivie par son extraction dans les milieux aqueux. Cependant, la libération de la composante hémicellulosique de la cellule végétale mûre est limitée par la présence d'un réseau de lignines lié aux hémicelluloses. En plus, de nombreuses liaisons hydrogène entre les composantes polysaccharidique de la paroi cellulaire

Résultats et discussions

peuvent entraver l'isolement des hémicelluloses (Ebringerova et Heinze, 2000). Fait intéressant, tel que mentionné précédemment, le traitement des matières lignocellulosiques avec du peroxyde de sodium aboutit non seulement à une dégradation substantielle de la lignine, mais aussi à une solubilisation significative des hémicelluloses ;résultat des hydroperoxydes et des radicaux hydroxyles produits par la décomposition du peroxyde d'hydrogène (Fang *et al.*, 1999).

Il est à noter que la faible teneur en hémicelluloses enregistrée pour la variété Mech-Degla explique le rôle que jouent les hémicelluloses dans l'élasticité des parois végétales dans le sens où plus le taux des hémicelluloses diminue et plus la paroi devient incassable (Heller, 2000).

Les **figures 26, 27 et 28** récapitulent les différentes teneurs en fibres des trois variétés de dattes.

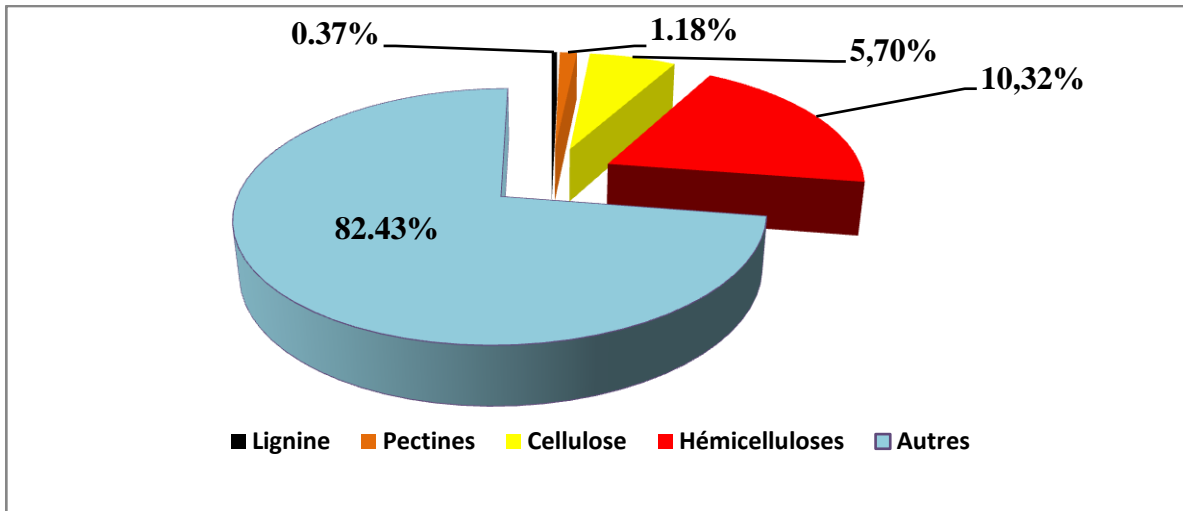


Figure 26: Teneur en fibres alimentaires de la variété Degla-Beida.

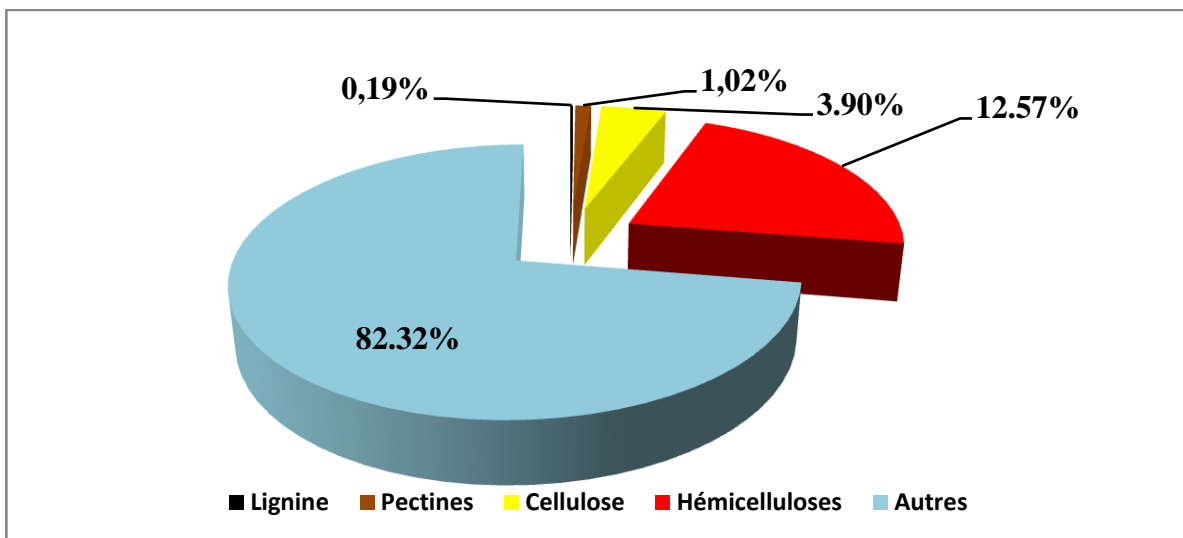


Figure 27: Teneur en fibres alimentaires de la variété Haloua.

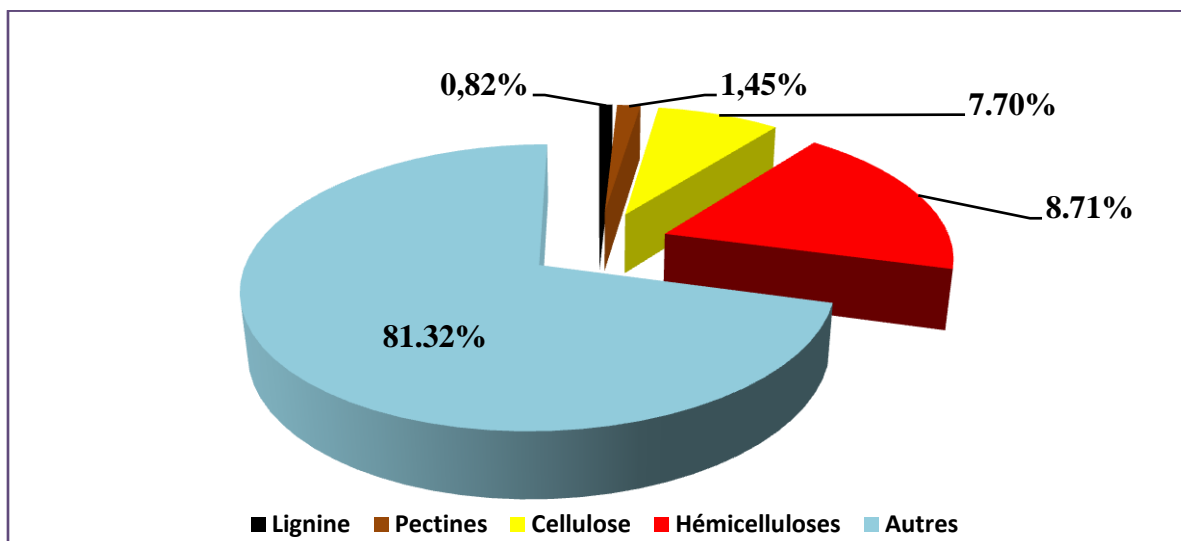


Figure 28: Teneur en fibres alimentaires de la variété Mech-Degla.

Discussion

Du point de vue quantité en fibres alimentaires, la comparaison des teneurs des différentes variétés montre que la variété Mech-Degla (18,68 %) est la plus riche suivie par la variété Haloua (17,68 %) puis la variété Degla-Beida (17,57 %) (**Figures 26, 27 et 28**).

Saafi et al. (2008) ont trouvé une teneur en fibres totales allant de 8,70% à 18,83% pour 6 variétés de dattes tunisiennes (Ammari, Khalt-Ihoud, Lemsi, Imkhalbia, S'firi et Tezerzit Safra) alors qu'**Al-Hooti et al.** (1995), **Al-Shahib et Marshall** (2002) et **Al-Farsi et al.** (2007) ont donné des quantités moins élevées allant de 2% à 12,7% pour les variétés de dattes suivantes : Shahla, Gash-Gaafar, Gash-Habash, Lulu et Bushibal.

La chair de la datte peut être considérée comme une bonne source de fibres alimentaires par rapport aux fruits frais et secs tels que le raisin (1,0g/100g) ou la framboise (4,4g/100g) (**Marlett et al.**, 1994). Par ailleurs, le contenu des raisins secs, abricots, prunes, et figues sont environ de 5,1 ; 7,7 ; 8 ; 12,2 g/100g, respectivement (**Marlett et al.**, 1994; **Camire et Dougherty**, 2003).

Les différences entre les résultats sont dues à deux principales causes:

- il y a une différence génétique entre les variétés et les espèces (**Ismail et al.**, 2006) ;
- les conditions de culture peuvent affecter la composition de la chair et des graines.

Au-delà de ces teneurs, il est utile de rappeler que durant le fractionnement des fibres alimentaires, différentes réactions chimiques ont lieu :

- dans le cas de la lignine, un ensemble de réactions est impliqué (**Sultanov et Wallis**, 1991). Il est généralement initié par l'enlèvement d'un proton d'un groupement phénolique ; ensuite un réarrangement électronique résulte du clivage d'un lien alkyl pour donner un petit fragment de lignine soluble et un groupement phénolique déprotoné sur la lignine résiduelle (**Stewart et Morrison**, 1992).
- d'un autre côté, les ions hydrophiles provoquent un gonflement de la cellulose et des hémicelluloses et entraînent la perturbation des liaisons hydrogène reliant les fractions de fibres. Ceci provoque aussi l'hydrolyse ester reliant les polysaccharides des parois cellulaires entraînant la solubilisation des quantités substantielles d'hémicelluloses et de lignine (**Izdorczyk et al.**, 1998).

4. Caractérisation des fibres alimentaires

a. Teneur en acide galacturonique (Gal A)

La **figure 29** donne le pourcentage du contenu uronique des fractions de fibres des variétés de dattes étudiées.

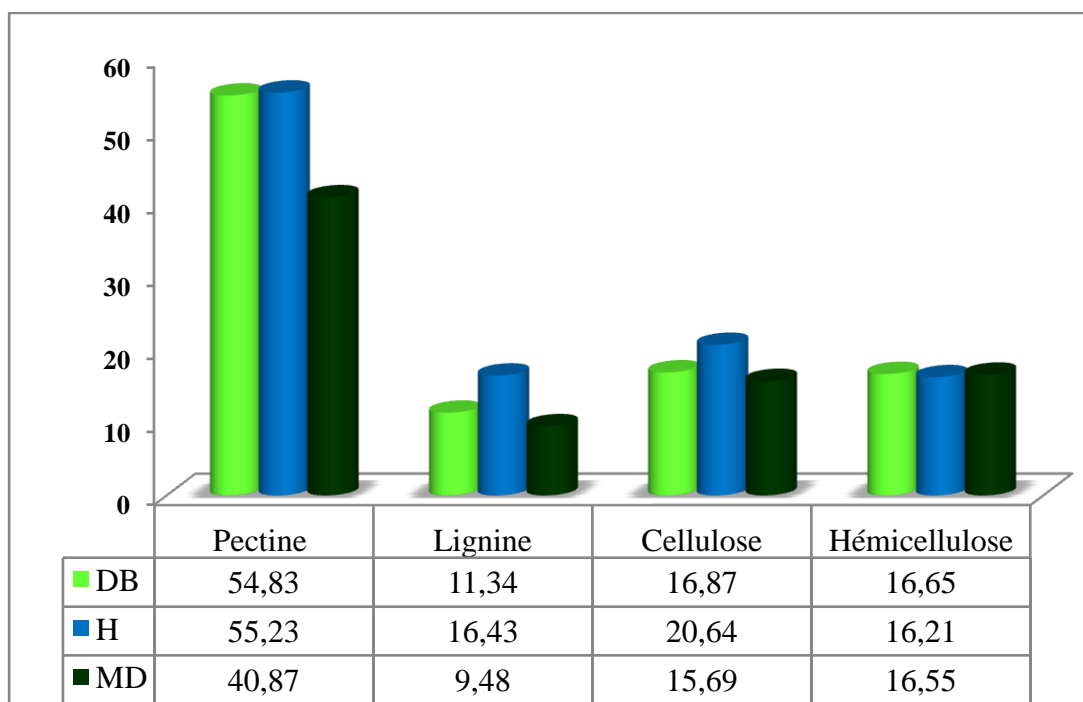


Figure 29: Teneur en Gal A des différentes fractions de fibres
(% M.S. de la fibre)

La fraction 1 des trois variétés de dattes, c'est-à-dire les substances pectiques, contient la teneur la plus élevée en Gal A. Dans ce sens, **Sun** et **Hughes** (1999) ont rapporté la présence d'une grande teneur de Gal A (36,8 à 46,7%) dans la pulpe de betterave sucrière due à la présence d'une proportion importante de matières pectiques. Ces résultats sont proches de ceux de Gal A des pectines de la banane (46 à 69%) et du plantain (31% à 48%) solubles dans l'acide (**Happi Emaga et al.**, 2008); mais ils sont nettement plus élevés que ceux du pitaya (32,3%) (**Ramirez-Truque et al.**, 2011) et des fruits de poire cactus pluchée (23,4%) (**Matsuhira et al.**, 2006).

En comparant les teneurs en Gal A, le faible rendement enregistré pour la variété Mech-Degla est, probablement, dû à une hydrolyse incomplète des liaisons ose-Gal A par l'acide sulfurique à 85°C.

Résultats et discussions

Par ailleurs, la **figure 29** montre, que la fraction 2, c'est-à-dire la lignine, est composée d'une teneur moins importante de Gal A. A priori, ceci peut être expliqué par la présence de quelques Gal A ou acide 4-O-méthylgalacturonique qui sont directement estérifiés à la lignine. Cette suggestion a été confirmée dans plusieurs études par R.M.N.-C¹³ (**Sun et Hughes, 1999**).

La cellulose des trois variétés contient aussi du Gal A : la plus grande teneur est enregistrée pour la variété Haloua (20,64%) suivie par les deux autres variétés Degla-Beïda et Mech-Degla (16,87% et 15,69%, respectivement). Dans le même sens, **Liu et al.** (2006) ont rapporté la présence de Gal A dans la cellulose des feuilles de ray-grass vivace mais à des quantités moins élevées (3,8 à 5,8 % seulement).

Les valeurs de Gal A obtenues dans les fractions hémicellulosiques des trois variétés de dattes sont plus élevées que celles des hémicelluloses extraites dans des conditions alcalines du bois, de la paille ($\approx 3\%$) et de l'abaca (10,96%) (**Sun et al, 1998-b**).

En réalité, la quantité de Gal A dans les hémicelluloses (mais aussi dans la cellulose) est fonction de l'extraction alcaline qui peut réduire le contenu acétyle et méthyle et aussi la longueur de la chaîne principale de Gal A par une β -élimination (**Rombouts et Thibault, 1996**).

Il est à noter que durant l'étude de changement des substances pectiques de pommes durant le développement et la maturation post-récolte, **Fischer et al.** (1994) ont suggéré que les groupements carboxyliques non estérifiés des résidus de Gal A peuvent être des esters liés aux groupements hydroxyles des hémicelluloses et que ces liaisons ester seraient saponifiées par le solvant alcalin, libérant ainsi les polymères pectiques dans la solution.

Donc, il est évident que le rendement élevé en substances pectiques est le résultat de la saponification des liaisons ester entre les pectines et les hémicelluloses durant l'extraction.

Le **tableau 27** récapitule les différentes quantités de Gal A relatives à chaque fraction de fibre et la quantité de Gal A total dans 100g de dattes sèches.

Résultats et discussions

Tableau 27 : Récapitulatif des quantités de Gal A relatives à chaque fraction de fibre et la quantité de Gal A total dans 100g de dattes sèches

	Pectines		Lignine		Cellulose		Hémicelluloses		% Gal A total dans 100g de dattes sèches
	Gal A (µg/ml)	% dans 100g de dattes	Gal A (µg/ml)	% dans 100g de dattes	Gal A (µg/ml)	% dans 100g de dattes	Gal A (µg/ml)	% dans 100g de dattes	
Degla-Beïda	44,81	0,85	9,27	0,04	13,49	0,95	13,97	2,63	4,47
Haloua	45,13	0,55	13,38	0,03	16,77	1,01	13,24	3,10	4,69
Mech-Degla	33,23	0,74	8,54	0,09	14,73	1,19	16,61	2,57	4,59

Le **tableau 27** résume les quantités de Gal A (en µg/ml) obtenues à partir de chaque fibre ainsi que la teneur totale de cet acide dans 100g de dattes.

La lecture de ces résultats permet de relever que la quantité de Gal A/100g de dattes, obtenue à partir de chaque fraction, est proportionnelle à la teneur de cette dernière dans la même quantité de dattes et que la variété Haloua fournit le pourcentage en Gal A le plus élevé.

Ces résultats sont proches de ceux trouvés par **Elleuch et al.** (2008), soient des teneurs de 4,17% et de 4,18%, respectivement, pour la variété Deglet-Nour et la variété Allig en utilisant la même méthode de dosage (MHDP). A titre comparatif, le Bamboo contient un pourcentage de Gal A qui varie entre 4 à 5% sous forme d'acide 4-O-méthyl-d-galacturonique (**Wen et al.**, 2011). La moelle du sagoutier, par contre, recèle une teneur plus élevée de Gal A (5,8-7,8%) (**Sun et al.**, 1999).

Enfin, il faut noter que la richesse de la pectine en Gal A est due au fait que ce dernier est le constituant principal des pectines.

b. Teneur en oses neutres

Les oses neutres constitutifs des fibres alimentaires des trois variétés de dattes ont été quantifiés par analyse CPG des dérivés triméthylsilylés (TMS), en se référant aux monosaccharides standards dont les temps de rétention sont les suivants (**tableau 28, figure 30**) :

Tableau 28 : Temps de rétention des différents oses :

Oses	Temps de rétention	Températures de sortie (C°)
Arabinose	13,27	172-173
Rhamnose	13,41	150
Xylose	15,56	183-184
Mannose	16,81	198
Galactose	18,03	201-204
Glucose	19,81	205-207

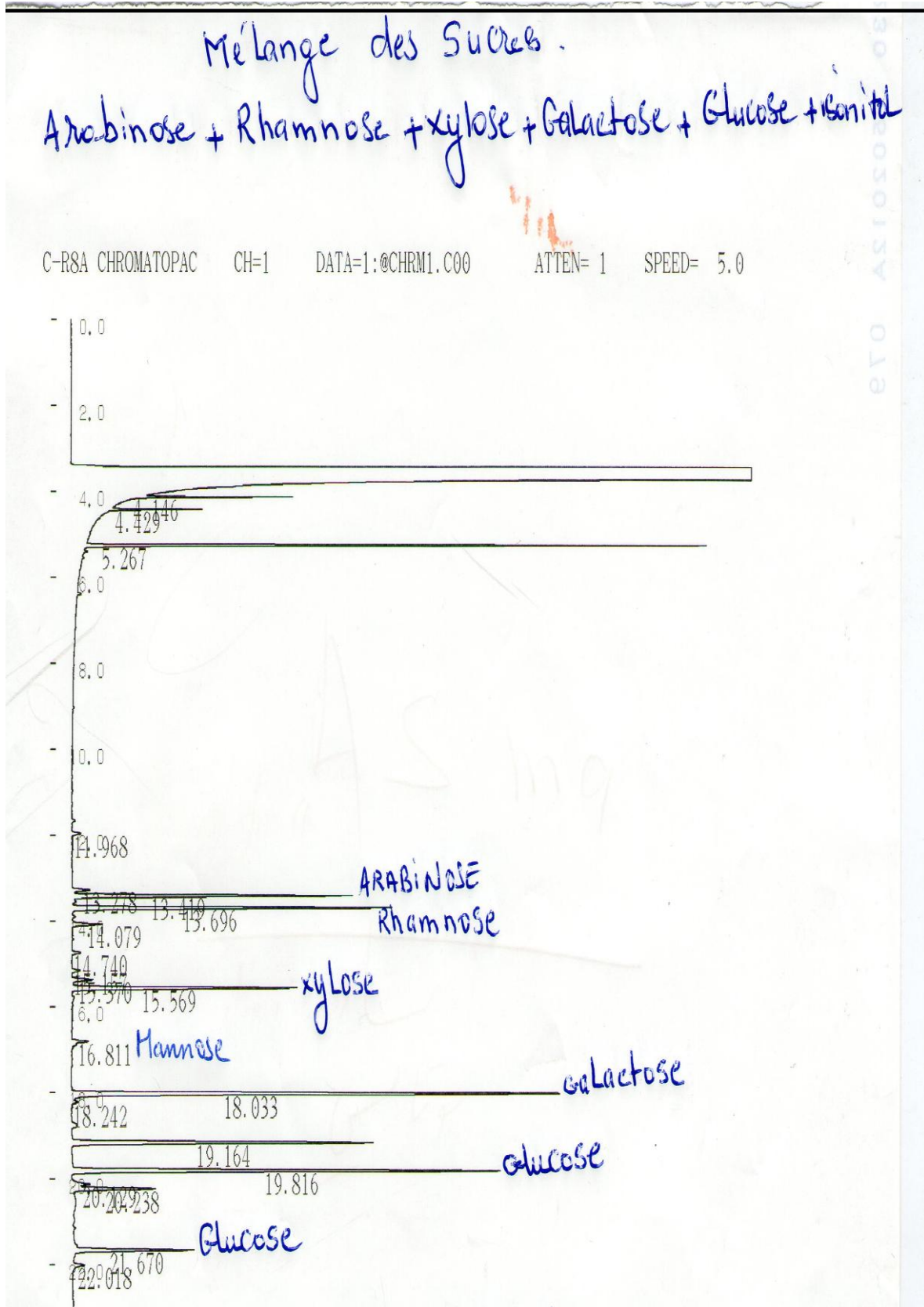


Figure 30: Profil chromatographique du mélange d'oses neutres standards

i. Teneurs en oses neutres dans les fractions pectiques

La figure 31 résume les teneurs en oses neutres des fractions de pectines (% M.S) :

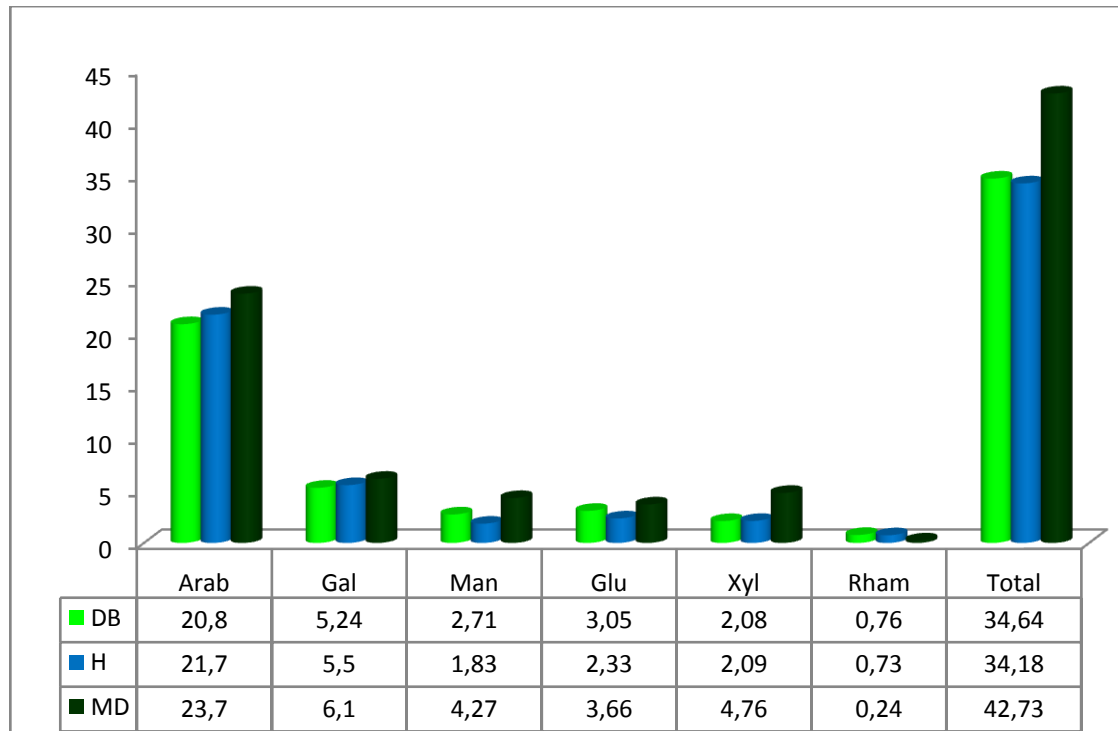


Figure 31: Teneurs en oses neutres des fractions pectiques (% M.S)

En analysant les résultats de la figure 31, il est remarquable que la variété Mech Degla contient les teneurs les plus élevées en arabinose, galactose, mannose, glucose, et xylose et ceci peut être dû à sa teneur la plus faible en Gal A qui est probablement substitué par les monosaccharides.

La composition en oses neutres des pectines des trois variétés de dattes est riche en arabinose et en galactose. Selon plusieurs investigateurs, ces deux sucres sont les oses neutres majeurs des pectines (Darvill *et al.*, 1980 ; DeVries, 1981).

La quantité d'arabinose enregistré pour les deux variétés Haloua et Mech Degla est plus élevée que celle trouvée pour la fraise (9,5%), la poire (21,5%), la cerise (20,6%), et la mangue (15,5%).

Selon ce tableau, les fractions pectiques contiennent des quantités considérables de mannose, c'est ce qui a été rapporté par Voragen *et al.* (1983) pour la framboise (5,5%) et les cerises (2,1%).

Résultats et discussions

Par rapport à la pectine commerciale, le rendement relativement faible du rhamnose dans les trois fractions peut être dû à une hydrolyse incomplète de la liaison Gal-Rham par le TFA induisant ainsi une sous-estimation du rhamnose.

ii. Teneurs en oses neutres des hémicelluloses

Les teneurs en oses neutres des hémicelluloses sont donnés par la **figure 32**.

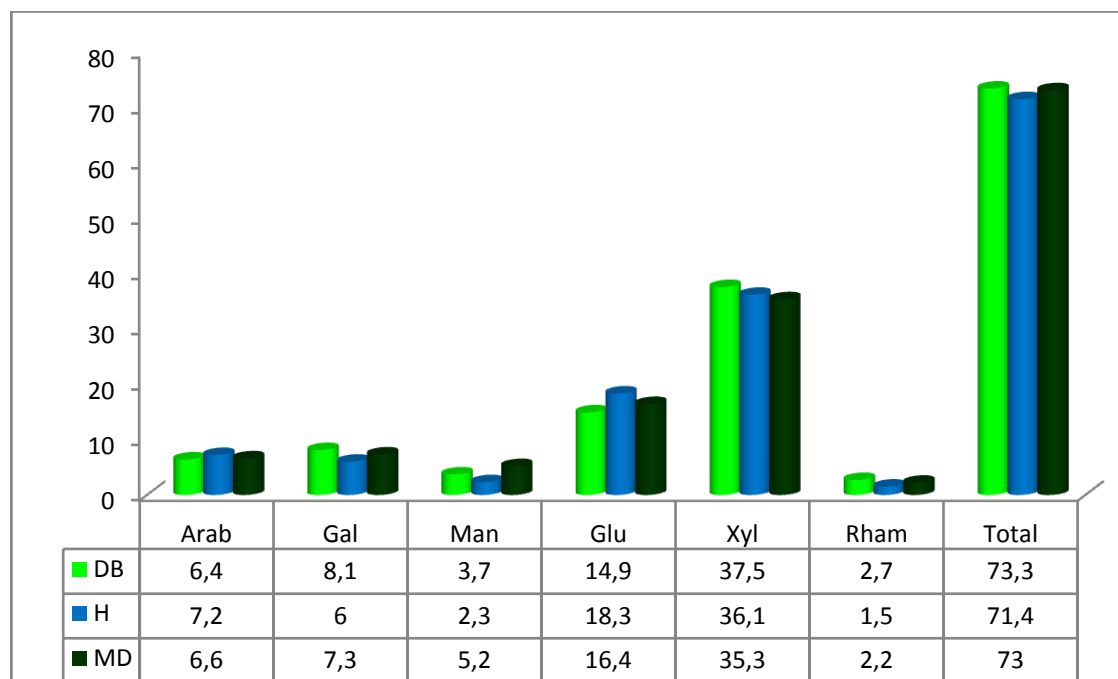


Figure 32: Teneurs en oses neutres des fractions hémicellulosiques (% M.S)

Les analyses des oses des hydrolysats montrent que le xylose est le monosaccharide prédominant dans les hémicelluloses des trois variétés de dattes allant de 35,3% à 37,5% des oses totaux. Il est évident que l'arabinose, le glucose et le galactose soient tous présents en quantités moins importantes. Des quantités mineures de rhamnose sont enregistrées. Cela est conforme à l'étude de **Hatfield** (1989), dans laquelle, il a constaté que la plus grande quantité de xylose est présente dans les hémicelluloses des graminées plutôt et qu'ils soient moins abondants dans les polysaccharides pectiques. Les hémicelluloses extraites par **Sun et Sun** (2001) à partir de la paille d'orge en utilisant NaOH (0,1%) sont composées principalement du xylose (44,2%), du glucose (15,7%), de l'arabinose (15,2%), et de galactose (8%).

Les teneurs relativement élevées de mannose dans les hémicelluloses sont dues au grossissement suffisant des faisceaux des fibres lors des extractions alcalines fortes. Cet effet était signalé aussi par **McDougall** (1993) et **Sun et al.** (1998-b) lors de l'extraction des fibres de l'abaca et du lin, respectivement.

Résultats et discussions

Les monosaccharides identifiés ont révélé que les hémicelluloses extraites contiennent un mélange essentiellement constitué du gluconarabinoxylanes et de xyloglucanes. Selon **Theander** (1985), plusieurs fractions des hémicelluloses sont de type xylanes avec un enchainement de résidus de xylose liés en β (1,4) ayant la plupart du temps des unités d'arabinofuranosyl, attachées à la chaîne principale de xylanes en position C₃, et de l'acide galacturonique et/ou 4-O-éther de méthyl lié à quelques unités de xylose. Ces derniers sont probablement liés aux xylanes en position C₂.

Le rapport élevé Xyl/Arab (5,85 :1 pour Degla-Beïda, 5,01 :1 Haloua et 5,34 :1 pour Mech-Degla) est , probablement, dû aux concentrations élevées de NaOH (17,5%) utilisées durant l'extraction qui peuvent provoquer seulement une hydrolyse partielle des chaînes latérales constituées de l'arabinose. Ce résultat est confirmé par **Fang et al.** (1999) et **Sun et al.** (2000) qui ont utilisé différentes concentrations de NaOH durant l'extraction alcaline des hémicelluloses de la tige de maïs et la paille du blé.

En comparant ces résultats avec ceux obtenus pour d'autres fruits et légumes, des différences ou des similarités dans la composition des hémicelluloses sont enregistrées : le xylose et le glucose étaient les sucres prévalant pour l'oignon et l'ananas. Les hémicelluloses de la fraise, cerise, concombre, carotte et spécialement l'oignon étaient riches en arabinose. Et le mannose était le sucre neutre prédominant dans la mangue, la framboise et les cerises ; par contre, le rhamnose existe quantité plus importante dans les cerises et la papaye (**Voragen et al.**, 1983).

iii. Teneurs en oses neutres dans la cellulose

La figure 33 donne les teneurs en oses neutres des celluloses.

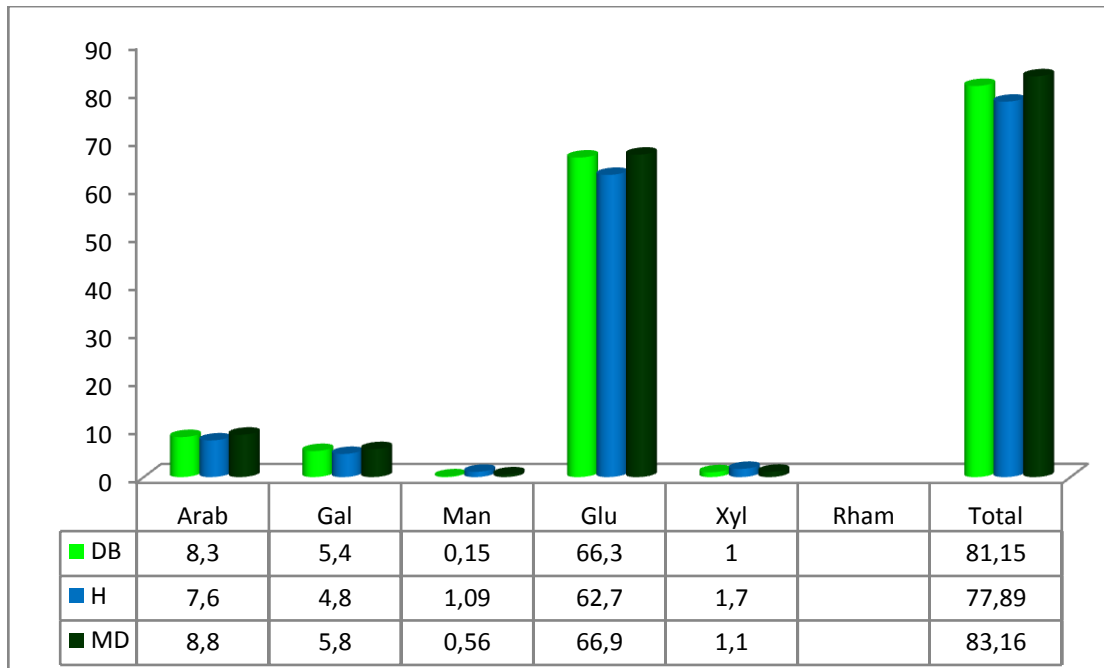


Figure 33: Teneur en oses neutres des fractions cellulosiques (% M.S)

Le sucre le plus dominant dans la cellulose est évidemment et naturellement le glucose allant de 62,7 à 66,9%. L'arabinose et le galactose apparaissent comme les autres sucres majeurs dans toutes les fractions cellulosiques. La figure montre aussi que la cellulose des trois variétés contient des xyloses. Selon **Stevens** et **Selvandran** (1980), cette composition se retrouve dans plusieurs fruits et légumes tels que : la fraise, l'ananas, le concombre...

La présence d'une teneur élevée en glucose et basse en xylose est due, probablement, au gonflement de la cellulose sous l'effet des conditions alcalines fortes suivie par l'augmentation de la dissolution des hémicelluloses des microfibrilles de la surface de la cellulose sur laquelle elles ont été greffées dans la paroi secondaire

Les résultats indiquent aussi que le rhamnose est complètement absent dans la cellulose et le mannose existe en quantités infimes ; à titre comparatif, cette teneur est très basse par rapport à celle de la cellulose des pommes (3,5%) et du concombre (1,9%) trouvée par **Voragen et al**, (1983).

iv. Teneur en oses neutres dans la lignine

Le **tableau 29** montre que des traces de monosaccharides sont associées aux fractions de lignine.

Tableau 29: Teneur en oses neutres de la lignine des trois variétés de dattes (% M.S)

	Arabinose	Galactose	Mannose	Glucose	Xylose	Rhamnose	Total
Degla-Beida	1,11	-	-	0,09	1,32	0,65	3,17
Haloua	1,03	0,45	-	0,62	1,13	0,33	3,56
Mech-Degla	0,98	0,72	0,05	0,24	1,17	0,64	3,8

Ces résultats sont expliqués par une hydrolyse incomplète lors du fractionnement des fibres. A partir des études réalisées sur des échantillons dont la teneur en lignine est minime tels que les graminées, les fibres de jute, la poudre des palmes de tournesol, **Das et al** (1981), **Ford** (1986) et **Düsterhöft et al.** (1992), ont montré que les arabinoxyanes sont impliqués dans les liens entre la lignine et les polysaccharides. Dans ce sens, **Fidalgo et al.** (1993) ont aussi suggéré qu'avec les hémicelluloses de la paille du blé sont apparus des arabinoxyanes associés à la lignine.

c. Teneur en polyphénols totaux des fractions de fibres

La figure 34 résume les résultats de la teneur des polyphénols totaux dosés par colorimétrie :

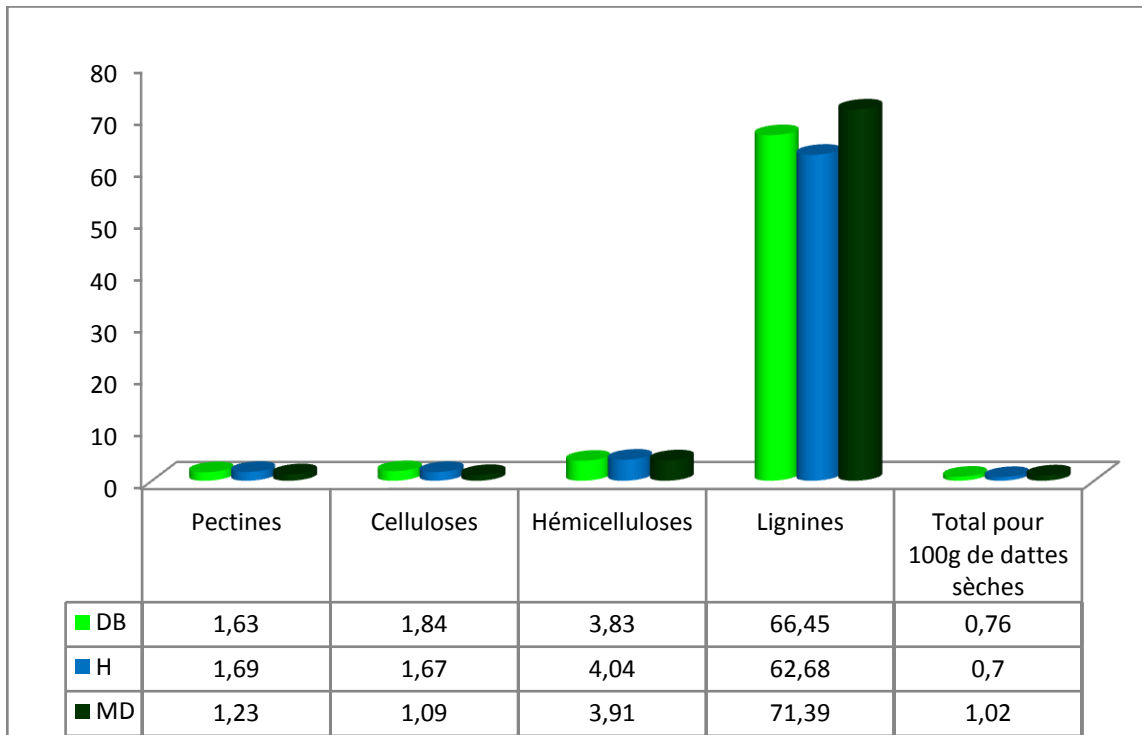


Figure 34: Teneur en polyphénols totaux des fibres (% MS).

Selon les résultats de la figure 34, il est clair que les polyphénols quantifiés par la méthode de Folin-Ciocalteu sont associés aux macromolécules de poids moléculaires supérieurs dont la plus grande teneur est enregistrée pour la variété Mech-Degla (1,02 g pour 100g de dattes sèches).

Les polysaccharides indigestibles et les protéines sont les principaux macromolécules qui peuvent se lier aux polyphénols (Ferreira *et al.*, 2002), constitués par un cycle aromatique hydrophobique et des groupements hydroxyles hydrophiles dans différentes sites de la paroi cellulaire (Pinelo *et al.*, 2006 ; Hanlin *et al.*, 2010).

Par ailleurs, la figure 34 montre aussi que les fibres insolubles contiennent plus de polyphénols que les fibres solubles. La présence de polyphénols dans les fibres solubles et insolubles dans les produits végétaux a été signalée par plusieurs auteurs (Bravo *et al.*, 1994 ; Saura-Calixto et Bravo, 2001). A titre d'exemple, les polyphénols ont été détectés dans les pectines du thé vert (*Camilliasinensis*) dont la teneur est de 11% de la matière sèches de la fraction (Ele-Ekouna *et al.*, 2001).

Résultats et discussions

D'un point de vue fonctionnel, la lignine, qui est composée de polyphénols structurellement liés, est la force de soutien de la paroi cellulaire. Elle facilite le transport de l'eau et empêche la dégradation des polysaccharides agissant comme une ligne de défense contre les attaques par les pathogènes et les insectes (**Hatfield et Vermerris**, 2001). C'est pour cette raison que **Düstertröft et al.** (1993) ont suggéré que la cellulose et la lignine sont combinées pour donner un matériel très résistant aux dégradations chimiques et biologiques. En outre, la présence de lignine renforce les liaisons hydrogène dans le réseau celluloses et hémicelluloses (**Brett et Waldron**, 1996).

Il en est de même pour **Le Bourvellec et al.** (2005) qui ont montré, dans une étude sur la procyanidine des pommes ; que des interactions entre différents polyphénols et la matrice celluloses –pectines peuvent avoir lieu dans la paroi cellulaire.

Cependant, il faut signaler que la formation des liaisons covalentes entre la lignine ou les molécules de faibles poids moléculaires (composés phénoliques) avec les résidus de sucres peut aussi affecter l'accessibilité à l'hydrolyse enzymatique (**Düstertröft et al.**, 1993) et, donc, à l'hydrolyse par les solvants utilisés durant le fractionnement des fibres.

Dans ce sens, l'utilisation de technologies de prétraitement de la biomasse lignocellulosique a été examinée en détail par **Kumar et al.** (2009).

En somme, les variations entre les teneurs en polyphénols totaux sont dues aux différents facteurs y compris le cultivar, le degré de maturation et le climat (**Visioli et al.**, 2002), ainsi qu'aux méthodes analytiques utilisées pour quantifier les polyphénols (**Carrasco –Pancorbo et al.**, 2005).

d. Teneur en composés phénoliques dosés par HPLC

Il est évident que la lignine est fortement liée aux polysaccharides dans les parois des cellules des plantes par différents types de liaisons. La liaison covalente la plus répétée est la liaison éther entre le groupement hydroxyle situé dans la position α de la lignine et le groupement hydroxyle de l'alcool du résidu sucré (**Freudenberg**, 1965 ; **Xie et al.**, 2000).

Les dérivés des acides hydroxycinnamique et hydroxybenzoïque dans les fruits sont souvent présents dans les liaisons d'ester ou glycosides (**Shahidi et Naczk**, 1995). Pour quantifier ces composés, des traitements d'hydrolyse très forts ont été provoqués pour hydrolyser les liaisons entre les composés phénoliques et la substance sur laquelle ils sont conjugués (glucose, quinine, tartarique, tannins, lignine...). Ces réactions d'hydrolyse transforment les phénols

Résultats et discussions

estérifiés en leurs formes aglycones qui peuvent être détectés comme des composés phénoliques libres.

Les différentes fractions ont été analysées afin de comparer leurs profils chromatographiques et d'obtenir une information sur la composition de ces fractions en composés phénoliques et certains acides phénoliques en comparaison avec les différents standards (**tableau 30**).

Tableau 30: Temps de rétention des standards testés

Composés phénoliques	Temps de rétention
Acide gallique	4,98
Acide cinnamique	9,28
Acide hydroxybenzoïque	20,1
Hydroxyaldehyde	9,18
Acide caféique	7,23
Vanilline	9,52
Acide éllagique	9,73
Quercitine	3,00
Acidetannique	10,78

Six composés phénoliques ont été détectés dans les fibres des trois variétés de dattes, quatre sont des dérivés de l'acide benzoïque (acide gallique, acide hydroxybenzoïque, hydroxybenzaldehyde et la vanilline) et deux de l'acide cinnamique (l'acide caféique et l'acide cinnamique).

i. Teneurs en composés phénoliques des pectines

La **figure 35** donne la teneur en composés phénoliques des pectines des trois variétés de dattes.

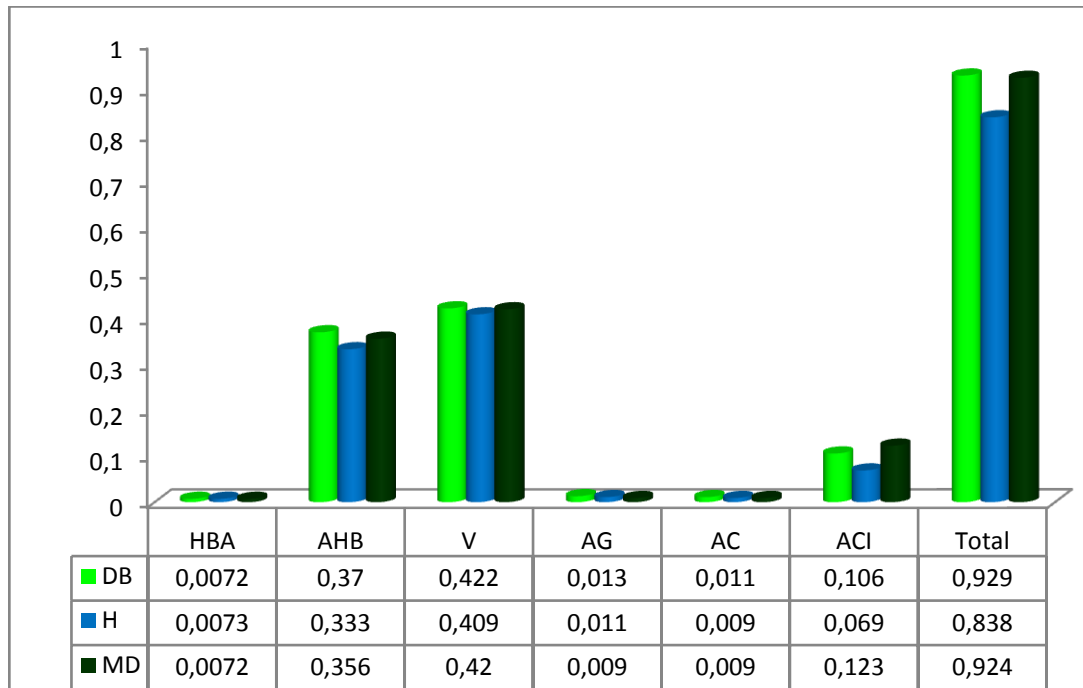


Figure 35: Teneurs en composés phénoliques dans les pectines des trois variétés de dattes (% MS de la fibre)

Par rapport à la teneur totale des polyphénols dans les pectines, il apparaît qu'il existe d'autres composés phénoliques dans les fractions pectiques qui n'ont pas été dosés.

La teneur élevée de la vanilline dans les pectines des trois variétés indique que ces dernières comportent aussi des teneurs élevées en unités guaiacyles, avec lesquelles les pectines sont liées à la lignine (**Sun et Hughes, 1999**).

Des quantités considérables en acide hydroxybenzoïque (A.H.B.) sont enregistrées dans les pectines avec un maximum de 0,37% de la M.S. pour la variété Degla-Beida.

L'acide cinnamique vient en troisième position avec des teneurs variant entre 0,069 et 0,128 %. Selon la figure 25, les fractions pectiques sont formées par des teneurs faibles et presque identiques en acide caféique et en acide gallique. Des traces d'hydroxybenzoaldehyde existent aussi dans les pectines des trois variétés de dattes.

ii. Teneurs en composés phénoliques des hémicelluloses

La **figure 36** donne la teneur en composés phénoliques des hémicelluloses des trois variétés de dattes.

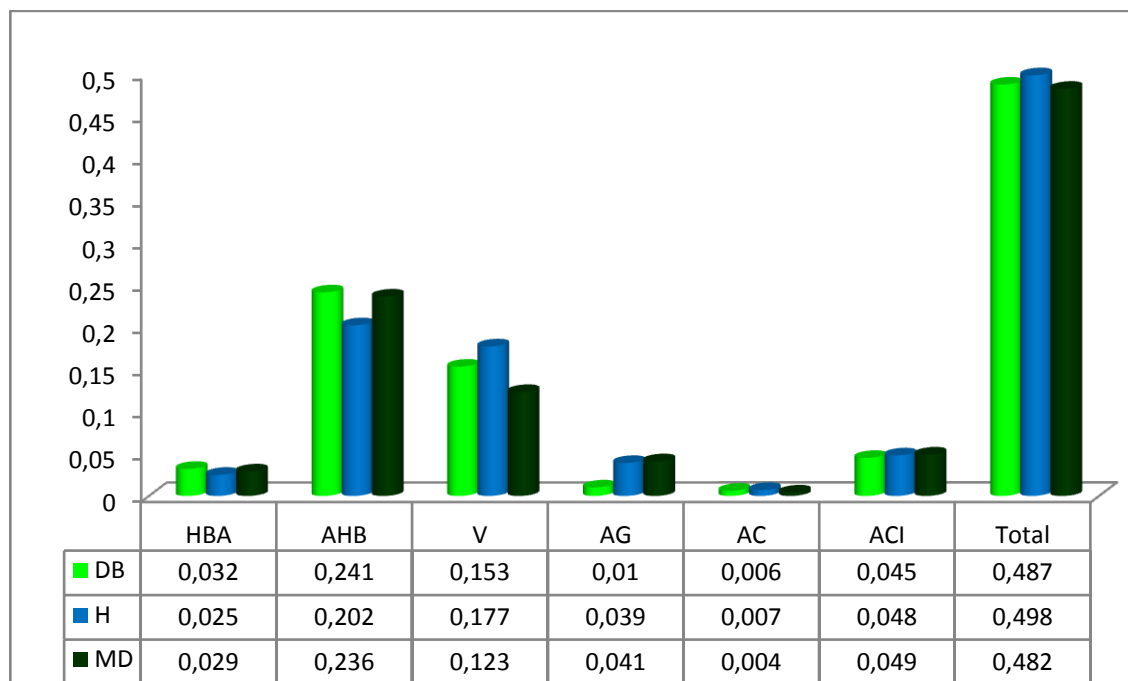


Figure 36: Teneur en composés phénoliques dans les hémicelluloses des trois variétés de dattes (% MS de la fibre)

Les faibles rendements des composés phénoliques enregistrés dans les fractions hémicellulosiques sont dus à la concentration élevée de la soude utilisée. Ces résultats indiquent que les solutions alcalines ont un effet positif sur le clivage des liens éther entre la lignine et les hémicellulosiques, c'est ce qu'a été confirmé par **Sun et al.** (2004) lors d'une étude de fractionnement et de caractérisation des fibres de la bagasse de la canne à sucre utilisant différentes concentration de soude et de peroxyde alcalin. Ce ci implique que le traitement par la soude est une méthode efficace pour le fractionnement des hémicelluloses contenant relativement une faible teneur de lignine.

Selon **Kondo et al.** (1992), les traitements alcalins libèrent les composés phénoliques des parois cellulaires et dessoudent la lignine associée par un clivage des liaisons esters dans le complexe polysaccharides-lignine.

Le rendement relativement élevé de l'acide ρ -hydroxybenzoïque dans les extraits alcalins est partiellement causé par l'oxydation de l'acide ρ -coumarique associé et certains proviennent, probablement, des unités ρ -hydroxyphényl non condensées (**Schwarz et al.**, 1989).

Résultats et discussions

Il en est de même pour les petites quantités de *p*-hydroxybenzaldéhyde qui est généralement considéré comme un signe de présence du *p*-hydroxyphényl dans la composition de la lignine (**Scalbert et al.**, 1986).

Par ailleurs, les fractions hémicellulosiques contiennent aussi des teneurs très faibles

d'acide cinnamique dont le maximum est enregistré pour la variété Mech-Degla (0,049%). Pour libérer les acides cinnamiques des parois cellulaires du blé, **Liyama** et **Worters** (1990) ont provoqué une saponification par un traitement alcalin à 170°C ; ils ont constaté que les deux formes estérifiée et étherifiée de ces acides liés par des liaisons ester et α -aryl-éther sont présentes en teneurs similaires.

Des quantités non négligeables d'acide gallique, qui est selon **Ribereau-Gayon** (1968) un composé rarement trouvé dans la nature, sont présentes dans les fractions hémicellulosiques. **Singleton** et **Timbreuse** (1978) ont trouvé cet acide, lié par une liaison ester à la catéchine, dans la variété Deglet-Nour. Des traces de l'acide caféique sont aussi détectées.

Actuellement, il apparaît que ces deux acides participent activement au fonctionnement de la plante (**Colonna**, 1978,1979), d'une part, et exercent diverses actions sur la physiologie humaine et animale (**Colonna**, 1980), d'autre part.

iii. Teneurs en composés phénoliques de la cellulose

La **figure 37** donne la teneur en polyphénols de la cellulose des trois variétés de dattes.

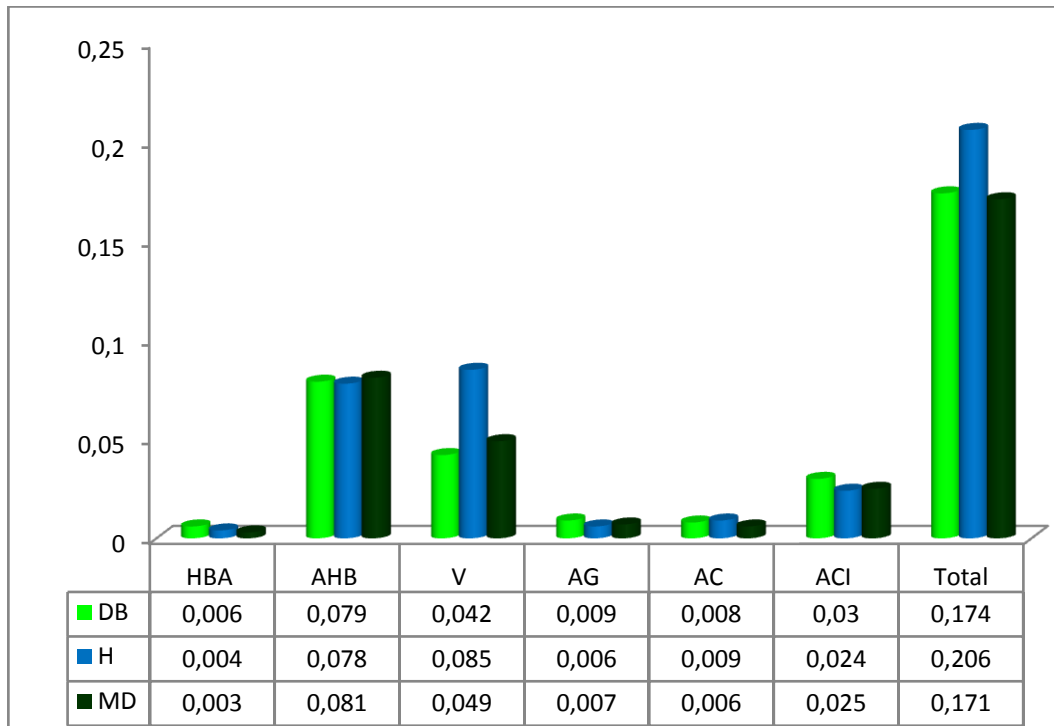


Figure 37: Teneur en polyphénols dans la cellulose des trois variétés de dattes
(% MS de la fibre)

Les résultats montrent que la cellulose contient aussi une petite fraction de lignine résiduelle qui n'est pas quantifiée en totalité par rapport à la teneur totale en polyphénols. La dégradation de la lignine dans la cellulose par les différents solvants d'hydrolyse conduit aux composés phénoliques. Il est clair que l'acide *p*-hydroxybenzoïque constitue le 1^{ier} composé phénolique dans les trois fractions suivie par la vanilline. Ce classement a été aussi trouvé par **Sun et al.** (1995), lors du dosage des composés phénoliques de la cellulose de la paille du blé, mais avec des teneurs moins élevées.

iv. Teneurs en composés phénoliques de la lignine

La **figure 38** donne la teneur en polyphénols de la lignine des trois variétés de dattes.

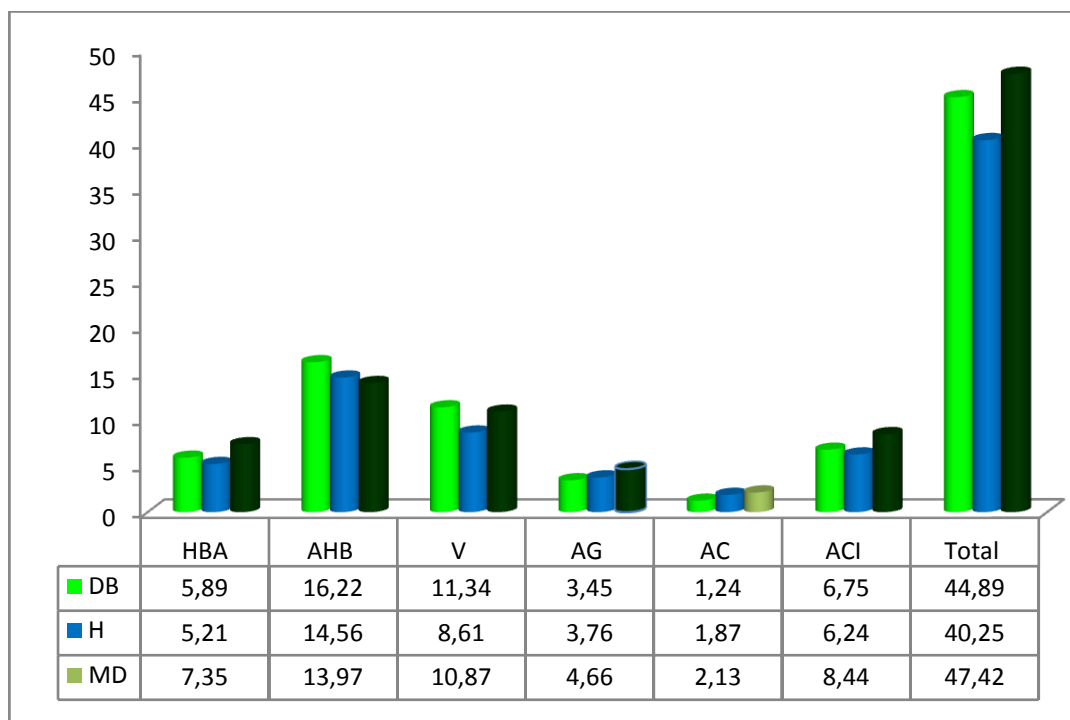


Figure 38: Teneur en polyphénols dans la lignine des trois variétés de dattes
(% MS de la fibre)

Puisque les dattes sont des dicotylédones, la lignine de ces dernières est composée essentiellement par des unités guaïacyl (G) et syringyl (S) et quelques unités de ρ -hydroxyphényl (H) (**Jouanin, 2010**). . Donc, seuls deux types de liaisons peuvent exciter :

1. liaison labile de type β -O-4, entre le dimère de type arylglycerol- β -aryl éther, point faible des lignines et cible des procédés de délignification industrielle, qui impliquent plus particulièrement les unités S,
2. les liaisons résistantes, telles que les liaisons alkyl- aryl (5-5) qui impliquent les unités G et H et qui vont donner la structure de biphényl (**Lapierre, 2010**).

A partir de la **figure 36**, il apparaît que l'acide hydroxybenzoïque est le composé phénolique dominant des trois fractions de lignine, suivi par la vanilline. Ces fractions sont très riches en composés phénoliques, ce qui confirme l'intérêt de ces fibres alimentaires.

Pour pouvoir discuter les valeurs obtenues par HPLC, il faut prendre en considération l'absence de dosage des acides coumarique et férulique, dont les teneurs dans la chair de Mabsilli, selon **Al-Farsi et Lee (2008)**, sont de 6,07mg/100g et 6,93 mg/100g, respectivement.

Il faut aussi tenir compte de l'absence d' informations sur le dosage des polyphénols dans les fibres alimentaires des dattes et du nombre réduit d'études qui s'intéressent aux acides

Résultats et discussions

phénoliques des fractions polysaccharidiques et de la lignine des autres espèces (dont la plupart sont des céréales).

Conclusion

Selon **Selvandran et al.** (1989) et **Thibault et al.** (1992), les fibres des fruits et légumes, comparées à celles des céréales, présentent trois principales caractéristiques, Elles contiennent :

1. un rendement élevé en pectines.
2. Un faible rendement en lignine, généralement variant de 1 à 2%
3. Une fraction appréciable en pectines solubles dans l'eau.

Ces rendements dépendent de la maturation de l'espèce, du processus et spécialement des traitements thermiques qui vont solubiliser les fibres alimentaires.

L'objectif de ce travail était d'évaluer l'intérêt des dattes communes comme source de fibres alimentaire pouvant faire l'objet de valorisation en s'appuyant sur la méthode d'extraction de **Sun et al** (1998) qui assure un rendement maximal avec un minimum de dégradation.

Pour répondre à cet objectif, trois variétés de dattes communes algériennes ont été choisies à savoir la variété : **Degla Beïda, Mech Degla et Haloua.**

Le suivi des composés d'intérêt nutritionnel a, par ailleurs, été doublé d'une caractérisation chimique et biochimique de chaque fraction de fibres. Cette approche a permis de mettre en évidence les spécificités des fibres de la chair de dattes par rapport aux autres produits du commerce.

Un dosage d'humidité des variétés de dattes nous a permis de les classer dans la catégorie des **dattes sèches** avec une teneur d'eau qui varie entre 11,7% et 18,25%.

Le procédé d'extraction a débuté par la préparation du **matériel insoluble dans l'alcool (M.I.A.)** afin de pouvoir extraire les fibres alimentaires et il a été constaté que les trois variétés présentent un rendement élevé en M.I.A. variant de 28,53% à 31,74% de M.S., ce qui a été expliqué par leur **richesse en fibres alimentaires.**

Le fractionnement et la purification des fibres alimentaires ont été réalisés par une succession d'agents chimiques basiques ou acides tout en utilisant différentes gammes de température.

Cette étape a montré la richesse des variétés en fibres alimentaires, à savoir:

- 16,57g/ 100g de D.B.

Conclusion générale et perspectives

- 17,68g/100g de H.
- 18,68g/100g de M.D.

Ces fibres alimentaires sont constituées de cellulose, d'hémicelluloses, de pectines et de quelques pourcents de lignine.

Les résultats ont montré que les **hémicelluloses** viennent en première position avec une teneur qui est presque égale ou dépasse le tiers des fibres alimentaires totales suivies par **la cellulose** et **la pectine** dont les teneurs font de ces dattes une source importante de fibres solubles et insolubles par rapport à plusieurs autres fruits.

Malgré sa faible présence, **la lignine** des trois variétés n'élimine pas son rôle biologique et physiologique dans le fruit.

Selon la littérature, ces quatre fractions de fibres offrent des intérêts à la fois physiologiques et nutritionnels très importants pour l'homme.

Pour conforter ces hypothèses, une caractérisation de ces fibres alimentaires a été effectuée, il s'avère que :

- Toutes les fractions de toutes les variétés contiennent de **l'acide galacturonique** mais avec des teneurs différentes, la présence de la plus grande teneur de Gal A dans **les pectines** est normal puisque l'acide galacturonique est le constituant principal de ces dernières, La présence de Gal A dans les autres fractions de fibres est expliqué par la présence de **liaisons ester** entre les sucres des polysaccharides et le groupement carboxylique de l'A.G.A.
- Les fractions de fibres contiennent une diversification **d'oses neutres** avec la prédominance de l'**arabinose** dans les **pectines**, **le xylose** dans les **hémicelluloses**, et le **glucose** dans **la cellulose**. Plus de 70% des fibres insolubles sont occupés par les oses neutres. La présence de traces d'oses neutres dans la lignine est expliquée par l'hydrolyse incomplète lors du fractionnement.
- Il existe une collection de **composés phénoliques** même dans les fractions polysaccharidiques qui sont dues à **la lignine associée** et qui ne peuvent pas être solubilisée par la solution du NaCl rendant ainsi les dattes une source naturelle des polyphénols.

En plus de leurs **rôles nutritionnels et thérapeutiques** dans la digestion, l'absorption, les effets anti-cancer....., les fibres alimentaires des trois variétés de dattes communes, qui sont très abondantes en Algérie à faible valeur marchande et qui sont toujours considérées comme une source potentielle de sucres, peuvent être extraites et utilisées en industrie alimentaire en

Conclusion générale et perspectives

tant qu'additifs alimentaires comme agent stabilisants, gélifiants, anti-oxydants, antimicrobiens.....ou dans les formulations nutraceutiques, remplaçant ainsi les fibres alimentaires des céréales et diminuant les coûts des importations.

A priori, la méthode d'extraction et celle de fractionnement ont donné des résultats complémentaires.

Cependant, il est intéressant de considérer d'autres volets de la caractérisation de ces fibres afin d'apprécier les autres constituants (flavonoïdes, anthocyanes, antioxydants....) ainsi que les propriétés physico-chimiques (poids moléculaires, groupements fonctionnels, pH..) de chaque fibre et de compléter par une investigation de leurs mécanismes d'actions *in vitro* et *in vivo*.

La réalisation de ces recommandations va encourager les industriels à développer la production des fibres alimentaires des dattes à l'échelle industrielle

Références bibliographiques

Références bibliographiques :

1. **Açourene S. et Tama M.**, 1997. Caractérisation physico-chimiques des principaux cultivars de datte de la région de Zibans. *Recherche agronomique*, n°1., ed. I.N.R.A.A., pp. 59-66.
2. **Ahmed I.A., Ahmed K.A.W.; Robinson R.K.**, 1995. *Food chemistry*. Elsevier science, 1995, n°54, pp. 305-309.
3. **Albersheim P., Nevins D. J., English P. D., et Karr, A.**, 1967. A method for the analysis of sugars in plant cell wall polysaccharides by gas liquid chromatography. *Carbohydrate Research*, 5, pp. 340-345.
4. **Albert L.**, 1998. La santé par les fruits. Ed. V.E.E.C.H.I., 44-74.
5. **Al-Hooti, S., Jiuan, S., et Quabazard, H.** 1995. Studies on the physico-chemical characteristics of date fruits of five UAE cultivars at different stages of maturity. *Arab Gulf Journal of Scientific Research*, n°.13, pp.553–569.
6. **Al-Farsi, M., Alasalvar, C., Al-Abid, M., Al-Shoaily, K., Al-Amry, M., et Al-Rawahy, F.** 2007. Compositional characteristics of dates, syrups, and their by-products. *Food Chemistry*, n°.104, pp.943–947.
7. **Al-Farsi M.A. et Lee C.Y.**, 2008. Optimization of phenolics and dietary fibre extraction from date seeds. *Food chemistry*, vol.108, pp.977-985.
8. **Al-Hooti S., Jiuan S., et Quabazard H.**, 1995. Studies on physico-chemical characteristics of date fruit of five UAE cultivars at different stages of maturity. *Arab golf journal*, vol. 13, pp. 553-569.
9. **Al-Hooti S., Sidhu J.S., Al –Saqr J.M., Al-Othman A.**, 2002. Chemical composition and quality of date syrup as affected by pectinase/cellulose enzyme treatment. *Food chemistry*, n° 79, pp. 215-220.
10. **Al-shahib W. et Marshall R.J.**, 2002. The fruit of the date palm: its possible use as the best food for the future. *International Journal of Food Science and Nutrition*, pp. 54, 247-259.
11. **Al-Shaarawy M.I., Mesallam A.S., Saber N.M. et Johar M.A.**, 1989. Common date containing dishes in Saudi Arabia-1. Aseeda- A preliminary study. In: proceedings of the second symposium on the date palm in Saudi Arabia King, King Faisal University, Al-Hassa. *Mars Publishing House*, Riyadh, Saudi Arabian, pp. 73-84.
12. **Amellal H.**, 2007. Aptitude technologique de quelques variétés communes de dattes: Formulation d'un Yaourt naturellement sucré et aromatisé. Thèse de Doctorat, spécialité génie alimentaire. Boumerdes, 131p.

Références bibliographiques

13. **Anderson J.W., Chen W.J.L., Sieling B.**, 1980. Hypolipidemic effects of high-carbohydrate, high-fiber diets. *Metabolism*, n° 29, pp. 551-558.
14. **Anvar U., Mazza G.**, 2008. Lignin in straw of herbaceous crops. *Industrial crops and Products*, n°. 28, pp. 237–259.
15. **Argyropoulos D., Menachem S.**, 1998. Lignin. Kaplan DL. Biopolymers from renewable resources. Springer-Verlag; 1998. pp. 292-322 [Chapter 12]
16. **Ashwell M.**, 1990. Workshop Report: Recommendations to the consumer. Dietary Fibre : Chemical and Biological Aspect, Edited by D.A.T. **Southgate, K. Waldron, I.T. Johnson et G.R. Fenwick AFRC**, Norwich , pp. 20-23.
17. **Asp N. G.**, 1995. Dietary fibre analysis. An overview. *Eur. J. Clin. Nutr.*, vol.3, n°. 49(Suppl. 3), pp. S42-S47.
18. **Astrup A., Vrist E., Quaade F.**, 1990. Dietary fibre added to very low calorie diet reduces hunger and alleviates constipation. *Int. J. Obes.*, n°14, pp. 105-112.
19. **Barakat A.**, 2007. Etude de la lignification de parois végétales de graminées par des assemblages modèles: Réactivité, organisation et structure supramoléculaire. Thèse de Doctorat, Université de Reims Champagne-Ardenne, 220p.
20. **Barbier M.**, 1980. Etude des substances pectiques de la cerise. Mémoire d'ingénieur E.N.S.B.A.N.A., Dijon.
21. **Barreveld**, 1993. Date palm products. *Agriculture services*, bulletin n° FAO, Rome, 1993.
22. **Benchabane A., Meftah F., Saadi A.**, 1995. Les composés pariétaux de la datte au cours de la maturation. In *Options méditerranéennes*, série A, N° 28. Séminaire méditerranéen. Ed. IAM, Zaragoza, Spain.
23. **Benchabane A.**, 1995. Rapport de la synthèse de l'atelier "Technologie et qualité de la datte". In *Options méditerranéennes*, série A, N° 28. Séminaire méditerranéen. Ed. IAM, Zaragoza, Spain, pp. 205-210.
24. **Behall K.M., Scholfield D.J., Lee K., Powell A.S., Moser P.B.**, 1987. Mineral balance in adult men: effect of four refined fibres. *Am. J. Clin. Nutr.*, n°46, pp. 307-314.
25. **Ben Khalifa A., Guerradi M., Tirichine A., Belguedj M. et Labгаа L.**, 2003. Diagnostic des palmeraies: El Atteuf, Metlili, Berriane, Beni Isguen, Guerrara, Mélika, Ghardaïa, Boulila, Daya, Mansoura, Zelfana, Sebsab, Bounoura, I.P.G.R.I. et I.N.R.A. Algérie.
26. **Berggren A.M., Björck I.M.E., etNyman E.M.G.L.**, 1993. Short-chain fatty acid content and pH in caecum of rats given various sources of carbohydrates. *J. Sci. Food Agric.*, n° 63, pp. 397-406.

Références bibliographiques

27. Berk Z., 1976. Pectic substances, plant gums. In: Braverman's. Introduction to the biochemistry of foods, Ed. Elsevier Scientific Publishing Company, pp. 131-143.
28. Besbes, S., Cheikh Rouhou, S., Blecker, C., Deroanne, C., Lognay, G., Drira, N. E., et Attia, H., 2006. Voies de valorisation des sous-produits de dattes : Valorisation de la pulpe. *Microbiologie Hygiène Alimentaire*, vol.18, pp.3-7.
29. Besbes S., Drira L., Blecker C., Deroanne C., et Attia H., 2009. Adding value to hard date (*Phoenix dactylifera* L.): Compositional, functional and sensory characteristics of date jam. *Food Chemistry*, vol.112, pp.406-411.
30. Bligh E.G. et Dyer W.J. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can. J. Biochem. Physiol*, vol. 37, pp. 911-917.
31. Blumenkrantz N., Asboe-Hansen G., 1973. New method for quantitative determination of uronic acids. *Anal. Biochem.*, vol. 54, pp. 484-489
32. Booij I., Pionbo G., Risterucci J.M., Coupem., Thomas D., Ferry M., 1992. Étude de la composition chimique des dattes à différents stades de maturité pour la caractérisation variétale de divers cultivars de palmiers dattiers (*Phoenix dactylifera* L.). *Fruits*, vol.47, pp.667-677.
33. Bouabidi H., Reynes M., Rouissi M. B. 1996. Critères de caractérisation de quelques cultivars de palmier dattier de sud tunisienne. *INRAT*, vol. 69, pp. 73-87.
34. Boudah K., Hamrani L., 2001. Evolution de l'activité pectinolytique au cours de la maturation de la datte. Mémoire d'ingénieur agronome, Institut National Agronomique, El-Harrach, 49p.
35. Boughnou N., 1988. Essai de production de vinaigre à partir de déchets de dattes. Thèse de Magister, INA, El Harrach, Alger, 201p.
36. Bouguedour N., 1991. Connaissance de la morphologie du palmier dattier: étude in situ et in vitro du développement morphogénétique des appareils végétatifs et reproducteurs. Thèse de doctorat, U.S.T.H.B. Alger, 201p.
37. Bousdira K., 2006. 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 du Mzab, classification et évaluation de la qualité. Mémoire du Magister, M'Hamed Bouguera, Boumerdes (Algérie), 172p.
38. Bravo L., Abia R., et Saura-Calixto F. ; 1994. Polyphenols as dietary fiber associated compounds. Comparative study in vivo and in vitro properties. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, vol.42, pp.1481-1487.

Références bibliographiques

39. **Brett C. T., et Waldron K. W.,** 1996. Physiology and biochemistry of plant cell walls(2nd ed.). London: *Chapman and Hall*.
40. **Buelguedj M.,** 1996. Caractérisation des cultivars de dattier dans les palmeraies de Sud-Est Algérien. vol. 1, conception et réalisation: filière "cultures pérennes" de l'ITIDAS, 67p.
41. **Belguedj M.,** 2001. Caractérisation des cultivars de dattes dans les palmeraies du Sud- Est Algérien. *Revue annuelle de l'INRA*, n°11, El-Harrach, Alger, 289p.
42. **Belguedj M.,** 2002. Les ressources génétiques du palmier dattier: caractérisation des cultivars de dattier dans les palmeraies de Sud- Est Algérien. *Revue annuelle de l'INRA*, n° 1, pp. 28-289.
43. **Bouddar C., Bouzid L., et Nait Larbi H.,** 1997. Etude des fractions minérales et glucidiques de la datte Deglet-Nour au cours de la maturation. Mémoire d'ingénieur agronome, Institut National Agronomique, El-Harrach, 60p.
44. **Burrows C.F., Kronfeld D.S., Banta C.A., Merritt A.M.,** 1982. Effects of fibre on digestibility and transit time in dogs. *J. Nutr.*, n°112, p.p. 1726-1732.
45. **Camire, M. E., et Dougherty, M. P.** 2003. Raisin dietary fiber composition and in vitro bile acid binding. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, n°51, pp. 834–837.
46. **Carrasco-Pancorbo A., Cerretani L., Bendini A., Segura-Carretero A., del Carlo M., Gallina-Toschi T.,** 2005. Evaluation of the antioxidant capacity of individual phenolic compounds in virgin olive oil. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, vol. 53, pp. 8918–8925.
47. **Carpita N.** 1996. Structure and biogenesis of the cell walls of grasses. *Annu. Rev Plant Physiol .Plant Mol .Biol.* vol. 47, pp. 445-476
48. **Cavell A. J.,** 1947. Basra dates: relationship between ripening and sugar content of twelve varieties. *J. Soc. Chem. Ind.*, London, vol. 66, pp. 195-198.
49. **Cassidy M.M., Lightfood F.G., Grau L.E., Story J.A., Kritchevsky D., Vahouny G.V.,** 1981. Effect of chronic intake of dietary fibres on the ultrastructuraltopography of rat jejunum and colon : a scanning electron microscopy study. *Am. J. Clin. Nutr.*, n°34, pp. 218-228.
50. **Chene C.,** 2003. Les fibres alimentaires. *Journal de l'ADRIANOR*, n°33, pp. c.4-c6.
51. **Cleveland M.M. et Fellers C.R.,**1932. Mineral composition of date. *Industr. Eng. Chem. Anal.*n°4, pp. 267-368.
52. **Colonna J.P.,** 1978.L'acide chlorogéniqueet les depsides de divers caféiers africains et malgaches : leur participation au métabolisme et leur signification biologique. Thèse Doctorat, Toulouse, 210p.

Références bibliographiques

- 53. Colonna J.P., 1979.** L'acide chlorogénique et les depsides de divers caféiers africains et malgaches : leur signification biologique, leur intérêt scientifique, économique et pratique. *Acad. Malg. communic.*, 16p.
- 54. Colonna J.P., 1980.** Effet de l'acide chlorogénique et les depsides dans les organismes vivants : 1-actions comparées de la caféine et de l'acide chlorogénique sur la physiologie humaine et animale. *Ann. Univ., Madagascar*.
- 55. Cosgrove D.J., 2000.** Expansive growth of plant cell walls. *Plant Physiol Biochem*, n° 38: pp. 109-124.
- 56. Cosgrove D.J., 2005.** Growth of the plant cell wall. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.*, n° 6, pp. 850-861.
- 57. Cummings J.H., Southgate D.A.T., Branch W.J., Wiggins H.S., Houston H., Enkins D.J.A., Jivraj T., Hill M.J., 1979.** The digestion of pectin in the human gut and its effect on calcium absorption and large bowel function. *Br. J. Nutr.*, n°41, pp. 477- 485.
- 58. Cumming C.M., Rizkallah H.D, McKendrick K.A., AbdelMassih R.M., Baydoun E.A. and Brett C.T., 2005.** Biosynthesis and cell wall deposition of a pectinxyloglucan complex in pea. *Planta*, n° 222, pp. 546-555.
- 59. Darvill A.G., McNeill M., Albersheim P., Delmer D., 1980.** The primary cell walls of flowering plants. In Tolbert NE (ed) *The Plant Cell. Academic press*, New York, p.91.
- 60. Das N.N., Das S.C., Dut A.T., Roy A., 1981.** Lignin –zylan ester linkage in jute fiber (*Corchorus capsularis*). *Carbohydr. Res.*, n°94, pp.73-82.
- 61. Dawson V.H.W. et Aten, A., 1963.** Récolte et conditionnement de la datte. F.A.O., ROME. pp. 7-48, 229-198.
- 62. DeVries J.A., Voragen A.G.J., Rombouts F.M., Pilnik W., 1981.** *Carbohydr. polymers*, n°1, p.117
- 63. Djerbi M., 1994.** Précis de phoeniciculture. F.A.O. 192p.
- 64. Doco T., Lecas M., Pellerin P., Brillouet J.-M., et Moutounet M., 1995.** Les polysaccharides pectiques de la pulpe et de la pellicule de raisin : Quel devenir pendant la phase pré-fermentaire. *Revue Française d'Oenologie*, p.153, pp.16-23.
- 65. Duncan K.H., Bacon J.A., Weinsier R.L, 1983.** The effects of high and low energy intake, density diets on satiety, energy intake and eating time of obese and nonobese subjects. *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 37, pp. 763-767.
- 66. Dupaigne P., Munier P. 1961.** Préparation nouvelles à partir de la datte. *Fruits*, pp. 420 - 424. Paris.

Références bibliographiques

- 67. Düsterhöft E.M., Poshumus M.A., Voragen A.G.J.,**1992. Non starch polysaharides from sunflower (*Helianthus annuus*) meal and palm-kernel (*Elaeis guineensis*) meal-Investigation of the structure of major polysaccharides. *J.Sci.Food.Agri*, n°59, pp. 151-160.**Düsterhöft, E. M., Engels, F. M., et Voragen, A. G. J.,** 1993. Parameters affecting theenzymic hydrolysis of oil-seed meals, lignocellulosic by-products of the foodindustry. *Bioresearch and Technology*, vol. 44, pp. 39–46.
- 68. Ebringerova´ A., et Heinze T.** 2000. Xylan and xylan derivatives- biopolymers with valuable properties. 1. Naturally occurring xylans structures, isolation procedure and properties. *Macromoleculer Rapid Communications*, v. 21, pp. 542 – 556.
- 69. Edwards C.A., Bowen J., Brydon G., Eastwood M.A.,** 1992. The effects of ispaghula on rat caecal fermentation and stool output. *Br. J. Nutr.*, n°68, pp. 473-482.
- 70. Ele-Ekouna J.P., Pau-Roblot C., Courtois B., Courtois J.,** 2011. Chemical characterization of pectin from green tea (*Camellia sinensis*). *Carbohydrate Polymers*, vol. 83, pp. 1232-1239.
- 71. Elleuch M., Besbes S., Roiseux O., Blecker C., Deroanne , Drira N., Attia H.,** 2008. Date flesh: Chemical composition and characteristics of the dietary fibre. *Food Chemistry*, n°.111, pp.676–682
- 72. El-Zoghbi M.,** 1994. Biochemical changes in some tropical fruits during ripening. *J. Food Chem.*, n°49, pp. 33-37.
- 73. Englyst H.N., Anderson V. et Cummings J.H.,** 1983. Starch and non-strach polysaccharides in some cereal foods. *Journal of science food in agriculture*, vol.34, pp. 1434-1440.
- 74. Englyst H., Quigley M. et Hudson G.,** 1994. Determination of dietary fibre as non-starch polysaccharides with gas-liquid chromatographic, high-performance liquid chromatographic or spectrophotometric measurement of constituent sugars. *Analyst*, vol. 119, pp. 1497-1509.
- 75. Englyst H. et Hudson G.,** 1996. The classification and measurement of dietary carbohydrates. *Food Chem.*, vol1, n°57, pp. 15-21.
- 76. Eriksson I., Andersson R. et Aman P.,** 1997. Extraction of pectic substances form dehulled rapeseed. *Carbohydr. Res.*, vol. 301, pp. 177-185.
- 77. Espiard E.,** 2002. Introduction à la transformation industrielle des fruits. Ed. Tech et Doc., Lavoisier, 360p.
- 78. Estanove P.,** 1990. Note technique: valorisation de la datte. Option méditerranéennes, n° 11, pp. 302-306.

Références bibliographiques

- 79. Fahey G.C.**, 1994. Dietary Fibre: Definition and influence on enteric physiology, colonic proliferation and inflammatory mediators. Proceedings of the 12th ACVIM Forum, San Francisco, pp. 536-538.
- 80. Fang, J. M., Sun, R. C., Salisbury, D., Fowler, P., et Tomkinson, J.** 1999. Comparative study of hemicelluloses from wheat straw by alkali and hydrogen peroxide extractions. *Polymer Degradation and Stability*, n° 66, pp. 423 – 432.
- 81. FAO**, 2007. Directives concernant l'utilisation des allégations relatives à la nutrition : projet de tableau des conditions applicables à la teneur en éléments nutritifs (Partie B : Fibres alimentaires) à l'étape 6. Rome : *FAO*.
- 82. FAO/WHO** Joint Expert Committee on Food Additives. 2007. Compendium of food additive specifications. FAO JEFCA Monographs 4; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy;<http://www.fao.org/docrep/010/a1447e/a1447e00.htm>.
- 83. Farrell D.J., Girle L., Arthur J.**, 1978. Effects of dietary fibre on the apparent digestibility of major food components and on blood lipids in men. *Aust. J. Exp. Biol. Med. Sci.*, n°56, pp. 469-479.
- 84. Favier J. C., Ireland R.J., Toque C., Feinberg M.**, 1995. Répertoire général des aliments: Table de composition. Ed. Tec et Doc. *Lavoisier, I.N.R.A. Editions, C.N.E.V.A. et C.I.Q.U.A.L.*, 897p.
- 85. Féliachi S.**, 2005. La transformation des produits du palmier dattier: Potentiel et atouts-problématique- Opportunités- Thématique. Journée d'étude sur la transformation des produits du palmier dattier, organisé par l'TTDAS le 6 et 7 Décembre 2005.
- 86. Feldman M.**, 1976. Taxonomie classification and names of wild, cul and moderne cultevated wheats. Evolution of plants, Longman; London, pp.120-128.
- 87. Ferreira R. B., PiÇarra-Perreira M. A., Monteriro S., Loureiro V. B., et Teixeira A. R.**, 2002. The wine proteins. *Trends in Food Science and Technology*, vol.12, pp. 230–239
- 88. Fidalgo M.L, Terron M.C., Martinez A.T., Gonzalez A.E., Gonzalez-villa F.J., Galletti G.C.**, 1993. Comparative study of fractions from alkaline extraction of wheat straw through chemical degradation, analyticale pyrolysis and spectroscopic techniques. *J. agric. Chem.*, n°41, pp.1621-1626.
- 89. Fischer M., Arrigoni E., et Amado R.**, 1994. Changes in the pectic substances of apples during development and postharvest ripening. Part 2: analysis of the pectic fractions. *Carbohydr. Polym.*, v.25, pp.167-175.
- 90. Folch J., Lees M., et Sloane Stanley G.H.**, 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. *J. Biol. Chem.*, vol. 226, pp.497-509.

Références bibliographiques

91. **Ford C.W.**, 1986. Comparative structural studies of lignin-carbohydrate complexes from *Digitaria decumbens* (panolagrass) before and after chlorite delignification. *Carbohydr polymers*, n°141, pp.117.
92. **Frape D.L., Jones A.M.**, 1995. Chronic and postprandial responses of plasma insulin, glucose and lipids in volunteers given dietary fibre supplements. *Br. J. Nutr.*, n°73, pp. 733-751.
93. **Freudenberg K.**, 1965. Lignin: its constitution and formation from p-hydroxycinnamyl alcohols. *Science*, vol. 148, pp.595-600.
94. **Furda I.**, 1983. Amino-polysaccharides: Their potential as dietary fibre. In: Unconventional source of dietary fibre, *Ivan Furda Editor*, pp. 105-121.
95. **Gallaher D., Schneeman B.**, 1986. Effect of dietary fibre on protein digestibility and utilization. In: Handbook of Dietary Fibre in Human Nutrition, Edited by *G.A.Spiller*, *CRC Press*, pp. 143-164.
96. **Gatel R.**, 1982. L'aliment à humidité intermédiaire concept fondamental et fiction scientifique, *APRIA*, pp. 39-50.
97. **Ghazi F et Tefahi M**, 2007. Mise en valeur et étude de l'utilité technologique de la fermentation de dattes « cas de la variété Hmira ». Mémoire d'ingénieur d'état en sciences alimentaires, Mascara, 3-6-9-21p
98. **Giddey C.**, 1982. Les produits à humidité intermédiaire. Cas particulier du problème de conservation des produits à humidité intermédiaire. *APRIA*, pp. 21-28.
99. **Gilles, P.**, 2000. Cultiver le palmier dattier. Ed. CIRAS, 110p.
100. **Godi R., Marchini G., Cairella M.**, 1992. Clinical observations on the use of a dietary fibre supplement in the treatment of obese patients. *Clinica Dietologica*, n°19, pp. 297-299.
101. **Hadouch M.**, 1995. situation actuelle et perspectives de développement du palmier dattier au Maroc options méditerranéennes, série A, n° 28. Le palmier dattier dans l'agriculture d'oasis des pays méditerranéennes. Ed, I.A.M. ZARAGOZA, Spain, 63-79.
102. **Hanlin R. L., Hrmova M., Harbertson J. F., et Downey M. O.** 2010. Review: Condensed tannin and grape cell wall interactions and their impact on tannin extractability into wine. *Australian Journal of Grape and Wine Research*, vol.16, pp. 173–188.
103. **Hannachi S.; Benkhalifa A. Khitri D. et R.A.Brac de la Perrière**, 1998. Inventaire variétal de la palmeraie algérienne. *C.D.A.R.S et U.R.Z.A.*
104. **Happi Emaga T., Robert C. , Ronkart S.N. , Wathelet B., Paquot M.**, 2008. Dietary fibre components and pectin chemical features of peels during ripening in banana and plantain varieties. *Bioresource Technology*, n°99 pp.4346–4354

Références bibliographiques

- 105.Harrak H.** et **Chetto A.**, 2001. Valorisation et commercialisation des dattes au Maroc. *I.N.R.A.*, 222p.
- 106.Harris P. J., Henri R. J., Blakeney A. B., et Stone B. A.** 1984. An improved method for the methylation analysis of oligosaccharides and polysaccharides. *CarbohydrateResearch*, n°55, pp. 205-208.
- 107.Hatfield R.D.**, 1989. Structural polysaccharides in forages and their degradability. *Agron. J.*, n° 81, pp. 39-46.
- 108.Hatfield R.D., Vermerris W.**, 2001. Lignin formation in plants. The dilemma of linkage specificity. *Plant Physiol.*, vol. 126, pp1351–1357
- 109.He L., Terashima N.**, 1991. Formation and structure of lignin in monocotyledons. IV deposition process and structural diversity of the lignin in the cell wall of sugarcane and rice plant studied by ultraviolet microscopic spectroscopy. *Holzforschung*, n°45, pp. 191-198.
- 110.HellerR.**, 2000. Physiologie végétale Tome. 2 : Développement. Ed. Dunod, 2, 366p.
- 111.Henk J., Zwir E., Rik L.**, 2003. Caroténoïdes et flavonoïdes contre le stress oxydatif. *Arôme Ingrédients Additifs*, n° 44, pp. 42-45.
- 112.Howard P., Mahoney R.R., Wilder T.**, 1986. Binding of amino acids by dietary fibres and wheat bran. *Nutrition Reports International*, n°34, pp. 135-140.
- 113.Hussein F., Mahdid M., El Zeid A.**, 1975. Fruit growth and composition of some Saudi Arabian soft date cultivars. *Ann.Agri. Sci*, vol.4, p.19.
- 114.Ismail B., Haffar I., Baalbaki R., Mechref Y. et Henry J.**, 2006. Physico-chemical characteristics and total quality of five date varieties grown in the United Arab Emirates. *International journal of food science et technology*, vol. 41, pp. 919-926.
- 115.Izdorczyk M.S.,Macri L.J., MacGregor A.W.**, 1998.Structural and physicochemical properties of barley non-starch polysaccharides- Alkali extractible β -glucans and arabinoxylans. *Carbohydrates polymers*, n° 35, pp. 259-269.
- 116.JamilahB., Shu C. E., Kharidah M., Dzulki-fly M. A. et Noranizan A.**, 2001. Physico-chemical characteristics of red pitaya (*Hylocereus polyrhizus*) peel. *International Food Research Journal*, vol.18, pp. 279-286.
- 117.Jenkins D.J.A., Wolever T.M.S., Leeds A.R., Gassull M.A., Haisman P., Dilawari J., Goff D.V., Metz G.L., Alberti K.G.M.**, 1978. Dietary fibres, fibres analogues and glucose tolerance: importance of viscosity. *Br.Med. J.*, n°1, pp.1392-1394.
- 118.Johnson I.T., Livesey G., Gee J.M., Brown J.C., Wortley G.M.**, 1990. The biological effects and digestible energy value of a sugar-beet fibre preparation in the rat. *Br. J. Nutr.*, n°64, pp. 187-199.

Références bibliographiques

- 119.Jouanin L.**, 2010. Biologie moléculaire de la lignification, l'art de faire des lignines à façon, Académie d'Agriculture de France, in : <http://www.academie-agriculture.fr/mediatheque/seances/2010/20100217resume2.pdf>
- 120.Joseleau J.P.**, 1980. Les hémicelluloses. *In* : Les polymères végétaux. B. Monties. Ed.Gauthier-Villars, pp. 87-121.
- 121.Jraidi Z., Mahjoub A.**1990. Elaboration d'une boisson gazeuse et d'une confiture aromatisée à partir de deux variétés de dattes,*Tunisie*, pp. 35-44.
- 122.Kamath P.S., Hoepfner M.T., Phillips S.F.**, 1987. Short chain fatty acids stimulate motility of the canine ileum. *Am. J. Physiol.*, p. 253,
- 123.Kumar P., Barrett D. M., Delwiche M. J., et Stroeve, P.**, 2009. Methods for pretreatment of lignocellulosic biomass for efficient hydrolysis and biofuel production. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 48, pp. 3713–3729.
- 124.Keckes J, Burgert I, Fruhmann K, Muller M, Kolln K, Hamilton M, Burghammer M, Roth SV, StanzlTschegg S et Fratzl P**, 2003. Cellwall recovery after irreversible deformation of wood.*Nat. Mater.*, n° 2, pp. 810-814
- 125.Kendri S.**, 1999. Caractéristiques biochimiques de la biomasse "*Saccharomyces cerevisiae*" produite à partir des dattes " variété Ghars". Mém.Ing. Agr., Département d'agronomie, Batna.
- 126.Kerley M.S., Sunvold G.D.**, 1996. Physiological response to short chain fatty acid production in the intestine. Proceedings of the first IAMS, International Nutrition Symposium, pp. 33-39.
- 127.Key F.B., Mathers J.C.**, 1993. Complex carbohydrate digestion and large bowel fermentation in rats given wholemeal bread and cooked haricot beans (*Phaseolus vulgaris*) fed in mixed diets. *Br. J. Nutr.*, n°69, pp 497-509.
- 128.Kondo T, Ohshita T., et Kyuma T.**, 1992. Comparison of characteristics of soluble lignins from untreated and ammoniated wheat straw. *Ani. Feed Sci. Technol.*, vol.39, pp. 253-263
- 129.Krotkiewski M.**, 1984. Effect of guar gum on body-weight, hunger ratings and metabolism in obese subjects. *Br. J. Nutr.*,n°52, pp.97-105.
- 130.Kvietys P.R., Granger D.N.**, 1981. Effect of volatile fatty acids on blood flow and oxygen uptake by the dog colon. *Gastroenterology*, n°80, pp. 962-969.
- 131.LaironD.**, 1996. Dietary fibers: effects on lipid metabolism and mechanism of action. *European journal of clinical nutrition*, vol.50, pp. 125-133.

Références bibliographiques

- 132. Langkilde A.M., Andersson H., Bosacus I.,** 1993. Sugar beet fibre increases cholesterol and reduces bile acid excretion from the small bowell. *Br. J. Nutr.*, n° 70, pp. 757-766.
- 133. Lapierre C.,** 2010. Les lignines, des polymères uniques au monde, Académie d'Agriculture de France. In : <http://www.academiagriculture.fr/mediatheque/seances/2010/20100217resume1.pdf>
- 134. Lawther J.M., Sun R.C. et Banks W.B.,** 1995. Extraction, fractionation and characterization of structural polysaccharides from wheat straw. *J. Agric. Food Chem.*, vol. 43, pp. 667-675.
- 135. Le Bourvellec C., Bouchet B., et Renard C. M. G. C.,** 2005. Non-covalent interaction between procyanidins and apple cell wall material. Part III: Study on model polysaccharides. *Biochimica Biophysica Acta*, vol. 1725, pp.10–18.
- 136. Legentil A., Haluk J.P.,** 1996. Etude de la composition chimique des pectines de la paroi cellulaire de la fraise et de leur solubilisation par des préparations enzymatiques industrielles application de la liquéfaction de la fraise. Institut national polytechnique de Lorraine, Vandoeuvre-lés-Nancy, France, n°96.
- 137. Liu C.F., Xu F., Sun J.X., Ren J.L., Curling S., Sun R.C., Fowlere P. et Baird M.S.,** 2006. Physicochemical characterization of cellulose from perennial ryegrass leaves (*Lolium perenne*). *Carbohydrate Research*, n°341, pp. 2677–2687.
- 138. Low A.G., Zebrowska T., Heppell L.M.J., Smith H.A.,** 1985. Influence of wheat bran, cellulose, pectin and low or high viscosity guar gum on glucose and water absorption from pig jejunum. *Proc. Nutr. Soc.*, n°45, p.55A.
- 139. Liyama K., et Lam T. B.,** 1990. Lignin in wheat internodes. Part 1: the reactivities of lignin units during alkaline nitrobenzene oxidation. *J. Sci. Food Agric.*, vol. 51, pp.481–491.
- 140. Mansouri A., Embarek G., Kokhalou E.; Kefala P.,** 2005. Phenolic profile and antioxydant activity of the Algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*). *Food chemistry*, n° 89, pp. 411-426.
- 141. Marlett J.A., Hosig K.B., Vollendorf N.W., Shinnik F.L., Haack V.S. et Story J.A.,** 1994. Mechanism of serum cholesterol reduction by oat bran. *Hepatology*, vol. 20, pp.1450-1457.
- 142. Martin A.,** 2001. Apports Nutritionnels Conseillés pour la Population Française. Ed. Tec & Doc. Lavoisier. Paris, n°3.
- 143. Masmoudi N.,** 2000. Essai de production de biomasse " *Saccharomyces cerevisiae*" à partir de dattes Guars. Mém. Ing. Agr. Département d'agronomie, Batna.

Références bibliographiques

- 144.Massiot P.**, 1988. Caractérisation structural et dégradation enzymatique des polysaccharides des parois cellulaires de la racine de carotte (*Daucus carota* L.). Thèse Doc., Université de Rennes, France.
- 145.Massiot P., Baron A. et Drilleau J.F.**, 1994. Charaterisation and enzymatic hydrolysis of cell-wall polysaccharides from different tissue zones of apple. *Carbohydrate Polymers*, n°25, pp. 145-154
- 146.Matallah M.A.A.**, 2004. Contribution à l'étude de la conservation des dattes variétés Deglet Nour: Isotherme d'adsorption et de désorption. Mémoire d'ingénieur agronome, I.N.A. El-Harrach, 79p.
- 147.Matsuhira B., Lillo L. E., Sáenz C., Urzúa C. C., et Zárata O.** 2006. Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus-indica*. *Carbohydrate Polymers*, n°63, pp.263–267.
- 148.Mazur A., Gueux E., Felgines C., Bayle D., Nassir F., Demigne C., Remesy C.**, 1992.Effects of dietary fermentable fibre on fatty acid synthesis and triglyceride secretion in rats fed fructose based diet: studies with sugar beet fibre. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, vol. 199, pp. 345-350.
- 149.McCleary B. et Monaghan D.**, 2002. Measurement of resistant starch. *AOAC Int. J.*, vol.2, n°2, pp. 665-675.
- 150.McDougall, G. J.**, 1993. Isolation and partial characterization of the non-cellulosic polysaccharides of flax fibre. *Carbohydr. Res.*, vol. 241, pp.227–236
- 151.Meftah F, Saadi A., 1992.** Etude de la composition chimique de la datte algérienne au cours de la maturation et du stockage. Mémoire d'ingénieur. Institut National Agronomique, El-Harrach, 110 p.
- 152.Messaid H.**, 2007. Optimisation du processus d'immersion- Rehydratation du système Dattes sèches-Jus d'orange. Mémoire de Magister, Université M'Hamed Bouguera, Boumerdes (Algérie), 86p.
- 153.Michalski, J.C.**, 1986. Analysis of monosaccharides by GLC and by HPLC. In: Verbert, A. (Eds.), *Methods on glycoconjugates*, Harwood Academic Press, Chur, Switzerland, pp. 31-38.
- 154.Miranda P.M., Horwitz D.L.**, 1978. High fiber diets in the treatment of diabetes mellitus. *Ann. Int. Med.*, n°88, pp. 482-486.
- 155.Morgan L.M., Tredger J.A., Williams C.A., Marks V.**, 1988. Effects of sugar beet fibre on glucose tolerance and circulating cholesterol levels. *Proc. Nutr. Soc.*, n°47, pp. 185A (Abstract).

Références bibliographiques

- 156. Multon J.J.**, 1991. Techniques d'analyses et de contrôle dans les industries agroalimentaires. Tech et Doc- Lavoisier, vol., IV, pp. 121-137.
- 157. Munier P.**, 1973. Le palmier dattier. Ed. Maisonneuve. Paris, 221p.
- 158. Mustafa A.B., David B.H. and Donald E.J.** 1986. Biochemical changes during ripening of some Sudanese date varieties. *J. Sci. Food Agri.*, n°73, pp. 43-53.
- 159. Najeh D., Taher T. et Kacem B.** 1999. Tunisian Deglet Noor dates reaping, processing and storage. *Gerasopoulos, China*, pp.179-184.
- 160. Nawirska et Oszmianski**, 2001. Binding of metal ions by selected fractions of fruit pomace. *Zywnosc Nauka Technologia, Jakosc*, n°4, vol. 29, pp.66-77.
- 161. Nawirska, A. and Kwasniewska, M.** 2005. Dietary fibre fractions from fruit and vegetable processing waste. *Food Chemistry*, vol. 91, pp. 221–225.
- 162. Nezan El-Din A. M.**, 2000. Date palm post-harvest processing technology in Egypt. *In* : Hamdan, I. Y. (ed), Hegazi, N. A. (ed), Date palm : Post-Harvest Processing Technology, *FAO*, Rome, pp. 42-73.
- 163. Noui Y.**, 2007. Caractérisation physico-chimique comparative des deux tissus constitutifs de la pulpe de datte Mech- Degla. Thèse de magister, spécialité génie alimentaire, université de Boumerdes, 62p.
- 164. Palmer G.H., Dixon D.G., 1966.** Effect of pectin dose on serum cholesterol levels. *Am. J. Clin. Nutr.*, vol. 18, pp. 437-442.
- 165. Pinelo M., Arnous A., et Meyer A. S.**, 2006. Upgrading of grape skins: Significance of plant cell-wall structural components and extraction techniques for phenol release. *Trends of Food Science and Technology*, vol.17, pp. 579–590.
- 166. Programme National de la Nutrition et de la Santé**, 2002. Guide alimentaire pour tous. Ed *INPES*, Paris.
- 167. Prosky L. L.; Asp N.G. N.G.; Furda I. I.; DeVries J. W. J.W.; Schweizer T. F. T.F.**, 1985. Determination of total dietary fiber in foods and food products: collaborative study. *AOAC J.*, vol. 4, n° 68, pp. 677-679.
- 168. Prosky L. Asp NG, Schweizer TF, DeVries JW, Furda I.**, 1992. Determination of insoluble and soluble dietary fiber in foods and food products: collaborative study. *AOAC Int. J.*, vol.2. n° 75, pp. 360-367.
- 169. Ould El Hadj M.D., Sebihi A.H., Siboukeur O.**, 2001. Qualité hygiénique et caractéristiques physico-chimiques du vinaigre traditionnel de quelques variétés de dattes de la cuvette d'Ouargla. *Revue Energie Renouvelable: Production et valorisation Biomasse*, pp. 87-92.

Références bibliographiques

- 170. Raben A., Jensen N.D., Marckmann P., Sandstom B., Astrup A., 1995.** Spontaneous weight loss during 11 week's ad libitum intake of a low fat/high fiber diet in young, normal weight subjects. *Int. J. Obs.*, n°19, pp. 916-923.
- 171. Ramírez-Truque C., Esquivel P., Carle R., 2011.** Neutral sugar profile of cell wall polysaccharides of pitaya (*Hylocereus* sp.) fruits. *Carbohydrate Polymers*, n°83, pp.1134–1138
- 172. Ramulu P. et Udayasekhara P., 2003.** Total, insoluble and soluble dietary fiber contents of Indian fruits. *Journal of food composition and analysis*, vol.16, pp.677-685.
- 173. Reinhold J.G., Kfoury G.A., Ghalanbor M.A., Bennett, J.C., 1966.** Zinc and copper concentrations of hair of Iranian villagers. *Am. J. Clin. Nutr.*, n°18, pp. 294-300.
- 174. Renard C.M.G.C., Thibault J.F., 1991.** Composition and physico-chemical properties of apple fibers from fresh fruits and industrial products. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, n° 24, pp. 523-527
- 175. Reynes M., Bouabidi H., et Rouissi M.B., 1995.** Caractérisation des principales variétés de la datte cultivées dans la région de Djérid en Tunisie. *Fruits*, vol. 49, n°4, pp. 289-298.
- 176. Rhouma A., 2005.** Le palmier dattier en Tunisie. Le patrimoine génétique, vol. 2, I.P.G.R.I. (Projet PNUD /FEM/IPGRI/RAB98G31).
- 177. Ribereau-Gayon P., 1968.** Les composés phénoliques des végétaux. Dunod, Paris, 254 p.
- 178. Roediger W.E.W., 1980.** Role of anaerobic bacteria in the metabolic welfare of the colonic mucosa in man. *Gut*, vol. 21, pp.793-798.
- 179. Rombouts F.M., Thibault J.F., 1996.** Feruloylated pectic substances from sugar beet pulp. *Carbohydr. Res.* n°154, pp.177–188.
- 180. Rygg G.L., 1946.** Compositional changes in date fruit during growth and ripening. *U.S.D.A. Tech. Bull.*, 910, pp. 51.
- 181. Rytting K.R., Tellnes G., Haeg L., Boe E., Fagerthun H., 1989.** A dietary fibre supplement and weight maintenance after weight reduction: a randomized, doubleblind, placebo-controlled long-term trial. *Int. J. Obes.*, n°13, pp. 165-171.
- 182. Saafi E.B., Trigui M., Thabet R., Hammami M. et Achour L., 2008.** Common date palm in Tunisia: chemical composition of pulp and pits. *International journal of food science and Technology*, vol. 43, pp. 2033-2037.
- 183. Sarkanen K., Ludwig C., 1971.** Definition and nomenclature, p.1- in « lignins: Occurrence, formation structure and reactions », K. V. Sarkanen et C.H. Ludwig eds., Wiley. Interscience, N.Y.

Références bibliographiques

- 184.Saura-Calixto F., et Bravo L.,** 2001. Dietary fibre-associated compounds: Chemistry, analysis, and nutritional effects of polyphenols. *In*:S. Sungsoo Cho et M. L. Dreher (Eds.), Handbook of dietary fibre(p.p. 415–435). New York (USA): Marcel Dekker Inc.
- 185.Sawaya W.N., Khalil J.K., Safi W.M., Al-Shalat A.,** 1983. Physical and Chemical Characterization of Three Saudi Date Cultivars at Various Stages of Development. *Can. Ins. Food. Sci. Techno.J.*, n° 16, pp. 2, 87-93.
- 186.Scalbert A., Monties B., Guittet E., Lallemand J.Y.,** 1986.Comparison of wheat straw lignin preparations I. Chemical and spectroscopic characterizations. *Holzforschung*, vol. 40, pp.119 – 129.
- 187.Schneeman B.O., Gallaher D.,** 1985. Effects of dietary fibre on digestive enzyme activity and bile acids in the small intestine. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, n°180, pp. 409-414.
- 188.Schneeman B.O., Gallaher D.,** 1986. Effects of dietary fibre on digestive enzymes. *In*:Handbook of dietary fibre in human nutrition, G.A. Spiller, CRC Press Boca Raton, pp. 305-312.
- 189.Schwarz P.B., Youngs V.L., etShelton D.R.,** 1989. Isolation and characterization of lignin from hard red spring wheat bran. *Cereal Chem.*, vol. 66, n° 4, pp. 289-295.
- 190.Sedra My H.,** 1995.La palmeraie dattière marocaine : composition, caractéristiques variétales et potentialités. Options méditerranéennes : série A., Séminaire méditerranéen, n°28.
- 191.Selvendran R. et O'Neill M.,** 1985. Isolation and analysis of cell walls from plant material. *In*: Glick D., ed. *Methods of biochemical analysis*. Vol. 32. New York, USA:Wiley, .p. 25-153.
- 192.Selvandran R.R., Verne A.V.F.V. et Faulks R.M.,**1989. Method for Analyses of dietary fiber.*In*: Linskens H.F., Jackson J.F. (eds) Modern methods of plant analysis. New series, vol. 10. Plant fibers, springer, Berlin Heidelberg New York, pp. 260-277.
- 193.Shahidi F., et Naczk M.,** 1995. Food phenolics: Sources, chemistry, effects, applications. *Lancaster PA: Technomic Publishing Company Inc.*
- 194.Shepherd A.J, Hubbard W.D.et Prosser A.R.,** 1974. Evaluation of eight extraction method and their effects upon total fat and gas liquid chromatographic fatty acid composition analysis of food products. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 51, pp.416-418.
- 195.Sigleo S., Jackson M.J., Vahouny G.V.,** 1984. Effects of dietary fibre constituents on intestinal morphology and nutrient transport. *Am. J. Physiol.*, n°246, pp. 34-39.
- 196.Singleton V.L, Timberlake C.F, Lea A.G.H.,** 1978. The phenolic cinnamates of grapes and wine.*Journal of Sciences and Food Agriculture*, 29, pp.403-410.

Références bibliographiques

- 197.Slavin J.L., Marlett J.A.**, 1980. Effect of refined cellulose on apparent energy, fat and nitrogen digestibility's. *J. Nutr.*, n°110, pp. 2020-2026.
- 198.Solum T.T., Ryttig K.R., Solum E., Larsen S.**, 1987. The influence of a high-fibre diet on body weight, serum lipids and blood pressure in slightly overweight persons. A randomized, double-blind, placebo-controlled investigation with diet and fibre tablets. *Int. J. Obes.*, n°11, Suppl.1, pp. 67-91.
- 199.Somerville C., Bauer S., Brininstool G., Facette M., Hamann T., Milne J., Osborne E., Paredez, A., Persson S., Raab T., Vorwerk S., et Youngs H.**, 2004. Toward asystems approach to understanding plant cell walls. *Science*, n°306, pp.2206-2211.
- 200.Southgate D.A.T.**, 1977. The definition and analysis of dietary fiber. *Nutr. Rev.*, n° 35, pp. 31- 37.
- 201.Southgate D.A.T.**, 1986. Food components that behave as dietary fiber. *In: Handbook of dietary fibre in human nutrition.* Ed. G.A. Spiller, *C.R.C. Press*, pp. 21-22.
- 202.Spiller G.A., Fassett-Cornelius G. et Briggs G.M.**, 1976. A new term for plant fibers in nutrition. *Am. J. Clin. Nutr.*, n°29, pp. 934-935.
- 203.StevensB.J.H.et Selvandran R.R.**, 1980. *Jour. Food Sci. Agric.*, n°.31, p.p. 1257 A
- 204.StewartD. etMorrisonI.M.**, 1992. FT-IR spectroscopy as a tool for the study biological and chemical treatment of barley straw. *Journal of science and food agriculture* n°60, p.p. 431-436.
- 205.Stock-Damgé C., Bouchet P., Dentinger A., Aprahamian M., Grenier J.F.**, 1983. Effect of dietary fiber supplementation on the secretory function of the exocrine pancreas in the dog. *Am. J. Clin. Nutr.*, n°38, pp. 843-848.
- 206.Story J.A. et Kritchevsky D.**, 1976. Comparison of the binding of various bile acids in vitro by several types of fiber. *Journal of nature*, vol. 106, pp. 1292-1294.
- 207.SultanovV.S. et Wallis A. F. A.**, 1991.Reactivities of guaiacyl and syringyl lignin model phenols towards oxidation with oxygen- alkali. *Journal of wood chemistry and technology*, vol. 11, pp. 291-305.
- 208.Sun R., Lawther J., Banks W.**, 1996a .Carbohydrate Polymer 29 325,*Tech. Ass. Paper Pulp Ind.*, 43 n°2, pp. 209-218.
- 209.Sun, R.-C., Lawther, J. M., et Banks, W. B.** 1998-a. Isolation and physico-chemical characterization of xylose-rich pectic poly-saccharides from wheat straw. *Int. J. Polymer Analysis and Characterization*, vol.4, pp.345– 356.

Références bibliographiques

- 210.Sun, R.-C., Fang J.M., Goodwin A. Lawther, J. M., Bolton A.,** 1998-b. Fractionation and characterization of polysaccharides from abaca fibre. *Carbohydrate Polymers*, n°.37.p.p. 351–359.
- 211.Sun R.C. et Hughes S.,** 1999. Fractional isolation and physico-chemical characterization of alkali-soluble polysaccharides from sugar beet pulp.*Carbohydrate Polymers*, n° 38, pp.273-281.
- 212.Sun R.C., Jones G.L., Tomkinson J., Bolton J.,** 1999. Fractional isolation and partial characterization of non-starchpolysaccharides and lignin from sago pith. *Industrial Crops and Products*, n°19, pp. 211 – 220.
- 213.Sun R.C. et Hughes S.,** 1999. Fractional isolation and physico-chemical characterization of alkali-soluble polysaccharides from sugar beet pulp. *Carbohydrate Polymers*, vol. 38, pp. 273-281.
- 214.Sun R.C., Tomkinson J., Zhu W., et Wang S. Q.,** 2000. Delignification of maize stems by peroxymonosulfuric acid, peroxyformic acid, peracetic acid and hydrogen peroxide. 1. Physiochemical and structural characterization of the solubilized lignins. *Journal of Agricultural Food Chemistry*, n° 48, p.p. 1253-1262.
- 215.SunR.C.et Sun X.F.** 2002. Fractional and structural characterization of hemicelluloses isolated by alkali and alkaline peroxide from barley straw. *Carbohydrates Polymers*, n°49, pp. 415-423
- 216.Sun J.X., Sun X.F. , Sun R.C. et Su Y.Q.,** 2004. Fractional extraction and structural characterization of sugarcane bagasse hemicelluloses. *Carbohydrate Polymers*, vol. 56, pp. 195-204.
- 217.TheanderO.,** 1985. New approaches to Research on cereal Carbohydrates ; Hill R.D., Elsevier L.M., Eds; *Elsivier Science Publishers*, Amesterdam, 1985, pp. 217-230.
- 218.Theander O. Aman P. P.; Westerlund. E. E.; Andersson R. R., Pettersson D. D.,** 1995. Total dietary fiber determined as neutral sugar residues uronic acid residues, and klason lignin (the Uppsala method): collaborative study. *AOAC Int. J.*, vol.4. , n°78, pp. 1030-1044.
- 219.Thibault J.F., Lahaye M., et Guillon F.,** 1992. Physico-chemical properties of food plant cell walls. In: Schweizer TF, Edwards C.A. (eds). *Dietary Fibre a component of food nutritional function in health and disease*, *Springler*, London, pp.21-39.
- 220.Thomas M., Crépeau M.J., Rumpunen K., Thibault J-F.,** 2000. Dietary fibre and cell-wall polysaccharides in the fruits of Japanese quince (*Chaenemeles japonica*). *Lebensm Wiss.u-Technol.*, n°33, pp. 124-131.

Références bibliographiques

- 221. Thomas M.**, 2001. Les polysaccharides des parois du cognassier du Japon (*Chaenomeles japonica*). Thèse de doctorat, Université de Nantes, 86 p.
- 222. Thompson JE et Fry SC**, 2000. Evidence for covalent linkage between xyloglucan and acidic pectins in suspension cultured rose cells. *Planta*, n° 211, pp. 275-286.
- 223. Tirichine A.**, 2005 *In* : **Bousdira K.**, 2006. 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 du Mزاب, classification et évaluation de la qualité. Mémoire du Magister, M'Hamed Bouguera, Boumerdes (Algérie), 172p.
- 224. Topping D.L., Oakenfull D., Trimble R.P., Illman R.J.**, 1988. A viscous fibre (methylcellulose) lowers blood and plasma triacylglycerol and increases liver glycogen independently of volatile fatty acid production in the rat. *Br. J. Nutr.*, n°59, pp.21-30.
- 225. Tortora J.G. et Anagnostakos N.P.**, 1987. Principes d'anatomie et de la physiologie. Ed. *I.N.C.*, n° 5, pp. 688-693.
- 226. Toutain G.**, 1979. Eléments d'agronomie saharienne: de la recherche au développement. Ed. *JOUVE*, Paris, 276p.
- 227. Toutain G.**, 1996. Rapport synthèse de l'atelier "technique culturales du palmier dattier". In options méditerranéennes; série n°28, le palmier dattier dans l'agriculture d'oasis des pays méditerranéens, Ed. *I.A.M.*; Zaragoza Spain, pp. 201-205.
- 228. Touzi A.**, 1997, *In* : **Amellal H.**, 2007. Aptitude technologique de quelques variétés communes de dattes: Formulation d'un Yaourt Naturellement sucré et Aromatisé. Thèse de Doctorat, spécialité génie alimentaire.
- 229. Trowell H.**, 1974. Definition of fibre. *Lancet*, p. 503.
- 230. Vilkas M.**, 1993. Vitamines. Ed. *Hermann*, 158p.
- 231. Visioli F., Galli C., Galli G., et Caruso D.**, 2002. Biological activities and metabolic fate of phenols. *European Journal of Lipid Science and Technology*, vol. 104, pp.677-684
- 232. Voragen A.G.T., Timmers J.P.T., Linssen J.P.H., Schols H.A., Pilnik W.**, 1983. Methods of analysis of cell-walls polysaccharides of fruit and vegetables. *Z. Lebensm. Unters Forsh*, n°177, pp. 251-256.
- 233. Ward A.T., Reichert R.D.**, 1986. Comparison of the effect of cell wall and hull fibre from canola and soybean on the bioavailability for rats of minerals, protein and lipid. *Br. J. Nutr.*, n°116, pp. 233-241.

Références bibliographiques

- 234. Wen J.L., Xiao L.P., Sun Y.C., Sun S.N., Xu F., Sun R.C., Zhang X.L., 2011.** Comparative study of alkali-soluble hemicelluloses isolated from bamboo (*Bambusa rigida*). *Carbohydrate Research*, n°346, pp. 111–120
- 235. Wisker E., Schweizer T.F., Daniel M., Feldheim W., 1994.** Fibre mediated physiological effects of raw and processed carrots in humans. *Br. J. Nutr.*, n°72, pp. 579-599.
- 236. Xie Y.M., Yasuda S., Wu H., et Liu H.B., 2000.** Analysis of the structure of lignin-carbohydrate complexes by the specific ¹³C tracer method. *Journal of wood science*, vol.46, pp.130-136.
- 237. Zykwincka AW, Ralet MJ, Garnier CD and Thibault JJ, 2005.** Evidence for *in vitro* binding of pectin side chains to cellulose. *Plant Physiol*, n° 139, pp. 397-407.
<http://micro.magnet.fsu.edu/cells/plants/cellwall.html>
- www.dole.fr