

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université M'hamed BOUGARA de BOUMERDES



Faculté des Sciences de l'Ingénieur

Laboratoire de Recherche de Technologies Alimentaires (LRTA)

MEMOIRE DE DOCTORAT

Pour l'obtention de titre de magister en Génie Alimentaires

Spécialité : Génie Alimentaire

Option : Technologies Alimentaires

Présenté par :

M^{me} Amellal née Chibane Hayet

Thème

**Aptitude Technologiques de Quelques Variétés Communes de Dattes :
Formulation d'un Yaourt Naturellement Sucré et Aromatisé**

Jury :

Mr Hachemi Messaoud	Professeur à l'université UMBB	Président
M ^{elle} Louaileche Hayette	Professeur à l'université de Béjaïa	Examinatrice
Mr Tahar Ali	Professeur à l'université de d'Annaba	Examineur
Mr Rachedi Yahia	Professeur à l'université USTHB	Examineur
Mr Djelali Nacer-Eddine	Professeur à l'université UMBB	Examineur
Mr Benamara Salem	Professeur à l'université (UMBB)	Promoteur

Année Universitaire : 2007/2008

Sommaire

Introduction.....	1
Etude bibliographique	
Chapitre I : La datte	
I. Généralités sur le palmier dattier.....	6
II. La classification botanique.....	6
III. Ecologie.....	6
VI. Définition de la datte.....	6
V. Formation et maturation de la datte.....	7
VI. Les variétés de dattes.....	9
VII. Classification des dattes.....	10
VIII. Production des dattes.....	11
VIII.1. En Algérie.....	11
VIII.2. Dans le monde.....	12
IX. Composition biochimique de la partie comestible "Pulpe".....	12
IX.1. L'eau.....	12
IX.2. Les sucres.....	13
IX.3. Les protéines.....	14
IX.4. Les lipides.....	14
IX.5. Les éléments minéraux.....	15
IX.6. Les vitamines.....	15
IX.7. Les fibres.....	16
IX.8. Les composés phénoliques.....	16
X. Composition biochimique de la partie non comestible" Noyau".....	17
XI. Valeur nutritionnelle de la datte.....	17
Chapitre II :Technologie de la datte	
I.1. Conditionnement de la datte.....	18
I.2. Transformation de la datte.....	18
II.1. Confiserie à base de datte.....	18
II.1.1. La pâte de datte.....	18
II.1.2. La Farine de datte.....	18
II.1.3. Les Sirops, les crèmes et les confitures de dattes.....	19
II.2. La mise en valeur des déchets.....	19

II.2.1. La biomasse et protéines unicellulaires.....	19
II.2.2. Les alcools.....	19
II.2.3. Les vinaigres	19
II.2.4. Aliments de bétail.....	19
II.2.5. Autres produits	20
III. Importance économique de la transformation de la datte	20

Chapitre III : Le Séchage

I. Introduction	22
II. Modes de séchage.....	22
III. La migration de la vapeur d'eau	23
IV. Modélisation du séchage.....	23

Chapitre IV : Le Yaourt

I. Fabrication et caractérisation du yaourt.....	26
I.1. Fabrication du yaourt.....	26
I.1.1. Définition, historique et réglementation.....	26
I.1.2. Les matières premières et ingrédients	28
I.1.3. Diagramme de fabrication d'un yaourt	29
I.2. Structure et comportement rhéologique des yaourts	35
I.2.1. Structure des yaourts	36
I.2.2. Comportement rhéologique	38

Etude expérimentale

Chapitre V : Matériel et méthodes

I. Matériel biologique.....	41
I.1. Description et choix de la variété	41
I.2. Prélèvement des échantillons.....	41
I.3. Le lait utilisé pour la fabrication des yaourts	42
I.4. Les ferments lactiques	42
II. Méthodes d'analyses	42
II.1. Caractérisation physique de la datte entière et de ses deux principaux tissus constitutifs de la pulpe	46
II.2. Caractérisation physicochimique de la datte, et de ses deux principaux tissus constitutifs	46
II.2.1. Détermination de la teneur en eau.....	46
II.2.2. Détermination du pH.....	47

II.2.3. Détermination de l'acidité titrable.....	48
II.2.4. Détermination de la teneur en sucres totaux	48
II.2.5. Détermination de la teneur en protéines.....	48
II.2.6. Détermination de la teneur en lipides.....	48
II.2.7. Détermination de la teneur en cendres	49
II.2.8. Analyse des éléments minéraux	50
II.2.9. Détermination de la conductivité électrique.....	50
II.2.10. Détermination de la teneur en pectine sous forme de pectate de calcium.....	50
II.2.11. Détermination de la teneur en polyphénols.....	51
II.2.11.1. Extraction des polyphénols	51
II.2.11.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux.....	52
II.2.11.3. Détermination de la teneur en flavonoïdes.....	52
II.2.12 Détermination de l'activité antioxydante par l'inhibition de l'acide linoléique	52
II.2.13 Indice de couleur	53
III. Processus de séchage	55
IV. Fabrication et caractérisation physico-chimique des yaourts	59
IV.1. Fabrication des yaourts	59
IV.2. caractérisation physico-chimique des yaourts	60
IV.2.1. La synérèse	60
IV.2.2.La densité	60
IV.2.3.L'indice de couleur	60
IV.2.4.L'analyse de la texture et de l'aspect rhéologique	60
IV.2.4.1. L'analyse de la texture	60
IV.2.4.2. L'analyse rhéologique	61
IV.2.5.L'analyse sensorielle (Test de dégustation).....	64
IV.2.6. L'analyse microbiologique	65

Chapitre VI : Résultats et discussions

I. Caractéristiques physiques de la datte entière et de la pulpe des trois variétés de dattes étudiées	66
II. Caractérisation physiques de la datte, et de ses deux principaux tissus constitutifs ..	69
II. 1. Le poids.....	69
II. 2. L'épaisseur.....	70

II. 3. La masse volumique.....	71
III. Caractérisation physico-chimique de la datte, et de ses deux principaux tissus constitutifs.....	71
III.1. Teneur en eau.....	71
III.2. Le pH.....	74
III.3. Teneur en cendres.....	75
III.4. Conductivité électrique.....	76
III.5. Teneur en matière grasse.....	77
III.6. Teneur en protéines.....	78
III.7. Acidité titrable.....	80
III.8. Teneur en pectine.....	81
III.9. Les sucres.....	82
III.10. La composition en minéraux.....	83
III.11. Les polyphénols totaux.....	90
III.12. Les flavonoïdes.....	93
III.13. L'activité antioxydante de la datte.....	95
IV. Le séchage.....	97
V. La caractérisation des yaourts fabriqués.....	107
V.1. Caractéristiques physico-chimiques.....	107
V.2. L'analyse de la texture et de l'aspect rhéologique des yaourts obtenus.....	113
IV.2.1. L'analyse de la texture.....	113
V.2.2. L'analyse rhéologique.....	116
V.2.3. L'analyse sensorielle (Test de dégustation).....	125
V.2.4. L'analyse microbiologique.....	126
Conclusion.....	127
Références bibliographiques	
Annexes	

Liste des publications et communications liées à ce travail

Publications internationales

Chibane Hayet, Benamara Salem, Noui Yacine, Djouab Amrane. 2007. Some physicochemical and morphological characterizations of three varieties of Algerian dates. European Journal of Scientific Research, volume 15, N° 1, pp 134-140.

Amellal Hayet, Benamara Salem. 2008. Vacuum drying of common date pulp cubes. Drying Technology, 26, N° 3

Amellal née Chibane Hayet. Salem Benamara, Khodir Madani. 2007. Possibility of obtaining yoghurt made with the addition of date powder of dry variety Mech-Degla. Journal of Saudi Chemical Society, Volume 11(3), (Accepté).

Chekroune Malika, Derradji Nawel, **Chibane Hayet**, Abdelaoui Radia, Allane Taous, Akboubouche Nadia, Hammoudi Nadia, Benamara Salem. Effet du couple temps-température sur l'efficacité du séchage. Cas des dattes Mech-Degla. Revue Industrie Alimentaire et Agricoles (IAA), 2008

Benamara Salem., Gougam Hassina., **Chibane Hayet.**, Djouab Amrane., Noui Yassine., Benahmed Djilali Abida., 2008. Some Technologic Properties of common Date (Phoenix dactylifera L.) Fruits. American Journal of food Technology, 3(2), 79-88.

Hayet Amellal, Salem Benamara, Khodir Madani. 2007. Yoghurt with the date powder. Proceeding of 5 th International Congress on Food Technolgy, Evangelos S. Lazos (ed), published by Hellinic Association of food technology, volume 1, Tesseloniki, Greece.

Hayet Amellal, Lamia Ait-Ameur, Salem Benamara, Yacine Noui, 2007. Treatment of Mech-Degla date immersion in citrus juices. Proceeding of 5 th International Congress on Food Technolgy, Evangelos S. Lazos (ed), published by Hellinic Association of food technology, volume 1, Tesseloniki, Greece.

Benamara Salem, Gougam Hassina, **Hayet Amellal**, Djouab Amrane, Noui Yassine. 2007. Some Technologic Properties of common Date (Phoenix dactylifera L.) Fruits. Proceeding of 5 th International Congress on Food Technolgy, Evangelos S. Lazos (ed), published by Hellinic Association of food technology, volume 1, Tesseloniki, Greece.

Publications nationales

Benamara Salem, **Amellal née Chibane Hayet**, Boukhelifa Melkhir. Un brevet d'invention à l'échelle nationale a été déposé à l'institut national Algérien de la propriété industrielle (INAPI) sur « la formulation d'un yaourt à base d'un extrait de poudre de datte de la variété sèche dans le lait » et délivré le 05 septembre 2006.

Benamara Salem, **Amellal née Chibane Hayet**, Boukhelifa Melkhir, le brevet « la formulation d'un yaourt à base d'un extrait de poudre de datte de la variété sèche dans le lait » a été publié dans un bulletin officiel de la propriété industrielle (BOPI), N° 296, 2007, p92.

Communications Internationales

Participation au 33^{ème} salon international des inventeurs des techniques et produits nouveaux « la formulation d'un yaourt à base d'un extrait de poudre de datte de la variété sèche dans le lait » qui s'est tenu le 6 au 10 Avril 2005 à Genève-Suisse, **deux médailles** (or et argent) m'ont été décerné à l'occasion de ce salon.

Hayet Amellal, Benamara Salem, Khodir Madani. Yoghurt with the date powder. 5 th International Congress on Food Technolgy, Tessaloniki, Greece, 9-11 Mars 2007. Présentation Poster.

Hayet Amellal, Lamia Aït-Ameur, Benamara Salem, Noui Yacine. Treatment of Mech-Degla date immersion in citrus juices. 5 th International Congress on Food Technolgy, Tessaloniki, Greece, 9-11 Mars 2007. Présentation orale.

Benamara Salem, Gougam Hassina, **Chibane Hayet**, Djouab Amrane, Noui Yassine, Benahmed Djilali Abida., 2008. Some Technologic Properties of common Date (Phoenix dactylifera L.) Fruits. 5 th International Congress on Food Technolgy, Tessaloniki, Greece, 9-11 Mars 2007. Présentation poster.

Amellal née Chibane Hayet. Salem Benamara, Khodir Madani. 2007. Possibility of obtaining yoghurt made with the addition of date powder of dry variety Mech-Degla. National conference in chemistry, 2007 (26 th Meeting of the Higher Council of the Arab Union of Chemists),Makkah, Arabie Saudite, 15-17 Avril 2007. Présentation orale.

Noui Yassine., Hassina Gougam., Salem Benamara., Fatma Lechhab., Feroudja Boulila., Latifa Rahal., Amrane Djouab., **Hayet Amellal**. Elaboration d'une crème de soin cosmétique à base d'huile de noyaux de dattes et d'extrait de romarin. Communication Affichée. Séminaire International *BioTecWorld.*, Oran le 24/25 Novembre 2007.

Communications nationales

Prix OMPI (Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle) de meilleur inventeur femme à l'occasion de la 8^{ème} journée nationale de l'innovation qui s'est tenue à Oran les 7 et 8 décembre 2004, **une médaille OMPI** m'a été décernée à l'occasion de cette journée.

Amellal née Chibane Hayet. Possibilité d'obtention des yaourts additionnés de poudre de dattes sèches communes de la variété Mech-Degla. Séminaire National sur la Gestion Intégrée des Déchets Industriels, Thème 1 Les déchets non toxiques. Oran 29/30 Mai 2007. Communication Orale.

Djoaub Amrane., Gougam Hassina., Benamara Salem., Lechhab Fatima., Noui Yassine., **Chibane Hayet.**, 2007. Contribution à la Valorisation des Noyaux de Dattes. Séminaire National sur la Valorisation des Ressources Naturelles en Zones Semi-Arides. Oum El Bouagui le 23-24 Avril 2007, Présentation Poster.

Djouab Amrane, Gougam Hassina., Benamara Salem., Lechhab Fatima., Noui Yassine., **Chibane Hayet.**, 2007. Contribution à la Valorisation des Noyaux de Dattes. Séminaire National sur la Gestion Intégrée des Déchets Industriels, Thème 1, Les déchets non toxiques. Oran 29/30 Mai 2007. Communication Orale.

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

La mémoire de mon père. Que Dieu Le Tout Puissant l'accueille
en son Vaste Paradis

Toute ma famille

Tous mes amis

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de Recherche de Technologie Alimentaire de l'Université M'hamed Bougara de Boumerdes (LRTA) et au Laboratoire des Sciences Alimentaires de l'Université A. Mira de Béjaïa.

Je tiens à remercier en premier lieu Dieu le Tout Puissant de m'avoir donné courage et santé pour achever ce travail.

Un grand merci à Monsieur Benamara Salem ; Professeur à l'UMBB, d'avoir accepté de diriger ce travail avec compétence et dévouement, de m'encadrer depuis mon ingéniorat ; qu'il trouve ici l'expression de ma profonde gratitude.

Que mes vifs remerciements aillent à Mr Hachemi Messaoud ; Professeur à l'UMBB qui me fait l'honneur de présider ce travail, à M^{elle} Louailache Hayette ; Professeur à l'université de Béjaïa, à Mr Tahar Ali ; Professeur à l'université d'Annaba, à Mr Rachedi Yahia; Professeur à l'USTHB et Mr Djelali Nacer-Eddine ; Professeur à l'UMBB pour avoir accepté d'examiner cette thèse.

Un grand merci à Mr Chibane Mohamed ; Professeur à l'université de Béjaïa, pour son aide précieuse et de m'avoir accueillie au sein de son laboratoire où une partie de notre travail a été fait.

Je tiens à remercier Mme Gougam Hassina ; pour tout ce qu'elle m'a prodigué comme conseils et encouragements.

J'exprime ma reconnaissance à Mr Madani Khodir ; maître de conférence à l'université de Béjaïa pour l'aide qu'il m'a apporté dans l'analyse de mes échantillons au niveau de laboratoire *L₃BS*.

Je tiens à remercier Mr Abadlia, Mr Benmounah, Mr Abaïdia et Mme Benabed de m'avoir accueillie au sein de leur laboratoire de recherche.

Mes remerciements vont également à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail en particulier, Amrane, Yacine, Fatima, Assia, Sabrina, Karima, Latifa, Ouarda et Mr Belouanèse.

Je remercie du fond du cœur, mon mari Rachid et ma famille qui m'ont soutenu, encouragé et motivé toute au long de ce travail.

Liste des tableaux

Chapitre I : Le palmier dattier

Tableau I.1: Stades d'évolution de la datte.....	7
Tableau I.2: Les Cultivars dominants dans les principaux pays producteurs de dattes de l'Ancien Monde.....	10
Tableau I.3 : Production des dattes en Algérie de la campagne agricole (2000/2001), en quintaux.....	11
Tableau I.5 : Production de dattes par pays, en 2004.....	12
Tableau I.6 : Teneur en eau de quelques variétés de dattes de la région Fliache (Biskra), en %.....	13
Tableau I.7 : Teneur en sucres de quelques variétés de dattes algériennes de la région des Zibans, en % de matière sèche	13
Tableau I.8 : Composition moyenne en acides aminés de la datte sèche.....	14
Tableau I.9 : Composition en acides gras de la datte Deglet-Nour, en % de matière grasse.....	15
Tableau I.10 : Composition minérale de quelques variétés de dattes molles algériennes, en mg/100 g de la partie comestible.....	15
Tableau I.11 : Composition vitaminique moyenne de la datte sèche	16
Tableau I.12 : Teneur en composés phénoliques de quelques variétés de dattes algériennes.....	16
Tableau I.13 : Composition biochimique des noyaux des dattes irakiennes.....	17

Chapitre III : Séchage

Tableau III.1 : Modèles mathématiques utilisés pour modéliser les courbes de séchage d'un yaourt brassé.....	24
--	----

Chapitre IV : Yaourt

Tableau IV.1 : Réglementation concernant la quantité d'acide lactique ou le pH dans le yaourt.....	27
Tableau IV.2 : Composition typique du lait de vache et propriétés physiques..	29
Tableau IV.3 : Caractéristiques d'un yaourt nature.....	32
Tableau IV.4: Méthodes d'enrichissement du mélange de yaourt.....	33
Tableau IV.5 : Causes possibles d'homogénéisation inadéquate d'un mélange et incidences sur la qualité du yaourt.....	34

Chapitre V : Matériels et méthodes

Tableau V.1 : Préparation des dilutions de l'acide gallique pour la réalisation de la courbe standard des polyphénols totaux.....	Annexe n°1
Tableau V.2 : Préparation de la courbe d'étalonnage des flavonoïdes.....	Annexe n°1
Tableau V.3 : Recettes d'un yaourt nature et d'un yaourt aux poudres de dattes (pour 100g)	59
Tableau V.4 : Analyses microbiologiques.....	65

Chapitre VI : Résultats et discussion

Table VI.1: Caractéristiques physiques des trois variétés de datte étudiées.....	66
Tableau VI.2 : Le classement des trois variétés étudiées selon les paramètres physiques.	68
Tableau VI.3 : poids moyen frais de la pulpe et de leurs deux tissus constitutifs pour chaque variété de datte en (g)	69
Tableau VI.4 : Epaisseur moyenne des deux principaux tissus constitutifs de la pulpe pour les trois variétés de dattes, en mm.....	70
Tableau VI.5 : Masse volumique moyenne des deux principaux tissus constitutifs de la pulpe, en g/cm ³	71
Tableau VI.6 : Teneur en eau des trois cultivars Mech-Degla, Degla-Beida et Frezza (pulpe entière et ses deux tissus constitutifs pigmenté et blanc), en % de la matière fraîche.	72
Tableau VI.7 : pH des trois cultivars Mech-Degla, Degla-Beida et Fezza et de leurs tissus (brun et blanc)	74

Tableau VI.8 : Teneurs en cendres des trois cultivars Mech-Degla, Degla-Beïda et Fezza et de leurs tissus(brun et blanc) en % de la pulpe fraîche.....	75
Tableau VI.9 : Conductivité électrique des trois variétés Mech-Degla, Degla-Beida et Fezza.....	77
Tableau VI.10 : Teneurs en matière grasse des trois variétés Mech-Degla, Degla-Beïda et Fezza (pulpe entière et tissus brun et blanc séparément) en g/100 g de matière fraîche.....	78
Tableau VI.11 : L'acidité titrable des trois variétés Mech-Degla, Degla-Beida et Fezza et de leurs tissus (gramme d'acide citrique /100 g du poids frais).	80
Tableau VI.12 : Teneur en pectine des trois variétés Mech-Degla, Degla-Beïda et Fezza (pulpe entière et ses deux principaux tissus constitutifs), en % du poids frais.	81
Tableau VI.13 : Teneur en sucres totaux dans la pulpe et dans ses deux principaux tissus constitutifs, en % du poids frais.....	83
Tableau VI.14: Teneur en polyphénols des trois variétés de dattes (pulpe entière et ses deux principaux tissus constitutifs), en % du poids frais.	91
Tableau VI.15: Teneur en flavonoïdes des trois variétés de dattes étudiées et leurs tissus constitutifs, en mg/100 g de matière fraîche.....	94
Tableau VI.16 : Pourcentage d'inhibition de Mech-Degla, Degla-Beïda, Fezza (pulpe entière et ses deux principaux tissus constitutifs).	95
Tableau VI.17: Résultats statistiques obtenus à partir de deux modèles appliqués à trois variétés de dattes et leurs deux principaux tissus constitutifs séchés à 60, 80 et 100°C.....	100
Tableau VI.18: coefficient de diffusion de l'eau dans les trois variétés de dattes et leurs tissus constitutifs séchés sous vide partielle(200 mbars) à 60, 80 et 100°C. D (m ² /s) .10 ⁻⁹	103
Tableau VI.19: L'énergie d'activation des trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs.....	104
Tableau VI.20: Les valeurs de TCD à 60, 80 et à 100°C des trois variétés de dattes étudiées ainsi que les valeurs critiques	105
Tableau VI.21: Caractéristiques physico-chimiques des yaourts fabriqués.....	107

Tableau VI.22: Teneurs en minéraux des yaourts fabriqués (mg/Kg)	109
Tableau VI.23: Les indices de couleur (L^* , a^* , b^*) de YN, YF, YM et YB.....	112
Tableau VI.24: Paramètres de pénétration des quatre yaourts additionnés de poudres de dattes.....	113
Tableau VI.25: Les valeurs des paramètres du modèle d'Herchel Bulkley.....	118
Tableau VI.26: Les notes des dégustateurs.....	125
Tableau VI.27: Transformation des notes en rangs	125
Tableau VI.28 : Résultats des analyses microbiologiques.....	126

Liste des figures

Chapitre I : La datte

Figure I.1 : Datte et noyau du palmier dattier8

Chapitre II : Technologie de la datte

Figure II.1 : Opérations de transformation de la datte.....21

Chapitre IV : Yaourt

Figure IV.1 : Fabrication de yaourt ferme.....30

Figure IV.2 : Diagramme de fabrication des yaourt.....31

Figure IV.3 : Modèle de structure de micelle de caséines.....36

Figure IV.4 : Effet du traitement thermique sur la structure de la microstructure du yaourt....37

Chapitre V: Matériels et méthodes

Figure V.1 : Principales étapes d'extraction des polyphénols.....51

Figure V.2 : Organigramme représentant le dosage des polyphénols totaux Annexe n°1

Figure V.3 : Organigramme représentant le dosage des flavonoïdes dans l'extrait de dattes..... Annexe n°1

Figure V.4 : Diagramme de fabrication d'un yaourt aux poudres de dattes.....59

Figure V.5 : Schéma des cylindres coaxiaux d'un rhéomètre.....63

Chapitre VI : Résultats et discussion

figure VI.1 : Les pourcentages de la pulpe et du noyau dans la datte entière pour chaque variété étudiée.....68

Figure VI.2: Proportion de deux tissus dans la pulpe de chaque variété de datte étudiée.....70

Figure VI.3 : Teneur en eau de la pulpe entière et de ses deux tissus principaux tissus constitutifs (pigmenté et blanc). Cas des variétés Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza.73

Figure VI.4 : Teneur en protéines des trois variétés (pulpe entière et ses deux tissus constitutifs) Mech-Degla, Degla-Beïda et Fezza, en % de matière fraîche.79

Figure VI.5 : Teneur en Potassium des trois variétés de dattes (pulpe entière et et ses deux tissus constitutifs).	84
Figure VI.6 : Teneur en Calcium des trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs.....	85
Figure VI.7 : Teneur en Sodium des trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs.....	86
Figure VI.8 : Teneur en Magnésium des trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs.	87
Figure VI.9 : Teneur en Fer des trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs.....	88
Figure VI.10 : Teneur en Cuivre des trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs.	89
Figure VI.11 : Teneur en polyphénols des trois variétés de dattes (pulpe entière et ses deux tissus constitutifs).	92
Figure VI.12 : Teneur en flavonoïdes des trois variétés (pulpe entière et ses deux principaux tissus constitutifs).	94
Figure VI.13 : activité antioxydante des trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs.....	96
Figure VI.14: L'humidité réduite (<i>MR</i>) en fonction de temps et à 60°C pour les trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs.....	98
Figure VI.15: L'humidité réduite (<i>MR</i>) en fonction de temps et à 80°C pour les trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs.....	99
Figure VI.16 : L'humidité réduite (<i>MR</i>) en fonction de temps et à 100°C pour les trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs.....	99
Figure VI.17 : Variation de la valeur de l'indice de couleur L*en fonction de la température.....	105
Figure VI.18 : Variation de la valeur de l'indice de couleur a*en fonction de la température.....	106
Figure VI.19 : Variation de la valeur de l'indice de couleur b*en fonction de la température.....	106
Figure VI.20 : Variation des indices de couleur (L*, a*, b*) entre YF, YM et YB.....	113
Figure VI.21 : Profil de pénétrométrie sur YN, YF, YB et YM.....	115

Figure VI.22: courbe d'écoulement de YF (-), YB (-), YN (-) et YM (-).....	117
Figure VI.23: Courbe d'Hystérésis de YF.....	121
Figure VI.24 : Courbe d'Hystérésis de YM.....	121
Figure VI.25 : Courbe d'Hystérésis de YB.....	122
Figure VI.26 : Courbe d'Hystérésis de YN.....	122
Figure VI.27 : Variation de G' , G'' et delta de YF en fonction de la fréquence d'oscillation	123
Figure VI.28 : Variation de G' , G'' et delta de YM en fonction de la fréquence d'oscillation.....	123
Figure VI.29 : Variation de G' , G'' et delta de YB en fonction de la fréquence d'oscillation.....	124
Figure VI.30 : Variation de G' , G'' et delta de YN en fonction de la fréquence d'oscillation	122

Liste des photos

Chapitre V : Matériels et méthodes

Photo V .1 : Datte Mech-Degla entière et en coupe.....	43
Photo V .2 : Les deux principaux tissus constitutifs de la pulpe de la Mech-Degla.	43
Photo V .3 : Datte Degla-Beida entière et en coupe.....	44
Photo V .4 : Les deux principaux tissus constitutifs de la pulpe de la Degla-Beida.	44
Photo V .5 : Datte Frezza entière et en coupe.....	45
Photo V .6 : Les deux principaux tissus constitutifs de la pulpe de la Frezza.....	45
Photo V .7 : colorimètre de laboratoire type DRLANGE.....	54
Photo V .8: Séchoir de laboratoire type Heraeus.....	58
Photo V .9 : Texturomètre de TA plus instruments.....	61
Photo V .10 : Rhéomètre AR2000.	63

Liste des abréviations

BHA : Butylhydroxyanisole.

BHT : Butylhydroxytoluène.

F.A.O : Food and Agriculture Organisation.

MG : Matières grasses.

G/F : Le rapport glucose/fructose.

FIL : Fédération International de Laitière

CNIEL : Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière.

Pa : Pascal

NF : Normes Françaises

TDC : Total Colour Difference

TA : Texture Analyseur

G' : Module de conservation ou module élastique

G'' : Module de perte ou visqueux

BCPL : Bouillon Lactosé au Pourpre de Bromocrésol.

SFB : Bouillon Lactosé au Sélénite de Sodum

BLMT : Bouillon Lactosé Mannitol Tamponné

MRS : Gélose de Man-Rogosa-Sharpe

M17 : Mannitol

YM: Yaourt additionné de poudre de dattes Mech-Degla

YB: Yaourt additionné de poudre de dattes Degla-Beida

YF: Yaourt additionné de poudre de dattes Frezza

YN: Yaourt Nature

MRE: Mean Relative Error (erreur relative moyenne)

Cen: Cendres

AT : Acidité Titrable

ES : Extrait Sec

TP : Taux de protéines

Ce : Conductivité électrique

MG : Matière grasse

Den : Densité

Syn : Synérèse

Abs : Absence

Nd : non déterminé

MS : matière sèche

LRTA : Laboratoire de Recherche Technologie Alimentaire.

RESUME

Le palmier dattier est pour les populations du Sahara ce que l'olivier est pour les méditerranéens un fruit providentiel. Les dattes des variétés sèches, improprement appelées «dattes communes» sont des dattes de texture farineuse qui durcissent sur l'arbre. C'est le cas justement des variétés Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza (Deglet Nour sèche), matériel végétal de la présente étude. Ces dattes ont une valeur réelle ce qui justifie dans une certaine mesure le choix du thème. Contrairement à tous les travaux consacrés aux dattes, il nous a paru intéressant de parler distinctement de tissu pigmenté et de tissu blanc s'agissant du mésocarpe et de l'endocarpe respectivement. La finalité étant de détecter d'éventuelles différences du point de vue composition proprement dite ainsi que l'aptitude technologique (séchage notamment).

Le présent travail a montré que la valorisation des dattes sèches en général et de Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza en particulier, en vue de leur éventuelle transformation en poudre après séchage sous vide est possible. Le traitement appliqué ici peut être considéré comme un traitement d'appoint vu la texture naturellement sèche du fruit. Le but de l'opération (ramener la teneur en eau de 15 à 5g/100g de matière sèche, valeur caractéristique des poudres de fruits) a été atteint. Les poudres de dattes obtenues ont été utilisées avantageusement dans un produit laitier comme ingrédient naturel de substitution du sucre blanc, du colorant, de gélifiant....

Les résultats des propriétés morphologiques et physicochimiques (masse volumique, épaisseurs, couleur...) des deux tissus blanc et pigmenté des dattes étudiées sont intéressants. L'analyse de l'aptitude au séchage des trois variétés, dans la perspective de leur transformation en poudre alimentaire, donne des résultats intéressants. Leurs teneurs en eau sont ramenées à environ 5 % de la masse sèche sans caramélisation apparente. La modélisation du processus de séchage qui est un outil de prédiction (du comportement au séchage) a été effectuée ce qui facilite une meilleure compréhension des mécanismes qui y ont eu lieu. Le modèle de Henderson et Pabis est utilisé pour estimer le coefficient de diffusivité (D) de chaque variété et chaque tissu.

L'addition des poudres de dattes des trois cultivars (Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza) dans le yaourt nous a permis d'obtenir des yaourts enrichis en minéraux (Ca, Na, K, Mg, Zn, et surtout le Fe et le Mn), en protéines, en matière grasse, et en solides totaux. Le test de dégustation permet de faire ressortir le classement de préférence suivant: YM, YF, YB. Du point de vue rhéologique, les trois yaourts (y compris le yaourt nature) peuvent être considérés comme des fluides rheofluidifiants (pseudoplastiques) et le modèle d'Herschel Bulkley décrit bien leur comportement. Les résultats des analyses microbiologiques des quatre yaourts (yaourt nature, yaourt additionné de poudre de dattes de la variété Mech-Degla, yaourt additionné de poudre de dattes de la variété Degla-Beïda et yaourt additionné de poudre de dattes de la variété Frezza) montrent clairement leur parfaite conformité aux normes. La culture de la flore lactique est très satisfaisante dans le cas des yaourts à base de farines de dattes comparés au yaourt nature.

Mots clés: dattes, séchage, modélisation, poudre, yaourt.

ABSTRACT

The date palm is for the people of the Sahara that the olive tree is for the Mediterranean: a source of a providential fruit. The dates of dry varieties called "common" dates are dates floury texture that harden on the tree. That was the case of Mech-Degla, Degla-Beida and Frezza (Deglet Nour hair) varieties, the plant material of this study. These dates have real value which justifies to a certain extent the choice of theme. Unlike all the work on dates, we found it interesting to speak about pigmented and white tissue corresponding respectively to the mesocarp and endocarp. The aim is to detect any differences from both compositions in itself and the technological aptitude (including drying).

This work showed that the recovery of dry dates in general and Mech-Degla, Degla-Beida, Frezza and in particular with a view to their eventual transformation into powder after vacuum drying is possible. The treatment applied here can be considered as an essential treatment seen the dry texture of the fruit. The aim of the operation (reducing the moisture content from 15 to 5g/100g dry matter, characteristic value of fruit powders) has been achieved. Powders dates obtained have been used advantageously in a milk product as a natural ingredient substitute white sugar, dye, gelling...

The results of morphological and physicochemical properties (density, thickness, color...) the white tissue and pigmented tissue are interesting. The analysis of the drying capacity of the three varieties, with a view to transforming them into powders food, gives interesting results: their water content is reduced to about 5% of the dry mass without apparent caramelization. By modeling the drying process, which is a tool for predicting the drying compartment was done to facilitate a better understanding of the mechanisms that have occurred. The model of Henderson and Pabis is used to estimate the ratio of diffusivity (D) of each variety in each tissue.

Addition of the date powder from the three cultivars (Mech-Degla, Degla-Beida and Frezza) in the yoghurt give us enriched yogurts with minerals (Ca, Na, K, Mg, Zn, Fe and particularly Fe and Mn), protein, fat, and total solids. Degustative analysis or test inducing us to this preferential clasment: YM, YF and YB. About rheological properties, the three yogurts (including nature yogurt) can be considered as rheofluidifiants fluids (pseudoplastics) and Herschel Bulkley model describes their behaviours. The results of microbiological analysis of the four yogurts (YN, YM, and YB YF) clearly show their complete conformity with the norms. The culture of lactic flora is very satisfactory in the case of yoghurt-with the date's powder compared with the yogurt nature

Key words: Dates, drying, modelization, powder, yogurt.

ملخص

تعد شجرة النخيل بالنسبة لشعوب الصحراء، بنفس الأهمية التي توليها شعوب البحر البيض المتوسط لشجرة الزيتون. تستخدم العديد من أصناف التمور المسماة مشتركة في أيامنا هذه طعاما للماشية، هذا إن لم تكن مهمة بكل بساطة، و تمور الأصناف الجافة هي تمور تجف على أغصان الشجرة، و نذكر منها: مش-دقلة، دقلة-بيضاء وفريزة و التي خصصناها بالدراسة في هذه المذكرة. و تعد هذه التمور ذات قيمة غذائية معتبرة، و هذا ما يبرر اختيارنا لهذا على Mésocarpe, Endocarpe الموضوع، خلافا عن البحوث التي أجريت عن التمور، تبين لنا أنه من الضروري التركيز نوعية الأنسجة، منها النسيج الأبيض و النسيج الملون اللذان يمثلان: على التوالي.

هدفنا في هذه الدراسة هو الكشف عن الاختلافات الموجودة سواء من جانب المكونات الكيميائية أو التكنولوجية المستعملة و هي التجفيف، و قد توصلنا إلى أن عملية التجفيف يمكن اعتمادها للأصناف الثلاثة من التمور المدروسة، و تعتبر تقنية التجفيف المستعملة ذات أهمية قصوى نظرا للنسيج الطبيعي للفاكهة الجافة، و كان هدف هذه العملية هو تخفيض نفس نسبة الرطوبة من 15 إلى 100/5 من المادة الجافة، و هي القيمة المميزة لمسحوق الفواكه، و الذي تحقق من خلال دراستنا، و قد تحصلنا على مساحيق التمور التي استعملت ضمن مواد الحليب كمكون طبيعي و كعنصر بديل للسكر الأبيض و الملون المخثر.

قمنا بدراسة مرفولوجية و فيزيوكيميائية (الكتلة الحجمية، السمك و اللون)، و التي قادتنا إلى نتائج مهمة، منها إمكانية تجفيف الأصناف الثلاثة للتمور بهدف تحويلها إلى مساحيق غذائية، و ذلك بالنظر إلى انخفاض نسبة الرطوبة إلى 5٪ من المادة الجافة بدون تغيير اللون.

يعد نموذج التجفيف وسيلة التواء لمتابعة التغيرات التي تنتج عن هذه العملية، و يعد هذا النموذج الذي توصلنا إليه أداة مهمة تساعدنا على فهم الميكانيزمات التي تحدثن و قد استعملنا هندرسون و بابس لتقدير نسبة انتشار كل نوع و صنف من نسيج التمور.

و بإضافة مساحيق التمور إلى الزبادي تحصلنا على أنواع غنية من الأملاح المعدنية (الكالسيوم، الصوديوم، البوتاسيوم، المغنيزيوم، الزنك، و خاصة الحديد و المنغنيز)، و البروتينات و المواد الدسمة.

و قد تمكنا من ترتيب الأصناف الثلاثة كالتالي: زبادي مش-دقلة، زبادي فريزة، ثم زبادي دقلة بيضاء بعد دراسة الذوق. و من الجانب الريولوجي، يمكننا اعتبار الأنواع الثلاثة من الزبادي، و الزبادي الطبيعي أيضا كسوائل ريو- سائلة، و نموذج بيلكلي يصف تغيراتها بشكل جيد.

توضح نتائج الدراسات الميكروبيولوجية للأنواع الأربعة من الزبادي انطباقها مع المعايير الدولية، و قد تحصلنا على كمية جد مرضية من البكتيريا المخثرة بالنسبة للزبادي المصنوع من المساحيق بالمقارنة مع الزبادي الطبيعي.

الكلمات الدالة

تمر، تجفيف، تمثيل، مسحوق، زبادي

INTRODUCTION

Ces dernières années ont connu une exploitation appréciable des plantes, les fruits notamment. Ces derniers suscitent un intérêt de plus en plus croissant aussi bien chez les consommateurs que chez les diététiciens et les nutritionnistes. Ils servent, en outre, à l'élaboration de produits alimentaires de grande valeur énergétique et diététique : « yaourt, farine pour bébés, confitures, marmelades etc. ».

Le fruit étudié dans notre présent travail est la datte provenant des oasis algériennes.

La datte a été depuis des temps immémoriaux un élément très important dans l'alimentation, tant pour les humains (les dattes molles) que pour les animaux (les dattes sèches). Ceci est particulièrement vrai dans les contrées du Moyen Orient et du sud de la méditerranée.

Le palmier dattier constitue à la fois le symbole et la charpente de l'écosystème oasien. Il crée un microclimat favorisant le développement des cultures sous-jacentes (Haddouch, 1996).

Le palmier dattier est pour les populations du Sahara ce que l'olivier est pour les méditerranéens : une source d'un fruit providentiel. La palmeraie algérienne héberge un matériel génétique très riche et diversifié avec plus de 13 millions de palmiers et 940 cultivars recensés (Hannachi *et al.*, 1998).

Les dattes font l'objet d'une activité commerciale importante, en particulier la célèbre variété Deglet-Nour. Celle-ci détient le monopole dans les marchés nationaux et internationaux. Elle bénéficie même d'un certain marketing (présentation, emballage etc). Par contre, les autres variétés dites communes sont peu appréciées et représentent environ 30 % de la production nationale (Noui, 2007). Elles sont généralement destinées à l'alimentation animale. Leur transformation a peu évolué alors qu'il est possible d'en obtenir de nombreux dérivés alimentaires et/ou non alimentaires importés actuellement à coup de devises fortes. Cela a engendré de nouvelles tendances agricoles, poussant le cultivateur vers la culture monovariétale de la Deglet-Nour, exposant ainsi, le patrimoine génétique riche de plus de 900 variétés au danger de disparition (Djouab, 2007). Aujourd'hui, une multitude de variétés communes sont utilisées comme aliment de bétail quand elles ne sont pas abandonnées.

De plus, en Algérie, la technologie de transformation des dattes, se limite à son conditionnement et à la production de pâtes à partir de la variété molle Ghars. Pourtant, un développement réfléchi de cette technologie, par une meilleure maîtrise des procédés peut être d'un grand apport quant à la recherche de nouveaux débouchés pour les variétés communes. Il devient impératif, pour la sauvegarde de cette biodiversité et par la même, pour la survie des populations de ces régions de recourir à des formulations aussi bien alimentaires que non alimentaires pouvant leur apporter une valeur ajoutée.

Notons que les produits à base des dattes ont été déjà élaborés. On citera à ce titre le Ketchup (Mikki *et al.*, 1987), les biscuits (Siboukeur, 1997), les glaces (Greiner, 1998), le Tamarheep (mélange de farine de datte et du lait) (El Nakhal *et al.*, 1987), farine de dattes et yaourt à l'extrait de dattes (Benamara *et al.*, 2004).

Les dattes des variétés sèches, improprement appelées « dattes communes » sont des dattes de texture farineuse qui durcissent sur l'arbre. C'est le cas justement des variétés Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza (Deglet Nour sèche), matériel végétal de la présente étude. Ces dattes ont une valeur réelle qui dépend généralement du sol, du climat et de la variété. Elles renferment une teneur en sucres totaux très importante, allant de 60 à 80 % du poids de la pulpe fraîche (Siboukeur, 1997), une teneur en eau qui varie entre 15 et 20 % selon les variétés (Noui, 2007). Elles sont en revanche pauvres en protéines et en matières grasses (0,43 et 1,9 % du poids frais) (Djouab, 2007). Le fruit des dattes contient pratiquement la plupart des éléments minéraux (potassium, calcium, phosphore, magnésium, fer, soufre etc.). Il est riche en fibres (8,1 à 12,7 % du poids sec) (Al-Shahib et Marshall, 2002). Ces dernières ont un effet bénéfique sur la santé humaine, l'apport journalier recommandé étant de 0,025 – 0,03 Kg pour un adulte (Labell, 1990). Du fait de leur pouvoir hydrophile, les fibres facilitent le transit intestinal et exercent un rôle préventif sur les cancers colorectaux, les appendicites, la diverticulose, les varices, les hémorroïdes, les diabètes, l'hypertension et l'hypercholestérolémie (Albert, 1998 ; Jaccot et Campillo, 2003). La datte est également riche en polyphénols, selon Henk *et al.*, (2003), ces derniers jouent un rôle important dans le corps : ils ont des effets anti-inflammatoires, antioxydants, hypotensif ; ils renforcent en outre le système immunitaire.

Concernant la structure tissulaire du fruit de dattes, on relève généralement la présence de trois parties distinctes (en dehors du noyau) : l'épicarpe (mince couche externe), le mésocarpe (pulpe proprement dite) et l'endocarpe (mince couche interne). Une observation attentive d'une coupe du fruit permet de constater que l'épaisseur de l'endocarpe est aussi épaisse sinon plus que celle du mésocarpe (Noui, 2007).

Il est par conséquent plus intéressant, pour mieux analyser et caractériser la pulpe des trois variétés étudiées, de parler distinctement de tissu pigmenté et de tissu blanc s'agissant du mésocarpe et de l'endocarpe respectivement. La finalité étant de détecter d'éventuelles différences du point de vue, aussi bien composition proprement dite qu'aptitude technologique (séchage notamment).

Le séchage est parmi l'un des anciens procédés de conservation dont le but est essentiellement de stabiliser les différents produits alimentaires. Les raisons de sécher sont presque aussi nombreuses que les produits à sécher (Bimbenet *et al.*, 2002), il permet de :

- faciliter la conservation des produits ;
- diminuer la masse et le volume des aliments ;
- donner, entre autres, une fonctionnalité particulière au produit (flocons de purée de pomme de terre, lait et purée lyophilisées etc).

Le présent travail entre dans le cadre de la valorisation des dattes sèches en général et de Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza en particulier, l'objectif étant leur éventuelle transformation en poudre après séchage sous vide. Ce dernier peut être considéré ici comme un traitement d'appoint vu la texture naturellement sèche du fruit. Le but de l'opération étant de ramener sa teneur en eau de 15 (teneur initiale) à 5g/100g de matière sèche, valeur caractéristique des poudres de fruits (Espiard, 2002).

Pour rendre compte du comportement au séchage d'un aliment, on a recourt généralement à l'analyse de la cinétique de séchage en se servant de plusieurs modèles mathématiques (Bimbenet *et al.*, 2002; Doymaz, 2004). Dans tous les cas, la teneur en eau et la couleur du produit séché sont les deux principaux critères pris en considération pour optimiser le processus de séchage (Talla *et al.*, 2004). Après séchage, les morceaux de dattes subissent un broyage, un tamisage et un conditionnement.

Les poudres de dattes obtenues sont utilisées comme ingrédient d'enrichissement d'un yaourt. Les objectifs considérés sont multiples :

- Substitution du sucre cristallisé, d'autant plus qu'environ 70 % de matière sèche des dattes sont des sucres.

- Substitution des arômes artificiels habituellement ajoutés aux yaourts.
- Utilisation de la poudre de dattes comme agent de texture (épaississant et/ou gélifiant) vu sa richesse en fibres et en pectines.
- Enrichissement des yaourts ainsi élaborés par les minéraux des dattes (Ca, P, K, Fe, ...), par leurs vitamines du groupe B, leurs acides aminés essentiels et leurs polyphénols.

Par ces objectifs nous escomptons d'aboutir à la formulation d'un produit de type fonctionnel en phase avec les attentes des consommateurs de l'ère moderne.

Il est bien connu que les produits laitiers frais fermentés, comme le yaourt, sont des aliments de grande consommation dans beaucoup de pays. L'évolution actuelle du marché des produits alimentaires incite l'industrie de la transformation à élaborer sans cesse de nouveaux produits. Le yaourt est l'un des produits laitiers le plus vendu sur le marché du fait de la diversification de la gamme disponible: les yaourts réduits en matière grasse, les yaourts probiotiques, mousse du yaourt, crème glacée du yaourt, yaourts liquides à boire etc (Fizman *et al.*, 1999). Le yaourt par lui-même, en plus de son importance nutritionnelle, a été identifié pendant longtemps en tant que nourriture saine due à l'action bénéfique de ses bactéries vivantes. Ces dernières concurrencent les bactéries pathogènes aussi bien dans l'aliment que dans l'environnement (Tamime et Robinson, 1985).

L'inclination des consommateurs pour des produits allégés en matière grasse et en sucres a stimulé l'utilisation d'ingrédients tels que les édulcorants, les sucres d'origine naturelle, les agents de texture, les épaississants ou encore les gélifiants. Or, les propriétés rhéologiques ainsi que les caractéristiques sensorielles, notamment la texture en bouche d'un yaourt sont déterminées par la composition de l'aliment. Notons à ce sujet, que la formulation de nouveaux aliments reste à ce jour empirique et par voie de conséquence longue et coûteuse (Paci Kora, 2004).

De nombreuses recherches ont été conduites sur l'enrichissement des yaourts avec du lactate de calcium et/ou gluconate de calcium permettant ainsi d'augmenter d'environ 35 % la concentration en calcium de ces produits sans pour autant altérer leur qualité microbiologique (Flinger *et al.*, 1988 ; Pirkul *et al.*, 1997 ; Fleury *et al.*, 1999). Des yaourts sans ou à faible teneur en matières grasses ont été fabriqués et fortifiés avec 10, 20 et 40 mg de Fer par Kg de yaourt (Hekmat et Mc Mahon, 1977). Kip *et al.*, (2006) ont, par contre, étudié les effets de l'addition de différentes concentrations (0 - 4 %) d'inuline sur les propriétés sensorielles du yaourt à faible teneur en matières grasses. Par ailleurs, Fizman *et al.*, (1999), Marcotte *et al.*, (2001) ont analysé l'effet de l'addition de gélatine sur la microstructure du lait acide et du yaourt ainsi que

sur leurs propriétés rhéologiques. D'ailleurs, certaines additions comme les arômes ou les concentrés de fruits tendent à réduire la consistance du produit, nécessitant l'utilisation de certains stabilisants telle que la pectine (Towler, 1984 ; Ramaswamy et basak, 1992 ; Lucey *et al.*, 1998 ; Koksoy et Kilic, 2003; Tromp *et al.*, 2004). Ceci a d'ailleurs conduit Dello Staffolo *et al.*, (2004) à étudier l'effet de l'addition des fibres diététiques sur les propriétés rhéologiques et sensorielles du yaourt.

Dans ce contexte, le travail présenté dans ce mémoire vise une meilleure étude et caractérisation des trois variétés de dattes communes dites sèches (Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza) et leurs deux principaux tissus constitutifs. L'optimisation du processus de séchage ainsi que l'obtention des poudres ont été effectuées. A cet effet, trois formulations de yaourts à base de poudres issues de trois variétés de dattes ont été élaborées. Une caractérisation physico-chimique comparative, a été mise en œuvre. L'impact de la poudre de dattes sur la texture (propriétés rhéologiques) des yaourts obtenus a été en outre étudié par comparaison avec un yaourt industriel standard.

Enfin, une étude de la qualité hygiénique ainsi qu'une analyse sensorielle (test de dégustation) des yaourts élaborés ont été effectués.

Chapitre I

La datte

I. Généralités sur le palmier dattier

Le palmier dattier : *Phoenix dactylifera L.*, provient du mot "*Phœnix* " 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 dattier est un arbre probablement originaire du golfe persique, cultivé dans les régions chaudes et humides. C'est une espèce dioïque, monocotylédone arborescente, appartenant à une grande famille d'arbres à palmes et produit des dattes (Gilles, 2000; Mazoyer, 2002).

II. La classification botanique

La place du palmier dattier dans le règne végétal est rappelée ci-dessous (Feldman, 1976) :

Groupe : Spadiciflores

Ordre : Palmale

Famille : Palmacées

Sous famille : Coryphoïdées

Tribu : Phœnicées

Genre : *Phoenix*

Espèce : *Dactylifera L.*

Le genre *Phoenix* comporte au moins douze espèces, la plus connue est le *dactylifera*, dont les fruits " dattes " font l'objet d'un commerce international important (Espiard, 2002).

III. Ecologie

Le palmier dattier est cultivé comme arbre fruitier dans les régions chaudes arides et semi-arides. Cet arbre peut s'adapter à de nombreuses conditions grâce à sa grande variabilité (Gilles, 2000).

Le dattier est une espèce thermophile ; il exige un climat chaud, sec et ensoleillé. C'est un arbre qui s'adapte à tous les sols. Il est sensible à l'humidité pendant la période de pollinisation et au cours de la maturation (Munier, 1973 ; Toutain, 1979).

IV. 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 de:

- Un péricarpe ou enveloppe cellulosique fine dénommée peau ;
- Un mésocarpe généralement charnu, de consistance variable selon sa teneur en sucre et de couleur soutenue ;
- Un endocarpe de teinte plus clair et de texture fibreuse, parfois réduit 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, rouges, brunes plus ou moins foncées (Djerbi, 1994).

V. Formation 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).

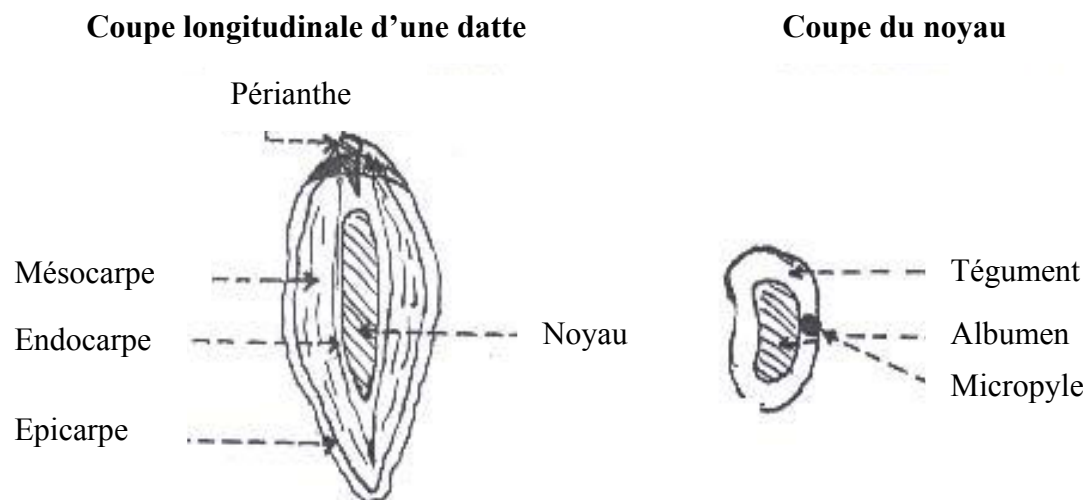
La datte passe par différents stades d'évolution (Sawaya *et al.*, 1983 ; Benchabane *et al.*, 1996 ; Al-Shahib et Marshall, 2002).

Le tableau I.1 présente les stades d'évolution de la datte et les appellations utilisées en Afrique du Nord et en Irak.

Tableau I.1 : Stades d'évolution de la datte (Djerbi, 1994)

Pays	Stades de développement de la datte				
	I	II	III	IV	V
Irak	Hababouk	Kimiri	Khlal	Routab	Tamr
Algérie	Loulou	Khlal	Besr	Martouba	Tamr
Libye	-	Gamag	Bser	Routab	Tamr
Mauritanie	Zeï	Tefejena	Engueï	Blah	Tamr

La figure I.1. montre une coupe de datte et du noyau.



Noyau de profil et de dos

Micropyle

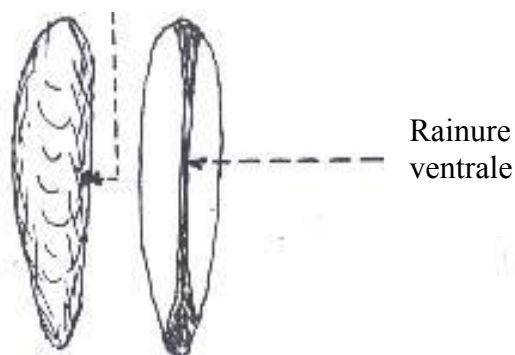


Figure I.1 : Datte et noyau du palmier dattier (Buelguedj, 2001)

De nombreux auteurs ont adapté la terminologie utilisée en Irak. Les différents stades peuvent être définis comme suit (Djerbi, 1994) :

- **Hababouk** : Ce stade commence juste après la fécondation et dure environ cinq semaines. A ce stade, le fruit est entièrement recouvert par le périanthe et se caractérise par une croissance lente.
- **Kimiri** : Il se caractérise par la couleur verte, un grossissement rapide du fruit, une augmentation de la concentration en tanins et en amidon, une légère augmentation des sucres totaux et de la matière sèche. Ce stade dure neuf à quatorze semaines.
- **Khalal** : Au cours de ce stade, la couleur du fruit passe du vert au jaune clair, puis vire au jaune, au rose ou rouge selon les variétés. Cette phase est marquée par une augmentation rapide de la teneur en sucres totaux, de l'acidité active, par contre la teneur en eau diminue. Elle dure trois à cinq semaines.
- **Routab** : La couleur jaune ou rouge du stade khalal passe au foncée ou au noir. Certaines variétés deviennent verdâtres comme la khadraoui (Irak) et la Bouskri (Maroc). Ce stade se caractérise par :
 - La perte de la turgescence du fruit suite à la diminution de la teneur en eau ;
 - L'insolubilisation des tanins qui se fixent sous l'épicarpe du fruit ;
 - L'augmentation de la teneur des monosaccharides.
- **Tamr** : C'est le stade final de la maturation de la datte. Le fruit perd beaucoup d'eau, ce qui donne un rapport sucre/eau élevé.

VI. Les variétés de dattes

Les variétés de dattes sont très nombreuses, seulement quelques unes ont une importance commerciale (tableau I.2). Elles se différencient par la saveur, la consistance, la forme, la couleur, le poids et les dimensions (Djerbi, 1994; Buelguedj, 2001).

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 (Noui, 2007).

- **Les variétés communes** : Ces variétés sont de moindre importance économique par rapport à Deglet-Nour. Les variétés les plus répandues sont : Ghars, Degla-Beïda et Mech-Degla. Selon Belguedj, (2001), une grande proportion des variétés communes est de consistance molle.

Tableau I.2 : **Les cultivars dominants dans les principaux pays producteurs de dattes de l'ancien Monde (Munier, 1973)**

Pays	Cultivars	Pays	Cultivars
Algérie	Degla-Beïda, Mech-Degla, Deglet-Nour.	Libye	Bikraari, Khadraï, Tafert.
Arabie - Saoudite	Rouzeiz, Koulass, Kounneizi.	Maroc	Jihel, Bou feggous, Mehjoul.
Egypte	Hayani, Saïdi ou Siwi, Samani.	Mauritanie	Ahmar, Tinterguel, Tidiguert, Sekani, Amsersi.
Irak	Zahidi, Sayir, Hallaoui, Deri, Hadraoui, Hestaoui, Tsiptab, Barhi.	Pakistan	Jawan Sor, Berni, Karoch, Siah, Karba, Kalud, Rabaï, Dandari, Mazawali, Sabzo, Abdandan, Alini, Muzawijat, Kluskeech, Zard Mekrani, Begum, Jangi, Zardan ou Zard Irani.
Iran	Savir, Mouzâfti, Kabkab, Chahani, Mordasang.	Tchad	Martchiano, Zalao, Mektouli, Koudidou.
Tunisie	Dglet-Nour, Allig ou Fitmi.		

VII. Classification des dattes

D'après Espiard (2002), la consistance de la datte est variable. Selon cette caractéristique, les dattes sont réparties en trois catégories :

1-Dattes molles : Ahmar (Mauritanie), Kashram et Miskani (Egypte, Arabie-Saoudite).

2-Dattes demi-molles : Deglet-Nour (Tunisie, Algérie), Mehjoul (Mauritanie), Sifri et Zahidi (Arabie-Saoudite).

3-Dattes sèches de consistance dure : Degla-Beïda et Mech-Degla (Tunisie et Algérie), Amersi (Mauritanie).

VIII. Production de dattes

VIII.1. En Algérie

La production réalisée dans la campagne agricole (2000/2001) est de 4,18 millions de quintaux (tableau I.3) (Anonyme, 2002).

Tableau I.3 : Production des dattes en Algérie de la campagne agricole (2000/2001), en quintaux (Anonyme, 2002)

<i>Wilayas</i>	Deglet-Nour	<i>Ghars et analogues (Dattes molles)</i>	<i>Degla-Beïda et analogues (Dattes sèches)</i>	<i>Total</i>
Adrar	0	0	572 000	572 000
Laghouat	350	1990	2070	4 410
Batna	210	1430	4870	6510
Biskra	769 620	134 760	292 280	1 196 660
Bechar	0	0	94 890	94 890
Tamanrasset	0	0	47 930	47 930
Tebessa	4620	4000	1740	10 360
Djelfa	250	100	50	400
M'sila	0	0	2500	2500
Ourgla	434 110	207 760	66740	708 610
El-Bayadh	0	8750	0	8750
Illizi	90	620	8000	8710
Tindouf	0	500	0	500
El-Oued	895 450	234 920	105 820	1 236 190
Khenchela	1610	4880	1480	7970
Naama	0	1690	190	1880
Ghardaïa	106 000	38 600	131 400	276 000
Total	2 212 310	640 000	1 331 960	4 184 270

D'après le tableau I.3, près de 58,14 % de la production nationale de dattes est réalisée par les deux wilayas, El-Oued (29,54 %) et Biskra (28,6 %).

La variété Deglet-Nour, occupe la première place et représente 52,87 % de la production totale des dattes.

VIII.2. Dans le monde

Les principaux pays producteurs de dattes sont : l’Egypte, l’Irak, l’Iran, l’Arabie-Saoudite, l’Emirats Arabes Unis, le Pakistan, l’Algérie et le Soudan (tableau I.4). La production mondiale de dattes réalisée en 2004 est de 6,7 millions de tonnes (Noui, 2007).

Tableau I.4 : Production de dattes par pays, en 2004
(Noui, 2007).

Pays	Production, en quintaux
Egypte	1 100 000
Irak	910 000
Iran	880 000
Arabie-Saoudite	830 000
Emirats Arabes Unis	760 000
Pakistan	650 000
Algérie	450 000
Soudan	330 000
Oman	238 611
Libye	140 000
Tunisie	110 000
Maroc	54 000
Yémen	33 000
Mauritanie	24 000
Tchad	18 000
U.S.A	18 000
Bahreïn	17 000
Qatar	16 500

Du point de vue quantitatif, la production algérienne représente 7 % de la production mondiale, mais du point de vue qualitatif, elle occupe le premier rang grâce à la variété Deglet-Nour, la plus appréciée mondialement.

IX. Composition biochimique de la datte

IX.1. Composition biochimique de la partie comestible "Pulpe "

IX.1.1. L'eau

La teneur en eau est en 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).

Tableau I.5 : Teneur en eau de quelques variétés de dattes de la région Fliache (Biskra), en % (Noui, 2007).

Variétés	Consistance	Teneur en eau
Deglet-Nour	Demi-molle	22,60
Mech-Degla	Sèche	13,70
Ghars	Molle	25,40

IX.1.2. Les sucres

Les sucres sont les constituants majeurs de la datte. L'analyse des sucres de la datte a révélée essentiellement la présence de trois types de sucres : le saccharose, le glucose et le fructose (Estanove, 1990; Acourene et Tama, 1997). Ceci n'exclut pas la présence d'autres sucres en faible proportion tels que : le galactose, le xylose et le sorbitol (Favier *et al.*, 1993; Siboukeur, 1997).

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 (Siboukeur, 1997).

Le tableau I.6 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 % de matière sèche.

Tableau I.6 : Teneur en sucres de quelques variétés de dattes algériennes de la région des Zibans, en % de matière sèche (Acourene et Tama, 1997)

Variétés	Consistance	Sucres totaux	Saccharose	Sucres réducteurs
Chars	Molle	87,42	5,00	82,12
Tantboucht		79,80	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		72,30	40,55	36,80
Horra		82,46	50,00	29,86

IX.1.3. Les acides aminés

Les dattes sont caractérisées par une faible teneur en protéines (tableau I.7). Elle varie entre 0,38 et 2,5 % du poids sec. Malgré cette faible teneur, les protéines de la datte sont équilibrées qualitativement (Yahiaoui, 1998).

Tableau I.7 : Composition moyenne en acides aminés de la datte sèche
(Favier *et al.*, 1993)

Acides aminés	Teneur de la pulpe, en mg/100 g
Isoleucine	64
Leucine	103
Lysine	72
Méthionine	25
Cystine	51
Phénylalanine	70
Tyrosine	26
Thréonine	69
Tryptophane	66
Valine	88
Arginine	68
Histidine	36
Alanine	130
Acide aspartique	174
Acide glutamique	258
Glycocolle	130
Proline	144
Sérine	88

IX.1.4. Les acides gras

La datte renferme une faible quantité de lipides. Leur taux varie entre 0,43 et 1,9 % du poids frais (Djouab, 2007). Cette teneur est en fonction de la variété et du stade de maturation.

Selon Yahiaoui (1998), la teneur en lipides passe de 1,25 % au stade Hababouk à 6,33 % au stade Kimiri (tableau I.8). Cette teneur diminue progressivement au stade Routab pour atteindre une valeur de 1.97 % de matière sèche au stade Tamar

Tableau II.9 : Composition en acides gras de la datte Deglet-Nour, en % de matière grasse (Yahiaoui, 1998)

Acides gras	Teneur en % de matière grasse
Acide linoléique (C ₁₈ : 3)	12,30
Acide linoléique (C ₁₈ : 2)	11,47
Acide oléique (C ₁₈ : 1)	10,74
Acide stéarique (C ₁₈ : 0)	10,47
Acide palmitique (C ₁₆ : 0)	7,89
Acide myristique (C ₁₄ : 0)	8,66

IX.1.5. Les éléments minéraux

L'étude de 58 variétés de dattes cultivées dans la région des Zibans faite par Acourene et *al.*, (2001), montre que le taux de cendres 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.

Le tableau ci-dessous, donne la teneur en éléments minéraux de quelques variétés de dattes molles algériennes.

Tableau I.9 : Composition minérale de quelques variétés de dattes molles algériennes, en mg/100 g de la partie comestible (Siboukeur, 1997)

Eléments minéraux	Variétés		
	Chars	Tanslit	Litm
Potassium (K)	664	435	452
Chlore (Cl)	256	176	157
Calcium (Ca)	80,50	60,10	61,20
Magnésium (Mg)	17,38	20,61	20,20
Fer (Fe)	2,03	0,83	1,30
Sodium (Na)	2,03	0,83	1,30
Cuivre (Cu)	1,92	0,99	1,10
Manganèse (Mn)	2,10	1,20	1,50

IX.1.6. 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 (tableau I.10). Ce sont des précurseurs immédiats des coenzymes indispensables à presque toutes les cellules vivantes et jouent un rôle primordial (Vilkas, 1993).

Tableau I.10 : Composition vitaminique moyenne de la datte sèche
(Favier *et al.*, 1995)

Vitamines	Teneur moyenne pour 100 g
Vitamine C	2,00 mg
Thiamine (B ₁)	0,06 mg
Riboflavine (B ₂)	0,10 mg
Niacine (B ₃)	1,70 mg
Acide pantothénique (B ₅)	0,80 mg
Vitamine (B ₆)	0,15 mg
Folates (B ₉)	28,00 µg

IX.1.7. Les fibres

La datte est riche en fibres, elle en apporte 8,1 à 12,7 % du poids sec (Al-Shahib et Marshall, 2002). Selon Benchabane (1996), les constituants pariétaux de la datte sont : la pectine, la cellulose, l'hémicellulose et la lignine.

Du fait de leur pouvoir hydrophile, les fibres facilitent le transit intestinal et exercent un rôle préventif des cancers colorectaux, des appendicites, de la diverticulose, des varices et des hémorroïdes. Elles ont également un effet hypocholestérolémiant (Albert, 1998; Jaccot et Campillo, 2003).

IX.1.8. Les composés phénoliques

La datte renferme des substrats dits composés phénoliques (Mansouri *et al.*, 2005).

Tableau I.11 : Teneur en composés phénoliques de quelques variétés de dattes Algériennes (Mansouri *et al.*, 2005)

Variétés	Teneur en mg / 100 g du poids frais
Tazizaout	2,49
Ougherouss	2,84
Akerbouche	3,55
Tazarzait	3,91
Tafiziouine	4,59
Deglet -Nour	6,73
Tantbouchte	8,36

L'analyse qualitative des composés phénoliques de la datte a révélée la présence des acides cinnamiques, des flavones, des flavanones 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.

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

Le noyau présente 7 à 30 % du poids de la datte. Il est composé d'un albumen blanc, dur et corné protégé par une enveloppe cellulosique (Espiard, 2002). Le tableau ci-dessous montre la composition biochimique des noyaux de dattes Irakiennes :

Tableau I.12 : Composition biochimique des noyaux des dattes Irakiennes
(Munier, 1973)

Constituants	Teneur en %
Eau	6,46
Glucides	62,51
Protides	5,22
Lipides	8,49
Cellulose	16,20
Cendres	1,12

Selon Djerbi (1994), les noyaux constituent un sous produit intéressant. En effet, de ces derniers, il est possible d'obtenir une farine dont la valeur fourragère est équivalente à celle de l'orge.

XII. Valeur nutritionnelle de la datte

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

- La forte teneur en sucres 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 apport 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).

Chapitre II

Technologie de la datte

La technologie de la datte recouvre toutes les opérations qui, de la récolte à la consommation, 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).

I. Conditionnement de la datte

L'industrie de conditionnement joue un rôle primordial dans la préservation, l'amélioration de la qualité et l'augmentation de la valeur marchande des fruits, surtout celles qui sont destinées à l'exportation.

Le conditionnement des dattes, concerne l'ensemble des opérations effectuées après la cueillette et destinées à présenter un produit fini prêt à être consommé. Ces opérations sont : la désinsectisation, le triage, le lavage éventuel, l'humidification et / ou le séchage, l'enrobage éventuel par le sirop, la mise en caisse ou en boîte et l'entreposage frigorifique (Abdelfateh, 1989).

Les conditionnements sont très personnalisés dans chaque entreprise et selon la clientèle destinataire (Espiard, 2002).

II. Transformation de la datte

II.1. Confiseries à base de datte

II.1.1. La pâte de datte

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

II.1.2. La farine de datte

Elle est préparée à partir de dattes sèches ou susceptibles de le devenir après dessiccation. Riche en sucre, cette farine est utilisée en biscuiterie, pâtisserie, aliments pour enfants (Aït- Ameer, 2001) et yaourt (Benamara *et al.*, 2004).

II.1.3. Les Sirops, les crèmes et les confitures de dattes

Ces produits sont également fabriqués à base de dattes saines car il est important d'éviter tout arrière goût de fermentation.

Selon Espiard (2002), cette gamme de produit est basée sur l'extraction des sucres par diffusion de ces derniers et des autres composants solubles de la datte. Par mélange et cuisson de pâte ou de morceaux de dattes et de sirop, nous pouvons obtenir des crèmes ou des confitures d'excellente qualité.

II.2. La mise en valeur des déchets

Les dattes abîmées et de faible valeur marchande peuvent être utilisées en raison de leur forte teneur en sucre pour la production de :

II.2.1. La biomasse et protéines unicellulaires

La production de protéines reste un objet essentiel afin de subvenir aux besoins mondiaux. A cet égard des essais de production de protéines d'organismes unicellulaires par culture de la levure *Saccharomyces cerevisiae* sur un milieu à base de dattes ont été réalisés.

II.2.2. Les alcools

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 %.

II.2.3. Le vinaigre

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 datte (Boughnou, 1988).

II.2.4. Les aliments de bétail

Les rebuts et les noyaux de dattes constituent des sous produits intéressants pour l'alimentation du bétail.

La farine des noyaux de dattes peut être incorporée avec un taux de 10 % dans l'alimentation des poulets sans influencer négativement leurs performances (Gualtieri et Rappaccini, 1994).

II.2.5. Autres produits

La datte constitue un substrat de choix pour la production de nombreux autres produits tels que : le vin (Espiard, 2002) et le jus de datte (Siboukeur, 1997).

La figure II.1 illustre les différentes opérations de la transformation de la datte et le noyau.

III. Importance économique de la transformation de la datte

La datte est un produit qui présente des avantages comparatifs et pour lequel il n'existe pas de problèmes de concurrence entre les pays développés et les pays sous-développés, comme c'est le cas pour d'autres produits agricoles (tomates, agrumes, olives, etc).

La datte, fait l'objet d'un commerce intérieur et extérieur important, surtout la variété Deglet-Nour. Les autres variétés, même si elles ne sont pas largement commercialisées sur les marchés, peuvent être transformées en divers produits dont l'impact socio-économique est considérable tant du point de vue de la création d'emplois et de la stabilisation des populations dans les zones à écologie fragile. Ainsi, les produits issus de la transformation de la datte limiteraient, par ailleurs la dépendance économique du pays vis-à-vis de l'étranger et lui permettraient d'économiser des devises susceptibles d'être dérangées pour d'autres secteurs (Touzi, 1997).

Chapitre IV

Le séchage

I. Introduction

Le séchage a toujours constitué la méthode la plus simple de permettre la conservation des denrées alimentaires. Même si les techniques (air, soleil...) ont évolué, le principe demeure (Albagnac *et al.*, 2002). Dans les aliments déshydratés, du fait de leur faible activité de l'eau, la plupart des réactions chimiques et enzymatiques de détérioration sont ralenties (Cheftel et Cheftel, 1977).

Comme produits séchés ou déshydratés on peut citer : le lait sous forme de poudre, les fruits secs (raisins, pruneaux, figues etc), le café en poudre, les légumes (haricots verts, tomates,, ail, oignons, champignons) et les œufs en poudre.

II. Modes de séchage

En tant que processus physique, l'élimination de l'eau d'un aliment a lieu généralement sous forme de vapeur. Deux phénomènes fondamentaux interviennent dans l'opération :

- Le transfert de chaleur pour apporter l'énergie nécessaire à la transformation de l'eau en vapeur

- Le transfert de vapeur d'eau à travers et hors de l'aliment (Albagnac *et al.*, 2002).

On distingue essentiellement trois procédés de séchage : à pression atmosphérique (soit par convection, soit par conduction), cryo-dessication (lyophilisation) et sous vide. C'est ce dernier cas qui nous intéresse dans le présent travail. Le procédé est avantageux par le fait que l'évaporation de l'eau est facilitée à pression réduite (le vide entraîne l'ébullition de l'eau par transfert de la vapeur hors du produit à température inférieure à la température d'ébullition de l'eau à pression normale). Le transfert de chaleur est effectué soit par conduction, soit par rayonnement. La vapeur d'eau est enlevée par condensation à l'état liquide ou aspiration. Le vide permet de mieux conserver les propriétés organoleptiques et nutritionnelles (vierling, 2004).

Quel que soit le mode de séchage, c'est la pression de vapeur d'eau dans le produit qui détermine les échanges entre l'air et le produit (Le Meste *et al.*, 2002 ; Albagnac *et al.*, 2002).

III. La migration de la vapeur d'eau

Le séchage des aliments est un phénomène complexe, qui intègre plusieurs mécanismes liés au transfert d'eau. La structure poreuse de la matrice sèche détermine le caractère hygroscopique du produit (Le Meste *et al.*, 2002 ; Zogzas *et al.*, 1996).

La vapeur migre par convection dans les pores et par diffusion à travers des parois séparant les pores. Le flux convectif est provoqué par un gradient de pression de la phase gazeuse, et prend en compte le déplacement de la vapeur avec l'air sec.

La loi de Darcy caractérise le flux de matière surfacique d'un fluide de masse volumique ρ et de viscosité dynamique dans le milieu poreux μ en fonction du gradient de pression totale (Le Meste *et al.*, 2002) :

$$J = - \rho k / \mu dp/dx$$

Avec k , perméabilité intrinsèque du milieu (en m^2).

La diffusion de vapeur est provoquée par le gradient de pression partielle de vapeur (loi de Stefan). Le flux est alors proportionnel à un coefficient de diffusion apparent (Le Meste *et al.*, 2002) .

On distingue généralement trois mécanismes liés au mouvement de l'eau pendant le processus de séchage. L'eau peut en effet migrer sous l'influence :

- d'un gradient de pression capillaire ;
- un gradient de pression totale (filtration de Darcy) :
- un gradient de concentration (diffusion moléculaire décrite par la première et la deuxième loi de Fick).

IV. Modélisation du séchage

De nombreux auteurs se sont attachés à modéliser le processus de séchage d'un produit donné, utilisant des approches plus ou moins physiques. Il s'agit le plus souvent de décrire les cinétiques obtenues expérimentalement, dans le but de tester l'influence des variables opératoires et d'extrapoler les résultats à une installation industrielle.

Nguyen et Price, (2007) ont étudié le séchage de la banane, l'influence des paramètres expérimentaux (température et pH). Leite *et al.*, (2007), par contre se sont intéressés à l'effet de la température (60 et 70°C) sur la qualité des bananes *cv.prata et d'agua*. Hayaloglu *et al.*,

(2007) ont travaillé sur la modélisation mathématique du séchage d'un yaourt brassé en appliquant plusieurs modèles (tableau III.1) :

Tablea III.1 : Modèles mathématiques utilisés pour modéliser les courbes de séchage d'un yaourt brassé (Hayaloglu *et al.*, 2007).

Nom du modèle	Equation du modèle	Références
Page	$MR = \exp(-kt)^n$	Page, (1949)
Page modifié	$MR = \exp[-(kt)^n]$	Overhuts <i>et al.</i> , (1973)
Henderson et Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	Henderson et Pabis, (1961)
Yagcioglu et al	$MR = a \exp(-kt) + c$	Yagcioglu <i>et al.</i> , (1999)
Two-term	$MR = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$	Henderson, (1974)
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	Sharaf-Elden <i>et al.</i> , (1980)
Wang et Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	Wang et Singh, (1978)
Midilli et al	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	Midilli <i>et al.</i> , (2002)
Verma et al	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	Verma <i>et al.</i> , (1985)

Xanthopoulos *et al.*, (2007) ont utilisé également tous les modèles cités ci-dessus pour modéliser la cinétique de séchage des figues. En revanche, Falad et Abbo, (2007), s'est contenté uniquement du modèle $MR = \exp(-kt)$ pour analyser le processus de séchage des dattes du fait du rétrécissement « shrinkage » du tissu.

En fait, les chercheurs s'efforcent d'utiliser des modèles mathématiques simples avec un minimum de paramètres (Sander, 2007 ; Jayas *et al.*, 1990 ; McMinn, 2006, Sokhansany et Genkowski, 1988). En outre trois groupes de modèles mathématiques sont utilisés pour décrire la cinétique de séchage des produits poreux comme les aliments :

- 1/ Les équations théoriques basées sur le processus de diffusion (deuxième loi de Fick)
- 2/ Equations semi-théoriques (loi de Newton) ;
- 2/ Modèles empiriques.

Notons enfin, que les équations de Lewis et de Page sont les plus utilisées (Sander, 2007) :

De plus, certains auteurs ont proposé des formes modifiées de ces équations. Nous citons en particulier celle de Henderson et Pabis (tableau III.1)

Chapitre IV

Le yaourt

I. Fabrication et caractérisation du yaourt

I.1. Fabrication du yaourt

I.1.1. Définition, historique et réglementation

C'est dans la catégorie des laits fermentés obtenus par action de bactéries lactiques thermophiles que se classe le yaourt, il est obtenu, selon la fédération internationale laitière (FIL), par le développement des seules bactéries lactiques *Lactobacillus delbrueckii* sous-espèce *bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*, qui doivent êtreensemencées simultanément et trouvées vivantes dans le produit à raison d'au moins 10^7 bactéries/g.

Les critères pris en compte par le *codex alimentarius* et la FIL dans la réglementation du yaourt sont les suivants :

- **Dénomination du produit** : elle varie selon les langues, mais les termes les plus utilisés sont « yoghurt », « yoghurt » ou « yaourt ».

- **Types de produit** : il sont définis souvent en fonction de leur teneur en matière grasse ou de l'adjonction éventuelle d'ingrédients (yoghourt partiellement écrémé ou maigre, yoghurt écrémé, le yoghurt sucré et le yoghurt nature).

- **Le type de ferment utilisé** : selon la FIL, et de nombreux pays, la dénomination « yaourt » nécessite l'utilisation obligatoire et exclusive des deux ferments caractéristiques *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus delbrueckii* sous-espèce *bulgaricus* (Luquet et Carrieu, 2005).

- **La quantité de ferment contenue dans le produit fini** : la FIL fixe la quantité de ferments vivants, égale à 10^7 bactéries par gramme rapportés à la partie lactée jusqu'à la date limite de consommation.

- **La viabilité de la flore lactique** : flore viable pendant toute la durée de vie.

- **Ingrédients laitiers** : lait pasteurisé, congelé, écrémé, concentré, en poudre, crème et caséines etc.

- **Ingrédients non laitiers** : une multitude d'ingrédients peut être incorporée dans le yaourt. Il peut s'agir par exemple de fruits sous différentes formes (purée, jus, pulpe, sirop etc.),

de céréales, de légumes ou de sucre. La quantité d'ingrédients non laitiers est fixée par le codex alimentarius, la FIL et la plupart des pays à moins de 30% en poids du produit fini.

- **pH** : La FIL préconise une teneur de 0,7% d'acide lactique. Cette valeur est respectée dans certains pays avec une variabilité de 0,6 à 15%. Certaines normes imposent un pH inférieur à 4,5 ou 4,6 (tableau IV.1).

-**Taux de matière grasse** : Il doit être minimum, inférieur à 3%(m/m) dans le cas des yaourts (nature, sucré ou aromatisé), compris entre 0,5 et 3% dans le cas des yaourts partiellement écrémés et 0,5% dans les yaourts écrémés.

- **Teneur en protéines** : elle est égale à 2,8% dans le produit fini.

En fonction de la technologie de fabrication, les yaourts sont divisés en deux groupes :

- **Yaourts fermes**, dont la fermentation a lieu en pots. Ce sont généralement des Yaourts nature ou aromatisés.

- **Yaourts brassés**, dont la fermentation a lieu en cuves avant le conditionnement. Ce sont généralement des yaourts brassés nature ou aux fruits (Luquet et Carrieu, 2005).

Tableau IV.1 : Réglementation concernant la quantité d'acide lactique ou le pH dans le yoghurt (Luquet et Carrieu, 2005).

Organisme/pays	Normes
FIL	0,7 % en poids exprimé en tant qu'acide lactique.
France Portugal Italie	Acide lactique libre > 0,7 %.
Espagne	pH < 4,6
Pays-Bas	pH < 4,5
Belgique	< 0,7 % exprimé en acide lactique.
Pologne	3,9 < pH < 4,6
Tunisie	0,8 % d'acide lactique
Israël	pH > ou = 3,8
Etats-Unis	Acidité < 0,9 % exprimé en acide lactique
Canada	0,8 % d'acide lactique
Australie	pH < 4,5
Mexique	pH < 4,5
Japon	Aucune réglementation

Les yaourts et les produits fermentés frais, identifiés comme aliments bénéfiques pour la

santé, sont aujourd'hui des produits de grande consommation. Ainsi, selon une enquête du Centre National Interprofessionnel de l'Economie Laitière (CNIEL), la production de yaourts et d'autres laits fermentés ne cesse de croître et est parvenue à 1 435 993 tonnes en 2002 (Paci Kora,2004).

I.1.2. Les matières premières et ingrédients

La principale matière première pour la fabrication des yaourts est le lait dont, pour l'essentiel, le lait de vache. Il est constitué d'environ 88% d'eau et de 12 % de matière sèche contenant des glucides, des protéines, des lipides et des minéraux (Tamime et Robinson, 1985). Le tableau IV.2 donne la composition du lait de vache.

Afin d'augmenter la viscosité apparente et la consistance des yaourts (Schkoda *et al.*, 2001 ; Van Marle, 1998), la teneur en matière sèche du lait écrémé utilisé est augmentée au préalable jusqu'à 10-12%. Après concentration (par évaporation ou osmose inverse) ou, plus fréquemment, addition de poudre de lait écrémé ou de protéines de lactosérum (Mahaut *et al.*, 2000), on parle alors de lait écrémé fortifié ou enrichi.

Dans le cas des yaourts brassés sans matière grasse, des agents de texture (épaississants ou gélifiants) sont souvent ajoutés. Ils améliorent l'apparence, la viscosité et la consistance des yaourts. Les additifs les plus fréquemment utilisés sont : la gélatine, les alginates, les celluloses, les amidons, et les pectines.

Les fruits dans les yaourts sont apportés sous forme de préparations de fruits avec ou sans sucres ajoutés. Les agents de texture, incorporés dans la préparation de fruit, participent également à l'amélioration de la texture des yaourts. Les fruits les plus consommés sont les fruits rouges et les fruits exotiques (Vignola, 2002).

Tableau IV.2 : Composition physique du lait de vache et propriétés physiques
(Mietton *et al.*, 1994)

	Composition g / l	
Eau	905	
Glucides : lactose	49	
Lipides	35	
Matière grasse proprement dite		34 0,5
Lécithine(phospholipides)		0,5
Partie insaponifiable (stérols, carotènes, tocophérols)		
Protides	34	
Caséines		27
Protéines solubles (globuline, albumine)		5,5
Substances azotées non protéiques		1.5
Sels	9	
de l'acide citrique		2
de l'acide phosphorique		2,6
de l'acide chlorhydrique		1,7
Constituants divers	Traces	
Vitamines, enzymes, gaz dissous		
Extrait sec total	127	
Extrait sec non gras	92	

1.1.3. Diagramme de fabrication d'un yaourt

On peut voir à la figure IV.1 un diagramme des principales étapes de la fabrication du yaourt et à la figure IV.2 un plan modèle de la fabrication d'un yaourt ferme.

Pour obtenir un produit final acceptable, les responsables de la qualité se doivent d'établir les caractéristiques recherchées pour chaque produit et de dresser une liste des défauts possibles associés à ces mêmes caractéristiques (Vignola, 2002). Le tableau IV.3 donne une liste des caractéristiques d'un yaourt nature.

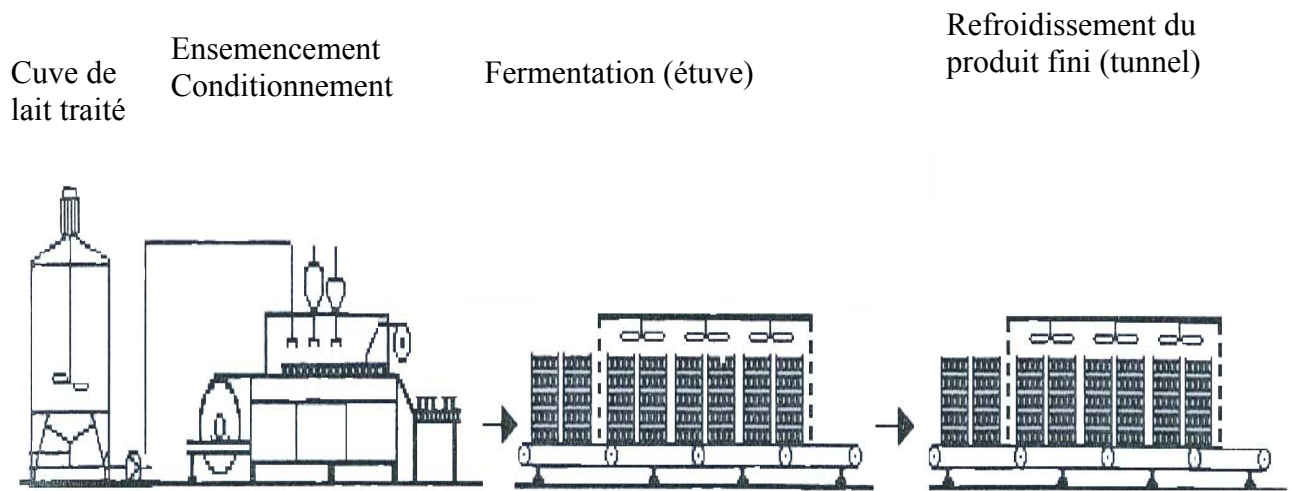


Figure IV.1: Fabrication des yaourts ferme (Luquet et Carrieu, 2005)

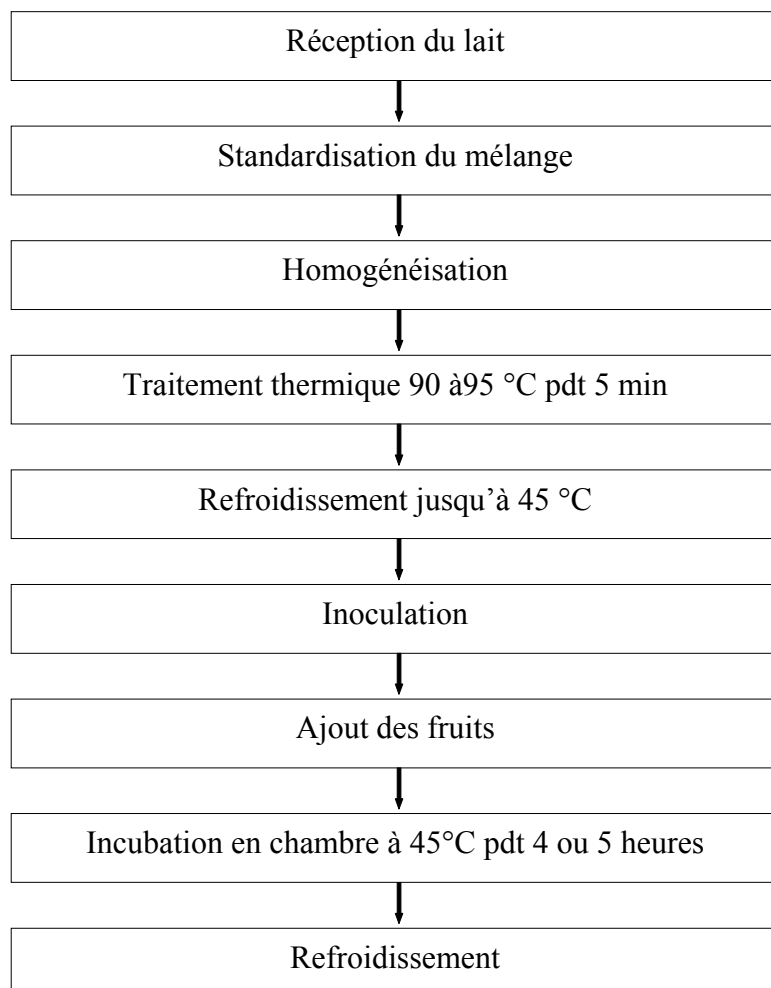


Figure IV.2 : Diagramme de fabrication des yaourts (Loones, 1994).

Tableau IV.3 : Caractéristiques d'un yaourt nature (Vignola, 2002)

Présence, à un degré défini, de goût ou d'odeurs :

Acide, sucré et d'acétaldéhyde

Absence de goûts ou d'odeurs :

Fruités, vanillés, levurés, de fromage, d'herbes, oxydés, brûlés, trop ou peu sucrés, trop ou faiblement acides, aqueux, faiblement aromatique, rances ou amers.

Présence à un degré défini, d'une apparence :

Uniforme ou jaunâtre

Absence dans l'apparence de :

Synérèse, mousse à la surface, moisi, craquelage, collage à la paroi du pot, couche de crème, grumeaux, couleur trop jaune, trop bleutée ou non uniforme ou non homogène.

Présence, à un degré défini, d'une texture :

Ferme, onctueuse, uniforme, visqueuse et consistante

Absence d'une texture :

Molle, coulante ou liquide, trop ferme ou gommeuse, faiblement onctueuse, râpeuse ou sableuse au palais, gélatineuse, faiblement visqueuse.

a) Réception du lait

Il est généralement reconnu qu'on ne peut faire un produit de qualité avec une matière première de mauvaise qualité. Dans cet esprit, il est primordial de mettre en place dès la réception du lait ou toutes autres matières premières, des méthodes et des procédures rapides et simples permettant de détecter les anomalies et les pertes possibles de contrôle.

b) Standardisation du mélange

Pour bien assimiler l'importance de la standardisation ou de l'enrichissement du lait sur la qualité finale du yaourt, il est nécessaire de donner le rôle de chaque composante du lait.

- Le gras a un effet sur l'onctuosité et la sensation de douceur en bouche
- Le lactose est la matière première utilisée pour l'acidification et à un faible pouvoir sucrant, soit quatre fois plus faible que celui du sucre.

- Les protéines, de par leur coagulation et leur capacité de liaison avec l'eau, agissent sur la texture, particulièrement sur la viscosité, la consistance, l'élasticité et la fermeté

- Les minéraux, comme des boulons travaillent à la stabilisation du gel (Vignola, 2002).

Le tableau IV.4 nous montre les différentes façons de standardiser ou d'enrichir le lait.

Tableau IV.4: Méthodes d'enrichissement du mélange de yaourt (Vignola, 2002)

Mécanismes	Remarque
Addition de solides totaux	
Poudre de lait entier	Très utilisée malgré son goût, sa solubilité et l'incorporation de l'air ; la mise en œuvre est facile
Addition de lait évaporé	Mélange facile ; goût élevé ; peu utilisé
Concentration par osmose inverse	Bon système ; toutefois l'installation et la mise en marche sont coûteuses
Evaporation du lait	Meilleur système ; enlever les odeurs (lait de chèvre) ; enlève l'air du lait
Addition de solide non gras	
Addition de poudre de lait écrémé, de lait écrémé évaporé	Problème de solubilité ; incorporation possible de l'air ; coût élevé
Addition de poudre de lactosérum, de lactosérum évaporé	Résultats très contradictoires
Addition de protéines	
Addition de caséine ou d'un concentré de protéines de lactosérum ou de coprécipité	Fort pouvoir texturant ; hydrophile ; efficacité contreversée ; chauffage nécessaire ; goût et texture variables
Concentration par ultrafiltration	Très bonne texture ; goût affaibli
Addition de sucre	
Addition de lactose	Texture faible ; changement de texture
Dextrose, fructose, miel, sucres artificiels	Effets sucrants
Addition de matière grasse	
Addition de crème	Texture grasse typique ; type pouding ; nécessité d'homogénéiser ; goût
Ecrémage	Texture difficile ; synérèse possible
Addition de minéraux et des vitamines	
Calcium, fer, acide ascorbique, vitamine A ou B ou D	Observation d'un produit diététique

c) Homogénéisation

Elle a principalement des effets sur deux composantes du lait, soit la matière grasse et les protéines. Le tableau IV.5 donne les causes possibles d'homogénéisation inadéquate d'un mélange et les incidences sur la qualité du yaourt.

Tableau IV.5 : Causes possibles d'homogénéisation inadéquate d'un mélange et incidences sur

la qualité du yaourt (Vignola, 2002).

Causes	incidences sur la qualité du yaourt
Pression trop faible	<ul style="list-style-type: none"> - Séparation du gras, obtention de deux phases (présence d'une surface très crémeuse) - Présence d'un goût d'eau dans le produit Non uniformité de la couleur - Produit plus liquide, donc une consistance et une viscosité moindres - Synérèse
Pression trop forte	<ul style="list-style-type: none"> - Diminution dans l'onctuosité - Viscosité et consistance inappropriées en raison d'un bris des protéines, produit plus liquide - Présence de mousse ou de bulles à la surface

d) Traitement thermique

Le lait enrichi, éventuellement sucré, subit un traitement thermique. Le barème de traitement thermique le plus couramment utilisé est de 90-95°C pendant 3 à 5 minutes (Mahaut *et al.*, 2000 ; Paci Kora, 2004). Ce traitement a de multiples effets sur la flore microbienne ainsi que sur les propriétés physico-chimiques et fonctionnelles du lait. Tout d'abord, il crée des conditions favorables au développement des bactéries lactiques. Il détruit les germes pathogènes et indésirables (Boudier, 1990) et inactive des inhibiteurs de croissance tels que les lactopéroxydases (Farkey et Imafidon, 1995). De même, il réduit les sulfures toxiques et entraîne la production d'acide formique qui est un facteur de croissance pour *Lactobacillus bulgaricus* (Loones, 1994). Le traitement thermique a également un effet sur la conformation tridimensionnelle des protéines, induisant la modification de leurs propriétés fonctionnelles. Il dénature la majorité des protéines du lactosérum (85%) qui se fixent ainsi sur les molécules de caséines. Enfin, il modifie les équilibres salins, en entraînant une augmentation de la taille des micelles de caséines, de leur stabilité et de la quantité d'eau liée (Mahaut *et al.*, 2000).

Au niveau rhéologique, ces modifications se traduisent par une amélioration après fermentation de la fermeté des gels (Kalab *et al.*, 1976 ; Mottar *et al.*, 1989). De plus, le traitement thermique entraîne une production plus importante d'acétaldéhyde, le composé responsable de l'arôme "yaourt" (Singh, 1983).

e) Fermentation lactique

Le lait, enrichi et traité thermiquement, est refroidi à la température de fermentation, 40-45°C. Cette température correspond à l'optimum de développement symbiotique des bactéries

lactiques (Loones, 1994). Leur inoculation se fait à un taux assez élevé, variant de 1% à 7%, pour un ensemencement indirect à partir d'un levain avec un ratio *Streptococcus thermophilus/Lactobacillus bulgaricus* de 1,2 à 2 pour les yaourts nature, et pouvant atteindre 10 pour les yaourts aux fruits (Boudier, 1990 ; Mahaut *et al.*, 2000). L'ensemencement direct à partir de bactéries lactiques concentrées congelées se fait à des taux de l'ordre de 0,03 %. Les deux espèces *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* vivent en symbiose et en synergie. Lors de leur croissance, elles dégradent le lactose en acide lactique, entraînant une baisse du pH et la gélification du milieu avec des modifications structurales irréversibles.

En outre, ces bactéries produisent des composés carbonylés volatils (l'acétaldéhyde, le diacétyl, l'acétoïne, l'acétate d'éthyle) (Imhof *et al.*, 1994; Ott *et al.*, 1997) et des exopolysaccharides (Cerning *et al.*, 1990) qui participent, respectivement, à l'élaboration de l'arôme et de la texture des yaourts.

Lorsque le pH atteint une valeur comprise entre 4,7 et 4,3, un refroidissement en deux ; temps (rapide jusqu'à 25°C, puis plus lent jusqu'à 5°C) est appliqué afin de stopper la fermentation. En effet, l'activité des bactéries lactiques est limitée pour des températures inférieures à 10°C (Tamime et Robinson, 1985).

c) Conditionnement et stockage

Les yaourts, conditionnés dans des pots en verre ou en plastique, sont stockés en chambres froides à 4°C en passant au préalable dans des tunnels de refroidissement. A ce stade, ils sont prêts à être consommés. La durée limite de leur consommation est de 28 jours (Luquet et Carrieu, 2005 ; Paci Kora, 2004).

Pendant le stockage, les bactéries lactiques maintiennent une activité réduite. Cette évolution, appelée post-acidification, se traduit par une légère baisse du pH, surtout pendant les 2 premiers jours de stockage.

I.2. Structure et comportement rhéologique des yaourts

La transformation du lait au yaourt s'accompagne de la mise en place d'une structure complexe et d'un changement important des propriétés rhéologiques en passant d'un liquide Newtonien à un gel viscoélastique à destruction non réversible. Les additifs et les étapes du procédé de fabrication jouent un rôle majeur sur le comportement rhéologique du yaourt qui sera apprécié par le consommateur (Paci Kora, 2004).

I.2.1. Structure des yaourts

a) Gélification acide

Les structures principales impliquées lors de gélification acide du lait sont les micelles de caséine. En effet, dans le lait, les différents types de caséines (α_{s1} , α_{s2} , β et κ) s'associent pour former des micelles, de structure sphérique supramoléculaire et de diamètre moyen de 150 nm.

Différents modèles théoriques de l'organisation micellaire sont proposés dans la littérature (Cayot et Lorient, 1998). Les auteurs s'accordent néanmoins sur une structure générale très hiérarchisée (figure IV.3). La micelle est composée d'un cœur hydrophobe essentiellement constitué des caséines α , β et κ , dont la partie terminale est très hydrophile et chargée négativement. Les caséines sont situées à la surface des micelles et assurent le maintien en suspension dans la phase aqueuse en constituant une sorte de chevelure. La micelle possède un degré d'hydratation élevée. La structure micellaire est maintenue grâce à des liaisons faibles, des ponts salins impliquant le calcium ou le phosphate de calcium et des groupements phosphoryles ou carboxyles de certaines chaînes latérales des caséines, ainsi que des interactions hydrophobes (Paci Kora, 2004).

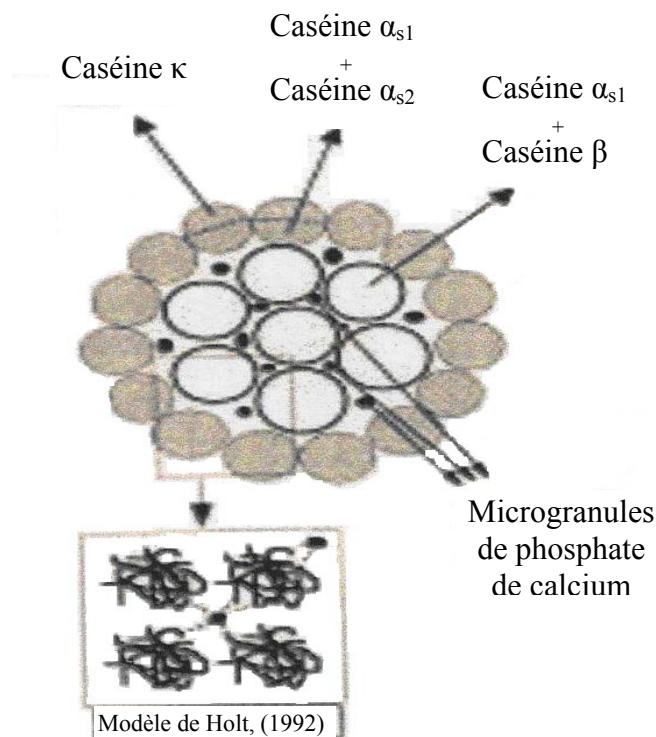


Figure IV.3 : Modèle de structure de micelle de caséines selon Ono et Obata (1989).

Lors de la baisse du pH, due à la fermentation lactique, les micelles de caséines subissent des changements substantiels. Le déplacement de l'équilibre acido-basique entraîne une diminution progressive de la charge ionique des micelles qui devient nulle. En parallèle, une solubilisation du phosphate de calcium micellaire est observée, entraînant la dissolution de la structure micellaire. Par la suite, la solubilité des caséines se trouve fortement diminuée, ainsi que leur capacité d'hydratation. Le pH auquel commence la gélification du lait dépend de la température et des prétraitements thermiques du lait (Tamime et Robinson, 1985). En dessous d'un pH de 5,5, lorsque la majorité des ions calcium et phosphate ont quitté la micelle, celle-ci reste encore visible au milieu d'une quantité croissante de très petites particules jusqu'à ce qu'un pH de 5,2 soit atteint (Heertje *et al.*, 1985 ; Visser *et al.*, 1986). Pour des pH plus bas, des particules de caséines se créent à nouveau par la formation des liaisons hydrophobes, hydrogènes et électrostatiques. Bien qu'elles ressemblent aux micelles de caséines initiales, elles sont plus grosses et très différentes à cause de l'absence de phosphate de calcium. Les particules ainsi formées constituent un réseau donnant naissance à un gel retenant la phase aqueuse. A un pH inférieur au point isoélectrique des caséines (pH = 4,60), le réseau se stabilise et n'évolue pratiquement plus. Pendant la phase de coagulation, les caséines entraînent avec elles les protéines sériques.

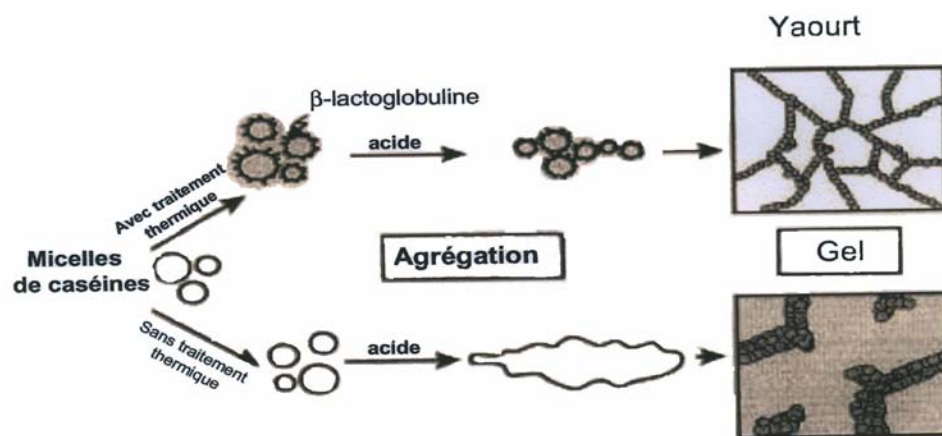


Figure IV.4 : Effet du traitement thermique sur la structure de la microstructure du yaourt (Kessler, 1998)

La microstructure du yaourt est fonction de la concentration en matière sèche (Schkoda *et al.*, 1998 ; Van Marle, 1998), de la méthode d'enrichissement du lait (Tamime *et al.*, 1984), du traitement thermique (Kessler, 1998) mais aussi des souches bactériennes utilisées et de leur capacité à synthétiser des polysaccharides exocellulaires (EPS), augmentant la viscosité du gel (Hassan *et al.*, 1995). Ainsi, les travaux de Kessler (1998) montrent que les micelles de caséines d'un yaourt fabriqué à partir de lait chauffé forment des chaînettes bien liées entre elles, tandis qu'elles forment des agrégats dans un yaourt fabriqué à partir de lait non chauffé (figure IV.4). Cette différence est essentiellement due au comportement des β lactoglobulines. Enfin, les sucres et les autres constituants mineurs restent solubilisés dans la phase aqueuse.

I.2.2. Comportement rhéologique

a) Propriétés rhéologiques des yaourts

La connaissance du comportement rhéologique du yaourt est nécessaire pour la conception et le dimensionnement des installations de transformation, sous réserve de maîtriser les contraintes (cisaillements) notamment lors des étapes de brassage et de pompage ainsi que lors des échanges de chaleur. La connaissance des propriétés rhéologiques permet également d'appréhender la qualité en terme de texture des produits finis.

Le yaourt est défini comme un fluide viscoélastique. Il possède donc à la fois les propriétés visqueuses d'un liquide et les propriétés élastiques d'un solide. Le comportement rhéologique du yaourt est non-newtonien, ce qui veut dire que la viscosité du produit dépend de la vitesse de cisaillement ou de la contrainte exercée. La loi de Newton s'écrit:

$$\mu = \tau / \dot{\gamma}$$

Où μ = viscosité (Pa.s), τ = contrainte ou taux de cisaillement (Pa), $\dot{\gamma}$ = vitesse de cisaillement (s^{-1}).

Dans le cas des yaourts, la viscosité diminue quand la vitesse de cisaillement augmente. C'est un fluide rhéofluidifiant. On parle alors de viscosité apparente à une vitesse de cisaillement donnée. Les suspensions de polymères (polysaccharides, etc) présentent également le même comportement.

Le modèle le plus classique pour décrire le comportement d'un fluide rhéofluidifiant est le modèle d' Herschel Bulkley :

$$\eta_a = K \cdot \dot{\gamma}^{n-1} + \tau_0 / \dot{\gamma}$$

Avec η_a : viscosité apparente à la vitesse de cisaillement, $\dot{\gamma}$ (Pa.s) ; K , indice de consistance (Pa.sⁿ) ; n , indice d'écoulement (sans unité), τ_0 seuil d'écoulement (Pa).

Pour le yaourt brassé, le modèle se simplifie par une relation puissance car le seuil d'écoulement est nul ($\tau_0 = 0$).

Par ailleurs, le comportement rhéologique des yaourts est dépendant des traitements mécaniques subis ultérieurement. Si les contraintes de cisaillement sont trop fortes, le gel ne retrouve plus sa structure initiale. C'est un fluide partiellement thixotrope.

b) Méthodes de caractérisation

Le yaourt étant un produit de comportement rhéologique complexe, sa caractérisation s'avère assez délicate. Différents appareils de laboratoire sont utilisés pour caractériser leurs propriétés rhéologiques, à savoir le viscosimètre Brookfield, les rhéomètres rotatifs, les pénétromètres, ou encore, l'entonnoir de Posthumus. Généralement, les viscosimètres permettent de mesurer uniquement les propriétés visqueuses (viscosité apparente), tandis que les rhéomètres mesurent les propriétés visco-élastiques. En fonction de la géométrie du module de mesure, des contraintes ou des vitesses de cisaillements appliqués, les analyses réalisées déstructurent plus ou moins le gel lactique.

- **Les pénétromètres** ou les appareils de traction/compression sont largement utilisés pour caractériser la fermeté du yaourt ferme ou du yaourt brassé avant son brassage (O'Neil *et al.*, 1979 ; Barrantes *et al.*, 1996). Hess *et al.* (1997), à l'aide d'un pénétromètre TA-XT2, ont déterminé les propriétés filantes du yaourt.

- **L'entonnoir de Posthumus** est une méthode simple et rapide pour mesurer la viscosité du yaourt brassé, qui est souvent appliquée en industrie laitière (Hellinga *et al.*, 1986).

- **Le viscosimètre Brookfield** est également un appareil relativement simple, utilisé en routine, pour déterminer la texture des yaourts. Comme l'entonnoir de Posthumus, il ne permet de mesurer qu'un seul paramètre, la viscosité Brookfield.

Une caractérisation plus complète des propriétés rhéologiques des yaourts brassés est obtenue à l'aide des **rhéomètres rotatifs**. Deux types de mesures sont possibles : 1) à vitesse imposée : la vitesse de rotation ou la déformation est imposée ; 2) à contrainte imposée : un

couple de torsion est imposé. Diverses géométries des modules existent : cône-plan, plan-plan et cylindres coaxiaux. Les systèmes cône-plan permettent de créer une vitesse de cisaillement uniforme dans l'entrefer, et sont donc les plus adaptés aux produits rhéofluidifiants, tels que le yaourt. Les mesures peuvent être effectuées en régime harmonique ou en continu. Elles consistent à imposer une grandeur (vitesse ou contrainte) dont l'amplitude varie de façon sinusoïdale avec une fréquence d'oscillation fixée. Pour un fluide purement élastique, la contrainte est en phase avec la déformation, tandis que pour un fluide purement visqueux, la contrainte est déphasée de 90° par rapport à la déformation. Dans le cas d'un fluide viscoélastique, tel que le yaourt, la contrainte est déphasée d'un angle compris entre 0 et 90° . Les composantes élastiques (G' (Pa)) et visqueuses (G'') sont calculées à partir de la grandeur enregistrée et de son déphasage par rapport à la grandeur imposée. La viscosité complexe du produit, prenant en compte les deux composantes, permet de caractériser le comportement rhéologique. De nombreux auteurs ont caractérisé les propriétés rhéologiques des yaourts (Skriver *et al.*, 1993 ; De Lorenzi *et al.*, 1995; Rohm et Kovac, 1995; Hirano *et al.*, 1998. Lucey *et al.*, 1998; Ozer *et al.*, 1998 ; Lucey et Singh, 1999; Fiszman *et al.*, 1999; Shaker *et al.*, 2000; Norziah *et al.*, 2001 ; Haque *et al.*, 2001; O'Donnell et Buttler, 2002 ; Afonso *et al.*, 2003; Dello Staffolo *et al.*, 2004; Paci Kora *et al.*, 2004 ; Koksoy et Kilic, 2004 ; Decourcelle *et al.*, 2004 ; Van Hekken *et al.*, 2004; Lambo *et al.*, 2005; Sodini *et al.*, 2005; Everet et McLeod, 2005; Kip *et al.*, 2006 ; Nongonierma *et al.*, 2006; Kulkarni *et al.*, 2006; Fernandes *et al.*, 2007; Nongonierma *et al.*, 2007; Mullineux et Simmons, 2007) en effectuant des balayages en fréquence et en contrainte.

Chapitre V: Matériel et méthodes

I. Matériel biologique

I.1. Description et choix des trois variétés de dattes

Les variétés de dattes retenues dans cette étude sont très répandues dans les palmeraies de la région Sud-Est. Ce sont les variétés : Mech-Degla (photo V.1, V.2), Degla-Beida (photo V.3, V.4) et Frezza (Photo V.5, V.6).

La datte Mech-Degla est de forme sub-cylindrique, légèrement rétrécie à son extrémité. A maturité, la datte est plutôt beige clair teinté d'un marron peu prononcé. L'épicarpe est ridé, peu brillant et cassant. Le mésocarpe est peu charnu de consistance sèche et de texture fibreuse (Buelguedj, 1996).

La datte Degla-Beida est de forme fuselée, aplatie du côté périanthe et rétrécie sur l'autre extrémité. A maturité complète, elle est de couleur beige. L'épicarpe est épais et lisse. Le mésocarpe est charnu, de consistance sèche et de texture farineuse (Buelguedj, 1996).

La datte Frezza (Deglet Nour qui sèche sur l'arbre quand les conditions climatiques sont défavorables) est de forme fuselée à ovoïde, légèrement aplatie du côté périanthe. A maturité, la datte est ambrée avec un épicarpe lisse, brillant se plissant une fois la datte ramollie. Le mésocarpe est fin, de consistance sèche et de texture fibreuse (Buelguedj, 1996).

Le choix de ces variétés se justifie par leur qualité gustative, leur abondance au niveau national et leur facilité de conservation (dattes sèches).

I.2. Prélèvement des échantillons

Les dattes étudiées proviennent des palmeraies de la région M'chouneche, de la wilaya de Biskra. La méthode d'échantillonnage suivie est celle préconisée par: Acourene et Tama (1997) ; Girard (1965). Nous avons subdivisé la palmeraie en différentes parcelles. Dans chaque parcelle, la récolte est réalisée sur quatre à cinq palmiers homogènes. Les fruits sont prélevés au hasard sur plusieurs régimes à diverses hauteurs et orientations.

Les dattes sont récoltées à pleine maturité et conservées à 4°C.

I.3 Le lait utilisé pour la fabrication des yaourts

Le lait utilisé est un lait entier en poudre déshydraté de marque NESPRAY.

I.4 Les ferments lactiques

Les ferments lactiques utilisés sont représentés par *Streptococcus thermophilus* et *Lactobacillus bulgaricus* à l'état lyophilisé. Leurs références sont données dans l'annexe n°5.

II. Méthodes d'analyses

Les termes (datte entière et datte) utilisés dans l'ensemble de notre travail signifient :

- Datte entière : Pulpe + noyau.
- Datte : Pulpe ou chair.

La partie expérimentale est réalisée en dix étapes :

- 1- Caractérisation physique de la datte entière et des deux principaux tissus constitutifs de la pulpe des trois variétés étudiées.
- 2- Analyse physico-chimique de la pulpe, et des deux tissus constitutifs de la chair de datte (pigmenté et blanc).
- 3- Optimisation du processus de séchage des trois variétés de dattes et de leurs tissus constitutifs et obtention des poudres.
- 4- Détermination des indices de couleur (L^* , a^* , b^*) des poudres de dattes obtenues après séchage.
- 5- Fabrication de trois yaourts sucrés, aromatisés et colorés par les poudres de dattes et un yaourt nature sans sucre et sans fruits.
- 6- Caractérisation physico-chimiques des quatre yaourts obtenus.
- 7- Analyse de la texture des trois yaourts à base des poudres de dattes obtenues (y compris yaourt nature).
- 8- Analyse de l'aspect rhéologique des trois yaourts à base des poudres de dattes obtenues (y compris yaourt nature).
- 9- Analyse sensorielle des trois yaourts à base des poudres de dattes obtenues (y compris yaourt nature).
- 10- Analyse microbiologique des trois yaourts à base des poudres de dattes obtenues (y compris yaourt nature).



Photo V .1 : Datte Mech-Degla entière et en coupe (photothèque LRTA) .

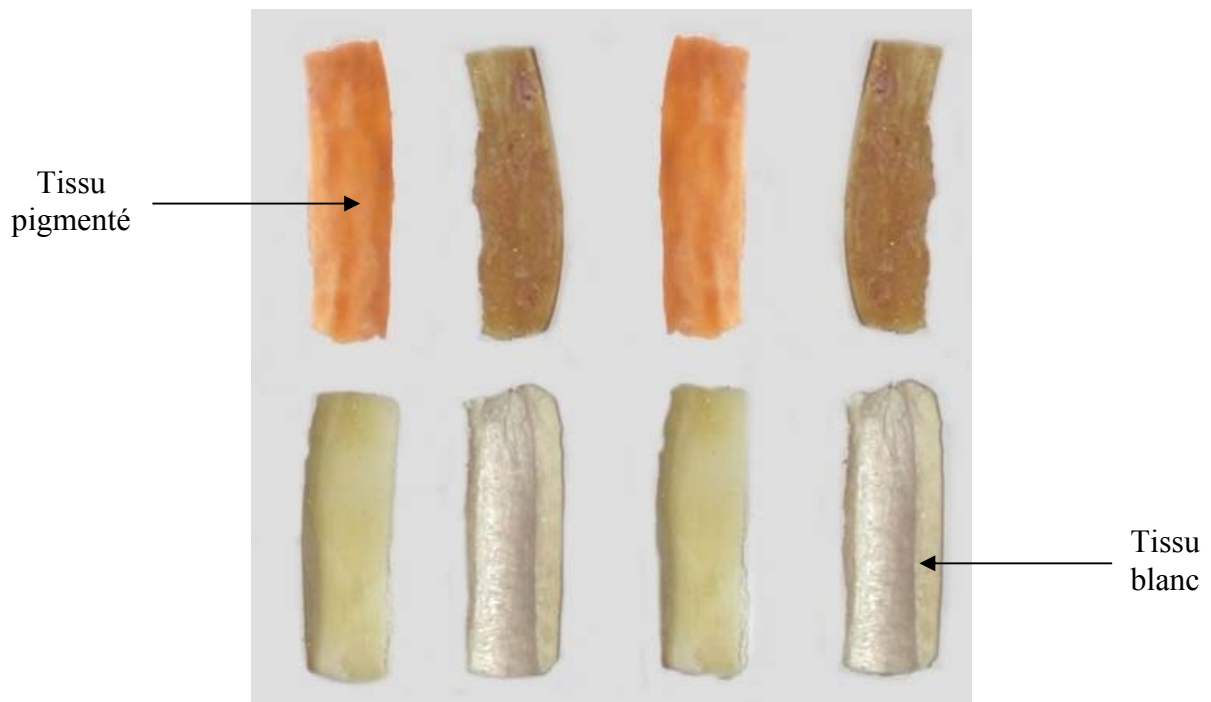


Photo V .2 : Les deux principaux tissus constitutifs de la pulpe de la Mech-Degla (photothèque LRTA).

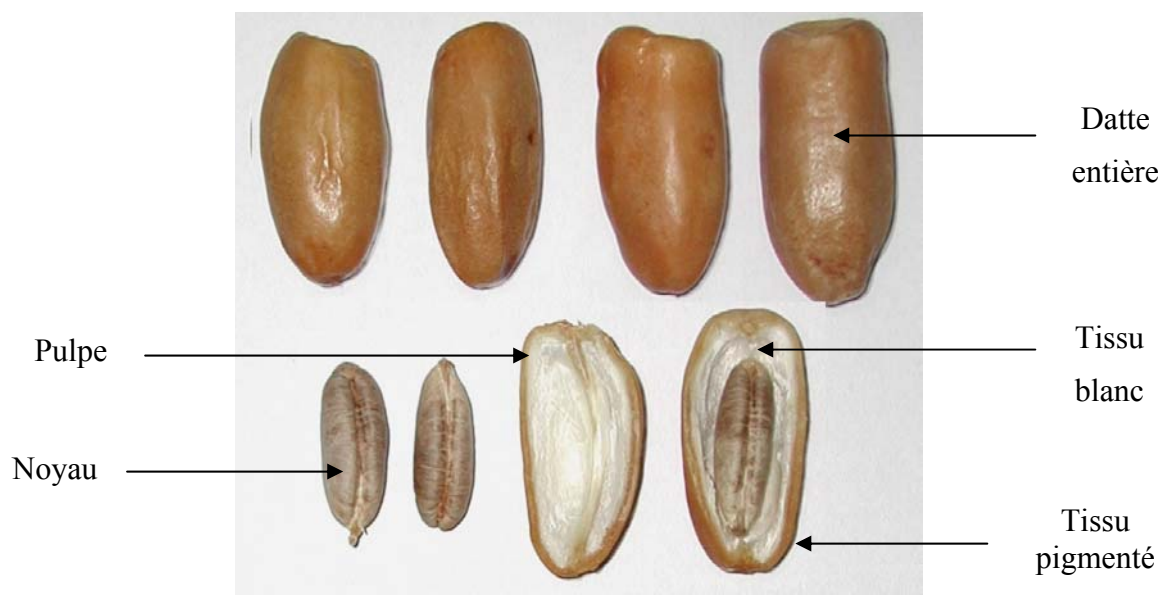


Photo V .3 : Datte Degla-Beïda entière et en coupe (photothèque LRTA) .

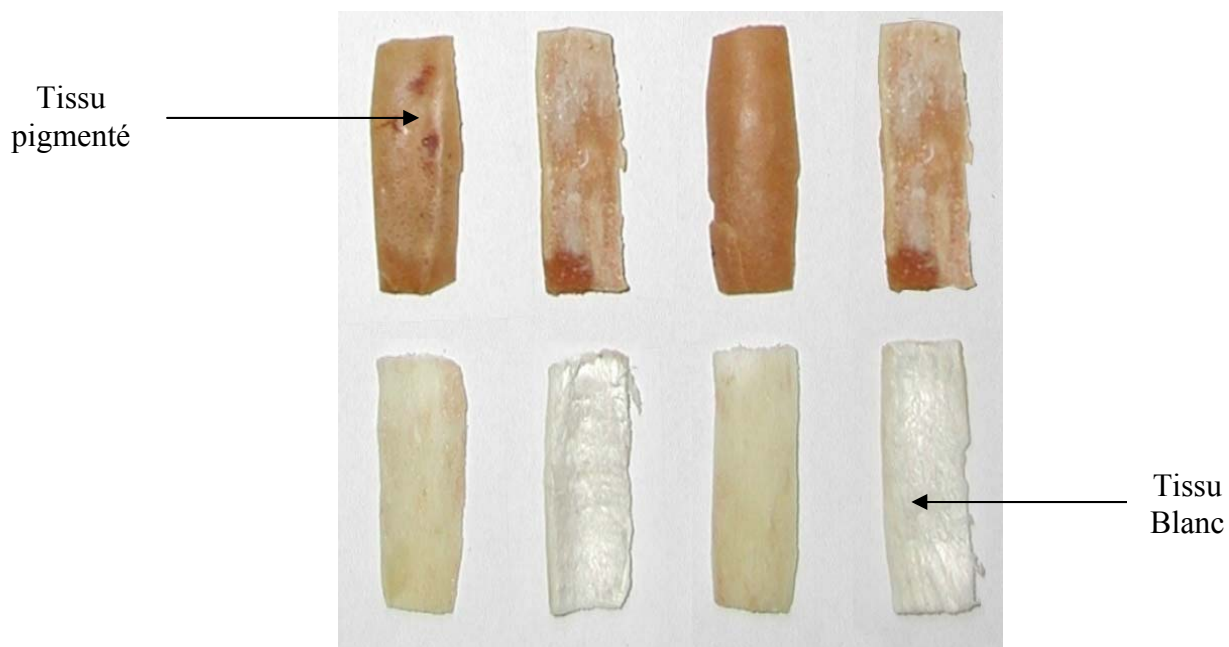


Photo V .4 : Les deux principaux tissus constitutifs de la pulpe de la Degla-Beïda (photothèque LRTA) .



Photo V .5 : Datte Frezza entière et en coupe (photothèque LRITA) .

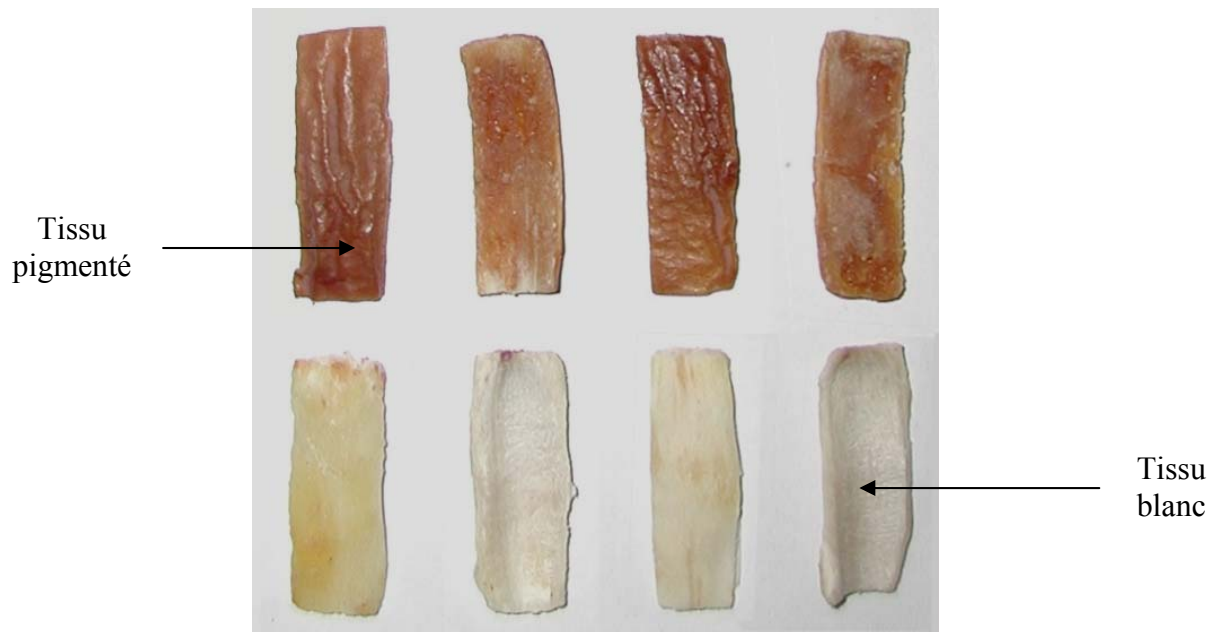


Photo V .6 : Les deux principaux tissus constitutifs de la pulpe de la Frezza (photothèque LRITA) .

II.1. Caractérisation physique de la datte entière et des deux principaux tissus constitutifs de la pulpe

Les caractéristiques physiques sont réalisées sur 10 fruits prélevés au hasard, pour lesquels sont déterminés :

1-Les dimensions du fruit entier et de son noyau (longueur et largeur) au moyen d'un pied à coulisse.

2-Le poids de la datte entière, de la pulpe, des deux principaux tissus constituant la pulpe ainsi que le noyau au moyen d'une balance analytique de précision ($\pm 0,001$).

3-La masse volumique des deux tissus de la pulpe : les dattes sont coupées en petits morceaux de forme régulière et de différentes dimensions. Nous obtenons des parallélépipèdes pour lesquels sont mesurés la longueur (L) et la largeur (l). Les deux tissus sont séparés avec précaution, ensuite nous déterminons leurs poids (M) et leurs épaisseurs (E).

Le volume (V) est calculé selon la formule :

$$V (\text{cm}^3) = (L) \cdot (l) \cdot (E).$$

La masse volumique (ρ) est déterminée comme suit :

$$\rho = \frac{M}{V} \text{ g/cm}^3$$

Soit :

M : masse (g).

V : volume (cm^3).

II.2. Caractérisation physico-chimique de la datte, et de ses deux principaux tissus constitutifs

II.2.1. Détermination de la teneur en eau (NF V 05-108, 1970)

□ Principe

La teneur en eau est déterminée sur une partie aliquote de 1 g d'échantillon broyé étalé dans une capsule en porcelaine puis séché dans une étuve, à une température de 103 ± 2 °C.

➤ Expression des résultats

La teneur en eau est déterminée selon la formule suivante :

$$H \% = \frac{(M_1 - M_2)}{P} \cdot 100$$

Soit :

$H \%$: humidité.

M_1 : masse de la capsule + matière fraîche avant étuvage.

M_2 : masse de la capsule + matière fraîche après étuvage.

P : masse de la prise d'essai.

$$\text{Matière sèche \%} = 100 - H \%$$

II.2.2. Détermination du pH (NF V 05-108, 1970)

□ Principe

Basé sur la détermination en unité pH de la différence de potentiel existant entre deux électrodes en verre plongées dans une solution aqueuse de la pulpe de datte broyée.

II.2.3. Détermination de l'acidité titrable (NF V 05-101, 1974)

□ Principe

Consiste à effectuer un titrage de l'acidité d'une solution aqueuse avec une solution d'hydroxyde de sodium en présence de phénolphthaléine comme indicateur.

➤ Expression des résultats

L'acidité titrable est exprimée en grammes d'acide citrique pour 100 g de produit :

$$A \% = \frac{(250 \cdot V_1 \cdot 100)}{(V_0 \cdot M \cdot 10)} \cdot 0,07$$

Soit :

M : masse, en grammes de produit prélevé.

V_0 : volume en millilitres de la prise d'essai.

V_1 : volume en millilitres de la solution d'hydroxyde de sodium utilisée (0,1 N).

0,07 : facteur de conversion de l'acidité titrable en équivalent d'acide citrique.

II.2.4. Détermination de la teneur en sucres totaux (Méthode du Dubois)

▪ Principe

Les sucres totaux sont d'abord extraits avec de l'eau distillée. Ils forment une coloration jaune-rouge avec le phénol et l'acide sulfurique dont l'intensité de la couleur est proportionnelle à la concentration des sucres.

- **Mode opératoire :** (voir annexe n°1)

II.2.5. Détermination de la teneur en protéines (Méthode de kjeldhal)

□ Principe

Le principe de la méthode est basé sur la transformation de l'azote organique en sulfate d'ammonium sous l'action de l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur, et dosé après déplacement en milieu alcalin et distillation sous forme d'ammonium (Lecoq, 1965).

- **Mode opératoire :** (voir annexe n°1)

➤ Expression des résultats

La teneur en azote total est déterminée par la formule suivante :

$$N \% = \frac{V}{V'} \cdot (N - N') \cdot 0.05 \cdot 1.4}{P}$$

Soit :

V : solution minéralisée et complétée à 100 ml ;

V' : solution de la soude ajoutée 20 ml ;

N : quantité d'acide sulfurique lue après titration ;

0,05 : normalité d'acide sulfurique ;

P : poids de la prise d'essai 1 g.

II.2.6 Détermination de la teneur en lipides (NF EN ISO 734-1)

□ Principe

Les corps gras sont les substances organiques qui peuvent être extraites à partir des fruits par des solvants organiques non polaires au moyen de l'appareil Soxhlet.

➤ Expression des résultats

La teneur en matière grasse est déterminée selon la formule suivante :

$$MG \% = \frac{(P_2 - P_1)}{P_3} \cdot 100$$

Soit :

P_2 : poids du ballon avec l'huile extraite (g).

P_1 : poids du ballon vide (g).

P_3 : poids de la prise d'essai (g).

II.2.7. Détermination de la teneur en cendres (NF V05-113, 1972)

□ Principe

La pulpe de datte est calcinée à 550 °C dans un four à moufle jusqu'à obtention d'une cendre blanchâtre de poids constant.

➤ Expression des résultats

$$MO \% = \frac{(M_1 - M_2)}{P} \cdot 100$$

Soit :

MO % : matière organique.

M_1 : masse de la capsule + prise d'essai

M_2 : masse de la capsule + cendres.

P : masse de la prise d'essai.

La teneur en cendres (Cd) est calculée comme suit :

$Cd = 100 - MO \%$

II.2.8. Analyse des éléments minéraux

Les éléments minéraux sont dosés par Spectrophotométrie d'Absorption Atomique.

□ Principe

En absorption atomique la concentration est déduite de la mesure de l'absorption de la lumière par les atomes de l'élément resté à l'état fondamental lorsqu'ils sont éclairés par une source lumineuse convenable. La mesure de l'intensité lumineuse est faite à une longueur d'onde spécifique de l'élément à doser.

- **Mode opératoire** (NF V 05-113, 1972)

- Dissoudre les cendres obtenues dans 1 ml d'acide chlorhydrique, puis ajouter avec précaution 10 ml d'eau distillée ;
- Chauffer quelques minutes au bain-marie bouillant jusqu'à dissolution complète des cendres ;
- Verser quantitativement la solution dans une fiole jaugée de 100 ml, puis compléter à 100 ml avec de l'eau distillée ;

A partir de cette solution, nous avons effectué le dosage des éléments minéraux suivants : Le potassium, le calcium, le sodium, le magnésium, le zinc, le fer, le cuivre et le manganèse.

II.2.9. Détermination de la conductivité électrique

□ Principe

La conductivité électrique d'une eau est la conductance des colonnes d'eau comprise entre deux électrodes métalliques de 1 cm² de surface et séparées l'une de l'autre de 1 cm (Rodier, 1997).

• Mode opératoire

Une solution à 20 % de matière sèche est préparée et l'électrode de conductimètre (type JUNUAY) est plongée dans la solution. La lecture se fait directement sur l'afficheur du conductimètre.

II.2.10. Détermination de la teneur en pectine sous forme de pectate de calcium

□ Principe

Les pectines sont dosées sous forme de pectate de calcium, après extraction à l'eau chaude, puis saponification par NaOH et précipitation par CaCl₂ en milieu acétique (Multon, 1991 ; Markh *et al.*, 1989).

• Mode opératoire (voir annexe n°1)

Expression des résultats :

La teneur en pectine P est exprimée en pourcentage de matière sèche par la formule suivante :

$$P \% = \frac{A \times 200 \cdot 0,9235}{50 \cdot a}$$

Soit :

A : poids du précipité (g);

200 : volume du filtrat (ml);

0,9235 : coefficient de transformation du pectate de calcium en pectine ;

a : poids du filtrat (g);

50 : volume du filtrat pris pour la précipitation (ml).

II.2.11. Détermination de la teneur en polyphénols

II.2.11.1 Extraction des polyphénols

Plusieurs solvants organiques peuvent être utilisés pour l'extraction des composés phénoliques (Owen et Johns, 1999). Le méthanol pur est l'un des solvants qui donne le meilleur rendement d'extraction (Ribéreau-Gayon, 1968; Diallo *et al.*, 2004). Le procédé d'extraction est réalisé comme le montre la figure V.1.

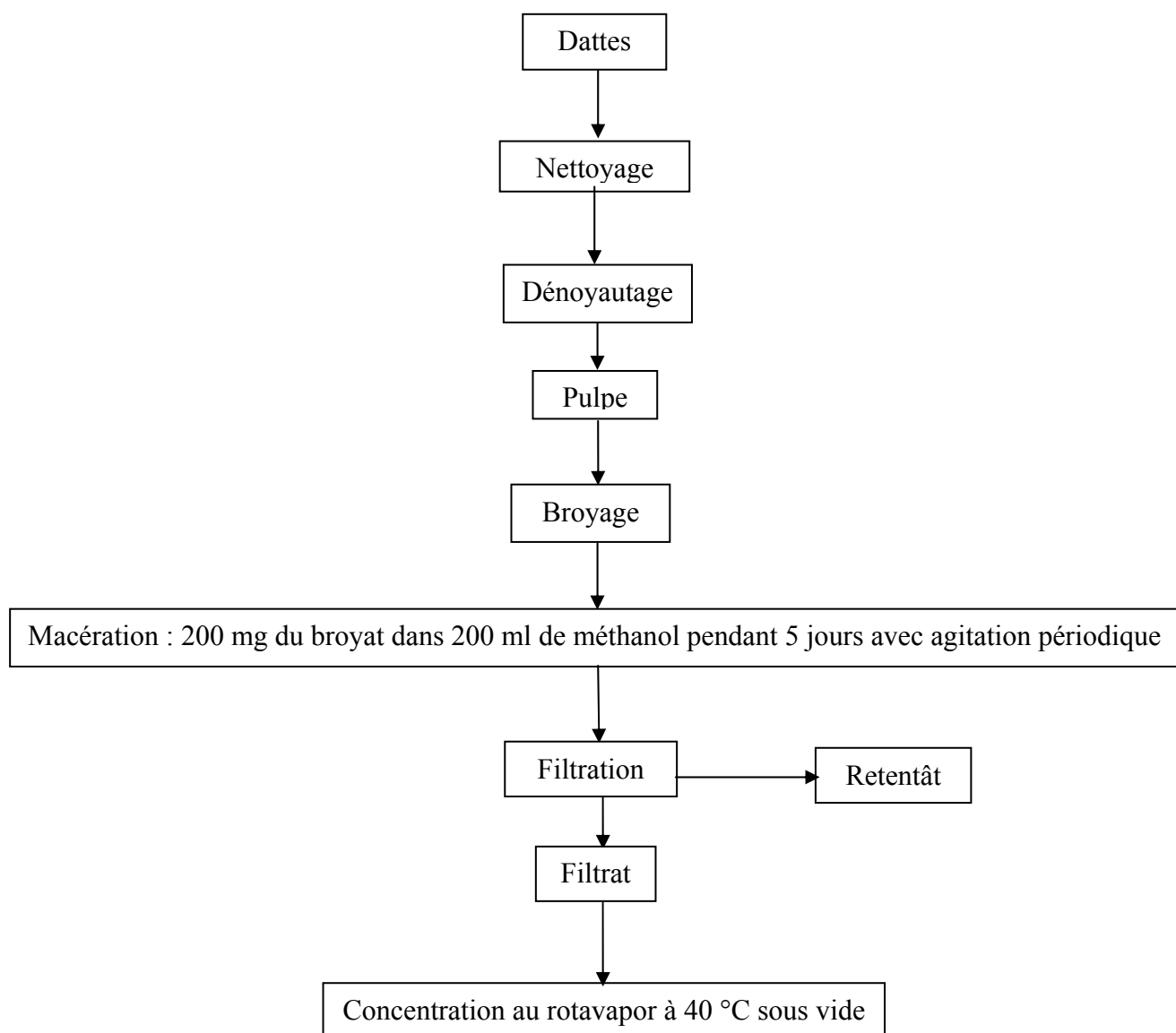


Figure V.1 : Principales étapes d'extraction des polyphénols (Owen et Johns, 1999)

II.2.11.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux

□ Principe

En présence de phénols, le mélange d'acide phosphotungstique ($H_3PW_{12}O_{40}$) et phosphomolybdique ($H_3PMo_{12}O_{40}$) est réduit en oxydes bleus de tungstène (W_8O_{23}) et de molybdène (Mo_8O_{23}), que l'on détermine par colorimétrie.

• Mode opératoire

Le dosage des polyphénols totaux est réalisé par la méthode décrite par Juntachote *et al.*, (2006).

A) Préparation de la gamme d'étalonnage (voir annexe n°1)

II.2.11.3. Détermination de la teneur en flavonoïdes

□ Principe

L'estimation de la teneur en flavonoïdes totaux contenus dans les extraits de dattes est réalisée par la méthode de Bahorun *et al.*, (1996).

Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyl (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner avec le groupement CO, un complexe coloré avec le chlorure d'aluminium (Boulekbache, 2005). Les flavonoïdes forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux (fer et aluminium). Ceci traduit le fait que le métal (Al) perd deux électrons pour s'unir à deux atomes d'oxygène de la molécule phénolique agissant comme donneur d'électrons (Ribéreau-Gayon, 1968).

II.2.12 Détermination de l'activité antioxydante par l'inhibition de l'oxydation de l'acide linoléique

□ Principe

La mesure de l'inhibition du degré d'oxydation de l'acide linoléique est l'une des méthodes les plus utilisées pour la détermination de l'activité antioxydante (Wang *et al.*, 2003).

Dans le test utilisé dans la présente étude, le taux d'oxydation est estimé par la méthode colorimétrique au thiocyanate ferrique (FTC) qui permet d'évaluer le taux des peroxydes présents dans le milieu réactionnel. Une absorbance élevée traduit une oxydation importante et par conséquent une absorbance faible signifie une activité antioxydante élevée.

➤ Expression des résultats

L'inhibition de l'oxydation des lipides par les antioxydants présents dans les extraits de dattes et par le BHA et BHT est exprimée en pourcentage selon l'équation suivante :

$$\% \text{ d'inhibition de l'oxydation de l'acide linoléique} = 100 - \left[\frac{A_{1(t=96h)}}{A_{0(t=96h)}} \right] \times 100$$

Soit :

A_0 : absorbance du témoin ;

A_1 : absorbance de l'échantillon à tester après 96 heures d'incubation à 40°C.

II.2.13 Indice de couleur

Les paramètres de couleur des poudres de dattes obtenues après séchage et des quatre yaourts après lyophilisation : a^* (vert au rouge), b^* (bleu au jaune), L^* (noir au blanc) sont mesurés en utilisant un colorimètre portable de laboratoire (type DRLANGE micro color (photo V.7)). Avant mesure, l'instrument est étalonné par des standards sous forme de plaques circulaires (noir et blanc). Les échantillons de dattes ainsi séchés sont broyés et les poudres obtenues sont étendues sur la plaque circulaire (en verre) de l'échantillon et leurs indices de couleur sont déterminés (Abbasi et Azari, 2007).

Dans un essai préliminaire, la variation de la couleur a été appréciée visuellement. Bien que la méthode puisse paraître subjective, il reste que dans le cas présent, elle nous paraît essentielle. En effet, comme l'ont souligné différents auteurs, les instruments conventionnels peuvent évaluer uniquement des surfaces réduites des échantillons et donc inappropriés pour les produits alimentaires hétérogènes (Gonzalez-Miret, 2007; Chibane et Benamara, 2008).

La détermination des grandeurs L , a et b concerne la pulpe entière fraîche et de ses deux principaux tissus constitutifs triturés et obtenus :

- Après lyophilisation des pulpes;
- A la fin du séchage ;
- Après un séchage poussé de sorte à identifier les valeurs critiques des trois paramètres de couleur et correspondant à un niveau de brunissement visible à l'œil nu.

Un modèle instructif qui est la différence de couleur totale (TCD) (total colour difference) est calculé pour évaluer l'effet de la température sur la couleur des poudres de dattes obtenues après séchage (Maskane, 2001 ; Maskane, 2006) :

$$TDC = [(L^*_0 - L^*)^2 + (a^*_0 - a^*)^2 + (b^*_0 - b^*)^2]^{1/2}$$

Avec : L^*_0 , a^*_0 , b^*_0 sont les indices de couleur des dattes fraîches lyophilisées et broyées.
 L^* , a^* , b^* sont les indices de couleur des poudres de dattes obtenues après séchage.



Photo V .7 : colorimètre de laboratoire type DRLANGE
(Photothèque LRTA)

III. Processus de séchage

Les dattes, avant séchage, sont nettoyées puis dénoyautées. La pulpe est coupée en petits morceaux cubiques dont l'arête équivaut approximativement à l'épaisseur de la chair. Les deux parties externe (pigmentée) et interne (blanche) sont ensuite séparées puis soumises au séchage séparément.

La procédure de séchage sous un vide partiel de 200 mbars et en mode discontinu est opérée à différentes températures (60, 80 et 100°C) en utilisant un séchoir de laboratoire (type Heraeus (photo V.8)) connecté à une pompe à vide. La perte d'eau est mesurée chaque 15 minutes avec une balance analytique (Explorer Pro, Ohans). Deux modèles sont fréquemment utilisés comme tel ou dans leurs formes modifiées (Sander, 2007), pour décrire la cinétique de séchage de la pulpe de datte et leurs tissus constitutifs :

- Modèle de Newton (Brooker *et al.*, 1992):

$$U = (W - W_e) / (W_o - W_e) = \exp(-kt);$$

- Modèle de Henderson et Pabis (Henderson et Pabis, 1961):

$$U = a \exp(-kt)$$

Cette dernière expression représente le premier terme de la solution en séries de la seconde loi de Fick appliqué pour une plaque infinie et pour une durée de séchage suffisamment longue (Crank, 1975):

$$U = MR = (W - W_e) / (W_o - W_e) = (8 / \pi^2) \exp(-\pi^2 Dt / (4x^2))$$

Où :

U = humidité réduite (adimensionnelle) du fruit ;

a = constante pré exponentielle ;

k = constante de vitesse (min⁻¹) ;

MR = humidité réduite;

W_o, W_e, W = humidités initiale ; d'équilibre et instantanée (au temps t) respectivement ;

D = diffusivité de l'eau (m²/s) ;

x = demi épaisseur du morceau de pulpe car nous supposons que l'élimination d'eau a lieu selon deux directions.

Cette expression est appliquée dans le cas des tissus parce que les morceaux sont considérés comme des plaques (épaisseur faible). Par contre dans le cas de la pulpe entière, l'épaisseur est importante donc les morceaux séchés sont assimilés à des sphères (Crank, 1975 ; Pala *et al.*, 1996 ; Senadeera *et al.*, 2003 ; Falade et Abbo, 2007) et donc on a appliqué l'expression suivante :

$$MR=U = (W-We) / (Wo-We) = \frac{6}{\pi^2} \exp\left(-\pi^2 \frac{Dt}{\Psi R_d^2}\right)$$

Pour calculer le coefficient de diffusivité D , on utilise la méthodologie décrite par Mohsenin, (1980), Hebbar et Rastogi, (2001) ;

$$\text{Pente} = (\pi^2 D) / (\Psi R_d^2)$$

$$\Psi = S/S_d$$

$$R_d = R/\Psi = (3V/S_d)/\Psi$$

Avec: $S = 4\pi R^2$ = surface de la sphère qui a R comme rayon et un volume égale à celui de la pulpe de date coupée en cube , en m^2 ;

$S_d = 6e^2$ surface d'un morceau de datte coupé en cube avec une épaisseur e et un volume V , m^2 .

Il facile donc de démontrer dans le cas des cubes que : le facteur de forme $\Psi = \pi/6$; $R = e/2$ et $R_d = 3e/\pi$.

En utilisant Microsoft Office Excel 2003, il est possible de calculer le coefficient de diffusion D à partir de la pente de la droite $\ln(MR) = f(t)$:

$$\text{Pente} = -K = -(\pi^2 D)/(4x^2) , \text{ cas des tissus (forme plaque)}$$

$$\text{Pente} = 2 \pi^3 D / 3e^2, \text{ cas de la pulpe entière (forme sphérique)}$$

L'arrêt du processus de séchage a lieu lorsque l'abaissement du poids de l'échantillon devient insignifiant et/ou le brunissement du fruit devient visible à l'œil nu. Il convient de noter que le brunissement non enzymatique se manifeste souvent aux dernières étapes du processus de séchage (Sebarez *et al.*, 1997) c'est-à-dire, dans notre cas, bien après que la teneur en eau souhaitée de 6 % ait été atteinte. De plus, un certain niveau de caramélisation de la poudre finale (forme à laquelle est destinée la pulpe de datte ainsi séchée) est souhaité car elle est destinée à sucrer, colorer (au caramel) et aromatiser diverses préparations alimentaires comme le yaourt, les confiseries, etc. Il convient en effet, de noter à ce sujet qu'une des anciennes méthodes de préparation de colorant (caramel) et d'arômes dans les aliments est le chauffage du sucre et des aliments riches en sucres (Kroh, 1994).

La variation de la diffusion de l'humidité en fonction de la température est décrite par la relation d' Arrhenius (Ozdemir et Devres, 1999 ; Babalis et Belessiotis, 2004)

$$D = D_0 \exp (-E_a / (RT))$$

Avec: D_0 est le facteur de pré exponentiel (m^2/s), E_a est l'énergie d'activation (KJ/mol), T est la température de séchage et R est la constante des gaz parfaits ($\approx 8,3$ kJ/mol K).



Photo V.8: Séchoir de laboratoire type Heraeus
(Photothèque LRTA)

IV. Fabrication et caractérisation physico-chimique des yaourts

IV.1 Fabrication des yaourts

La préparation des yaourts est réalisée à l'échelle de laboratoire en respectant le diagramme de fabrication d'un yaourt standard avec une modification portant sur la substitution du sucre blanc par la poudre de dattes (figure V.4). L'ajout de celle-ci a lieu avant traitement thermique. La recette adaptée est celle déterminée au cours d'un travail qui rentre dans notre projet de recherche et breveté en 2004. Cette dernière donc est présentée avec le yaourt nature dans le tableau V.3 :

Tableau V.3 : Recette d'un yaourt nature et d'un yaourt aux poudres de dattes (pour 100g)

Recette	Poudre de lait (g)	Sucre (g)	Poudre de dattes (g)	Eau (ml)	Ferment lactique (%)
Yaourt nature	13.7	0	0	100	0.03
Yaourt aux poudres de dattes	13.7	0	12.5	100	0.03

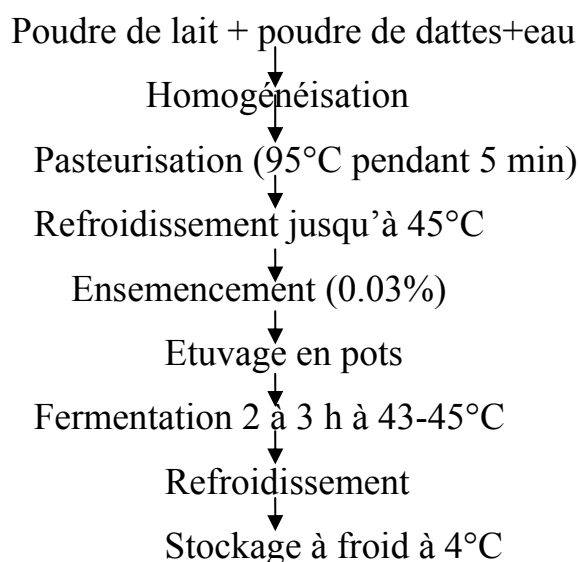


Figure V.4 : Diagramme de fabrication d'un yaourt aux poudres de dattes.

IV.2 Caractérisation physico-chimique des yaourts

Mêmes protocoles utilisés dans la caractérisation physico-chimiques des dattes sont adoptés pour déterminer : la teneur en eau ; le pH ; l'acidité titrable ; la teneur en protéines ; la teneur en matières grasses ; la conductivité électrique et les teneurs en éléments minéraux

IV.2.1 Synérèse

Les échantillons de yaourts préparés sont placés dans des béchers de 100ml et stockés à 4 °C. Le volume de sérum séparé à la surface d'un yaourt est déterminé après 15 jours de stockage (Koksoy et Kilic, 2004).

IV.2.2 Densité

Une série de densimètres sont utilisés pour déterminer les densités de nos quatre yaourts. L'échantillon de yaourt élaboré est placé dans un cylindre gradué de 100ml, les différents densimètres sont plongés successivement dans l'échantillon. Le densimètre qui flotte sans toucher le fond et les parois donne la valeur de la densité.

IV.2.3. L'indice de couleur

Même protocole utilisé pour déterminer l'indice de couleur des poudres de dattes.

IV.2.4 L'analyse de la texture et de l'aspect rhéologique

IV.2.4.1 L'analyse de la texture

La texture est mesurée sur le produit fini, 24 heures après formulation (Luquet et Carrieu, 2005). Elle est réalisée par pénétrométrie (surtout dans le cas des yaourts fermes).

Les tests sont réalisés avec un analyseur de texture TA plus (Photo V .9) (LLYOD Instruments). Le mobile utilisé est de forme cylindrique avec une base plate de 12.7 mm de diamètre, se déplaçant avec une vitesse de 1 mm/s (Fizman *et al*, 1999).

La prise en masse lors de la fermentation du yaourt formulé entraîne la formation d'un gel dont la résistance est mesurée à partir de déplacement de ce mobile lequel pénètre dans le pot de yaourt sans l'agiter à différentes distances (de 1mm jusqu'à 25mm).

Les paramètres suivants sont mesurés :

- La force du gel ou de rupture, qui permet d'évaluer la consistance du gel (fermeté du gel) ;
- La distance de rupture indiquant la rigidité du gel ;
- La force à une distance de pénétration donnée (15 mm en général) (Luquet et Carrieu, 2005);

- L'inclinaison de la courbe de pénétration définie comme un indice (ou module) de rigidité du gel (Fizman *et al*, 1999).

L'analyse de pénétration est répétée trois fois pour chaque distance et pour chaque yaourt.



Photo V .9 : Texturomètre de TA plus instruments

IV.2.4.2 L'analyse rhéologique.

La rhéologie couvre un domaine d'investigation très large, puisqu'elle traite de l'écoulement des matériaux et de leur déformation sous l'action de contraintes.

Les tests de rhéologie ont été réalisés à l'aide d'un rhéomètre rotatif à contrainte imposée (AR2000 TA instrument) (Photo V.10). Il est équipé d'un module à cylindres coaxiaux (standard-size DIN) avec un rotor cylindrique : hauteur du cylindre d'immersion (42mm), diamètre du cylindre externe (14 mm), diamètre du cylindre interne (15 mm) (figure V.4).

Le yaourt étant un fluide viscoélastique rhéofluidifiant, toute manipulation énergétique modifie ses propriétés rhéologiques. Un protocole fixé, établi lors de précédents travaux sur le yaourt (Koskoy et Kilic, 2004), a été appliqué pour la préparation des échantillons. Les yaourts sont stockés avant l'analyse dans un réfrigérateur à 4 °C pendant 8 jours (Cayot *et al.*, 2003) .

Afin d'homogénéiser le contenu et d'éliminer la présence éventuelle de sérum à la surface, chaque pot de yaourt a été délicatement mélangé trois fois de bas en haut à l'aide d'une petite cuillère, tout en tournant le pot de gauche à droite. La température des échantillons est ajustée à 10°C et maintenue constante tout au long de l'analyse. L'échantillon de yaourt (10 ml) est placé dans l'espace entre le cylindre interne et le cylindre externe. Les échantillons sont restés dans le système pendant 10 à 15 min jusqu'à ce que la température se stabilise (10°C).

Les mesures rhéologiques sont effectuées par balayage en contrainte et sous régime harmonique. Une rampe de contraintes de cisaillement comprises entre 0.1 Pa et 100Pa, avec une fréquence de 1 Hz a été exercée. La distribution des contraintes était logarithmique, avec un pas de $10^{0.6}$ Pa (50 points). Un test à vitesse de cisaillement contrôlée a été également effectué afin de déterminer les courbes et le type d'écoulement des quatre yaourts. La vitesse a été variée linéairement de 0 à 300 s^{-1} pendant 5 min (courbe croissante), puis dans le sens inverse de 300 jusqu'à 0 s^{-1} (courbe décroissante) pendant 5 min. Les résultats de la contrainte de cisaillement et de viscosité sont mesurés toutes les 6s. La viscosité dans la courbe d'écoulement correspondant à la vitesse de cisaillement de 50 s^{-1} est prise comme viscosité apparente du yaourt. Cette valeur est prise comme étant la viscosité dans la bouche : la valeur de la vitesse de cisaillement en bouche est d'environ 50 s^{-1} (Bourne, 2002). Un balayage en fréquence a été également exercé de 0,1 à 10 Hz

A partir des tests effectués (test d'écoulement, test dynamique), les paramètres suivants sont retenus pour caractériser le comportement rhéologique des yaourts :

- La viscosité apparente ;
- Le module de conservation ou module élastique G' ;
- Le module de perte ou module visqueux G'' ;
- L'angle Delta δ , (égale au ratio de G'' et G') ;
- K , indice de consistance (Pa.s^n) ; n , indice d'écoulement (sans unité) ; τ , seuil d'écoulement (Pa) (paramètres du modèle d' Herschel Bulkley).

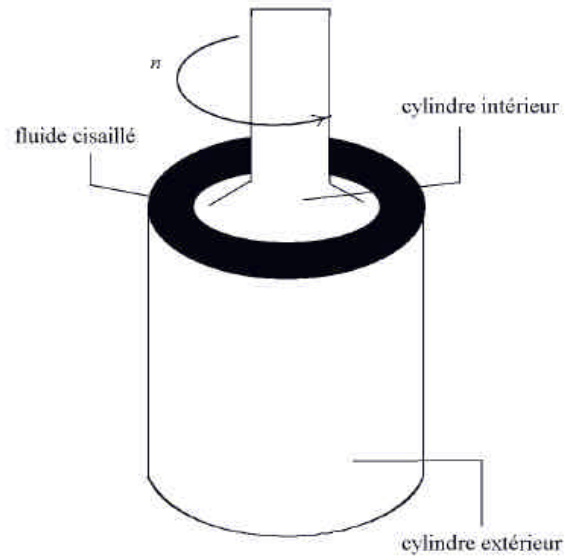


Figure V.5 : Schéma des cylindres coaxiaux d'un rhéomètre (Baudez, 2001).



Photo V .10 : Rhéomètre AR 2000.

IV.2.5. L'analyse sensorielle (Test de dégustation)

IV.2.5.1. Règles générales de la conduite de la dégustation

- Le nombre de dégustation est de 4 à 7
- Chaque étape de dégustation prend une minute
- L'analyse s'effectue à une température ambiante.
- Les bocalux utilisés sont sombres.

IV.2.5.2. Traitement statistique des résultats

Dans l'analyse organoleptique, on utilise des échelles métriques et des rangs.

a) L'échelle métrique

Les échelles de notes métriques ont des divisions de 5 à 10 (critère de diapason de variation de qualité, il facilite la mémorisation des échantillons). C'est l'échelle de cinq points qui est utilisée :

- 1 point: le produit non standard, impropre à la consommation.
- 2 points: le produit de qualité insatisfaisante mais d'utilisation possible
- 3 points : le produit de qualité satisfaisante
- 4 points : le produit de bonne qualité
- 5 points : le produit de qualité excellente.

b) L'échelle de rang

Les échelles de rang, permettent seulement d'ordonner des objets à analyser, le chiffre de cette échelle correspond non pas au niveau de qualité mais au numéro que l'objet occupe dans la série mise en ordre : les points sont par conséquent transformés en rangs en leur attribuant des numéro d'ordre.

c) Transformation des notes en rangs

Première étape : trouver la somme des rangs horizontalement et verticalement.

Deuxième étape : trouver la somme des sommes des rangs.

Troisième étape : comparer la somme des rangs avec les valeurs critiques (annexe n° 4).

- Si la somme obtenue pour l'échantillon est en dehors des limites des valeurs critiques [a, b], la qualité de l'échantillon est reconnue différente de la qualité des autres échantillons.
- Si la somme est inférieure à la limite [a, l'échantillon est reconnu comme le meilleur.
- Si la somme est supérieure à la limite b], l'échantillon est rejeté.

Les sommes des rangs peuvent être vérifiées comme suit :

$$R = n(n+1)/2$$

$$\sum R = M.n(n+1)/2$$

R : Somme des rangs pour chaque dégustateur.

n : nombre d'échantillon.

M : nombre de dégustateurs

$\sum R$: Somme des sommes des rangs.

IV.2.6 L'analyse microbiologique

Les analyses microbiologiques ont pour but d'assurer que le yaourt préparé présente une qualité hygiénique et commerciale supérieure. Le tableau V.4 Résume l'ensemble de germes recherchés et dénombrés (Guirand, 1998).

Tableau V.4 : Analyses microbiologiques

Germes recherchés	Milieux utilisés	T°C d'incubation	Durée d'incubation
Coliformes totaux	BCPL	37°C	24h
Coliformes fécaux	Schubert	44°C	24h
<i>Staphylococcus aureus</i>	Chapman	37°C	24/48h
Salmonelles	BLMT+SFB+ Hecktoen	37°C	72h
Levures et moisissures	Sabouraud	20°C	3 à5 jours
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	MRS	37°C	72h
<i>Streptococcus thermophilus</i>	M17	37°C	24h

Chapitre VI

Résultats et discussion

I. Caractéristiques physiques de la datte entière et de la pulpe des trois variétés de dattes étudiées.

Les caractéristiques physiques des dattes étudiées sont données dans le tableau VI.1.

Tableau VI.1: Caractéristiques physiques des trois variétés de datte étudiées.

Parametres	Valeurs moyennes \pm Ecart-type		
	Mech-Degla	Degla-Beïda	Frezza
Poids de la datte entière (g)	6,16 \pm 0,89	6,06 \pm 0,85	7,10 \pm 0,76
Poids de la pulpe (g)	5,10 \pm 0,81	5,35 \pm 0,775	5,62 \pm 0,77
Poids du noyau (g)	1,06 \pm 0,10 g	1,48 \pm 0,19	0,7 \pm 0,06
Longueur de la datte (cm)	3,59 \pm 0,197	4,11 \pm 0,19	3,51 \pm 0,201
Largeur de la datte (cm)	1,90 \pm 0,258	1,96 \pm 0,26	1,75 \pm 0,13
Longueur du noyau (cm)	2,49 \pm 0,12	2,6 \pm 0,15	2,16 \pm 0,13
Largeur du noyau (cm)	0,81 \pm 0,018	0,92 \pm 0,19	0,74 \pm 0,063
Ratio Longueur/Largeur	1,88	2,10	2,00
Rapport noyau/datte (%)	17,21	20,84	11,55
Rapport pulpe/datte (%)	82,77	79,15	88,28
Ratio pulpe/noyau	4,8	3,8	7,6

D'après les résultats donnés dans le tableau VI.1, le poids moyen de la datte entière pour les trois variétés de dattes varie entre 6 et 7 g, tandis que celui de la pulpe entre 5 et 6g ; la longueur et la largeur moyenne varient respectivement entre 1 - 2 et 3 - 4 g.

Les poids de la datte entière et de la pulpe sont élevés pour la variété Frezza ; le poids le plus faible est constaté dans le cas de Degla-Beïda. La valeur maximale de la longueur, concerne Degla-Beïda et la plus faible valeur revient aux dattes de la variété Frezza. La largeur des dattes

du cultivar Degla-Beïda est élevée par rapport aux deux autres variétés. Le poids, la largeur et la longueur du noyau de la Degla-Beïda sont nettement supérieurs à ceux des cultivars étudiés.

Le calcul des ratios pulpe/noyau, longueur/largeur a été effectué. Le rapport pulpe/noyau le plus élevé revient au cultivar Frezza et le plus faible à Degla-Beïda. Pour ce qui est du ratio longueur/largeur, la valeur maximale appartient aux dattes de la variété Degla-Beïda et la minimale à Mech-Degla.

Les valeurs obtenues concernant le poids de la datte et de la pulpe sont différentes de celles trouvées par Acourene et Tama, (1997). Ces derniers ont signalé pour Mech-Degla un poids du fruit et de la pulpe de 4,37 g et 3,5 g respectivement. Pour Degla-Beïda par contre, ces valeurs sont de 7,13 g et 5,76 g pour la datte entière et la pulpe respectivement. Ces différences peuvent s'expliquer par l'instabilité de la teneur en eau et donc de sa structure notamment les conditions dans lesquelles sont réalisées les mesures.

Selon Meligi *et Saurial*, (1982) ; Mohammed *et al.*, (1983) ; Acourene *et al.*, (2001), une datte est dite de qualité physique acceptable quand:

- Le poids de la datte entière est supérieur ou égal à 6 g ;
- Le poids de la datte (pulpe) est supérieur ou égal à 5 g ;
- La longueur est supérieure ou égale à 3,5 cm ;
- Le diamètre est supérieur ou égal à 1,5 cm.

Selon ces critères, les dattes "Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza " présentent des qualités physiques acceptables.

Selon Mohammed *et al.*, (1983) et en se basant sur certains autres indices (poids du fruit, poids de la pulpe, la longueur et la largeur du fruit, le poids, la longueur et la largeur du noyau, les ratios pulpe/noyau et longueur/largeur), on peut classer nos trois variétés (tableau VI.2) dans l'une des cinq classes suivantes : (1) très petite (TP) ou très insuffisant (TI) ou très légère (TL) (2) petite (P) ou insuffisant (I) ou très légère (TL) (3) medium (M) (4) grande(G) ou longue (LON) ou lourde (LO) (5) très grande (TG) ou très longue (TLON) ou très lourde (TLO) .

Tableau VI.2 : Le classement des trois variétés étudiées selon les paramètres physiques.

Variété/paramètre	PMD	PMP	PMN	P/N	Longueur	Largeur	Lon/lar
Mech-Degla	TL	TL	TLO	TP	M	P	G
Degla-Beïda	L	L	TLO	TP	LON	TP	G
Frezza	L	L	L	M	M	TP	G

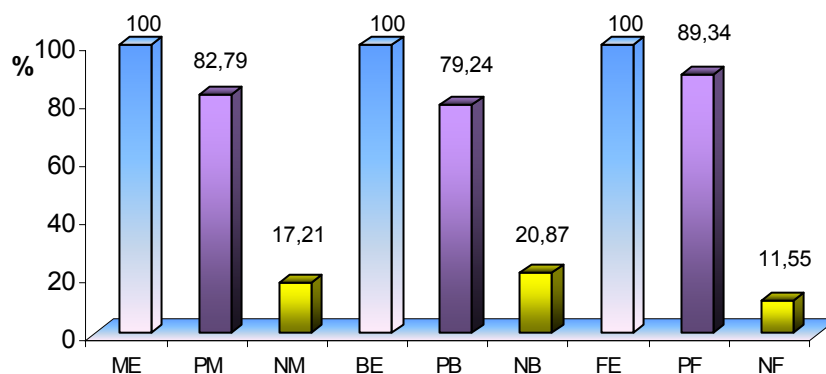
PMD : poids moyen datte entière, PMP : poids moyen pulpe, PMN : poids moyen noyau, P/N : poids pulpe sur poids noyau, LON/LAR : longueur/largeur de la datte entière.

Un autre critère de qualité des dattes selon Othman, (1995) est le rapport noyau/datte : plus il est faible, plus la qualité du fruit est élevée. Il doit être compris entre 10 et 15 %. Ce rapport se situe entre 9 et 10 % pour la variété Deglet-Nour (Dowson et Aten, 1963). Par conséquent, la variété Frezza est plus intéressante de ce point de vue.

La détermination d'un autre rapport inversement corrélé au rapport cité précédemment permet également de caractériser les dattes. Il s'agit du rapport pulpe/ datte. Etant donné que la meilleure datte est celle dont ce rapport est plus élevé, la variété Frezza semble la meilleure suivie de Mech-Degla. Le rapport pulpe/datte de la variété Frezza se rapproche de celui des variétés Algériennes Ghars (90,1), Tanslit (90,86) (Siboukeur,1997) et de celui de la variété Saoudienne célèbre « Khudari » qui est égal à 93,1 (Sawaya *et al.*,1983).

Selon Hussein, (1970), mis à part la variabilité génétique, le poids frais de la datte ainsi que sa taille augmenteraient avec l'apport de la fertilisation azotée.

La figure VI.1 illustre les pourcentages (en poids) de la pulpe et du noyau dans la datte entière pour chaque variété étudiée.



La figure VI.1 : Les pourcentages de la pulpe et du noyau dans la datte entière pour chaque variété étudiée

ME : Mech-Degla datte entière, PM : Pulpe de Mech-Degla,

NM: Noyau de Mech-Degla; BE :Degla-Beïda datte entière,PB :Pulpe de Degla-Beïda ,NB : Noyau de Degla-Beïda ;FE :Frezza datte entière,PF : Pulpe de Frezza ,NF: Noyau de Frezza .

II. Caractéristiques physiques de la datte et de ses deux principaux tissus constitutifs des trois variétés étudiées.

C'est l'étude préliminaire du fruit de ces variétés qui nous a incité à distinguer ces deux tissus. En effet, l'analyse de l'aptitude au séchage de la variété Mech-Degla dans la perspective de sa transformation en poudre alimentaire donne des résultats intéressants : sa teneur en eau est ramenée à environ 5 % de la masse sèche sans caramélisation apparente alors que l'aspect naturel de la couche externe du fruit (allant du jaune pale au brun foncé) la prédispose au brunissement. Une observation visuelle d'une coupe du fruit révèle qu'en fait, et contrairement à la description habituelle, l'endocarpe ne constitue pas une couche fine blanche mais une masse charnue d'épaisseur équivalente au mésocarpe coloré proprement dit.

II.1 Le poids

Le tableau VI.3 donne le poids moyen frais de la pulpe et de ces deux tissus constitutifs pour chaque variété de dattes sèches étudiées (Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza) alors que l'histogramme de la figure VI.2 nous renseigne sur les proportions relatives (par rapport au poids total de la pulpe) de chacun des deux tissus constitutifs.

Dans la suite de l'étude le tissu coloré est désigné par « tissu pigmentée » et le tissu blanc par « le tissu blanc »

Tableau VI.3 : poids moyen frais de la pulpe et de leurs deux tissus constitutifs pour chaque variété de dattes en (g)

Paramètres Variétés	Poids de la pulpe	Poids du tissu pigmenté	Poids du tissu blanc
Mech-Degla	5,10±0,81	2,15±0,33	2,95±0,54
Frezza	5,86±0,97	3,68±0,76	2,16±0,78
Degla-Beïda	5,64±1,13	3,075±0,41	2,31±0,99

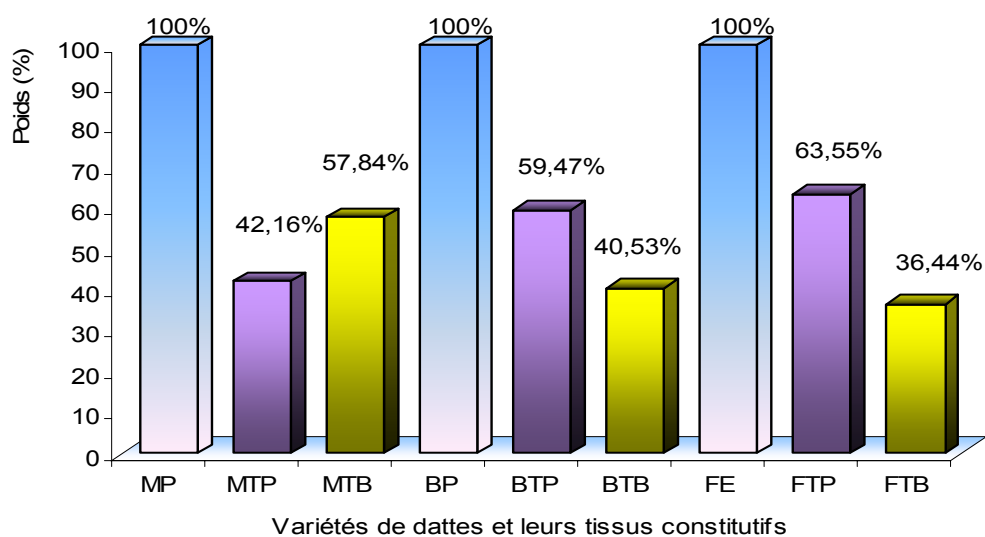


Figure VI.2: Proportion de deux tissus dans la pulpe de chaque variété de dattes étudiée

MP : Mech-Degla pulpe, MTP : Mech-Degla tissu pigmenté, MTB: Mech-Degla tissu blanc , BP :Degla-Beïda pulpe , BTP : Degla-Beïda tissu pigmenté, BTB : Degla-Beïda tissu blanc, FP :Frezza pulpe, FTP : Frezza tissu pigmenté,FTB : Frezza tissu blanc.

II.2 L'épaisseur

Le tableau VI.4 présente les épaisseurs moyennes des deux tissus de la pulpe des dattes étudiées.

Tableau VI.4 : Epaisseur moyenne des deux principaux tissus constitutifs de la pulpe pour les trois variétés de dattes, en mm

Type de tissu \ Variétés	Tissu pigmenté	Tissu blanc
Mech-Degla	1,03±0,28	1.91±0.39
Degla-Beïda	1,34±0,25	2.22±0.81
Frezza	1,5±0,25	2,17±0,40

D'après les valeurs obtenues, on voit clairement que pour toutes les variétés étudiées, l'épaisseur de tissu blanc est plus importante que celui du brun.

Dans tous les processus où interviennent les transferts de chaleur et de matière, l'épaisseur joue un rôle important.

III.3 La masse volumique

Les masses volumiques moyennes des deux principaux tissus constitutifs de la pulpe, en g/cm³ des trois variétés sont enregistrées dans le tableau VI.5.

Tableau VI.5 : Masse volumique moyenne des deux principaux tissus constitutifs de la pulpe, en g/cm³

Masse volumique Variétés	Tissu brun g/cm³	Tissu blanc g/cm³
Mech-Degla	1,36±0,39	1,23±0,17
Degla-Beïda	1,43±0,25	1,02±0,27
Frezza	1,32±0,15	1,07±0,17

Il ressort du tableau VI.5, que la masse volumique du tissu brun est plus importante que celle du blanc pour les trois variétés de dattes étudiées.

Comme application technologique, cette propriété peut être exploitée pour éventuellement séparer la poudre de datte, obtenue après séchage, en deux types de produit finis (poudre plus ou moins caramélisée et poudre blanche).

III. Composition physico-chimiques de la pulpe et de ses deux principaux tissus constitutifs des trois variétés étudiées

III.1 La teneur en eau

Les teneurs en eau, en % par rapport à la matière fraîche, pour les trois variétés de dattes (pulpe entière et ses deux tissus constitutifs pigmenté et blanc) sont données dans le tableau VI.6 :

Tableau VI.6 : Teneur en eau des trois cultivars Mech-Degla, Degla-Beïda et Fezza (pulpe entière et ses deux tissus constitutifs pigmenté et blanc), en % de la matière fraîche.

Variétés de dattes	Teneur en eau (%)
MP	14,77±1,15
MTP	14,81 ± 0,79
MTB	14,28 ± 0,10
BP	13,03±1,48
BTP	14,10±1,09
BPB	12,81±1,28
FP	14,80±1,78
FTP	13,29±1,85
FTB	15,65±1,39

D'après ces résultats, les dattes étudiées sont des variétés sèches car elles présentent des teneurs en eau $\ll 26\%$ (Anonyme, 2002). La teneur la plus élevée concerne les dattes de la variété Frezza (14,80), la faible valeur est celle de la variété Degla-Beïda. Nos résultats concordent aussi bien avec ceux de Acourene et Tama, (1997) qui ont trouvé pour Degla-Beïda : 14,75 %, Mech-Degla, 15 %, que ceux de Al-Hooti *et al.*, (1997) ayant travaillé sur les variétés égyptiennes et qui ont donné les résultats suivants : 16,3, 12,8, 12,8 et 12,6 % pour Bushibal, Habash, Lulu et Shahlatoutes respectivement. Toutefois nos résultats se rapprochent encore beaucoup plus de ceux obtenus par Booij *et al.*, (1992) qui ont signalé une teneur en eau de 17 % pour la variété sèche Thoory. Aït-ameur, (2001) par contre, a trouvé 15 % pour Mech-Degla.

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 de longues périodes de stockage à la température ambiante. La datte est caractérisée par une teneur en eau $<40\%$. Dans cette zone d'humidité, précisent les même auteurs, les activités de l'eau (a_w) $<0,9$ sont susceptibles d'inhiber la croissance microbienne. Dans le même ordre d'idée, Cheftelet Cheftel, (1977) estime que le concept activité de l'eau (a_w) est essentiel pour la stabilité des aliments notamment sur le plan microbiologique. Il convient toutefois de relever une grande variabilité de la teneur en eau du fruit de dattes à tel point qu'on rencontre des variétés avec des teneurs en eau dépassant 60 % (variétés nigériennes) nécessitant un traitement de stabilisation par séchage (Falade et Abbo, 2007).

Pour ce qui est de la variation de la teneur en eau dans les deux parties comestibles (telles que définies précédemment) de la chair des dattes des trois variétés étudiées, la figure VI.3 montre que le tissu pigmenté est plus humide que le tissu blanc (partie blanche) pour chacun des

cultivars. La teneur en eau du tissu brun pour la variété Mech-Degla est de 14,81 %, alors que celle du tissu blanc est de 14,28 % du poids frais. Une légère différence de l'ordre de 0,53% est observée entre les deux tissus.

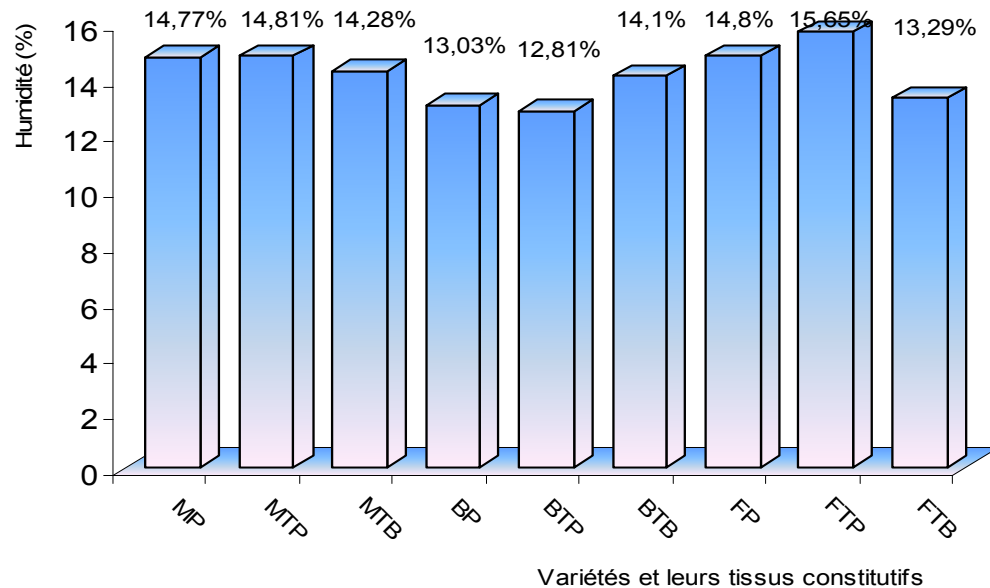


Figure VI.3 : Teneur en eau de la pulpe entière et de ses deux tissus principaux tissus constitutifs (pigmenté et blanc). Cas des variétés Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza.

MP : Mech-Degla pulpe, MTP : Mech-Degla tissu pigmenté,
 MTB: Mech-Degla tissu blanc ; BP :Degla-Beïda pulpe ,BTP : Degla-Beïda tissu pigmenté,
 BTB : Degla-Beïda tissu blanc;FP :Frezza pulpe ,FTP : Frezza tissu pigmenté, FTB : Frezza tissu blanc.

De la même façon et selon toujours la figure VI.3 , nous constatons que les humidités des tissus bruns respectivement des dattes de la Degla-Beïda et Frezza sont légèrement élevées par rapport à celles du tissu blanc de la variété Degla-Beïda et le cultivar Frezza. Cette variation dans la teneur en eau du tissu brun et le blanc peut s'expliquer par la migration de l'eau du tissu blanc vers le brun tout au long du processus de maturation et d'entreposage (sous l'effet surtout de la chaleur et l'humidité relative des aires de stockage). Il convient d'autre part de prendre en considération l'affinité de l'eau envers certains composants biochimiques hydrophiles dont le tissu pigmenté peut s'en avérer plus riche.

III.2. Le pH

La valeur moyenne du pH des trois cultivars et de leurs deux principaux tissus sont résumés dans le tableau VI.7 :

Tableau VII.7 : pH des trois cultivars Mech-Degla, Degla-Beïda et Fezza et de leurs tissus (brun et blanc)

Variétés de dattes	pH
MP	5,72±1,15
MTP	5,9 ± 0,79
MTB	5,86 ± 0,10
BP	5,05±0,013
BTP	5,41±0,01
BTB	5,23±0,007
FP	5,06±0,005
FTP	5,21±0,03
FTB	4,96±0,06

Le pH est un autre paramètre déterminant l'aptitude à la conservation des aliments. Il constitue l'un des principaux obstacles que la flore microbienne doit franchir pour assurer sa prolifération (Giddey, 1982 ; Gatel, 1982; Brissonet *et al.*, 1994). Ainsi, un pH de l'ordre de 3 à 6 est très favorable au développement des levures et moisissures.

Les bactéries par contre, préfèrent des milieux neutres, en général des pH entre 7 et 7,5 avec pour la plupart des tolérances à des variations entre 6 et 9. Il en ressort que, d'une manière générale, le pH des trois variétés de dattes étudiées est légèrement acide et variable entre 5 et 6.

On note que le pH de Degla-Beïda et Frezza sont pratiquement identiques. Par contre, la Mech-Degla a un pH nettement supérieur (5,72). Cette valeur est légèrement inférieure à celle donnée par Boutaïda, (2004) qui est de 6 pour la même variété.

Dans la littérature, Acourene et Tama, (1997) ont trouvé que le pH du cultivar Mech-Degla est de 5,9 et celui de Degla-Beïda est de 5,3.

Ces valeurs sont comparables aux nôtres. Comparant les pH de nos variétés à ceux de quelques variétés irakiennes et égyptiennes, nous pouvons conclure que nos résultats se rapprochent de ceux cités par Youssif *et al.*, (1982) et Khalil *et al.*, (2002) . Les mêmes résultats sont donnés par Al-Hooti *et al.*, (1997) pour les variétés Lulu (6,5), Shahla (6,2) et Bushibul (5,4).

Les études effectuées par Jassim et *al.*, (2005) ont donné aussi des valeurs qui sont en accord avec les nôtres : 5,68 (variété Khalas), 5,72 (Bunaam) et 5,76 (variété Lulu).

Pour le pH des deux tissus brun et blanc, nous constatons selon le tableau VI.7 une légère variation. Globalement, les tissus blancs des trois variétés analysées sont plus acides que les tissus bruns.

Il ressort du tableau ci-dessous, que le pH du tissu blanc de la variété Frezza et celui de la Degla-Beïda sont nettement inférieurs à celui de cultivar Mech-Degla : il est de 4,96, 5,23 et 5,86 respectivement pour le tissu blanc de Frezza, Degla-Beïda et Mech-Degla.

Précisons que le pH des trois variétés de dattes étudiées est compris entre 5 et 6. Cet intervalle est favorable pour la conservation de certaines vitamines du groupe B telles que : B₁, B₂, B₅, B₉ et B₁₂ (Bourgeois, 2003).

III.3 La teneur en cendres

Les valeurs moyennes des teneurs en cendres des trois cultivars et de leurs deux principaux tissus sont données dans le tableau VI.8 :

Tableau VI.8 : Teneurs en cendres des trois cultivars Mech-Degla, Degla-Beïda et Fezza et de leurs tissus (pigmentée et blanc) en % de la pulpe fraîche.

Variétés de dattes	Teneurs en cendres %
MP	2,00±0,12
MTP	1,56±0,33
MTB	1,93± 0,05
BP	1,99±0,025
BTP	2,11±0,09
BTB	2,28±0,018
FP	2,13±0,003
FTP	2,29±0,017
FTB	2,10±0,015

Le taux de cendres représente la quantité totale en sels minéraux présents dans le fruit. Nous constatons selon le tableau VI.8 que le cultivar Frezza est plus riche en sels minéraux (2,13) comparativement aux cultivars Degla-Beïda et Mech-Degla avec des teneurs de 1,99 et 2 % respectivement.

De nombreux auteurs dont Fethi et El-Kohtani, (1979) ; Lambiote (1983); Favier *et al.*, (1993) affirment que la datte renferme des teneurs en cendres de l'ordre de 2%. Khatab *et al.*, (1983), ayant travaillé sur des variétés Soudanaises, ont trouvé des teneurs égales à 2.84 %.

Les variétés Saoudiennes et Irakiennes renferment selon Sawaya *et al.*, (1983) des teneurs en cendres plus élevées, comprises entre 2 et 4 %. Youssif *et al.*, (1982) ont trouvé des valeurs comprises entre 1,8 et 2,12 % pour les variétés Irakiennes (Hallawi :1,92 %, Sayer : 1,8 %, Khadrawi : 2,12 % et Zahdi : 1,86 %).

Acourene *et al.*, (2001) ont rapporté des valeurs de 1,8 et 2,9 % . AlHooti *et al.*, (1997) ont également trouvé des valeurs qui se situent entre 1,6 et 2 % pour certaines variétés Emaratiennes.

Nos résultats concernant les trois variétés de dattes analysées semblent moyennes. La variation de taux de cendres entre les tissus est nettement visible. Concernant le tissu blanc, ce taux est de 1,93, 2,28 et 2,1 % pour Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza respectivement. Pour le tissu brun par contre, il est de 1,59, 2,11 et 2,29 %.

Il est à signaler que dans les dattes du cultivar Frezza, le taux de cendres est élevé dans la partie brune (2,29 %). Dans les autres cultivars en revanche, la partie blanche est plus riche en cendres.

III.4 La conductivité électrique

La Conductivité électrique exprime l'aptitude de la solution aqueuse à conduire un courant électrique. Elle est en corrélation positive avec la teneur en sels solubles. La teneur en ces derniers dans les solutions diluées, est proportionnelle à la conductivité. Les valeurs moyennes des teneurs en sels solubles des trois cultivars sont données dans le tableau VI.9 :

Tableau VI.9 : Conductivité électrique des trois variétés

Mech-Degla, Degla-Beïda et Fezza, en $\mu\text{ss.cm}^{-1}$

Variétés de dattes	Conductivité électrique $\mu\text{ss.cm}^{-1}$
MP	2,01
MTP	1,77
MTB	1,88
BP	2,18
BTP	2,16
BTB	2,19
FP	2,5
FTP	1,97
FTB	2,51

Le tableau VI.9 montre que les dattes de la variété Frezza renferment une teneur en sels solubles supérieure à celle des deux autres variétés. Elles sont égales à 2,01, 2,18 et 2,5 $\mu\text{ss.cm}^{-1}$ respectivement pour Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza. Ce résultat est en concordance avec le taux de cendres enregistré pour les dattes de la variété Frezza car, rappelons le, la conductivité électrique évolue dans le même sens que le taux de cendres.

De la même façon, le tableau montre que le tissu blanc possède une conductivité électrique légèrement élevée que celle de tissu pigmenté pour toutes les variétés. Ceci s'expliquerait par la richesse du tissu blanc en cendres. Les valeurs trouvées pour le tissu blanc sont de 1,88, 2,19 et 2,51 $\mu\text{ss.cm}^{-1}$ respectivement pour Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza. Pour le tissu brun, les valeurs notées sont comprises entre 1,77 et 2,16 $\mu\text{ss.cm}^{-1}$.

Nos résultats sont légèrement supérieurs à ceux trouvés par Siboukeur, (1997) pour les variétés Algériennes (Ghars, Tanslit et Litim). Selon Rodier, (1997), la mesure de la conductivité électrique est influencée par le pH de la solution, la valence des ions et le degré d'ionisation.

III.5 La teneur en matière grasse

Les valeurs moyennes des teneurs en matière grasse de chaque cultivar et de chaque tissu sont illustrées dans le tableau VI.10 :

Tableau VI.10 : Teneurs en matière grasse des trois variétés Mech-Degla, Degla-Beïda et Fezza (pulpe entière et tissus brun et blanc séparément) en g/100 g de matière fraîche.

Variétés de dattes	Teneurs en matière grasse (%)
MP	0,270±0,08
MTP	0,190±0,01
MTB	0,220± 0,06
BP	0101±0,001
BTP	0,068±0,003
BTB	0,230±0,012
FP	0,099±0,001
FTP	0,067±0,002
FTB	0,232±0,003

Selon le tableau VII.10, les trois variétés de dattes sont très pauvres en matière grasse (0,09-0,27 %). Nos résultats sont en accord avec ceux trouvés par de nombreux auteurs dont Imad *et al.*, (1995) qui ont enregistré des valeurs comprises entre 0,19 et 0,2 %. Sawaya *et al.*, (1982) ont travaillé sur des variétés qui ont donné des valeurs se situant entre 0,1 et 0,3 %. Youssif *et al.*, (1982) qui ont fait des recherches sur les variétés Irakiennes, ont enregistré des teneurs en matière grasse comprises entre 0,3 et 0,5 %.

Le tableau VII.10 montre que dans les trois variétés, le tissu blanc est relativement plus riche en matières grasses dont la teneur est 0,22, 0,232 et 0,223 % respectivement pour les dattes de la variété Mech-Degla, Degla-Beïda et Fezza.

III.6. La teneur en protéines

La figure VI.4 donne le taux de protéines de chaque variété analysée (pulpe entière et ses deux tissus constitutifs) :

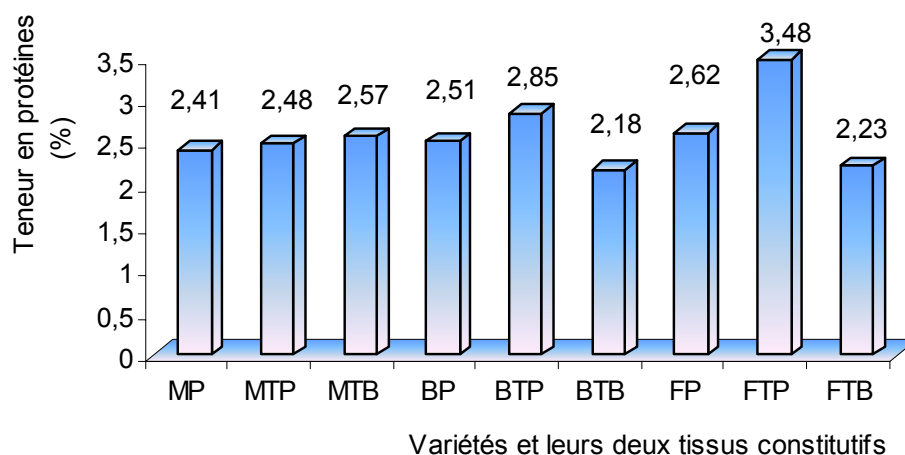


Figure VI.4 : Teneur en protéines des trois variétés (pulpe entière et ses deux tissus constitutifs) Mech-Degla, Degla-Beïda et Fezza, en % de matière fraîche.

MP : Mech-Degla pulpe, MTP : Mech-Degla tissu pigmenté, MTB: Mech-Degla tissu blanc ; BP :Degla-Beïda pulpe ,BTP : Degla-Beïda tissu pigmenté,BTB : Degla-Beïda tissu blanc;FP :Fezza pulpe ,FTP : Fezza tissu pigmenté,FTB : Fezza tissu blanc.

Il en ressort que le taux de protéines est compris entre 2,18 et 3,5 %. Selon l’histogramme, la quantité de protéines dans les dattes de la variété Fezza est plus élevée (2,62 %) par rapport aux deux autres cultivars (Mech-Degla 2,41 %, Degla-Beïda 2,51 %).

Ces résultats sont comparables aux résultats bibliographiques qui situent le taux de protéines dans la fourchette de 0,9-4% du poids frais de la datte (Nixon et Carpenter, 1978 ; Sawaya *et al.*, 1983). Nos résultats rejoignent aussi ceux de AlHooti *et al.*, (1997) qui ont trouvé des valeurs comprises entre 2-2,5 %.

Les tables de composition FAO donnent des teneurs très proches de nos résultats, oscillant entre 2,4 et 3 %. Ces teneurs bien que faibles, ne sont pas négligeables comme compléments ou suppléments protéiques. Plus encore, selon de nombreux auteurs (Booij *et al.*, 1992; Favier *et al.*, 1993 ; Reynes *et al.* 1994 ; Ahmad *et al.*, 1995), les protéines des dattes sont qualitativement bien équilibrées car leur composition correspond à celle dont l’organisme a besoin.

Concernant les tissus, le taux de protéines est élevé dans le tissu pigmenté de la variété Fezza (3,48%) par rapport à celui de Mech-Degla (2,48 %) et de Degla-Beïda (2,85%). Contrairement à Degla-Beïda et Fezza, le tissu blanc de Mech-Degla contient plus de protéines que le tissu pigmenté.

En conclusion, on peut dire que la variété Frezza est plus intéressante du point de vue teneur en protéines et que ces dernières sont inégalement réparties entre les deux principaux tissus constitutifs de la pulpe : la partie pigmentée en est plus riche dans les trois variétés étudiées.

III.7. L'acidité titrable

L'acidité titrable de chaque cultivar (pulpe et les deux tissus constitutifs) est donnée dans le tableau VI.11 :

Tableau VI.11 : L'acidité titrable des trois variétés Mech-Degla, Degla-Beïda et Fezza et de leurs tissus (gramme d'acide citrique /100 g du poids frais).

Variétés de dattes	Valeur de l'acidité titrable
MP	0,24 ± 0,05
MTP	0,21 ± 0,02
MTB	0,19 ± 0,006
BP	2,93±0,063
BTP	2,79±0,065
BTB	3,06±0,046
FP	4,39±0,02
FTP	4,66±0,09
FTB	4,38±0,068

Du tableau VI.11, on remarque que la variété Frezza est plus acide (4,39), suivie de Degla-Beïda avec une valeur de 2,93 et enfin Mech-Degla avec une teneur encore plus faible (0,24).

Selon les résultats enregistrés, le tissu brun est plus acide que le tissu blanc dans les trois variétés.

Les valeurs trouvées sont supérieures à celles données par Khalil *et al.*, (2002) : 0,18 et 0,22 % du poids sec respectivement pour les deux variétés égyptiennes Siwi et Amhat.

III.8. La teneur en pectine

Les teneurs en pectines des trois cultivars sont récapitulées dans le tableau VI.12

Tableau VI.12 : Teneur en pectine des trois variétés Mech-Degla, Degla-Beïda et Fezza (pulpe entière et ses deux principaux tissus constitutifs), en % du poids frais.

Variétés de dattes	Teneur en pectine, en % du poids frais
MP	0,15 ± 0,01
MTP	0,18 ± 0,06
MTB	0,19 ± 0,04
BP	0,154±0,003
BTP	0,185±0,005
BTB	0,281±0,005
FP	0,27±0,007
FTP	0,236±0,003
FTB	0,325±0,03

La teneur en pectine dans la variété Frezza est plus élevée que dans les deux autres cultivars. Elle est égale à 0,27, 0,154 et 0,15 % pour Frezza, Degla-Beïda et Mech-Degla respectivement. Des résultats obtenus, on remarque que les teneurs en pectine de Degla-Beïda et de Mech-Degla sont identiques. Pour ce qui est des deux principaux tissus, on constate que quel que soit la variété, le tissu blanc est plus riche en pectine que le tissu pigmenté.

Les valeurs obtenues pour l'ensemble des variétés analysées sont inférieures à celles données par Al-Hooti *et al.*, (2002) qui signalent des teneurs de 0,44 et 0,56 % du poids frais respectivement pour les deux variétés Saoudiennes : Safri et Birhi.

Espiard, (2002) signale des teneurs de 0,2 et 0,3 % respectivement pour les variétés Degla-Beïda (Algérie) et Khudari (Arabie-Saoudite). Al-Hooti *et al.*, (1997) donnent des valeurs allant de 1,3 à 1,9 % du poids sec pour les dattes Emiratiennes. Cette différence peut être due à la variété, aux conditions de culture et au degré de maturité.

Les trois cultivars étudiés ne sont pas riches en pectines comparativement aux autres espèces de fruits. Les fibres de la datte ne sont pas constituées majoritairement de pectines. Sur le plan technologique, la faible présence de pectines peut être un avantage : on ne risque pas de rencontrer des difficultés majeures dans la production des jus clarifiés et des sirops (processus de clarification). En effet, Khalil *et al.*, (2002) ont ramené le taux de pectines des dattes Siwi (3,25 %) et Ahmat (4,68 %) à 0,25 et 0,5 % respectivement dans les sirops élaborés à partir de ces mêmes variétés.

III.9. Les sucres

Les sucres sont les constituants les plus importants dans la datte. Ils sont également responsables de la douceur de l'aliment.

De nombreux auteurs, dont Munier, (1973) ; Nixon *et al.*, (1978), Sawa *et al.*, (1983) s'accordent sur le fait que les sucres des dattes varient en fonction de la variété considérée, du climat et du stade de maturation. Les résultats rapportés par différents auteurs dépendent en partie de la méthode utilisée. Néanmoins, tous s'accordent à dire que les teneurs en sucres totaux des dattes sont de l'ordre de 60 à 80%.

D'après les résultats donnés au tableau VI.13, nous remarquons que les teneurs en sucres totaux des trois variétés de dattes varient entre 63,8 et 77,3% du poids frais. La variété Frezza est plus riche en sucre, avec une teneur de 77,3% du poids frais. La variété Mech-Degla est la moins sucrée (63,8%). Nos résultats se rapprochent toutefois de ceux trouvés par Sawa *et al.*, (1983), Lambiote, (1983) et Favier, (1993) puisqu'ils sont compris entre 60 et 80%.

La teneur en sucres totaux dans le tissu blanc est plus importante que celle de tissu pigmenté. Elle est de 57,87, 57,65 et 69,64 % du poids frais pour le tissu blanc de Mech-Degla, de Frezza et de Degla-Beïda respectivement. Par contre, la teneur en sucre dans le tissu pigmenté pour Frezza, Degla-Beïda et Mech-Degla est de 50,57, 72,53 et 77,25% respectivement.

Tableau VI.13 : Teneur en sucres totaux dans la pulpe et dans ses deux principaux tissus constitutifs, en % du poids frais

Variétés	Sucres totaux
MP	63,8±0,35
MTP	57,87±0,16
MTB	77,25±0,16
BP	72,37±1,42
BTP	69,64±0,13
BTB	72,53±0,43
FP	77,3±0,36
FTP	50,57±0,24
FTB	57,65±0,18

III.10. La composition en minéraux

Les figures VI.5, VI.6, VI.7, VI.8, VI.9, VI.10 résument la composition en minéraux de chaque variété (pulpe entière et ses deux principaux tissus constitutifs) :

L'analyse des résultats illustrés sur les figures VI.5, VI.6, VI.7, VI.8, VI.9, VI.10 fait ressortir les points suivants :

III.10.1. Les macroéléments

- Le potassium

La teneur en potassium des dattes entières de la variété Mech-Degla semble plus élevée avec une valeur de 678 contre 610 et 575 mg/100 g de la partie comestible pour Degla-Beïda et Frezza respectivement.

Ces résultats se rapprochent de ceux rapportés par Fethi et El-Kohtani, (1979) ; Othman, (1995) ; Booij *et al.*, (1992) ; AlHouti *et al.*, (1997) pour d'autres variétés de dattes et qui sont respectivement comme suit : 402,8-652, 649-754, 452-664 et 648-650 mg/100 g de la partie comestible. Nos résultats restent cependant assez faibles comparés à ceux de Favier, (1993) ;

Imad *et al.*, (1995) à savoir 940 et 700-1995 mg/100 g du poids frais de la pulpe respectivement. Toutefois Reynes *et al.*, (1994) rapportent que la variété Deglet-Nour renferme 639 mg/100 g du poids frais de la pulpe de dattes. Cette valeur se rapproche de celles de Mech-Degla et Frezza.

Comparant aux figues sèches dont la teneur en K est de l'ordre de 214 mg/100 g ou d'une manière générale aux fruits dont la teneur est comprise entre 100 et 400 mg/100 g de poids frais (Tremoliere, 1977), la dattes constitue donc une bonne source de potassium comme le précise d'ailleurs Nixon et Carpenter, (1978).

Concernant les différents tissus, la teneur en K est élevée dans le tissu blanc pour Mech-Degla et Degla-Beïda. Elle est égale à 620,5 pour Mech-Degla et 567,5 mg/100 g de la pulpe pour Degla-Beïda. Cette teneur est cependant élevée dans le tissu brun de la variété Frezza (594,67 mg/100 g) comparée à celle de son tissu blanc (530,63 mg/100 g). Selon Tortora et Anagnostakos, (1987), le K est le principal cation du liquide intercellulaire, il joue un rôle dans la transmission des influx nerveux et la contraction musculaire.

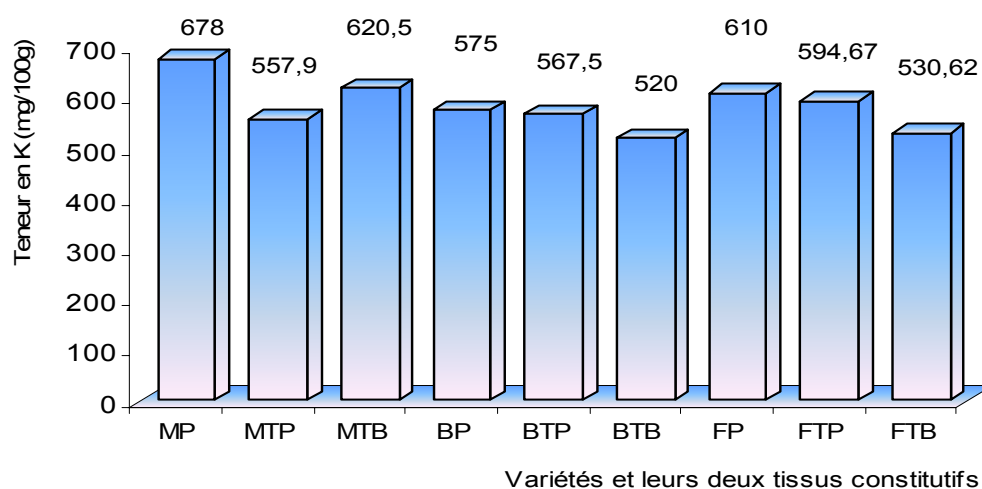


Figure VI.5 : Teneur en Potassium des trois variétés de dattes (pulpe entière et ses deux tissus constitutifs).

MP : Mech-Degla pulpe, MTP : Mech-Degla tissu pigmenté, MTB : Mech-Degla tissu blanc ; BP : Degla-Beïda pulpe, BTP : Degla-Beïda tissu pigmenté, BTB : Degla-Beïda tissu blanc ; FP : Frezza pulpe, FTP : Frezza tissu pigmenté, FTB : Frezza tissu blanc.

- Le calcium

Les teneurs en calcium des variétés Degla-Beïda et Mech-Degla sont proches. Elles sont plus élevées que celles des dattes de la variété Frezza, puisqu'elles sont égales à 286,22, 278,95 et 249,49 mg/100 g de matière sèche. Comparés aux résultats bibliographiques, les teneurs en

calcium des trois cultivars étudiés est légèrement supérieure à celles trouvées par Youssif *et al.*, (1982) qui donnent des valeurs comprises entre 133 et 207 mg / 100 g (MS).

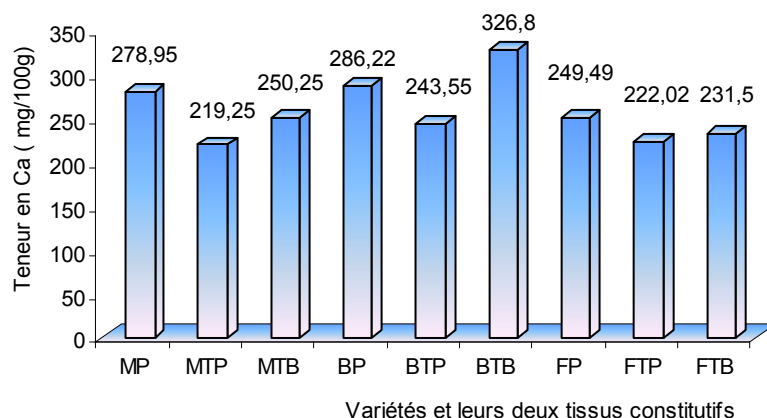


Figure VI.6 : Teneur en Calcium des trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs

Dans les dattes Irakiennes, les teneurs en Ca varient entre 55 et 84,7 mg/100 g de la partie comestible (AlFarsi *et al.*, 2005). Dans les dattes Omaniennes, AlHooti *et al.*, (1997) signalent des valeurs qui se situent entre 48,2 et 56,2 mg/100 g de matière sèche. Comparées à certaines variétés du Proche et Moyen Orient dont les teneurs en Ca sont de l'ordre de 9,5 mg/100 g de matière sèche pour la variété Lulu (Imad *et al.*, 1995) et 31,77 mg/100 g de partie comestible pour le cultivar Khudari (Sawaya *et al.*, 1983), les variétés étudiées dans notre cas semblent beaucoup plus riches en cet élément.

Comparées aux autres espèces de fruits tels que les pruneaux et les raisins secs dont les teneurs en Ca sont respectivement de l'ordre de 59 et 60 mg/100 g du poids comestible (Aardes, 1970), les dattes étudiées sont des sources très intéressantes.

D'après la figure VI.6, la teneur en Ca dans le tissu blanc de toutes les variétés étudiées est supérieure à celle de tissu brun. Elle est égale à 250,25, 326,8, 232,5 mg/100 g (MS) respectivement pour Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza respectivement. Comme l'ont signalé certains auteurs, la teneur en Ca est intimement liée à celle des anthocyanes, les sels de K donnent la couleur pourpre et les sels de Ca et de Mg la couleur bleue. De plus les acides phosphatides (sans base azotées) peuvent se trouver dans les végétaux sous forme de sels de Ca, de Mg et de K. Il en est de même de la phytine très répandue dans les végétaux et qui renferme du Ca et du Mg. La prédominance du trinôme K-Ca-Mg dans les tissus de datte est donc liée à la

complexité de celui-ci : présence de fibres, de sucres, de minéraux, de polyphénols et de la faible quantité d'eau (Siboukeur, 1997).

Selon Tortora et Anagnostakos, (1987), le Ca est le cation majoritaire du tissu osseux, il entre dans la formation des os et de dents, intervient dans la coagulation du sang et l'activité musculaire et nerveuse. Les apports journaliers conseillés sont de l'ordre de 800mg pour les adultes et 1000 à 1400 mg pour les personnes âgées. Nous pouvons conclure que la datte peut contribuer à couvrir ces besoins.

- Le sodium

La teneur en Sodium de la variété Mech-Degla est nettement supérieure à celles des deux autres variétés. Elle est de 30,1, 12,25, 15,77 mg/100 g (MS) pour Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza respectivement.

Pour les trois cultivars, la teneur en Na dans le tissu blanc est élevée par rapport à celle du tissu brun (figure VI.7). Elle est égale à 16,2, 9,25 et 14,1 mg/100 g (MS) pour la Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza respectivement. Dans le tissu brun et pour ces variétés, cette teneur est de 1,3, 1,65 et 13,95mg/100g. Nos résultats sont comparables à ceux de Sawaya *et al.*, (1982) qui ont trouvé des valeurs comprises entre 15 et 18 mg/100 g du poids comestible (variété Khudari 15,5 et Sullaj 17,4 mg/100 g). Par contre, Imad *et al.*, (1995) ont signalé des valeurs nettement supérieures aux nôtres, variant entre 50 et 287 mg/100 g (MS).

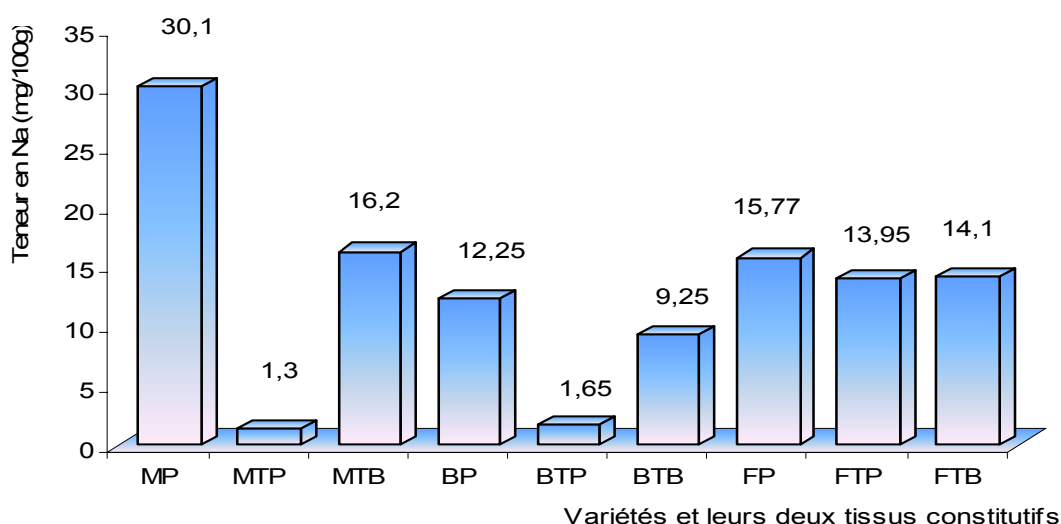


Figure VI.7 : Teneur en Sodium des trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs.

En tant que cation abondant du liquide extra cellulaire, le Na influence fortement la distribution de l'eau par osmose, fait partie du système tampon bicarbonate de Na et joue un rôle dans la distribution des influx nerveux (Jacot et Campillo, 2003 ; Tortora et Anagnostakos, 1987).

- Le magnésium

Les teneurs en magnésium des trois variétés de dattes étudiées sont moindres comparées aux résultats bibliographiques. En effet, les teneurs enregistrées sont égales à 2,28, 2,547 et 1,79 mg/100 g (MS) dans Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza respectivement. Les teneurs rapportées par Fethi *et al.*, (1979) ; Sawaya *et al.*, (1983) sont de l'ordre de 50 mg/100 g (MS). Nixon et Carpenter, (1978) jugent la teneur en Mg dans les dattes comme étant moyenne.

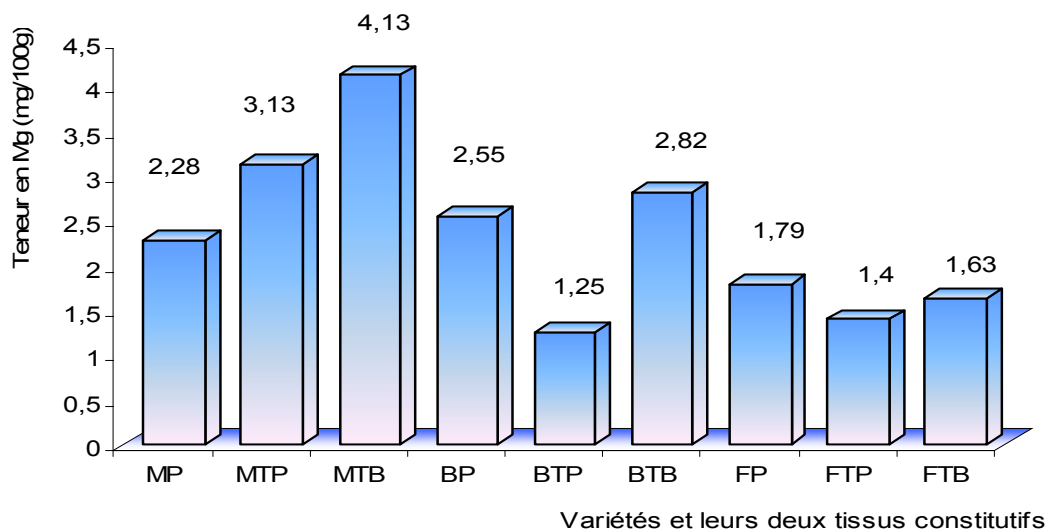


Figure VI.8 : Teneur en Magnésium des trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs.

Le Mg est indispensable à l'activation presque de toutes les enzymes de la glycolyse, à la synthèse des acides nucléiques et au déroulement des réactions d'oxydation phosphorylantes. L'apport recommandé est de 350mg/jour pour l'adulte (Dupin *et al.*, 1992).

III.10.2. Les oligoéléments

-Le fer

Les teneurs en fer des variétés Frezza et Degla-Beïda sont presque identiques, puisqu'elles sont de 2,84 et 2,74 mg/100 g (MS) respectivement.

Ces teneurs sont plus élevées que celles de Mech-Degla (0,99 mg/100 g). Toutefois nos résultats sont proches de ceux mentionnés dans la littérature.

En effet, Siboukeur, (1997) a trouvé des valeurs de 2,03, 1,3, 0,83 mg/100 g (MS) dans les variétés Algériennes Ghars, Litim et Tanslit respectivement. Selon AlHooti *et al.*, (1997) ; Imad *et al.*, (1995), les variétés Emiratiennes renferment des teneurs qui varient entre 0,3 et 2,17 mg/100 g de la partie comestible.

Comme l'illustre l'histogramme de la figure VI.9, dans le cas de Frezza et Mech-Degla, le tissu blanc contient plus de Fer par opposition à Degla-Beïda pour qui le tissu brun en est plus riche.

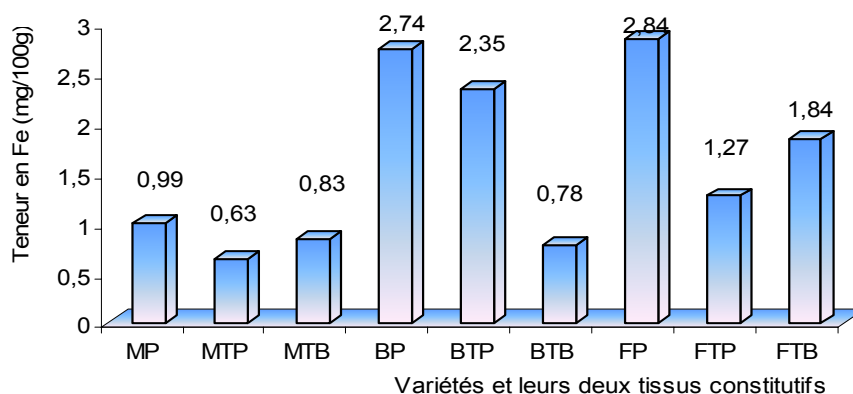


Figure VI.9 : Teneur en Fer des trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs.

Le fer a des fonctions biologiques essentielles à la vie : il entre dans la constitution de l'hémoglobine, la myoglobine du muscle et les enzymes essentielles au métabolisme cellulaire. Il joue un rôle majeur dans les échanges d'oxygène et de gaz carbonique avec le milieu extérieur (Dupin *et al.*, 1992).

Il a été déjà signalé que la datte est un fruit riche en fer (Al-Farsi *et al.*, 2005). Les apports journaliers recommandés en cet élément sont de 7 à 9 mg pour les nourrissons et 15 mg pour les adultes (Dupin *et al.*, 1992).

-Le cuivre

Les teneurs en cuivre dans les trois variétés sont presque identiques. On constate d'après la figure VI.10 que les teneurs en cuivre du tissu brun de Mech-Degla et Degla-Beïda sont identiques (0,12 mg/100 g). Il est aussi à relever pour les deux tissus constitutifs de la pulpe des trois variétés que, le tissu blanc est plus riche en cet élément. Le cuivre est en état de traces dans le tissu pigmenté de la variété Frezza.

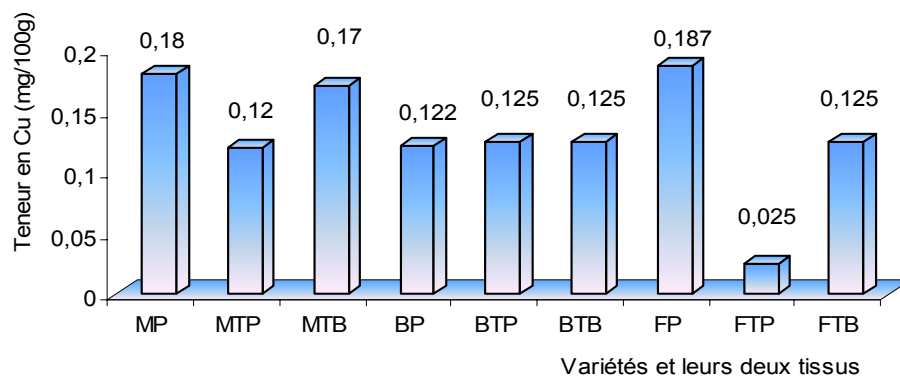


Figure VI.10 : Teneur en Cuivre des trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs.

Ces résultats se situent dans l'intervalle des résultats trouvés par Imad *et al.*, (1995) qui signalent des valeurs entre 0,1 et 0,5 mg/100 g de matière fraîche. En effet Sawaya *et al.*, (1983) donnent des valeurs de 0,5 à 0,7 mg/100 g de matière sèche.

En fait, le cuivre est un élément constitutif des polyphénols oxydases, qui oxydent en présence d'air les polyphénols (Heller *et al.*, 1990). Il s'ensuit que la teneur en cuivre dans les deux tissus de la pulpe est en corrélation positive avec la teneur en polyphénols.

Le cuivre participe à de nombreuses fonctions : antioxydant, synthèse du collagène, de l'élastine et de la myéline et joue un rôle dans l'immunité cellulaire (Jaccot et Campillo, 2003). Les besoins journaliers moyens de l'adulte sont de 2 à 5 mg (Albert, 1998).

-Le zinc

La teneur en zinc dans les trois variétés n'est pas la même, variant dans le sens décroissant suivant : Degla-Beïda (2.022 mg/100g) > Frezza > Mech-Degla.

La teneur en Zinc dans le tissu blanc des variétés Mech-Degla (1,325 mg/100g) et Frezza (1,502 mg/100 g) est plus élevée que dans leurs tissus bruns (0,77 et 1,44 mg/100 g respectivement). Pour la variété Degla-Beïda, on rencontre une distribution contraire, le tissu brun étant plus riche en Zinc.

Ces résultats sont en accord avec ceux de la littérature, Youssif *et al.*, (1980) signalant des valeurs comprises entre 0,74 et 1,82 mg/100 g de la partie comestible.

Le zinc est un composé de plus 200 coenzymes, il participe à la synthèse des protéines, à l'immunité cellulaire et humorale, à la transcription génétique et à la structure des hormones (Jaccot et Campillo, 2003). Les apports journaliers sont de l'ordre de 5 mg chez les nourrissons, 10 mg chez les enfants, 17 mg chez l'adulte et 20 à 25 mg chez la femme enceinte (Dupin *et al.*, 1992).

- Le manganèse

Le manganèse se trouve à l'état de traces dans le cas de la variété Mech-Degla (0,05 mg/10g). Les deux autres variétés par contre, se caractérisent par des teneurs plus importantes 0,345 et 0,202 mg/100 g du poids frais pour Degla- Beïda et Frezza respectivement.

Le tissu blanc de la variété Degla-Beïda est plus concentré en Mn que le brun. Celui-ci est plus riche dans le cas de Frezza.

Ces résultats paraissent proches de ceux cités par Al farsi *et al.*, (2005) qui mentionnent des valeurs entre 0,19 et 0,3 mg/100 g de matière sèche dans les dattes Omanniennes. Al Hooti *et al.*, (1997) par contre, ont donné des valeurs comprises entre 0,31 et 0,44 mg/100 g de matière sèche dans les variétés Irakiennes.

Sur le plan nutritionnel, le Mn agirait comme constituant de plusieurs systèmes enzymatiques du cycle tricarboxylique et du métabolisme de l'azote. Il active l'arginase et le phosphate alcalin. Il est stocké dans le foie et le rein (Tremolière, 1977). Les apports journaliers recommandés sont de l'ordre de 2 à 5 mg (Jaccot et Campillo, 2003).

En conclusion le tissu blanc est en général le plus riche en minéraux ce qui corrèle bien avec la teneur en cendres.

De cette étude, on peut relever que les trois cultivars sont relativement plus riches en potassium et pauvres en sodium. Ce résultat est en accord avec les résultats trouvés par Al-Farsi *et al.*, (2005) qui relèvent en outre, l'intérêt de cette composition en potassium et sodium pour les personnes souffrant d'hypertension.

III.11. Les polyphénols

Le tableau VI.14 résume les valeurs enregistrées en polyphénols pour chaque variété et pour chaque type de tissu :

Tableau VI.14: Teneur en polyphénols des trois variétés de dattes (pulpe entière et ses deux principaux tissus constitutifs), en % du poids frais.

Type de tissu	Teneur en polyphénols (%) (EAG)
MP	1,97 ± 0,01
MTP	4,96 ± 0,002
MTB	1,41 ± 0,011
BP	1,547±0,003
BTP	4,011±0,002
BTB	0,561±0,001
FP	0,827±0,005
FTP	1,255±0.002
FTB	2,289±0,002

Le dosage des polyphénols totaux nous donne une estimation globale de la teneur en différentes classes des composés phénoliques contenus au niveau des extraits des dattes analysées Mech-Degla, Freizza et Degla-Beïda.

D'après la figure VI.12, le pourcentage en polyphénols est élevé dans la variété Mech-Degla (1,974 % EAG ~ 19,73mg/g) comparativement à Degla-Beïda (1,547 %) et Freizza (0,827 %).

Nos résultats sont nettement supérieurs à ceux trouvés par Mansouri *et al.*, (2005) qui estiment que les variétés Algériennes renferment des teneurs comprises entre 2 et 8 mg /100 g de matière fraîche. Khalil *et al.*, (2002), trouvent des valeurs de 1,8 et 2,35 % (MF) de polyphénols totaux pour les variétés Egyptiennes Siwi (sèche) et Amhat (molle). Barveled, (1993), quant à lui, cite des valeurs atteignant les 3 % de la pulpe pour différentes variétés de dattes provenant des différentes parties du monde.

En comparant les teneurs en polyphénols des dattes des cultivars analysés à celles d'autres fruits qui sont respectivement de 1,54, 0,273, 0,2, 0,425, 0,217 et 0,217 % de matière fraîche pour les sureaux, le kiwi, les prunes, les pamplemousses, les pommes et l'orange (Cieslik *et al.*, 2006). On peut considérer la datte comme une bonne source d'antioxydants naturels et de ce fait, un aliment ou un ingrédient fonctionnel pour les produits alimentaires (Al-Farsi *et al.*, 2005 ; Al-Farsi *et al.*, 2007).

La teneur en polyphénols totaux selon la figure VI.11 est nettement très élevée dans le tissu brun, car elle égale à 4,96 et 4,011 % respectivement pour les cultivars Mech-Degla et Degla-Beïda, contrairement au tissu blanc, dont la teneur est de 1,41 % (Mech-Degla) et 0.561 %

(Degla-Beïda). Cette constatation n'est pas valable pour Frezza car la concentration en polyphénols dans le tissu blanc est 1,8 fois plus supérieure que de celle de tissu pigmenté.

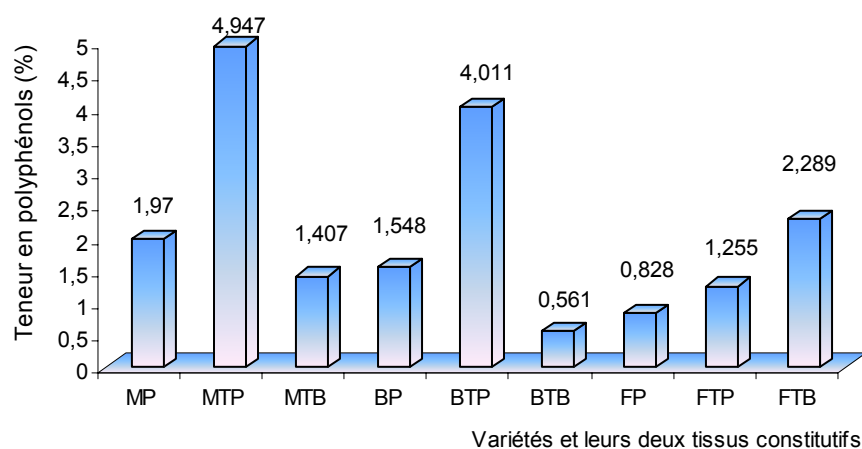


Figure VI.11 : Teneur en polyphénols des trois variétés de dattes (pulpe et ses deux tissus constitutifs).

D'après ces résultats, il s'avère (hormis la Frezza) que les polyphénols de la datte se concentrent essentiellement dans le tissu brun. La formation des composés phénoliques dépend de la lumière. Ces résultats confirment par ailleurs les données de la littérature indiquant la localisation des polyphénols tout particulièrement dans les peaux des baies, des fruits et des légumes (Macheix *et al.*, 1990; Wolfe *et al.*, 2003; Peschel *et al.*, 2006). Ils participent à la formulation de la couleur. Les résultats trouvés pour les deux tissus corrént bien avec leur aspect extérieur (couleur).

Les polyphénols sont connus par leur pouvoir antioxydant et leurs vertus biologiques. Ils contribuent à la prévention des maladies dégénératives et cardiovasculaires (Scalbert *et al.*, 2002; Henk *et al.*, 2003 ; Manach *et al.*, 2004) ; ils participent à la régénération de certains antioxydants tel que la vitamine E (Scalbert *et al.*, 2002).

Les polyphénols sont capables de piéger les radicaux libres générés en permanence par notre organisme ou formés en réponse à des agressions de notre environnement (cigarette, polluants, infection etc.) favorisant le vieillissement cellulaire (Scalbert et Williamson, 2000; Morelle, 2003 ; Djéridane *et al.*, 2006). Ils seraient impliqués dans la prévention des maladies cancéreuses (Block, 1992; Block et Langseth, 1994; Rice-Evans *et al.*, 1995 ; Scalbert et Williamson, 2000).

Les défenses antioxydantes des polyphénols sont d'une importance capitale s'agissant de protéger les tissus nerveux contre les atteintes oxydatives telles que celles constatées dans la maladie d'Alzheimer (Henk *et al.*, 2003).

Les composés phénoliques jouent un rôle dans les mécanismes de défense contre l'invasion microbienne et les rayons UV. Ils exercent une action inhibitrice sur de nombreuses bactéries, champignons et même virus (Branen *et al.*, 1980; Bourgeois *et al.*, 1996; Rodriguez *et al.*, 2007).

Les apports journaliers en antioxydants non nutriments sont fonction du type d'alimentation. Certains auteurs recommandent des apports alimentaires journaliers en composés phénoliques chez l'homme compris entre 100 et 1000 mg (Scalbert et Williamson, 2000 ; Reberfroid, 2002).

III.12. Les flavonoïdes

Du latin *flavus*, jaune, sont des substances généralement colorées très répandues chez les végétaux : on les trouve dissoutes dans les vacuoles à l'état d'hétérosides ou comme constituants des plastes particuliers : les chromoplastes (Guignard, 2000). On connaît actuellement environ 200 variétés, il en existerait 2000 qui ont été décrites (Morelle, 2003). Ils seraient plus de 4000 dérivés flavonoïdes et leurs activités antioxydantes est très différente (Farkas *et al.*, 2004). Leur biosynthèse s'effectuerait à partir d'un acide aminé, la phénylalanine (Morelle, 2003).

Le tableau VI.15 présente la teneur en flavonoïdes des trois variétés de dattes étudiées (pulpe entière et ses deux principaux tissus constitutifs) :

Tableau VI.15: Teneur en flavonoïdes des trois variétés de dattes étudiées et leurs tissus constitutifs, en mg/100 g de matière fraîche.

Variétés de dattes	Teneur flavonoïdes en (mg/100g)
MP	69,61 ± 0,06
MTP	63,09 ± 0,17
MTB	4,06 ± 0,29
BP	27,43±0,306
BTP	14,82±0,042
BTB	0,26±0,152
FP	68,90±0,063
FTP	22,60±0,012
FTB	17,72±0,085

La teneur en flavonoïdes (figure VII.13) dans les variétés Mech-Degla (69,61mg/100 g (MF)) et Frezza (68,9mg/100 g (MF)) est plus élevée que dans Degla-Beïda (27,43 mg/100 g MF).

D'une manière générale, la teneur en flavonoïdes dans la datte est supérieure à celles de quelques autres fruits données par Haddadi, (2005) : 1,98, 3,22, 7,12, 2,10 et 17,53 mg/100 g du poids frais de la tomate, la mandarine, le pamplemousse, la pomme et la fraise.

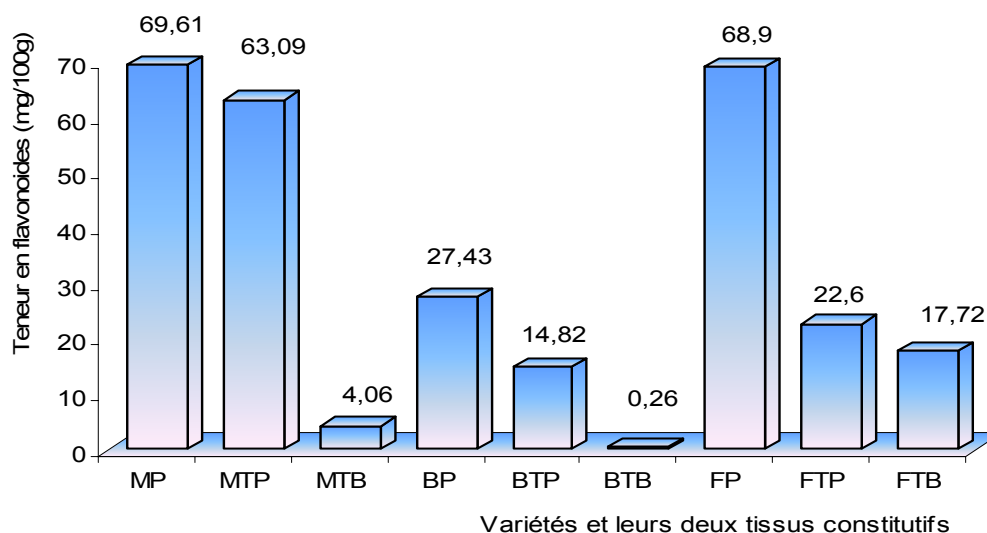


Figure VI.12 : Teneur en flavonoïdes des trois variétés (pulpe et ses deux principaux tissus constitutifs).

Le taux de flavonoïdes dans le tissu brun est de 63,09mg/100g pour Mech-Degla, 14,82mg/100g pour Degla-Beïda et 22,6mg/100g pour Frezza. Ces valeurs sont plus élevées que

celles trouvées pour le tissu blanc des trois variétés étudiées. D'ailleurs celui de la variété Degla-Beïda est très pauvres (0,26 mg/100g).

En conclusion, le tissu pigmenté est plus riche en polyphénols (les flavonoïdes en particulier) que le tissu blanc. Ce résultat corrèle bien avec l'aspect coloré du tissu pigmenté.

Les flavonoïdes sont omniprésents chez tous les végétaux. L'activité des flavonoïdes est exprimée par leur grande affinité biologique avec les polymères, les métaux lourds et surtout pour leur activité antioxydante. Ce sont les plus actifs parmi les antioxydants végétaux alimentaires (Graille, 2003). Ils ont en outre une action thérapeutique sur certaines pathologies telle le traitement des inflammations, des infections virales et du cancer (Morelle, 2003; Ndhala *et al.*, 2006).

III.13. Activité antioxydante

Les résultats de l'activité antioxydante (pourcentage d'inhibition de l'acide linoléique) de l'ensemble de nos variétés (pulpe entière et ses deux principaux tissus constitutifs) sont récapitulés dans le tableau VI.16 et illustrés par l'histogramme de la figure VI.13 :

Tableau VI.16 : Pourcentage d'inhibition de Mech-Degla, Degla-Beïda, Frezza (pulpe entière et ses deux principaux tissus constitutifs) et du BHA et du BHT.

Type de tissu	% d'inhibition
MP	61,82 ± 0,02
MTP	60,38 ± 0,04
MTB	63,38± 0,06
BP	61,56±0,03
BTP	61,23±0,02
BTB	43,04±0,03
FP	61,61±0,02
FTP	56,85±0,03
FTB	61,12±0,01

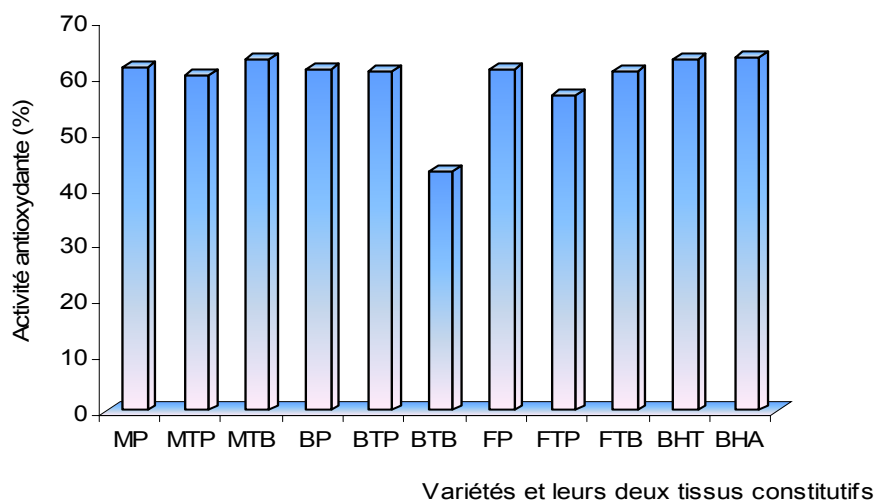


Figure VI.13 : activité antioxydante des trois variétés de dattes, de leurs deux tissus constitutifs et du BHA et du BHT

Une activité antioxydante est observée dans les extraits de trois variétés de dattes étudiées et les deux solutions de BHA et de BHT prises comme références.

Cette activité inhibitrice est de 61,82 % pour Mech-Degla, 61,56 % pour Degla-Beïda et 61,61 % pour Frezza. Les activités antioxydantes respectives des deux solutions BHA et BHT valent 63,6 % et 63,33 %. Il s'ensuit que le pouvoir antioxydant des trois cultivars est pratiquement équivalent à celui du BHA et du BHT (deux antioxydants synthétiques, rappelons le, utilisés en industries alimentaires).

Ces résultats montrent que les extraits méthanoliques des trois variétés de dattes étudiées possèdent un potentiel antioxydant important dû aux polyphénols et éventuellement aux caroténoïdes. Ces derniers sont en effet détectés dans les dattes Omaniennes à des teneurs de 1,31 – 3,03 mg / 100 g MS (Al-Farsi *et al.*, 2005) et de 64,3, 145, 51,3 µg / 100 g de matière fraîche pour les variétés Algériennes Deglet-Nour, Tankerboucht et Hamraya respectivement (Boudries *et al.*, 2006).

Stahl et Sies, (2003) et (2005) affirment que les caroténoïdes sont des antioxydants contre les deux formes réactives de l'oxygène moléculaire.

Les résultats obtenus par Vayalili, (2002), Guo *et al.*, (2003), Al-Farsi *et al.*, (2005), Mansouri *et al.*, (2005), et Al-Farsi *et al.*, (2007) confirment que la dattes possède un pouvoir antioxydant et antimutagénique élevé.

Selon Vayalili, (2002), la concentration d'un extrait de datte (variété Koweitienne) nécessaire pour inhiber 50 % de radicaux de superoxydes est équivalente à 0,8 mg / ml.

Aussi, une concentration de 4 mg/ml inhibe complètement la peroxydation des lipides et la formation des peroxydes lipidiques et carbonyle protéique.

De plus, Guo *et al.*, (2003) ont rapporté que la datte possède la deuxième activité antioxydante la plus élevée parmi 28 fruits communément consommés en Chine.

Il convient d'autre part de rappeler, que le profil phénolique des dattes a révélé que les principaux composés phénoliques présents dans les dattes sont les acides cinnamique, ferulique, sinapique et leurs dérivés, ainsi que les flavonoïdes (Mansouri *et al.*, 2005).

Selon Cuvelier *et al.*, (1992), les acides caféique, sinapique et ferulique s'avèrent plus actifs que les acides protocatechique, syringique, vanillique et *p*-hydroxybenzoïque.

IV. Le Séchage.

Il est connu que la modélisation du processus de séchage et la prédiction du comportement au séchage est nécessaire pour une meilleure compréhension des mécanismes qui y ont lieu (Nguyen et Price, 2007).

La déshydratation doit être considérée dans notre cas comme une opération d'appoint en vue de réduire la teneur en eau du fruit d'environ 15 à 5% de matière sèche en moyenne tel que généralement exigé pour les poudres de fruits (Espiard, 2002).

Les courbes de séchage de l'humidité réduite en fonction du temps et à différentes températures (60, 80, 100 °C) des trois variétés et de leurs tissus constitutifs sont illustrées par les figures (VI.14 ; VI.15 ; VI.16). Comme on peut le constater, le taux de séchage à 60°C pour Degla-Beida est plus élevé que ceux de Mech-Degla et Frezza. Cette différence dans le comportement de séchage est peut être due à la composition chimique différente (sucres et autres substances hydrophiles contenues ainsi que leur répartition dans la matrice solide) et aux caractéristiques morphologiques (épaisseurs). Comme il a été signalé par Drouzas *et al.*, 1999, la forte teneur en sucre cause le rétrécissement et le colmatage de la structure du gel durant le séchage, donc un faible taux d'eau éliminée.

L'effet de la température est parfaitement illustré par les figures (VI.14 ; VI.15 ; VI.16) puisque pour les trois variétés, les courbes de séchage deviennent plus raides avec l'augmentation de la température. Ainsi, les résultats obtenus s'accordent bien avec ceux rapportés dans la littérature pour d'autres produits alimentaires. Concernant, par exemple, le séchage des prunes

d'Agén, il a été constaté que le taux de séchage initial à 100°C est deux fois plus élevé que celui à 70°C (Sabarez *et al.*, 1997).

La variation de l'humidité réduite en fonction du temps pour les pulpes entières et leurs deux principaux tissus (parties blanche et pigmentée) montre que le temps nécessaire pour réduire la teneur en eau jusqu'à un niveau donné dépend aussi bien de la variété que du type de tissu (blanc ou pigmenté). Dans tous les cas, l'élimination d'eau à partir de la pulpe blanche est moins aisée que dans le cas de la partie pigmentée même si l'épaisseur de cette dernière est moins importante (tableau VI.20).

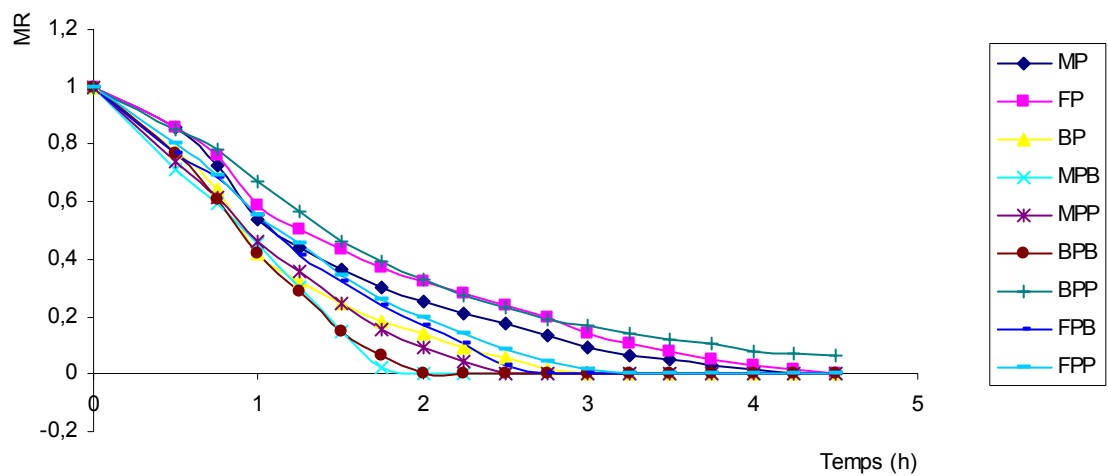


Figure VI.14: L'humidité réduite (MR) en fonction de temps et à 60°C pour les trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs

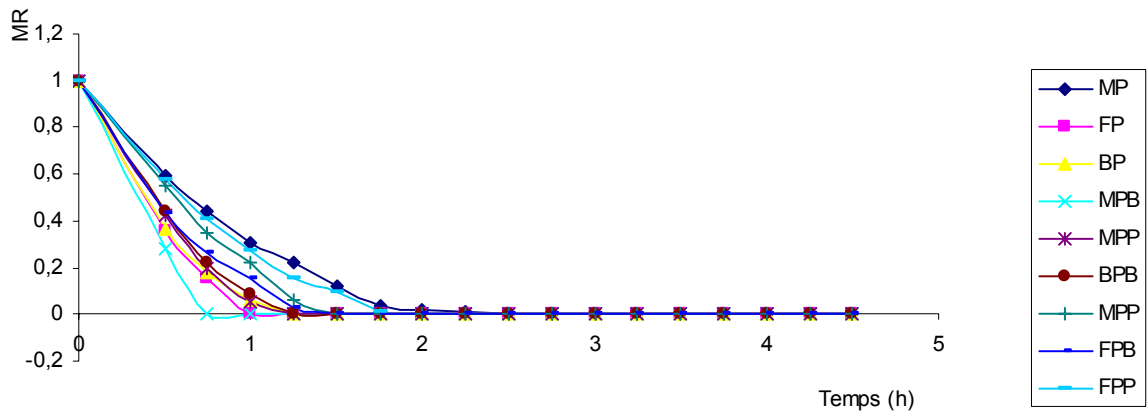


Figure VI.15 : L'humidité réduite (MR) en fonction de temps et à $80^{\circ}C$ pour les trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs

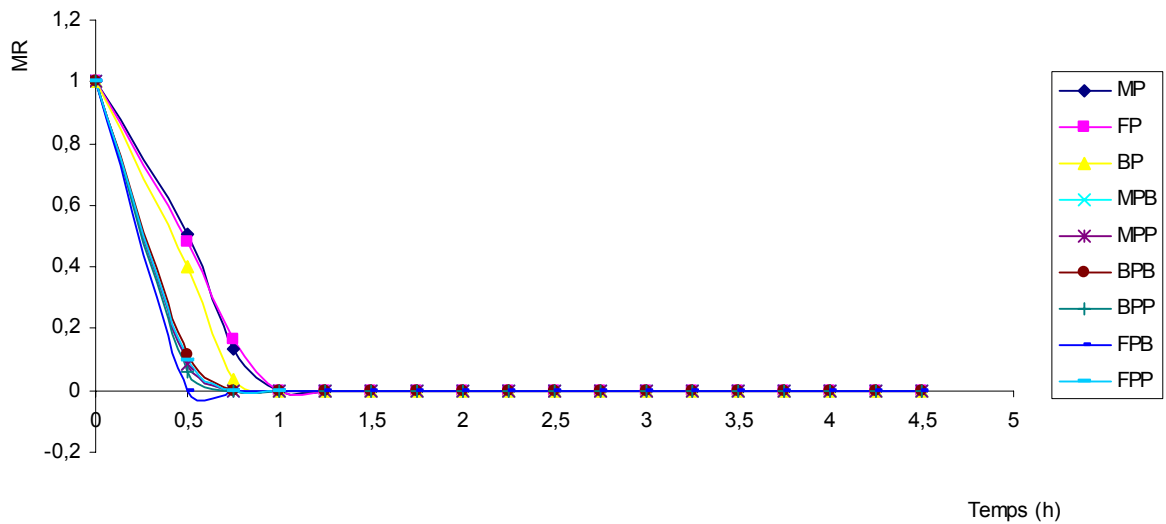


Figure VI.16 : L'humidité réduite (MR) en fonction de temps et à $100^{\circ}C$ pour les trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs

Pour évaluer l'adéquation d'un modèle, deux critères sont utilisés : le coefficient de détermination (R^2) et l'erreur relative moyenne (EMR) (*error mean relative*) calculée comme suit :

$$EMR = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|U_{ei} - U_{pi}|}{U_{ei}}$$

Où U_{ei} = humidité réduite expérimentale, U_{pi} = humidité réduite prédite par le modèle et N = nombre de points expérimentaux. Les paramètres estimés pour chacun des deux modèles ainsi que les valeurs de R^2 et MRE sont récapitulés dans le tableau VI.17.

Les résultats obtenus montrent que les valeurs élevées de R^2 et les faibles valeurs de EMR se rapportent au modèle de Henderson et Pabis, en particulier dans le cas de la variété Mech-Degla et Frezza. Par contre, dans le cas des deux tissus des trois variétés, les deux modèles décrivent bien leurs cinétiques de séchage. Cette différence dans l'aptitude au séchage peut être due à la présence d'une quantité élevée en substances chimiques hydrophiles dans le tissu pigmenté.

Tableau VI.17: Résultats statistiques obtenus à partir de deux modèles appliqués aux trois variétés de dattes et leurs deux principaux tissus constitutifs séchés à 60, 80 et 100°C

Variétés	Modèles	constantes	Température, °C	R^2	MRE, %
Mech-Degla	Newton	$k = 0,0100$	60	0,9466	8,36
		$k = 0,0135$	80	0,9828	5,35
		$k = 0,0283$	100	0,9726	9,92
	Handerson and Pabis	$k = 0,0117; a = 1,2059$	60	0,9753	5,85
		$k = 0,0145; a = 1,0787$	80	0,9888	4,54
		$k = 0,0308; a = 1,2184$	100	0,9816	8,61
Partie pigmentée	Newton	$k = 0,0184$	60	0,9762	9,89
		$k = 0,034$	80	0,9712	12,87
		$k = 0,0506$	100	0,9910	2,13
	Handerson and Pabis	$k = 0,0198; a = 1,1302$	60	0,9836	11,33

		$k=0,0353; a=0,0506$	80	0,9732	11,98
		$k=0,0506; a=0$	100	0,9911	5,36
Partie blanche	Newton	$k=0,0141$	60	0,9853	11,78
		$k=0,0421$	80	0,9991	0,032
		$k=0,0825$	100	0,9982	3,02
	Handerson and Pabis	$k=0,0144; a=1,0194$	60	0,9857	5,44
		$k=0,1312; a=0,1687$	80	0,9784	10,52
		$k=0,0825; a=5E^{-16}$	100	0,9977	4,33
<hr/>					
Degla-Beïda	Newton	$k = 0,0151$	60	0,9744	8,82
		$k = 0,0169$	80	0,9805	6,27
		$k = 0,0265$	100	0,9637	37,45
	Handerson and Pabis	$k = 0,0168; a = 1,2000$	60	0,9880	6,07
		$k = 0,0157; a = 1,0950$	80	0,9879	20,10
		$k = 0,0294; a = 1,2148$	100	0,9763	28,25
Partie pigmentée	Newton	$k=0,0192$	60	0,8976	20,88
		$k=0,0239$	80	0,9837	9,024
		$k=0,0953$	100	0,9904	0,045
	Handerson and Pabis	$k=0,0229; a=1,3209$	60	0,9327	18,75
		$k=0,025; a=0,0535$	80	0,9528	6,69
		$k=0,0953; a=0$	100	0,9912	0,045
Partie blanche	Newton	$k=0,0151$	60	0,933	14,67
		$k=0,0314$	80	0,978	10,97
		$k=0,0714$	100	nd	nd
	Handerson and Pabis	$k=0,0181; a=1,2892$	60	0,9704	10,44
		$k=0,0402; a=0,1564$	80	0,9528	16,25
		$k=0,0714; a=-3E^{-16}$	100	0,9825	0,023
<hr/>					
Frezza	Newton	$k = 0,0091$	60	0,9831	3,63
		$k = 0,0196$	80	0,9878	5,91

		$k = 0,0228$	100	0,9733	28
	Handerson and Pabis	$k = 0,0099; a = 1,0835$	60	0,9906	3,02
		$k = 0,0188; a = 0,9352$	80	0,9906	6,10
		$k = 0,0226; a = 1,1243$	100	0,9894	34,33
Partie pigmentée	Newton	$k=0,0126$	60	0,9005	15
		$k=0,0207$	80	0,9905	6,70
		$k=0,0776$	100	0,9958	5,42
	Henderson and Pabis	$k=0,0155; a=1,2937$	60	0,946	12,38
		$k=0,0214 ; a=0,034$	80	0,9921	5,61
		$k=0,0776; a=5E^{-16}$	100	0,9932	4,038
Partie blanche	Newton	$k=0,015$	60	0,9814	6,78
		$k=0,0301$	80	0,9956	9,28
		$k=non\ déterminé$	100	nd	nd
	Henderson et Pabis	$k=0,0159 ; a=1,0755$	60	0,9854	6,67
		$k= 0,0308 ; a=0,0341$	80	0,9963	3,57
		$k= nd$	100	nd	nd

Le modèle de Henderson et Pabis est utilisé pour estimer le coefficient de diffusivité (D) de chaque variété et chaque tissu (Tableau VI.18). Les valeurs de D mesurées pour tous les échantillons sont comprises entre $2,10^{-9}$ et $48,10^{-9}$ m^2/s . A $60^{\circ}C$, le D de Degla-Beïda est supérieur à ceux de Frezza et Mech-Degla. A $80^{\circ}C$, c'est celui de Frezza qui a une valeur plus importante. La partie blanche de la pulpe montre une plus grande valeur de D pour les trois variétés de dattes étudiées puisqu'en général : $D_{partie\ blanche} > 2 D_{partie\ pigmentée}$ à $60^{\circ}C$; $D_{partie\ blanche} > 4 D_{partie\ pigmentée}$ à $80^{\circ}C$. Pour les trois variétés, le coefficient D augmente en général avec l'augmentation de la température. En revanche, à $100^{\circ}C$ D baisse ce qui peut être attribuée au phénomène de caramélisation induisant une perte de la structure poreuse du fruit. Cette observation est conforme aux résultats obtenus par Falade et Abbo, (2007). Durant le séchage, la première phase de séchage, la diffusion est principalement due au mécanisme de transfert de masse. La surface était saturée avec l'humidité et l'humidité de base va remplacée celle évaporée. Comme le séchage progresse, l'humidité en surface sera complètement évaporée, la diffusion de vapeur d'eau pourrait être dans ce cas le mécanisme prédominant aboutissant à des

valeurs plus élevées de D (Ramesh *et al.*, 2001). De plus, les valeurs de D ainsi obtenues sont dans l'intervalle 10^{-12} - 10^{-8} m^2/s généralement trouvé pour la plupart des produits alimentaires (Babalis et Belessiotis, 2004) : dates entières du Niger séchées à 50-80°C ($7,48.10^{-10}$ - $2,98.10^{-8}$ m^2/s) (Falade et Abbo, 2007), bananes mures séchées en tranches à 30-70°C ($1,3.10^{-10}$ - $7,8.10^{-10}$ m^2/s) (Nguyen et Price, 2007), yaourt brassé séché à 40-50°C ($1,1.10^{-9}$ - $9,5.10^{-9}$ m^2/s) (Hayaloglu *et al.*, 2007).

Tableau VI.18: coefficient de diffusion de l'eau dans les trois variétés de dattes et leurs tissus constitutifs séchés sous vide partielle(200 mbars) à 60, 80 et 100°C. D (m^2/s) $\cdot 10^{-9}$.

Variétés	60°C	80°C	100°C
Mech-Degla	4,892	6,063	12,87
Tissu pigmenté	2,12	3,79	5,43
Tissu blanc	5,32	48,53	30,49
Degla-Beida	10,30	9,62	18,025
Tissu pigmenté	4,16	4,5	17,33
Tissu blanc	9,04	20,07	35,6
Frezza	6,48	12,32	14,80
Tissu pigmenté	3,53	4,87	17,6
Tissu blanc	7,58	14,6	nd

La dépendance de la température et de la diffusivité de l'humidité est décrite par l'équation d'Arrhenius (Okos *et al.*, 1992). L'énergie d'activation est l'énergie nécessaire pour amortir la diffusion massive dans les aliments (Mittal, 1999). Le tableau VI.19 résume les résultats de l'énergie d'activation et le coefficient de corrélation R^2 déterminés à partir des courbes de $\ln D$ en fonction de l'inverse de température ($1/T$) (annexe n°2). L'ensemble de courbes obtenues correspondent bien à des droites, décrivant ainsi l'équation d'Arrhenius avec $R^2 > 0,82$. L'énergie E_a de Mech-Degla (20,78 KJ/mol) est supérieure à celles de Frezza (16,63 KJ/mol) et Degla-Beïda (12,88 KJ/mol). Le tissu pigmenté dans le cas des deux variétés de dattes Frezza et Degla-Beïda possède une énergie d'activation plus grande que celle du tissu blanc. L'effet contraire est observé dans le cas du cultivar Mech-Degla. Nos valeurs concordent avec celles trouvées dans la littérature : 29.5- 44.02 KJ/mol pour les dattes séchées à 50, 60, 70 et 80°C (Falade et Abbo, 2007) ; 28,36 KJ/mol pour les carottes (Doymaz, 2004) ; 28,8 KJ/mol pour le soja (Kitic et Viollaz, 1984) ; 35,43 KJ/mol pour les haricots verts (Doymaz,2005) ; 41,95 KJ/mol pour chilli rouge (Gupta *et al.*, 2002) ; 82,93 KJ/mol pour la menthe (Park *et al.*, 2002) ; 39,8 KJ/mol pour

les bananes (Nguyen et Price, 2007) et 26,07 KJ/mol pour le yaourt brassé (Hayaloglu *et al.*, 2007).

Il convient de souligner qu'une première approche allait être développée (non présentée ici pour des considérations de validations) pour l'interprétation du comportement au séchage et des concepts empreints à la théorie de stérilisation ont été dans un premier temps introduits. C'est alors que nous avons parlé de deux paramètres à savoir : a) de la valeur « déshydratatrice : VD » : $VD = t \cdot 10^{\Delta T/z}$, où ΔT est la différence entre une température donnée et la température étalon, z est l'équivalent de l'effet de la température dans le cas des traitements thermiques des aliments ; b) l'efficacité E du séchage : $E = \log (X_0/X) \approx 0,5$

où X_0 ($\approx 15\%$) et X ($\approx 5\%$) sont les teneurs en eau initiale et finale (en g d'eau par 100g de masse sèche).

Tableau VII.19: L'énergie d'activation des trois variétés de dattes et leurs deux tissus constitutifs. E_a (KJ/mol).

Variétés	E_a (KJ/mol)	R^2
Mech-Degla	20,78	0,8929
Tissu pigmenté	19,53	0,9821
Tissu blanc	45,93	0,898
Degla-Beïda	12,88	0,82
Tissu pigmenté	29,51	0,9906
Tissu blanc	28,47	0,9907
Frezza	16,63	0,9231
Tissu pigmenté	33,46	0,8921
Tissu blanc	27,02	1

Les histogrammes des figures (VI.17 ; VI.18 ; VI.19) et le tableau VI.20 résument l'effet de la température de séchage (60, 80, 100°C) sur l'ensemble des indices de couleur (L^* , a^* , b^*) des poudres des trois cultivars (Mech-Degla, Degla-Beïda, Frezza) et de leurs deux tissus constitutifs. Deux observations nous paraissent importantes à relever : 1) l'analyse instrumentale confirme les observations visuelles (absence de caramélisation) pour les trois températures de séchage choisies : les indices de couleur (L^* , a^* , b^*) ne dépassent pas les valeurs critiques de références (obtenues par séchage intense de sorte à accentuer la caramélisation) ; 2) La

différence de couleur totale critique (TCD_{cr}) varie dans le sens décroissant suivant : $TDC_{Frezza}(26.51) > TDC_{Mech-Degla}(16.84) > TDC_{Degla-Beïda}(8.23)$.

Tableau VI.20 : Les valeurs de TCD à 60, 80 et à 100°C des trois variétés de dattes étudiées ainsi que les valeurs critiques.

TCD Variétés	Valeurs critiques	A 60°C	A 80°C	A 100°C
Mech-Degla	16,84	7,6	4,71	11,04
Degla-Beïda	8,23	10,16	16,79	5,11
Frezza	26,51	9,27	11,83	12,23

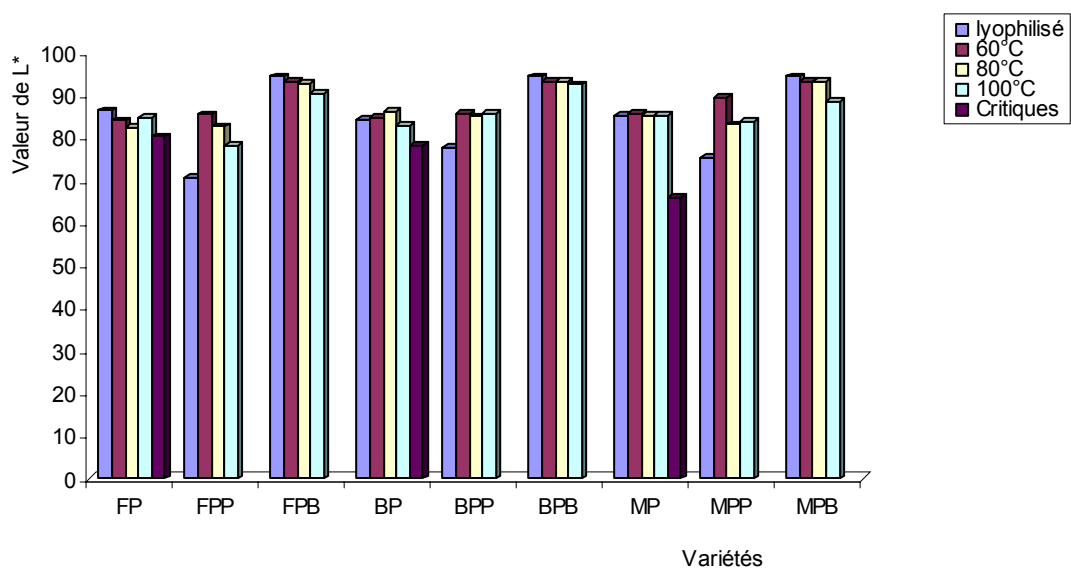


Figure VI.17 : Variation de la valeur de l'indice de couleur L* en fonction de la température.

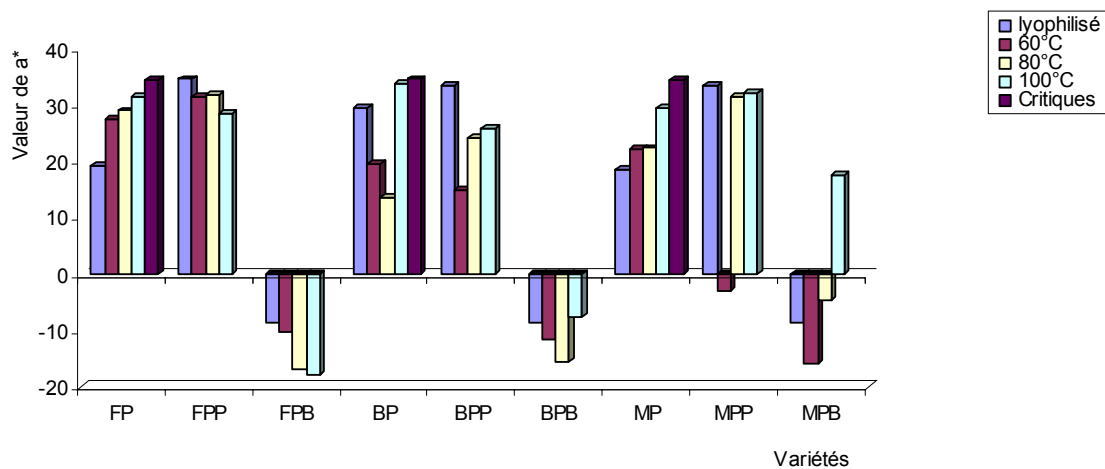


Figure VI.18 : Variation de la valeur de l'indice de couleur a* en fonction de la température

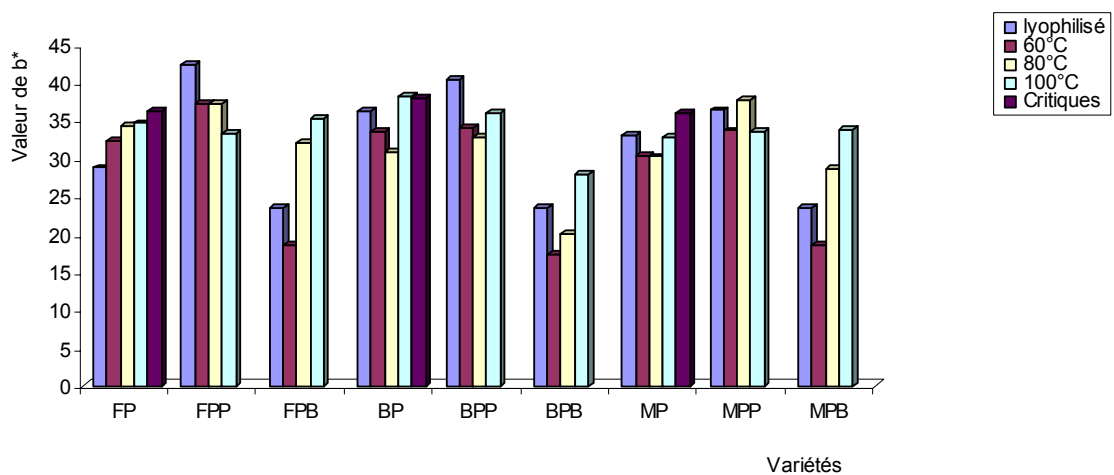


Figure VI.19 : Variation de la valeur de l'indice de couleur b* en fonction de la température

IV. La caractérisation des yaourts fabriqués

IV.1 Caractéristiques physico-chimiques

Les cendres (Cen), l'acidité titrable (AT) en équivalent acide lactique, l'extrait sec (ES), le taux de protéines (TP), la conductivité électrique (CE), le TDS (taux de sels), la matière grasse (MG) et la densité (Den) sont exprimés par rapport à la matière fraîche et sont donnés dans le tableau VI.24. D'après les résultats donnés dans le tableau VI.21, les yaourts additionnés des poudres de dattes sont plus riches en matière minérale (cendres). Le yaourt à base de poudre de dattes de la variété Degla-Beïda (YB) est plus riche en cendres, suivie du yaourt à base de poudre de dattes de la variété Frezza (YF) et yaourt à base de poudre de dattes de la variété Mech-Degla (YM). Leurs teneurs respectives sont de 0,92, 0,81 et 0,79 %. Par contre, elle est de 0,71% pour le yaourt nature (YN), légèrement faible par rapport aux autres yaourts. Nos valeurs sont inférieures à celles trouvées par Ozer *et al.*, 1998. Ces dernières sont comprises entre 0,98 et 1.30% pour des yaourts fabriqués à base d'un lait concentré par ultrafiltration.

Tableau VI.21: Caractéristiques physico-chimiques des yaourts fabriqués

Paramètre Yaourt	Cen g/100g	AT g/100g	pH	ES g/100g	TP g/100g	CE	TDS	MG g/100g	Den
YM	0,79 ± 0,001	0,56 ± 0,007	4,53 ± 0,014	21,39 ± 0,386	9,76 ± 0,08	7,46 ± 0,004	3,74 ± 0,01	3,95 ± 0,006	1,37 ± 0,002
YB	0,92 ± 0,05	0,56 ± 0	4,69 ± 0,016	21,24 ± 0,111	8,33 ± 0,220	8,23 ± 0,004	4,13 ± 0,01	3,75 ± 0,009	1,86 ± 0,002
YF	0,810 ± 0,008	0,57 ± 0,007	4,55 ± 0,004	20,64 ± 0,031	6,42 ± 0,142	7,66 ± 0,004	3,84 ± 0,004	3,92 ± 0,01	1,97 ± 0,004
YN	0,71 ± 0,04	0,63 ± 0,014	4,53 ± 0,012	13,04 ± 0,140	5,19 ± 0,02	5,14 ± 0,032	2,58 ± 0,016	2,12 ± 0,02	1,76 ± 0,005

L'acidité titrable par contre est identique pour les trois yaourts enrichis par les poudres de dattes (YM, YB, YF). Elle est légèrement supérieure dans le cas du yaourt nature (YN). Comparant nos résultats aux données bibliographiques, on peut dire qu'ils sont comparables à ceux cités par Jimoh et Kolapo, 2007 qui ont cité des valeurs comprises entre 0,31 et 0,81 pour des yaourts à base de lait de soja additionnés de stabilisateurs divers.

Pour les valeurs de pH, elles sont presque identiques et comprises entre 4,5 et 4,7 pour les différents yaourts. Ces résultats s'accordent bien avec ceux cités par Jimoh et Kolapo, (2007) : valeurs se situant entre 3,39 et 5,68. Nos valeurs s'accordent également avec celles annoncées par Nongonierma *et al.*, (2006), qui sont de l'ordre de 4,4 pour le yaourt à 0 et 5% de matière grasse. Fernandes *et al.*, (2007) quand à eux, ont trouvé des pH qui varient entre 4,31 et 4,37 pour des yaourts à base de lait à cellules somatiques.

Du tableau VI.23, on note des valeurs très importantes en extrait sec (ES). Elles sont de 13,04, 20,64, 21,24 et 21,39% pour YN, YF, YB et YM respectivement. Il est clair que l'incorporation de poudre de dattes dans le yaourt fait augmenter l'extrait sec à peu près de 39 %. Nos données concernant l'extrait sec, sont supérieures à celles signalées par Nongonierma *et al.*, (2006) dans un yaourt à 0% de matière grasse (14,4 %) et un yaourt à 5% de matière grasse (19,4%). Les extraits secs des deux yaourts à 0 et à 5% de matière grasse additionné de sirops de sucres sont égales respectivement à 20,8 et 25,1 % (Nongonierma *et al.*, 2006).

Pour ce qui est du taux de protéines (TP), celui du yaourt additionné de poudre de dattes de la variété Mech-Degla est supérieur à ceux des autres yaourts (YB, YF, YN). Il est de 9,76, 8,33, 7,66 et 5,14% pour YM, YB, YF et YN respectivement. Ces données sont comparables à celles trouvées par Ozer *et al.*, (1998), Ils ont signalé des valeurs comprises entre 3,6 et 9 %. Fernandes *et al.*, (2007), à leur tour ont annoncé des valeurs inférieures aux nôtres (3,57 %, 3.28%).

Il ressort également du tableau cité ci-dessus, que le taux de matière grasse est compris entre 2,12 et 3,95% . Ce taux est presque identique pour les trois yaourts (YM (3,95 %), YF (3,92 %), YB (3,75 %)) comparativement au yaourt nature (2,12 %). Ces valeurs sont inférieures à celles trouvées par Ozer *et al.*, (1998). Ces derniers ont rapporté des valeurs comprises entre 4,5 et 8,2 %. Cette différence est due à la composition du lait et du fruit en matière grasse.

Les teneurs en minéraux des quatre yaourts élaborés sont illustrées dans le tableau VI.22:

Tableau VI.22: Teneurs en minéraux des yaourts fabriqués (mg/Kg)

Echantillon	Ca ⁺²	Na ⁺	K ⁺	Mg ⁺²	Fe ⁺³	Zn ⁺²	Pb ⁺²	Mn ⁺²	Cd ⁺²
YF	2938,67 ±	959,36 ±	725,68 ±	200,67 ±	9,60 ±	7,93 ±	<0,42 ±	0,56 ±	<0,42 ±
	21,54	41,72	63,67	12,71	1,48	0,589	0	0,05	0
YB	2213,31 ±	918,71 ±	756,71 ±	267,85 ±	10,49 ±	2,74 ±	<0,36 ±	0,44 ±	<0,36 ±
	17,85	7,73	22,73	32,42	0,89	0,34	0	0,014	0
YM	2350,25 ±	783,37 ±	771,77 ±	169,54 ±	11,52 ±	1,29 ±	<0,38 ±	0,49 ±	<0,38 ±
	27,33	20,58	22,18	8,65	1,28	0,18	0	0,03	0
YN	1950,41 ±	684,72 ±	540,58 ±	132,16 ±	5,26 ±	0,35 ±	<0,37 ±	<0,37 ±	<0,37 ±
	67,90	8,92	38,33	16,36	1,21	0,018	0	0	0

L'analyse des résultats donnés dans le tableau VI.22 fait ressortir les points suivants :

-Les trois yaourts additionnés de poudres de dattes sont plus riches en minéraux que le yaourt nature, ceci est du à la richesse du fruit en minéraux.

-La teneur en calcium de YF semble très élevée que celles des autres yaourts (YB, YM, YN), puisqu'elle est égale à 2938,67 (mg/Kg) contre 2350,25, 2213,31 et 1950,41 (mg/Kg) pour YB, YM et YN respectivement. La teneur en calcium dans le yaourt naturel est variable : 1525 mg/Kg (Wang et Singh, 1978), 1355 mg/Kg (Moreno-Rojas *et al.*, 1993), 2000 mg/Kg (Buttriss, 1997) et 1112 mg/Kg (Garcia-Martinez *et al.*, 1998). Sanchez-Segarra *et al.*, (2000) ont signalé des valeurs de 990 mg/Kg pour un yaourt aux fraises, 1009 mg/Kg pour un yaourt aux fruits de bois, 1047 mg/Kg pour un yaourt additionné d'un mélange de fruits, 917 mg/Kg pour un yaourt aux pêches normales, 881 mg/Kg pour un yaourt aux pêches jaunes, 964 mg/Kg pour un yaourt aux pêches rouges et 1056 mg/Kg pour un yaourt aux ananas. Comme on le voit, ces données sont inférieures à celles trouvées dans cette étude.

-La teneur en sodium de YF est plus élevée que YB, YM et YN. Elle est de 959,36 (mg/Kg) contre 918,77, 783,37 et 684,72 (mg/Kg) pour YB, YM, YN respectivement. Les teneurs en sodium dans le yaourt naturel sont aussi variables : 311 mg/Kg (Wong et Singh, 1978), 480 mg/Kg (Souci *et al.*, 1993) et 374 mg/Kg (Garcia-Martinez *et al.*, 1998). Sanchez-Segarra *et al.*, (2000) ont trouvé des concentrations en sodium de 385 mg/Kg pour un yaourt aux fraises, 356 mg/Kg pour un yaourt aux fruits de bois, 392 mg/Kg pour un yaourt additionné d'un mélange de fruits, 303 mg/Kg pour un yaourt aux pêches normales, 385 mg/Kg pour un yaourt aux pêches jaunes, 354 mg/Kg pour un yaourt aux pêches rouges et 357 mg/Kg pour un yaourt aux ananas. La teneur en sodium de nos yaourts est tout de même le double des valeurs citées dans la littérature. C'est à notre sens le seul critère de qualité qui risque de paraître comme inconvenient apparent de nos formulations. Toutefois, comme il est indiqué dans le paragraphe qui suit, cet excès est largement compensé par un déficit en potassium.

- La teneur en potassium de YM est plus élevée avec une valeur de 771,77 mg/Kg . Pour un yaourt nature, cette valeur est de 2174 mg/Kg (Wang et Singh, 1978), 1843 mg/Kg (Moreno-Rojas *et al.*, 1993) et 1297 mg/Kg (Garcia-Martinez *et al.*, 1998). Sanchez-Segarra *et al.*, (2000) ont trouvé des concentrations en potassium de 1191 mg/Kg pour un yaourt aux fraises, 1209 mg/Kg pour un yaourt aux fruits de bois, 1337 mg/Kg pour un yaourt additionné d'un mélange de fruits, 921 mg/Kg pour un yaourt aux pêches normales, 1119 mg/Kg pour un yaourt aux pêches jaunes, 1135 mg/Kg pour un yaourt aux pêches rouges et 1285 mg/Kg pour un yaourt aux ananas. Ces données sont supérieures à celles trouvées dans cette étude. Comme on l'a déjà mentionné, il y a une compensation avantageuse entre sodium et potassium.

- concernant le magnésium, sa teneur est plus élevée dans le cas de YB (267,85 mg/Kg) c'est-à-dire plus de 10 fois les valeurs citées dans la bibliographie. Sanchez-Segarra *et al.*, (2000) ont trouvé des concentrations en magnésium de 94 mg/Kg pour un yaourt aux fraises, 101 mg/Kg pour un yaourt aux fruits de bois, 105 mg/Kg pour un yaourt additionné d'un mélange de fruits, 82 mg/Kg pour un yaourt aux pêches normales, 84 mg/Kg pour un yaourt aux pêches jaunes, 86 mg/Kg pour un yaourt aux pêches rouges et 97 mg/Kg pour un yaourt aux ananas.

Les teneurs en Mg dans le yaourt nature varient entre 80 et 131 mg/Kg (Moreno-Rojas *et al.*, 1993 ; Buttriss, 1997; Garcia-Martinez *et al.*, 1998). Ces résultats sont similaires aux nôtres pour ce qui est du yaourt nature.

-Les teneurs en fer des trois yaourts (YM, YB, YF) sont presque identiques et plus élevées que celle de YN : 9,6, 10,49, 11,52 et 5,26 mg/Kg pour YF, YB, YM et YN respectivement. De

plus, ces valeurs sont supérieures à celles signalées dans la littérature. Il a été en effet trouvé que la quantité de fer dans le yaourt nature est de 0,4 mg/Kg (Pennington et Young, 1990), 0,47 mg/Kg (Moreno-Rojas *et al.*, 1993) et 0,5 mg/Kg (Garcia-Martinez *et al.*, 1998). Le yaourt est classé comme un aliment de valeur nutritionnelle moindre à cause de sa contribution basse en fer dans la valeur diététique (Schneider, 1994). L'addition des fruits en morceaux, spécialement les fraises, framboise et les mûres sauvages provoquent une augmentation dans la concentration de l'ensemble des minéraux (McCance et Widdowson, 1993 ; Souci *et al.*, 1993). Sanchez-Segarra *et al.*, (2000) ont trouvé des concentrations en fer de 1,18 mg/Kg pour un yaourt aux fraises, 3,46 mg/Kg pour un yaourt aux fruits de bois, 1,06 mg/Kg pour un yaourt additionné d'un mélange de fruits, 0,45 mg/Kg pour un yaourt aux pêches normales, 0,86 mg/Kg pour un yaourt aux pêches jaunes, 0,62 mg/Kg pour un yaourt aux pêches rouges et 0,78 mg/Kg pour un yaourt aux ananas.

- Quand à la teneur en zinc, YF est plus riche que les autres yaourts. Cette teneur est égale à 7,93 mg/Kg, alors qu'elle est de 2,74 (YB), 1,29 (YM) et 0,35 (YN). Ces résultats, concernant le yaourt aux dattes, ne concordent pas avec les données bibliographiques. (Garcia-Martinez *et al.*, 1998) ont trouvé des concentrations en zinc de 3,2 mg/Kg pour un yaourt aux fraises, 3,2 mg/Kg pour un yaourt aux fruits de bois, 3,5 mg/Kg pour un yaourt additionné d'un mélange de fruits, 2,8 mg/Kg pour un yaourt aux pêches normales, 2,8 mg/Kg pour un yaourt aux pêches jaunes, 2,9 mg/Kg pour un yaourt aux pêches rouges et 3,4 mg/Kg pour un yaourt aux ananas.

Concernant le yaourt nature, le résultat obtenu est très faible par rapport aux données de la littérature : 3,85-5,24 mg/Kg (Comas Font *et al.*, 1980), 5,5 mg/Kg (Varo *et al.*, 1980), 4,6 mg/Kg (Moreno-Rojas *et al.*, 1993), 7 mg/Kg (Buttriss, 1997) et 3,5 mg/Kg (Garcia-Martinez *et al.*, 1998).

- La concentration en manganèse est de 0,56 mg/Kg pour YF, de 0,44 mg/Kg pour YB, 0,49 mg/Kg pour YM et inférieure à 0,37 mg/Kg pour YN. Ces résultats (pour le yaourt aux dattes) concordent avec ceux de la littérature : 0,041 mg/Kg (Wang et Singh, 1978), 0,03 mg/Kg (Pennington et Young, 1990), 0,061 mg/Kg (Moreno-Rojas *et al.*, 1993) et 0,061 mg/Kg (Garcia-Martinez *et al.*, 1998). Le yaourt nature est considéré comme un aliment pauvre en Manganèse (Garcia-Martinez *et al.*, 1998). L'addition des morceaux de fraises et d'un mélange de fruits ou fruits des bois, augmente la quantité de Mn de 10-20 fois et l'addition de l'ananas en morceaux entre 40 et 80 fois dans la composition finale du yaourt.

- Les teneurs en Pb et Cd sont presque identiques dans les quatre yaourts. Elles sont inférieures à 0,36 mg/Kg. Ceci nous incite à conclure que Pb et Cd proviennent essentiellement du lait utilisé, étant à l'état de traces dans le fruit de dattes.

Dans l'ensemble nos résultats (exceptés Na et K) sont proches de ceux trouvés par De La Fuente *et al.*, (2003) dans les différents yaourt de commerce. Ils ont signalé des valeurs comprises entre 1547-23381 mg/Kg pour K, 476-777 mg/Kg pour Na, 101-177 mg/Kg pour Mg, 1088-2050 pour Ca.

On peut dire que l'addition des poudres de dattes des trois cultivars (Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza) dans le yaourt en tant que substituant de sucre cristallisé, nous a permis d'obtenir des yaourts enrichis en minéraux (surtout le Fe et le Mn), en protéines, en matières grasses, et en solides totaux.

La variation des indices de couleur (L^* , a^* , b^*) est donnée dans le tableau VI.26 montré dans la figure VI.20.

Tableau VII.23: Les indices de couleur (L^* , a^* , b^*) de YN, YF, YM et YB

Yaourts	L^*	a^*	b^*
YN	95,23 ±0,152	-4,96±0,378	8,83± 0,461
YF	89,46±0,251	15,73±0,776	28,3± 0,305
YM	90,50.655	10,63±1,9	25,33±0,251
YB	90,66±0,057	8,76±0,702	28,16±0,208

La valeur de L^* (lightness) est plus élevée pour YN et faible pour YF. Elle est égale à 89,46, 90,5, 90,66 et 95,23 respectivement pour YF, YM, YB et YN. Quant à la valeur de a^* (greenness), la plus faible revient à YN (-4,96). La grande valeur par contre, est celle de YF (15,73). Par ailleurs, le paramètre de couleur b^* (yelowness) est pratiquement identique pour YB et YF avec respectivement 28,16 et 28,3. YN par contre possède une valeur de b^* la plus faible (8,83). Cette différence dans les paramètres de couleur (L^* , a^* , b^*) des quatre yaourts est due à la différence de couleur des poudres de dattes des trois variétés séchées à 80 °C. La couleur du yaourt nature YN reflète bien la couleur du lait car il est fabriqué uniquement avec le lait et le ferment. Kumar et Mishra, (2004) ont étudié l'effet de l'addition des stabilisateurs sur les paramètres de couleur (L^* , a^* , b^*), ils ont constaté que les indices L^* , b^* augmentent avec l'addition de gélatine et diminuent avec l'addition de la pectine et l'alginat de sodium dans le yaourt à base de lait de soja et de mangue.

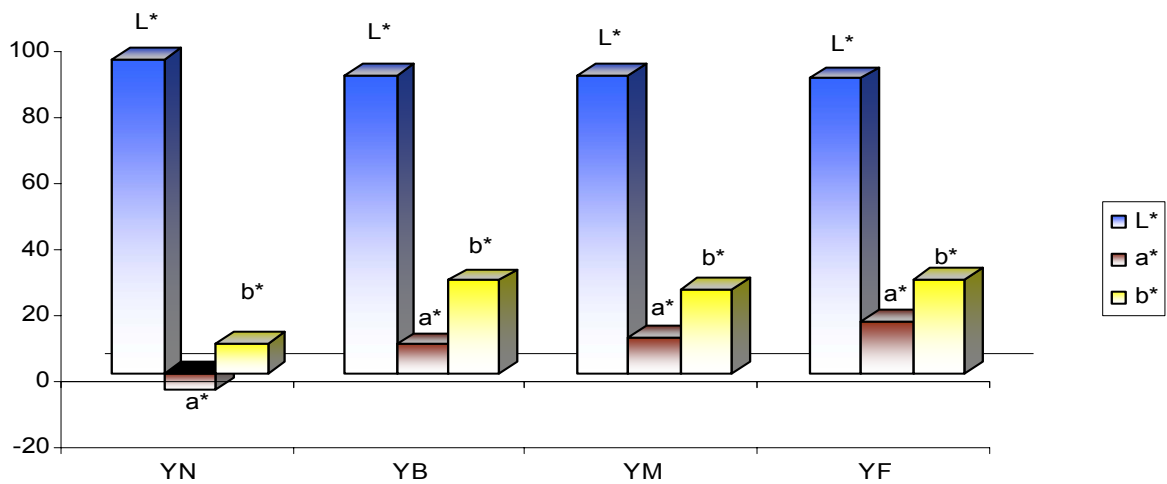


Figure VI.20 : Variation des indices de couleur (L^* , a^* , b^*) entre YF, YM et YB

IV.2 Analyse de la texture et de l'aspect rhéologique des yaourts obtenus

IV.2.1 Analyse de la texture

Le comportement mécanique révélé dans les tests de pénétration des yaourts avec ou sans addition de poudre de dattes des trois cultivars (Mech-Degla, Degla-Beïda et Freeza) est donné dans le tableau VI.24 et illustré par les figures VI.21.

Tableau VI.24: Paramètres de pénétration des quatre yaourts additionnés de poudres de dattes

Echantillon	Force du gel (N)	Distance de rupture (mm)	Force à 15 mm	Indice de rigidité 10^{-2} (N/mm)	Syn ml/100ml
YN	0,164±0,01	4 ±0,471	0,165±0,02	3,85±0,006	1,42±0,023
YF	0,097±0,03	6 ±0,471	0,083±0,01	1,75±0,007	1,00±0,00
YB	0,122±0,02	3 ±0,471	0,125±0,03	3,66±0,001	1,00±0,00
YM	0,155±0,003	4 ±0,471	0,169±0,02	2,97±0,007	5,03±0,047

En l'absence de poudre de dattes (yaourt nature), le gel s'avère plus fort, se distinguant par une force de rupture extrêmement grande (0,164 N).

Le comportement mécanique du yaourt additionné de poudre de dattes de la variété Mech-Degla est pratiquement semblable à celui du yaourt nature, il présente un point de rupture net (0,155 N), une distance de rupture égale à celle du yaourt nature (4mm), une force à une distance de 15 mm, presque égale à celle du yaourt nature (0,165 et 0,169 mm pour YN et YM respectivement).

Par contre, le comportement mécanique de YB et de YF est assez faible comparé à YN et YM. Le yaourt additionné de poudre de dattes de la variété Degla-Beïda représente une fermeté plus importante que le yaourt additionné de poudre de Frezza avec respectivement une force du gel de 0,122 et 0,097 N. Leurs distances de rupture sont de l'ordre de 3 mm et 6 mm. Le module ou l'indice de rigidité du gel est plus important dans le cas de YN, suivi de YB, YM puis de YF.

La texture du yaourt est associée à sa composition en solides totaux, à la présence de stabilisateurs et des fruits (Shaker *et al.*, 2000).

L'addition de la pulpe de mangue et de lait de soja au yaourt influence ces caractéristiques physicochimiques à savoir le profil sensoriel, le profil de texture et la réduction de synérèse. Ils peuvent aussi affecter la culture des ferments lactiques (Kumar et Mishra, 2004).

Dans la littérature, beaucoup d'auteurs ont mené des recherches pour savoir comment l'addition des hydrocolloïdes influence la qualité des yaourts (synérèse, fermeté, culture microbienne) (Chopra et Gandhi, 1990 ; Jawalker *et al.*, 1993; Moller, 1995 ; O'Carroll, 1995 ; Tayar *et al.*, 1995 ; Khalafalla et Roushdy, 1997 ; Bals et Kessler, 1999 ; El Sayed *et al.*, 2002). Les caractéristiques de la texture d'un yaourt au lait de soja sont améliorées par l'addition de l'alginate (Yadav *et al.*, 1994). La structure de yaourt aux fruits peut être améliorée en utilisant des agents de texture, comme la pectine et la gélatine (Celik et Bakirci, 2003). L'addition de stabilisateurs améliore l'aspect et l'apparence de la texture, l'effet dans la bouche et le retard dans la synérèse (Jawalker *et al.*, 1993 ; Khalafallah et Roushdy, 1997; El Sayed *et al.*, 2002). Les stabilisateurs ou hydrocolloïdes ont deux fonctions de bases : absorption de l'eau et amélioration de la texture.

L'augmentation de la viscosité quand la teneur en matière grasse augmente est due à l'augmentation des solides totaux du lait qui a un effet significatif dans la fermeté du gel (Tamime et Robinson, 1985).

Le sérum de séparation (synérèse) qui se forme dans un produit laitier fermenté est dû à l'agrégation et à la sédimentation des particules de caséines durant le stockage. L'utilisation des stabilisateurs s'avère nécessaire pour prévenir la synérèse surtout dans les boissons à base de lait fermenté (Towler, 1984 ; Lucey *et al.*, 1999).

Une teneur faible en solides totaux peut causer une synérèse qui se manifeste par une séparation entre le sérum et la structure solide, causant une accumulation de liquide à la surface du gel. Pour donner une consistance et une viscosité valable au yaourt en évitant la synérèse, le mélange doit contenir assez de solides totaux (pour un yaourt ferme, on parle d'entre 14 et 15 %, pour un yaourt brassé d'entre 11,5 et 12%) (Vignola, 2002).

Dans nos échantillons de yaourt, la synérèse est importante dans le yaourt à base de la poudre de dattes (5ml/100ml) devant le yaourt nature (1,42ml/100ml). Par contre, elle est identique pour YB et YF (1ml/100ml). L'ajout de poudre de dattes dans le yaourt augmente le taux de solides totaux, donc réduit la synérèse. La présence des polysaccharides (stabilisateurs) tel que la pectine dans les dattes empêche la formation du liquide à la surface des yaourts. La présence d'une quantité de sérum assez importante à la surface de YM (pourtant riche en solides totaux avec une teneur de 21,39%) par rapport à YB et YF est due probablement au traitement thermique et à l'homogénéisation insuffisante.

Il convient de rappeler que ces deux paramètres (traitement thermique et homogénéisation) jouent un grand rôle dans la formation du gel.

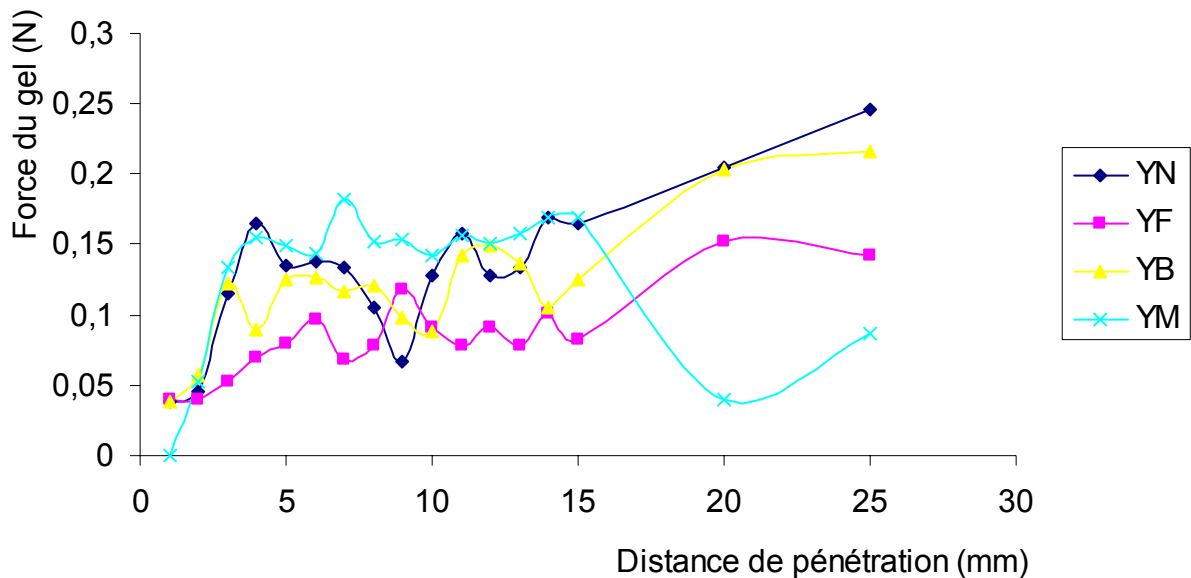


Figure VI.21 : Profil de pénétrométrie sur YN, YF, YB et YM

IV.2.2 Analyse rhéologique

Les propriétés rhéologiques des yaourts dépendent essentiellement du taux de solides totaux, composition du lait (protéines, sels), homogénéisation, type de culture, acidité (pH), degré de proteolyse et du prétraitement thermique du lait (Kalab *et al.*, 1983 ; Heertje *et al.*, 1985 ; Hawalkar et Kalab, 1986 ; Biliaderis *et al.*, 1992).

Une addition suffisante de protéines suffisamment dénaturées aura comme effet d'offrir un maximum de groupements hydrophiles pouvant se lier à l'eau. Plus l'eau sera liée et plus la texture du produit sera ferme, consistante et visqueuse (Parnell-Clunies *et al.*, 1987).

Le traitement thermique influence la viscosité du caillé durant le processus de coagulation par dénaturation des protéines de lactosérum. Il bien connu, qu'une exposition prolongée du lait à des températures très élevées provoque une dénaturation presque complète des protéines (Lyster, 1970) ; une viscosité élevée est donnée par un lait chauffé à 137°C pendant 2 secondes, suivi par celui chauffé à 90°C pendant 3 minutes et 65°C pendant 30 minutes. Cette différence est due à la chaleur qui dénature les protéines de lactosérum (Parnell-Clunies *et al.*, 1987).

Le traitement thermique appliqué aux yaourts affecte leur processus de base qui est la formation du gel : le traitement thermique usuel de 95°C pendant 10 minutes provoque la dénaturation et par la suite l'agrégation des protéines de lactosérum (Doi *et al.*, 1983 ; Hill, 1989). Durant ce processus, des réactions spécifiques entre la caséine κ et β lactalbumine induisent la réduction des interactions SH/SS (Hill, 1989), ces interactions étant essentiellement pour la formation d'un yaourt à texture souhaitable (Dannenberg et Kessler, 1988).

Kinsella, (1984) a rapporté que la viscosité est une fonction de dimensions des agrégats qui sont à leur tour influencés par les interactions covalentes (SH/SS) qui surviennent lors de la dénaturation des protéines de lactosérum du lait. Chauffer en outre à plus haute température peut produire des interactions intermoléculaires S-S qui ont un grand effet sur la force du caillé (Ross-Murphy, 1995). Les protéines de lactosérum dénaturées augmente la capacité de liaison de l'eau de la caséine du lait, qui engendre une augmentation de la viscosité du gel durant la coagulation (Smith et Brouwershavan, 1980 ; Labropoulos *et al.*, 1983 ; Parnell-Clunies *et al.*, 1987).

L'homogénéisation a également un effet sur les protéines donc sur la viscosité. L'homogénéisation stabilise en fin de compte les protéines. De plus, en raison de l'ouverture adéquat de leur structure, il y a amélioration de leur caractère hydrophile découlant d'une augmentation du nombre de groupements pouvant se lier à l'eau et ainsi diminuer les risques de

synérèse durant la conservation du yaourt. Les causes possibles d'homogénéisation inadéquate d'un mélange et incidences sur la qualité du yaourt ont été citées dans le chapitre IV yaourt.

Les comportements rhéologiques des quatre yaourts ainsi fabriqués sont représentés par les courbes d'écoulement illustrées par la figure VI.22. Pour l'ensemble des yaourts, la viscosité diminue avec l'augmentation de la vitesse de cisaillement montrant ainsi un écoulement non Newtonien.

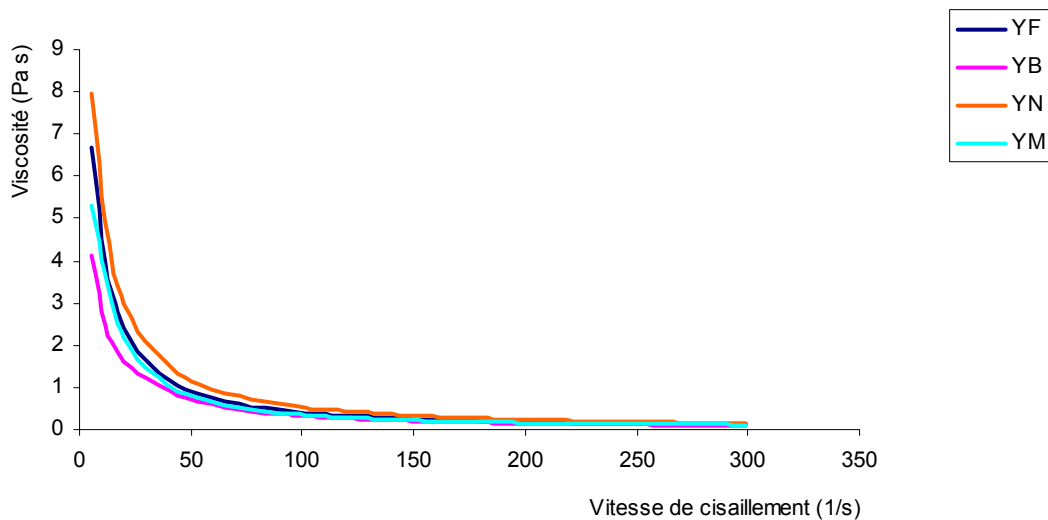


Figure VI.22: courbe d'écoulement de YF (-), YB (-), YN (-) et YM (-)

Les courbes d'Hystérésis de nos échantillons exposent bien leurs comportements qui est non Newtonien, ce qui veut dire qu'ils possèdent à la fois les propriétés visqueuses d'un liquide et les propriétés élastiques d'un solide. Ce sont donc des fluides rheofluidifiants (pseudoplastiques). Le modèle mathématique qui décrit bien ce comportement est celui d'Herschel Bulkley.

$$\tau = K\gamma^n + \tau_0$$

τ : taux de cisaillement (Pa) ; τ_0 : taux de cisaillement initial (yield stress) (Pa) ;

K : coefficient de consistance (Pa s^n) ; γ : vitesse de cisaillement (1/s) ; n : index de comportement d'écoulement.

Le tableau VI.25 expose l'ensemble des paramètres du modèle d'Herschel Bulkley.

Tableau VI.25: Les valeurs des paramètres du modèle d'Herchel Bulkley

Yaourts	Viscosité apparente (Pas)	Thixotropie (Pa/s)	Yiel stress τ_0 (Pa)	Index (n)	Coefficient K (Pa s ⁿ)
YF	0,835	6308	-5294	$-3,956.10^{-4}$	53,3
YM	0,7425	6147	35.29	-10,22	$-2,517.10^8$
YB	0,6811	5507	-1172	$-5,99.10^{-4}$	1207
YN	1,089	8612	50,46	-7,445	-158,7

Des résultats obtenus, on peut constater que l'ajout de la poudre de datte dans le yaourt influence les paramètres d'écoulement. Dans les trois yaourts à base des poudres de dattes, une diminution drastique de τ_0 et une augmentation de l'indice d'écoulement et le coefficient de consistance sont observées par rapport au yaourt nature. Du tableau VI.25 également on peut dire que le yaourt nature sans addition ni de sucre ni de fruits est plus visqueux, avec une viscosité apparente de 1,089 Pas, suivi par le yaourt à base de poudre de datte de la variété Frezza (0,835 Pas) puis de celui de la poudre de dattes Mech-Degla (0,7425 Pas) et enfin le yaourt à base de la poudre de dattes de la variété Degla-Beida (0,6811 Pas). Le comportement rhéologique du yaourt YF décrit mieux le modèle d'Herschel Bulkley avec l'erreur standard la plus faible (50,33).

Le yaourt avec ou sans poudre de dattes expose une thixotropie qui est déterminée par la surface de la boucle d'Hystérésis entre la montée (upward) et la descente (downward) de la contrainte de cisaillement/vitesse de cisaillement des courbes (figures (VI.23 ; VI.24 ; VI.25 ; VI.26)). La thixotropie dans le cas des yaourts aux dattes est faible par rapport au yaourt nature. Elle est de 6308, 6147, 5507 Pa/s pour YF, YM et YB respectivement. Elle est égale à 8616 Pa/s pour le yaourt nature (YN) (tableau VI.24). La réduction de la thixotropie dans le cas des yaourts additionnés de poudre de dattes est due à la composition complexe des dattes, notamment la présence de pectine (agent stabilisateur) et les sels. D'ailleurs, beaucoup d'auteurs ont étudiés les effets des stabilisateurs sur le comportement thixotropique des produits laitiers fermentés. Les boissons au lait fermenté ont été fabriqué et exposé à un comportement thixotropique (Butler et McNulty, 1995 ; Koksoy et Kilic, 2004). Bouriot *et al.*, (1999) a rapporté également que la gomme d'aguar à des concentrations de 0.2% mixé avec la micelle de caséine a exposé un comportement thixotropique. L'addition des stabilisateurs à des

concentrations élevées, a augmenté la thixotropie d' ayran qui est un yaourt liquide produit en Turquie (Koksoy et Kilic, 2004). Ces mêmes auteurs ont avancé que la présence des sels dans ayran a pu provoquer des différences dans le comportement thixotropique en affectant les interactions entre particules. Le sel dans les boissons du lait acidifié est ajouté pour réduire l'agrégation des particules de caséines et la viscosité apparente (Schkoda *et al.*, 1998 ; Koksoy et Kilic, 2004). Amice-Quemeneur *et al.*, (1995) a rapporté que l'augmentation de la concentration de la pectine réduit la thixotropie dans les boissons à base de lait acidifié comparé aux autres boissons sans stabilisateurs. En plus, des auteurs ont trouvé que la thixotropie augmente avec la réduction des dimensions des particules et la surface des charges. La présence des pectines est reconnue pour réduire les dimensions des particules dans le lait acidifié par la prévention des interactions entre les particules de caséines (Lucey *et al.*, 1999). La thixotropie est provoquée par le bri de la structure dans une dispersion sous cisaillement. Des particules faibles dans une suspension ou des liaisons entre particules peuvent se casser sous une contrainte de cisaillement. La thixotropie dans les suspensions chauffées des protéines de lactosérum a été attribuée à la rupture des liaisons SS, de Vander Waals et des interactions ioniques et hydrophiles entre les particules de protéines (Teo *et al.*, 2000). La connaissance du comportement de thixotropie est important pour le fabriquant.

Les spectres mécaniques, c'est-à-dire la variation des composantes élastiques (G'), visqueuse (G'') et l'angle δ avec la variation de la fréquence (0 à 10 Hz) sont illustrés sur les figures (VI.27 ; VI.28 ; VI.29 ; VI.30). On constate que le module de conservation (élastique) G' , le module de perte (visqueuse) G'' et l'angle δ dépendent de la gammes de fréquence et de comportement du milieu avec $G' > G''$ dans le cas de YN, YB et YF. Par contre, dans le cas de YM $G'' > G'$ décrivant ainsi un comportent d'un liquide. Un évènement de croisement entre G' et G'' a été détecté pour YB et pas pour YN, YF et YM. Les valeurs de G' et G'' sont importantes dans le cas de YN, ensuite YF et YB. Par contre, elles sont très faibles pour YM. Quand aux valeurs de δ , elles sont importantes dans YM ($\delta \approx 90^\circ$), YB ($\delta \approx 40$) et moins importantes pour YN ($\delta \approx 28^\circ$) et YF ($\delta \approx 19^\circ$). Ces variations dans les paramètres dynamiques sont dues aux différences de composition (taux de pectine, taux de sucres, taux de minéraux (Ca^{+2} précisément) et à la différence dans les paramètres technologiques (degré d'homogénéisation et la température et temps de traitement thermique). D'ailleurs Norziah *et al.*, (2001) ont étudié les effets des interactions pectine-saccharose- Ca^{+2} sur les propriétés rhéologiques. Ils ont trouvé que l'augmentation de la concentration en Ca^{+2} , saccharose et pectine augmente G' et G'' et que la pectine y joue un grand effet. Comme ils ont annoncé, que la diminution du taux de pectine et

l'augmentation de la concentration de Ca^{+2} augmente G' à toute température. Cet effet est observé également à un taux de pectine élevé à 20°C mais pas à 90°C . Un effet contraire est observé avec l'addition de saccharose, c'est-à-dire que l'addition de saccharose quand le taux de pectine est élevé augmente G' alors qu'à un taux de pectine faible pas d'effet observé. L'interaction entre Ca^{+2} et le saccharose augmente G' quand le calcium est additionné à une concentration élevée de saccharose. Cependant, et selon toujours les mêmes auteurs, la dispersion de la pectine seule ou en combinaison avec le saccharose a présenté un comportement d'un milieu liquide $G'' > G'$. Par contre, en présence de Ca^{+2} , le spectre mécanique obtenu est $G' > G''$.

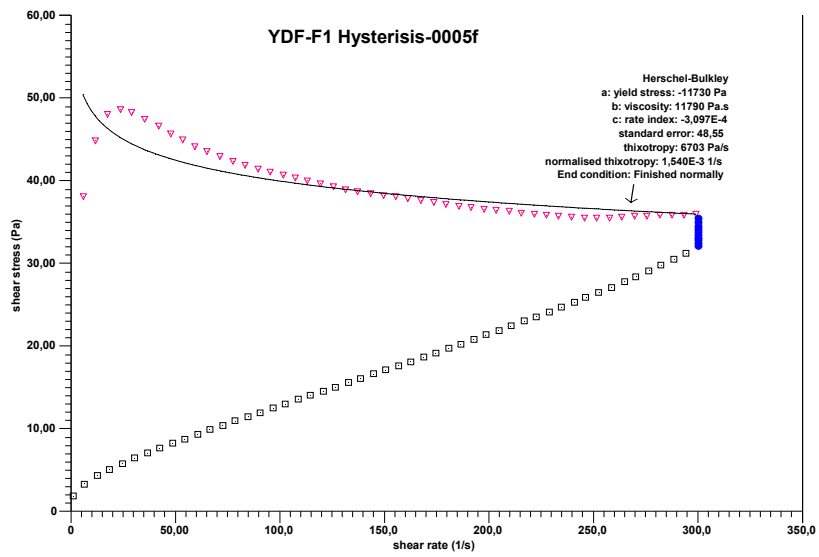


Figure VI.23: Courbe d'Hystérésis de YF

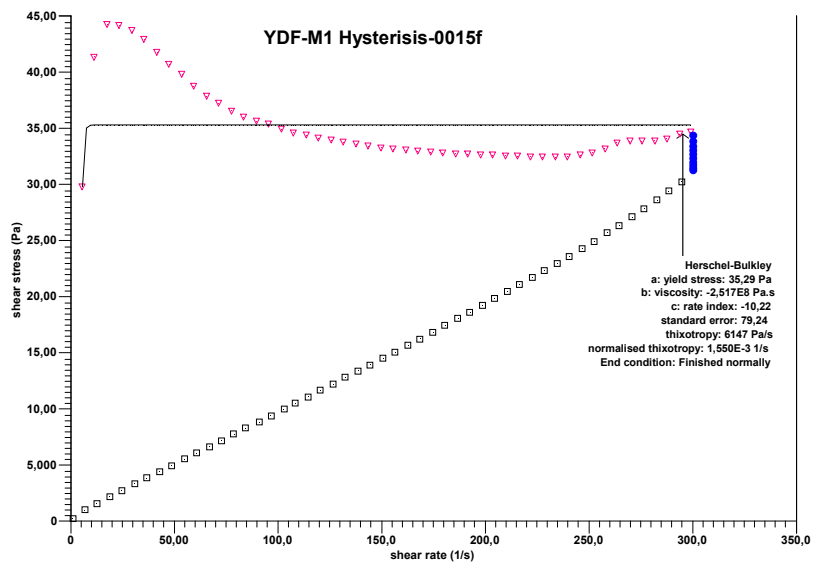


Figure VI.24 : Courbe d'Hystérésis de YM

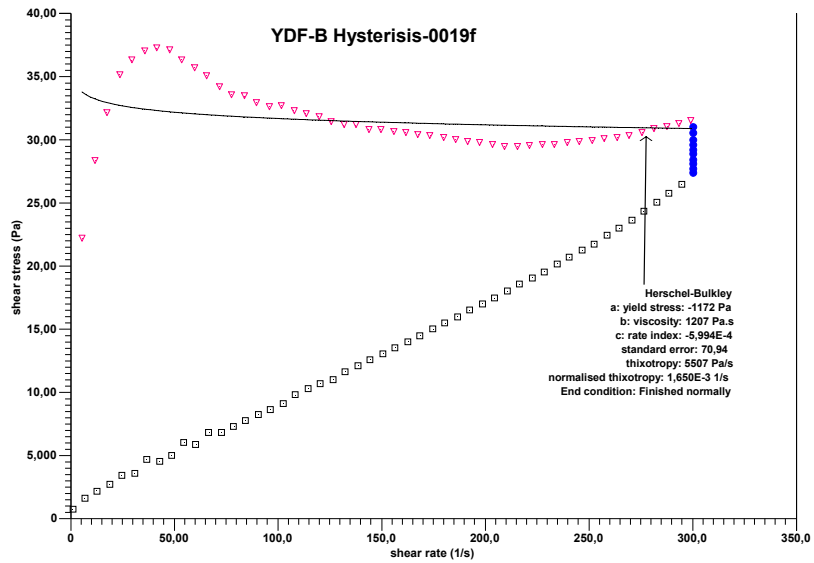


Figure VI.25 : Courbe d'Hystérésis de YB

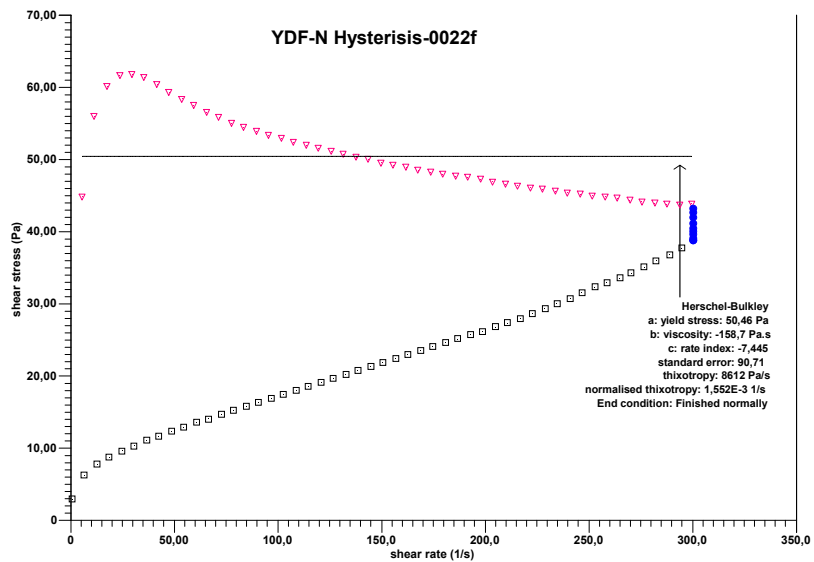


Figure VI.26 : Courbe d'Hystérésis de YN

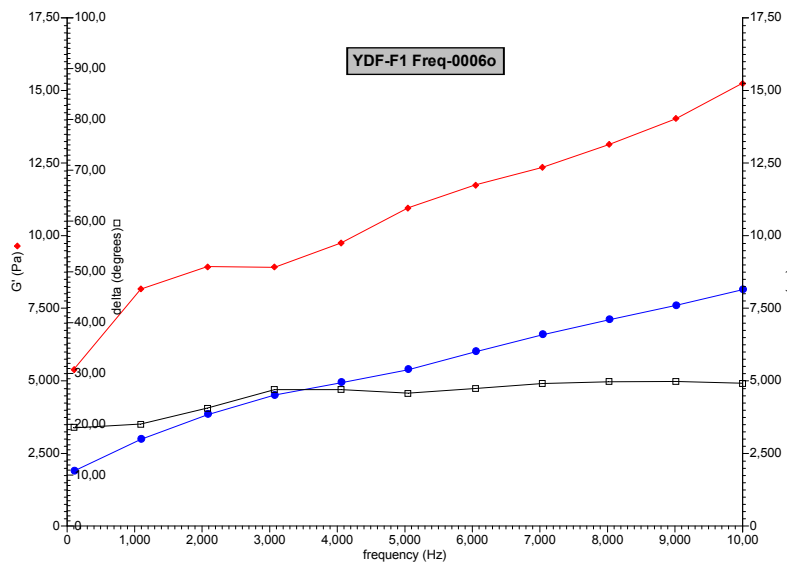


Figure VI.27 : Variation de G' , G'' et delta de YF en fonction de la fréquence d'oscillation

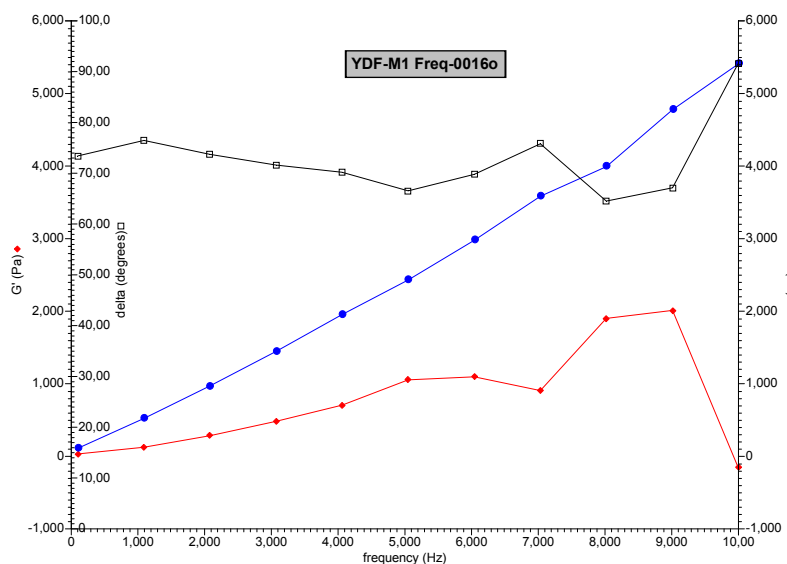


Figure VI.28 : Variation de G' , G'' et delta de YM en fonction de la fréquence d'oscillation

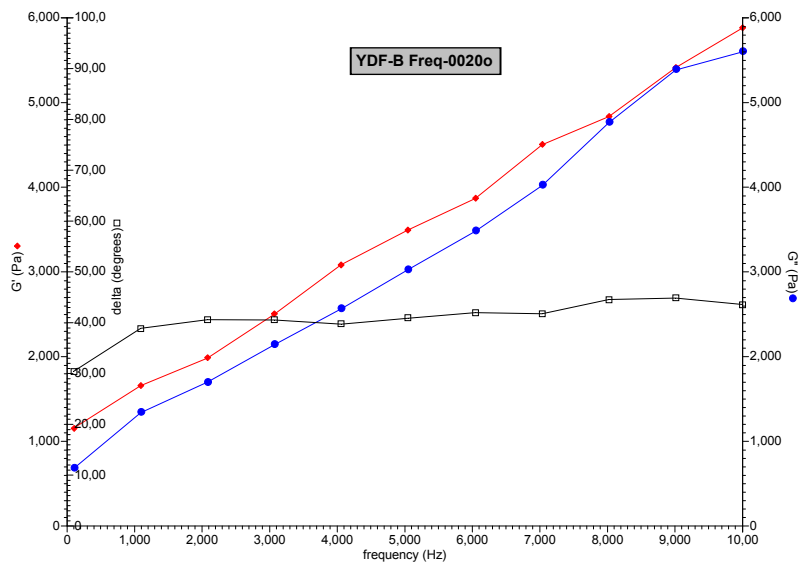


Figure VI.29 : Variation de G' , G'' et delta de YB en fonction de la fréquence d'oscillation

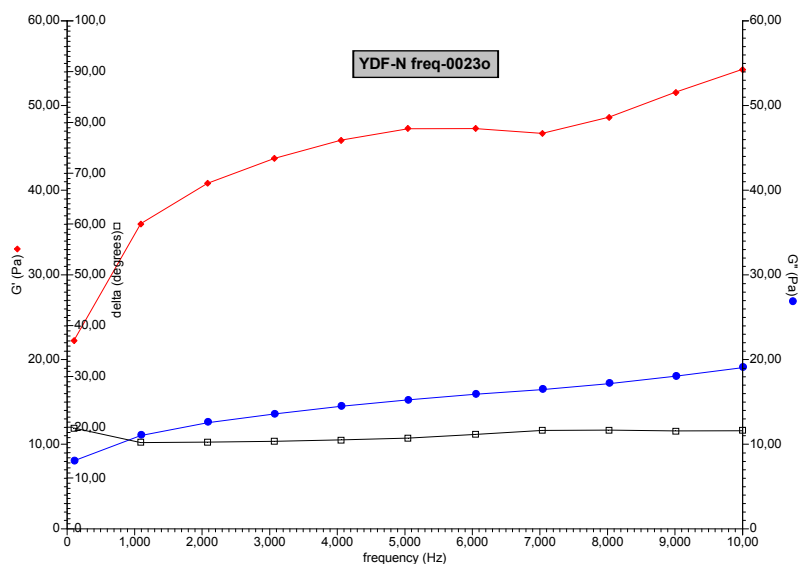


Figure VI.30 : Variation de G' , G'' et delta de YN en fonction de la fréquence d'oscillation

IV.2.3 Analyse sensorielle (Test de dégustation)

Le panel est constitué de 10 sujets, membres du personnel du laboratoire LFB (deux femmes et huit hommes, âgés de 30 à 50 ans), recrutés selon leur motivation et leur disponibilité pour participer à l'étude. Les résultats du test de dégustation des trois yaourts additionnés de poudres de dattes des trois cultivars (Mech-Degla, Degla-Beida, Frezza) sont donnés dans le tableau VI.26.

Tableau VI.26: Les notes des dégustateurs

Produit	Notes de dégustateurs									
	Dégustateurs									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
YM	4	5	4	3	4	5	3	3	3	3
YF	2	4	3	2	2	3	4	2	4	5
YB	3	3	2	1	3	4	2	1	2	4

Les notes sont transformées en rang dans le tableau VI.27.

Tableau VI.27: Transformation des notes en rangs

Produit	Les notes de dégustateurs										Somme des rangs
	Dégustateurs										
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
YM	1	1	1	1	1	1	2	1	2	3	14
YF	3	2	2	2	3	3	1	2	1	1	19
YB	2	3	3	3	2	2	3	3	3	2	27
ΣR	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	60

Vérification :

$$\text{La somme des rangs } R = \frac{n(n+1)}{2}$$

$$n = 3 \text{ (nombre d'échantillon)} \Rightarrow R = \frac{3 \cdot (3+1)}{2} = 6$$

$$\text{La somme des sommes des rangs } \sum R = \frac{M \cdot n \cdot (n+1)}{2}$$

Où M : nombre des dégustateurs

$$\sum R = \frac{10 \cdot 3 \cdot (3+1)}{2} = 60$$

Dans le tableau statistique, les valeurs critiques des rangs pour $n=3$, $M=10$ sont entre [15-25] Puisque $14 < 15$, l'échantillon de YM est le meilleur parmi les autres, et $27 > 25$ donc l'échantillon de YB diffère des autres, donc est le plus mauvais. L'échantillon YF pour sa part, est classé le deuxième puisque sa somme des rangs est de 19. Elle se situe dans l'intervalle [15-25].

Le classement des 3 échantillons est le suivant : YM, YF, YB.

IV.2.3 Analyse microbiologique

Le tableau VI.28 résume l'ensemble des résultats de l'analyse microbiologique effectuée sur les quatre yaourts ainsi préparés.

Tableau VI.28 : Résultats des analyses microbiologiques

Yaourts Germes recherchés	YN	YM	YB	YF	Normes
Coliformes totaux	0	0	0	0	10/g
Coliformes fécaux	0	0	0	0	1/g
<i>Staphylococcus aureus</i>	0	0	0	0	10/g
Levures	10	70	30	40	10^2 /g
Moisissures	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence/g
<i>Salmonella</i>	Abs	Abs	Abs	Abs	Absence/25g
Flore lactique	$2.28 \cdot 10^7$	$2.58 \cdot 10^7$	$2.37 \cdot 10^7$	$2.44 \cdot 10^7$	$\geq 10^7$

Les résultats des analyses microbiologiques des quatre yaourts (YN, YM, YB et YF) montrent clairement leur parfaite conformité aux normes (tableau V.28).

Les résultats concernant la flore lactique (*Lactobacillus bulgaricus* et *Streptococcus thermophilus*) sont aussi conformes aux normes. La culture de cette flore est très satisfaisante dans le cas des yaourts à base de farines de dattes suivi de yaourt nature. Ceci peut s'expliquer par la composition du milieu (les yaourts à base de farines de dattes étant plus riches en nutriments (tableau VI.21)).

Conclusion

Ce travail vise à la fois la sauvegarde du patrimoine phylogénétique du sud algérien et l'élaboration d'une formulation alimentaire de type biologique à forte valeur ajoutée.

Le palmier dattier est pour les populations du Sahara ce que l'olivier est pour les méditerranéens : une source d'un fruit providentiel.

Aujourd'hui, une multitude de variétés de dattes dites communes sont utilisées comme aliment de bétail quand elles ne sont tout simplement pas abandonnées.

Les dattes des variétés sèches, improprement appelées « dattes communes » sont des dattes de texture farineuse qui durcissent sur l'arbre. Ceci est le cas des variétés Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza (Deglet Nour sèche), matériel végétal de la présente étude. Ces dattes ont une valeur réelle justifie dans une certaine mesure le choix du thème.

Contrairement à tous les travaux consacrés aux dattes, il nous a paru intéressant de parler distinctement de tissu pigmenté et de tissu blanc s'agissant du mésocarpe et de l'endocarpe respectivement. La finalité étant de détecter d'éventuelles différences du point de vue, aussi bien composition proprement dite qu'aptitude technologique (séchage notamment).

Le présent travail a montré que la valorisation des dattes sèches en général et de Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza en particulier, en vue de leur éventuelle transformation en poudre après séchage sous vide est possible. Le traitement appliqué ici peut être considéré comme un traitement d'appoint vu la texture naturellement sèche du fruit. Le but de l'opération (ramener la teneur en eau de 15 à 5g/100g de matière sèche, valeur caractéristique des poudres de fruits a été atteint.

Les poudres de dattes obtenues ont été utilisées avantageusement dans un produit laitier puisque les objectifs fixés dans le cadre de problématique posée ont abouti:

- substitution du sucre cristallisé dans le yaourt élaboré sachant qu'environ 70 % de matière sèche des dattes sont des sucres ;
- substitution des arômes artificiels ;
- utilisation de la poudre de dattes comme agent de texture ;
- enrichissement des trois yaourts formulés par les différents nutriments des dattes : minéraux dont Fe et Mg, vitamines dont celles du groupe B, acides aminés essentiels et polyphénols).

L'intérêt des consommateurs pour des produits allégés en matière grasse et en sucres a suscité l'utilisation abusive d'ingrédients tels que les édulcorants, les sucres d'origine naturel, les agents de texture, les épaississants ou encore les gélifiants. De plus, la formulation de nouveaux aliments reste à ce jour empirique.

Les résultats des propriétés morphologiques et physicochimiques (masse volumique, épaisseurs, couleur...) des deux tissus blanc et pigmenté des dattes étudiées sont intéressants. Le poids moyen de la datte entière pour les trois variétés varie entre 6 et 7 g, celui de la pulpe allant de 5 à 5,6 g. Le rapport pulpe/noyau le plus élevé revient au cultivar Frezza et le plus faible à Degla-Beïda. Une datte est dite par ailleurs de qualité physique acceptable quand elle présente:

- Un poids supérieur ou égal à 6 g ;
- Le poids de la pulpe supérieur ou égal à 5 g ;

L'analyse de l'aptitude au séchage des trois variétés, dans la perspective de leur transformation en poudres alimentaires, donne des résultats intéressants : leurs teneurs en eau sont ramenées à environ 5 % de la masse sèche sans caramélisation apparente alors que l'aspect naturel de la couche externe des fruits (allant du jaune pale au brun foncé) les prédispose au brunissement. Comme souligné précédemment, une observation visuelle d'une coupe du fruit révèle, contrairement à la description habituelle, l'endocarpe ne constitue pas une couche fine blanche mais une masse charnue d'épaisseur équivalente au mésocarpe coloré proprement dite.

Comme application technologique, ces propriétés peuvent être exploitées pour éventuellement séparer la poudre de datte, obtenue après séchage, en deux types de produit finis (poudre plus ou moins caramélisée et poudre blanche).

Les dattes étudiées sont des variétés sèches car présentant des teneurs en eau $\ll 26$ %. Les teneurs en eau dans les deux parties comestibles (telles que définies précédemment) ne sont pas statistiquement différentes.

On note que la Mech-Degla a un pH nettement supérieur (5,72) à celui de Degla-Beïda et Frezza qui sont pratiquement identiques.

Globalement, la teneur en pectine des trois variétés varie entre 0,15 et 0,27 %. Concernant les deux tissus, on constate que le tissu blanc est le plus riche en pectine.

Les sucres sont les constituants les plus importants dans la datte (63,8 % matière fraîche). Ils sont également responsables de la douceur de l'aliment.

Les trois variétés de dattes sont aussi riches en minéraux : 249,49-286,22 (Ca), 1,79-2,54 (Mg) et 0,99-2,84 mg/100 g (MS) (Fe).

Le taux en polyphénols est élevé dans la variété Mech-Degla (1,974 % EAG ~ 19,73mg/g) comparativement à Degla-Beïda (1,547 %) et Freizza (0,827 %).

Rappelons que les polyphénols sont connus pour leurs vertus biologiques (pouvoir antioxydant...) et suscitent un intérêt grandissant quant à la substitution des antioxydants de synthèse par des extraits naturels des plantes dans les produits alimentaires.

L'activité antioxydante des extraits méthanoliques des pulpes des trois variétés est de 61,82 % pour Mech-Degla, 61,56 % pour Degla-Beïda et 61,61 % pour Frezza. Elle est équivalente à celles du BHA (63,6 %) et BHT (63,33 %).

La déshydratation est considérée dans notre cas, rappelons le, comme une opération d'appoint en vue de réduire la teneur en eau du fruit d'environ 15 à 5 % en moyenne. La modélisation du processus de séchage qui est un outil de prédiction du comportement au séchage a été effectuée ce qui facilite une meilleure compréhension des mécanismes qui y ont eu lieu. Les résultats obtenus montrent que les valeurs élevées de R^2 et les faibles valeurs de EMR se rapportent au modèle de Henderson et Pabis, en particulier dans le cas de la variété Mech-Degla et Frezza. Par contre, dans le cas des deux tissus des trois variétés, les deux modèles décrivent bien leurs cinétiques de séchage.

Le modèle de Henderson et Pabis est utilisé pour estimer le coefficient de diffusivité (D) de chaque variété et chaque tissu. Les valeurs de D mesurées pour tous les échantillons sont comprises entre $2,10^{-9}$ et $48,10^{-9}$ m²/s. La partie blanche de la pulpe montre une plus grande valeur de D pour les trois variétés de dattes étudiées, à savoir : $D_{\text{partie blanche}} > 2 D_{\text{partie pigmentée}}$ à 60°C ; $D_{\text{partie blanche}} > 4 D_{\text{partie pigmentée}}$ à 80°C. Le coefficient D , en général augmente avec l'augmentation de la température. La faible valeur de D est obtenue à 60 et à 100°C. L'énergie d'activation E_a de Mech_Degla (20,78 KJ/mol) est supérieure à celles de Frezza(16,63 KJ/mol) et Degla-Beïda (12,88 KJ/mol). Le tissu pigmenté des deux variétés de dattes Frezza et Degla-Beïda possède une énergie d'activation plus grande que celle du tissu blanc. L'effet contraire est observé pour le cultivar Mech-Degla.

En ce qui concerne la variation de la couleur des poudres obtenues, deux points nous paraissent importants à souligner :

1) l'analyse instrumentale confirme les observations visuelles (absence de caramélisation) pour les trois températures de séchage choisies : les indices de couleur (L^* , a^* , b^*) ne dépassent pas les valeurs critiques de références (obtenues par séchage intense de sorte à accentuer la caramélisation) ;

2) La différence de couleur totale critique (TDC_{cr}) varie dans le sens décroissant suivant : TDC_{Frezza} (26,51) > $TDC_{Mech-Degla}$ (13,55) > $TDC_{Degla-Beïda}$ (8,23).

On peut dire que l'addition des poudres de dattes des trois cultivars (Mech-Degla, Degla-Beïda et Frezza) dans le yaourt en tant que substituant du sucre cristallisé, nous a permis d'obtenir des yaourts enrichis en minéraux (Ca, Na, K, Mg, Zn, et surtout le Fe et le Mn), en protéines, en matière grasse, et en solides totaux.

Les yaourts acquièrent une couleur beige à beige claire caractéristique. La plus intense toutefois correspond à celle du yaourt additionné de la poudre de la Mech-Degla.

Le yaourt nature présente une force de gel plus importante (0,164 N) comparativement aux yaourts aux fruits étudiés. Le yaourt additionné de la Mech-Degla est celui qui s'en rapproche le plus (0,155 N).

Du point de vue rhéologique, les trois yaourts (y compris le yaourt nature) peuvent être considérés comme des fluides rheofluidifiants (non Newtonien ou pseudoplastiques) et le modèle d'Herschel Bulkley décrit bien leur comportement. De plus, il convient de souligner que la thixotropie dans le cas des yaourts aux dattes est faible par rapport au yaourt nature.

Le test dynamique révèle que les valeurs des modules de conservation (G') et de perte (G'') ainsi que l'angle delta dépendent de la gamme de fréquence et du comportement du milieu : $G' > G''$ (comportement semi-solide) dans le cas de YN, YB et YF et $G'' > G'$ (comportement liquide) dans le cas de YM. Un évènement de croisement entre G' et G'' a été détecté pour YB et pas pour YN, YF et YM. Les valeurs de G' et G'' sont importantes dans le cas de YN, ensuite YF et YB. Par contre, elles sont très faibles pour YM. Les valeurs de delta elles sont importantes dans YM ($\delta \approx 90^\circ$), YB ($\delta \approx 40^\circ$) et moins importantes pour YN ($\delta \approx 28^\circ$) et YF ($\delta \approx 19^\circ$).

Le test de dégustation (test de classement) permet de faire ressortir le classement de préférence suivant : en premier lieu YM, suivi de YF et le dernier est YB.

Les résultats des analyses microbiologiques des quatre yaourts (YN, YM, YB et YF) montrent clairement leur parfaite conformité aux normes. La culture de la flore lactique est très satisfaisante dans le cas des yaourts à base de farines de dattes comparés au yaourt nature.

Il est donc possible de produire un yaourt sucré, aromatisé et coloré de type fonctionnel et à forte valeur ajoutée par utilisation de la poudre de dattes comme ingrédient naturel. Les trois variétés étudiées, connues pour leur disponibilité et leur faible valeur marchande conviennent à cette formulation.

Comme complément à la présente étude, les points suivants nous semblent pertinents :

- étude clinique de confirmation du caractère fonctionnel du yaourt naturel aux poudres de dattes ;
- étude économique ;
- généralisation de l'étude aux autres variétés ;
- possibilité de combinaison des différentes poudres ;
- les autres utilisations possibles des poudres (substrat de fermentation, boulangerie, pastillage etc.) ;
- extraction des substances gélifiantes et caractérisation (pectines, leurs types : degré de méthylation, pouvoir gélifiant, pouvoir de fixation des métaux lourds etc.) ;
- étude comparative des autres modes de séchage ;
- analyse des isothermes de sorption des poudres obtenues ;
- identification des isomères optiques de l'acide lactique.

Références Bibliographiques

- Aardes, S., 1970. Tables de composition des aliments Algériens.
- Abbasi, S., Azari, S. 2007. Novel freeze drying of onion slices using microwaves. In Evangelos Lasos (Ed), *proceeding of the 5th international congress on food technology*, volume I, Alexander Technological Educational, Institution of Thessaloniki (Sindos), Faculty of Food Technology and Nutrition, Thessaloniki, Greece.54-61
- Abdelfetah, K., 1989. Quelques aspects de l'économie dattière en Tunisie. Communication présentée au séminaire sur " Les systèmes agricoles oasiens ". *Les cahiers de la recherche développement*, N° 22, 44-56.
- Acourene, S., Tama, M., 1997. Caractérisation physicochimique des principaux cultivars de datte de la région des Zibans. *Recherche Agronomique*, N° 1. Ed. INRAA, 59-66.
- Acourene, S., Buelguedj, M., Tama, M., Taleb, B., 2001. Caractérisation, évaluation de la qualité de la datte et identification des cultivars rares de palmier dattier de la région des Zibans. *Recherche Agronomique*, N° 8. Ed. INRAA, 19-39.
- Afonso, I. M., Hes, L., Maia, J. M., Melo, L.F. 2003. Heat transfer and rheologie of stirred yoghurt during cooling in plate heat exchangers. *Journal of Food Engineering*, 57, 179-187.
- AFNOR ., 1982. Recueil de normes françaises des produits dérivés des fruits et légumes, jus de fruits. Ed. AFNOR, 325 p.
- Ahmad, I.A., Ahmed, A.W.K., Robinson, R.K., 1995. Chemical composition of date varieties as influenced by the stage of ripening. *Food Chemistry*, 54, 305-309.
- Ait Aneur, L., 2001. Analyse du processus de diffusion des sucres, des acides organiques et de l'acide ascorbique dans le système : Mech-Degla/Jus de citron. Mémoire de magister. Département de technologie alimentaire. Boumerdes, 80 p.
- Albagnac, G., Varoquaux, P., Montigaud, J. C. 2002. Technologies de transformation des fruits. Collection sciences et techniques agroalimentaires. Ed Tec et Doc, Paris, 498 p.
- Albert L., 1998. La santé par les fruits. Ed. VEECHI, 44-74.

- Al-Farsi, M., Alasalvar, C., Morris, A., Baron, M., Shahidi, F. 2005.** Comparison of antioxidant activity, anthocyanins, caroténoids, and phenolics of three native fresh and sun-dried date (*Phoenix dactylifera L.*) Varieties grown in Oman. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 7592-7599.
- Al-Farsi, M., Alasalvar, C., Al-Abid, M., Al-Shoaily, K., Al-Amry, M., Al-Rawahy, F. 2007.** Composition and functional characteristics of dates, syrop, and by-products. *Food Chemistry*, Article in Press.
- Al-Hooti, S., Sidhu, J.S., Al-Saqer, J.M., Al-Othman, A. 2002.** Chemical composition and quality of date syrup as affected by pectinase/cellulase enzyme treatment. *Food Chemistry*, 79, 215-220.
- Al-Hooti, S., Sidhu, J.S., Qabazard, H., 1997.** Physiochemical Characteristics of five date fruit cultivars grown in the United Arab Emirates. *Plant Food for Human Nutrition*, 50, 101-113.
- Al-Shahib, W., Marshall, R.J., 2002.** Dietary fibre content of dates from 13 varieties of date palm *Phoenix dactylifera L.* *International Journal of Food Science and Technology*, 37, 719-721.
- Al-Shahib, W., Marshall, R. J., 2003.** The fruit of the date palm: its possible use as the best food for the future. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 54,247-259. [Abstract].
- Amice-Quemeneur, N., Haluk, J. P., Hardy, J., Kratchenko, T. P. 1995.** Influence of the acidification process on the colloidal stability of acidic milk drinks prepared from reconstituted non fat milk. *Journal of Dairy Science*, 78, 2683-2690.
- Anonyme, 2002.** Statistiques agricoles : Superficies et productions. Ministère de l'agriculture et du développement rural. Série A, 5-6.
- Babalís, S.J. et Belessiotis, V.G. 2004.** Influence of drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. *Journal of Food Engineering*, 65, 449-458.
- Bahorun, T., Gressier, B., Trotin, F., Brunet, C., Dine, T., Luyckx, M., Vasseur, J., Cazin, M., Cazin, J.C., Pinkas, M. 1996.** Oxygen species scavenging activity of phenolic extracts from hawthorn fresh plant organs and pharmaceutical preparations *Arzneimittel Forshing*. 46 (11), 1086-1089.
- Bals, A. et Kessler, H. G. 1999.** Continuous processing of foamed products. *Deutsche-Milchwirtschaft*, 50(4), 137-139.

- Barrantes, E., Tamime, A. Y., Sword, A. M., Muir, D. D., Kalab, M. 1996.** The manufacture of set-type natural yoghurt containing différent oil. 2. Rheological properties and microstructure. *International Dairy Journal*, 6, 827-837.
- Barreveled, W.H., 1993.** Date Palm Products. FAO, Agricultural services, Bulletin N° 101, Rome.
- Baudez, J. C., 2001.** Rhéologie et physicochimie des boues résiduairees pâteuses pour l'étude du stockage et de l'épandage. Thèse de doctorat, spécialité sciences de l'environnement, Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts (ENGREF), Paris, 236 p.
- Benamara, S., Chibane, H., Boukhelifa, M., 2004.** Essai de formulation d'un yaourt naturel aux dattes. *Industries Alimentaires et Agricoles IAA*. Actualités techniques et scientifiques, N° ½ mensuel, 11-14.
- Benamara S, Gougam H, Amellal H, Amrane D, Benahmed A, Noui Y. 2008.** Some technologic proprieties of common date (*Phoenix dactylifera L.*) fruits. *American Journal of Food Technoogy*; 3(2): 79-88.
- Benchabane, A., 1996.** Rapport de synthèse de l'atelier "Technologie et qualité de la datte". In Options méditerranéennes, série A, N° 28. Séminaires méditerranéens. Ed. IAM, Zaragoza, Spain, 205-210.
- Biliaderis, C. G., Khan, M. M., Blank, G. 1992.** Rheological and sensory properties of yoghurt from skim milk and ultra-filtred retentates. *International Dairy Journal*, 2, 311-323.
- Bimbenet, J.J., Duquenoy, A., Trystram, G. 2002.** Séchage, cuisson extrusion. In :In RIA, Ed. Dunod. *Génie des procédés alimentaires*. Paris, 554p.
- Block, G. et Langsteh, L., 1994.** Antioxydants vitamins and disease prevention. *Food Technol*, 80-84.
- Block, G., 1992.** A role for antioxydants in reducing cancer risk. *Nut.Rev*, 50, 207-213.
- Bocquet, J., 1982.** Généralités sur les microorganismes, Ed Tec et Doc Lavoisier, Paris, 11-46
- Booij, I., Piombo, G., Risterucci, J.M., Coupe, M., Thomas, D., Ferry, M., 1992.** Etude de la composition chimique de dattes à différents stades de maturité pour la caractérisation variétale de divers cultivars de palmier dattier (*Phoenix dactylifera L.*). *Fruits*, 47 (6), 667-678.
- Boudier, J. F. 1990.** Produits frais. In laits et produits laitier. Vache - Brebis- Chèvre. Luquet, F. M. (Eds) Technique et Documentation, Lavoisier, Paris, 35-66.

- Boudries, H., Kefalas, P., Hornero-Méndez, D., 2006.** Carotenoid composition of Algerian date varieties (*Phoenix dactylifera*) at different edible maturation stages. *Food Chemistry*101, 1372-1377.
- Boughnou, N., 1988.** Essai de production de vinaigre à partir de déchets de dattes. Thèse magister, INA. El Harrach, Alger, 82 p.
- Bouguedoura, N., 1991.** Connaissance de la morphogenèse du palmier dattier. Etude in situ et in vitro du développement morphogénétique des appareils végétatifs et reproducteurs. Thèse de Doctorat. U.S.T.H.B. Alger, 201 p.
- Boulekbache, L., 2005.** Profil GC-MS des polyphénols d'une plante médicinale : *Eucalyptus globulus*. Mémoire Magister. Département de biologie physico-chimique. Béjaïa, 71 p.
- Bourgeois, C.M., Mescle, J.F., Zucca, J., 1996.** Microbiologie alimentaire. Tome I : Aspect microbiologie de la sécurité et de la qualité des aliments. Ed.Tech et Doc-Lavoisier, Paris, 650 p.
- Bourgeois, C., 2003.** Les vitamines dans les industries agroalimentaires. Ed. Tech et Doc-Lavoisier, Paris, 483 p.
- Bouriot, S., Garnier, C., Doublier, J. L. 1999.** Phase separation, rheology and microstructure of micellar casein-guar gum mixtures. *Food Hydrocolloids*, 13, 43-49.
- Bourne, M. C. 2002.** Food texture and viscosity : Concept and measurement. *New York :Academic Press*, 78 p.
- Branen, A.L., Davidson, P.M., Katz, B., 1980.** Antimicrobial properties of phenolics antioxydants and lipids. *Food Technol*, 42-63.
- Brissonnet, F., Bouix, M., Loiseau, G., Russel, A., Leveau, Y. 1994.** Le stress bactérien et ses conséquences en génie de l'hygiène IAA n°3, 106-114.
- Brooker, D.B., Bakker-Arkema, F.W., Hall, C.W. 1992.** Drying and storage of grains and oilseeds (1st ed.), Van Nostrand Reinhold: New York.
- Buelguedj, M., 2001.** Caractéristiques des cultivars de dattes dans les palmeraies du Sud-Est Algérien, N° 11, INRAA. El-Harrach, Alger, 289 p.
- Buelguedj, M., 1996.** Caractéristiques des cultivars de dattiers du Sud-Est du Sahara algérien. Vol I. Conception et réalisation : Filière "Cultures pérennes" de l'ITDAS, 67 p.
- Butler, F. et McNulty, P. 1995.** Time dependent rheological characterisation of buttermilk at 5°C. *Journal of food Engineering*, 25(4), 569-580.

- Buttriss, J. 1997.** Nutritional properties of fermented milk products. *International Journal of Dairy Technology*, 50, 21-27.
- Cayot, P., Lorient, D. 1998.** La micelle de caséine. *In Structures et technofonctions des protéines du lait*. Cayot, P. & Lorient, D. (Eds), Technique et Documentation, Lavoisier, Paris, 51-79.
- Cayot, P., Fairise, J.F., Colas, B., Lorient, D., Brile, G. 2003.** The improvement of rheological properties of firm acid gels by skim milk heating is conserving after stirring. *Journal of Dairy research*, 70(4), 423-431.
- Celik, S. et Bakirci, I. 2003.** Some properties of yogurt produced by adding mulberry pekmez (concentrated juice). *International Journal of Dairy Technology*, 56(1), 26-29.
- Cerning, J., Buillanne, C., Landon, M. 1990.** Comparaison of exocellular polysaccharide production by thermophilic lactic acid bacteria. *Science des aliments*, 10, 443-451.
- Cheftel J. et Cheftel C. 1977.** Introduction à la biochimie et à la technologie des aliments. Vol I, 4^{ème} tirage. Ed. Tech et Doc-Lavoisier, Paris, 367 p.
- Chopra, R. et Gandhi, D. N. 1990.** Effect of stabilizers on the control of whey separation in fermented beverages prepared from sweet cream buttermilk. *Journal of Food Science and Technology*, 27(3), 182-183.
- Ciešlik, E., Greda, A., Adamus, W., 2006.** Contents of polyphenols in fruit and vegetables. *Food Chemistry*, 94, 135-142.
- Crank, J. 1975.** The mathematics of diffusion (2nd ed). Oxford, UK: Clarendon Press.
- Cuvelier, M., Richard, H., Bercet, C., 1992.** Comparison of the antioxydant activity of some acid-phenols: Structure-activity relationships. *Bioscience, Biotechnology and Biochemistry*, 56, 324-325.
- Danneberg, F. et Kessler, H. G. 1988.** Effect of denaturation of β lactoglobulin on texture properties of set-style non fat yoghurt. Firmness and flow properties. *Milchwissenschaft*, 43(11), 700-704.
- Decourcelle, N., Lubbers, S., Vallet, N. 2004.** Effect of thickeners and sweeteners on the release of blended aroma compounds in fat free stirred yoghurt during shear conditions. *International Dairy Journal*, 14, 783-789.
- De la Fuente, M. A., Montes, F., Guerrero, G., Juarez, M. 2003.** Analytical, Nutritional and Clinical Methods, Total and soluble contents of calcium, magnésium, phosphorus and zinc in

yoghurts. *Food Chemistry*, 80, 573-578.

-De Lorenzi, L., Pricl, S., Torriano, G. 1995. Rheologie behaviour of low-fat and full-fat stirred yoghurt. *International Dairy Journal*, 5, 661-671.

-Dello Staffolo, M., Bertola, N., Martino, M., Bevilacqua, Y. A. 2004. Influence of dietary fiber additin on sensory rheological properties of yoghurt. *International Dairy Journal*, 14, 263-268.

-Djerbi, M., 1994. Précis de phoéniculture. FAO, 192 p.

-Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., Vidal N., 2006. Antioxydant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolics coumpounds. *Food Chemistry*, 97, 654-660.

-Djouab, A., 2007. Essai de formulation d'une margarine allégée à base d'un extrait de dates Mech-degla. Thèse de Magister, spécialité génie alimentaire, Université de Boumerdès. 102 p

-Doi, H., Indeno, S., Ibuki, F., Kanamori, M. 1983. Participation of hydrophobic bond in complex formation between α casein and β lactaglobulin. *Agricultura and Biological Chemistry*, 417, 407-403.

-Dowson, W. H. et Aten, B. 1963. Récolte et conditionnement des dattes, Ed FAO, 334p.

-Doymaz, I. 2004. Convective air drying characteristics of thin layer carrots. *Journal of Food Engineering*, 61, 359-364.

-Doymaz, I. 2005. Drying characteristics and kinetics of okra. *Journal of Food Engineering*, 69, 275-279

-Drouzas, A.E., Tsami, E., Saravacos, G.D. 1999. Microwave/vacuum drying of model fruit gels. *Journal of Food Engineering*, 39, 117-122.

-Dupin, H., Cuq, J.L., Malewiak, M.I., Rouaud, C.L., Berthier, A.M., 1992. Alimentation et nutrition humaines. Ed. ESF, Paris, 1533 p.

-ElHabiri, M., 1997. Thèse Doctorale. www.membres.lycos.fr/mourad/

-El Nakhal, H., El Sharawy, M. I., Messalem, A.S. 1987. "Amarheep" a new product from dates ('tmar) with hight protein content, *The date palm Tournal*, FAO, Vol. 5 (1), 92-106.

-El Sayed, E. M., Abd El Gawad, I. A., Murad, H. A., Salah, S.H. 2002. Utilization of laboratory-produced xanthan gum in the manufacture of yogurt and soy yogurt. *European food Research and Technology*, 215,289-304.

- Espiard, E., 2002.** Introduction à la transformation industrielle des fruits. Ed. Tech et Doc-Lavoisier, 360 p.
- Estanove, P., 1990.** Note technique : Valorisation de la datte. In Options méditerranéennes, série A, N°11. Systèmes agricoles oasiens. Ed. CIHEAM, 301-318.
- Euber, J.R. et Brunner, J.R. 1982.** Interaction of κ casein with immobilised β lactoglobulin. *Journal of Dairy Science*, 65, 2384-2387.
- Everett, D. W., McLeod, R. E. 2005.** Interactions of polysaccharide stabilisers with casein aggregates in stirred skim-milk yoghurt. *Intrnationa Dairy Journal*, 15, 1175-1183.
- Falade, K.O. et Abbo, E.S. 2007** Air-drying and rehydration characteristics of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) fruits. *Journal of Food Engineering*, 79 (2), 724-730.
- Farkas O., Jakus J., Héberger K., 2004.** Quantitative Structure – Antioxidant Activity Relationships of Flavonoid Compounds. *Molecules* 2004, 9, 1079-1088.
- Farkey, N., Y., Imafidon, G. I. 1995.** Thermal denaturation of indigenous milk enzymes. In Heat-induced changes in milk. Deuxieme édition. Fox, P. H. (Eds), International Dairy Federation, Brussels, 331-345.
- Favier, J.C., Ireland, R.J., Toque, C., Feinberg, M., 1995.** Répertoire général des aliments. Table de composition. Ed. Tec et Doc-Lavoisier, INRA Editions, CNEVA et CIQUAL, 897 p.
- Favier, J.C., Ireland, R.J., Laussucq, C., Feinberg, M., 1993.** Répertoire général des aliments. Table de composition des fruits exotiques, fruits de cueillette d’Afrique. Tome III, Ed. ORSTOM Edition, Lavoisier, INRA Editons, 27-28.
- Favier, A.1993.**Current aspect about the role of zinc in nutrition. *Revue Pratique*, 43: 146-151.
- Feldman, M. 1976.** Taxonomie classification and names of wild, cul and moderne cultivated wheats. Evolution of plants. Longman, London, 120-128.
- Fethi, H. A. et El Kohtani, M. N. 1979.** Production de dattes dans le monde arabe et islamique, Université Ain Chems, 533-541.
- Fernandes, A. M., Oliviera, C. A. F., Lima, C. G. 2007.** Effects of somatic cell counts in milk on physical characteristics of yoghurt. *International Dairy Journal*, 17, 111-115.
- Fizman, S. M., Lluch, M. A., Salvador, A. 1999.** Effect of addition of gelatine on microstructure of acidic milk gels and yoghurt and on their rheological properties. *International Dairy Journal*, 9, 895-901.

- Fleury, AR., Funk, D. F., Patel, M. T., Vala, W. D. 1999.** Calcium fortified yoghurt. In: Gaucheron F. 2004. Ménéraux et produits laitiers (ed). Edition Lavoisier, Paris, 923p.
- Flinger, K., Lindamood, JB., Hansen, P. M. T.1988.**Fortification of low fat plain yoghurt with calcium gluconate. *Cult Dairy Prod J*, 23:5-9.
- Garcia Martinez, M., Sanchez Segarra, P. J., Gordillo Otero, M. J.,Amaro Lopez, M. A., Moreno-Rojas, R. 1998.** Valoracion nutricional de la composicion mineral de yogures enteros aromati-zados. *Alimentaria*, 297, 73-76
- Gatel, R. 1982.** L'aliment à humidité intermédiaire concept fondamental et fiction scientifique, *APRIA*, 39-50.
- Giddey, C. 1982.** Les produits à humidité intermédiaire. Cas particulier du problème de la conservation des produits à humidité intermédiaire. *APRIA*, 21-28.
- Gilles, P., 2000.** Cultiver le palmier dattier .Ed. CIRAS, 110 p.
- Girard, J., 1965.** L'évolution de la datte au cours de sa croissance et sa maturation. Compte rendu des travaux de recherches effectuées à la station d'El-Arfiane.
- Godon B., Loisel W., 1984.** Guide pratique d'analyse dans les industries des céréales. Tome I. Ed. Tech et Doc-Lavoisier, 275-276.
- Gonzalez-Miret Martin, M.L.; Ji, W.; Luo, R.; Hutchings, J.; Heredia, F.J. 2007.** Measuring colour appearance of red wines. *Food Quality and Preference*, 18, 862-871.
- Graille, J., 2003.** Lipides et corps gras alimentaires. Ed.Tec et Doc-Lavoisier, 389 p.
- Gualtieri, M., Rapaccini, S., 1994.** Date stones in broiler's feeding. In *Technologie de la datte*. Ed. GRIDAO, 35 p.
- Guirand, J. et Galzy, P. 1988.** L'analyse microbiologique dans les industries alimentaire, Ed l'usine nouvelle, 70-72.
- Guo, C., Yang, J., Wei, J., Li Y., Xu, J., Jiang, Y., 2003.** Antioxydant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay. *Nutrition Reseach*, 23,1719-1726.
- Gupta, P., Ahmed, J., Shivhare, U. S., Raghavan, G. S. V 2002.** Drying characteristics of red chilli. *Drying Technology*, 20, 1975-1987.
- Greiner, D. 1998.** The market of date, product of revenue of the oases : in plays, diversity, tension. *Books Dryness*, Vol.9, N°23, 155-162

- Haddadi, H., 2005.** Détermination de l'activité antioxydante de quelques fruits. Mémoire de magister. Université de Béjaïa (FSNV), 76 p.
- Haddouch, M., 1996.** Situations actuelles et perspectives de développement du palmier dattier au Maroc. In Options méditerranéennes, série A, N° 28. Le palmier dattier dans l'agriculture d'oasis des pays méditerranéennes. Ed. IAM, Zaragoza, Spain, 63-79.
- Häkkinen S., 2000.** Flavonols and phenolic acids in berries and berry products. Thèse doctorale. KUOPIO. 93 p.
- Hanachi, S., Khitri, D., Benkhalifa, A., Brac de Perrière, R.A. 1998.** Inventaire variétal de la palmeraie algérienne. 225 p.
- Haque, A., Richardson, R. K., Morris, E. R. 2001.** Effect of fermentation temperature on rheology of set stirred yogurt. *Food Hydrocoloids*, 15, 593-602.
- Hashimoto, F., Ono, M., Masuoka, C., Ito, Y., Sakata, Y., Shimizu, K., Nonaka, G., Nishioka, I., Nohara, T., 2003.** Evaluation of the Anti-oxidative Effect (in vitro) of tea Polyphénols. *Biosci. Biotechnol Biochem*, 67 (2), 396-401.
- Hassan, A. N., Frank, J. F., Farmer, M. L., Schmidt, K. A., Shalabi, S.I. 1995.** Observation of encapsulated lactic acid bacteria using confocal scanninglaser microscopy. *Journal of Dairy Science*, 78, 2624- 2628.
- Hawalkar, V. R., Kalab, M. 1986.** Relationship between microstructure and susceptibility to syneresis in yoghurt made from reconstituted non fat dry milk. *Food microstructure*, 50, 486-491.
- Hayaloglu, A. A., Karabulut, I., Alpaslan, M., Kelbaliyev, G. 2007.** Mathematical modelling of drying characteristics of strained yoghurt in a convective type tray-dryer. *Journal of Food Engineering*, 78: 109-117.
- Hebbar, H.U. et Rastogi, N.K. 2001.** Mass transfer during infrared drying of cashew kernel. *Journal of Food Engineering*, 47, 1-5.
- Heertje, I., Visser, J., Smits, P. 1985.** Structure formation in acid milk gels. *Food Microstructure*, 4, 267-277.
- Hekmat, S., Mc Mahon, D. J. 1977.** Manufacture and quality of iro-fortified yoghurt. *J Dairy Sci*, 80: 3114-3122.
- Heller, R., Esnault, R., Lance, C., 1990.** Abréges de physiologie végétale. Tome I. Ed. MASSON, 4^{ème} édition, 76 p.

- Hellings, C., Somsen, D. J., Koenraads, J. P. J. M. 1986.** Viscosity of stirred yoghurt : modern techniques useful in analysing and improving routine measurements. *Netherlands Milk Dairy Journal*, 40, 217-240.
- Henderson, S. M. 1974.** Progress in developing the thin layer drying equation. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 17, 1167-1168.
- Henderson, S. M., Pabis, S. 1961.** Grain drying theory. II Temperature effects on drying coefficients. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 6, 169-174.
- Henk, J., Zwir, E., Rik, L., 2003.** Caroténoïdes et flavonoïdes contre le stress oxydatif. *Arômes Ingrédients Additifs*, N° 44, 42-45.
- Hess, S. J., Roberts, R. F., Ziegler, G. R. 1997.** Rheological properties of nonfat yogurt stabilized using *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus* producing exopolysaccharide or using commercial stabilizer systems. *Journal of Dairy Science*, 80, 252-263.
- Hill, A. R.1989.** The β lactoglobulin- κ casein complex. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 22, 120-123.
- Hirano, R., Hirano, M., Oooka, M., Hatanaka, K. 1998.** Effects of lactoperoxidase on gelation properties of yogurt. *Food Research International*, Volume, 31, N°1, 1-9.
- Hussein, F., 1970.** Fruit growth and composition of two dry date cultivars grown in Aswan. *Trop. Agri. Trin*, 47, 157-162.
- Holt, C. 1992.** Structure and stability of bovine casein micelle. *Adv Prot Chem*, 43, 63-151.
- Imad, A., Ahmed, A. W., Ahmed, K. 1995.**Chemical composition of date varieties as influenced by the stage of ripening. *Food Chemistry*.54, 305-309.
- Imhof, R., Glättli, H., Bosset, J. O. 1994.** Volatile organic aroma compounds produced by thermophilic and mesophilic mixed strain dairy starter cultures. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 27, 442-449.
- Jaccot, B., Campillo, B., 2003.** Nutrition humaine. Ed. MASSON, Paris, 311 p.
- Jassim A ., Hosahalli S.Ramawamy.2005.***Journal of Food Enginneering*.
- Jawalkar, S.D., Ingle, U.M., Waghmare, P. S., Zanjad, P. N.1993.** Influence of hydrocolloids on rheological and sensory properties of cow and buffalo milk yoghurt. *Indian Journal of Dairy Science*, 46(5), 217-219.

- Jayas, D.S., Cenkowski, S., Pabis, S., Muir, W.E. 1990.** Review of thin-layer drying and wetting equations. *Drying Technology*, 9, 551-558.
- Jimoh, K. O. et Kolapo, A. L. 2007.** Effect of different stabilizers on acceptability and shelf-stability of soy-yogurt. *African Journal of Biotechnology*, Vol. 6(8), 1000-1003.
- Juntachote, T., Berghofer, E, Siebenhandl, S., Bauer, F., 2006.** The antioxidative properties of Holy basil and Galangal in cooked ground pork. *Meat Science*, 72, 446-456.
- Kalab, M., Emmons, D. B., Sargant, A. G. 1976.** Milk gel structure V. Microstructure of yoghurt as related to the heating of milk. *Milchwissenschaft*, 31, 402-408.
- Kalab, M., Allan-Wojtas, P., Phipps-Todd, B. E. 1983.** Development of microstructure in set style non fat yoghurt-A Review. *Food Microstructure*, 2, 51-66
- Keogh, M. K., O’Kennedy, B. M. 1998.** Rheology of stirred yogurt as affected by added milk fat, protein and hydrocolloids. *Journal of Food Science*, 63(1), 108-117.
- Kemp, I.C., Fayhr, B. C., Laurent, S., Roques, M., Groenword, C., Tsotsas, E., Sereno, A., Bonazzi,, C., Bimbenet, J. J., Kind, M. 2001.** Methods for processing experimental drying Kinetics data. *Drying Technology*, 19(1), 15-34.
- Kessler, H. G. 1998.** The structure of fermented milk products as influenced by technology and composition. *In Texture of fermented milk products and dairy dessert. Proceedings of the IDF Symposium. Vicenza, Italy, 5-6, May 1997, 93-105.*
- Khalafalla, S. M. et Roushdy, I. M. 1997.** Effects of stabilizers on rheological and sensory properties of low fat buffalo’s yoghurt. *Egyptian Journal of Food Science*, 24(2), 199-215.
- Khalil, K.E., Abd-El-Bari, M.S, Hafiz, N.E., Ahmed, E.Y., 2002.** Production, Evaluation and utilization of Date Syrup Concentrate (Dibis). *Egypt. J. Food Sci*, 30, 2, 179-203.
- Khatib, A. G. H., El Tinay, A. H., Nour, A. A. M. 1983.** The chemical composition of some date palm cultivars grown in Sudan. The first symposium on date palm. king Faysal university, Al Hassa Kingdom of Saudi Arabia, 706-710.
- Kinsella, J. 1984.** Milk proteis: physical chemical and functional properties. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 21, 197.
- Kitic, D. et viollaz, P. E. 1984.** Comparison of drying kinetic of soybeans in thin layer and fluidized beds. *Journal of Food Technology*, 19, 399-408.

- Kip, P., Meyer, D., Jellema, R. H. 2006.** Inulins improve sensoric and textural properties of flow-fat yoghurts. *International Dairy Journal*, 16, 1098-1103.
- Koksoy, A., Kilic, M. 2003.** Effects of water and salt level on rheological properties of ayran, a Turkish yoghurt drink. *International Dairy Journal*, 13 (10), 835-839.
- Koksoy, A., Kilic, M. 2004.** Use of hydrocolloids in textural stabilization of a yoghurt drink, ayran. *Food Hydrocolloids*, 18, 593-600.
- Kroh, L. W. 1994.** Caramelization in food and beverages. *Food Chemistry*, 51, 373-379.
- Kulkarni, C., Nilesh, B., Lele, A. 2006.** Studies on shrikhand rheologie. *Journal of Food Engineering*, 74,169-177.
- Kumar, P. et Mishra, H. N. 2004.** Mango soy fortified set yoghurt: effect of stabiliser addition on physicochemical, sensory and textural properties. *Food Chemistry*, 87, 501-507.
- Labell, F. 1990.** Designer food in Cancer prevention. *Food process*, 51, 23-32.
- Labropoulos, A., Collins, W.F., Stone, W. K. 1983.** Effects of ultra high temperature and vat process on heat-induced rheological properties of yogurt. *Journal of Dairy Science*, 67,405.
- Lambo, A. M., Oste, R., Nyman, M. E. G. L. 2005.** Dietary fibre in fermented oat and barley β -glucan rich concentrates. *Food Chemistry*, 89, 283-293.
- Lambiotte, B. 1983.** Some aspect of the role of dates in humain nutrition. The first symposium on date palm, king Faysal university, Al Hassa Kingdom of Saudi Arabia, 577-579.
- Lecoq R., 1965.** Manuel d'analyses alimentaires et d'expertises usuelles. Tome I. Ed. Doin, Deren et Cie, pp 241-251.
- Leite, J. B., Mancini, M. C., Borges, S. V. 2007.** Effect of drying temperature on the quality of dried bananas cv. *Prata and d'agua*. *LWT*, 40, 319-323.
- Le Meste, M., Lorent D., Simatos, D. 2002.** L'eau dans les aliments : Aspects fondamentaux signification dans les propriétés sensorielles des aliments et dans la conduite des procédés. Ed Tec et Doc, Paris, 674 p.
- Lewandowski, R., Zghal, S., Lameloise, M.L., Reynes, M., 1999.** Purification of date juice for liquid sugar production. *INT. SUGAR JNL*, Vol 101 (1202), 125-130.
- Loones, A. 1994.** Laits fermentés par les bactéries lactiques. *In Bactéries lactiques : Aspects fondamentaux et technologiques*. Vol 2. De Roissart, H. & Luquet, F. M. (Ed), Lorica, Uriage, 135-154.

- Luquet, F. M., Carrieu, G. 2005.** Bactéries lactiques et probiotiques. Collection sciences et techniques agroalimentaires, Ed Lavoisier Tec et Doc, Paris, 307 p.
- Lucey, J. A., Tamehana, M., Munro, P. A. 1998.** A comparison of the formation, rheological properties and microstructure of acid skim milk gels made with a bacterial culture or glucono- δ -lactone. *Food Research International*, Volume, 31, N° 2, 145-155.
- Lucey, J. A., Singh, H., 1999.** Formation and physical properties of acid milk gels: a review. *Food Research International*, Volume, 30, N° 7, 529-542.
- Lucey, J. A., Tamehana, M., Singh, H., Munro, P. A. 1999.** Stability of model acid milk beverage: effect of pectin concentration, storage temperature and milk heat treatment. *Journal of Texture Studies*, 30(3), 305-318.
- Macheix J.J., Fleuriet A., Billot J., 1990.** Fruit Phenolics-Boca Raton, USA : CRC PRESS.
- Mahaut, M., Jeantet, R., Brulé, G., Schuck, P. 2000.** Les produits industriels laitiers. Tech&Doc, Lavoisier, Paris.
- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Remezy, C., Jimenez, L., 2004.** Polyphenols : food sources and bioavailability. *Journal American of Clinical Nutrition*, 79, 5, 727-747.
- Mansouri, A., Embarek, G., Kokkalou, E., Kefalas, P., 2005.** Phenolic profile and antioxydant activity of the Algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*). *Food chemistry*, 89, 411-426.
- Markh, A.T., Zekina, T.F., Golubev, V.N., 1989.** Contrôle technico-chimique des conserves. Ed. Agropromizdat, Moscou, 304 p.
- Marcotte, M., Hoshahili, A. R. T., Ramaswamy, H. S. 2001.** Rheological properties of selected hydrocolloids as function of concentration and temperature. *Food Research International*, 34(8), 695-703.
- Maskan, M. 2001.** Kenetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48, 169-175.
- Maskan, M. 2006.** Production of pomegranate (*Punica granatum* L.) juice concentrate by various heating methods: colour degradation and kenitics. *Journal of Food Engineering*, 72, 218-224.
- Mathlouthi, M. et Reiser P., 1995.** Le saccharose. Propriétés et applications. Ed. Polytechnica, 179-183.
- Mazoyer, M., 2002.** Larousse agricole, le monde agricole au XXI^{ème} siècle. Ed. Mathilde Majorel, p 224.

- McCance et Widdowson. 1993.** The composition of foods (5th revised and extended Ed.). Cambridge, UK: The Royal Society of Chemistry and Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.
- McMinn, W.A.M. 2006.** Thin-layer modelling of the convective, microwave, microwave convective and microwave vacuum drying of lactose powder. *Journal of Food Engineering*, 72, 113-123.
- Meligi, M.A. et Sourial, G.F., 1982.** Fruit quality and general evaluation of some Iraqi date palm cultivars grown under conditions of barrage region. Ed : First symposium on the date palm, Saudi-Arabia, 23-25 March, p 212-220.
- Mietton, B., Weber, F., Desmazeaud, M., De Roissart, H. 1994.** Transformation des produits animaux. Transformation du lait en fromage. *In Bactéries lactiques : Aspects fondamentaux et technologiques*. Vol 2. De Roissart, H. & Luquet, F. M. (Eds), Lorica, Uriage, 55-133.
- Midilli, A., Kucuk, H., Yapar, Z. 2002.** A new model for single layer drying of some vegetables. *Drying Technology*. 20. 1503-1513.
- Mikki, M. S., Al Taisan, S. M., Abdulaziz, A. a. 1987.** Incorporation of date pulp for the manufacture of tomato kechup. *The Date Palm Journal*, FAO, Vol.5 (2), 215-216.
- Mittal, G.S. 1999.** Mass diffusivity of food products. *Food Research International*, 15, 19-66.
- Mohammed, S., Shabana, H. R., Mawloud, E. A., 1983.** Evaluation and identification of Iraqi date cultivars. *Fruits characteristics of fifty cultivars*, 2, 27-55.
- Mohsenin, N.N. 1980.** Physical properties of plant and animal materials: Structure, physical characteristics and mechanical properties, *Gordan Breach Science Publishers*: New York,.
- Moller, J. L. 1995.** Stabilizers in special cultured products. *Maelkeritidende*, 108(12), 318-319.
- Morelle, J., 2003.** L'oxydation des aliments et la santé. Ed. Nouvelle Imprimerie Laballery, Paris, 250 p.
- Moreno Rojas, R., Canal Ruiz, C., Amaro Lopez, M. A., Zurera Cosano, G. (1993).** Contenido mineral del yogur natural. *Alimentaria*, 239, 81±84.
- Mottar, J., Bassier, A., Joniau, M., Baert, J. 1989.** Effet of heat-induced association of whey proteins and casein micelles on yogurt texture. *Journal of Dairy Science*, 72, 2247-2256.
- Multon, J.L., 1991.** Techniques d'analyses et de contrôle dans les industries agroalimentaires. Vol IV. Ed.Tech et Doc-Lavoisier, 121-137.
- Mullineux, G., Simmons, M. J. H.2007.** Effects of processing on shear rate of yoghurt. *Journal of Food Engineering*, 79, 850-857

- Munier, P., 1973.** Le palmier dattier. Ed. Maisonneuve, Paris, 221 p.
- Myhara, MM., Taylor, M.S., Slominski, B.A., Al-Bulushi, I., 1998.** Moisture Sorption Isotherms and Chemical Composition of Omani Dates. *Journal of food Engineering*, 37, 471-479.
- Ndhlala, A.R., Kasiyamhuri, A., Mupure, C., Chitindingue, K., Benhura, M.A., Muchuweti, M., 2006.** Phenolic composition of *Flacourtia indica*, *Opuntia megacantha* and *Sclerocarya birrea*. [Article in press].
- Nguyen, M. H., Price, W. E. 2007.** Air-drying of banana: Influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season. *Journal of food Engineering*, 79, 200-2007.
- Nixon, R W. et Carpenter B.1978.** Growing dates in united states. United states department of agriculture, information bulletin prepared by science and education administration, 44-45.
- Nongonierma, A. B., Springett, M., Le Quéré, J. L., Cayot, P., Voilley, A. 2006.** Flavour release at gas/matrix interfaces of stirred yoghurt models. *International Dairy Journal*, 16, 102-110.
- Nongonierma, A. B., Cayot, P., Springett, M., Le Quéré, J. L., Cachon, R., Voilley, A. 2007.** Transfers of small analytes in multiphasic stirred fruit yoghurt model. *Food Hydrocolloids*, 21, 287-296.
- Norziah, M. H., Kong, S. S., Abd Karim, A., Seow, C. C. 2001.** Pectin-sucrose-Ca²⁺ interactions: effects on rheological properties. *Food Hydrocolloids*, 15, 491-498.
- 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 Boumerdès. 62 p.
- O'Carroll, P. 1995.** Dairy ingredient roundup. *World of Ingredients*, November-December, 26-27.
- O'donnell, H. J. et Butler, F. 2002.** Time- dependent viscosity of stirred yogurt. Part II: tube flow. *Journal of Food Engineering*, 51, 255-261.
- Okos, M. R., Narsimhan, G., Singh, R. k., Weitnauer, A. C. 1992.** Food dehydration. In Heldman, D. R., Lund, D. B. Handbook of Food Engineering. New York: Marcel Dekker.
- O'Neil, J. M., Kleyn, D. H., Hare, L. B. 1979.** Consistency and compositional characteristics of commercial yoghurts. *Journal of Dairy Science*, 62, 1032-1036.
- Ono, T. et Obato, T. 1989.** A model for the assembly of bovine casein micelles from F2 and F3. *Journal of Dairy Research*, 56, 453-461.

- Othman, A M A. 1995.** Prospective de développement et de protection du palmier dattier dans les pays arabes. The Arab Center for the Studies of Arides zones and dry Land, 14p.
- Ott, A., Fay, L B., Chaintreau, A. 1997.** Determination and origin of the aroma impact compounds of yoghurt flavor. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45, 850-858.
- Ould El Hadj, M.D., Sebihi A.H., Siboukeur O., 2001.** Qualité Hygiénique et Caractéristique Physico-Chimique du Vinaigre Traditionnel de Quelques Variétés de Dattes de la Cuvette de Ouargla. *Revue. Energies. Renouvelables* : Production et Valorisation-Biomasse, 87-92.
- Overhults, D. G., White, H. E., Hamilton, H. E., Ross, I. J. 1973.** Drying soybeans with heated air. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 16, 112-113.
- Owen P.L. et Johns T. 1999.** Xanthine oxidase inhibitory activity of north eastern North American plant remedies used for gout. *Journal of Ethnopharmacology*, 64, pp149-160.
- Ozdemir, M. et Devres, Y.O.1999.** The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering*, 42, 225-233.
- Ozer, B.H., Robinson, R.K., Grandison, A. S., Bell, A. E. 1998.** Gelation properties of milk concentrated by different techniques. *International Dairy Journal*, 8, 793-799.
- Paci Kora, E. 2004.** Interactions physico-chimiques et sensorielles dans le yaourt brassé aromatisé : quels impact respectifs sur la perception de la texture et de la flaveur ? Thèse de doctorat de l'institut national agronomique de Paris-Grignon, science des aliments, 258p.
- Paci Kora, E., Souchon, I., Latrille, E., Martin, N., Marin, M. 2004.** Composition rather than viscosity modifies the aroma compound retention of flavored stirred yogurt. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 52, 3048-3056.
- Page, G. E. 1949.** Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. M. S. thesis, *Department of Mechanical Engineering*, Prude University, Prude, USA
- Pala, M. Mahmutoglu, T. Saygi, B.1996.** Effects of pre-treatment on the quality of open-air and solar dried apricots. *Nahrung*, 40(3), 137-141.
- Park, K. J., Vohnikova, Z., Broda, F. P. R. 2002.** Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mints leaves (*Mentha cripa* L.). *Journal of Food Engineering*, 51, 193-199.
- Parnell-Clunies, E., Kakuda, Y., deMan, J. M., Cazzola, F. 1987.** Gelation profiles of yogurt as affected by heat treatment of milk. *Journal of Dairy Science*, 71, 582.

- Pennington, J. A. T. et Young, B. 1990.** Iron, zinc, copper, manganese, selenium, and iodine in foods from United States total diet study. *Journal of Food Composition and Analysis*, 3, 166-184.
- Perry, R. H. et Green, D. W. 1997.** *Perry's chemical engineer's handbook*. New York: McGraw-Hill.
- Peschel W., Sandez-Rabaneda F., Diekmann W., Plescher A., Gartzia I., Jiménez D., Lamuela-Ravantos, R., Buxaderas S., Codina C., 2006.** An industrial approach in the search of natural antioxidants from vegetable and fruit wastes. *Food Chemistry*, 97, 137-150.
- Pirkul, T., Temiz, A., Erdem, YK. 1997.** Fortification of yoghurt with calcium salts and its effect on starter microorganisms and yoghurt quality. *Int Dairy J*, 7: 547-552.
- Ramesh, M. N., Wolf, W., Tevini, D., Jung, G. 2001.** Influence of processing parameters on drying of spice paprika. *Journal of Food Engineering*, 49, 63-72.
- Ramaswamy, H. S, Basak, S. 1992.** Pectin and raspberry concentrate effects on the rheological of stirred commercial yoghurt. *Journal of Food Science*, 57, 357-360.
- Reberfroid, M .,(2002).** Aliments fonctionnels. Ed. Tech et Doc-Lavoisier, Paris, p 308.
- Regnault–Roger, C., Hadidane R., Biard J.F., Boukel K., 1987.** High Performance Liquid and Thin-Layer Chromatographic Determination of Phenolic Acids in Palm (*Phoenix dactylifera*) Products. *Food Chemistry*, 25, 61-71.
- Reynes, M., Bouabidi, H, Piombo, G, Risterucci, A.M., 1994.** Caractérisation des principales variétés de dattes cultivées dans la région du Djérid en Tunisie. *Fruit*, 49, 4, 289-298.
- Ribéreau-Gayon, P., 1968.** Les composés phénoliques des végétaux. Ed. Dunod, Paris, 254 p.
- Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., Paganga, G., 1995.** Structure-Antioxidants Activity Relationships of Flavonoids and Phenolic Acids. *Free Radical Biology and Medicine*, 20(07), 933-956.
- Rodier, J., 1997.** L'analyse de l'eau, eau naturelle, eau résiduaire, eau de mer. Ed. Dunod, 8^{ème} édition, 57-65.
- Rodriguez –Vaquero, M.J., Alberto, M.R., Manaca de Nadra, M.C., 2007.** Antibacterial effect Of phenolic compounds from different wines. *Food Control*, 18, 93-107.
- Rohm, H. et Kovac, A. 1995.** Effects of starters cultures on small deformation rheology of stirred yoghurt. *Lebensm-wwiss u.-Technology*, 28,319-322 .

- Ross-Murphy, S. B. 1995.** Structure-property relationships in food biopolymer gels and solutions. *Journal of Rheology*, 39, 1451.
- Sabarez, H., Price, W.E.; Back, P.J., Woolf, L.A. 1997.** Modelling the kinetics of drying of d'Agen plums (*Prunus domestica*). *Food Chemistry*, 60 (3), 371-382.
- Sanchez-Segarra, P. J, Garcia-Martinez, M., Gordillo-Otero, M.j., Diaz-Valverde, A., Amaro-Lopez, M.A., Moreno-Rojas, R. 2000.** Influence of addition of fruit on the mineral content of yoghurts: nutritional assessment. *Food Chemistry*, 70, 85-89.
- Sander, A. 2007.** Thin-layer drying of porous materials: Selection of the appropriate mathematical model and relationships between thin-layer models parameters. *Chemical Engineering and Processing*, 46, 1324-1331.
- 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. Technol. J.* 16, 2, 87-93.
- Sawaya W.N., Khtchadourian H.A., Khalil J.K., Safi W.M., Al-Shalat A., 1982.** Growth and Compositional Changes During the Various Developmental Stages of Some Saudi Arabian Date Cultivars. *Journal of Food Science*, 47, 1489-1497.
- Scalbert, A., Morand, C., Manach, C., Rémésy, C., 2002.** Absorption and metabolism of polyphenols in the gut and impact on health. *Biomed Pharmacother*, 56, 276-282.
- Scalbert, A. et Williamson, G., 2000.** Chocolate: Modern Science Investigates an ancient Medicine Dietary Intake and Bioavailability of polyphenols. *Journal of Nutrition*, 130, 2073-2085.
- Schkoda, P., Hechler,A., Hinrichs, J. 2001.** Influence of the protein content on structural characteristics of stirred fermented milks. *Milchwissenschaft*, 56, 19-22.
- Schkoda, A., Stumph, A., Kessler, H. G. 1998.** Stability of texture of fermented milk products in relation to composition. *In* Texture of fermented milk products and dairy dessert. Proceedings of the IDF Symposium. Vicenza, Italy, 5-6 May 1997, 115-121.
- Schneider E. (1994).** La leche y sus derivados. In *La salud por la Nutricion*, Vol. 2, 763-791. Madrid: Safeliz.
- Sebarez, H., Price, W.E., Back, P.J., Woolf, L.A.1997.** Modelling the kinetics of drying of d'Agen plums (*Prunus domestica*). *Food Chemistry*, 60 (3), 371-382.

- Senadeera, W., Bhandari, B. R., Young, G., Wijesinghe, B. 2003.** Influence of shapes of selected vegetable materials on drying kinetics during fluidized bed drying. *Journal of Food Engineering*, 58, 277-283.
- Shaker, R. R., Jumah, R. Y., Abu-Jdayil, B. 2000.** Rheological properties of plain yoghurt during coagulation process: impact of fat content and preheat treatment of milk. *Journal of Food Engineering*, 44,175-180.
- Sharaf,-Elden, Y. I., Blaisdell, J. L., Hamdy, M. Y. 1980.** A model for ear corn drying. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 23, 1261-1265.
- Siboukeur, O., 1997.** Qualité nutritionnelle, hygiénique et organoleptique du jus de dattes. Thèse Magister, INA. El-Harrach, Alger, 106 p.
- Singh, J. 1983.** Influence of heat-treatment of milk and incubation temperatures on *Streptococcus thermophilus* and *Lactobacillus acidophilus*. *Milchwissenschaft*, 38, 347-348.
- Skriver, A., Roemer, H., Qvist, K.B. 1993.** Rheological characterization of stirred yoghurt:viscosimetry. *Journal of Texture Studies*, 24,185-198
- Sodini, I., Lucas, A., Tissier, J. P., Corrieu, G. 2005.** Physical properties and microstructure of yoghurts supplemented with milk protein hydrolysates. *International Dairy Journal*, 15, 29-35.
- Sokhansany, S., Genkowsky, S. 1988.** Equipment and methods of thin-layer drying: a review, in: *Proceedings of the Sixth International Drying Symposium (IDS)*, France, 159-170.
- Souci, S.W., Fachmann, W. Kraut, H. 1993.** Food composition and nutrition tables (5th revised and completed ed.) (Deutsche Forschungsanstalt für Lebensmittelchemie, Garching b. München)(compiled by H. Scherz & F. Senger) Stuttgart: Medpharm Scienti@cPubl.; Boca Raton, Ann Arbor, London, Tokyo: CRC Press.
- Smith, P. et Brouwershavan, J. 1980.** Heat induced association of beta-lactalbumin and casein micelles. *Journal of Dairy Research*, 47, 313.
- Stahl, W. et Sies, H., 2005.** Bioactivity and protective effects of natural carotenoids. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1740, 101-107.
- Stahl, W. et Sies, H., 2003.** Antioxidant activity of carotenoids. *Molecular Aspects of Medicine*, 24, 345-351.
- Talla, A., Puiggali, J., Jomaa, W. & Jannot, Y. 2004.** Shrinkage and density evolution during of tropical fruits. Application to banana. *Journal of Food Engineering*, 64(1)103-109.

- Tamime, A Y., Kalab, M., Davies, G. 1984.** Microstructure of set-style yoghurt manufactured from cow's milk fortified by various methods. *Food Microstructure*, 3, 83-92.
- Tamime, A Y., Robinson, R K. 1985.** Background to manufacturing practice. *In* Yoghurt. Science and technology. Tamime, A. Y. & Robinson, R. K. (Eds), Pergamon Press, Paris, 7-90.
- Tayar, M., Sen, C., Gunes, E. 1995.** A study on stabilizers used in yogurt production. *Gida*, 20(2), 103-106.
- Teo, C. T., Munro, P. A., Singh, H. 2000.** Time dependence of rheological breakdown and recovery of heat precipitated whey protein suspensions. *Milchwissenschaft*, 55(1), 29-32.
- Tortora G.J. et Anagnostakos, N.P., 1987.** Principes d'anatomie et de physiologie. Ed. INC, 5^{ème} édition, 688-693.
- Toutain G., 1979.** Eléments d'agronomie saharienne : de la recherche au développement. Ed. JOUVE, Paris, 276 p.
- Toutain G., 1996.** Rapport synthèse de l'atelier "Techniques culturelles du palmier dattier". In Options méditerranéennes, série, N° 28. Le palmier dattier dans l'agriculture d'oasis des pays méditerranéens. Ed. IAM, Zaragoza, Spain, 201-205.
- Towler, C. 1984.** Sedimentation in a cultured milk beverage. *New Zealand Journal of Dairy Science and Technology*, 19 (3), 205-211.
- Tremolière J. 1977.** Nutrition. Physiologie, comportement alimentaire. Ed Donod. Pp 342-348.
- Tromp, H., De Kruit, C. G., Van Eijk, M., Rolin, C. 2004.** On mechanism of stabilisation of acidified milk drinks by pectin. *Food Hydrocolloids*, 18(4), 565-572.
- Tsami, E., Krokida, M. K., Drouzas, A. E. 1999.** Effect of drying method on the sorption characteristics of model fruit powders. *Journal of Food Engineering*, 38, 381-392.
- Van Hekken, D. L., Tunick, M. H., Park, Y. W. 2004.** Rheology and proteolytic properties of monterey jack goat's milk cheese during aging. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 52, 5372-5377.
- Van Marle, M. 1998.** Structure and rheological properties of yoghurt gels and stirred yoghurts. Theses. University of Twente, Enschede, Pays Bas.
- Varo, P., Nuurtamo, M., Saari, E., Koivistoinen, P. 1980.** Mineral element composition of Finnish foods. VII. *Dairy products*, eggs and margarine. *Acta Agriculture Scandinavica*, 22(suppl.), 115-126.

- Vayalili P.K., 2002.** Antioxydant and Antimutagenic Properties of Aqueous Extract of Date Fruit (*Phoenix dactylifera L. Arecaceae*). *J. Agric. Food Chem*, 50 (3), 610-617.
- Verma, L. R., Bucklin, R. A., Endan, J.B., Wraten, F.T. 1985.** Effects of drying air parameters on rice drying models. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 28, 296-301.
- Vierling, E. 2004.** Aliments et boissons. Technologies et aspects réglementaires. Ed Doin – crdp, Aquitaine, 600 p.
- Vilkas M., 1993.** Vitamines. Ed. Hermann, 158 p.
- Vignola, C. I., 2002.** Science et technologie du lait: transformation du lait. Ed Lvoisier, Paris, 600p.
- Visser, J., Minihan, A., Smits, P., Tjian, S. B., Heertje, I. 1986.** Effects of pH and temperature on the milk salts system. *Netherlands Milk Dairy Journal*, 40, 351-368.
- Wang L., Yen J.H., Liang H.L., Wu M.J., 2003.** Antioxidant effect of methanol extracts from Lotus Pulmule and Blossom (*Nulemb nucifera Gerth*). *Journal of Food and Drug Analysis*, 11(1), 60-66.
- Wang, C.Y., Singh, R. P. 1978.** A single drying equation for rough rice. *Transactions of American Society of Agricultural Engineers*, 11,668-672.
- Wolfe K.I., Wu X., Liu R.H., 2003.** Apple peels as a value-added food ingredient. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 609-614.
- Xanthopoulos, G., Oikonomou, N., Lambrinos, G. 2007.** Applicability of single-layer drying model to predict the drying rate of whole figs. *Journal of Food Engineering*, 81, 553-559.
- Yadav, V.B., Jha, Y. K., Garg, S. K., Mital, B. K. 1994.** Effect of soymilk supplementation and additives on sensory characteristics and biochemical changes of yogurt during storage. *Australian Journal of Dairy Technology*, 49, 34-38.
- Yahiaoui, K., 1998.** Caractérisation physico-chimique et l'évolution du brunissement de la datte Deglet-Nour au cours de la maturation. Thèse Magister, INA. El-Harrach, Alger ,103 p.
- Yagcioglu, A., Degirmencioglu, A., Cagatay, F. 1999.** Drying characteristics of laurel leaves under different conditions. In Bascetincelik (Ed), *proceeding of the 7th international congress on agricultural mechanization and energy*, Adana, Turkey: Faculty of Agriculture, Cukurova University, 565-569.

-Youssif, A.K., Benjamin, N.D., Kado, A., Alddin, S.M., Ali, S.M., 1982. Chemical Composition of four Iraqi Date Cultivars. *Date Palm Journal*, 1 (2), 285-294.

-Zogzas, N. P., Maroulis, Z. B., Marinos-Kouris, D.1996. Moisture diffusivity data compilation in food stuffs. *Drying Technology*, 14(10), 2225-2253.

Annexe n°1

II.2.4. Détermination de la teneur en sucres totaux (Méthode du Dubois)

- **Mode opératoire**

Cette méthode consiste à préparer une gamme étalon à partir d'une solution de glucose à 0.05 % (voir annexe n°3) :

- Extraire les sucres de la datte comme suit : 10 g de matière fraîche dans 100 ml d'eau distillée ;
- Introduire dans des tubes à essais 2 ml d'extrait de datte ;
- Ajouter à la gamme étalon et les tubes à essais : 0.05 ml d'une solution de phénol à 80 % et 3 ml d'acide sulfurique concentré ;
- Agiter lentement et légèrement ;
- Laisser la réaction se faire pendant 10 mn à une température cde 25 à 30 °C (apparition de la couleur jaune-rouge) puis stopper la réaction par un courant d'eau froide ;
- La lecture de l'absorbance est faite à 490 nm.

II.2.10. Détermination de la teneur en pectine sous forme de pectate de calcium

- **Mode opératoire**

- Peser 2.5 g d'échantillon, qu'on introduire dans une fiole conique à col rodé de 100 ml ;
- Ajouter 500 ml d'acide chlorhydrique 1/30 N ;
- Boucher la fiole par un tube réfrigérant ;
- Porter au un bain-marie pendant 30 mn ;
- Filtrer et laver le précipité à l'eau chaude (1^{er} Filtrat) ;
- Faire passer le papier filtre dans une fiole conique ;
- Ajouter 50 ml de l'acide oxalique et adapter la fiole à un tube réfrigérant ;
- Porter au bain-marie à 100 °C pendant 20 mn ;
- Filtrer et laver le précipité à l'eau chaude (2^{ème} Filtrat) ;
- Introduire les deux filtrats dans une fiole jaugée de 200 ml, neutraliser avec la soude caustique à 15 % en présence de phénolphtaléine ;
- Compléter avec de l'eau distillée jusqu'au trait de jauge ;
- Pipeter 50 ml du filtrat obtenu et verser dans une fiole de 200 ml ;
- Ajouter 50 ml de la soude caustique à 0.4 % ;
- Laisser reposer pour faire passer la saponification des liaisons complexes ;

- Après saponification, ajouter 50 ml de l'acide acétique 1 N et 50 ml de la solution de chlorure de calcium à 11.1 % ;
- Laisser réagir 30 mn ;
- Faire passer le précipité sur un papier filtre préalablement séché et taré, puis laver par la solution de chlorure de calcium à 0.5 %, ensuite à l'eau distillée froide. En fin, laver à l'eau chaude jusqu'à élimination complète des ions de chlore ;
- Sécher le papier filtre avec le précipité jusqu'au poids constant dans une étuve réglée à 100-105 °C, puis peser.

II.2.5. Détermination de la teneur en protéines (Méthode de kjeldhal)

- **Mode opératoire :**

- Introduire dans un matras de minéralisation 1 g d'échantillon, ajouter une pincée de catalyseur (sulfate de cuivre et de potassium) ;
- Ajouter 15 ml d'acide sulfurique pur ;
- Appliquer un chauffage progressif : d'abord une attaque à froid pendant 15 mn jusqu'à l'apparition de vapeur blanche d'anhydride sulfurique, puis le chauffage est rendu plus énergique, attaque à chaud pendant 4 à 5 heures ;
- Quand la solution devient limpide, elle est refroidie et complétée à 100 ml avec de l'eau distillée ;
- La distillation se fait dans un distillateur automatique (VELP) où l'ajout de 20 ml de lessive de soude à 35 % dans le matras et 25 % d'acide borique dans une fiole de 250 ml est réalisé ;
- Le dégagement d'ammoniac est récupéré dans une solution d'acide borique contenant l'indicateur coloré (mélange de bleu de méthylène et rouge de méthyl). L'excès d'ammoniac est alors dosé par l'acide sulfurique 0.05 N dans un titrateur automatique.

NB : Un témoin est réalisé dans les mêmes conditions sans échantillon.

II.2.11.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux

- **Mode opératoire**

- Peser 200 mg d'acide gallique ;
- Les dissoudre dans 100 ml d'éthanol, soit une solution (S₁) avec une concentration de 2 mg/ml ;
- Diluer la solution mère comme suit :

- * Prélever 5 ml de la solution mère puis ajouter 5 ml d'eau distillée et l'on obtient la dilution S/2;
- * Prélever 5 ml de la solution S/2 puis rajouter 5 ml d'eau distillée et soit la dilution S/4;
- * Refaire la même procédure pour les autres dilutions.

B) Dosage proprement dit

- Prélever 0.5 ml de chaque dilution d'échantillon dans des tubes à essais ;
- Ajouter 5 ml d'eau distillée dans chaque tube ;
- Ajouter 0.5 ml de réactif de Folin-Ciocalteu's ;
- Après 3 mn, ajouter 0.5 ml de carbonate de sodium à 20 % ;
- Laisser incuber pendant une heure à température ambiante et à l'abri de la lumière.

Tableau VI.1 : Préparation des dilutions de l'acide gallique pour la réalisation de la courbe standard des polyphénols totaux

Dilutions	S	S/2	S/4	S/8	S/16	S/32	S/64	S/128	S/256	S/512
Concentrations (mg/ml)	200	100	50	25	12.5	6.25	3.13	1.56	0.78	0.39

Le blanc est représenté par 5 ml d'eau distillée, additionnée de 0.5 ml de Folin-Ciocalteu's et 0.5 ml de carbonate de sodium à 20 %.

La lecture des absorbances est faite à partir d'un spectrophotomètre UV-Visible (type Shimatzu) à 760 nm, après agitation et repos d'une heure. La concentration en composés phénoliques totaux est déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant l'acide gallique comme standard d'étalonnage (voir Annexe n°3).

Le dosage des polyphénols totaux dans l'extrait de dattes est représenté par l'organigramme de la figure VI.2.

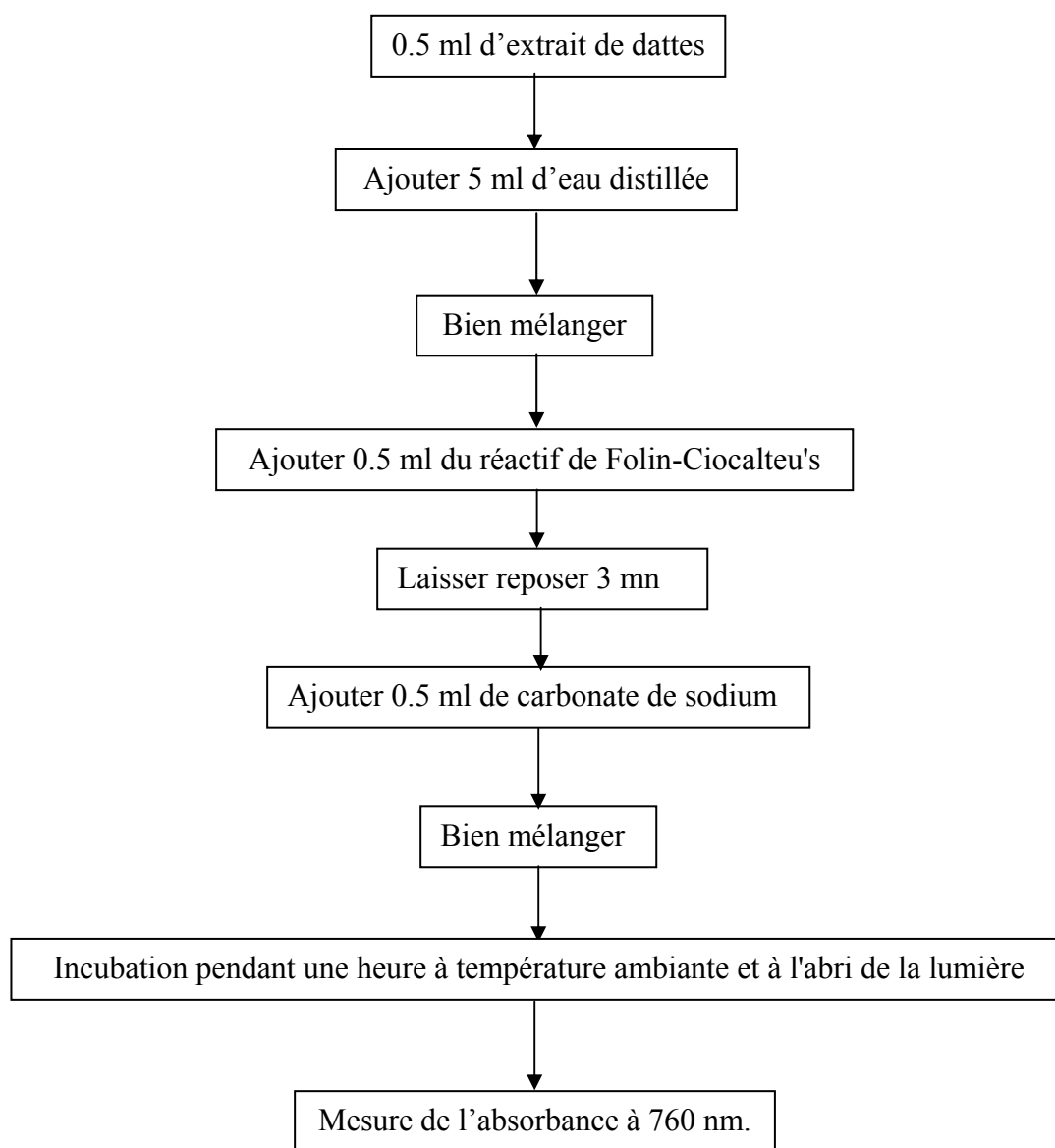


Figure V.2 : Organigramme représentant le dosage des polyphénols totaux

(Juntachote et *al.*, 2006)

II.2.11.3. Détermination de la teneur en flavonoïdes

- Mode opératoire

-Mettre 1 ml d'extrait de dattes dans un tube à essai ;

-Ajouter 1 ml de solution méthanolique de chlorure d'aluminium à 2 % ;

-Après 10 mn, l'absorbance est lue à 430 nm.

La préparation de la courbe d'étalonnage des flavonoïdes est illustrée dans le tableau suivant :

Tableau VI.2 : Préparation de la courbe d'étalonnage des flavonoïdes

Dilutions	S/2	S/4	S/8	S/16	S/32	S/64
Concentrations (µg/ml)	25.00	16.67	10.00	5.00	2.50	0.50

La concentration des flavonoïdes contenus dans les extraits de dattes est calculée en se référant à la courbe d'étalonnage obtenue en utilisant la quercétine comme standard (annexe n°3). Le dosage des flavonoïdes dans l'extrait de dattes est représenté par l'organigramme de la figure VI.3.

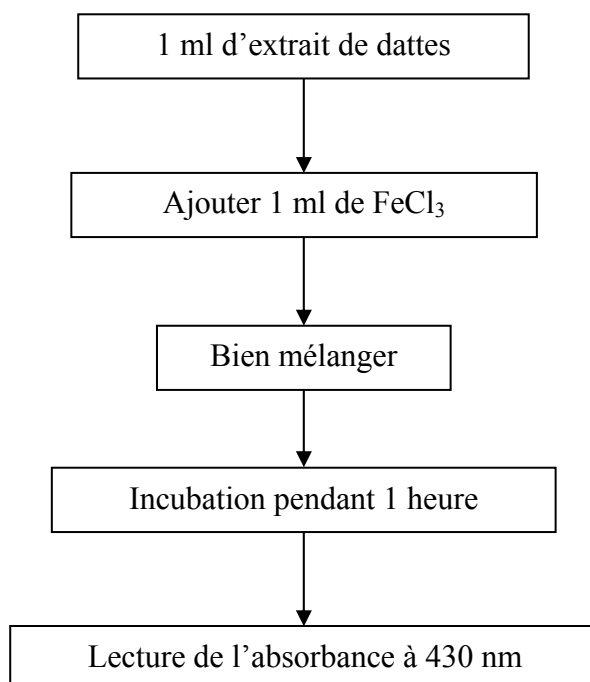


Figure V.3 : Organigramme représentant le dosage des flavonoïdes dans l'extrait de dattes (Bahorun et *al.*, 1996)

II.2.12 Détermination de l'activité antioxydante par l'inhibition de l'oxydation de l'acide linoléique

• Mode opératoire

L'activité antioxydante est mesurée selon la méthode rapportée par Hashimoto et *al.*, (2003) :

- Mélanger dans des tubes à essai : 5 ml d'extrait de dattes, 0.5 ml d'acide linoléique (2.52 %) dans de l'éthanol à 99.5 %, 1 ml de tampon phosphate (0.05 M, pH 7) et 0.5ml d'eau distillée ;
- Incuber à 40 °C et à l'abri de la lumière ;
- Transférer toutes les 24 heures, un aliquote (100 µl) dans un tube à essai additionné de 3 ml d'éthanol à 75 % et de 100 µl de thiocyanate d'ammonium à 30 % ;
- Ajouter au mélange réactionnel 100 µl de chlorure ferreux (0.02 M), préparé dans de l'acide chlorhydrique à 3.5 % ;
- Mesurer après 3 mn, l'absorbance de la coloration rouge à 482 nm ;
- Répéter la mesure jusqu'à obtention d'une absorbance maximale du témoin.

NB : Mener les mêmes opérations pour le témoin et les standards en remplaçant l'extrait de dattes respectivement par du méthanol à 80 % et des solutions de BHA et de BHT à 0.01 mg/ml dans du méthanol.

Annexe n°2

Les courbes de Ln D en fonction de 1/T pour déterminer l'énergie d'activation

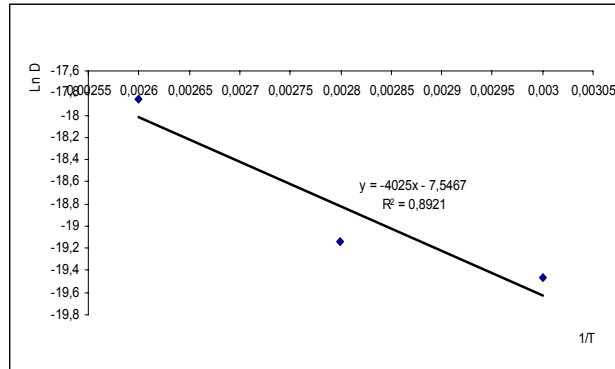


Figure VI.31 : Courbe de Ln D en fonction de 1/T de FTP

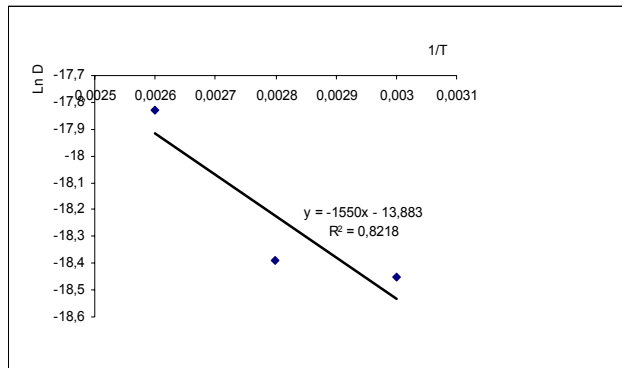


Figure VI.32 : Courbe de Ln D en fonction de 1/T de BP

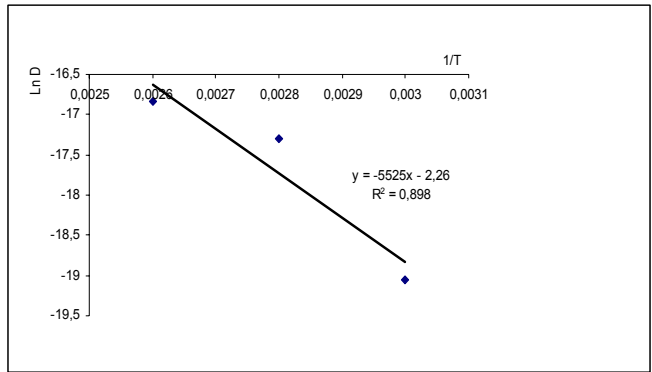


Figure VI.33 : Courbe de Ln D en fonction de 1/T de MTB

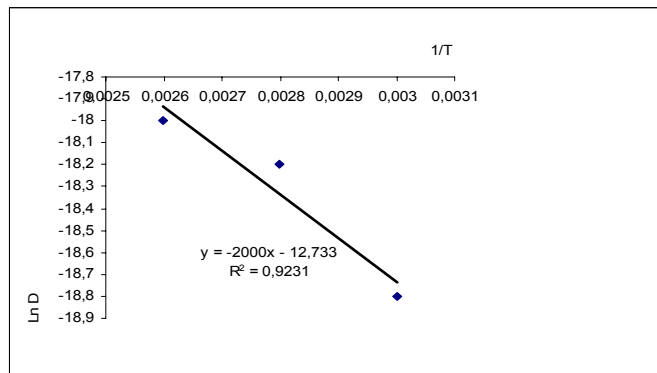


Figure VI.34: Courbe de Ln D en fonction de 1/T de FP

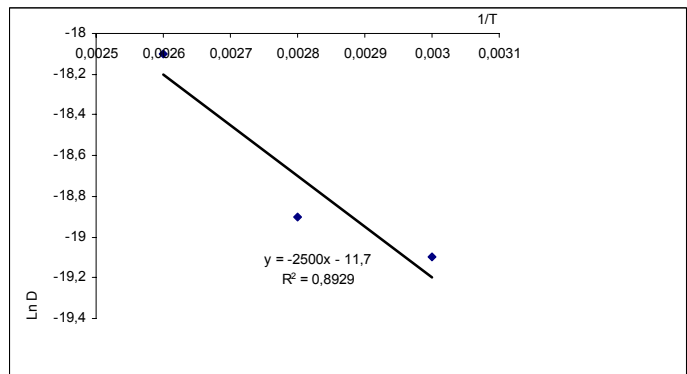


Figure VI.35: Courbe de Ln D en fonction de 1/T de MP

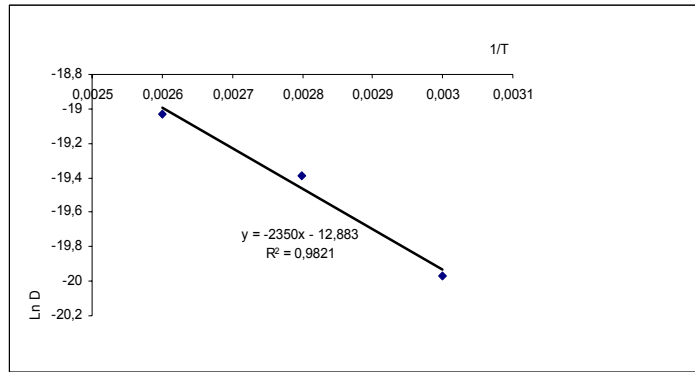


Figure VI.36: Courbe de Ln D en fonction de 1/T de MTP

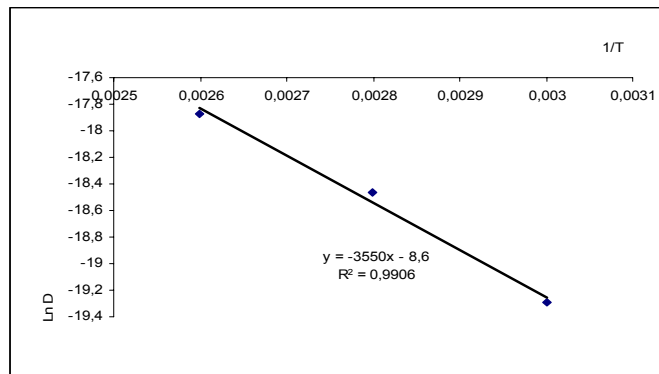


Figure VI.37: Courbe de Ln D en fonction de 1/T de BTP

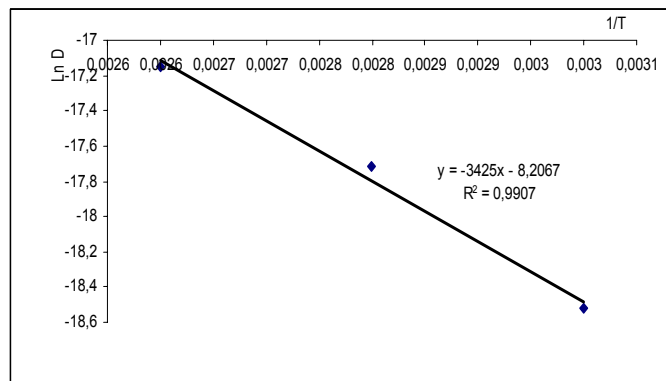


Figure VI.38: Courbe de Ln D en fonction de 1/T de BTB

Annexe n°3

Courbes d'étalonnage

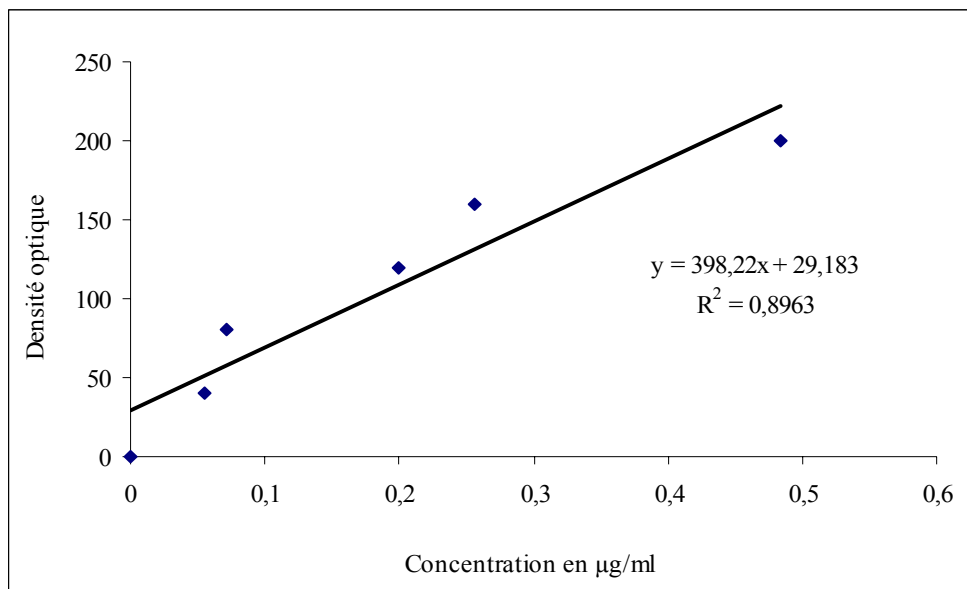


Figure VI.40 : Courbe d'étalonnage du glucose

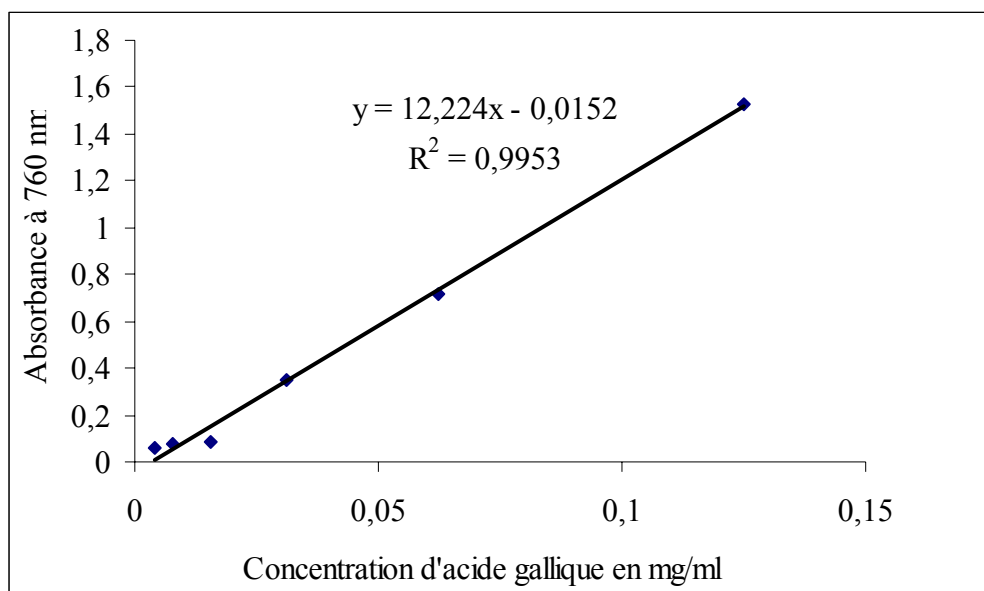


Figure VI.41 : Courbe d'étalonnage des polyphénols

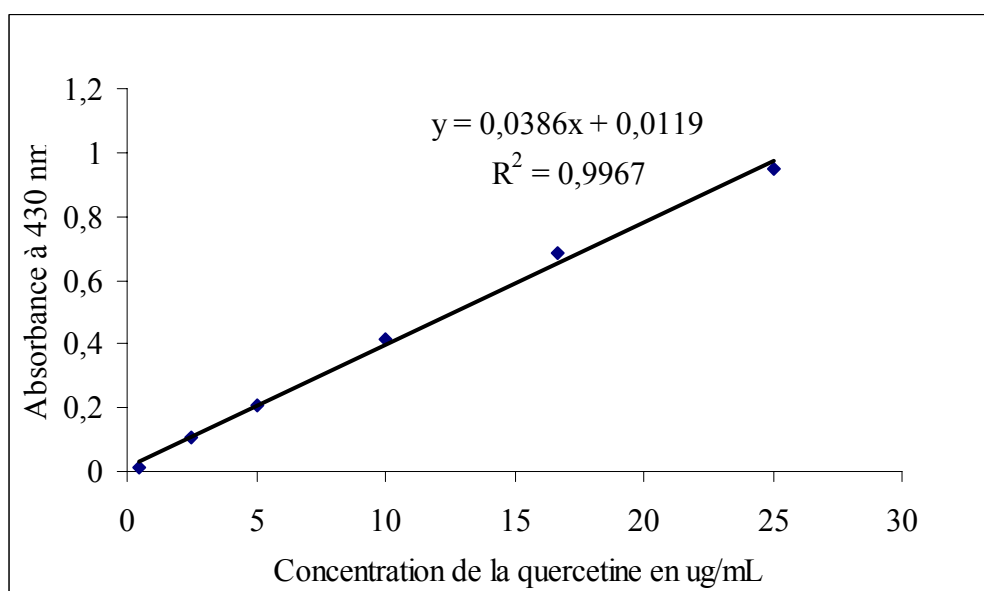


Figure VI.42 : Courbe d'étalonnage des flavonoïdes

Annexe n°4

Valeurs critiques des sommes des rangs

Nombre de dégustateurs	Nombre d'échantillon									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
3	3-6	3-9	4-11	4-14	4-17	5-19	5-25	5-25	5-28	6-30
4	4-8	5-11	6-14	6-18	7-21	7-25	8-28	9-31	9-35	10-38
5	6-9	7-13	8-17	9-21	10-25	10-30	11-34	12-38	13-42	14-46
6	7-11	8-16	10-20	11-25	12-30	13-35	15-39	16-44	17-49	18-54
7	8-13	10-18	12-23	13-29	15-34	17-39	18-45	20-50	21-56	23-61
8	10-14	12-20	14-26	16-32	18-38	20-44	22-50	24-56	25-63	27-69
9	11-16	14-22	16-29	18-36	21-42	23-49	25-56	28-62	30-69	32-76
10	12-18	15-25	18-32	21-39	24-46	26-84	29-61	32-68	34-76	37-83

Annexe n°5

Références des ferments utilisés

YC-X16

YO-Flex

Freeze-dried lacto culture

For direct vat set (DVS)

Thermophilic Lactic culture (*Strptococcus Thermophilus, Lactobacillus Bulgaricus*)

Package size 50L

Lot n°: 2678977

DOM: 30/01/2006

Storage à -18°C