

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Batna 1- Hadj Lakhdar



Institut des Sciences Vétérinaires et des Sciences Agronomiques
Département de Technologie Alimentaire

Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de
Doctorat 3^{ème} cycle (LMD)

Spécialité: Sciences des Aliments

Réalisée par: **MESSAOUDI Amal**

Thème

**Contribution à la transformation et à la valorisation
de la poudre de datte**

Soutenue devant le jury:

ZITOUNI B.	Professeur	Université Batna 1	Présidente
FAHLOUL D.	Professeur	Université Batna 1	Rapporteur
BENAHMED DJILALI A.	MCA	Université Tizi Ouzou	Examinatrice
HAMBABA L.	Professeur	Université Batna 2	Examinatrice
MADANI H.	Professeur	Université Batna 2	Examinateur
FERHAT R.	MCA	Université Batna 1	Examinatrice

Année universitaire: 2019-2020

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Université Batna 1- Hadj Lakhdar



Institut des Sciences Vétérinaires et des Sciences Agronomiques
Département de Technologie Alimentaire

Thèse présentée en vue de l'obtention du diplôme de
Doctorat 3^{ème} cycle (LMD)

Spécialité: Sciences des Aliments

Réalisée par: **MESSAOUDI Amal**

Thème

**Contribution à la transformation et à la valorisation
de la poudre de datte**

Soutenue devant le jury :

ZITOUNI B.	Professeur	Université Batna 1	Présidente
FAHLOUL D.	Professeur	Université Batna 1	Rapporteur
BENAHMED DJILALI A.	MCA	Université Tizi Ouzou	Examinatrice
HAMBABA L.	Professeur	Université Batna 2	Examinatrice
MADANI H.	Professeur	Université Batna 2	Examineur
FERHAT R.	MCA	Université Batna 1	Examinatrice

Année universitaire: 2019-2020

DEDICACES

Je dédie ce travail à:

Mon Mari.

Mes parents.

Mon grand père.

Ma chérie Fatima Zohra.

Toute la famille Messaoudi.

Toute la famille Fadene.

Mes amis.

MESSAOUDI Amal

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé au Laboratoire de Sciences des Aliments (LSA) du Département de Technologie Alimentaire, université Hadj Lakhdar Batna 1.

Tout d'abord, je tiens à remercier Allah, Le Tout Puissant et Le Miséricordieux, de m'avoir donné la santé, la volonté et la patience pour mener à terme ma formation de Doctorat.

J'exprime mes vifs remerciements à **Monsieur FAHLOUL Djamel** Professeur à l'université de Batna -1-, qui a accepté de m'encadrer. Je lui témoigne ici, de ma profonde gratitude et reconnaissance pour la patiente assistance, les savants conseils, orientations et suivis, qu'il m'a prodigué. Soyez assuré de tout mon respect et de ma profonde gratitude.

Je tiens également à remercier:

- **Madame ZITOUNI Bariza** (Professeur à l'université de Batna-1-) pour avoir accepté de présider le jury ;
- **Madame BENAHMED DJILALI Adiba** (MCA à l'université de Mouloud Mammeri Tizi Ouzou), **Madame HAMBABA Leila** (Professeur à l'université de Batna-2-), **Monsieur MADANI Hakim** (MCA à l'université de Batna-2-) et **Madame FERHAT Radhia** (MCA à l'université de Batna-1-) pour avoir accepté d'examiner ce travail. Mes remerciements les plus vifs à :
- **Professeurs Isabel Maria Pinto Leite Viegas Oliveira Ferreira, Olga Maria Dasilva Viegas** et **Zita Emanuela DE SÁ Veloso Martins** de l'université de Porto qui m'ont aidé à la réalisation de ce travail pendant la période que j'ai passé au laboratoire de Bromatologie et d'Hydrologie de département des Sciences Chimiques, faculté de pharmacie, université de Porto, Portugal ;

Je remercie du fond de mon cœur, mon mari **Dr- FADENE Imad Eddine** et **ma famille** qui m'ont soutenus, encouragés et motivés tout au long de ce travail.

Mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près et de loin à la réalisation de ce travail et à tous les amis et les collègues pour leurs encouragements et leur amitié.

ملخص

خلال هذا العمل، تم إنتاج مساحيق من لب و بقايا استخراج شراب التمر نوع قرن غزال، عن طريق التجفيف بالتجميد والتجفيف الحراري و تمت دراسة الخصائص الفيزيائية، الكيميائية و الحيوية لفاكهة التمر.

حركية التجفيف بالتجميد والتجفيف الحراري لل لب و بقايا استخراج شراب التمر درست باستخدام خمسة نماذج تجريبية (نيوتن، بيج، هندرسون وبايس، لوغاريتميك وانغ وسينغ). أفضل تخطيط لحركية التجفيف بالتجميد والتجفيف الحراري لل لب و بقايا استخراج شراب التمر هو التخطيط بنموذج باج واللوغاريتمي عن طريق R^2 الأكبر و χ^2 الأصغر بالقيم التالية: $R^2(0,9635)$ ، $R^2(0,9987)$ و $R^2(0,944)$ ، $R^2(0,98277)$ و $\chi^2(0,000021)$ ، $\chi^2(0,00002)$ و $\chi^2(0,000052)$ و $\chi^2(0,00020)$ على التوالي. تم استخدام قانون فيك لتحديد قيمة الانتشار الفعال لل لب و بقايا استخراج مشروب التمر المجففة بالتجميد والتجفيف الحراري بـ $9,74 \times 10^{-11}$ ، $5,15 \times 10^{-11}$ و $1,09 \times 10^{-9}$ ، $7,76 \times 10^{-11}$ م²/الثانية على التوالي. تم تحليل مساحيق التمر من حيث الخصائص الفيزيائية الكيميائية، الوظيفية و الحيوية.

تمت دراسة الخصائص الفيزيائية الكيميائية والوظيفية للمساحيق المختلفة المستخدمة في تركيب خبز الشعير و البغرير الجزائري.

تم تحضير خبز الشعير بعد دمج 0، 5، 10، 15 و 20% من مسحوق بقايا استخراج شراب التمر المجفف بالتجميد والتجفيف الحراري مع طحين الشعير. أظهرت النتائج أن معدل دمج مسحوق بقايا استخراج شراب التمر يؤثر على الخصائص الفيزيائية الكيميائية، الحيوية و الحسية للخبز. أثبت التحليل الحسي أن العينات التي أضيفت لها 20% من مسحوق بقايا استخراج شراب التمر المجفف بالتجميد والتجفيف الحراري على التوالي كانت الأفضل. تم تحديد أفضل تركيز لمسحوق بقايا استخراج شراب التمر لإنتاج خبز الشعير عن طريق منهجية الدراسة السطحية للنتائج و التي أثبتت أن نسبة 20% هي أفضل تركيز بالنسبة للمساحيق المتحصل عليها عن طريق التجفيف بالتجميد و 10% بالنسبة للمساحيق المتحصل عليها عن طريق التجفيف الحراري.

تم تحضير البغرير الجزائري بعد دمج 0، 20، 30 و 40% من مسحوق بقايا استخراج شراب التمر المجفف. أظهرت النتائج أن معدل دمج مسحوق التمر يؤثر على الخصائص الفيزيائية الكيميائية، الحيوية و الحسية للبغرير. جميع عينات البغرير كانت مقبولة. أثبت التحليل الحسي أن العينة التي تحتوي على 20% و 30% من مسحوق بقايا استخراج شراب التمر المجفف بالتجميد و بالحرارة على التوالي كانت هي الأفضل. أثبتت منهجية الدراسة السطحية للنتائج أن نسبة 40% هي الأفضل بالنسبة للمساحيق المتحصل عليها عن طريق التجفيف بالتجميد و 20% بالنسبة للمساحيق المتحصل عليها عن طريق التجفيف الحراري.

في هذا العمل تم تطبيق طريقة تحليل المكون الرئيسي (ACP). أظهرت النتائج أنه يمكن إنتاج خبز الشعير وبغرير جيد و مقبول باستخدام مسحوق بقايا استخراج شراب التمر بتركيزات مختلفة.

كلمات مفتاحية: تمر قرن غزال، التجفيف، مسحوق التمر، خبز الشعير، البغرير الجزائري.

RESUME

Dans le présent travail, des poudres de pulpe et de résidu d'extraction de sirop de datte ont été produites à partir de la variété de datte Garn Ghzel par lyophilisation et séchage convectif. Le fruit de datte a été caractérisé en termes de propriétés physicochimiques et biochimiques.

La cinétique de séchage par lyophilisation et convection de la pulpe et de résidu de datte a été modélisée à l'aide de cinq modèles expérimentaux (Newton, Page, Henderson et Papis, Logarithmique et Wang et Singh). Les modèles de Page et Logarithmique sont les meilleurs pour la cinétique de lyophilisation et de séchage convectif de la pulpe et des résidus avec le coefficient de détermination le plus élevé $R^2(0,9635)$, $R^2(0,9987)$ et $R^2(0,944)$, $R^2(0,98277)$ et le plus faible chi-square $\chi^2(0,000021)$, $\chi^2(0,000052)$ et $\chi^2(0,00002)$, $\chi^2(0,00020)$ respectivement. La loi de Fick a été utilisée pour déterminer la diffusivité effective de la teneur en eau. Ces valeurs sont respectivement $9,74 \times 10^{-11}$; $5,15 \times 10^{-11}$ m²/s et $1,09 \times 10^{-9}$; $7,76 \times 10^{-11}$ m²/s pour la pulpe et les résidus de datte lyophilisés et séchés par convection respectivement.

Les poudres de dattes ont été caractérisées en termes de propriétés physicochimiques, fonctionnelles et biochimiques.

Les propriétés physicochimiques et fonctionnelles de mélanges de poudres utilisées dans la formulation de pain d'orge et des crêpes Algériennes ont été caractérisées.

Le pain d'orge a été préparé après incorporation de 0, 5, 10, 15 et 20% de poudres des résidus de datte lyophilisées et obtenues par séchage convectif. Le taux d'incorporation de poudre de datte a un effet sur les caractéristiques physicochimiques, biochimiques et sensorielles. Selon l'analyse organoleptique, les pains enrichis en 20% de poudre de datte sont préférés. L'optimisation du volume spécifique montre que les meilleures concentrations pour les poudres de résidu de datte lyophilisées sont celles de 20% alors que pour les poudres obtenues par séchage convectif sont celles de 10%.

Les crêpes Algériennes ont été préparées après incorporation de 0, 20, 30 et 40% de poudre du résidu de datte lyophilisée et obtenue par séchage convectif. Les résultats montrent que le taux d'incorporation de poudre de datte a un effet sur les caractéristiques physicochimiques, biochimiques et sensorielles. Selon l'analyse organoleptique, les échantillons enrichis en 20 et 30% sont préférés. L'optimisation du volume spécifique montre que les meilleures concentrations pour les poudres de résidus de datte lyophilisées sont celles de 40% alors que pour les poudres obtenues par séchage convectif sont celles de 20%.

Dans ce travail, la méthode d'analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée.

Les résultats montrent qu'on peut produire du pain d'orge et des crêpes Algériennes acceptables à l'aide des poudres du résidu de datte lyophilisées et obtenues par séchage convectif à différentes concentrations.

Mots clés: Datte Garn Ghzel, séchage, poudre de datte, pain d'orge, crêpes Algériennes.

ABSTRACT

In the present work, date pulp and pomace powders were produced under freeze drying and convective drying conditions from Garn Ghzel date variety. Date fruit was characterized in terms of physicochemical and biochemical properties.

Freeze and convective drying kinetics of date pulp and pomace were modeled using five empirical models (Newton, Page, Henderson and Papis, Logarithmic & Wang and Singh). Page and Logarithmic models are the best fitted freeze and convective drying kinetics of date pulp and pomace with the highest determination coefficient R^2 (0.9635), R^2 (0.9987) and R^2 (0.944), R^2 (0.98277) and the lowest chi-square χ^2 (0.000021), χ^2 (0.000052) and χ^2 (0.00002), χ^2 (0.00020) values respectively. Fick's law was used to determine the effective moisture diffusivity. Its values were 9.74×10^{-11} , 5.15×10^{-11} m²/s and 1.09×10^{-9} ; 7.76×10^{-11} m²/s for freeze and convective drying date pulp and pomace respectively.

Date powders were characterized in terms of physicochemical, functional and biochemical properties.

Physicochemical and functional properties of different mixing powders used in formulations of barley bread and Algerian pancake were characterized.

Barley bread was prepared after incorporation of 0, 5, 10, 15 and 20% of freeze and convective dried date pomace powders. The rate of incorporation of date powder has an effect on the physicochemical, biochemical and sensory characteristics. Results of sensory properties show that samples fortified with 20% of freeze and convective dried date powders are preferred. The results of specific volume optimization of enriched breads show that the best concentrations of freeze dried date pomace powder are 20% whereas for convective drying powders are 10%.

Algerian pancakes were prepared after incorporation of 0, 20, 30 and 40% of freeze and convective dried date pomace powders. Results showed that the incorporation rate of date powder affected physicochemical, biochemical and sensory characteristics of pancake. Results of sensory properties show that all pancakes were accepted; however samples with 20 and 30% were preferred. The results of specific volume optimization of enriched pancakes show that the best concentrations of freeze dried date pomace powder are 40% whereas for convective drying powders are 20%.

In this work, the Principal Component Analysis method (PCA) was applied.

Findings showed that good and acceptable barley bread and Algerian pancake could be produced using freeze dried and convective dried date pomace powders at different concentrations.

Key words: Garn Ghzel date, drying, date powder, barley bread, Algerian pancake.

Sommaire

SOMMAIRE

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction 2

Synthèse bibliographique

Chapitre I: Généralités sur la datte

1. Généralités sur le palmier dattier	7
1.1. Position systématique du <i>phaenix dactylifera</i>	7
1.2. Exigences écologiques du palmier dattier	7
1.3. Répartition géographique du palmier dattier	8
2. Dattes	9
2.1. Aspect botanique	9
2.2. Définition de la datte	10
2.3. Formation et évolutions des dattes	10
3. Variétés des dattes	11
3.1. Deglet Nour	11
3.2. Dattes communes	12
3.3. Dattes secondaires	12
4. Production des dattes dans le monde et en Algérie	12
5. Composition biochimique des dattes	13
5.1. Composition biochimique de la partie comestible "Pulpe "	13
5.2. Composition biochimique de la partie non comestible "Noyau "	17

Chapitre II: Technologie de la datte

1. Conditionnement de la datte	19
2. Transformation de la datte	19
2.1. Transformation directe	19
2.2. Transformation indirecte	21
3. Importance économique de la transformation de la datte	22

Chapitre III: Utilisations de la poudre de datte en industrie agro-alimentaire

1. Produits céréaliers.....	24
1.1. Pain.....	24
1.2. Biscuit.....	25
1.3. Cookie	26
1.4. Muffin	26
1.5. Couscous	27
2. Produits laitiers	28
2.1. Yaourt	28
3. Boisson.....	29
3.1. Sirop de datte.....	29
3.2. Boisson non-alcoolisée.....	29
3.3. Café	30
4. Alicaments	31
4.1. Poudres de datte améliorées par la spiruline	31

Etude expérimentale

Chapitre IV: Matériel et méthodes

1. Description et choix de la variété de datte.....	34
2. Caractérisations physiques du fruit de datte.....	34
2.1. Dimensions du fruit entier et de son noyau	34
2.2. Poids du fruit entier et de son noyau	35
2.3. Poids de mille fruits et de mille noyaux (P ₁₀₀₀).....	35
2.4. Rapports de qualité de la datte.....	35
2.5. Couleur	35
3. Caractérisations physicochimiques et biochimiques de la datte	35
3.1. Teneur en eau	35
3.2. pH	36
3.3. Acidité titrable	36
3.4. Cendre	37
3.5. Détermination de la teneur en sucre totaux	37
3.6. Détermination de la teneur en polyphénols totaux	38
3.7. Détermination de la teneur en flavonoïdes.....	39
4. Obtention des poudres de pulpe et de résidu de datte.....	39

4.1. Méthodologie de séchage	39
4.2. Cinétique de séchage	41
4.3. Modélisation de la cinétique de séchage (lyophilisation et séchage convectif).....	41
5. Caractérisations physicochimiques des poudres de pulpe et de résidu de datte.....	43
5.1. Teneur en eau.....	43
5.2. Teneur en cendres	43
5.3. pH.....	43
5.4. Couleur	44
6. Caractérisations fonctionnelles des poudres de pulpe et de résidu de datte	44
6.1.Mouillabilité	44
6.2. Masse volumique.....	44
7. Caractérisations biochimiques des poudres de pulpe et de résidu de datte	45
7.1. Détermination de la teneur en sucres totaux	45
7.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes.....	45
8. Valorisation des poudres de résidu de datte: Formulation de pain d'orge.....	46
8.1.Caractérisations physicochimiques et fonctionnelles de mélange des poudres.....	46
8.2. Fabrication de pain d'orge enrichi en poudres de résidu de datte (lyophilisées et obtenues par séchage convectif)	47
8.3.Caractérisations physicochimiques et biochimiques des pains d'orge enrichis	48
8.4.Evaluation sensorielle des pains d'orge enrichis.....	50
9. Valorisation des poudres de résidu de datte: Formulation des crêpes Algériennes.....	50
9.1.Caractérisations physicochimiques et fonctionnelles de mélange des poudres.....	50
9.2.Fabrication des crêpes Algériennes enrichies en poudres de résidu de datte (lyophilisées et obtenues par séchage convectif)	50
9.3.Caractérisations physicochimiques et biochimiques des crêpes Algériennes enrichies.....	51
9.4.Evaluation sensorielle des crêpes Algériennes enrichies	54
10. Optimisation des formulations préparées	55
10.1. Pain d'orge enrichi.....	55
10.2. Crêpes Algériennes enrichies.....	58
11. Analyse statistique.....	60

Chapitre V : Résultats et discussion

1. Caractérisations physiques du fruit de datte (Garn Ghzel).....	62
2. Caractérisations physicochimiques et biochimiques de la datte (Garn Ghzel).....	64

3. Obtention de sirop et de poudre de pulpe et de résidu de datte (Garn Ghzel)	65
4. Cinétique de séchage des pulpes et de résidu de datte.....	67
4.1. Cinétique de séchage par lyophilisation des pulpes et de résidu de datte	67
4.2. Cinétique de séchage convectif des pulpes et de résidu de datte	70
5. Modélisation de la cinétique de séchage	72
5.1. Lyophilisation.....	72
5.2. Séchage convectif	74
6. Caractérisations physicochimiques des poudres de pulpe et de résidu de datte	76
7. Caractérisations fonctionnelles des poudres de pulpe et de résidu de datte	78
8. Caractérisations biochimiques des poudres de datte.....	80
8.1. Analyse en Composantes Principales (ACP) des poudres de datte (variables biochimiques)	80
9. Pain d'orge enrichi en poudres de résidu de datte	82
9.1. Formulation	82
9.2. Caractérisation	89
9.3. Optimisation	99
10. Crêpes Algériennes enrichies en poudres de résidu de datte.....	106
10.1. Formulation	106
10.2. Caractérisation	114
10.3. Optimisation	128
Conclusion	136
Références bibliographiques.....	139
Annexes	
Publications	

LISTE DES ABREVIATIONS

AACC	Association Américaine des Chimistes Céréaliers
ACP	Analyse en Composante Principale
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
ATR-FTIR	Attenuated Total Reflectance - Fourier Transform Infrared Spectroscopy
ATR-FTMIR	Attenuated Total Reflectance-Fourier Transform Mid Infrared Spectroscopy
CAPRD20	Crêpes Algériennes enrichies en 20% de Poudre de Résidu de Datte
CAPRD30	Crêpes Algériennes enrichies en 30% de Poudre de Résidu de Datte
CAPRD40	Crêpes Algériennes enrichies en 40% de Poudre de Résidu de Datte
C*	Chroma
cm	Centimètre
CRE	Capacité de Rétention d'Eau
°Brix	Degré Brix
°C	Degré Celsius
D	Diffusivité effective
CFD	Concentré de Fibres de Dattes
EAG	Equivalent d'Acide Gallique
ET	Ecart type
FAO	Food and Agriculture Organization
FO/PRD	Farine d'Orge/ Poudre de Résidu de Datte
g	gramme
H*	Angle de teinte
HbA1C	Hémoglobine Glyquée
HMF	Hydroxyméthylfurfural
ICC	International association for Cereal science and Technology
kg	kilogramme
m	mètre
MM	Matière Minérale
MR	Teneur en eau relative
μ	Micro

μl	Microlitre
μm	Micromètre
NaCl	Chlorure de sodium
NaOH	Hydroxyde de sodium
NB	Nota Bene
nm	Nanomètre
P_{ApC}	Poids Après Cuisson
PRD	Poudre de Résidu de Datte
PPUD	Poudre de Pulpe de datte
PLSR	Régression des moindres carrés partiels
POPRD5	Pain d'Orge enrichi en 5% de Poudre de Résidu de Datte
POPRD10	Pain d'Orge enrichi en 10% de Poudre de Résidu de Datte
POPRD15	Pain d'Orge enrichi en 15% de Poudre de Résidu de Datte
POPRD20	Pain d'Orge enrichi en 20% de Poudre de Résidu de Datte
PS	Poids Sec
%	Pourcentage
EQ	Equivalents de Quercétine
RMSE	Erreur quadratique moyenne
RSM	Response Surface Methodology
R²	Coefficient de détermination
SC	Séchage Convectif
SL	Séchage par Lyophilisation
S/PRD	Semoule/ Poudre de Résidu de Datte
Vs	Volume spécifique
χ²	Carré réduit

LISTE DES TABLEAUX

N°	Tableau	Page
1	Classification des dattes selon leur consistance.	12
2	Teneur en eau de quelques variétés de dattes Algériennes en (%).	13
3	Teneur en sucres de quelques variétés de dattes Algériennes de la région de Zibans, en % de matière sèche.	14
4	Composition moyenne en acides aminés de la datte sèche.	14
5	Composition en acides gras de la datte Deglet-Nour, en % de matière grasse.	15
6	Composition minérale de quelques variétés de dattes molles Algériennes, en mg/100 g de la partie comestible.	15
7	Composition vitaminique de la pulpe de datte.	16
8	Teneur en composés phénoliques de quelques variétés de dattes Algériennes.	16
9	Composition biochimique des noyaux des dattes Irakiennes.	17
10	Effet du pain enrichi sur la consommation des aliments, la prise de poids, le glucose, l'insuline et l'HbA1C des rats diabétiques.	25
11	Evaluation nutritionnelle des biscuits enrichis.	26
12	Valeurs sensorielles moyennes pour l'acceptation du consommateur des cookies contenant différents niveaux de poudre et de sirop de datte.	26
13	Caractéristiques sensorielles des muffins avec différents niveaux de concentrés de fibre.	27
14	Recette du yaourt standard et du yaourt enrichi par la poudre de datte.	29
15	Différentes farines obtenues et codes utilisés.	47
16	Formulation du pain d'orge enrichi.	47
17	Formulation des crêpes Algériennes.	50
18	Matrice d'expérience du plan composite orthogonal centré à deux variables.	56
19	Valeurs calculées des variables codées correspondant aux niveaux attribués (Pain enrichi en poudre de résidu de datte lyophilisée).	57
20	Valeurs calculées des variables codées correspondant aux niveaux attribués (Pain enrichi en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif).	57
21	Matrice d'expérience du plan composite orthogonal centré à deux variables.	59
22	Valeurs calculées des variables codées correspondant aux niveaux attribués (Crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée).	60

23	Valeurs calculées des variables codées correspondant aux niveaux attribués (Crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif).	60
24	Caractéristiques physiques de la variété de datte Garn Ghzel.	62
25	Caractéristiques physicochimiques et biochimiques de la variété de datte Garn Ghzel.	64
26	Constantes et paramètres statistiques de la pulpe et de résidu de datte (SL).	73
27	Constantes et paramètres statistiques de la pulpe et de résidu de datte (SC).	75
28	Propriétés physicochimiques des poudres de pulpe et de résidu de datte.	77
29	Propriétés fonctionnelles des poudres de pulpe et de résidu de datte.	78
30	Propriétés biochimiques des poudres de datte.	80
31	Propriétés physicochimiques et fonctionnelles des mélanges de poudre utilisés dans la préparation de pain d'orge enrichi (FO/PRD (SL)).	83
32	Propriétés physicochimiques et fonctionnelles des mélanges de poudre utilisés dans la préparation de pain d'orge enrichi (FO/PRD (SC)).	83
33	Propriétés physicochimiques et biochimiques de pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte lyophilisée.	90
34	Propriétés physicochimiques et biochimiques de pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif.	90
35	Evaluation sensorielle du pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte lyophilisée.	95
36	Evaluation sensorielle du pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif.	97
37	Résultats du plan central composite de deux facteurs (V et P_{ApC}) de pain d'orge enrichi (POPRD (SL)).	100
38	Résultats du plan central composite de deux facteurs (V et P_{ApC}) de pain d'orge enrichi (POPRD (SC)).	103
39	Propriétés physicochimiques et fonctionnelles des mélanges de poudre utilisés dans la préparation des crêpes Algériennes enrichies (S/PRD (SL)).	107
40	Propriétés physicochimiques et fonctionnelles des mélanges de poudre utilisés dans la préparation des crêpes Algériennes enrichies (S/PRD (SC)).	107
41	Propriétés physicochimiques et biochimiques des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée.	114

42	Propriétés physicochimiques et biochimiques des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif.	115
43	Résultat d'analyse sensoriel des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée (0, 20, 30 et 40% de poudre de résidu de datte).	124
44	Résultat d'analyse sensoriel des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidus de datte obtenue par séchage convectif (0, 20, 30 et 40% de poudre de résidu de datte).	125
45	Résultats du plan central composite de deux facteurs (V et P_{APC}) des crêpes Algériennes enrichies (CAPRD (SL)).	128
46	Résultats du plan central composite de deux facteurs (V et P_{APC}) des crêpes Algériennes enrichies (CAPRD (SC)).	131

LISTE DES FIGURES

N°	Figure	Page
1	Distribution géographique du palmier dattier dans le monde.	8
2	Distribution géographique du palmier dattier en Algérie.	9
3	Datte et noyau du palmier dattier.	10
4	Développement et maturation des dattes.	11
5	Technologie de la datte.	20
6	Composés phénoliques totaux (mg EAG/100 g de pain) dans le pain pita ordinaire, pain pita de blé entier et pain pita contenant (5, 10, 15 et 20%) de poudre de noyau de datte.	24
7	Courbes granulométriques du couscous préparé à différentes vitesses de fabrication, incorporant des poudres de datte (0%, 25% et 50%).	27
8	Diagramme de fabrication d'un yaourt aux poudres de dattes.	28
9	Variétés de dattes: H'amira, H'loua, Tefezouine et Timjouhart (fruits entiers et en poudres).	29
10	Production d'un café de poudre de datte.	30
11	Aspect physique des comprimés correspondant aux formulations F1 (80% datte, 10% spiruline, 5% jus d'orange lyophilisé et 5% zeste d'orange), formulation F6 (poudre de datte pure) et formulation F7 (poudre de spiruline pure) lors d'une immersion dans l'eau distillée.	31
12	Datte Garn Ghzel entière et en coupe.	34
13	Spectrophotomètre Biotek Synergy HT, lecteur multi détection spécial microplaque (Vermont, USA).	38
14	Diagramme de fabrication des poudres de pulpe et de résidu de datte.	39
15	Lyophilisateur type (LD 2-8 Christ Beta Plus, Allemagne).	40
16	Etuve à convection type (Memmert, Germany).	40
17	Colorimètre (Konica Minolta Sensing, INC. CR-10, Japon).	44
18	Diagramme de fabrication des pains d'orge témoins et enrichis.	48
19	Diagramme de fabrication des crêpes Algériennes obtenues par les poudres de résidu de datte.	51
20	Paramètres de la couleur de datte (Garn Ghzel).	63
21	Diagramme de fabrication de sirop et de poudre de datte; (SL: Séchage par Lyophilisation, SC: Séchage convectif).	66

22	Poudres de datte (Garn Ghzel). PPUD (SL): Poudre de Pulpe de Datte obtenue par Lyophilisation, PRD (SL): Poudre de Résidu de Datte obtenue par Lyophilisation, PPUD (SC): Poudre de Pulpe de Datte obtenue par Séchage Convectif, PRD (SC): Poudre de Résidu de Datte obtenue par Séchage Convectif	67
23	Teneur en eau de la pulpe de datte lyophilisée (-40°C/0,12 mbar).	68
24	Teneur en eau relative de la pulpe de datte lyophilisée (-40°C/0,12 mbar).	68
25	Teneur en eau en fonction du temps des résidus de datte lyophilisés (-40°C/0,12 mbar).	69
26	Teneur en eau relative en fonction du temps des résidus de datte lyophilisés (-40°C/0,12 mbar).	69
27	Teneur en eau de la pulpe de datte obtenue par séchage convectif (T=50°C).	70
28	Teneur en eau relative de la pulpe de datte obtenue par séchage convectif (T=50°C).	70
29	Teneur en eau de résidu de datte obtenue par séchage convectif (T=50°C).	71
30	Teneur en eau relative de résidu de datte obtenue par séchage convectif (T=50°C).	71
31	Teneur en eau relative en fonction du temps de pulpe et de résidu de datte lyophilisés (modèles Page et Logarithmique).	74
32	Teneur en eau relative en fonction du temps de pulpe et de résidu de datte obtenue par séchage convectif (modèle Logarithmique).	76
33	Cercle de corrélation des variables biochimiques des poudres de datte lyophilisées et obtenues par séchage convectif.	81
34	Mélanges de poudres utilisées dans la préparation de pain d'orge enrichi. FO/PRD (SL): Farine d'Orge/Poudre de Résidu de Datte (Séchage par Lyophilisation), FO/PRD (SC): Farine d'Orge/Poudre de Résidu de Datte (Séchage Convectif).	82
35A	Couleur de mélange des poudres utilisées dans la préparation des pains d'orge enrichis (Farine d'orge/PRD lyophilisées).	85
35B	Couleur de mélange des poudres utilisées dans la préparation des pains d'orge enrichis (Farine d'orge/PRD obtenues par séchage convectif).	86
36	Cercle de corrélation des variables physicochimiques et fonctionnelles	87

	des mélanges de poudre utilisés dans la préparation de pain d'orge enrichi (A: FO/PRD (SL) et B: FO/PRD (SC)).	
37	Pain d'orge (PO) enrichi en poudres de résidus de datte de datte. PRD (SL) : Poudres de Résidu de Datte (Séchage par Lyophilisation). PRD (SC) : Poudres de Résidu de Datte (Séchage Convectif).	89
38A	Couleur des pains d'orge enrichis en poudres de résidu de datte POPRD (SL). PRD (SL) : Poudres de Résidu de Datte (Séchage par Lyophilisation).	92
38B	Couleur des pains d'orge enrichis en poudres de résidu de datte POPRD (SC). PRD (SC): Poudres de Résidu de Datte (Séchage Convectif).	93
39	Cercle de corrélation des variables physicochimiques et biochimiques des pains d'orge enrichis en poudres de résidu de datte (A: POPRD (SL) et B: POPRD (SC)).	94
40	Profil sensoriel de pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte lyophilisée (0, 5, 10, 15 et 20% de poudre de résidu de datte).	96
41	Profil sensoriel de pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif (0, 5, 10, 15 et 20% de poudre de résidu de datte).	97
42	Cercle de corrélation des variables sensorielles des pains d'orge enrichis (A: POPRD (SL) et B: POPRD (SC)).	98
43	Courbe de niveau du meilleur volume spécifique de pain d'orge enrichi en fonction du poids après cuisson et du volume.	101
44	Surface de réponse du volume spécifique de pain d'orge enrichi en fonction du poids après cuisson et du volume.	102
45	Courbe de niveau d'optimisation du volume spécifique en fonction du poids après cuisson et du volume de pain d'orge enrichi.	102
46	Courbe de niveau de meilleur volume spécifique de pain d'orge enrichi en fonction de poids après cuisson et de volume.	104
47	Surface de réponse du volume spécifique de pain d'orge enrichi en fonction du poids et du volume.	105
48	Courbe de niveau d'optimisation du volume spécifique en fonction du poids après cuisson et du volume de pain d'orge enrichi.	105
49	Mélanges de poudres utilisées dans la préparation des crêpes Algériennes enrichies. S/PRD (SL): Semoule/Poudre de Résidu de Datte (Séchage par Lyophilisation), S/PRD (SC): Semoule/Poudre de Résidu de Datte (Séchage Convectif).	106

50A	Couleur des mélanges des poudres utilisées dans la préparation des crêpes Algériennes enrichies (S/PRD lyophilisée).	109
50B	Couleur des mélanges des poudres utilisées dans la préparation des crêpes Algériennes enrichies (S/PRD obtenue par séchage convectif).	110
51	Cercle de corrélation des variables physicochimiques et fonctionnelles des mélanges de poudre utilisés dans la préparation des crêpes Algériennes enrichies (A: S/PRD (SL) et B: S/PRD (SC)).	111
52A	Crêpes Algériennes (CA) enrichies en poudres de résidu de datte. PRD(SL) : Poudres de Résidu de Datte (Séchage par Lyophilisation).	113
52B	Crêpes Algériennes (CA) enrichies en poudres de résidu de datte. PRD (SC): Poudres de Résidu de Datte (Séchage Convectif).	113
53A	Nombre d'alvéole/cm ² des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée.	118
53B	Nombre d'alvéole/cm ² des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif.	118
54	Couleur des crêpes Algériennes (CA) obtenues par différentes proportions de mélanges de poudres S/PRD (haute et basse surface). S/PRD : Semoule/Poudre de Résidu de Datte lyophilisée.	120
55	Couleur des crêpes Algériennes obtenues par différentes proportions de mélanges de poudres S/PRD (SC) (haute et basse surface). S/PRD (SC): Semoule/ Poudre de Résidu de Datte obtenue par séchage convectif	121
56	Cercle de corrélation des variables physicochimiques et biochimiques des crêpes Algériennes enrichies (A: CAPRD (SL) et B: CAPRD (SC)).	122
57	Profil sensoriel des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée (0, 20, 30 et 40% de poudre de résidu de datte).	124
58	Profil sensoriel des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif (0, 20, 30 et 40% de poudre de résidu de datte).	125
59	Cercle de corrélation des attributs sensoriels des crêpes Algériennes enrichies (A: CAPRD (SL) et B: CAPRD (SC)).	126
60	Courbe de niveau du meilleur volume spécifique des crêpes Algériennes enrichies en fonction du poids après cuisson et du volume des crêpes.	129

61	Surface de réponse du volume spécifique des crêpes Algériennes enrichies en fonction du poids après cuisson et du volume des crêpes.	130
62	Courbe de niveau d'optimisation du volume spécifique en fonction du poids après cuisson et du volume de crêpe Algérienne enrichie.	130
63	Courbe de niveau du meilleur volume spécifique des crêpes Algériennes enrichies en fonction du poids et du volume de crêpes.	132
64	Surface de réponse du volume spécifique des crêpes Algériennes enrichies en fonction du poids après cuisson et du volume de crêpes.	133
65	Courbe de niveau d'optimisation du volume spécifique en fonction de poids après cuisson et de volume des crêpes Algériennes enrichies.	133

Introduction

INTRODUCTION

Le fruit du palmier dattier est utilisé en raison de sa valeur nutritionnelle, sanitaire et économique remarquable, en plus de ses avantages esthétiques et environnementaux. Les dattes sont riches en glucides, en minéraux, en fibres alimentaires, en vitamines, en acides gras, en acides aminés et en protéines (Al-Shahib et Marshall, 2003).

La datte (*Phoenix dactylifera*) est un fruit très énergétique. La datte contient généralement des glucides (44-88%), des lipides (0,2-0,5%), des protéines (2,3-5,6%), des fibres alimentaires (6,4-11,5%), des minéraux tels que le potassium (650 mg / 100g), du fer (3 mg / 100 g), du magnésium (75 mg / 100 g) et des vitamines telles que les vitamines B1, B2, A, la riboflavine et la niacine. Le potentiel antioxydant des dattes est également élevé (Fahloul et al., 2010).

L'Algérie est l'un des plus grands producteurs de dattes dans le monde avec une grande diversité de production. La variété Garn Ghzel n'est pas largement consommée malgré sa richesse en sucres totaux et réducteurs (Mrabet et al., 2008). Les industries de transformation de datte produisent divers produits tels que la pâte, le sirop, la confiture et le vinaigre. Le sirop de datte est probablement un sous produit de datte plus courant (Ganbi, 2012). La production de poudre de datte pourrait améliorer la manipulation, le stockage et la capacité d'obtention de plusieurs produits tels que les aliments cuits au four (Manickavasagan et al., 2015).

Ces dernières années, les opérations de séchage ont rendu possible la production de divers produits alimentaires à une valeur améliorée (Omolola Adewale et al., 2015).

La lyophilisation est l'une des méthodes de séchage utilisée dans la fabrication des produits pharmaceutiques et biologiques qui sont thermolabiles ou d'une autre manière instables dans une solution aqueuse et stables à l'état sec pour prolonger sa durée de stockage (Nireesha et al., 2013). Le séchage convectif est utilisé pour éliminer l'eau des produits alimentaires par l'application de l'air chaud sur le produit destiné au séchage (Tamboli et Bhong, 2018).

La relation entre l'alimentation et la santé a un grand effet sur l'innovation alimentaire en raison de la popularité du concept d'aliments fonctionnels. L'utilisation des

connaissances alimentaires au niveau de l'alimentation pour améliorer la santé des consommateurs constitue le concept général des aliments fonctionnels (Kárkliò et *al.*, 2012).

L'utilisation des sous-produits des fruits et des légumes comme additifs alimentaires naturels a été récemment développée en raison de leurs teneur élevée en polyphénols, caroténoïdes, fibres alimentaires ou autres composés bioactifs (Prokopov et *al.*, 2015).

Le résidu de datte est un sous-produit de l'industrie du sirop de datte. Cependant, les informations sur l'incorporation de la poudre de résidu de datte obtenu après extraction de sirop dans les produits céréaliers sont rares (Messaoudi et Fahloul, 2018). À notre connaissance, aucun travail n'a été signalé sur la production de poudre de résidu de datte (Garn Ghzel) ainsi que sur la transformation et la valorisation de cette variété.

Les produits de boulangerie ont une grande popularité en raison de leurs disponibilité, facilité de consommation et durée de vie qui est relativement longue (Vijayakumar et *al.*, 2013). Les produits de boulangerie les plus courants sont les biscuits, les muffins, les gâteaux, le pain, les pâtisseries et les tartes (Paul et Bhattacharyya, 2015).

Le pain est l'un des aliments les plus consommés dans le monde (Obiegbona et *al.*, 2013). Le pain est le principal produit de la boulangerie, il est largement accepté et consommé sous forme d'aliment très pratique dans le monde entier; cependant, la demande de la consommation des pains riches en fibres augmente en raison de leurs propriétés stimulantes pour la santé. C'est une bonne source de nutriments, tels que les macronutriments (glucides, protéines et lipides) et micronutriments (minéraux et vitamines) qui sont tous essentiels pour la santé humaine (Olubunmi et *al.*, 2015).

Les crêpes sont des produits à base d'amidon préparés en versant la pâte sur une surface solide et chaude et en la cuisant jusqu'à ce qu'elle devient solide (Pengy et *al.*, 2016). Les crêpes consommées en Algérie sont des produits de fabrication familiale préparées et consommées pendant les fêtes, Ce produit Algérien de fabrication traditionnelle n'est pas bien connu du point de vue scientifique (Bouziane, 2014).

Les objectifs de ce travail sont:

- Caractériser la variété de datte (Garn Ghzel) ;
- Produire des poudres de pulpe et de résidu de datte variété (Garn Ghzel) obtenues par deux méthodes de séchage (lyophilisation et séchage convectif) ;

- Modéliser les cinétiques de séchage ;
- Caractériser les poudres de pulpe et de résidu d'extraction de sirop de datte;
- Valoriser les poudres des résidus de datte par l'incorporation dans deux produits: pain d'orge et crêpes Algériennes ;
- Caractériser les différents mélanges des poudres utilisées dans la préparation des produits enrichis par l'étude des propriétés physicochimiques et fonctionnelles et par l'application de la méthode d'Analyse en Composantes Principales (ACP);
- Etudier les propriétés physicochimiques, biochimiques et sensorielles des produits obtenus et appliquer la méthode d'Analyse en Composantes Principales (ACP);
- Optimiser les produits obtenus.

La présente thèse comporte deux parties :

- Une partie bibliographique qui présente des généralités sur la datte; la technologie de la datte et une synthèse sur quelques utilisations de la poudre de datte en industrie agro-alimentaire;
- Une partie expérimentale qui présente le matériel et méthodes d'analyses utilisées dans ce travail avec une modélisation de la cinétique de séchage et une optimisation des produits finis. Cette partie expérimentale détaille aussi les résultats obtenus et leurs discussions avec une analyse statistique ;
- Conclusion et perspectives.

Synthèse bibliographique

Chapitre I
Généralités sur la datte

1. Généralités sur le palmier dattier

Les arbres dattier peuvent avoir 15/25 m de haut et 20/40 cm en rayon transversal. Le tronc est fabriqué de fibres de cellulose fortes et peut être utilisé dans la fabrication de contreplaqué. Il y a plus de 100 millions de palmiers dattiers dans le monde. Le rendement des dattes dépend de nombreuses conditions (Al-Shahib et Marshall, 2003).

Certains types de palmiers peuvent donner 400/600 kg de la matière fraîche par an (100/150 kg de matière sèche) pour jusqu'à 60 ans (Al-Shahib et Marshall, 2003).

Il existe plus de 2000 différentes variétés de dattes fraîches. De nombreuses variétés fraîches sont disponibles pendant 8 mois de l'année. Les dattes sèches se tiennent bien sans ajout des conservateurs pour au moins 8 mois, la teneur élevée en sucre agissant en tant que conservateur efficace (Al-Shahib et Marshall, 2003).

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). C'est une espèce dioïque, monocotylédone, appartenant à la famille des *Palmaceae* qui compte environ 235 genres et 4000 espèces (Munier, 1973). Chaque arbre du palmier ne porte que des inflorescences de même sexe ; le pied mâle appelé localement "Dokkar" et le pied femelle "Nakhla" (Amorsi, 1975).

1.1. Position systématique du *Phœnix dactylifera*

La place du palmier dattier dans le règne végétale est rappelée ci-dessous (Feldman, 1976 ; Djerbi, 1994 ; Kwaasi, 2003) :

Groupe : *Spadiciflores*.

Ordre : *Palmales*.

Famille : *Palmacées*.

Sous famille : *Coryfoïdées*.

Tribu : *Phœnicées*.

Genre : *Phoenix*.

Espèce : *Phoenix dactylifera* L.

1.2. Exigences écologiques du palmier dattier

Le palmier dattier offre de larges possibilités d'adaptation, c'est une espèce thermophile qui exige un climat chaud. 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).

1.3. Répartition géographique du palmier dattier

1.3.1. Dans le monde

Le palmier dattier est originaire du golfe persique (Kwaasi, 2003). Son nombre dans le monde est estimé à 100 millions d'arbres (Ben Abdallah, 1990). Le palmier dattier fait l'objet d'une plantation intensive en Afrique méditerranéenne et au Moyen Orient (figure 1). Aux Etats-Unis d'Amérique, le palmier dattier fût introduit au XVIII^{ème} siècle. Sa culture n'a débuté réellement que vers les années 1900 avec l'importation des variétés Irakiennes (Bouguedoura, 1991).



Figure 1. Distribution géographique du palmier dattier dans le monde (Sakin Abdrabo, 2013).

1.3.2. En Algérie

L'Algérie est un pays producteur de datte (*Phoenix dactylifera L.*) avec une production annuelle de plus de 500 000 tonnes/an. La partie la plus importante de ce tonnage constitue les dattes communes. Celles-ci sont des variétés sèches à faible valeur marchande. En 2010, la production de dattes communes en Algérie a atteint 244 577 tonnes/an (Benahmed Djilali, 2012).

Le palmier dattier est cultivé au niveau de 17 wilayas pour une superficie de 120 830 hectares (figure 2) (Messaid, 2008). La palmeraie Algérienne héberge un matériel génétique très riche et diversifié avec 940 cultivars recensés (Hanachi *et al.*, 1998).

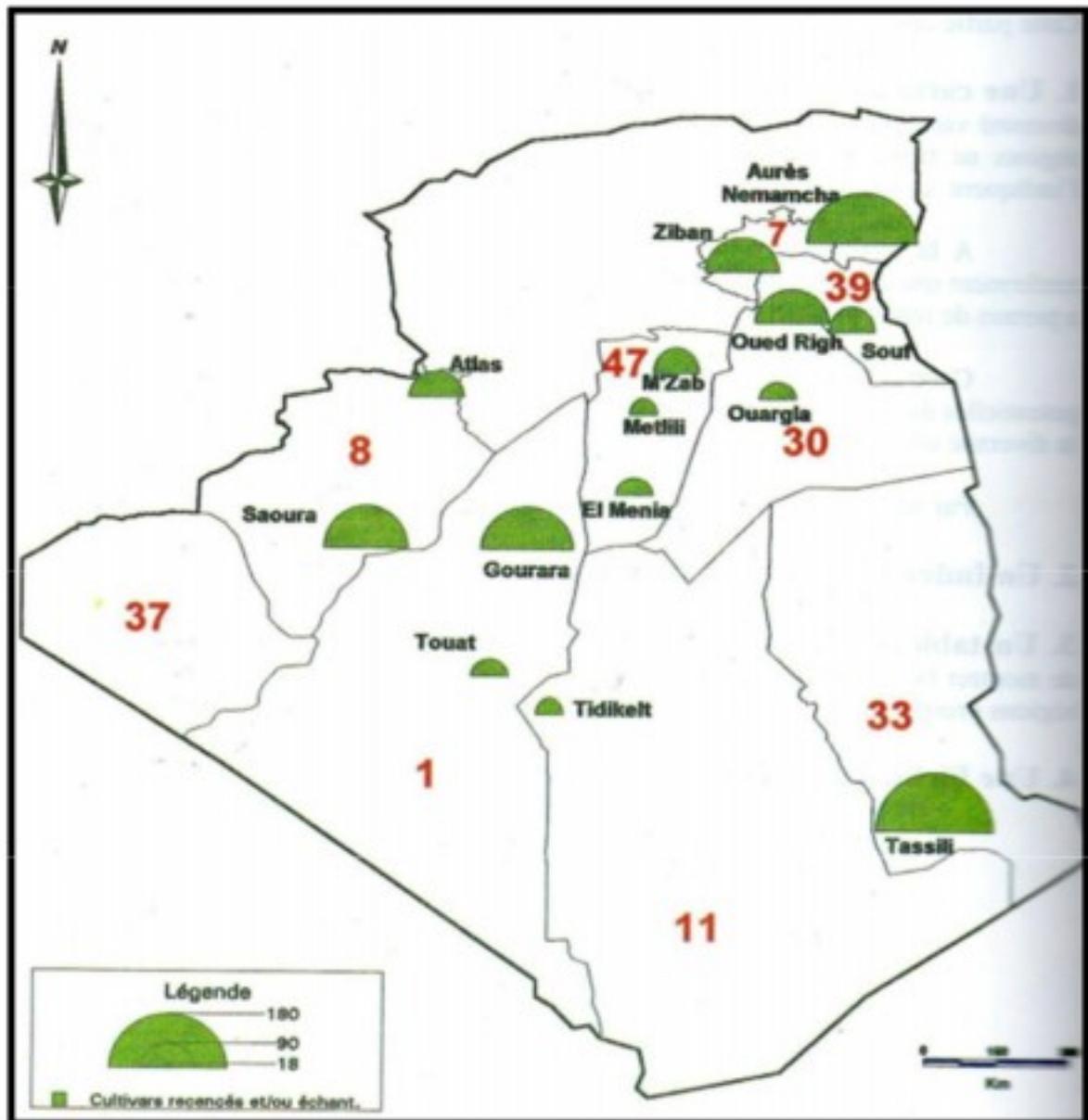


Figure 2. Distribution géographique du palmier dattier en Algérie (Bouguedoura, 1991).

2. Dattes

2.1. Aspect botanique

La datte, fruit du palmier dattier (figure 3), est une baie généralement de forme allongée, oblongue ou arrondie (Espiard, 2002), avec des dimensions très variables, de 2 à 8 cm de longueur et d'un poids de 2 à 8 grammes selon les variétés (Djerbi, 1994). Contenant

un seul grain appelé noyau, la partie comestible de la datte dite chair ou pulpe, est constituée d'un:

- Péricarpe ou enveloppe cellulosique fine dénommée peau ;
- Mésocarpe généralement charnu, de consistance variable selon sa teneur en sucre et de couleur soutenue ;
- Endocarpe de teinte plus claire et de texture fibreuse, parfois réduit à une membrane parcheminée entourant le noyau (Espiard, 2002).

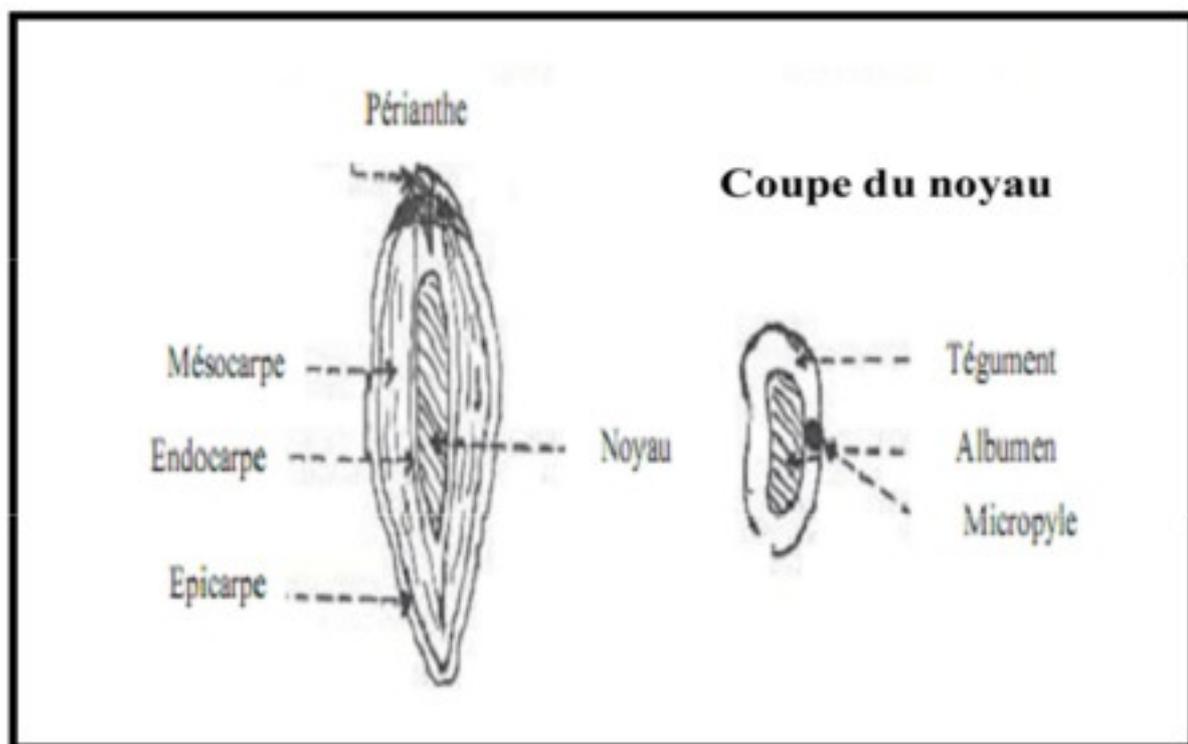


Figure 3. Datte et noyau du palmier dattier (Buelguedj, 2001).

2.2. Définition de la datte

La datte, fruit du palmier dattier, est une baie de forme allongée, oblongue ou arrondie. Elle est composée d'un noyau, ayant une consistance dure, entouré de chair (Espiard, 2002).

2.3. Formation et évolutions des dattes

Les fruits du palmier dattier, après la pollinisation et une fois par an passent par cinq stades de développement pour atteindre leur pleine maturité (figure 4). L'ensemble du processus est long et prend environ sept mois. À maturité le fruit peut être jaune à brun rougeâtre (Baliga et al., 2011).

L'évolution de la maturation du fruit de datte passe par cinq étapes: Khalal, Blah, Bser, Rotab et Tmar (Buelguedj, 2002 ; Iguergaziz, 2012).

- **Étape Khalal**

C'est la première étape de la fertilisation. Elle dure quatre à cinq semaines. Le fruit à une extrémité pointue pèse environ 1g.

- **Étape Blah**

Le développement de la datte dans cette étape est plus long. Il dure au total de neuf à quatorze semaines. Le fruit a une couleur verte, une texture tout à fait dure et une composition sec de 80% d'humidité et 50% de sucre (glucose et fructose).

- **Étape Bser**

Dans cette étape la couleur change selon la variété. Elle se prolonge jusqu'à six semaines, le fruit est physiologiquement mûr et dur. Il atteint le poids maximal à la fin de cette étape.

- **Étape Rotab**

Elle dure entre deux à quatre semaines. La datte devient molle et perd son astringence.

- **Étape Tmar**

Correspond à l'étape finale de la maturation. La datte est entièrement déshydratée.

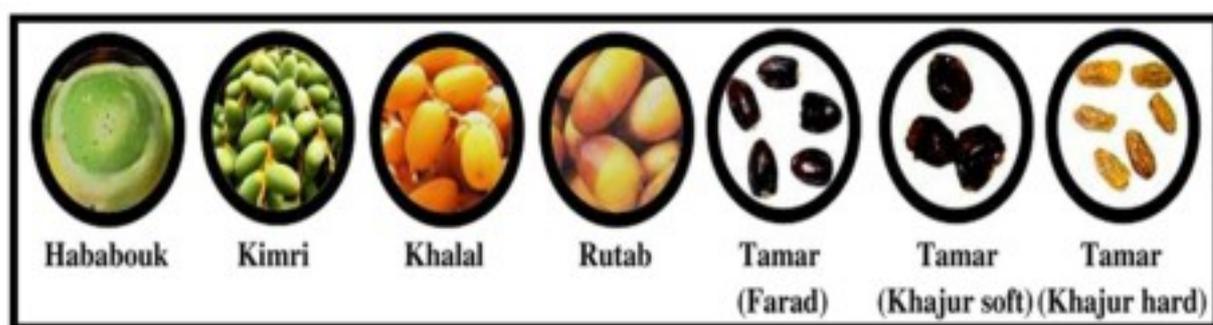


Figure 4. Développement et maturation des dattes (Baliga et al., 2011).

3. Variétés des dattes

Selon Baliga et al. (2011), il existe plus de 600 variétés de dattes. Leur classification est basée sur la forme, la texture et les propriétés organoleptiques de ce fruit (tableau 1). On distingue trois catégories:

3.1. 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 présentant une texture fine légèrement fibreuse (Hanachi et al., 1998).

3.2. Dattes communes

La structure variétale de la palmeraie Algérienne laisse apparaître que les variétés communes de faible valeur marchande sont particulièrement concentrées dans les zones Sud Ouest du pays (Messar, 1996). Cette catégorie de datte comprend les cultivars de dattes sèches et ceux des dattes molles. La production des dattes communes est estimée à 53%. Les plus répandues dans la région Sud Est du pays sont la variété Ghars, la variété Degla Beida et la variété Mech Degla (Buelguedj, 2002).

3.3. Dattes secondaires

Ce sont des cultivars qui sont rares ou en instance de disparition. Il en existe plus de 150. Les plus répandues sont: Hamra, Timnaceur, Tegaza, Tezerzait et Takerboucht. Cette dernière présente un intérêt particulier dû à sa résistance au Bayoud (Boughnou, 1988).

Tableau 1. Classification des dattes selon leur consistance (Espiard, 2002).

<i>Consistance</i>	<i>Caractéristiques</i>	<i>Variétés et pays</i>
<i>Molle</i>	- Humidité supérieure $\geq 30\%$. - Riches en sucres invertis (glucose et fructose).	Ghars (Algérie), Ahmer (Mauritanie), Kashram et Miskhrani (Egypte et Arabie Saoudite).
<i>Demi-molle</i>	- $20\% < H\% < 30\%$ - 50% saccharose et 50% glucose + fructose.	Deglet Nour (Algérie), Mahjoul (Mauritanie), Sifri et Zahidi (Arabie Saoudite).
<i>Sèche</i>	- $H\% < 20\%$ - Riches en saccharose.	Degla Beida et Mech Degla (Tunisie et Algérie) et Amsrie (Mauritanie).

4. Production des dattes dans le monde et en Algérie

La production mondiale annuelle des dattes dépasse 7 416 000 tonnes/an. Environ 35 pays sont enregistrés comme producteurs de dattes, mais 09 pays produisent plus de 100 000 tonnes/an et totalisent 43% de la production mondiale. La production de l'Algérie en dattes toutes variétés confondues est en augmentation constante sur le long terme. Elle est passée de

361 000 tonnes en 1996 à près de 848 000 tonnes en 2013 avec un taux de croissance annuelle moyenne près de 135%. La production de dattes a plus que doublé en 17 années (Boulal, 2017).

5. Composition biochimique des dattes

5.1. Composition biochimique de la partie comestible "Pulpe "

5.1.1. Eau

La teneur en eau est en fonction des variétés (tableau 2), 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 % (Matallah, 1970).

Tableau 2. Teneur en eau de quelques variétés de dattes Algériennes en (%)
(Bacha, 2008).

<i>Variétés</i>	<i>Humidité</i>
<i>Dattes molles: Ghars</i>	30
<i>Dattes sèches: Degla Baida/Mech-Degla</i>	10,7/17,7
<i>Dattes demi-molles: Deglet Nour</i>	25,2

5.1.2. 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 (Matallah, 1970). Ceci n'exclut pas la présence d'autres sucres en faible proportion tels que : le galactose, le xylose et le sorbitol.

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 3 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 (Siboukeur, 1997).

Tableau 3. Teneur en sucres de quelques variétés de dattes Algériennes de la région de Zibans, en % de matière sèche (Acourene et Tama, 1997).

Variétés	Consistance	Sucres totaux	Saccharose	Sucres réducteurs
<i>Ghars</i>		87,42	5,00	82,12
<i>Tantboucht</i>	<i>Molle</i>	79,80	0,90	78,80
<i>Deghlet-Ziane</i>		84,00	2,45	81,45
<i>Ltima</i>		78,51	4,29	73,40
<i>Safraia</i>	<i>Demi-molle</i>	79,00	1,31	77,61
<i>El-Ghazi</i>		94,90	0,80	94,00
<i>Mech-Degla</i>		75,10	52,40	20,00
<i>Kenta</i>	<i>Sèche</i>	72,30	40,55	36,80
<i>Horra</i>		82,46	50,00	29,86

5.1.3. Acides aminés

Les dattes sont caractérisées par une faible teneur en protéines (tableau 4). Elle varie entre 0,38 et 2,5 % du poids sec (Razi, 1993). Malgré cette faible teneur, les protéines de la datte sont équilibrées qualitativement (Kendri, 1999).

Tableau 4. Composition moyenne en acides aminés de la datte sèche (Favier et al., 1993).

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

Selon Al-Shahib et Marshall (2003), les protéines de la datte contiennent 23 acides aminés dont certains ne sont pas présents dans certains fruits comme la banane, la pomme et l'orange.

5.1.4. Acides gras

La datte renferme une faible quantité de lipides (tableau 5). Leur taux varie entre 0,43 et 1,9 % du poids frais (Matallah, 1970). Cette quantité est en fonction de la variété et du stade de maturation (Djouab, 2007).

Tableau 5. Composition en acides gras de la datte Deglet-Nour, en % de matière grasse (Yahiaoui, 1998).

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

5.1.5. Éléments minéraux

La datte est l'un des fruits les plus riches en éléments minéraux, essentiellement le potassium, le magnésium, le phosphore et le calcium (Amellal, 2008).

Le tableau 6, donne la teneur en éléments minéraux de quelques variétés de dattes molles Algériennes.

Tableau 6. Composition minérale de quelques variétés de dattes molles Algériennes, en mg/100 g de la partie comestible (Siboukeur, 1997).

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

5.1.6. Vitamines

En général, la datte ne constitue pas une source importante de vitamine notamment liposoluble. La fraction vitaminique se caractérise par des teneurs appréciables en vitamines du groupe B (tableau 7). Ce sont des précurseurs immédiats des coenzymes indispensables à presque toutes les cellules vivantes où elles jouent un rôle primordial (Vilkas, 1993).

Tableau 7. Composition vitaminique de la pulpe de datte (Favier et *al.*, 1995).

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

5.1.7. Fibres

La datte est riche en fibres, elle en apporte 8,1 à 12,7 % du poids sec (Al-Shahib et Marshall, 2003). Les constituants pariétaux de la datte sont: la pectine, la cellulose, l'hémicellulose et la lignine (Amellal, 2008).

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 (Amellal, 2008).

5.1.8. Composés phénoliques

La datte renferme des substrats dits composés phénoliques (tableau 8) (Mansouri et *al.*, 2005).

Tableau 8. Teneur en composés phénoliques de quelques variétés de dattes Algériennes (Mansouri et *al.*, 2005).

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

5.2. 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 9 montre la composition biochimique des noyaux de dattes Irakiennes (Amellal, 2008):

Tableau 9. Composition biochimique des noyaux des dattes Irakiennes (Munier, 1973).

<i>Constituants</i>	<i>Teneur en %</i>
<i>Eau</i>	6,46
<i>Glucides</i>	62,51
<i>Protides</i>	5,22
<i>Lipides</i>	8,49
<i>Cellulose</i>	16,20
<i>Cendres</i>	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.

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 consommable à l'état, en divers produits, bruts ou finis, destinés à la consommation humaine ou animale et à l'industrie (Estanove, 1990).

1. Conditionnement de la datte

Le conditionnement des dattes est une activité rattachée à la branche de conditionnement des produits agricoles appartenant au secteur des industries agroalimentaires.

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 principalement les variétés destinées à l'exportation. Elle constitue également une source de revenus appréciable pour les agriculteurs et joue un rôle social stratégique dans l'équilibre des systèmes de production des oasis.

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 (Abdelfattah, 1989).

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

2. Transformation de la datte

2.1. Transformation directe

2.1.1. 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).

2.1.2. 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 Aneur, 2001) et yaourt (Benamara et *al.*, 2004).

2.1.3. Sirops, crèmes et confitures de dattes

Ces produits sont également fabriqués à base de dattes saines car il est important d'éviter tout arrière goût de fermentation (Amellal, 2008).

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.

La figure 5 résume l'ensemble des produits dérivant de la transformation des dattes (Boukhiar, 2009).

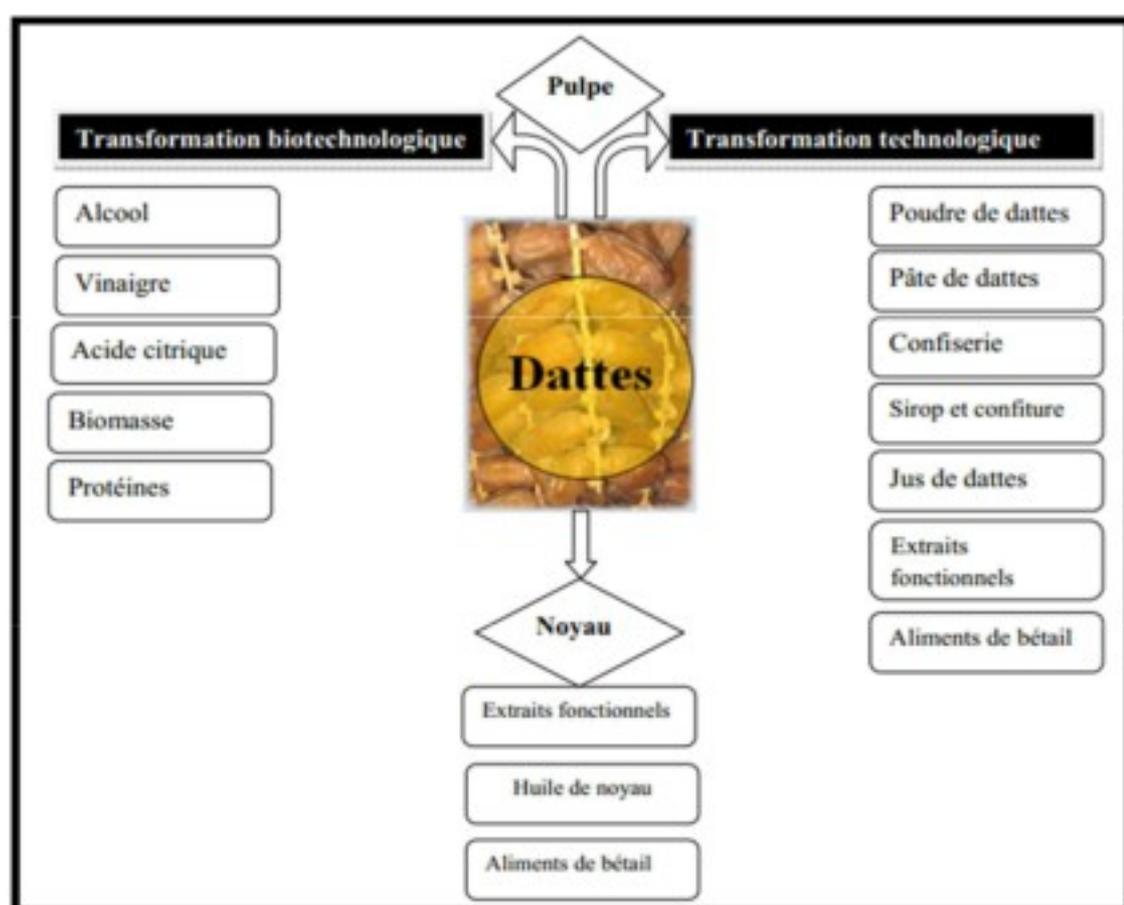


Figure 5. Technologie de la datte (Boukhiar, 2009).

2.2. Transformation indirecte

Ce type de transformation s'intéresse généralement aux dattes abimées et aux dattes de faible valeur marchande. Ce type de dattes, pourvues d'une forte teneur en sucre, peut servir pour la production de nombreux produits (Benahmed Djilali, 2012).

2.2.1. Biomasse et protéines unicellulaires

La production de protéines demeure un objet essentiel pour subvenir aux besoins mondiaux. Pour ce faire, des essais de production ont été réalisés par Bessah et Touzi (2001) dans un milieu à base de dattes en réalisant la culture de la levure *Saccharomyces cerevisiae* (Benahmed Djilali, 2012).

2.2.2. Alcools

Les déchets de dattes cristallisent jusqu'à 65 % de sucres fermentescibles et représentent par conséquent un substrat de choix pour la production de nombreuses substances à forte valeur ajoutée entre autre l'alcool éthylique, substance énergétique stratégique et base de nombreuses industries (Kaidi et Touzi, 2001).

2.2.3. 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).

2.2.4. Aliments de bétail

L'utilisation des sous produits du palmier dattier dans l'alimentation du bétail est, depuis longtemps, pratiqué par les éleveurs locaux d'une façon traditionnelle. Les sous-produits les plus utilisés sont, principalement, les déchets de dattes, puis viennent, à un degré moindre, les pédicelles de dattes et les palmes sèches (Chehema et Longo, 2001).

La farine des noyaux de dattes peut être incorporée avec un taux de 10% dans l'alimentation des poissons et des poulets sans influencer négativement leurs performances (Rahman *et al.*, 2007).

2.2.5. Utilisation dans l'environnement

Actuellement la poudre des noyaux de dattes est utilisée en environnement comme agent de détoxification et de dépollution des eaux polluées par des substances toxiques (Alhamed, 2009). Le charbon actif des noyaux de dattes possède une capacité d'absorption élevée du chrome (Cr) (El Nemr *et al.*, 2007).

3. 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 création d'emplois et 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 dégagées pour d'autres secteurs (Touzi, 1997).

Chapitre III
Utilisations de la poudre de datte
en industrie agro-alimentaire

1. Produits céréaliers

1.1. Pain

Les aliments fonctionnels représentent une nouvelle approche pour prévenir les maladies liées à l'alimentation. En raison de ses excellentes propriétés nutritionnelles et antioxydantes, les noyaux de datte ont été utilisés pour développer le pain fonctionnel pita. La farine a été remplacée par 5, 10, 15 et 20% de poudre de noyaux de datte, le pain pita a été développé avec un taux élevé de fibres et d'antioxydants et d'une diminution de l'acrylamide (figure 6), fournissant ainsi une protection prometteuse contre les maladies chroniques (Platat et al., 2015). L'évaluation de l'effet du pain pané fortifié avec 5, 10 et 15% de poudre de dattes sur les propriétés sensorielles, les constituants chimiques, la valeur nutritionnelle et les caractéristiques rhéologiques de différents échantillons de pâte a été étudié par l'utilisation du farinographe, le pain fortifié avec la poudre de noyaux de dattes avait des effets améliorants sur la qualité et les valeurs nutritives du pain ainsi qu'il a un effet hypoglycémique et pourrait avoir un effet protecteur contre les complications du diabète ainsi que l'amélioration du profile lipidique (tableau 10) (Halaby et al., 2014).

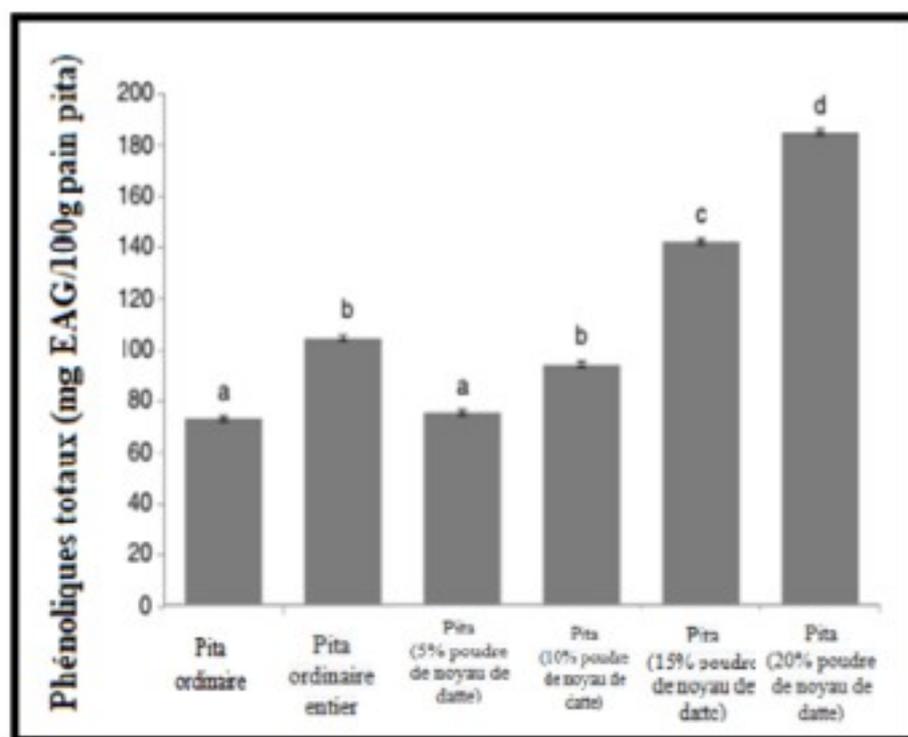


Figure 6. Composés phénoliques totaux (mg EAG/100 g de pain) dans le pain pita ordinaire, pain pita de blé entier et pain pita contenant (5, 10, 15 et 20%) de poudre de noyau de datte. Les moyennes \pm ET sont présentées. Des comparaisons ont été faites entre les échantillons de pain en utilisant le test de Tukey non paramétrique, la différence des lettres indiquent une différence significative ($p < 0,05$) (Platat et al., 2015).

Tableau 10. Effet du pain enrichi sur la consommation des aliments, la prise de poids, le glucose, l'insuline et l'HbA1C des rats diabétiques (Halaby *et al.*, 2014).

Paramètres Groupes	IA (g/jour)	PPC (%)	Glucose (mg/dl)	Insuline U/ml	HbA1C %
Contrôle groupe négative	14,65	63,642 ^a ±3,05	66,05 ^d ±3,49	18,90 ^a ±3,25	15,05 ^d ±3,25
Contrôle groupe positive	13,14	53,556 ^c ±2,73	152,59 ^a ±3,41	8,50 ^d ±1,09	20,40 ^a ±4,99
Pain+10%DPP	14,73	60,023 ^b ±5,30	119,85 ^b ±4,73	16,40 ^{bc} ±4,02	18,70 ^b ±5,03
Pain+15%DPP	15,97	64,184 ^a ±4,16	105,60 ^c ±4,15	17,10 ^b ±4,60	17,50 ^{bc} ±3,79

Tous les résultats sont exprimés en moyenne ± ET. PPC%: % de prise de poids corporel. IA: ingestion d'alimentation (g/jour). Les valeurs dans chaque colonne qui ont des lettres différentes sont significativement différentes ($p < 0,05$).

1.2. Biscuit

La pulpe de fruit de datte a été utilisée pour aromatiser les produits de boulangerie. Les fruits ont été coupés en morceaux, après l'élimination des noyaux, pour être séchés et broyés afin d'obtenir la poudre (Singh *et al.*, 2013). Les effets des poudres de dattes d'El Sakkoti et de Tamr El wadi en tant que substitut de sucre sur les attributs sensoriels, les propriétés physiques, la composition chimique, le contenu en minéraux et les analyses microbiennes des biscuits ont été étudiés (Kenawi *et al.*, 2016). Des études réalisées par les auteurs ont été menées pour développer des biscuits sans gluten comparables au qualité des biscuits de blé et supérieurs à ceux à base de farine commerciale sans gluten adaptée aux personnes souffrant de maladie cœliaque. Un mélange de farine de riz cassée, de pois chiches sucrés et de poudre de datte (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 et 40% de poudre de datte) (tableau 11) (Sakr et Hussien, 2017), sur la base de la composition élevée de datte en sucre, le saccharose a été remplacé par la poudre de la datte à des taux d'incorporation de 0, 20, 40 et 60% dans des biscuits cuits à trois températures (160, 180 et 200 °C) (Fahloul *et al.*, 2010).

L'évaluation de l'appétit de la poudre de noyau de datte à la préparation de biscuits et à l'identification de leurs caractéristiques sensorielles et de leur composition en éléments nutritifs a été étudié (Darshan Punia, 2016).

Le tableau 11 indique les pourcentages de l'apport nutritionnel recommandé (% d'ANR) provenant de 100 g de biscuit pour les enfants.

Tableau 11. Evaluation nutritionnelle des biscuits enrichis (Sakr et Hussien, 2017).

Poudre de datte %	Protéine (19 g/fj)	Fibre alimentaire (25 g/fj)	Carbohydate (130 g/fj)	Calcium (1000 mg/fj)	Iron (10 mg/fj)	Zinc (5 mg/fj)
Contrôle	66,16	3,16	52,02	1,41	9,3	19,6
5%	65,74	3,32	52,08	12,49	11,30	19,6
10%	65,05	3,52	52,18	12,49	11,40	19,2
15%	64,32	3,76	52,29	12,53	11,80	19,2
20%	63,74	3,96	52,38	12,62	11,90	18,4
25%	63,37	4,2	52,43	12,71	12,21	18,4
30%	62,84	4,4	52,51	12,78	12,22	17,8
35%	62,58	4,64	52,55	12,86	12,40	17,8
40%	62,16	4,84	52,61	12,92	12,50	17,0

1.3. Cookie

Les effets de la poudre et du sirop de datte en tant que substitut du sucre sur les propriétés physiques et les attributs sensoriels des cookies ont été étudiés (tableau 12). L'étude a révélé que les cookies pourraient être formulés avec succès en utilisant le sirop de datte et la poudre de datte comme substitut partiel du sucre et pourrait être produit à une échelle commerciale (Alsenaien et al., 2015).

Tableau 12. Valeurs sensorielles moyennes pour l'acceptation du consommateur des cookies contenant différents niveaux de poudre et de sirop de datte (Alsenaien et al., 2015).

Traitement	Goût (10)	Arome (10)	Texture (10)	Apparence (10)	Couleur (10)	Acceptabilité globale (10)	Totale (60)
Contrôle	7,0 ^a	6,8 ^a	6,4 ^a	6,0 ^{ab}	7,2 ^{ab}	7,1 ^a	40,5 ^a
25% poudre	6,8 ^a	7,0 ^a	6,8 ^a	7,0 ^a	7,6 ^a	5,2 ^{ab}	40,4 ^a
50% poudre	6,8 ^a	6,8 ^a	6,8 ^a	6,2 ^{ab}	6,8 ^{abc}	6,8 ^a	40,2 ^a
75% poudre	3,8 ^{bc}	4,2 ^b	4,6 ^{bc}	5,6 ^{ab}	5,6 ^{bc}	6,0 ^{ab}	29,8 ^b
100% poudre	2,0 ^d	3,6 ^{bc}	3,2 ^c	4,0 ^{cd}	2,8 ^d	2,2 ^d	17,8 ^c
25% sirop	4,3 ^b	5,9 ^a	5,6 ^{ab}	5,3 ^{bc}	5,1 ^c	4,3 ^{bc}	35,5 ^{ab}
50% sirop	7,4 ^a	6,1 ^a	5,7 ^{ab}	5,6 ^{ab}	5,3 ^{bc}	6,9 ^a	37,0 ^{ab}
75% sirop	6,3 ^a	6,7 ^a	5,9 ^{ab}	6,3 ^{ab}	6,9 ^{bc}	6,9 ^a	39,0 ^a
100% sirop	2,4 ^{cd}	2,4 ^c	3,4 ^c	2,7 ^d	2,4 ^d	2,9 ^{cd}	16,2 ^c
LSD à 5%	1,6	1,5	1,5	1,4	1,7	1,7	4,8

Dans chaque colonne, des lettres différentes indiquent des différences significatives à $p < 0,05$.

1.4. Muffin

Les variétés secondaires de datte de Tunisie sont sous-utilisées en raison de leur faible valeur et qualité commerciale. Des concentrés de fibres (CFD) peuvent être obtenus à partir de ces fruits après un sous traitement à la vapeur. Les CFD ont été évalués en tant qu'une source de fibres alimentaires antioxydants pour les produits de boulangerie. Des muffins ont été préparés avec une substitution de farine de 2,5 et 5% par des CFD obtenus par des traitements à 165 et 180°C (tableau 13) (Mrabet et al., 2016).

Tableau 13. Caractéristiques sensorielles des muffins avec différents niveaux de concentrés de fibre (Mrabet et al., 2016).

	Contrôle	CFD-165°C		CFD-180°C	
	0	2,5%	5%	2,5%	5%
Apparence	7,20±1,47* abc	7,29±1,14 bc	7,75±1,05 c	6,42±1,50 a	6,46±1,85 ab
Odeur	7,04±1,51 b	6,37±1,87 ab	6,58±1,44 ab	6,04±1,74 a	5,87±1,64 a
Flaveur	6,87±1,56 b	6,33±1,62 ab	6,67±1,46 b	6,25±1,45 ab	5,62±1,80 a
Texture	7,67±1,21 b	7,12±1,23 ab	7,33±1,40 ab	7,33±1,18 ab	6,83±1,62 a
Évaluation totale	7,33±1,28 c	6,71±1,46 abc	6,92±1,11 bc	6,54±1,12 ab	6,04±1,51 a

*Les valeurs sont la moyenne de 25 tests des panélistes sur une échelle hédonique à 9 points, avec 1, 5 et 9 représentant extrêmement ne pas aimer, ni pour ni contre et extrêmement aimer, respectivement. Les moyennes portant le même symbole ne sont pas significativement différentes au niveau de 5%, déterminé par le Duncan test à plusieurs gammes.

CFD: Concentré de fibres de dattes.

1.5. Couscous

Le développement de la variété de dattes sèches « Mech Degla » par l'amélioration de la qualité nutritionnelle du couscous artisanal technologique et culinaire est possible. A cet objet, l'incorporation de la farine de dattes à différents taux (0%, 25% et 50%) dans le couscous artisanal a été étudié (figure 7). Le développement d'un nouveau produit alimentaire à base de poudre des dattes est possible (Kouidri et Meribai, 2014).

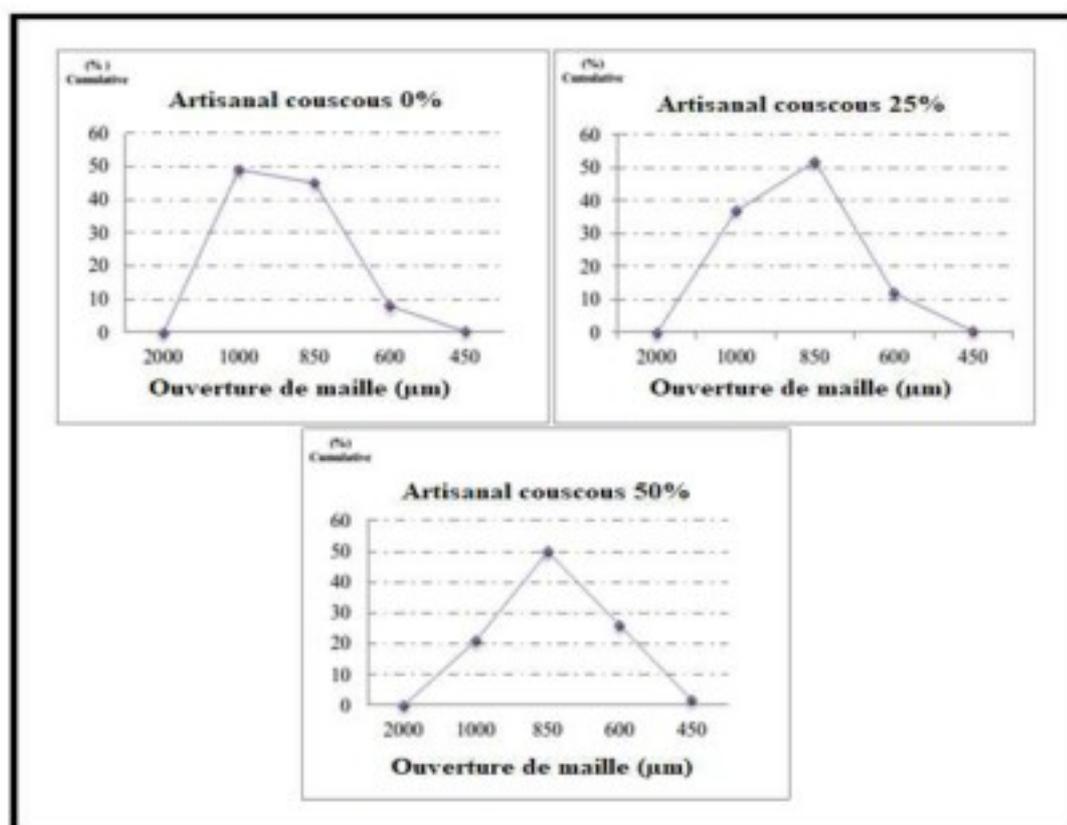


Figure 7. Courbes granulométrique du couscous préparé à différentes vitesses de fabrication, incorporant des poudres de dattes (0%, 25% et 50%) (Kouidri et Meribai, 2014).

2. Produit laitier

2.1. Yaourt

La valorisation des dattes sèches en général et de Mech Degla, Degla Baida 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). Les poudres de dattes obtenues ont été utilisées avantageusement dans un produit laitier (figure 8) comme ingrédient naturel de substitutions du sucre blanc, du colorant, de gélifiant...(tableau 14) (Amellal, 2008). Le contenu des principaux minéraux (calcium, magnésium, sodium, potassium, fer et zinc) dans le yaourt naturel (sans sucres) et les trois yaourts enrichi par les poudres de dattes a été étudié. Ces poudres provenaient de trois variétés de dattes sèches (Mech-Degla, Degla-Beida et Frezza). La détermination des éléments minéraux a été effectuée par spectrométrie d'absorption atomique après traitement de la minéralisation. La teneur totale en minéraux montre une grande différence entre le yaourt naturel et les yaourts enrichis par la poudre de fruit de datte (Amellal-Chibane et Benamara, 2011).

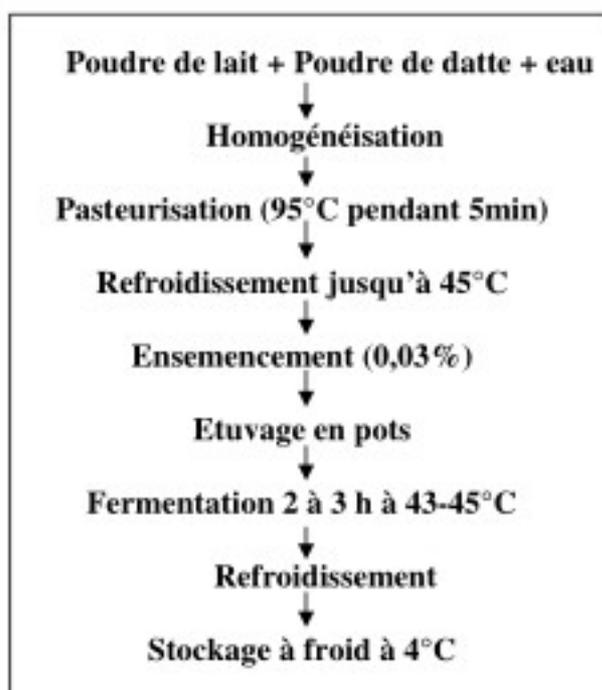


Figure 8. Diagramme de fabrication d'un yaourt aux poudres de dattes (Amellal, 2008).

Tableau 14. Recette du yaourt standard et du yaourt enrichi par la poudre de datte (Amellal-Chibane et Benamara, 2011).

Recette	Lait en poudre (g)	Sucre (g)	Poudre de datte (g)	Eau (ml)	Ferment lactique (%)
Yaourt standard	13,7	0	0	100	0,03
Yaourt avec une poudre de datte	13,7	0	12,5	100	0,03

3. Boisson

3.1. Sirop de datte

Différentes méthodes ont été utilisées pour l'extraction et la concentration de sirop de datte "Dibs", dibs est une bonne source de sucres réducteurs, minéraux et composés phénoliques totaux ; pouvant être utilisés comme ingrédient alimentaire fonctionnel (El-Nagga et Abd El-Tawab, 2012).

3.2. Boisson non-alcoolisée

Le fruit de datte (*Phoenix dactylifera L.*) est riche en glucides et en une haute valeur nutritionnelle qui le rend apte à être utilisé comme ingrédient dans les confiseries. Le remplacement du saccharose par des poudres de dattes obtenues à partir des variétés Algériennes communes connues par une faible valeur dans la fabrication des boissons non alcoolisées est possible (figure 9) (Hariri et al., 2017).

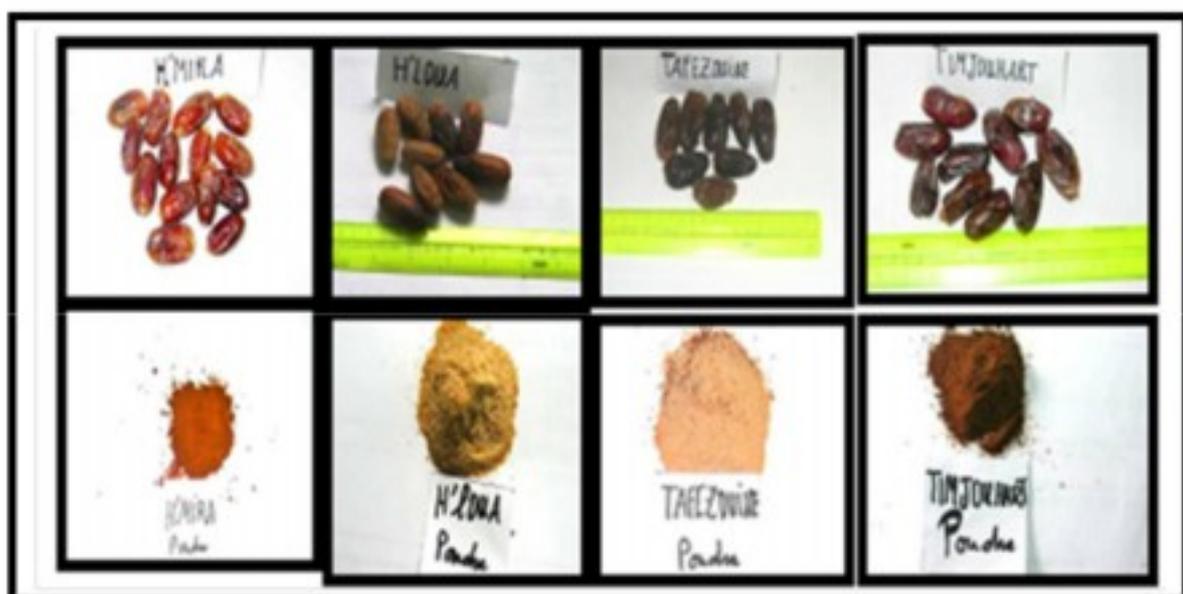


Figure 9. Variétés de dattes: H'amira, H'loua, Tefezouine et Timjouhart (fruits entiers et en poudres) (Hariri et al., 2017).

3.3. Café

Les caractéristiques qualitatives des boissons de type café obtenu par la torréfaction des noyaux de datte (*Phoenix dactylifera, L.*) ont été déterminées et comparées à celles du café arabe traditionnel (Ghnimi et *al.*, 2015). Bien qu'une certaine quantité de caféine soit bonne pour la santé, elle comporte de nombreux risques graves, tels que l'hypertension artérielle, hypertension chez les jeunes adultes, crise de goutte, insomnie, indigestion, stérilité, inhibant la production de collagène dans la peau, etc., la caféine est une substance toxicodépendante qui doit être limitée. Une autre substance naturelle qui a le goût et l'odeur du café mais elle n'a pas de risque pour la santé est très nécessaire. Le noyau de palmier dattier torréfié se considère comme substitut ou comme café (Venkatachalam et Sengottian, 2016) (figure 10). Une nouvelle méthode pour l'analyse quantitative du café de noyau de datte dans un environnement binaire avec un café arabe par l'application du transformée de Fourier à réflectance totale atténuée et d'une spectroscopie infrarouge (ATR-FTMIR) associée à des outils chimiométriques. Des mélanges d'un café arabe avec différents pourcentages de café de noyau de datte ont été mesurés par spectroscopie ATR-FTIR. Les données spectrales et de référence ont été d'abord étudiées par l'Analyse en Composantes Principales (ACP). La régression des moindres carrés partiels (PLSR) a été utilisée pour établir un modèle d'étalonnage (Terouzi et Oussama, 2016).

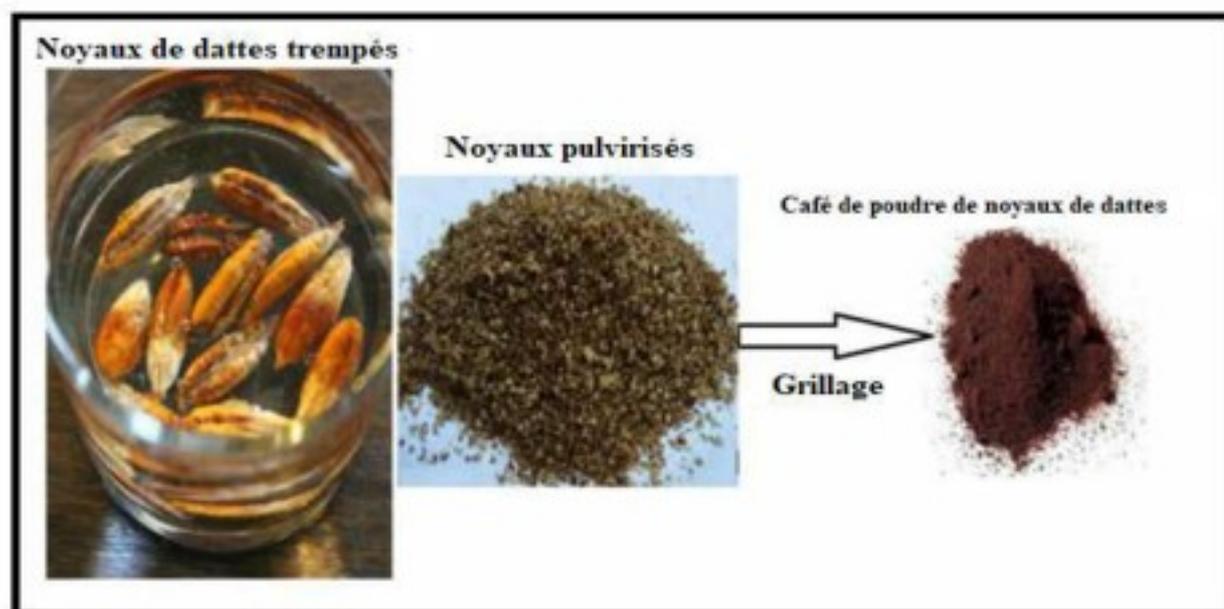


Figure 10. Production d'un café de poudre de datte (Venkatachalam et Sengottian, 2016).

4. Alicaments

4.1. Poudres de datte améliorées par la spiruline

Il s'agit de l'élaboration d'un produit alimentaire nouveau de type fonctionnel à base de poudre de datte (Mech-Dgla) et de spiruline (figure 11) (Benahmed Djilali, 2012). Les comprimés alimentaires à base de poudre de datte et de spiruline pourraient avoir diverses utilisations: 1) leur consommation par toutes les catégories, 2) l'alimentation des patients pour lesquels il est difficile de montrer ou d'avaler des aliments, sachant que ces comprimés peuvent être sucés ou avalés et 3) en tant que supports de médicaments naturels à un bon coût (Benahmed Djilali *et al.*, 2011).



Figure 11. Aspect physique des comprimés correspondant aux formulations F1 (80% datte, 10% spiruline, 5% jus d'orange lyophilisé et 5% zeste d'orange), formulation F6 (poudre de datte pure) et formulation F7 (poudre de spiruline pure) lors d'une immersion dans l'eau distillée (Benahmed Djilali *et al.*, 2011).

Etude expérimentale

Chapitre IV
Matériel et méthodes

1. Description et choix de la variété de datte

La variété de datte (Garn Ghzel) a été achetée de la région de Sidi Okba wilaya de Biskra (Algérie) pendant la période allant des mois de septembre à octobre, récoltée à pleine maturité (Tamr) et conservée à 4°C dans un réfrigérateur type (Sumsung, Corée du Sud).

La datte Garn Ghzel est cylindrique, allongée et droite. Sa couleur est marron au stade Tamr (figure 12).

Le choix de la variété ce justifie par sa qualité gustative, valeur nutritive et la facilité de conservation (variété sèche).



Figure 12. Datte Garn Ghzel entière et en coupe.

2. Caractérisations physiques du fruit de datte

2.1. Dimensions du fruit entier et de son noyau

Selon Djouab et *al.* (2016) avec quelques modifications, les deux dimensions linéaires, à savoir la **longueur (L)** et la **largeur (W)** de chacun des 25 fruits/noyaux ont été mesurés avec un pied à coulisse type Vernier avec une précision allant jusqu'à 0,01 mm. Le **rapport longueur/largeur** a été calculé selon Amellal (2008).

2.2. Poids du fruit entier et de son noyau

Selon Amellal (2008), le poids de fruit et du noyau de datte a été déterminé à l'aide d'une balance de précision 0,001g de marque (RADWAG MA 110.R.N.S).

2.3. Poids de mille fruits et de mille noyaux (P_{1000})

Afin de déterminer le poids de 1000 fruits/graines (P_{1000}), dix sous-échantillons, chacun composé de 10 fruits/graines, ont été tirés au hasard de l'échantillon en vrac et pesé et ce poids a été ensuite extrapolé à 1000 fruits/graines (Ixtaina et al., 2008).

Le poids unitaire des fruits (M) et le poids de 1000 fruits/graines (P_{1000}) ont été mesurés en utilisant une balance électronique de précision de 0,001 g (Djouab et al., 2016).

2.4. Rapports de qualité de la datte

Les rapports de qualité de la datte ont été mesurés selon les formules suivantes (Taouda et al., 2014):

$$\text{Rapport N/D (\%)} = (\text{Poids du noyau/poids de la datte entière}) * 100 \quad (1)$$

$$\text{Rapport P/D (\%)} = (\text{Poids de la pulpe/poids de la datte entière}) * 100 \quad (2)$$

2.5. Couleur

La couleur a été déterminée par l'utilisation d'un lecteur de couleur de type Minolta CR10 (Minolta Camera, Japon) se référant à l'espace colorimétrique CIE $L^*a^*b^*$ (Zidani et al., 2017).

3. Caractérisations physicochimiques et biochimiques de la datte

3.1. Teneur en eau (ISO 665, 2000)

● Principe

La dessiccation par évaporation à $103 \pm 2^\circ\text{C}$ dans une étuve ventilée à la pression atmosphérique, jusqu'à ce que le poids devient pratiquement constant.

La teneur en eau est définie comme étant la perte de poids subie lors de la dessiccation.

● Expression des résultats

Les résultats de l'humidité ont été exprimés selon la formule suivante:

$$H(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_0} \quad (3)$$

Soit :

H: humidité (%)

M0: masse de la capsule (g)

M1: masse avant étuvage (échantillon + capsules) (g)

M2: masse de l'ensemble après étuvage (g)

La matière sèche a été obtenue comme suit :

$$MS (\%) = 100 - H \quad (4)$$

3.2. pH (AFNOR NF V 50-108) (Noui, 2017)

● Principe

Détermination en unité du pH de la différence de potentiel existant entre deux électrodes en verre prolongées dans une solution aqueuse de l'échantillon.

● Mode opératoire

- Eliminer les noyaux et les loges carpellaires de l'échantillon ;
- Couper l'échantillon en petit morceaux ;
- Placer le produit dans un bécher et y ajouter au moins deux à trois fois son volume d'eau distillée ;
- Chauffer au bain-marie 30 min en remuant de temps en temps avec une baguette de verre ;
- Broyer ensuite le mélange obtenu dans un homogénéisateur ;
- Introduire ensuite l'électrode du pH mètre dans un volume suffisant de l'échantillon à analyser ;
- Dès que le pH mètre se stabilise, lire la valeur du pH.

3.3. Acidité titrable (NF V 05-101, 1974)

● Principe

Titration avec une solution volumétrique standard d'hydroxyde de sodium en présence de phénolphtaléine comme indicateur coloré.

● Expression des résultats

L'acidité titrable, exprimée en milliéquivalent grammes d'acide citrique pour 100 g de produit.

$$A(\%) = \frac{(250.V1.100)}{(V0.M.10)} . 0,07 \quad (5)$$

Où :

V0: volume de la prise d'essai (ml);

V1: volume de la solution de NaOH titrée (ml);

M: masse de poudre prélevée (g);

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

3.4. Cendre (Laurent, 1991)

● Principe

Les cendres ont été obtenues par passage au four à une température de 400-600°C, jusqu'à la destruction de toutes les particules charbonneuses.

● Expression des résultats

Le taux de cendres a été calculé selon la relation ci-après:

$$MO(\%) = \frac{M_i - M_f}{p} \times 100 \quad (6)$$

Soit :

MO: Teneur en matière organique (%);

Mi: Masse initiale (avant calcination) (g);

Mf: Masse finale (après calcination) (g);

P: Masse de la prise d'essai (%).

Et la teneur en cendres a été calculée par la formule suivante :

$$MM(\%) = 100 - MO \quad (7)$$

3.5. Détermination de la teneur en sucres totaux (méthode du Dubois) (Dubois et al., 1956)

● 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

Cette méthode consiste à préparer une gamme étalon à partir d'une solution de glucose à 0,05%.

▪ 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 de 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.

3.6. Détermination de la teneur en polyphénols totaux (Benmeddour et *al.*, 2013)

● Préparation des extraits

Deux grammes d'un fruit de datte ont été mélangés avec 100 ml d'acétone aqueuse à 60% (v/v) pendant 60 min à une température ambiante. Les extraits ont été ensuite centrifugés à 4000 g pendant 30 min (Heraeus Megafuge 16 centrifuge, Germany), filtrés par un papier filtre et conservés à 4 °C.

● Teneur en polyphénols totaux

L'extrait de datte (200 µl) a été mélangé avec 1500 µl de réactif de Folin-Ciocalteu (dilué 10 fois) et laissé au repos pendant 5 min; 1500 µl de carbonate de sodium (6%) ont été ajoutés au mélange. Après 90 minutes, l'absorbance a été mesurée à 725 nm à l'aide d'un Spectrophotomètre Biotek Synergy HT, lecteur multi détection spécial microplaque (Vermont, USA) (figure 13) ; les résultats ont été exprimés en milligrammes d'équivalent d'acide gallique par 100 g de poids sec (mg EAG/100 g MS).



Figure 13. Spectrophotomètre Biotek Synergy HT, lecteur multi détection spécial microplaque (Vermont, USA).

3.7. Détermination de la teneur en flavonoïdes (Benmeddour et al., 2013)

Cinq cent microlitres de l'extrait ont été ajoutés à 150 μ l de solution de nitrite de sodium (5%) puis à 300 μ l de chlorure d'aluminium (10%). Les tubes à essai ont été incubés à la température ambiante pendant 5 min, puis 1 ml d'hydroxyde de sodium 1M a été ajouté. L'absorbance du mélange a été déterminée en équivalents de quercétine par 100g (mg EQ/100 g MS).

4. Obtention des poudres de pulpe et de résidu de datte

Les poudres de pulpe entière et de résidu de datte variété Garn Ghzel ont été obtenues par 2 méthodes de séchage: la lyophilisation et le séchage convectif (figure 14).

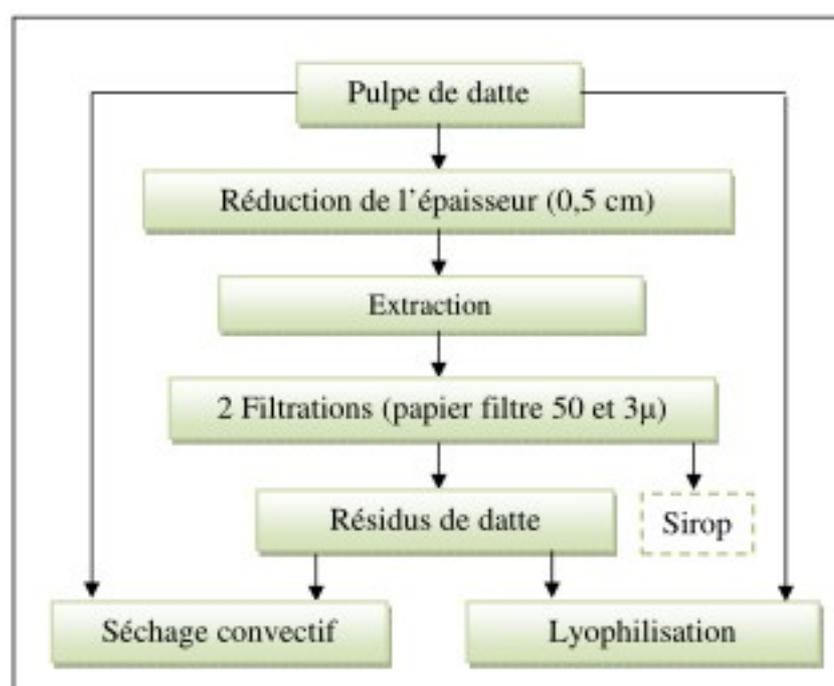


Figure 14. Diagramme de fabrication des poudres de pulpe et de résidu de datte.

4.1. Méthodologie de séchage

4.1.1. Lyophilisation

La pulpe entière et les résidus de dattes obtenues ont été lyophilisés à une pression de 0,12 mbar et à une température de -40°C dans un lyophilisateur type (LD 2-8 Christ Beta Plus, Allemagne) (figure 15). L'épaisseur de la pulpe entière et de résidu de datte a été mesurée à l'aide d'un pied à coulisse numérique, d'écran LCD 0,01mm-150mm (Electronic Vernier, UK) (Goula et Adamopoulos, 2004).



Figure 15. Lyophilisateur type (LD 2-8 Christ Beta Plus, Allemagne).

4.1.2. Séchage convectif

Selon Chan *et al.* (2009), les pulpes et les résidus de dattes ont été séchés dans une étuve à convection type (Memmert, Germany) (figure 16) à 50°C. Selon Alakali *et al.* (2015), le séchage dans une étuve ne doit pas dépasser 50°C pour une qualité nutritive optimale.



Figure 16. Etuve à convection type (Memmert, Germany).

Les opérations de séchage sont associées à un:

- **Broyage** : Le broyage est une opération de réduction de taille très ancienne. Aujourd'hui encore il se rencontre dans la plupart des procédés alimentaires (Chakkaravarthi et al., 1993);
- **Tamissage**: les échantillons ont été tamisés dans un tamis de 1 mm de diamètre ;
- **Emballage**: Dans des sachets alimentaires en polyéthylène, bien fermés ;
- **Stockage**: dans un réfrigérateur à 4°C.

4.2. Cinétique de séchage

4.2.1. Lyophilisation

Le poids des échantillons (pulpe et résidu de datte) a été mesuré en continue à un intervalle de 2 heures, le temps de séchage total a été déterminé par 12 heures.

4.2.2. Séchage convectif

Pendant les 30 premières minutes, le poids des échantillons a été mesuré à intervalle de 5 minutes, alors que pendant les 60 minutes suivantes, le poids a été mesuré à intervalle de 10 minutes et le reste du temps, le poids des échantillons a été mesuré à intervalle de 30 minutes. Le poids a été mesuré jusqu'à ce que l'humidité atteigne l'équilibre (Sun et al., 2009; Kau et al., 2014).

4.3. Modélisation de la cinétique de séchage (lyophilisation et séchage convectif)

Le taux de la teneur en eau (MR) de la datte (pulpe et résidus) au cours de séchage a été calculé selon l'équation suivante:

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (8)$$

Où: M_t , M_0 et M_e sont la teneur en eau à tout moment, teneur en eau initiale et teneur en eau d'équilibre (g eau / g matière sèche) respectivement (Erbay and Icier, 2009).

La diffusivité effective de la teneur en eau peut être définie à partir de la deuxième loi de Fick de diffusion, qui décrit le mouvement de l'humidité dans un solide.

$$\frac{\delta M}{\delta t} = D \frac{\delta^2 M}{\delta z^2} \quad (9)$$

La solution analytique de cette loi dans le cas de séchage d'une couche mince, en supposant que la migration de l'humidité se fait par diffusion, mouvement d'humidité unidimensionnel, répartition initiale uniforme de l'humidité, rétrécissement négligeable, diffusivité d'humidité constante et le transfert peut être développé sous la forme de l'équation suivante (Crank, 1975):

$$\frac{M-M_e}{M_0-M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left[-(2n-1)^2 \frac{\pi^2}{4} \frac{Dt}{L^2}\right] \quad (10)$$

Où L est l'épaisseur (m); t est le temps (min) et D est la diffusivité effective (m²/s). Simplifier l'équation précédente; en prenant le premier terme de la solution en série et en supposant que Me égal à 0:

$$MR = \frac{M}{M_0} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \exp\left[-\frac{\pi^2}{4} \frac{Dt}{L^2}\right] \quad (11)$$

Où L l'épaisseur de l'échantillon et D le coefficient de diffusion effectif.

Le logarithme des deux côtés de l'équation précédente donne l'équation suivante (Nag et Dash, 2016):

$$\ln MR = \left(\ln \frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{\pi^2 Dt}{4L^2} \quad (12)$$

La constante de séchage (K) peut être rapprochée à la diffusivité massique par la relation suivante:

$$K = \frac{\pi^2 D}{4L^2} \quad (13)$$

Où le terme (8/π²) est supposé égal à un. La relation entre la température et la diffusivité massique suit l'expression d'Arrhenius:

$$D = D_0 \times e^{\left(-\frac{E_a}{RT}\right)} \quad (14)$$

Comprenant le facteur d'Arrhenius (D₀), l'énergie d'activation (E), la température (T) et la constante des gaz parfaits (R) (Fahloul et al., 2009).

La cinétique de séchage de la pulpe et des résidus de dattes a été adaptée à cinq modèles (Newton, Page, Henderson et Papis, Logarithmique, Wang et Singh). La qualité de l'ajustement a été déterminée en utilisant le coefficient de détermination (R^2), le carré réduit (χ^2) (Ergun et *al.*, 2014) et l'erreur quadratique moyenne (RMSE) comme suit :

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{exp}(i) - MR_{pre}(i))^2}{N-n} \quad (15)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{pre}(i) - MR_{exp}(i))^2}{N}} \quad (16)$$

Où MR_{exp} est le taux de la teneur en eau expérimental, MR_{pre} est le taux de la teneur en eau prévu, N est le nombre d'observations, n est le nombre de constantes du modèle de séchage (Pardeshi et *al.*, 2009).

5. Caractérisations physicochimiques des poudres de pulpe et de résidu de datte

5.1. Teneur en eau

La teneur en eau a été déterminée par séchage des poudres à 70°C à un poids constant et la perte d'humidité dans un terme de base humide exprimé en pourcent (100 kg eau/kg matière humide) (Goula et Adamopoulos, 2004).

5.2. Teneur en cendres

Les cendres ont été déterminées par combustion de l'échantillon dans un four à moufle (Nabertherm 30-3000°C, Allemagne) à 550°C pendant 8 h (Abbès et *al.*, 2011).

5.3. pH

Le pH a été mesuré selon la méthode décrite par la norme (NF V05-108,1970). 3g de poudre de dattes ont été mélangés avec 75 ml d'eau distillée. Un chauffage du mélange dans un bain marie à 60°C a été effectué avec une agitation pendant 30 min. La valeur de pH de la solution obtenue après filtration a été lue directement par un pH mètre de marque (HACH, France).

5.4. Couleur

Selon Abonyi et *al.* (2002) avec quelques modifications ; les poudres de dattes ont été versées dans des boîtes Pétri et former une couche de 10 mm d'épaisseur et recouvertes d'un film transparent. Le colorimètre (figure 17) a été calibré avec une plaque de céramique blanche standard avant la lecture ($L= 95,97$, $a = - 0,13$, $b = - 0,30$). L correspond à (légèreté de la couleur zéro (noir) à 100 (blanc) ; la valeur a^* (degré de rougeur (0-60) ou verdeur (0 à - 60) et la valeur b^* (jaunissement (0-60) ou blueness (0 à - 60) ont été mesurés pour tous les échantillons. Les valeurs moyennes L , a^* et b^* ont été obtenues à partir de six lectures effectuées sur chaque échantillon. L'angle de teinte H^* et chroma C^* exprimé par : $H^* = \tan^{-1} \frac{b^*}{a^*}$ et $C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$ respectivement ont été également calculées.



Figure 17. Colorimètre (Konica Minolta Sensing, INC. CR-10, Japon).

6. Caractérisations fonctionnelles des poudres de pulpe et de résidu de datte

6.1. Mouillabilité

L'indice de mouillabilité a été mesuré à partir des résultats obtenus lors de la réhydratation de la poudre sans agitation, il a été exprimé par le temps en secondes, nécessaire à une quantité de poudre donnée pour pénétrer dans l'eau à travers sa surface libre au repos (Schuck et *al.*, 2012).

6.2. Masse volumique

6.2.1. Masse volumique réelle (Préel)

Les échantillons secs ont été déterminée comme étant le rapport de la masse des matières sèches au volume total (V_s) de l'échantillon à l'exclusion des pores d'air (Calín-Sánchez et al., 2014):

$$\rho_{réel} = \frac{m}{V_s} \quad (17)$$

Les échantillons ont été pesés avec une balance analytique, tandis que V_s a été mesuré avec un pycnomètre.

6.2.2. Masse volumique apparente (ρ_{app})

La masse volumique apparente des échantillons séchés a été déterminée comme étant le rapport de la masse solide au volume apparent (V_b). Les échantillons ont été pesés avec la balance analytique et le volume apparent a été mesuré avec un récipient gradué 80 ml (Calín-Sánchez et al., 2014):

$$\rho_{app} = \frac{m}{V_b} \quad (18)$$

7. Caractérisations biochimiques des poudres de pulpe et de résidu de datte

7.1. Détermination de la teneur en sucres totaux (méthode du Dubois) (Dubois et al., 1956)

● 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.

7.2. Détermination de la teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes

La teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes a été déterminée selon Benmeddour et al. (2013).

8. Valorisation des poudres de résidu de datte: Formulation de pain d'orge

8.1. Caractérisations physicochimiques et fonctionnelles de mélange des poudres

8.1.1. Teneur en eau et en matière sèche

Selon AOAC (1995), la teneur en humidité des poudres mélangées a été déterminée par la méthode gravimétrique à 105°C (Prokopov et al., 2015).

8.1.2. Cendre

Selon AOAC (1995), la teneur en cendre a été déterminé par incinération à 550°C (Prokopov et al., 2015).

8.1.3. pH

Le pH a été déterminé selon ISO 10390 (1994); la méthode consiste à préparer une suspension de l'échantillon dans cinq fois son volume d'eau distillée, laissez la reposer pendant 5 minutes jusqu'à deux heures. Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH-mètre (HACH, France) (Kulkarni et al., 2008).

8.1.4. Détermination de la teneur en sucres totaux (méthode du Dubois) (Dubois et al., 1956)

● 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.

8.1.5. Indice de gonflement

Le taux de gonflement a été déterminé selon Doukani (2015); 50 g d'échantillon ont été mit dans un tube à essai vide pour mesurer le volume (V1), puis verser le contenu dans un bécher rempli de 200 ml d'eau distillée et laisser reposer pendant 30 minutes. Puis effectuer la lecture du volume obtenu (V2). L'indice de gonflement a été calculé selon la formule:

$$IG = \frac{V2}{V1} \quad (19)$$

IG: Indice de gonflement.

V1: Volume d'échantillon sec (ml).

V2: Volume humide après 30 min (ml).

8.1.6. Masse volumique

La masse volumique réelle ($P_{réel}$) et apparente (P_{app}) des échantillons séchés a été déterminée selon Calín-Sánchez et al. (2014).

8.1.7. Couleur

La couleur des mélanges de poudres a été déterminée selon Kulkarni et al. (2008).

8.2. Fabrication de pain d'orge enrichi en poudres de résidu de datte (lyophilisées et obtenues par séchage convectif)

8.2.1. Différentes farines obtenues et codes utilisés

Des différentes farines obtenues et codes utilisés sont présentés dans le tableau 15.

Tableau 15. Différentes farines obtenues et codes utilisés.

<i>Codes</i>	<i>Farine composée (%)</i>	<i>Farine d'orge (%)</i>	<i>Poudres de résidu de datte (%)</i>
<i>FO</i>	100:0	100	0
<i>PRD5</i>	95:5	95	5
<i>PRD10</i>	90:10	90	10
<i>PRD15</i>	85:15	85	15
<i>PRD20</i>	80:20	80	20

FO: Farine d'Orge, PRD5: 5% de Poudre de Résidu de Datte, PRD10: 10% de Poudre de Résidu de Datte, PRD15: 15% de Poudre de Résidu de Datte, PRD20: 20% de Poudre de Résidu de Datte.

8.2.2. Formulation du pain d'orge enrichi

La formulation du pain d'orge a été adaptée à la recette de Ndangui (2015) avec quelques modifications (tableau 16).

Tableau 16. Formulation du pain d'orge enrichi.

<i>Ingredient (g)</i>	<i>Contrôle</i>	<i>POPRD5</i>	<i>POPRD10</i>	<i>POPRD15</i>	<i>POPRD20</i>
<i>Farine d'orge</i>	100	95	90	85	80
<i>Poudre de datte</i>	0	5	10	15	20
<i>Levure</i>	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
<i>Sel</i>	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
<i>Margarine</i>	5	5	5	5	5
<i>Eau</i>	60	60	60	60	60

Contrôle, POPRD5, POPRD10, POPRD15 et POPRD20: pains d'orge préparés avec 0%, 5%, 10%, 15% et 20% de la Poudre de Résidu de Datte, respectivement.

8.2.3. Diagramme de fabrication

Le diagramme de fabrication des pains témoins et enrichis est présenté dans la figure 18.

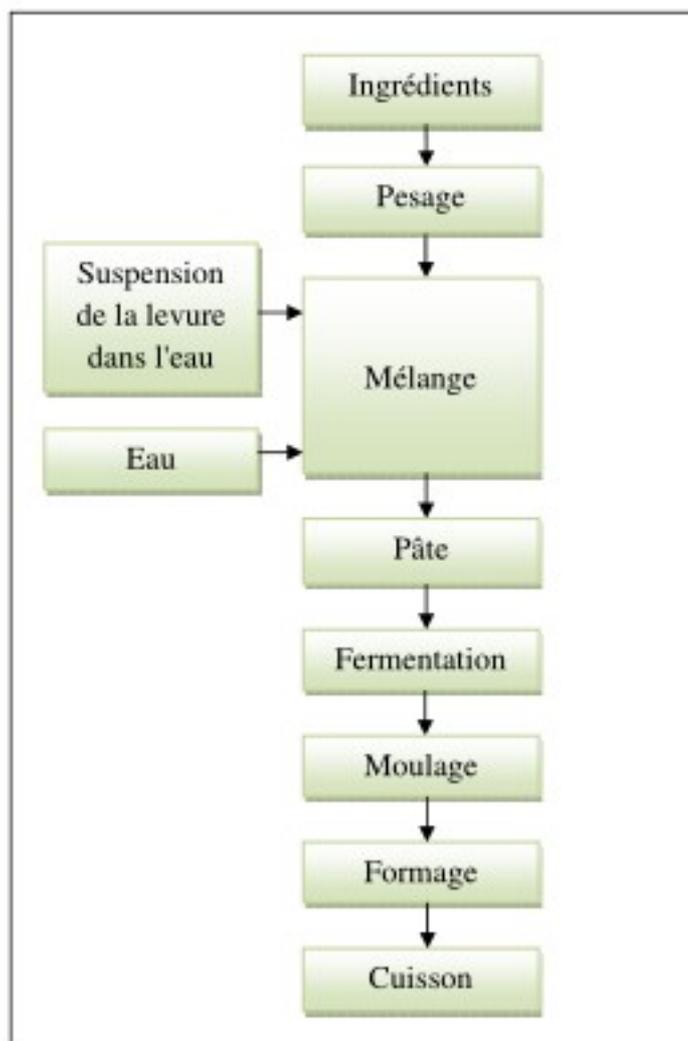


Figure 18. Diagramme de fabrication des pains d'orge témoins et enrichis.

8.3. Caractérisations physicochimiques et biochimiques des pains d'orge enrichis

8.3.1. Epaisseur du pain

Selon Mohd. Jusoh et *al.*, (2008), l'épaisseur a été mesurée à l'aide d'un pied à coulisse numérique type Vernier avec une précision allant jusqu'à 0,01 mm.

8.3.2. Poids avant et après cuisson

Le poids du pain a été déterminé selon Olubunmi et *al.*, (2015) avec quelques modifications, en utilisant la balance de laboratoire (Kern, Imlab France) et les lectures enregistrées en grammes.

8.3.3. Volume du pain

Le volume du pain a été déterminé en utilisant la méthode du déplacement de graine de colza (AACC, 2000); cela a été fait en chargeant les mil grains dans une boîte vide avec

marque calibrée jusqu'à ce qu'elle atteigne le niveau marqué et déchargé. L'échantillon de pain a été mis dans la boîte et le mil mesuré a été encore rechargé. Les grains de mil restants laissés en dehors de la boîte ont été mesurés à l'aide d'une éprouvette graduée et enregistrés comme volume de pain en cm^3 (Olubunmi et al., 2015).

8.3.4. Volume spécifique (Olubunmi et al., 2015)

Le volume spécifique (rapport volume/masse) (cm^3/g) a été calculé comme suit :

$$\text{Volume spécifique (cm}^3/\text{g)} = \frac{\text{Volume de pain}}{\text{Poids de pain}} \quad (20)$$

8.3.5. Gluten humide

● Extraction du gluten

Selon Sassi (2008), le gluten humide extrait des farines de blé est une substance viscoélastique constituée principalement par la fraction insoluble des protéines (gliadines et gluténines). Il a des propriétés d'extensibilité, d'élasticité et de ténacité qui peuvent influencer sur le comportement des pâtes au cours de fabrication et sur la qualité du produit fini (pain, biscuit, pâte,...). Ce test peut constituer également un moyen de prédiction de la qualité du blé dans le processus d'amidonnerie.

L'extraction du gluten a été obtenue par un malaxage mécanique d'une pâte de farine et par lavage avec une solution de NaCl tamponnée, puis en essorant et en pesant le résidu (AACC. 38.12, ICC Standard 137).

● Mode opératoire

- Peser 10 g d'échantillons et 5,9 ml d'une solution de NaCl à 2 %;
- Mélanger pendant 20 secondes;
- Laisser reposer la pâte formée pendant 5 minutes ;
- Démarrer l'extraction mécaniquement, avec la même solution de NaCl à 2 %;
- Récupérer le gluten obtenu et peser la quantité de gluten essorée.

$$GH(\%) = Pg \times 10 \quad (21)$$

Où

GH: Gluten humide (retenu) ;

Pg: Poids du gluten (g).

8.3.6. Gluten sec

Le gluten total a été mis à sécher sur une plaque chauffante pendant 4 minutes, puis pesé (Sassi, 2008).

8.3.7. Détermination de la teneur en sucres totaux (méthode du Dubois) (Dubois et *al.*, 1956)

● 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.

8.4. Evaluation sensorielle des pains d'orge enrichis

La détermination du niveau d'acceptabilité basé sur apparence/forme, couleur de la croûte, couleur brune, masticabilité, arôme de datte et l'acceptabilité globale a été menée en utilisant une échelle de 9 points hédoniques (extrêmement aimer = 9, extrêmement ne pas aimer = 1) (Olubunmi et *al.*, 2015).

9. Valorisation des poudres de résidu de datte: Formulation des crêpes Algériennes

9.1. Caractérisations physicochimiques et fonctionnelles de mélange des poudres

Les caractéristiques physicochimiques et fonctionnelles de mélange des poudres utilisées dans la préparation des crêpes Algériennes enrichies ont été étudiées selon les mêmes méthodes d'analyses de mélange des poudres utilisées dans la préparation de pain d'orge.

9.2. Fabrication des crêpes Algériennes enrichies en poudres de résidu de datte (lyophilisées et obtenues par séchage convectif)

9.2.1. Formulation des crêpes

La formulation des crêpes a été adaptée à la recette de Shih et *al.* (2006) avec quelques modifications (tableau 17).

Tableau 17. Formulation des crêpes Algériennes.

<i>Ingrédients (g)</i>	<i>Contrôle</i>	<i>CAPRD20</i>	<i>CAPRD30</i>	<i>CAPRD40</i>
<i>Semoule</i>	97,7	78,32	68,39	58,62
<i>Poudre de résidu de datte</i>	0	19,38	29,31	39,08
<i>Sel</i>	2,0	2,0	2,0	2,0
<i>Levure chimique</i>	4,2	4,2	4,2	4,2
<i>Lait en poudre</i>	15,0	15,0	15,0	15,0
<i>Œufs</i>	39,1	39,1	39,1	39,1
<i>Eau distillée</i>	160	160	160	160

Contrôle, CAPRD20, CAPRD30 et CAPRD40: Crêpes Algériennes préparées avec 0%, 20%, 30% et 40% de la Poudre de Résidu de Datte.

9.2.2. Diagramme de fabrication

Le diagramme de fabrication des crêpes Algériennes obtenues par les poudres de résidu de datte est présenté dans la figure 19.

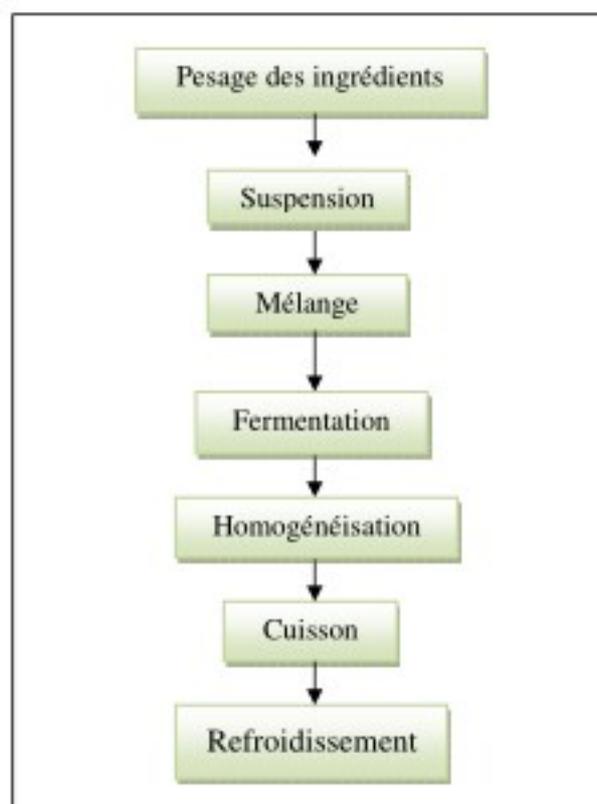


Figure 19. Diagramme de fabrication des crêpes Algériennes obtenues par les poudres de résidu de datte.

9.3. Caractérisations physicochimiques et biochimiques des crêpes Algériennes enrichies

9.3.1. Epaisseur et diamètre

L'épaisseur et le diamètre des crêpes ont été mesurés à l'aide d'un pied à coulisse en millimètres (AACC, 1995) (Banusha et Vasantharuba, 2014).

9.3.2. Taux de propagation

Le taux de propagation des crêpes a été calculé en divisant la valeur moyenne du diamètre par la valeur moyenne de l'épaisseur des crêpes (Baljeet et *al.*, 2014).

9.3.3. Poids

Selon Rosa et *al.* (2015) avec quelques modifications, le poids des crêpes a été déterminé en pesant la crêpe crue avant et après cuisson, en utilisant une balance semi-analytique (Kern, Imlab France), les lectures enregistrées en grammes.

9.3.4. Volume des crêpes (Olubunmi et al., 2015)

Le volume des crêpes (cm³) a été déterminé en utilisant la méthode du déplacement de graine de colza décrite en AACC (1983).

9.3.5. Volume spécifique (Olubunmi et al., 2015)

Le volume spécifique (rapport volume/masse) (cm³/g) a été calculé comme suit :

$$\text{Volume spécifique (cm}^3\text{/g)} = \frac{\text{Volume des crêpes}}{\text{Poids des crêpes}} \quad (22)$$

9.3.6. Nombre d'alvéoles (Bouziane, 2014)

● Principe

Le nombre d'alvéoles ouvertes par cm² a été compté à l'aide d'un emporte pièce de surface connue sur cinq zones représentatives de chaque crêpe.

● Mode opératoire

Un emporte pièce de forme carrée a été utilisé, à une surface de 16 cm², pour délimiter la surface de comptage des alvéoles ouvertes des crêpes. Cinq zones représentatives sont désignées, pour l'opération de comptage, nous avons utilisé un marqueur pour chaque trou.

● Expression des résultats

$$ALV/cm^2 = \frac{\sum_{z=1}^5 alvz1 + alvez2 + alvz3 + alvz4 + alvz5}{16 \times 5} \quad (23)$$

z1, z2, z3, z4, z5 : les cinq zones délimitées

En vue d'obtenir la moyenne du nombre d'alvéoles ouvertes par cm².

Les résultats sont exprimés sous forme du nombre moyen d'alvéoles/cm² de 3 crêpes ± Ecart Type.

9.3.7. Couleur

La couleur des crêpes a été déterminée selon Rosa et al. (2015), en utilisant un colorimètre Minolta.

9.3.8. Teneur en eau, cendres et pH

La teneur en eau, les cendres et le pH ont été obtenus selon Kulkarni et al. (2008) et Prokopov et al. (2015).

9.3.9. Détermination de la teneur en sucres totaux (méthode du Dubois) (Dubois et al., 1956)

● 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.

9.3.10. Détermination de la teneur en hydroxyméthylfurfural (HMF) et en furfural (Petisca et al., 2013)

● Procédure d'extraction

Dix grammes d'échantillon mis en suspension dans 5 ml d'eau:méthanol (70:30) ont été agités pendant 1 min. Puis 2,0 ml de la solution de Carrez I et 2,0 ml de Carrez II ont été ajoutés et centrifugés à 5000 tr/min (4°C) pendant 15 min, en transférant le surnageant dans un ballon de 15 ml. Le résidu solide a été extrait à nouveau avec 2 ml d'eau:méthanol (70:30). La procédure décrite ci-dessus a été réalisée jusqu'à ce que 10 ml de surnageant aient été recueillis. Une portion d'aliquote de 2 ml de cette solution a été centrifugée à 8000 tr/min pendant 15 min et injectée dans le système HPLC.

● Méthodologie d'HPLC

Une portion de 20 µl de l'extrait final a été injectée à l'aide d'un échantillonneur automatique (Jasco AS2057 PLUS; JASCO international Co., Ltd., Tokyo, Japon) dans une colonne Ultracarb ODS (5 µm, 250 mm de long, 4,6 mm iD) pour l'analyse à haute performance de détection par matrice de diodes par chromatographie en phase liquide (HPLC-DAD). Une unité d'HPLC analytique a été utilisée (JASCO), équipée de pompe HPLC Jasco PU-2080 et d'un injecteur Rhéodyne de type 7725i avec une boucle de 20 µl. L'identification et la pureté de l'HMF et du furfural ont été confirmées par un détecteur à barrette de photodiodes (modèle 2996; Waters Corp., Milford, MA, États-Unis). L'identification des pics dans les chromatogrammes a été réalisée en comparant les temps de rétention et les spectres de pics inconnus avec les standards de référence. Le logiciel du contrôleur Borwin PDA (JMBS Developments, Le Fontanil, France) a également été utilisé.

La phase mobile est composée d'acétate de sodium (0,04 M) (Merck) (70:30), ajusté à pH 4,0 et l'acide acétique (99,8%) (Fisher Scientific, Loughborough, UK). L'éluion isocratique a été réalisée; le débit était de 0,8 ml/min. Toutes les analyses ont été effectuées en triple, y compris la procédure d'extraction.

● Contrôle et critères de qualité

La limite de détection (LOD) et de la quantification (LOQ) basée sur les rapports de signal sur bruit de 3:1 et 10:1, respectivement, a été déterminée à l'aide d'une solution standard (n=5). Pour vérifier la linéarité de la méthode, des courbes d'étalonnage à six points ont été préparées à l'aide des solutions étalons allant de 0,018 à 10 mg/Kg pour HMF et de 0,004 à 5 mg/Kg pour le furfural. La linéarité de la méthode a également été évaluée en ajoutant des échantillons témoins (préparés à la micro-onde pendant 1,5 min, sans concentrations détectées des composés furaniques) dans le même domaine de concentration de HMF et de furfural, en effectuant la procédure d'extraction sélectionnée avant les analyses HPLC.

9.4. Evaluation sensorielle des crêpes Algériennes enrichies

D'après Rosa et *al.* (2015) avec quelques modifications; l'évaluation sensorielle a été effectuée afin d'évaluer les différences entre les crêpes préparées avec différentes concentrations en poudres de résidu de datte. Elle a été réalisée avec vingt personnes (membres expérimentés). Ils ont été sélectionnés en fonction de la volonté, la disponibilité, la motivation et démontré précédemment la capacité de travailler en tant que membre d'un panel sensoriel. Le test affectif a été utilisé pour évaluer l'acceptabilité des crêpes en termes d'homogénéité de distribution, goût sucré, goût de datte, couleur brun, aspect spongieux, collant sous la dent, croquant sous la dent, taille des alvéoles et intensité d'odeur de datte en utilisant un échelle hédonique à 9 points, où les extrêmes correspondent à: 9 = aimé beaucoup et 1 = ne pas aimé.

10. Optimisation des formulations préparées

10.1. Pain d'orge enrichi

10.1.1. Plan d'expériences

La méthode des plans d'expériences est une technique d'organisation optimale des expériences de manière à obtenir un maximum d'informations en un minimum d'essais avec la meilleure précision possible (Goupy et Creighton, 2006).

Afin d'optimiser la formulation des pains d'orge enrichis en poudres de résidu d'extraction de sirop de datte (Garn Ghzel), nous avons utilisé la méthodologie des surfaces de réponses, obtenue par la réalisation d'un plan d'expériences central composite de deux facteurs: volume (V (cm^3)) et poids après cuisson (PApC (g)).

La réponse dans cette étude est le volume spécifique.

Le modèle étudié étant un modèle à deux facteurs, il permet d'estimer les valeurs des coefficients de modèle du second degré traduisant la relation de cause à effet entre les facteurs retenus (X_1 et X_2) et la réponse étudiée (Y : volume spécifique) (Bouziane, 2014). Selon Bouziane (2014), ce plan nécessite la réalisation de huit expériences représentant des combinaisons de cinq niveaux attribués à chacun de deux facteurs tout en prenant les réponses correspondantes. Cinq points centraux (0,0) ont été ajoutés pour appuyer ce plan d'expériences donnant au total 13 essais.

10.1.2. Modèle mathématique

Le modèle mathématique est de second degré avec des interactions d'ordre 2 ; $Y = f(X_1 \text{ et } X_2)$.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1X_1 + b_{22}X_2X_2 + b_{12}X_1X_2 \quad (24)$$

Avec:

Y : La réponse;

X_1, X_2 : Formes codées des variables explicatives ;

b_0 : Constante du modèle ;

b_1, b_2 : Coefficients linéaires (l'effet principal de chaque variable) ;

b_{11}, b_{22} : Coefficients quadratiques (si l'une des deux variables donne un maximum ou un minimum dans le domaine expérimental) ;

b_{12} : Coefficient d'interaction (l'interaction entre les deux variables).

10.1.3. Niveaux des variables

Chaque variable codée (X_i) présente les niveaux suivants:

$$-\alpha, -1, 0, +1, +\alpha$$

La valeur de α est de 1,41421 (plan orthogonal), ce qui permet de calculer des régresseurs ($b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$) du modèle mathématique indépendamment les uns des autres.

La matrice d'expérience du plan composite orthogonal centré à deux variables est donnée dans le tableau 18:

Tableau 18. Matrice d'expérience du plan composite orthogonal centré à deux variables.

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B
9	1	0	1	0	0
6	2	-1	1	1,41	0
8	3	-1	1	0	1,41
2	4	1	1	1	-1
10	5	0	1	0	0
11	6	0	1	0	0
4	7	1	1	1	1
5	8	-1	1	-1,41	0
13	9	0	1	0	0
1	10	1	1	-1	-1
3	11	1	1	-1	1
12	12	0	1	0	0
7	13	-1	1	0	-1,41

10.1.4. Détermination des variables réelles

10.1.4.1. Volume

Le volume a été déterminé sur la base des essais préliminaires: 44,08 à 46 et 43,52 à 51,90 cm³ concernant le pain enrichi en poudres de résidu de datte lyophilisées et obtenues par séchage convectif respectivement.

10.1.4.2. Poids

Le poids a été déterminé selon les essais préliminaires: (130,35; 140) et (121,79; 148,37g) pour le pain enrichi en poudres de résidu de datte lyophilisées et obtenues par séchage convectif respectivement.

Les valeurs calculées des variables codées correspondant aux niveaux attribués ont été présentées dans les tableaux 19 et 20.

Tableau 19. Valeurs calculées des variables codées correspondant aux niveaux attribués (Pain enrichi en poudre de résidu de datte lyophilisée).

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	P (g)	V (cm ³)	VS (cm ³ /g)
1	1	1	1	130,35	44,08	0,35
2	2	1	1	140	44,08	0,35
3	3	1	1	130,35	46	0,35
4	4	1	1	140	46	0,35
5	5	1	1	130,35	44,08	0,35
6	6	1	1	140	44,08	0,35
7	7	1	1	130,35	46	0,35
8	8	1	1	140	46	0,35
9	9	-1	1	127,06	45,04	0,31
10	10	-1	1	143,29	45,04	0,31
11	11	-1	1	135,18	43,43	0,31
12	12	-1	1	135,18	46,65	0,31
13	13	-1	1	135,18	45,04	0,31

P: Poids Après Cuisson (g), V: Volume (cm³), VS: Volume Spécifique (cm³/g).

Tableau 20. Valeurs calculées des variables codées correspondant aux niveaux attribués (Pain enrichi en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif).

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	P (g)	V (cm ³)	VS (cm ³ /g)
1	1	1	1	125,68	44,75	0,36
2	2	1	1	144,48	44,75	0,35
3	3	1	1	125,68	50,67	0,36
4	4	1	1	144,48	50,67	0,35
5	5	-1	1	121,79	47,71	0,35
6	6	-1	1	148,37	47,71	0,35
7	7	-1	1	135,08	43,52	0,35
8	8	-1	1	135,08	51,90	0,35
9	9	0	1	135,08	47,71	0,35
10	10	0	1	135,08	47,71	0,35
11	11	0	1	135,08	47,71	0,35
12	12	0	1	135,08	47,71	0,35
13	13	0	1	135,08	47,71	0,35

P: Poids Après Cuisson (g), V: Volume (cm³), VS: Volume Spécifique (cm³/g).

10.2. Crêpes Algériennes enrichies

10.2.1. Plan d'expériences

Afin d'optimiser la formulation des crêpes Algériennes enrichies en poudres de résidu d'extraction de sirop de datte (Garn Ghzel), nous avons utilisé la méthodologie des surfaces de réponses, qui obtenue par la réalisation d'un plan d'expériences central composite de deux facteurs: volume (V (cm³)) et poids après cuisson (P_{ApC} (g)).

La réponse dans cette étude est le volume spécifique.

Le modèle étudié étant un modèle à deux facteurs, il permet d'estimer les valeurs des coefficients de modèle du second degré traduisant la relation de cause à effet entre les facteurs retenus (X_1 et X_2) et la réponse étudiée (Y : volume spécifique) (Bouziane, 2014). Selon Bouziane (2014), ce plan nécessite la réalisation de huit expériences représentant des combinaisons de cinq niveaux attribués à chacun de deux facteurs tout en prenant les réponses correspondantes. Cinq points centraux (0,0) ont été ajoutés pour appuyer ce plan d'expériences donnant au total 13 essais.

10.2.2. Modèle mathématique

Modèle mathématique de second degré avec des interactions d'ordre 2 ;

$Y = f(X_1 \text{ et } X_2)$.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_{11}X_1X_1 + b_{22}X_2X_2 + b_{12}X_1X_2 \quad (25)$$

Avec :

Y : La réponse;

X_1, X_2 : Formes codées des variables explicatives ;

b_0 : Constante du modèle ;

b_1, b_2 : Coefficients linéaires (l'effet principal de chaque variable) ;

b_{11}, b_{22} : Coefficients quadratiques (si l'une des deux variables donne un maximum ou un minimum dans le domaine expérimental) ;

b_{12} : Coefficient d'interaction (l'interaction entre les deux variables).

10.2.3. Niveaux des variables

Chaque variable codée (X_i) présente les niveaux suivants :

$$-a, -1, 0, +1, +a$$

La valeur de α est de 1,41421 (plan orthogonal), ce qui permet de calculer des régresseurs ($b_0, b_1, b_2, b_{11}, b_{22}, b_{12}$) du modèle mathématique indépendamment les uns des autres.

La matrice d'expérience du plan composite orthogonal centré à deux variables est donnée dans le tableau 21:

Tableau 21. Matrice d'expérience du plan composite orthogonal centré à deux variables.

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	A	B
9	1	0	1	0	0
6	2	-1	1	1,41	0
8	3	-1	1	0	1,41
2	4	1	1	1	-1
10	5	0	1	0	0
11	6	0	1	0	0
4	7	1	1	1	1
5	8	-1	1	-1,41	0
13	9	0	1	0	0
1	10	1	1	-1	-1
3	11	1	1	-1	1
12	12	0	1	0	0
7	13	-1	1	0	-1,41

10.2.4. Détermination des variables réelles

10.2.4.1. Volume

Le choix des taux de volume a été déterminé sur la base des essais préliminaires : V (cm^3) (30,13; 65,62) et V (cm^3) (35,33; 60,42) pour les crêpes enrichies en poudres de résidu de datte lyophilisées et obtenues par séchage convectif respectivement.

10.2.4.2. Poids

Le poids a été déterminé selon les essais préliminaires: PApC (g) (41,65; 51,47) et PApC (g) (43,09; 50,03) pour les crêpes enrichies en poudres de résidu de datte lyophilisées et obtenues par séchage convectif respectivement.

Les valeurs calculées des variables codées correspondant aux niveaux attribués ont été présentées dans les tableaux 22 et 23.

Tableau 22. Valeurs calculées des variables codées correspondant aux niveaux attribués (Crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée).

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	P (g)	V (cm ³)	VS (cm ³ /g)
1	1	1	1	43,09	35,33	0,71
2	2	1	1	50,03	35,33	0,71
3	3	1	1	43,09	60,42	1,22
4	4	1	1	50,03	60,42	1,22
5	5	-1	1	41,65	47,88	1,13
6	6	-1	1	51,47	47,88	1,13
7	7	-1	1	46,56	30,13	0,71
8	8	-1	1	46,56	65,62	1,22
9	9	0	1	46,56	47,875	1,13
10	10	0	1	46,56	47,875	1,13
11	11	0	1	46,56	47,875	1,13
12	12	0	1	46,56	47,875	1,13
13	13	0	1	46,56	47,875	1,13

P: Poids Après Cuisson (g), V: Volume (cm³), VS: Volume Spécifique (cm³/g).

Tableau 23. Valeurs calculées des variables codées correspondant aux niveaux attribués (Crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif)

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	P (g)	V (cm ³)	VS (cm ³ /g)
1	1	1	1	48,67	27,26	0,51
2	2	1	1	53,37	27,26	0,51
3	3	1	1	48,67	36,5	0,75
4	4	1	1	53,37	36,5	0,75
5	5	-1	1	47,70	31,88	0,7
6	6	-1	1	54,34	31,88	0,7
7	7	-1	1	51,02	25,35	0,51
8	8	-1	1	51,02	38,41	0,7
9	9	0	1	51,02	31,88	0,7
10	10	0	1	51,02	31,88	0,7
11	11	0	1	51,02	31,88	0,7
12	12	0	1	51,02	31,88	0,7
13	13	0	1	51,02	31,88	0,7

P: Poids Après Cuisson (g), V: Volume (cm³), VS: Volume Spécifique (cm³/g).

11. Analyse statistique

Les résultats d'analyse sont exprimés en moyenne \pm écart-type (SD). Les résultats sont soumis à l'analyse de variance (ANOVA) et les moyennes ont été comparées par le test de Newman-Keuls (SNK) par XLSTAT 2016. Les différences sont considérées comme significatives à $p < 0,05$. L'Analyse en Composantes Principales a été appliquée à l'aide du logiciel XLSTAT version 2016. Les courbes de séchage et la modélisation de la cinétique de séchage sont obtenues par le logiciel Origin Pro 2016. L'optimisation des résultats a été réalisée par l'application du logiciel Minitab 17.

Chapitre V
Résultats et discussion

1. Caractérisations physiques du fruit de datte (Garn Ghzel)

Le tableau 24 représente les caractéristiques physiques de la variété de datte Garn Ghzel.

Tableau 24. Caractéristiques physiques de la variété de datte Garn Ghzel.

<i>Paramètres physiques</i>	<i>Datte entière</i>	<i>Noyau de datte</i>
<i>Longueur (mm)</i>	39,6±2,50 ^a	25,3±1,84 ^b
<i>Largeur (mm)</i>	16,4±0,87 ^a	8,06±0,62 ^b
<i>Rpport longueur/largeur</i>	2,42±0,17 ^a	3,16±0,33 ^a
<i>Poids (g)</i>	5,54±0,54 ^a	1,25±0,24 ^b
<i>P₁₀₀₀ (g)</i>	5690,86±31,03 ^a	1248,12±16,24 ^b
<i>Rapport noyau/datte (%)</i>	22,60±4,34 ^a	
<i>Rapport pulpe/datte (%)</i>	77,71±4,00 ^a	

Les résultats sont exprimés en moyennes de déterminations ± ET; l'analyse de variance (ANOVA) est réalisé avec les tests de Newman-Keuls (SNK). Les différentes lettres sur les valeurs dans la même ligne indiquent la signification des résultats ($p < 0,05$).

D'après les résultats présentés dans le tableau 24, la longueur et la largeur du fruit entier et du noyau de la variété de datte (Garn Ghzel) sont respectivement 39,6±2,50 mm et 16,4±0,87mm; 25,3±1,84 mm et 8,06±0,62 mm. Le rapport longueur/largeur a été calculé pour la datte entière et le noyau avec des valeurs de 2,42±0,17 et 3,16±0,33 respectivement. Par comparaison, ces résultats sont supérieurs aux résultats obtenus par Noui (2017) concernant la longueur de la variété de datte Mech Degla par 33,82±2,15 mm et inférieurs concernant la largeur de la datte (17,44±0,86 mm). Pour le noyau de la datte Garn Ghzel, les résultats de la longueur et de la largeur sont concordes avec ceux de Benahmed Djilali (2012) avec 2,67±0,280 et 0,77±0,078 cm pour la variété Ghars et supérieur au noyau de Mech Degla pour la longueur par 1,5±0,130 cm. Les résultats obtenus pour le rapport du longueur/largeur concernant la datte entière sont comparables aux résultats obtenus par Amellal (2008) pour les variétés de datte Degla Baida et frezza avec des valeurs de 2,10 et 2,00 respectivement, concernant le noyau les résultats du rapport sont inférieurs.

Le poids de la datte entière et du noyau de datte Garn Ghzel est 5,54±0,54 g et 1,25±0,24 g respectivement et le poids de mille fruits et de mille noyaux (P_{1000}) est 5690,86±31,03 g et 1248,12±16,24 g. Ces résultats sont comparables aux résultats obtenus par Djouab et al. (2016) pour la variété de datte Mech Degla avec des valeurs de 6,12±0,84g, 0,98±0,22g et 5236,5±408,64g, 1051,1±58,35g pour le poids unitaire et le poids de 1000 fruits et noyaux respectivement.

La teneur en pulpe, exprimée en pourcentage pondéral (Poids de la pulpe / Poids de la datte), indique que la datte étudiée présente un pourcentage de 77,71±4,00%. Les résultats

obtenus pour la variété Garn Ghzel sont concordent avec ceux de Taouda et *al.* (2014), qui présente une valeur de 85 % pour la variété Tarzawa et ceux de Mimouni (2015) avec une valeur de 80,58% pour Degla Baida.

La différence des propriétés physiques des dattes est due aux conditions climatiques des dattes et aux variétés étudiées.

● Couleur

La figure 20 représente les paramètres de la couleur de la variété de datte Garn Ghzel (L^* , a^* , b , C et H).

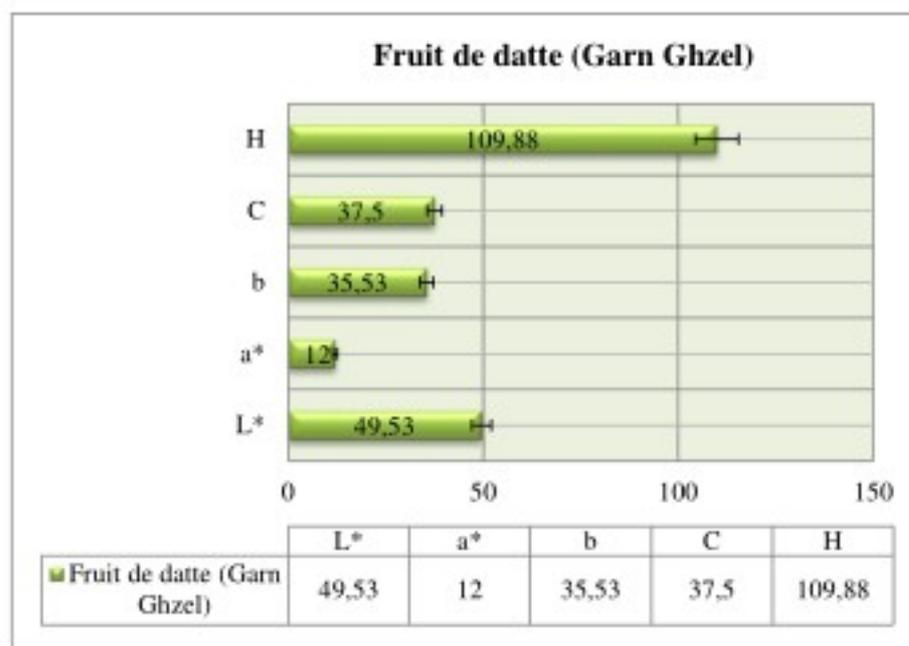


Figure 20. Paramètres de la couleur de datte (Garn Ghzel).

La luminosité du fruit de datte (Garn Ghzel) est représentée par l'indice L^* avec (49,53), du composant rouge-vert avec une valeur de a^* (12) et la valeur du composant jaune-bleu b par (35,53). La saturation (chroma) et l'angle de teinte de la couleur de la datte Garn Ghzel ont des valeurs de 37,5 et 109,88 respectivement. Les résultats obtenus sont supérieurs à ceux de Al-Jasass et *al.* (2015) concernant la variété de datte Deglet Nour avec ($L^*19,35\pm 2,59$, $a^*5,04\pm 0,93$ et $b^*4,54\pm 0,62$). Selon Hasnaoui et *al.* (2011), la variété de datte étudiée est comparable à Assiane 1, Aziza bouzid 2 et Bouffgous gharas 2 pour (a^*) avec $12,99\pm 0,58$, $12,18\pm 0,37$ et $12,96\pm 0,98$; Aziza bouzid 2 avec $35,12\pm 1,98$ pour (b) et supérieur à Assiane 1, Assiane 2, Assiane 3, Aziza bouzid 1, Aziza bouzid 2, Azizabouzid 3, Bouffgous 1, Bouffgous 2, Bouffgous 3, Bouffgous gharas 1, Bouffgous gharas 2, Bouslikhène 1, Bouslikhène 2, Deglet nour A, Deglet nour T, Mejhoul F, Mejhoul 1, Mejhoul 2, Mejhoul 3, Admam, Afroukh, Aziza manzou, Bousthami noir, Jihel, Lahmira,

Taâbdount, Tadmamt 1, Tadmamt 2 et Tardbayt pour (L*) avec un interval de [12,12±1,15 - 38,93±0,98]. Les valeurs (C) obtenues sont inférieures à celles de Alhamdan et *al.* (2015) avec 49,64 et supérieur concernant (H) avec 77,32 pour la variété de datte Barhi au stade Khalal. La différence des résultats est due à la variété de datte étudiée et au stade de maturité.

2. Caractérisations physicochimiques et biochimiques de la datte (Garn Ghzel)

Le tableau 25 représente les caractéristiques physicochimiques et biochimiques de la variété de datte Garn Ghzel.

Tableau 25. Caractéristiques physicochimiques et biochimiques de la variété de datte Garn Ghzel.

<i>Paramètres</i>	<i>Moyenne±Ecart-type</i>
<i>Teneur en eau (%)</i>	11,07±1,18
<i>Matière sèche (%)</i>	88,93±1,18
<i>pH</i>	6,18±0,03
<i>Acidité titrable (% acide citrique)</i>	1,5±0,71
<i>Cendre (g/100g)</i>	0,99±0,02
<i>Teneur en sucres totaux (g/100g de matière fraîche)</i>	78,96±3,28
<i>Teneur en polyphénols totaux (mg EAG/100g)</i>	327,38±23,15
<i>Teneur en flavonoïdes (mg EQ/100g)</i>	47,33±0,00

Les résultats sont exprimés en moyennes de trois déterminations ± ET; l'analyse de variance (ANOVA) est réalisé avec les tests de Newman-Keuls (SNK) ($p < 0,05$).

La teneur en eau de la datte étudiée est 11,07% (0,1107 kg d'eau/kg produit) et 88,93% de la matière sèche (0,8893 kg ms/kg produit). Cette teneur est comparable à celle des autres variétés de dattes sèches. Selon Chandrasekaran et Bahkali (2013), les fruits (Tamr) contiennent une humidité allant de 10 à 22%.

Le pH et l'acidité titrable du fruit de datte sont 6,18±0,03 et 1,5±0,71 (% d'acide citrique) respectivement. Les résultats obtenus sont supérieurs à la valeur de 5,30 pour les variétés de datte Dagalla et Fari (Uba et *al.*, 2015). Par comparaison, la valeur de l'acidité titrable est inférieure à la valeur obtenue par Amellal (2008) pour la variété Degla Baida par 2,93±0,063 (g d'acide citrique/100 g du poids frais).

Par comparaison, les cendres de Garn Ghzel (0,99±0,02 g/100g) sont inférieurs à ceux de Uba et *al.*, (2015) avec (3,00-3,33 %) concernant (Dagalla, Dan-Mali et Fari).

La teneur en sucres totaux (% du poids frais) de la variété de datte est 78,96 %, cette valeur est concorde avec celle de Lekbir (2016) pour la variété de datte Tinicine au stade Tamr avec (75,33 %).

La teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes de la datte Garn Ghzel est $327,38 \pm 23,15$ (mg EAG/100g) et $47,33 \pm 0,00$ (mg EQ/100g) respectivement. Ces résultats sont comparables avec ceux de Gurchala (2015) pour Tinissine avec 401 ± 1 (mg EAG/100g de matière fraîche (MF)) et Ghars avec $88,75 \pm 1,12$ (mg EAG/100g MF), pour les flavonoïdes, Gurchala (2015) trouvait des valeurs de 5,2 (mg EQ/100g) correspondant à Ghars et 6,7 (mg EQ/100g) pour Tinissine.

Les différences observées dans les résultats pourraient être dues aux variétés de datte étudiées, les conditions environnementales, stade de maturité et les conditions opératoires.

3. Obtention de sirop et de poudre de pulpe et de résidu de datte (Garn Ghzel)

La figure 21 montre le procédé d'obtention de sirop et de poudre de pulpe et de résidu de datte (Garn Ghzel) par deux méthodes de séchage (lyophilisation et séchage convectif).

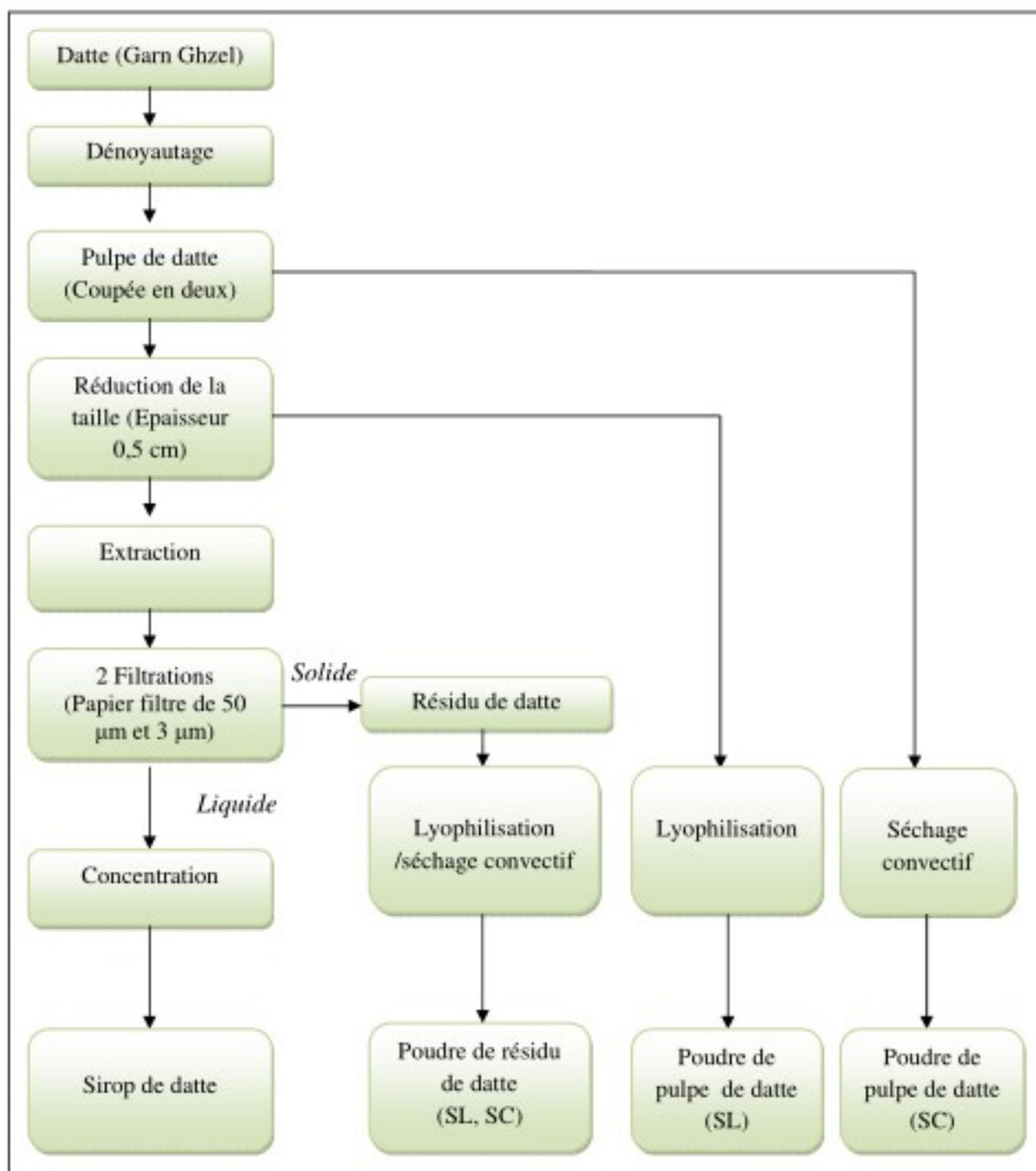


Figure 21. Diagramme de fabrication de sirop et de poudre de datte ;

(SL: Séchage par Lyophilisation, SC: Séchage convectif).

La figure 22, représente les poudres de datte Garn Ghzel (PPUD: Poudre de Pulpe de Datte, PRD: Poudre de Résidu de Datte) obtenues par lyophilisation et séchage convectif.



Figure 22. Poudres de datte (Garn Ghzel).

PPUD (SL): Poudre de Pulpe de Datte obtenue par Lyophilisation

PRD (SL): Poudre de Résidu de Datte obtenue par Lyophilisation

PPUD (SC): Poudre de Pulpe de Datte obtenue par Séchage Convectif

PRD (SC): Poudre de Résidu de Datte obtenue par Séchage Convectif

4. Cinétique de séchage des pulpes et de résidu de datte

4.1. Cinétique de séchage par lyophilisation des pulpes et de résidu de datte

100 g de pulpe et de résidu d'extraction de sirop de datte ont été lyophilisés à une température d'environ (-40°C) et à une pression de 0,12 mbar jusqu'à un poids constant de 96,70g et 63,50g respectivement. Les échantillons de pulpe et de résidu de datte ont une teneur en eau initiale de 0,11 et 0,45 (kg H₂O/kg de produit) respectivement.

La teneur en eau de la pulpe de datte lyophilisée est présentée dans la figure 23.

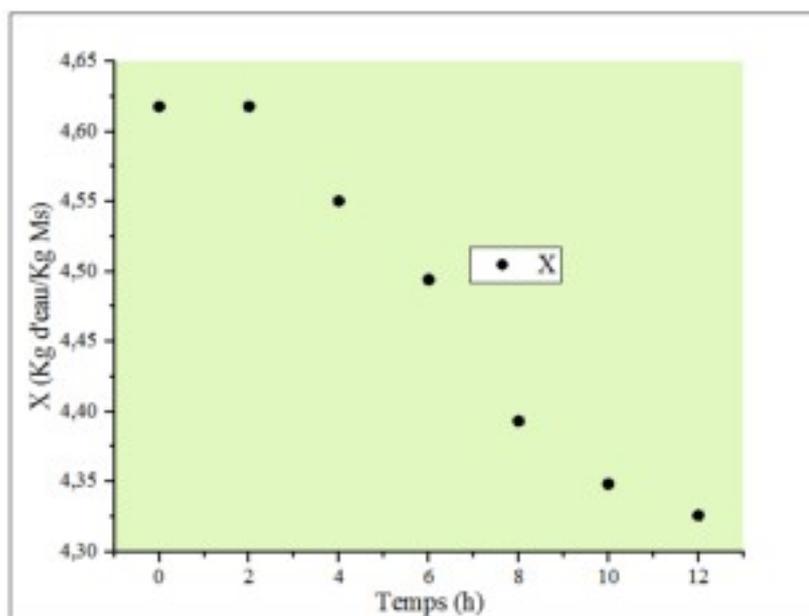


Figure 23. Teneur en eau de la pulpe de datte lyophilisée (-40°C/0,12 mbar).

La cinétique de la teneur en eau de la pulpe de datte lyophilisée diminue progressivement au cours du temps (12 h) à partir de la deuxième heure de séchage.

La figure 24 représente la teneur en eau relative de la pulpe de datte lyophilisée.

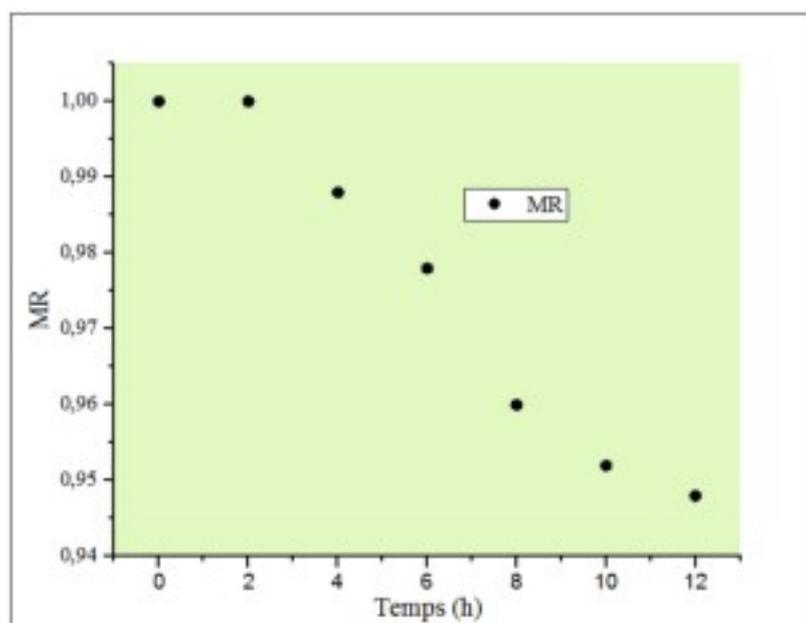


Figure 24. Teneur en eau relative de la pulpe de datte lyophilisée (-40°C/0,12 mbar).

La teneur en eau relative de la pulpe de datte diminue et atteint un niveau de 0,94 après 12 h, ces résultats sont concordent avec ceux de Sahari et *al.* (2008) qui a étudié l'effet de l'humidité initiale et de l'épaisseur de la datte sur le processus de séchage.

La figure 25 représente la teneur en eau en fonction du temps de résidu de datte lyophilisé.

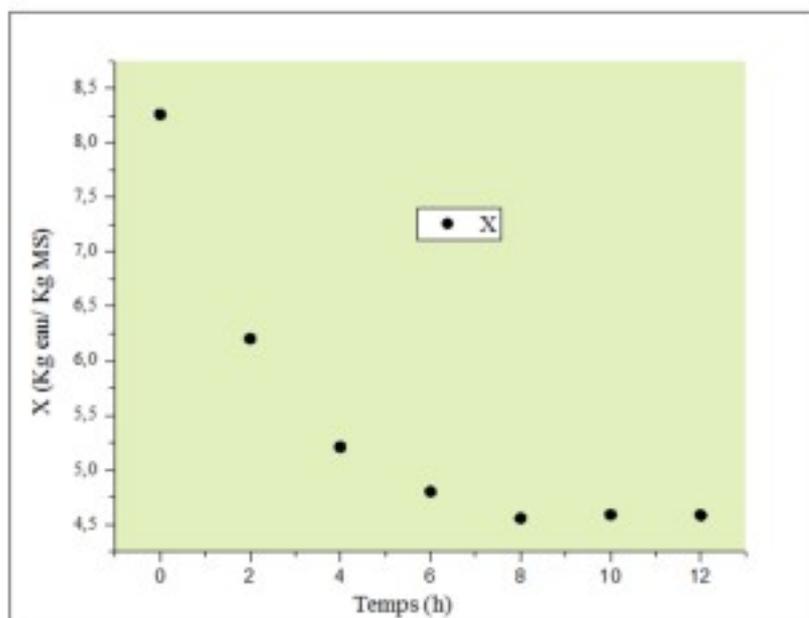


Figure 25. Teneur en eau en fonction du temps des résidus de datte lyophilisés (-40°C/0,12 mbar).

La teneur en eau de résidu de datte diminue rapidement avec le temps jusqu'à $t=8$ h, elle devient presque constante pour le reste du temps.

La figure 26 illustre la cinétique de la teneur en eau relative en fonction du temps des résidus de datte lyophilisés.

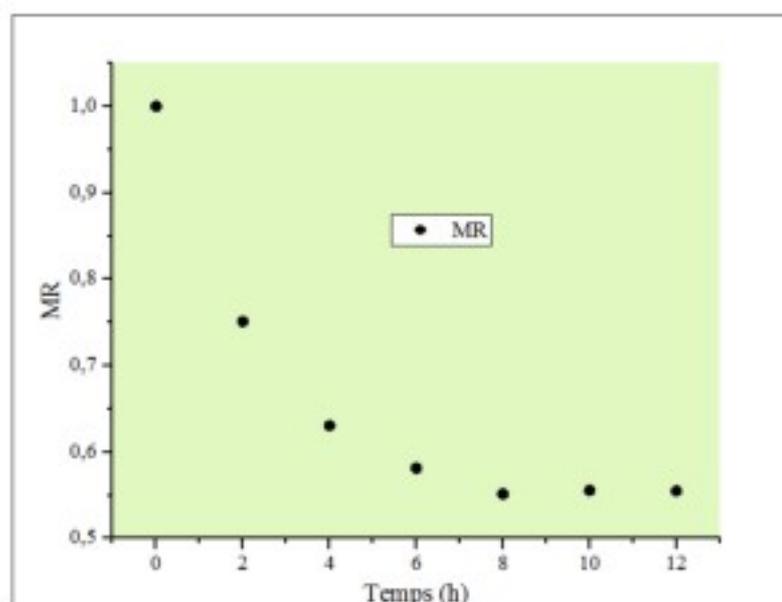


Figure 26. Teneur en eau relative en fonction du temps des résidus de datte lyophilisés (-40°C/0,12 mbar).

La teneur en eau relative des résidus de datte diminue et atteint un niveau de 0,55 après 12 h. Ces résultats sont concordent avec ceux de Sahari et *al.* (2008) qui a étudié l'effet de l'humidité initiale et de l'épaisseur de datte sur le processus de séchage.

4.2. Cinétique de séchage convectif des pulpes et de résidu de datte

Les figures 27, 28 illustrent la teneur en eau et la teneur en eau relative de la pulpe de datte obtenue par séchage convectif.

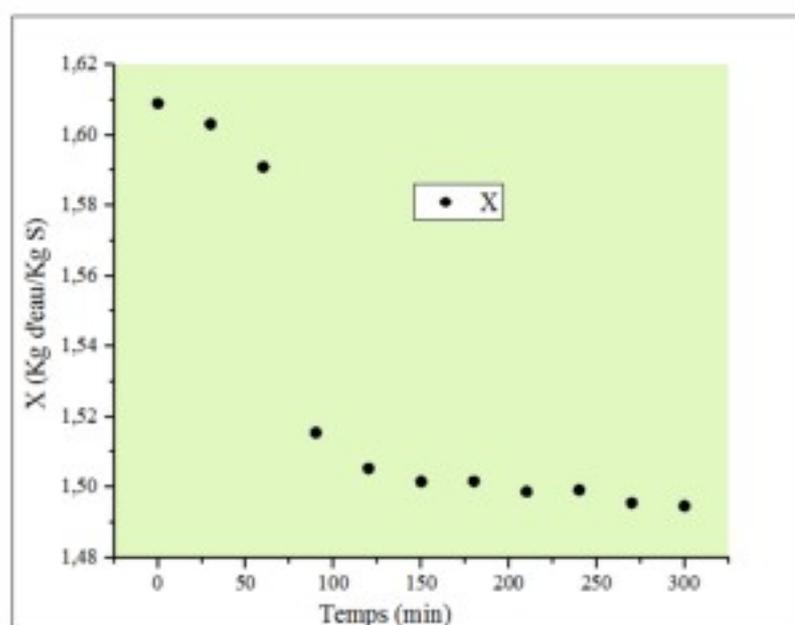


Figure 27. Teneur en eau de la pulpe de datte obtenue par séchage convectif (T=50°C).

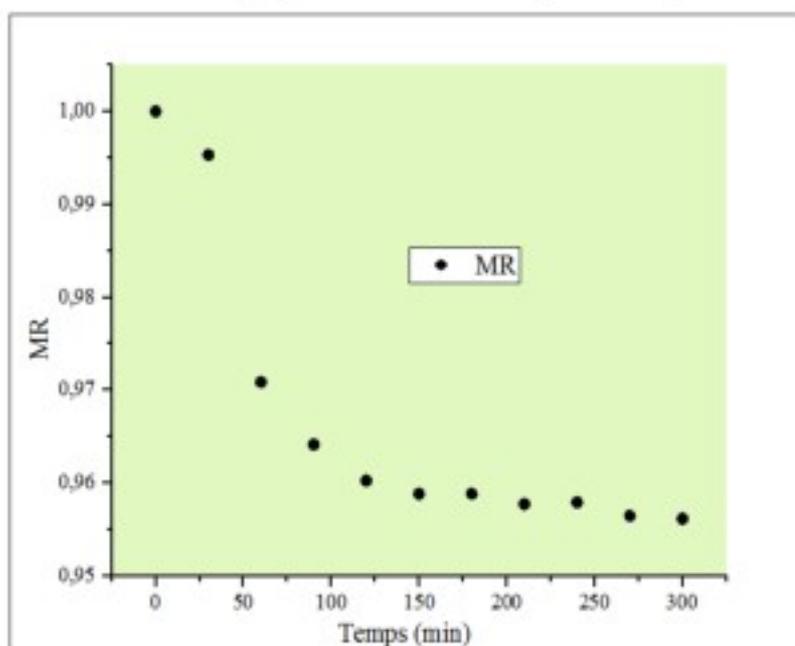


Figure 28. Teneur en eau relative de la pulpe de datte obtenue par séchage convectif (T=50°C).

La teneur en eau et la teneur en eau relative de la pulpe de datte séché par convection diminuent progressivement avec le temps (min). Les résultats obtenus s'accordent bien avec ceux rapportés dans la littérature pour d'autres produits alimentaires, tel que le séchage de bitter kola (Ehiem et *al.*, 2014) et le séchage de la pomme de terre (Fahloul et *al.*, 2009).

La teneur en eau et la teneur en eau relative des résidus de datte sont illustrées dans les figures 29 et 30 respectivement.

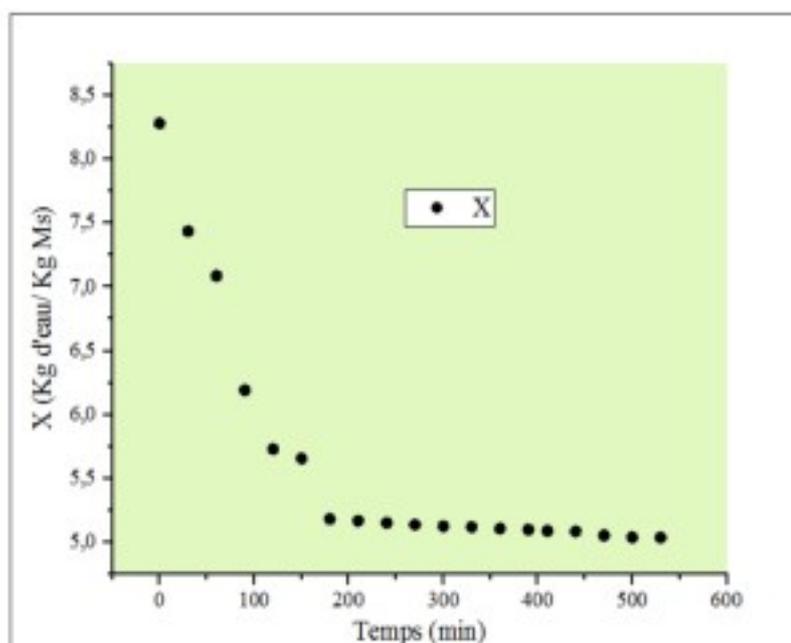


Figure 29. Teneur en eau de résidu de datte obtenue par séchage convectif ($T=50^{\circ}\text{C}$).

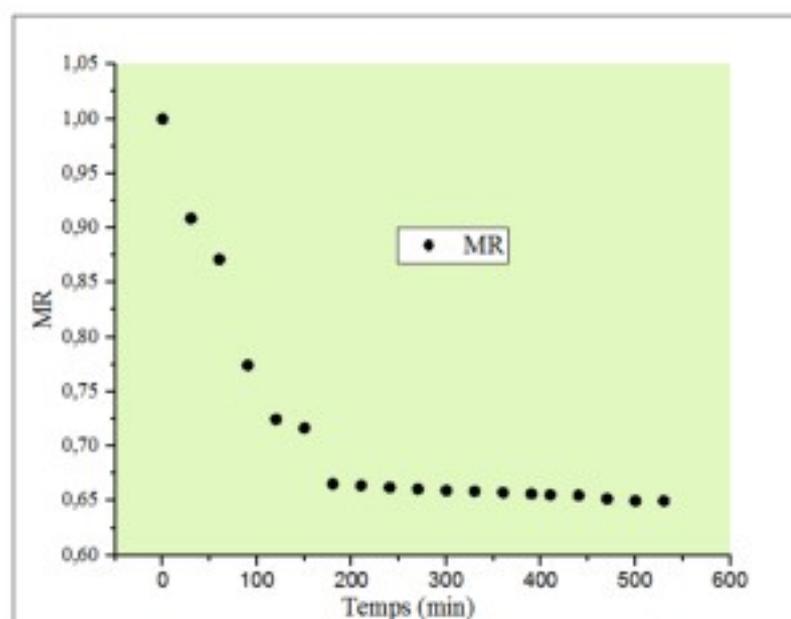


Figure 30. Teneur en eau relative de résidu de datte obtenue par séchage convectif ($T=50^{\circ}\text{C}$).

Les résultats montrent que la teneur en eau et la teneur en eau relative diminuent rapidement du $t=0$ min jusqu'à $t=160$ min ($MR=0,65$), ensuite elles diminuent lentement au cours du temps.

5. Modélisation de la cinétique de séchage

Les données expérimentales ont été ajustées à l'aide du logiciel Origin Pro 2016 à cinq modèles (Newton, Page, Henderson et Papis, Logarithmique et Wang et Singh) (tableaux 26 et 27).

Le coefficient de corrélation (R^2) a été utilisé pour définir le meilleur modèle du processus de séchage pour la pulpe et les résidus de datte, χ^2 ayant la valeur la plus basse (Togrul et Pehivan, 2003).

5.1. Lyophilisation

Le tableau 26 représente les constantes et les paramètres statistiques des différents modèles utilisés pour présenter le séchage par lyophilisation de la pulpe et des résidus de datte.

Tableau 26. Constantes et paramètres statistiques de la pulpe et de résidu de datte (SL).

<i>Pulpe de datte</i>					
<i>Modèles</i>	<i>Equations</i>	<i>Constants et coefficients</i>	R^2	χ^2	<i>RMSE</i>
<i>Newton</i>	$MR=\exp(-kt)$	$k=0,00450$	0,9403	0,000030	0,00152
<i>Page</i>	$MR=\exp(-kt^n)$	$k=0,00231$ $n=1,29878$	0,9635	0,000021	0,00390
<i>Henderson et Papis</i>	$MR=a\exp(-kt)$	$a=1,00538$ $k=0,00512$	0,9613	0,000022	0,00401
<i>Logarithmique</i>	$MR= a\exp(-kt)+c$	$a=24,13641$ $k=0,00021$ $c=-23,13126$	0,9619	0,000028	0,00398
<i>Wang et Singh</i>	$MR= 1+at+bt^2$	$a=-0,00443$ $b=-0,00005$	0,9630	0,000027	0,00392
<i>Résidu de datte</i>					
<i>Modèles</i>	<i>Equations</i>	<i>Constants et coefficients</i>	R^2	χ^2	<i>RMSE</i>
<i>Newton</i>	$MR=\exp(-kt)$	$k=0,07042$	0,6691	0,009080	0,08811
<i>Page</i>	$MR=\exp(-kt^n)$	$k=0,25645$ $n=0,37086$	0,9774	0,007420	0,02307
<i>Henderson et Papis</i>	$MR=a\exp(-kt)$	$a=0,89177$ $k=0,05420$	0,7824	0,007160	0,07152
<i>Logarithmique</i>	$MR= a\exp(-kt)+c$	$a=0,45683$ $k=0,41041$ $c=0,54464$	0,9987	0,000052	0,00546
<i>Wang et Singh</i>	$MR= 1+at+bt^2$	$a=-0,10019$ $b=0,00566$	0,9688	0,001290	0,02710

Le tableau 26 montre que les meilleurs modèles pour la présentation de la cinétique de séchage par lyophilisation sont les modèles Page et Logarithmique pour la pulpe et les résidus de datte avec R^2 le plus élevé (0,9635 et 0,9987) et χ^2 le plus bas (0,000021 et 0,000052) respectivement.

La figure 31 illustre la teneur en eau relative en fonction du temps de pulpe et résidu de datte lyophilisés présentés par les modèles Page et Logarithmique respectivement.

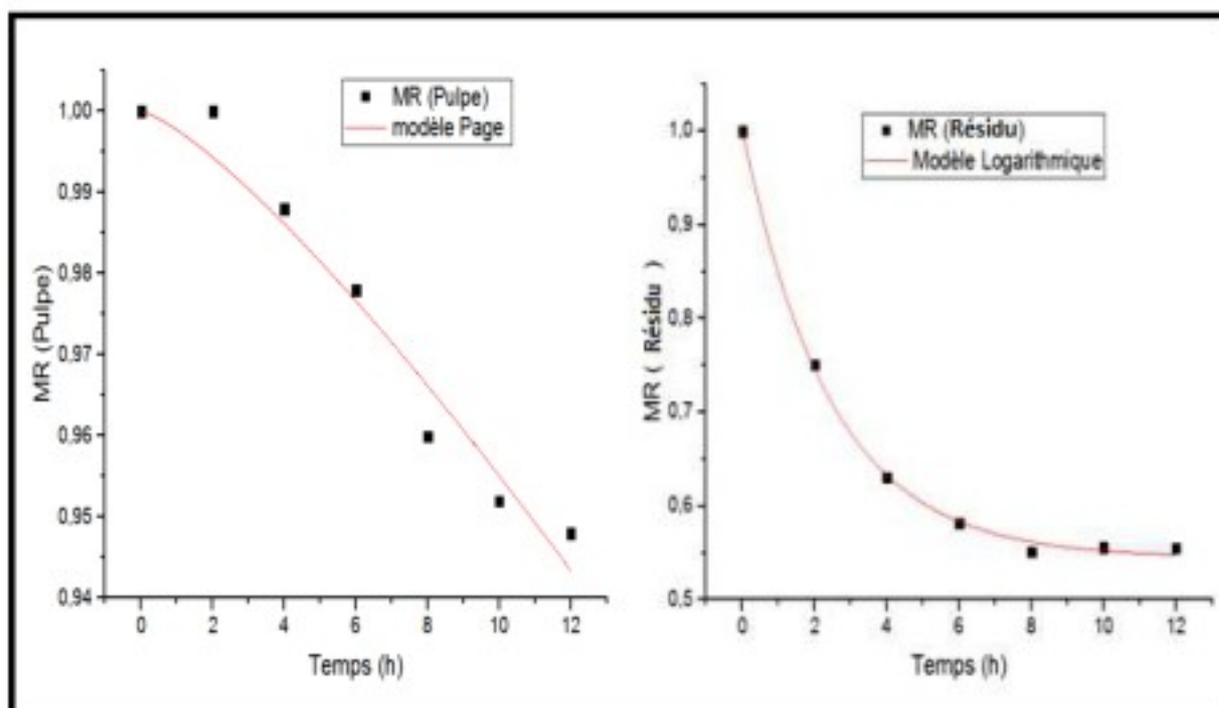


Figure 31. Teneur en eau relative en fonction du temps de pulpe et de résidu de datte lyophilisés (modèles Page et Logarithmique).

Le comportement du processus de la lyophilisation a été déterminé par la perte de poids des échantillons. Le temps de séchage total a été déterminé par 12 heures pour les échantillons de pulpe et de résidus de datte. Des résultats similaires ont été obtenus par Marques *et al.* (2011) pour la pulpe d'ananas, de goyave et de mangue lyophilisée.

5.2. Séchage convectif

Le tableau 27 représente les constantes et les paramètres statistiques de différents modèles utilisés pour présenter le séchage convectif de la pulpe et des résidus de datte.

Tableau 27. Constantes et paramètres statistiques de la pulpe et de résidu de datte (SC).

<i>Pulpe de datte</i>					
<i>Modèle</i>	<i>Equations</i>	<i>Constants et coefficients</i>	<i>R²</i>	<i>χ²</i>	<i>RMSE</i>
<i>Newton</i>	$MR=\exp(-kt)$	k= 0,0002	0,45354	0,0001	0,01394
<i>Page</i>	$MR=\exp(-kt^n)$	k= 0,0050 n= 0,4010	0,85745	0,00004	0,00712
<i>Henderson et Papis</i>	$MR=a\exp(-kt)$	a= 0,98665 k= 0,00013	0,67267	0,00009	0,01079
<i>Logarithmique</i>	$MR= a\exp(-kt)+c$	a= 0,0484 k= 0,0156 c= 0,9552	0,944	0,00002	0,00446
<i>Wang et Singh</i>	$MR= 1+at+bt^2$	a= 0,97742 b= -0,0000003	0,4256	0,00016	0,01429
<i>Résidu de datte</i>					
<i>Modèle</i>	<i>Equations</i>	<i>Constants et coefficients</i>	<i>R²</i>	<i>χ²</i>	<i>RMSE</i>
<i>Newton</i>	$MR=\exp(-kt)$	k= 0,0012	0,26089	0,0078	0,08597
<i>Page</i>	$MR=\exp(-kt^n)$	k= 0,0482 n= 0,3681	0,89422	0,0012	0,03252
<i>Henderson et Papis</i>	$MR=a\exp(-kt)$	a=0,8604 k=0,0007	0,65895	0,0038	0,05840
<i>Logarithmique</i>	$MR= a\exp(-kt)+c$	a=0,3668 k=0,0115 c=0,6468	0,98277	0,00020	0,02161
<i>Wang et Singh</i>	$MR= 1+at+bt^2$	a=0,78045 b=-0,0000007	0,37638	0,00697	0,07897

Le tableau 27 montre que le meilleur modèle pour la présentation de la cinétique de séchage convectif est le modèle Logarithmique pour la pulpe et les résidus de datte avec R^2 le plus élevé (0,944 et 0,98277) et χ^2 le plus bas (0,00002 et 0,00020) respectivement.

La figure 32 illustre les données expérimentales de la teneur en eau avec le meilleur modèle mathématique pour la pulpe et les résidus de datte séchés par convection.

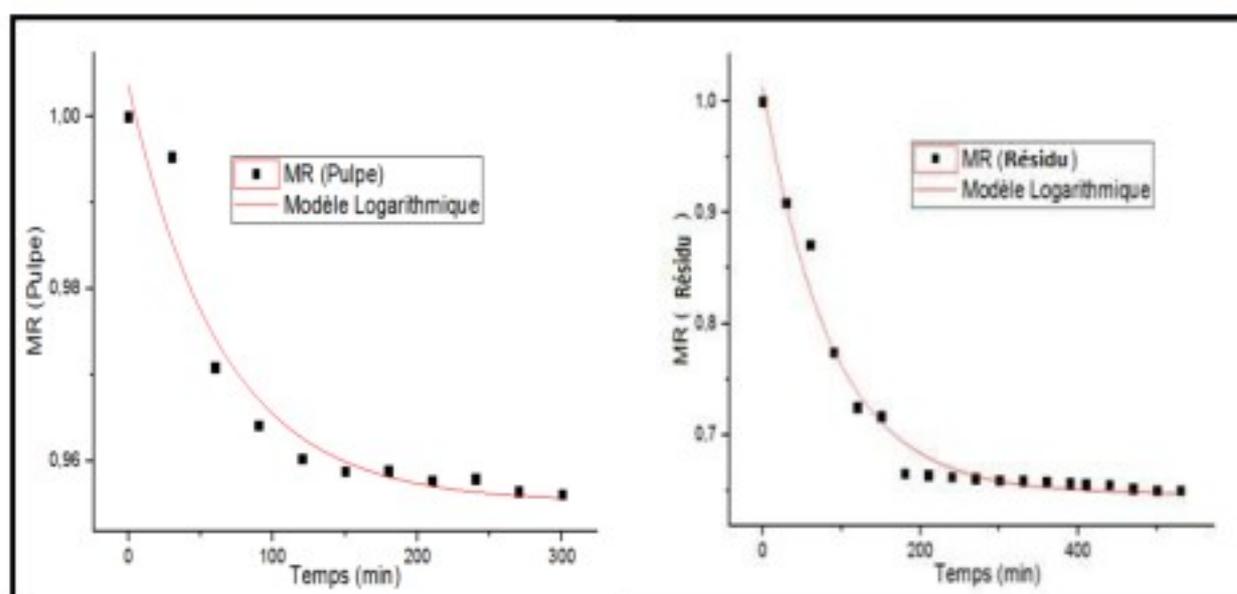


Figure 32. Teneur en eau relative en fonction du temps de pulpe et de résidu de datte obtenue par séchage convectif (modèle Logarithmique).

La figure 32 illustre les meilleurs ajustements obtenus par le modèle Logarithmique pour la pulpe et les résidus de datte séchés par convection qui présentent des excellents résultats.

Les valeurs de diffusivité sont comprises entre $9,74 \times 10^{-11}$; $5,15 \times 10^{-11}$ et $1,09 \times 10^{-9}$; $7,76 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ pour la pulpe et les résidus de datte lyophilisés et séchés par convection respectivement. Ces valeurs se situent dans l'intervalle donné par Ergun et *al.* (2014) pour les aliments allant de 10^{-12} à $10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$.

6. Caractérisations physicochimiques des poudres de pulpe et de résidu de datte

Les propriétés physicochimiques des poudres de dattes ont été présentées dans le tableau 28.

Tableau 28. Propriétés physicochimiques des poudres de pulpe et de résidu de datte.

Paramètres	Lyophilisation		Séchage convectif	
	Poudre de pulpe	Poudre de résidu	Poudre de pulpe	Poudre de résidu
Teneur en eau (%)	2,50±0,05 ^b	7,64±0,22 ^a	9,13±2,42 ^a	7,51±0,31 ^a
Matière sèche (%)	97,5±0,05 ^a	92,36±0,22 ^b	90,87±2,42 ^b	92,49±0,31 ^b
Cendre (g/100g)	0,84±0,04 ^b	1,00±0,01 ^b	1,87±0,09 ^a	1,61±0,62 ^{a,b}
pH	6,28±0,05 ^b	6,36±0,02 ^a	5,19±0,01 ^d	5,28±0,03 ^c
Couleur (L*)	78,57±0,23 ^a	68,9±0,36 ^d	73,9±0,28 ^b	69,43±0,33 ^c
Couleur (a*)	4,41±0,12 ^c	7,10±0,09 ^a	4,38±0,17 ^c	5,92±0,33 ^b
Couleur (b*)	22,43±0,29 ^d	25,00±0,17 ^c	31,77±0,21 ^b	32,87±0,12 ^a

Les résultats sont exprimés en moyennes de trois déterminations ± ET; l'analyse de variance (ANOVA) est réalisé avec les tests de Newman-Keuls (SNK). Les résultats de la couleur sont exprimés avec la moyenne de six déterminations ± ET. Les différentes lettres sur les valeurs dans la même ligne indiquent la signification des résultats ($p < 0,05$).

La teneur en eau des poudres de pulpe et de résidu de datte lyophilisées et obtenues par séchage convectif est respectivement $2,50 \pm 0,05$ et $7,64 \pm 0,22\%$. Ces résultats sont similaires aux valeurs de la teneur en humidité de la papaye et de l'ananas lyophilisés avec 2 et 7% (wb) respectivement (Marques et al., 2011). Cependant, ils sont plus élevés que les variétés d'airelles et de fraises lyophilisés (0,10-0,20%) et aussi les variétés de maïs (0,70-1,10%) (Asami et al., 2003). Pour les poudres de pulpe et de résidu de datte obtenues par séchage convectif, la teneur en eau est $9,13 \pm 2,41$ et $7,51 \pm 0,31$ % respectivement. Ces résultats sont comparables avec ceux obtenus par Iguergaziz (2012) pour la teneur en eau de la datte entière avec une valeur de $5,25 \pm 0,05$ %. Par comparaison, la teneur en eau dans les poudres de pulpe de datte lyophilisées est plus basse par rapport aux autres poudres.

Les cendres ont des valeurs de $0,84 \pm 0,04$; $1,00 \pm 0,01$ (g / 100 g), pour les poudres de pulpe et de résidus de datte lyophilisées respectivement. Concernant les poudres de pulpe et de résidu de datte obtenues par séchage convectif, les valeurs des cendres sont $1,87 \pm 0,09$ et $1,61 \pm 0,62$ (g/100g) respectivement. Ces valeurs sont similaires à celles rapportées dans la littérature pour des échantillons de poudre de datte Mech Degla avec $1,44 \pm 0,20$ (g/100 g) (Benahmed Djilali, 2012).

Le pH des poudres obtenues par séchage convectif est plus acide que les poudres obtenues par lyophilisation avec des valeurs de $6,28 \pm 0,05$ à $6,36 \pm 0,02$ et de $5,19 \pm 0,01$ à $5,28 \pm 0,03$ pour des poudres de pulpe et de résidus de datte lyophilisées et séchées par convection respectivement. Ces résultats sont plus proches de ceux rapportés par Mahendran (2010) pour la goyave lyophilisée et par Bellaouchi et al. (2017) pour les poudres de pulpe de datte avec 5, 2.

La couleur des aliments est un facteur déterminant de la qualité du produit et affecte les préférences du consommateur. La couleur peut être utilisée comme indicateur pour prévoir les changements chimiques et de qualité dus au traitement thermique (Valdenegro et al., 2013). Les paramètres de couleur (L^* , a^* et b^*) des poudres de pulpe et de résidu de datte sont présentés dans le tableau 28. Les poudres de pulpe et de résidu de datte lyophilisées sont légèrement oranges (a^* $4,41 \pm 0,12$) et (a^* $7,10 \pm 0,09$), légèrement jaunes (b^* $22,43 \pm 0,29$) et (b^* $25,00 \pm 0,17$), les poudres obtenues par séchage convectif caractérisées par une couleur avec (L^* $73,9 \pm 0,28$), (a^* $4,38 \pm 0,17$) et (b^* $31,77 \pm 0,21$) pour la pulpe et (L^* $69,43 \pm 0,33$), (a^* $5,92 \pm 0,33$) et (b^* $32,87 \pm 0,12$) pour les résidus, la différence de paramètres de couleur est due à la composition du produit. Des valeurs similaires de L^* , a^* et b^* ont été rapportées par Sablani Shyam et al. (2008) pour la poudre de datte (variété Mech Degla).

La différence des résultats obtenus est due à la différence de l'échantillon séché et des méthodes de séchage utilisées.

7. Caractérisations fonctionnelles des poudres de pulpe et de résidu de datte

Le tableau 29 représente les propriétés fonctionnelles des poudres de pulpe et de résidu de datte. La capacité de rétention d'eau (CRE), l'indice de mouillabilité et la dispersibilité montrent l'aptitude des poudres à se réhydrater.

Tableau 29. Propriétés fonctionnelles des poudres de pulpe et de résidu de datte.

Paramètres	Lyophilisation		Séchage convectif	
	Poudre de pulpe	Poudre de résidu	Poudre de pulpe	Poudre de résidu
Capacité de rétention d'eau (g d'eau/g de matière sèche)	$0,63 \pm 0,23^a$	$0,70 \pm 0,02^a$	$0,64 \pm 0,69^a$	$0,69 \pm 0,43^a$
Indice de mouillabilité (s)	$930 \pm 0,50^a$	$1425 \pm 0,33^b$	$1148,33 \pm 1,53^a$	$1044 \pm 0,82^a$
Dispersibilité (%)	$91,76 \pm 0,21^b$	$68,51 \pm 0,40^a$	$90,99 \pm 0,58^b$	$69,64 \pm 2,14^a$
Masse volumique réelle (Kg/m^3)	$884,96 \pm 0,00^b$	$454,55 \pm 0,00^a$	$477,72 \pm 2,16^a$	$590,57 \pm 4,04^a$
Masse volumique apparente (Kg/m^3)	$909,00 \pm 0,00^b$	$505,05 \pm 0,00^a$	$498,35 \pm 2,33^a$	$622,43 \pm 4,46^a$

Les résultats sont exprimés en moyennes de trois déterminations \pm ET; l'analyse de variance (ANOVA) est réalisé avec les tests de Newman-Keuls. Les différentes lettres sur les valeurs dans la même ligne indiquent la signification des résultats ($p < 0,05$).

D'après Gurak et al. (2014), CRE est définie comme la quantité d'eau retenue par l'échantillon sans être soumise à aucune contrainte. La poudre de pulpe lyophilisée a une valeur de CRE inférieure à celle du résidu avec des valeurs de $0,63 \pm 0,23$ et $0,70 \pm 0,02$

(g d'eau/g de matière sèche) respectivement, comparable aux résultats de poudre obtenue par séchage convectif $0,64\pm 0,69$ et $0,69\pm 0,43$ (g d'eau/g de matière sèche) respectivement. Ces résultats sont inférieurs à ceux obtenus par Nguyen (2014) avec des valeurs de 0,90 à 1,00 (g eau/g de poudre) pour les poudres de soja obtenues par atomisation et entre 3,97 et 6,20 g/g de fibres sèches pour les concentrés de quelques variétés de dattes (Borchani et al., 2010). La différence est due à la composition du produit et à la variété de datte.

La mouillabilité ou la capacité de rétention d'eau de la poudre est l'une des propriétés physiques les plus importantes liées aux poudres reconstituantes (Sarabandi et al., 2014). Les résultats obtenus sont $930\pm 0,50$ (s) pour la pulpe lyophilisée, ce qui est inférieur à $1425\pm 0,33$ (s) concernant les poudres de résidu. Les résultats du séchage convectif montrent que l'indice de mouillabilité de la poudre de pulpe de datte est supérieur à celle de résidu de datte avec $1148,33\pm 1,53$ (s) et $1044\pm 0,82$ (s) respectivement. Selon Manickavasagan et al. (2015) la poudre de datte obtenue par séchage par atomisation a un taux de mouillabilité compris entre 145,70 et 162,70 (s). Par comparaison nos résultats sont les plus élevés.

Les valeurs de dispersibilité des poudres de pulpe et de résidus de datte lyophilisés sont respectivement $91,76\pm 0,21$ et $68,51\pm 0,40\%$ sont similaires aux résultats de poudres obtenues par séchage convectif avec des valeurs de $90,99\pm 0,58$ et $69,64\pm 2,14\%$. Ces valeurs sont supérieures aux celles obtenues par Koç et Kaymak-Ertekin (2014), avec des valeurs comprises entre 51,30 et 100% pour le miel de poudre séché par atomisation.

La masse volumique réelle des poudres lyophilisées est déterminée par la densité du solide et la porosité interne des particules, ainsi que par la disposition spatiale des particules dans le conteneur (Micha, 2005). La masse volumique réelle et apparente (tableau 29) des échantillons de pulpe et de résidu de datte lyophilisés et obtenues par séchage convectif sont $884,96\pm 0,00$; $909,00\pm 0,00$ et $454,55\pm 0,00$; $505,05\pm 0,00$ kg/m^3 et $477,72\pm 2,16$; $498,35\pm 2,33$ et de $590,57\pm 4,04$; $622,43\pm 4,46$ kg/m^3 respectivement. La masse volumique de la poudre de pulpe est supérieure à celle de la poudre de résidus dans le cas de la lyophilisation et l'inverse pour le séchage convectif. La masse volumique apparente est également supérieure à la masse volumique réelle. La différence est justifiée car le tas de poudre réduit l'espace entre les particules, donc le volume diminue. Les résultats obtenus sont similaires à ceux de Calín-Sánchez et al. (2014) concernant les fruits à aigles lyophilisés et Shishir et al., (2014) pour le mélange de purée de goyave rose et de maltodextrine. La différence des résultats est exprimée par le type de produit et la méthode de séchage utilisée.

8. Caractérisations biochimiques des poudres de datte

Les paramètres biochimiques des poudres de pulpe et de résidu de datte obtenues par lyophilisation et par séchage convectif sont donnés dans le tableau 30.

Tableau 30. Propriétés biochimiques des poudres de datte.

Paramètres	Lyophilisation		Séchage convectif	
	Poudre de pulpe	Poudre de résidu	Poudre de pulpe	Poudre de résidu
Teneur en sucres totaux (g/100 g)	86,34±4,06 ^a	84,22±2,03 ^a	84,05±1,21 ^a	84,15±3,19 ^a
Teneur en polyphénols totaux (mg EAG/100g)	328,47±13,84 ^a	306,57±21,64 ^a	312,362±6,23 ^a	300,495±2,605 ^a
Teneur en flavonoïdes (mg EQ/100g)	42,83±2,12 ^a	46,83±3,06 ^a	42,17±1,65 ^a	46,33±0,71 ^a

Les résultats sont exprimés en moyennes de trois déterminations ± ET; l'analyse de variance (ANOVA) est réalisé avec les tests de Newman-Keuls (SNK). Les différentes lettres sur les valeurs dans la même ligne indiquent la signification des résultats ($p < 0,05$).

Selon le tableau 30, la teneur en sucres totaux pour PPUD (FD), PRD (FD), PPUD (CD) et PRD (CD) est 86,34; 84,22, 84,05 et 84,15 % respectivement, dans la littérature Hariri *et al.* (2017) ont trouvé que la teneur en sucres totaux des poudres des variétés de datte Timjouhart, Tafezouine, H'loua et H'mira est 71,6; 61,9; 85,70 et 63,4% respectivement. D'après les résultats on constate que les taux de sucre sont influents par la composition de la datte (teneur en eau), le degré de maturation et la méthode de séchage.

Le dosage des polyphénols totaux nous donne une estimation globale de la teneur de différentes classes des composées phénoliques contenues au niveau des extraits des dattes analysées (Amellal, 2008). La teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes de poudre de pulpe et de résidu de datte lyophilisées et obtenues par séchage convectif sont 328,47 ; 306,57; 312,362 et 300,495 (mg EAG/100g) et 42,83; 46,83; 42,17 et 46,33 (mg EQ/100g) respectivement. Ces résultats sont inférieurs à ceux obtenus par Mistrello *et al.* (2014) avec 2058, 2983 et 2061 mg EAG par 100 g de poids frais pour la poudre de noyau de Zahidi, Deglet Nour et Khouat Allig respectivement. La différence est due au type de poudre à analyser.

8.1. Analyse en Composantes Principales (ACP) des poudres de datte (variables biochimiques)

L'analyse en Composantes Principales (ACP) est une méthode exploratoire et descriptive; elle est utilisée pour interpréter une matrice de données sans structure particulière ne comportant, à priori, aucune distinction, ni entre les variables, ni entre les

individus (Djouidi, 2013). La figure 33 représente le cercle de corrélation des variables biochimiques des poudres de datte.

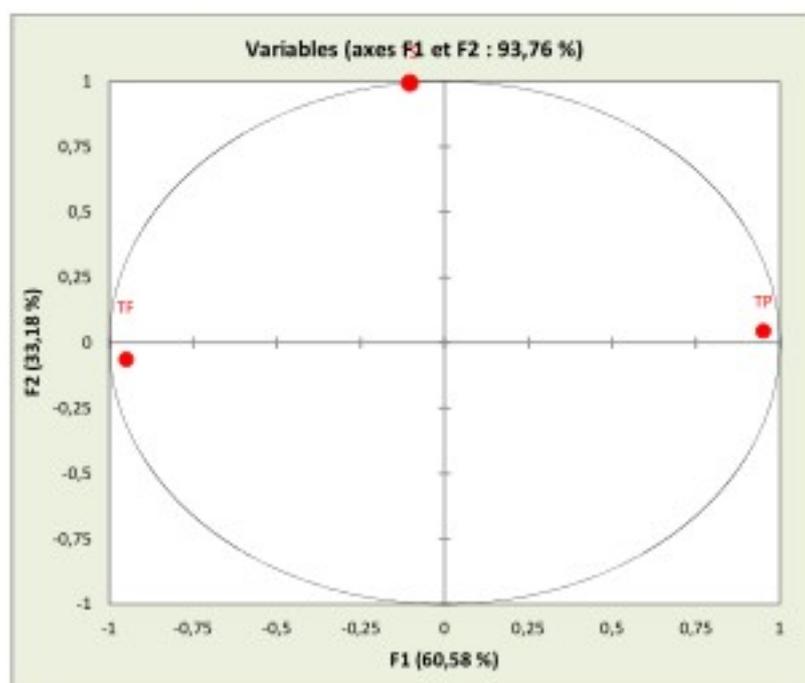


Figure 33. Cercle de corrélation des variables biochimiques des poudres de datte lyophilisées et obtenues par séchage convectif.

TS: Teneur en Sucres totaux, TP: Teneur en Polyphénols totaux, TF: Teneur en Flavonoïdes.

Les deux facteurs (F1 et F2) représentent 93,76 % de l'information totale des données (niveau de variabilité), avec 60,58 % pour F1 et 33,18 % pour F2. Le cercle de corrélation divise les paramètres comme suit :

✓ **Axe 1:**

- **Groupe 1 (positive):** TP: Teneur en Polyphénols totaux.
- **Groupe 2:** TS: Teneur en Sucres totaux et TF: Teneur en Flavonoïdes ; qui sont corrélées négativement avec le Groupe 1.

✓ **Axe 2:**

- **Groupe 1 (positive):** TS: Teneur en Sucres totaux et TP: Teneur en Polyphénols totaux.
- **Groupe 2:** TF: Teneur en Flavonoïdes qui est corrélée négativement avec le Groupe 1.

9. Pain d'orge enrichi en poudres de résidu de datte

9.1. Formulation

9.1.1. Caractérisations physicochimiques et fonctionnelles du mélange des poudres utilisées dans la préparation du pain d'orge enrichi

La figure 34 représente les différents mélanges de poudres utilisés dans la préparation de pain d'orge enrichi.



Figure 34. Mélanges de poudres utilisés dans la préparation de pain d'orge enrichi.

FO/PRD (SL): Farine d'orge/Poudre de Résidu de datte (Séchage par lyophilisation)

FO/PRD (SC): Farine d'orge/Poudre de Résidu de datte (Séchage Convectif)

Les tableaux 31-32, présentent les propriétés physicochimiques et fonctionnelles des mélanges de poudres utilisés dans la préparation de pain d'orge enrichi; poudre de résidu de datte obtenue par deux techniques de séchage (lyophilisation et séchage convectif), avec différentes concentrations (FO/0%PRD, FO/5%PRD (SL), FO/10%PRD (SL), FO/15%PRD (SL), FO/20%PRD (SL) et FO/5%PRD (SC), FO/10%PRD (SC), FO/15%PRD (SC), FO/20%PRD (SC)).

Tableau 31. Propriétés physicochimiques et fonctionnelles des mélanges de poudre utilisés dans la préparation de pain d'orge enrichi (FO/PRD (SL)).

Paramètres	Contrôle	Lyophilisation			
		Farine d'orge/Poudre de résidu de datte			
		FO/PRD 5	FO/PRD 10	FO/PRD 15	FO/PRD 20
Teneur en eau (%)	10,58±0,26 ^b	10,22±0,02 ^{ab}	10,20±0,03 ^{ab}	10,01±0,33 ^a	10,00±0,16 ^a
Matière sèche (%)	89,42±0,26 ^a	89,78±0,02 ^{ab}	89,8±0,03 ^{ab}	89,99±0,33 ^b	90,00±0,16 ^b
Cendre (g/100g)	2,78±0,08 ^a	2,53±0,5 ^a	2,15±1,26 ^a	1,80±1,98 ^a	0,98±0,07 ^a
pH	6,02±0,06 ^d	5,21±0,01 ^a	5,12±0,02 ^c	5,47±0,01 ^{ab}	5,33±0,04 ^b
Teneur en sucres totaux (%)	0,77±0,14 ^a	5,28±0,18 ^b	8,02±0,97 ^c	11,93±2,32 ^d	16,71±0,62 ^c
Indice de gonflement	9,5±0,00 ^c	7,5±0,00 ^d	7,08±0,00 ^c	6,97±0,00 ^b	6,67±0,00 ^a
Masse volumique réelle (Kg/m ³)	332,60±1,27 ^b	322,25±0,61 ^a	333,33±0,00 ^b	332,6±1,27 ^b	332,43±1,27 ^b
Masse volumique apparente (Kg/m ³)	393,19±1,79 ^d	371,96±2,71 ^b	363,64±0,00 ^a	385,61±1,72 ^c	383,64±1,7 ^c

Contrôle, FO/PRD5, FO/PRD10, FO/PRD15 et FO/PRD20: préparées avec remplacement à 0%, 5%, 10%, 15% et 20% de la farine d'orge avec la poudre de résidu de datte, respectivement. Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes de trois déterminations ± ET; analyse de variance (ANOVA) est réalisé avec les tests de Newman-Keuls (SNK). Les différentes lettres sur les valeurs dans la même ligne indiquent la signification des résultats (p < 0,05). FO/PRD : Farine d'orge/Poudre de résidu de datte.

Tableau 32. Propriétés physicochimiques et fonctionnelles des mélanges de poudres utilisés dans la préparation de pain d'orge enrichi (FO/PRD (SC)).

Paramètres	Contrôle	Séchage convectif			
		Farine d'orge/Poudre de résidu de datte			
		FO/PRD 5	FO/PRD 10	FO/PRD 15	FO/PRD 20
Teneur en eau (%)	10,58±0,26 ^b	10,54±0,32 ^b	10,28±0,06 ^{ab}	10,26±0,21 ^{ab}	9,82±0,08 ^a
Matière sèche (%)	89,42±0,26 ^a	89,46±0,32 ^a	89,72±0,06 ^a	89,74±0,21 ^a	90,18±0,08 ^b
Cendre (g/100g)	2,78±0,08 ^a	2,54±0,11 ^a	2,45±0,13 ^a	2,43±0,41 ^a	2,41±0,54 ^a
pH	6,02±0,06 ^c	5,85±0,03 ^c	5,93±0,09 ^c	5,21±0,14 ^b	5,03±0,01 ^a
Teneur en sucres totaux (%)	0,77±0,14 ^a	4,58±0,09 ^{ab}	7,18±0,01 ^b	11,9±2,51 ^c	16,02±4,28 ^d
Indice de gonflement	9,5±0,00 ^c	8,5±0,00 ^d	8,10±0,00 ^c	7,39±0,00 ^b	7,08±0,00 ^a
Masse volumique réelle (Kg/m ³)	332,66±1,15 ^b	327,51±0,62 ^{ab}	324,70±3,68 ^a	329,69±3,15 ^{ab}	324,70±3,68 ^a
Masse volumique apparente (Kg/m ³)	393,19±1,79 ^c	382,73±3,28 ^d	369,46±1,57 ^c	361,47±3,75 ^b	355,46±2,90 ^a

Contrôle, FO/PRD5, FO/PRD10, FO/PRD15 et FO/PRD20: préparées avec remplacement à 0%, 5%, 10%, 15% et 20% de la farine d'orge avec la poudre de résidu de datte, respectivement. Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes de trois déterminations ± ET; analyse de variance (ANOVA) est réalisé avec les tests de Newman-Keuls (SNK). Les différentes lettres sur les valeurs dans la même ligne indiquent la signification des résultats (p < 0,05). FO/PRD : Farine d'Orge/ Poudre de résidu de datte.

La teneur en eau de mélange de farine d'orge enrichie en poudre de résidu de datte (0-20%) diminue avec l'augmentation de la concentration de la poudre de résidu de datte obtenue par les deux techniques de séchage (SL, SC) avec des valeurs comprise entre 9,82±0,08 et 10,58±0,26 % avec une valeur plus élevée pour le contrôle et plus basse pour des poudres enrichies en 20% de PRD (SC), la matière sèche augmente avec l'augmentation de la concentration de poudre de résidu de datte. Les valeurs de la teneur en eau des mélanges

obtenus par les poudres PRD (SC) sont plus basses que les mélanges obtenus par PRD (SL). Ces résultats sont expliqués par la faible teneur en eau de la poudre de résidu de datte et affirmés par Khali et *al.* (2015) concernant les mélanges de farines aux différents taux d'incorporation de poudre de noyau de datte à la farine de blé tendre.

Le taux de cendre de différents mélanges de poudre est dans l'intervalle de $0,98 \pm 0,07$ et $2,78 \pm 0,08$ (g/100g) pour les poudres lyophilisées et entre $2,41 \pm 0,54$ et $2,78 \pm 0,08$ (g/100g) pour les poudres obtenues par séchage convectif. La méthode de séchage n'a aucun effet sur la teneur en cendre, alors que la composition de chaque mélange a un effet sur les résultats obtenus. La teneur en cendres du témoin est $2,78 \pm 0,08$ (g/100g) comparable aux résultats d'Arshid et *al.* (2018) concernant la farine d'orge avec $3,05 \pm 0,24\%$.

Le pH diminue avec l'augmentation du taux de poudre de résidu de datte avec $6,02 \pm 0,06$ et $5,03 \pm 0,01$ pour (0% PRD) et (20% PRD) (SC) respectivement. Le type et le taux de poudre ont un effet sur les valeurs obtenues. Le pH obtenu est légèrement acide pour les différents mélanges.

Les résultats montrent que la poudre la plus riche en sucres totaux est (FO/PRD20 (SL)) avec 16,71% et la poudre la plus faible est (FO/PRD5 (SC)) avec 4,58%. La teneur en sucres totaux augmente avec l'augmentation du taux d'incorporation de la poudre de résidu de datte.

L'indice de gonflement de différentes poudres diminue avec l'augmentation de la concentration de poudre de résidu de datte lyophilisée et obtenue par séchage convectif de 7,5 à 6,67 et de 8,5 à 7,08 respectivement. Il est plus élevé dans la farine d'orge (9,5) et plus faible pour (20% PRD) lyophilisée, ces résultats montrent que les poudres de résidu de datte se caractérisent par une faible réhydratation. Ces résultats sont comparables avec ceux de Doukani (2015) qui rapporte que l'indice de gonflement augmente nettement avec le taux d'hydratation des semoules.

Une poudre est constituée d'un ensemble de particules individualisables. L'organisation aléatoire définit des espaces intergranulaires dans le tas de particules, elles-mêmes plus ou moins poreuses et rugueuses (pores internes « fermés » et de surface « ouverts »). La masse volumique d'un solide représente le rapport de sa masse par rapport à son « volume » (Barkouti, 2012). La masse volumique réelle et apparente de différentes concentrations varie de $324,70 \pm 3,68$ à $333,33 \pm 0,00$ (Kg/m³) et de $355,46 \pm 2,90$ à $393,19 \pm 1,79$ (Kg/m³); la valeur la plus faible concernant (FO/20% PRD) obtenue par le séchage convectif et la plus élevée concernant le contrôle (0% PRD). Ces résultats sont comparables avec ceux de Barkouti (2012) pour le groupe A: poudres fusantes, fines

(20 à 1000 μm) et légères (masse volumique vraie inférieure à 1500 kg/m^3), caractérisées par une forte expansion du lit (ex. maltodextrine) et le groupe B: poudres sableuses dont la taille moyenne est généralement comprise entre 80 et 800 μm et la masse volumique vraie entre 1500 et 4000 kg/m^3 . Elles sont caractérisées par une faible expansion du lit ce qui affirme que les particules se déplacent en fonction de leur densité (plus elle est élevée, l'écoulement est meilleur).

● Couleur

La couleur des poudres à mélanger est affectée par le taux de poudre de résidu de datte incorporé (figures 35A, 35B).

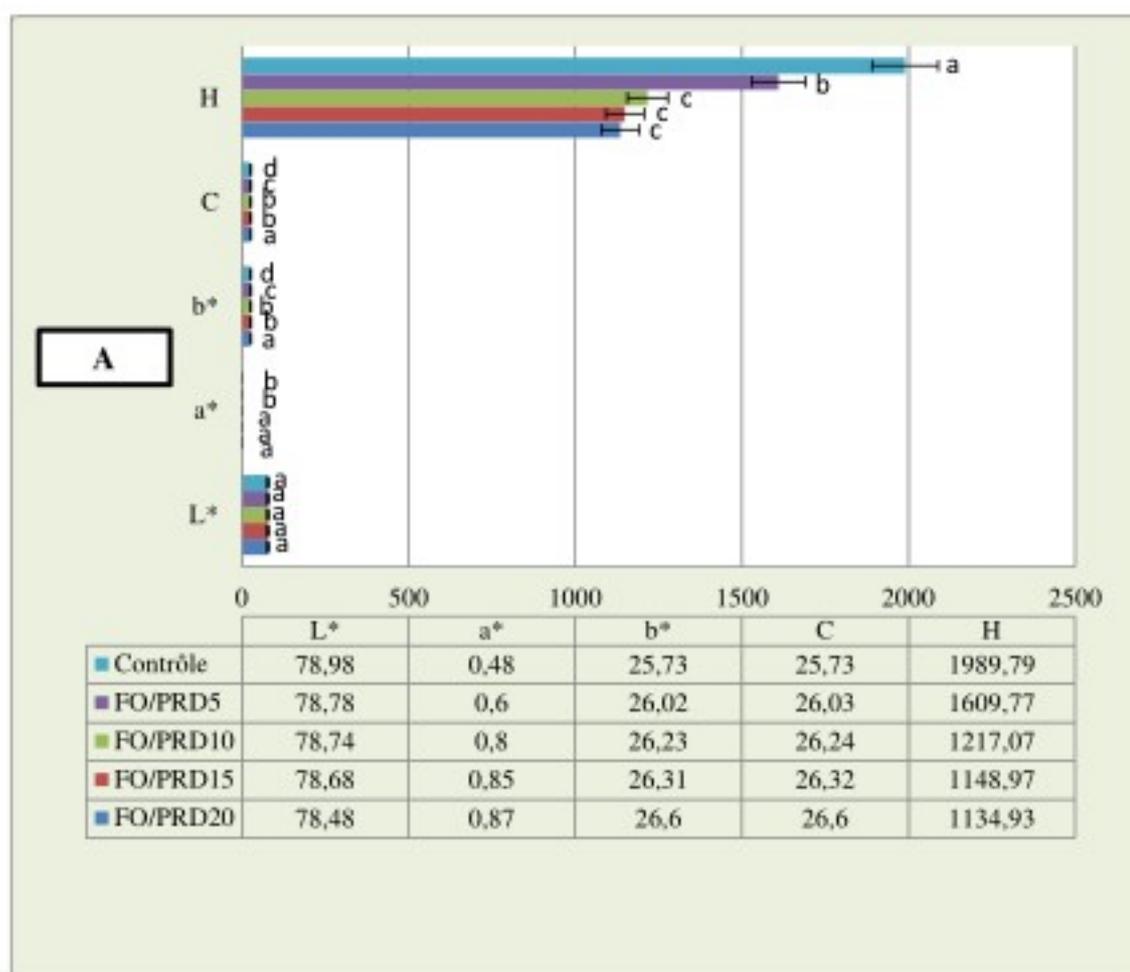


Figure 35A. Couleur de mélange des poudres utilisées dans la préparation des pains d'orge enrichis (Farine d'orge/PRD lyophilisée).

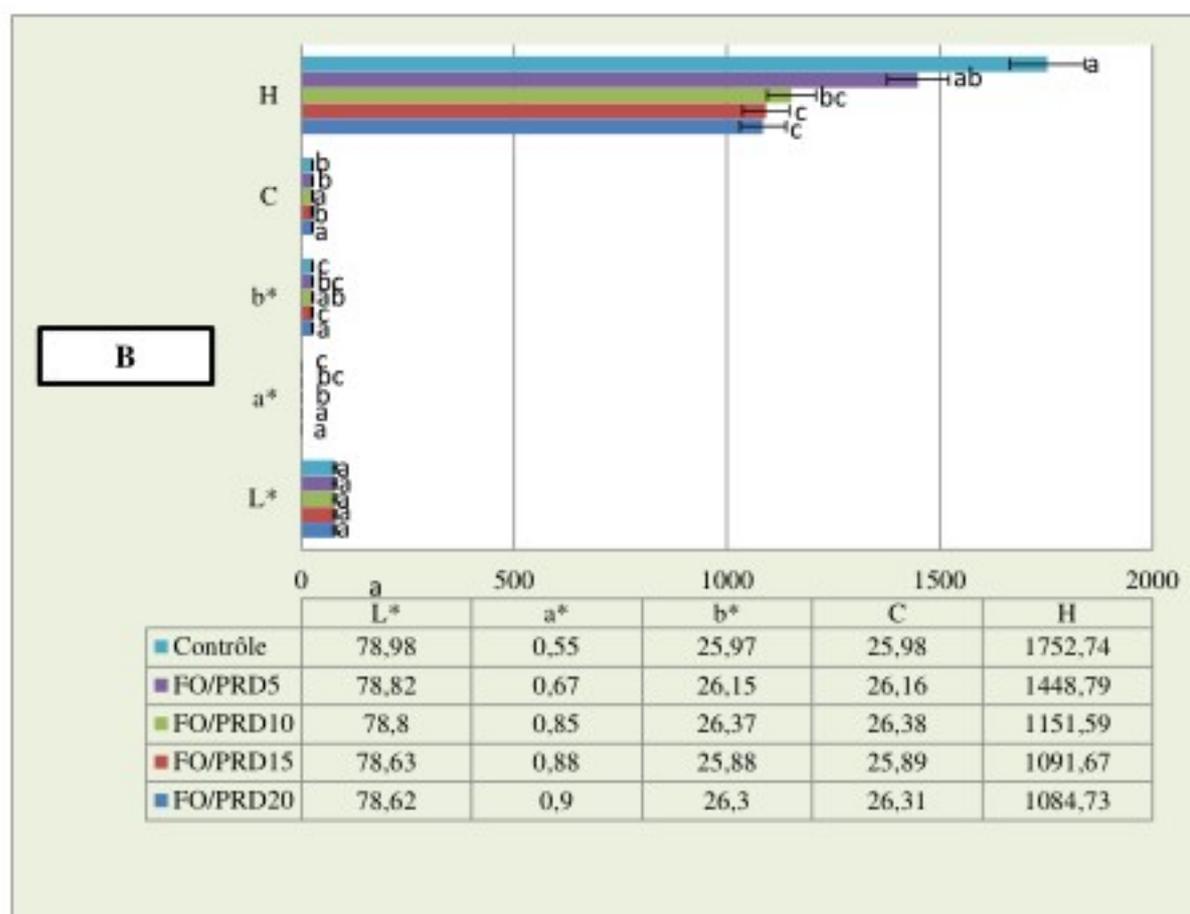


Figure 35B. Couleur de mélange des poudres utilisées dans la préparation des pains d'orge enrichis (Farine d'orge/PRD obtenues par séchage convectif).

La luminosité (L^*) des différentes poudres à mélanger Contrôle, FO/PRD5, FO/PRD10, FO/PRD15 et FO/PRD20 lyophilisée ou obtenue par séchage convectif diminue avec l'augmentation de la proportion de poudre de résidu de datte.

La rougeur (a^*) et le jaunissement (b^*) augmentent avec l'augmentation du taux de poudre de résidu de datte. La rougeur des échantillons de poudre contrôle est inférieure à celle des autres poudres (FO/PRD5, FO/PRD10, FO/PRD15 et FO/PRD20) lyophilisées ou obtenues par séchage convectif). Les composants L^* , a^* et b^* ont des valeurs de $78,48 \pm 0,38$ à $78,98 \pm 0,25$, de $0,48 \pm 0,15$ à $0,87 \pm 0,05$, de $25,97 \pm 0,08$ à $26,6 \pm 0,05$ et de $78,62 \pm 0,56$ à $78,98 \pm 0,25$, de $0,55 \pm 0,12$ à $0,9 \pm 0,00$ et de $25,88 \pm 0,08$ à $26,3 \pm 0,18$ pour les mélanges de FO/PRD (SL) et FO/PRD (SC) respectivement. Ces valeurs sont influencées par le taux de poudre de résidu de dattes incorporé. Ces résultats concordent avec ceux de İzli (2016) concernant les poudres de datte obtenues par lyophilisation et séchage convectif.

9.1.2. Analyse en Composantes Principales (ACP) du mélange des poudres utilisées dans la préparation du pain d'orge enrichi (variables physicochimiques et fonctionnelles)

La figure 36 représente le cercle de corrélation des variables physicochimiques et fonctionnelles des mélanges de poudre utilisés dans la préparation de pain d'orge enrichi.

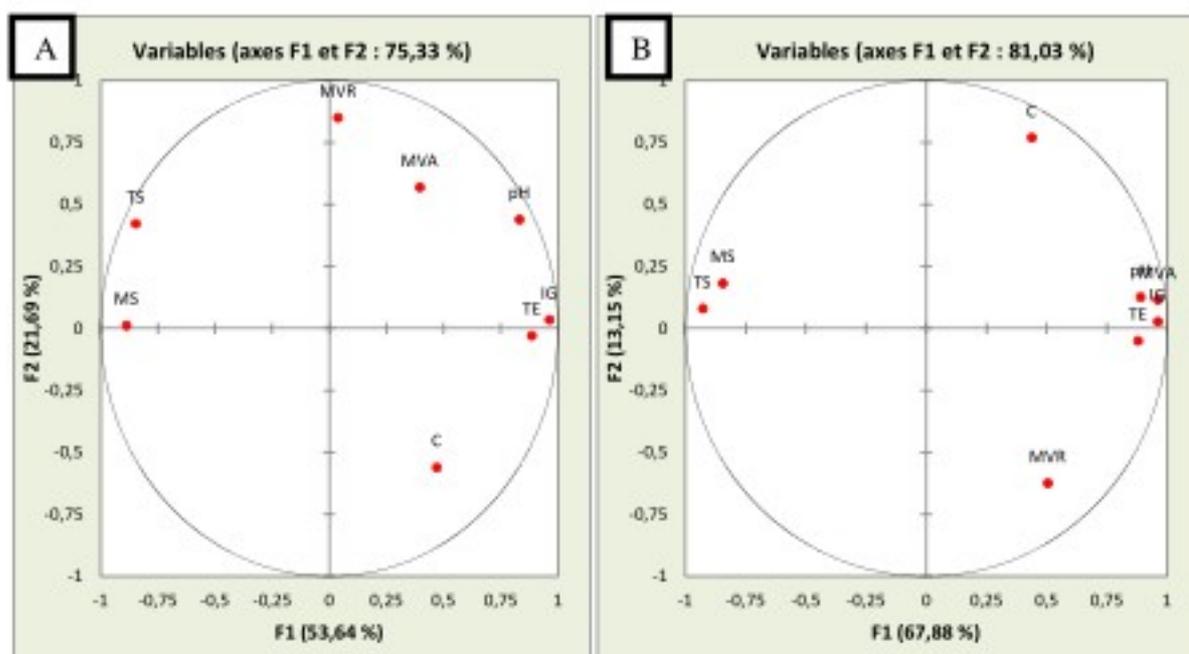


Figure 36. Cercle de corrélation des variables physicochimiques et fonctionnelles des mélanges de poudre utilisés dans la préparation de pain d'orge enrichi

(A: FO/PRD (SL) et B: FO/PRD (SC)).

TE: Teneur en eau, MS: Matière sèche, pH, C: Cendre, TS: Teneur en Sucre totaux, IG: Indice de gonflement, MVR: Masse volumique réelle, MVA: Masse volumique apparente.
 FO/PRD (SL): Farine d'Orge/ Poudre de Résidu de Datte (Séchage par Lyophilisation)
 FO/PRD (SC): Farine d'Orge/ Poudre de Résidu de Datte (Séchage Convectif)

La corrélation entre les différentes variables physicochimiques et fonctionnelles des mélanges de poudre utilisés dans la préparation de pain d'orge enrichi (A: FO/PRD (SL) et B: FO/PRD (SC)) sur le plan factoriel (F1 et F2) permet de grouper les variables (liées et opposées). Les deux facteurs (F1 (A) et F2 (A)) représentent 75,33 % de l'information totale des données (niveau de variabilité), avec 53,64 % pour F1 (A) et 21,69 % pour F2 (A). Pour (F1 (B) et F2 (B)) représentent 81,03 % de l'information totale des données (niveau de variabilité), avec 67,88 % pour F1 (B) et 13,15 % pour F2 (B). Le cercle de corrélation divise les paramètres comme suit:

- ✓ **Axe 1 (A):**
 - **Groupe 1 (positive):** TE: Teneur en eau, pH, C: Cendre, IG: Indice de gonflement, MVR: Masse volumique réelle et MVA: Masse volumique apparente.
 - **Groupe 2 :** MS: Matière sèche et TS: Teneur en Sucre totaux ; qui sont corrélées négativement avec le Groupe 1.
- ✓ **Axe 2 (A) :**
 - **Groupe 1 (positive):** IG: Indice de gonflement, MS: Matière sèche, pH, TS : Teneur en Sucre totaux, MVR: Masse volumique réelle et MVA: Masse volumique apparente.
 - **Groupe 2 :** TE: Teneur en eau et C: Cendre ; qui sont corrélés négativement avec le Groupe 1.
- ✓ **Axe 1 (B) :**
 - **Groupe 1 (positive):** IG: Indice de gonflement, TE: Teneur en eau, pH, C: Cendre, MVR: Masse volumique réelle et MVA: Masse volumique apparente.
 - **Groupe 2 :** MS: Matière sèche et TS: Teneur en Sucre totaux ; qui sont corrélées négativement avec le Groupe 1.
- ✓ **Axe 2 (B) :**
 - **Groupe 1 (positive):** MS: Matière sèche, pH, TS: Teneur en Sucre totaux, C: Cendre, IG : Indice de gonflement et MVA: Masse volumique apparente.
 - **Groupe 2 :** TE : Teneur en eau et MVR: Masse volumique réelle; qui sont corrélés négativement avec le Groupe 1.

La figure 37 représente le pain d'orge enrichi en poudres de résidus de dattes.

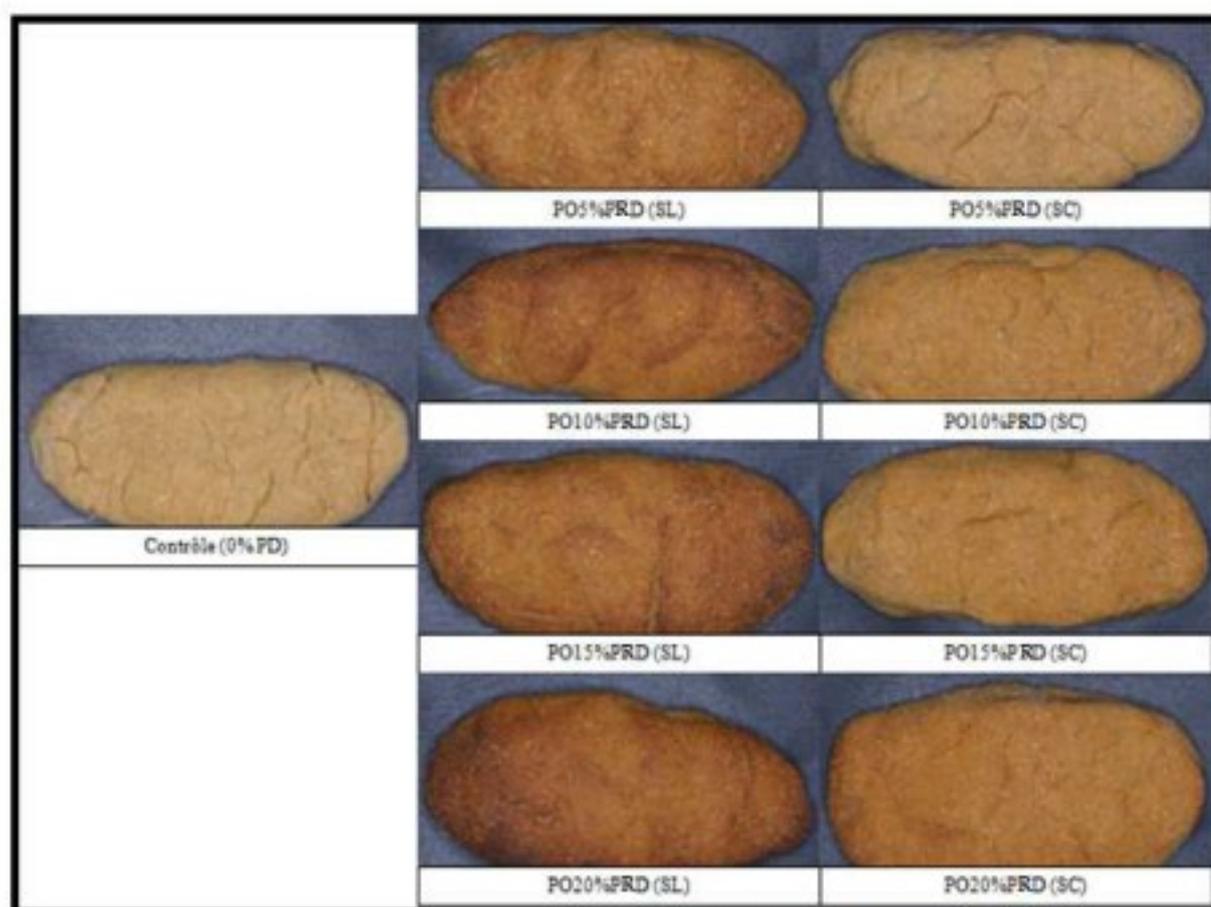


Figure 37. Pain d'orge (PO) enrichi en poudres de résidus de dattes.

PRD (SL) : Poudres de Résidus de Datte (Séchage par Lyophilisation).

PRD (SC) : Poudres de Résidus de Datte (Séchage Convectif).

NB : Les photos ont été prises par un appareil photo numérique NIKON D5200 à une hauteur de 30 cm.

9.2. Caractérisation

9.2.1. Caractérisations physicochimiques et biochimiques des pains d'orge enrichis

Les propriétés physicochimiques et biochimiques de pain d'orge enrichi par la poudre de résidu de datte lyophilisée et obtenue par séchage convectif sont données dans les tableaux 33, 34.

Tableau 33. Propriétés physicochimiques et biochimiques de pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte lyophilisée.

Paramètres	Contrôle	POPRD5 (SL)	POPRD10 (SL)	POPRD15 (SL)	POPRD20 (SL)
Épaisseur (cm)	6,4±0,4 ^a	5,73±0,23 ^{ab}	5,33±0,23 ^b	5,33±0,23 ^b	5,07±0,23 ^b
Poids avant-cuisson (g)	160,21±0,55 ^c	170,85±0,05 ^a	159,64±0,02 ^d	161,32±0,00 ^b	153,27±0,06 ^c
Poids après-cuisson (g)	130,35±0,32 ^c	132,97±0,02 ^c	140±0,00 ^a	136,12±0,08 ^b	130,99±0,18 ^d
Volume (cm ³)	44,75±0,25 ^{bc}	44,33±0,58 ^c	44,08±0,14 ^c	45,5±0,5 ^{ab}	46±0,00 ^a
Volume spécifique (cm ³ /g)	0,35±0,00 ^b	0,33±0,00 ^c	0,31±0,00 ^d	0,33±0,00 ^c	0,35±0,00 ^a
Teneur en eau (%)	40,81±0,96 ^b	39,90±0,52 ^b	45,64±1,98 ^a	41,75±0,30 ^b	40,23±1,021 ^b
Matière sèche (%)	59,19±0,96 ^a	60,10±0,52 ^a	54,36±1,98 ^b	58,25±0,30 ^a	59,77±1,021 ^a
Cendre (%)	3,81±0,00 ^a	2,97±0,01 ^a	2,05±0,00 ^a	1,51±0,01 ^a	0,93±1,16 ^a
pH	6,03±0,02 ^{ab}	5,94±0,02 ^c	5,94±0,02 ^c	6,04±0,04 ^a	5,97±0,02 ^{bc}
Gluten humide (%)	29,77±0,23 ^a	27,63±0,13 ^b	24,87±0,10 ^c	19,32±0,06 ^d	14,72±0,20 ^e
Gluten sec (%)	9,09±0,8 ^a	8,24±0,3 ^b	8,16±0,04 ^b	5,65±0,12 ^c	4,41±0,08 ^d
Teneur en sucres totaux (%)	5,18±1,15 ^c	7,27±0,18 ^d	11,55±0,55 ^c	15,71±0,17 ^b	19,92±0,14 ^a

Contrôle, POPRD5 (SL), POPRD10 (SL), POPRD15 (SL) et POPRD20 (SL): préparé avec 0%, 5%, 10%, 15% et 20% de la poudre de résidu de datte lyophilisée, respectivement. Les résultats sont exprimés en moyennes de trois déterminations ± ET; l'analyse de variance (ANOVA) est réalisé avec les tests de Newman-Keuls (SNK). Les différentes lettres sur les valeurs dans la même ligne indiquent la signification des résultats ($p < 0,05$).

Tableau 34. Propriétés physicochimiques et biochimiques de pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif.

Paramètres	Contrôle	POPRD5 (SC)	POPRD10 (SC)	POPRD15 (SC)	POPRD20 (SC)
Épaisseur (cm)	6,4±0,4 ^a	6,13±0,23 ^a	6,4±0,4 ^a	6±0,00 ^a	5,47±0,23 ^b
Poids avant-cuisson (g)	160,21±0,55 ^c	174,03±0,08 ^a	154±0,04 ^c	160,91±0,09 ^b	159,15±0,02 ^d
Poids après-cuisson (g)	130,35±0,32 ^b	144,48±0,00 ^a	125,68±0,07 ^d	130,12±0,07 ^c	129,84±0,00 ^c
Volume (cm ³)	44,75±0,25 ^d	47,17±0,29 ^b	50,67±0,58 ^a	47,5±0,5 ^b	46,33±0,29 ^c
Volume spécifique (cm ³ /g)	0,35±0,00 ^c	0,35±0,00 ^b	0,36±0,00 ^a	0,35±0,00 ^d	0,35±0,00 ^c
Teneur en eau (%)	40,81±0,96 ^a	31,18±0,9 ^b	29,43±0,36 ^c	28,98±0,74 ^c	28,52±1,01 ^c
Matière sèche (%)	59,19±0,96 ^c	68,82±0,9 ^b	70,57±0,36 ^a	71,02±0,74 ^a	71,48±1,01 ^a
Cendre (%)	3,81±0,00 ^a	2,90±0,39 ^a	1,48±0,73 ^b	1,29±0,38 ^b	0,98±0,02 ^b
pH	6,03±0,02 ^a	6,03±0,02 ^a	6,00±0,01 ^a	6,03±0,03 ^a	5,94±0,01 ^b
Gluten humide (%)	29,77±0,23 ^a	29,67±0,29 ^a	27,52±0,03 ^b	14,07±0,06 ^c	11,03±0,06 ^d
Gluten sec (%)	9,09±0,8 ^a	8,59±0,88 ^a	7,49±0,09 ^b	3,63±0,02 ^c	0,96±0,04 ^d
Teneur en sucres totaux (%)	5,18±1,15 ^c	8,74±0,74 ^d	11,24±0,02 ^c	15,17±0,23 ^b	19,34±0,43 ^a

Contrôle, POPRD5 (SC), POPRD10 (SC), POPRD15 (SC) et POPRD20 (SC): préparé avec 0%, 5%, 10%, 15% et 20% de la poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif, respectivement. Les résultats sont exprimés en moyennes de trois déterminations ± ET; l'analyse de variance (ANOVA) est réalisé avec les tests de Newman-Keuls (SNK). Les différentes lettres sur les valeurs dans la même ligne indiquent la signification des résultats ($p < 0,05$).

L'épaisseur de pain d'orge enrichi diminue avec l'augmentation du taux d'incorporation de la poudre de résidu de datte lyophilisée et obtenue par séchage convectif, il est plus élevé pour le contrôle avec une valeur de 6,4±0,4 cm et plus faible pour POPRD20 (SL et SC) avec 5,07±0,23 et 5,47±0,23 cm respectivement. Des différences observées entre le

poids avant et après cuisson de différents pains enrichis par des PRD (SL et SC) avec des valeurs entre $[153,27\pm 0,06-170,85\pm 0,05\text{g}]$; $[130,35\pm 0,32-140\pm 0,00\text{g}]$ et $[154\pm 0,04-174,03\pm 0,08\text{g}]$; $[125,68\pm 0,07-144,48\pm 0,00\text{g}]$ respectivement. Le volume des pains varie de $44,75\pm 0,25$ à $50,67\pm 0,58\text{ cm}^3$ et le volume spécifique entre $0,31\pm 0,00$ et $0,36\pm 0,00\text{ (cm}^3/\text{g)}$. Selon Ndanguï (2015), la variation de volume du pain peut être attribuée principalement à différents niveaux de production de gaz carbonique et au degré de gélatinisation de l'amidon. Les résultats obtenus sont similaires à ceux de Ndanguï (2015), pour lequel le volume des pains diminue avec l'augmentation du taux de substitution de farine de patate douce et avec ceux de Ameh et al. (2013) concernant le pain de blé complété avec du son de riz stabilisé non dégraissé.

La teneur en eau des pains d'orge enrichis en poudre de résidu de datte lyophilisée et obtenue par séchage convectif varie de $39,90\pm 0,5$ à $45,64\pm 1,98\%$ et de $28,52\pm 1,01$ à $40,81\pm 0,96\%$ respectivement. Ces résultats sont supérieurs à ceux de Obiegbuna et al. (2013) qui a étudié l'influence du remplacement de sucre par la farine de pulpe de datte sur les propriétés physicochimiques, organoleptiques et sur la conservation du pain. La différence des résultats est due à la différence dans la préparation du pain.

D'après les résultats obtenus, le taux de cendre diminue avec l'augmentation de la concentration de poudre de résidu de datte (PRD) du $3,81\pm 0,00$ au $0,93\pm 1,16\%$ et de $3,81\pm 0,00$ à $0,98\pm 0,02\%$ pour les POPRD (SL) et POPRD (SC) respectivement. Obiegbuna et al. (2013) ont obtenus des résultats similaires.

Le pH de différents pains varie de $5,94\pm 0,02$ à $6,03\pm 0,02$ pour les pains d'orge enrichis en PRD (SL) et PRD (SC) respectivement, Semić et al. (2010) affirment ces résultats.

Selon Ouazib (2017), la capacité de rétention de gaz dépend de la quantité et surtout de la qualité du gluten pour former une pâte qui puisse retenir le CO_2 libéré. Le gluten étant principalement retrouvé dans le blé, le seigle et l'orge. Le gluten humide extrait des farines de blé est une substance viscoélastique constituée principalement par la fraction insoluble des protéines (gliadines et gluténines). Il a des propriétés d'extensibilité, d'élasticité et de ténacité qui peuvent influencer sur le comportement des pâtes en cours de fabrication et sur la qualité du produit fini (pain, biscuit, pâte,...). Ce test peut constituer également un moyen de prédiction de la qualité du blé dans le processus d'amidonnerie Sassi (2008). Le gluten humide et sec de pains d'orge produit est élevé pour le contrôle avec $29,77\pm 0,23$ et $9,09\pm 0,8\%$ et faible pour POPRD20 (SL, SC) avec $14,72\pm 0,20$, $4,41\pm 0,08\%$ et $11,03\pm 0,06$, $0,96\pm 0,04\%$. Ces résultats sont conformes aux ceux obtenus par Sassi (2008) pour les

semoules entières et Halaby et al. (2014) pour différents mélanges de la farine de blé avec de la poudre de noyaux de datte.

Les résultats montrent que la teneur en sucre totaux augmente avec l'augmentation du taux de PRD avec 5,18; 7,27; 11,55; 15,71; 19,92 et 8,74; 11,24; 15,17; 19,34 pour Contrôle, POPRD5 (SL), POPRD10 (SL), POPRD15 (SL), POPRD20 (SL) et POPRD5 (SC), POPRD10 (SL), POPRD15 (SL), POPRD20 (SL) respectivement. Ces valeurs sont comparables aux Rajeswari et al. (2018) concernant les pains enrichis en poudres de banane, aonla et sapota.

● Couleur

La couleur des pains d'orge enrichis en PRD (SL et SC) est illustrée dans les figures 38A, 38B:

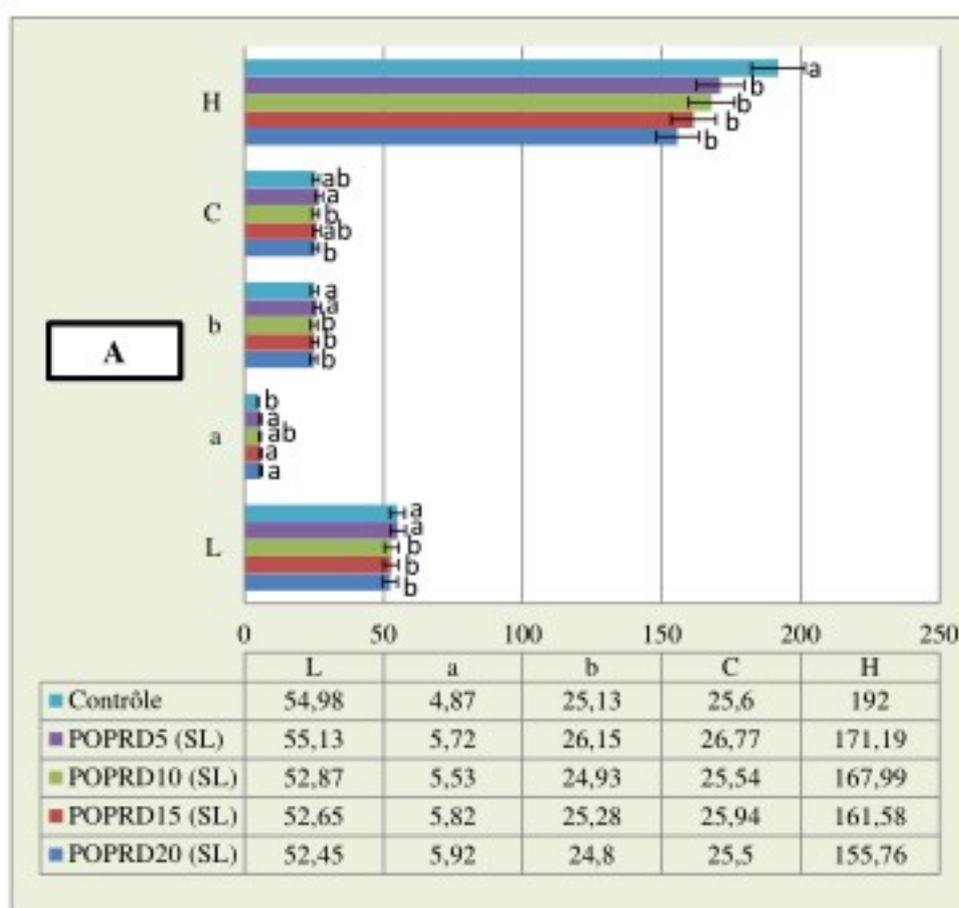


Figure 38A. Couleur des pains d'orge enrichis en poudres de résidu de datte POPRD (SL).

PRD (SL) : Poudres de Résidu de Datte (Séchage par Lyophilisation).

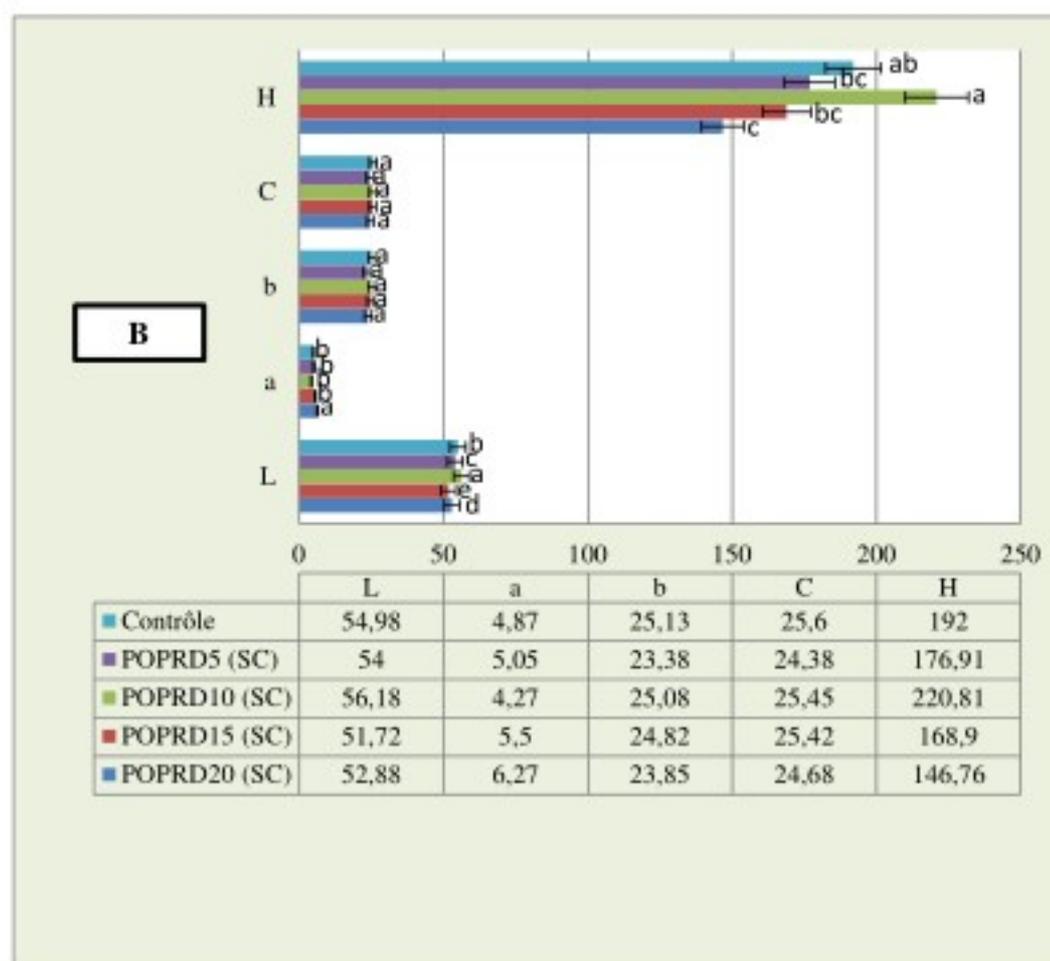


Figure 38B. Couleur des pains d'orge enrichis en poudres de résidu de dattes POPRD (SC).
PRD (SC) : Poudres de Résidu de Dattes (Séchage Convectif).

Les pains enrichis par différentes concentrations de poudre de résidus de dattes (0-20%) se caractérisent par:

Une différence relative dans les différents paramètres de luminosité (L^*), rougeur (a^*) et jaunissement (b^*) de différents pains enrichis;

Les résultats obtenus sont influencés par le taux de poudre de résidu de dattes incorporée et la couleur de la farine d'orge. Ces valeurs sont comparables avec celles de Ishida et Steel (2014), concernant les échantillons de pain disponible sur le marché brésilien.

9.2.2. Analyse en Composantes Principales (ACP) des pains d'orge enrichis (paramètres physicochimiques et biochimiques)

La figure 39 illustre la corrélation entre les différentes variables physicochimiques et biochimiques des pains d'orge enrichis (A: POPRD (SL) et B: POPRD (SC)) sur le plan factoriel (F1 et F2).

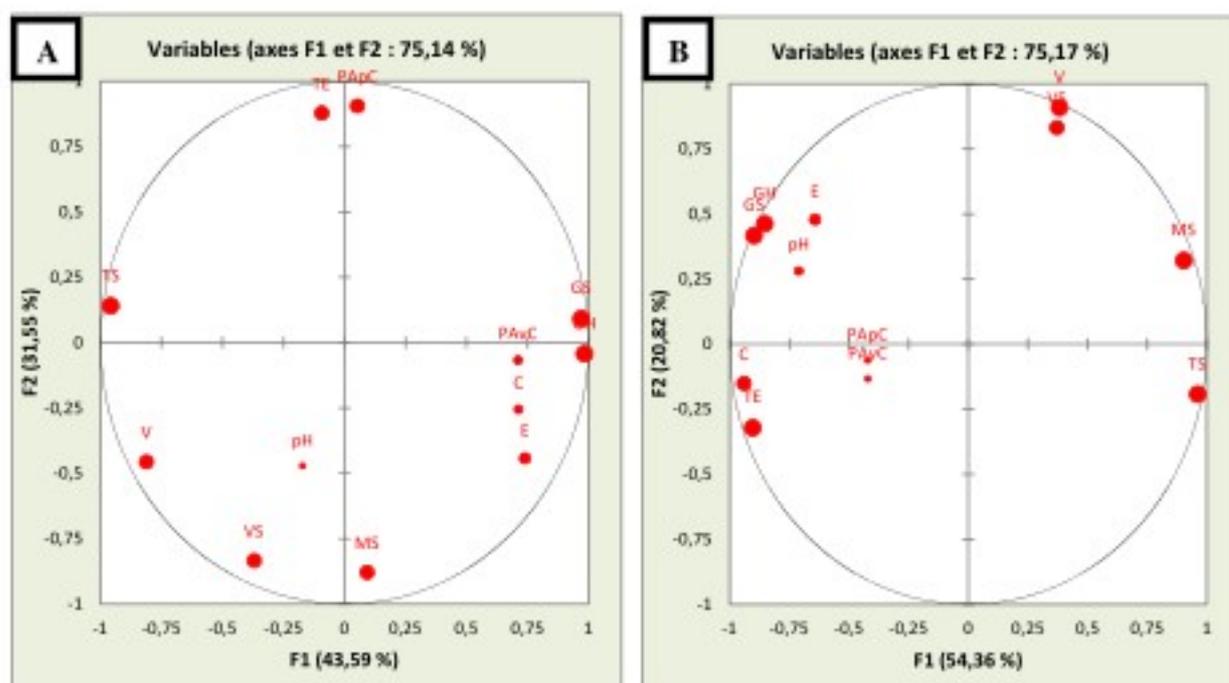


Figure 39. Cercle de corrélation des variables physicochimiques et biochimiques des pains d'orge enrichis en poudres de résidus de datte

(A: POPDR (SL) et B: POPDR (SC)).

E: Epaisseur, PAVC: Poids avant-cuisson, PApC: Poids après-cuisson, V: Volume, VS: Volume spécifique, TE: Teneur en eau, MS: Matière sèche, pH, C: Cendre, GH: Gluten humide, GS: Gluten sec, TS: Teneur en Sucres totaux.

Les deux facteurs (F1 (A) et F2 (A)) représentent 75,14 % de l'information totale des données (niveau de variabilité), avec 43,59 % pour F1 (A) et 31,55 % pour F2 (A). Pour (F1(B) et F2(B)) représentent 75,17 % de l'information totale des données (niveau de variabilité), avec 54,36 % pour F1 (B) et 20,82 % pour F2 (B). Le cercle de corrélation divise les paramètres comme suit:

✓ **Axe 1 (A):**

- **Groupe 1 (positive):** C: Cendre, MS: Matière sèche, GH: Gluten humide, GS: Gluten sec, E: Epaisseur, PAVC: Poids avant-cuisson et PApC: Poids après-cuisson.
- **Groupe 2 :** V: Volume, VS: Volume spécifique, TE: Teneur en eau, TS: Teneur en Sucres totaux et pH ; qui sont corrélés négativement avec le Groupe 1.

- ✓ **Axe 2 (A):**
 - **Groupe 1 (positive):** TS: Teneur en Sucres totaux, TE: Teneur en eau, PApC: Poids après Cuisson et GS: Gluten sec.
 - **Groupe 2 :** E : Epaisseur, PAVC: Poids avant-cuisson, pH, C: Cendre, MS : Matière Sèche, GH: Gluten humide, V: Volume et VS: Volume spécifique ; qui sont corrélés négativement avec le Groupe 1.
- ✓ **Axe 1 (B):**
 - **Groupe 1 (positive):** TS: Teneur en Sucres totaux, MS: Matière sèche, V: Volume et VS: Volume Spécifique.
 - **Groupe 2 :** E: Epaisseur, PAVC: Poids avant-cuisson, PApC: Poids après-cuisson, TE: Teneur en Eau, C: Cendre, pH, GH : Gluten humide et GS: Gluten sec ; qui sont corrélés négativement avec le Groupe 1.
- ✓ **Axe 2 (B) :**
 - **Groupe 1 (positive):** E: Epaisseur, V: Volume, VS : Volume spécifique, MS: Matière sèche, pH, GH : Gluten humide et GS: Gluten sec.
 - **Groupe 2:** C: Cendre, TE : Teneur en eau, TS : Teneur en Sucres, PAVC: Poids avant-cuisson et PApC: Poids après-cuisson ; qui sont corrélés négativement avec le Groupe 1.

9.2.3. Evaluation sensorielle des pains d'orge enrichis

● *Evaluation sensorielle du pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte lyophilisée*

Le tableau 35 représente l'évaluation sensorielle du pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte lyophilisée concernant l'apparence/forme, couleur de la croûte, la couleur brune, la masticabilité, l'arôme de datte et l'acceptabilité globale.

Tableau 35. Evaluation sensorielle du pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte lyophilisée.

Attributs	Contrôle	POPRD5	POPRD10	POPRD15	POPRD20
<i>Apparence/forme</i>	2,1±1,04 ^a	3,55±1,07 ^a	3,95±1,50 ^a	4±2,00 ^a	5,35±1,06 ^a
<i>Couleur de la croûte</i>	3,25±1,70 ^a	3,45±1,91 ^a	3,45±1,16 ^a	3,4±1,20 ^a	3,45±0,97 ^a
<i>Couleur brune</i>	7,3±1,45 ^a	7,45±1,69 ^a	7,55±1,07 ^a	7,75±1,04 ^a	8,15±1,01 ^a
<i>Masticabilité</i>	7,35±1,01 ^a	5,25±0,99 ^a	8,05±0,80 ^a	8,1±1,04 ^a	8,4±0,66 ^a
<i>Arôme de datte</i>	0±0,00 ^a	1±0,00 ^{ab}	1,05±0,22 ^{ab}	2,75±1,73 ^{ab}	2,8±2,34 ^b
<i>Acceptabilité globale</i>	4±1,82 ^a	4,85±1,68 ^a	5±1,61 ^b	5,15±2,26 ^a	6,05±1,12 ^a

L'analyse de variance (ANOVA) est réalisée avec les tests de Newman-Keuls (SNK). Les différentes lettres sur les valeurs dans la même ligne indiquent la signification des résultats ($p < 0,05$).

Le profil sensoriel des moyens d'attributs du pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte lyophilisée est présenté par la figure 40.

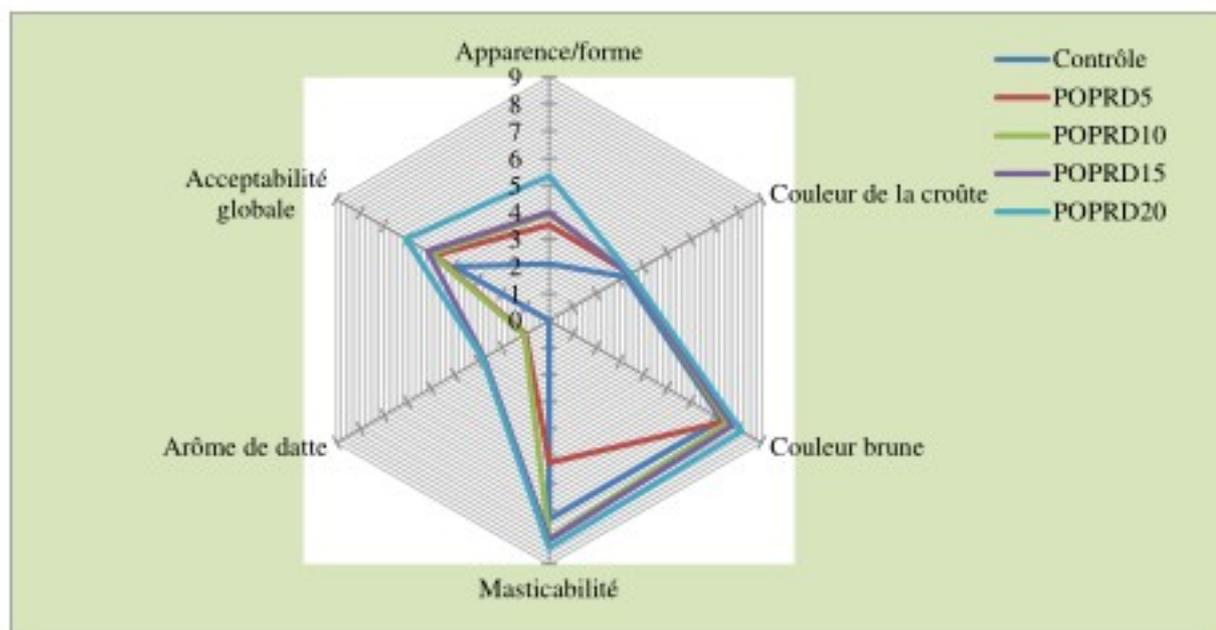


Figure 40. Profil sensoriel de pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte lyophilisée (0, 5, 10, 15 et 20% de poudre de résidu de datte).

Selon l'évaluation sensorielle, les attributs (apparence/forme, couleur de la croûte, couleur brune, masticabilité et arôme de datte) de l'échantillon POPRD20 présentent le score le plus élevé. L'acceptabilité globale de tous les échantillons a suivi la même tendance. Donc, l'échantillon contenant 20% de poudre de résidu de datte lyophilisée est le plus préféré.

● *Evaluation sensorielle du pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif*

Le tableau 36 représente l'évaluation sensorielle de pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif concernant l'apparence/forme, couleur de la croûte, la couleur brune, la masticabilité, l'arôme de datte et l'acceptabilité globale.

Tableau 36. Evaluation sensorielle du pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif.

Attributs	Contrôle	POPRD5	POPRD10	POPRD15	POPRD20
Apparence/forme	2,1±1,04 ^a	3,75±1,58 ^a	4,20±1,25 ^a	4,75±1,84 ^a	5,4±1,11 ^a
Couleur de la croûte	3,25±1,70 ^a	3,55±1,91 ^a	4,2±1,10 ^a	4,45±1,28 ^a	4,5±1,53 ^a
Couleur brune	7,3±1,45 ^a	7,40±1,80 ^a	8,1±0,89 ^a	8,75±0,43 ^a	8,9±0,30 ^a
Masticabilité	7,35±1,01 ^a	5,2±1,08 ^a	7,9±1,09 ^a	8,75±0,54 ^a	8,95±0,22 ^a
Arôme de datte	0±0,00 ^a	1±0,00 ^a	1,15±0,48 ^a	2,75±1,73 ^a	3,4±1,71 ^a
Acceptabilité globale	4±1,82 ^a	4,95±1,43 ^a	5,50±2,29 ^a	5,55±2,27 ^a	7,9±0,99 ^a

L'analyse de variance (ANOVA) est réalisée avec les tests de Newman-Keuls (SNK). Les différentes lettres sur les valeurs dans la même ligne indiquent la signification des résultats ($p < 0,05$).

Le profil sensoriel des moyens d'attributs de pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif est présenté par la figure 41.

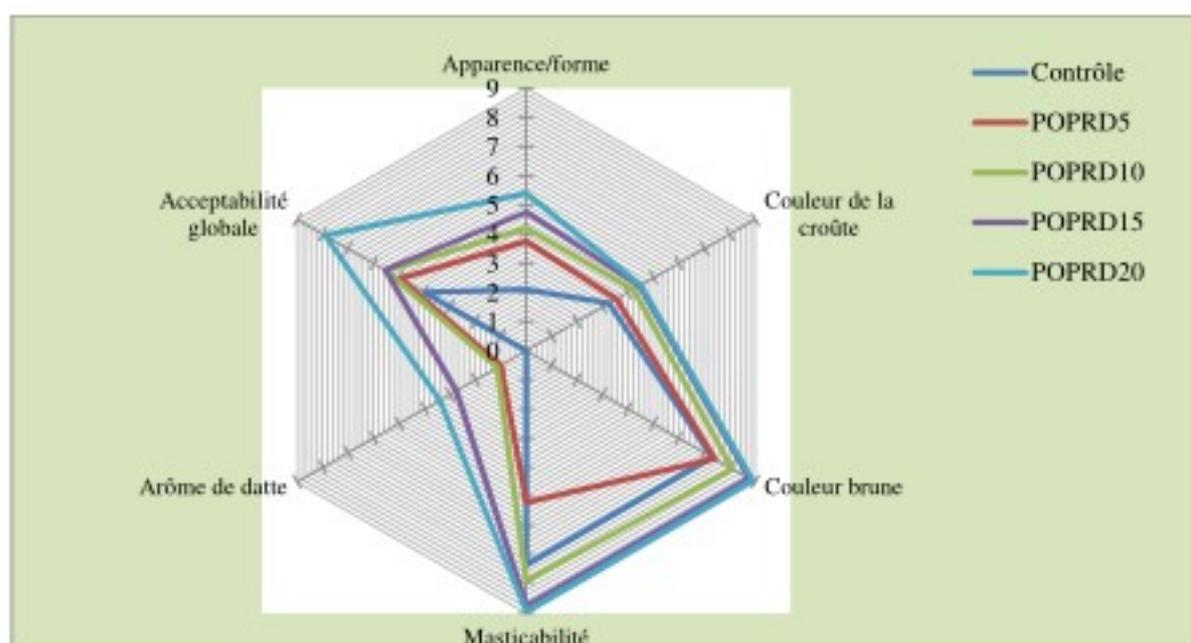


Figure 41. Profil sensoriel de pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif (0, 5, 10, 15 et 20% de poudre de résidu de datte).

L'évaluation sensorielle montre que les attributs (apparence/forme, couleur de la croûte, couleur brune, masticabilité et arôme de datte) de l'échantillon POPRD20 présentent le score le plus élevé. L'acceptabilité globale de tous les échantillons a suivi la même tendance et tous les échantillons de pain sont acceptables. Cependant, l'échantillon contenant 20% de poudre de résidu de datte obtenu par séchage convectif est le plus préféré. Donc, le même échantillon a été préféré par les dégustateurs pour les différentes poudres obtenues par les deux techniques de séchage (SL et SC).

9.2.4. Analyse en Composantes Principales (ACP) de pain d'orge enrichi (Attributs sensoriels)

La figure 42 représente la corrélation entre les attributs d'analyse sensorielle de pain d'orge enrichi (A: POPRD (SL) et B: POPRD (SC)) sur le plan factoriel (F1 et F2).

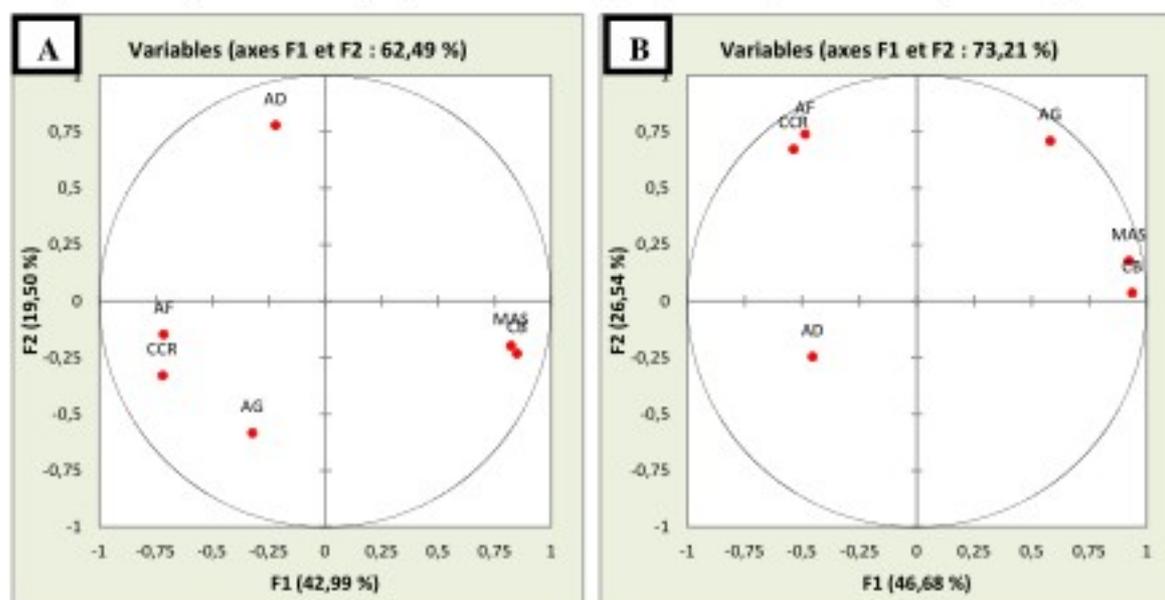


Figure 42. Cercle de corrélation des variables sensorielles des pains d'orge enrichis (A: POPRD (SL) et B: POPRD (SC)).

AF: Apparence/forme, CCR: Couleur de la croûte, CB: Couleur brune, MAS: Masticabilité, AD: Arôme de datte, AG: Acceptabilité globale.

Les deux facteurs (F1 (A) et F2 (A)) représentent 62,49 % de l'information totale des données (niveau de variabilité), avec 42,99% pour F1 (A) et 19,50% pour F2 (A). Pour (F1 (B) et F2 (B)) représentent 73,21% de l'information totale des données (niveau de variabilité), avec 46,68% pour F1(B) et 26,54% pour F2 (B). Le cercle de corrélation divise les paramètres comme suit:

✓ **Axe 1 (A):**

- **Groupe 1 (positive):** CB: Couleur brune et MAS: Masticabilité.
- **Groupe 2 :** AD : Arôme de datte, AG : Acceptabilité globale, AF : Apparence/forme et CCR : Couleur de la croûte; qui sont corrélées négativement avec le Groupe 1.

✓ **Axe 2 (A):**

- **Groupe 1 (positive):** AD : Arôme de datte.
- **Groupe 2 :** AF : Apparence/forme, CB: Couleur brune, MAS: Masticabilité, AG : Acceptabilité globale et CCR : Couleur de la croûte; qui sont corrélées négativement avec le Groupe 1.

- ✓ **Axe 1 (B):**
 - **Groupe 1 (positive):** AG : Acceptabilité globale, CB : Couleur brune et MAS: Masticabilité.
 - **Groupe 2 :** AF: Apparence/forme, CCR: Couleur de la croûte et AD: Arôme de datte ; qui sont corrélées négativement avec le Groupe 1.
- ✓ **Axe 2 (B):**
 - **Groupe 1 (positive):** AF: Apparence/forme, CCR: Couleur de la croûte, CB: Couleur brune, MAS: Masticabilité et AG : Acceptabilité globale.
 - **Groupe 2 :** AD: Arôme de datte qui est corrélée négativement avec le Groupe 1.

9.3. Optimisation

La technique d'optimisation numérique RSM est utilisée pour déterminer la combinaison optimale de volume et poids pour obtenir le meilleur volume spécifique du pain d'orge enrichi.

Les principaux critères d'optimisation sont le volume et le poids après cuisson de pain.

L'optimisation du volume, du poids et du volume spécifique du pain préparé par des farines composites comprenant la farine d'orge et la poudre de résidu de datte lyophilisée et obtenue par séchage convectif a été étudiée.

Les courbes de niveau de meilleur volume spécifique, la méthodologie de surface de réponse de pain enrichi et les courbes de niveau d'optimisation en fonction de poids et de volume de pain d'orge enrichi sont présentés dans les figures 43-48.

● *Pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte lyophilisée*

Les résultats du plan central composite de deux facteurs (V et P_{APC}) de pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte lyophilisée sont indiqués dans le tableau 37.

Equation de régression:

L'équation de régression est définie comme suit:

$$VS (cm^3/g) = 50,6 - 0,629 P (g) - 0,367 V (cm^3) + 0,002349 P (g)*P (g) + 0,00407 V(cm^3)*V(cm^3) - 0,00000 P (g)*V(cm^3) \quad (26)$$

Où:

V : Volume (cm³) ;

P : Poids après cuisson (g).

Tableau 37. Résultats du plan central composite de deux facteurs (V et P_{ApC}) de pain d'orge enrichi (POPRD (SL)).

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	P (g)	V (cm ³)	VS (cm ³ /g)
1	1	1	1	130,35	44,08	0,35
2	2	1	1	136	44,08	0,33
3	3	1	1	130,35	46	0,35
4	4	1	1	136	46	0,33
5	5	-1	1	129,18	45,04	0,35
6	6	-1	1	137,17	45,04	0,33
7	7	-1	1	133,18	43,68	0,31
8	8	-1	1	133,18	46,40	0,31
9	9	0	1	133,18	45,04	0,31
10	10	0	1	133,18	45,04	0,31
11	11	0	1	133,18	45,04	0,31
12	12	0	1	133,18	45,04	0,31
13	13	0	1	133,18	45,04	0,31

P: Poids Après Cuisson, V: Volume, VS: Volume Spécifique

Les courbes de niveau donnent la réponse vers des variables indépendantes pour obtenir le point optimal du paramètre spécifique (Osman et *al.*, 2017).

Le volume spécifique des pains d'orge enrichis en poudre de résidu de datte lyophilisée varie entre des valeurs <0,31 jusqu'aux valeurs >0,35 cm³/g.

La courbe de niveau du volume spécifique des pains d'orge enrichis en poudre de résidu de datte lyophilisée illustre la zone maximale pour des valeurs supérieures à 0,35 cm³/g, avec un volume entre 43,68 et 46,40 cm³ et un poids de 129,18 à 130,35 g.

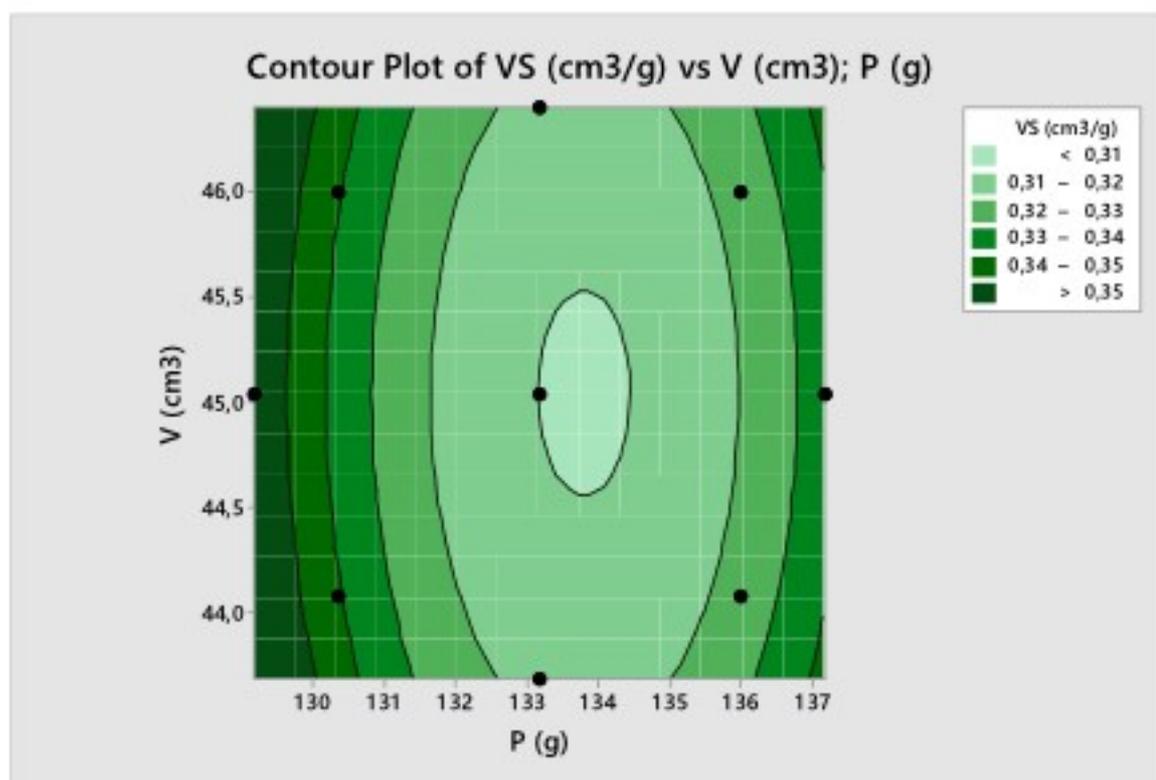


Figure 43. Courbe de niveau du meilleur volume spécifique de pain d'orge enrichi en fonction du poids après cuisson et du volume.

Un outil utile pour mieux comprendre le lien entre chaque facteur et réponse est donné par les graphes de surface de réponse, dans lequel l'effet de deux facteurs sur une réponse spécifique est affiché en vue 3D (figure 44), en gardant les autres sur des valeurs fixes (Nazni et George, 2012).

La surface de réponse du volume spécifique de pain enrichi en poudre de résidu de datte lyophilisée montre une évolution du volume spécifique de 0,32 à 0,36 cm³/g. Le taux de volume spécifique est plus élevé pour des valeurs de poids variant entre 130 et 132 g pour des taux fixe de volume.

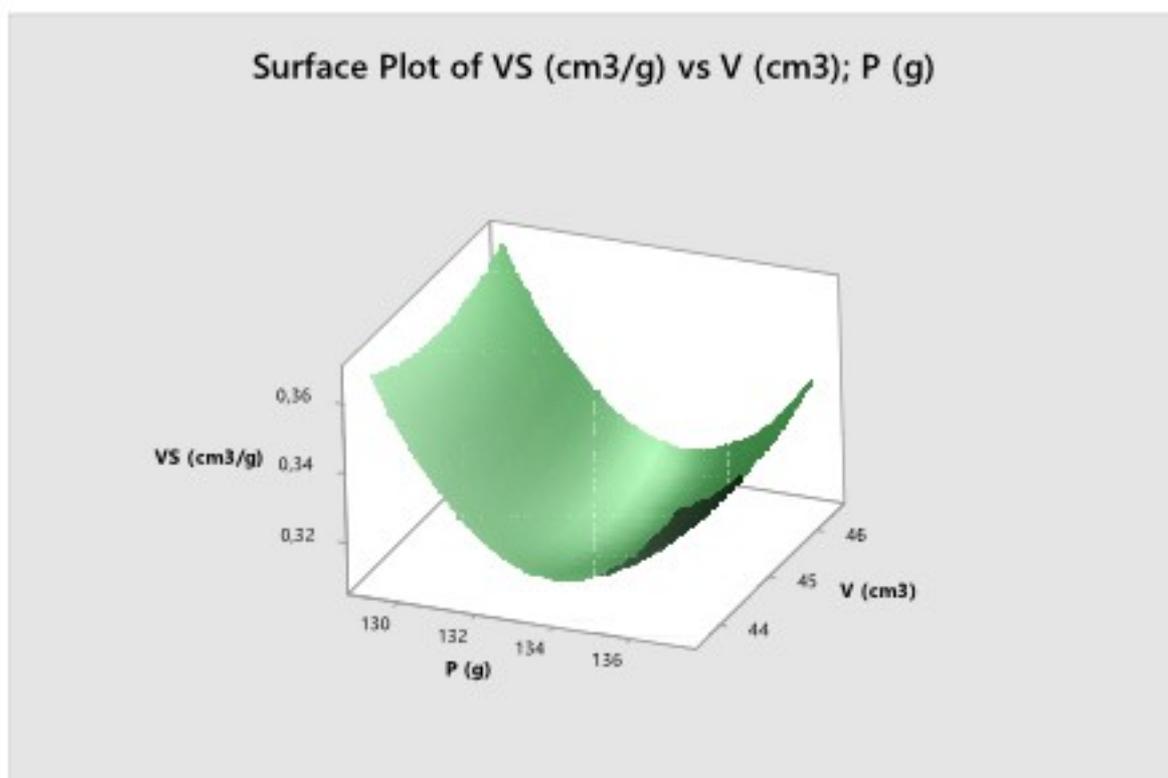


Figure 44. Surface de réponse du volume spécifique de pain d'orge enrichi en fonction du poids après cuisson et du volume.

La courbe de niveau d'optimisation (figure 45) permet d'obtenir des valeurs optimales de volume et de poids après cuisson du pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte lyophilisée afin d'optimiser le meilleur volume spécifique :

- Valeur optimale V (cm^3) : 46,33
- Valeur optimale PAPC (g) : 131,36

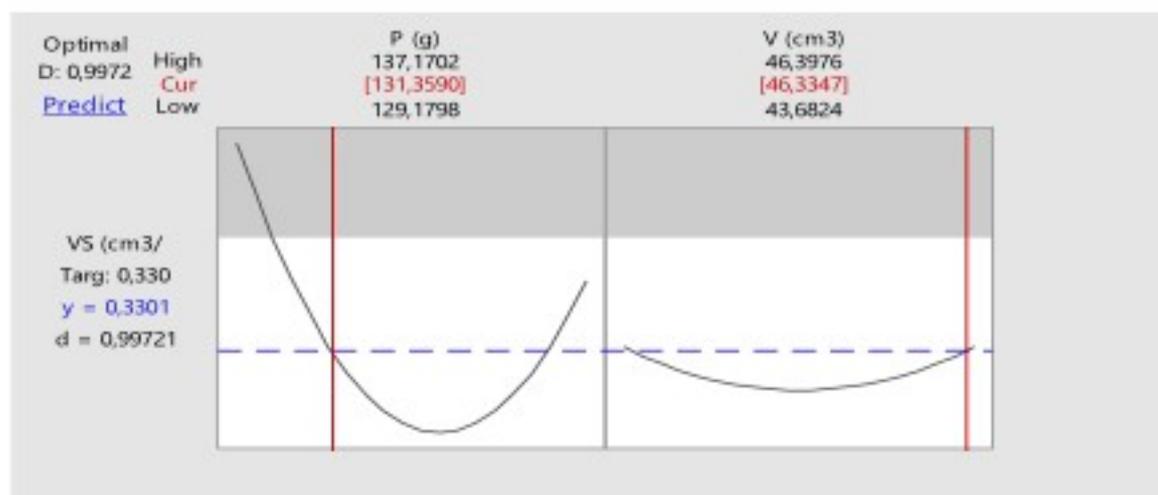


Figure 45. Courbe de niveau d'optimisation du volume spécifique en fonction du poids après cuisson et du volume de pain d'orge enrichi.

● **Pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif**

Les résultats du plan central composite de deux facteurs (V et P_{APC}) du pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif sont présentés dans le tableau 38.

Equation de régression:

L'équation de régression est définie comme suit:

$$VS \text{ (cm}^3\text{/g)} = 0,969 - 0,00409 P(g) + 0,0136 V \text{ (cm}^3\text{)} + 0,000014 P(g)*P(g) + 0,000143 V(\text{cm}^3)*V(\text{cm}^3) + 0,000000 P(g)*V(\text{cm}^3) \quad (27)$$

Où :

V : Volume (cm³) ;

P : Poids après cuisson (g).

Tableau 38. Résultats du plan central composite de deux facteurs (V et P_{APC}) de pain d'orge enrichi (POPRD (SC)).

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	P (g)	V (cm ³)	VS (cm ³ /g)
1	1	1	1	125,68	44,75	0,36
2	2	1	1	144,48	44,75	0,35
3	3	1	1	125,68	50,67	0,36
4	4	1	1	144,48	50,67	0,35
5	5	-1	1	121,79	47,71	0,35
6	6	-1	1	148,37	47,71	0,35
7	7	-1	1	135,08	43,52	0,35
8	8	-1	1	135,08	51,90	0,35
9	9	0	1	135,08	47,71	0,35
10	10	0	1	135,08	47,71	0,35
11	11	0	1	135,08	47,71	0,35
12	12	0	1	135,08	47,71	0,35
13	13	0	1	135,08	47,71	0,35

P: Poids Après Cuisson, V: Volume, VS: Volume Spécifique

Le volume spécifique des pains d'orge enrichis en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif est varié entre des valeurs <0,35 jusqu'aux valeurs >0,36 cm³/g.

La courbe de niveau du volume spécifique des pains d'orge enrichis en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif (figure 46), illustre la zone maximale pour des valeurs inférieures à 0,35 cm³/g, avec un volume entre 44,75 et 50,67 cm³ et un poids de 135,08 à 148,37g.

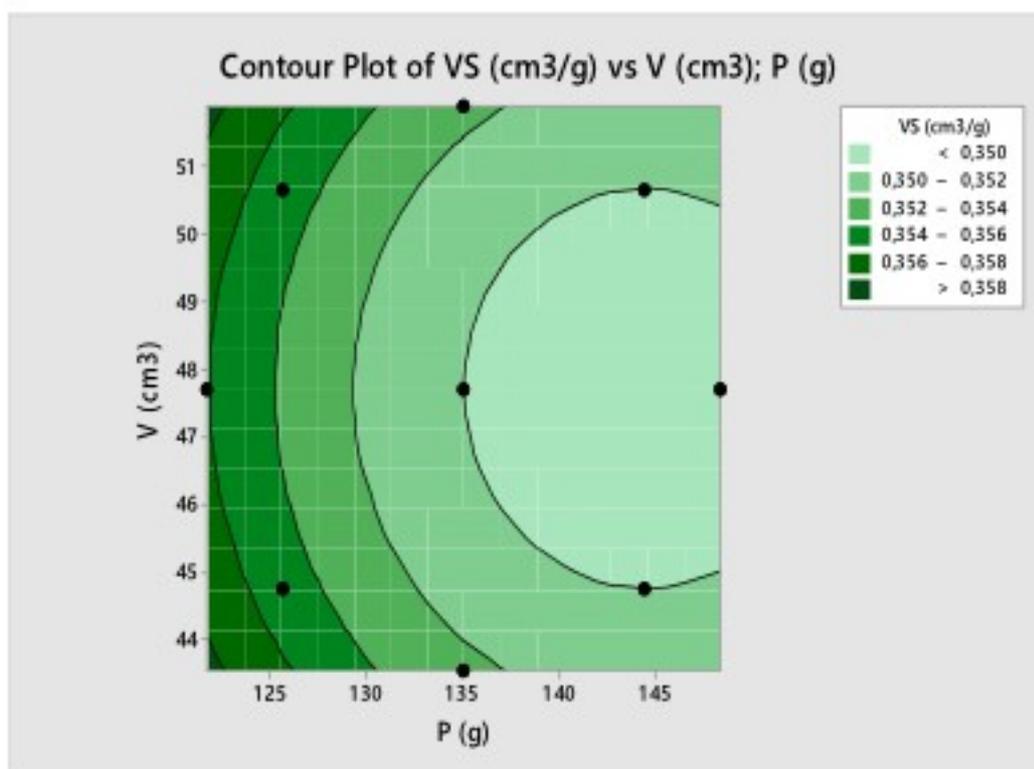


Figure 46. Courbe de niveau de meilleur volume spécifique de pain d'orge enrichi en fonction de poids après cuisson et de volume.

La surface de réponse du volume spécifique de pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif (figure 47), montre une évolution du volume spécifique de 0,35 à 0,36 cm³/g. Le taux de volume spécifique est plus élevé pour des valeurs de poids inférieur à 130 g pour des taux fixe de volume.

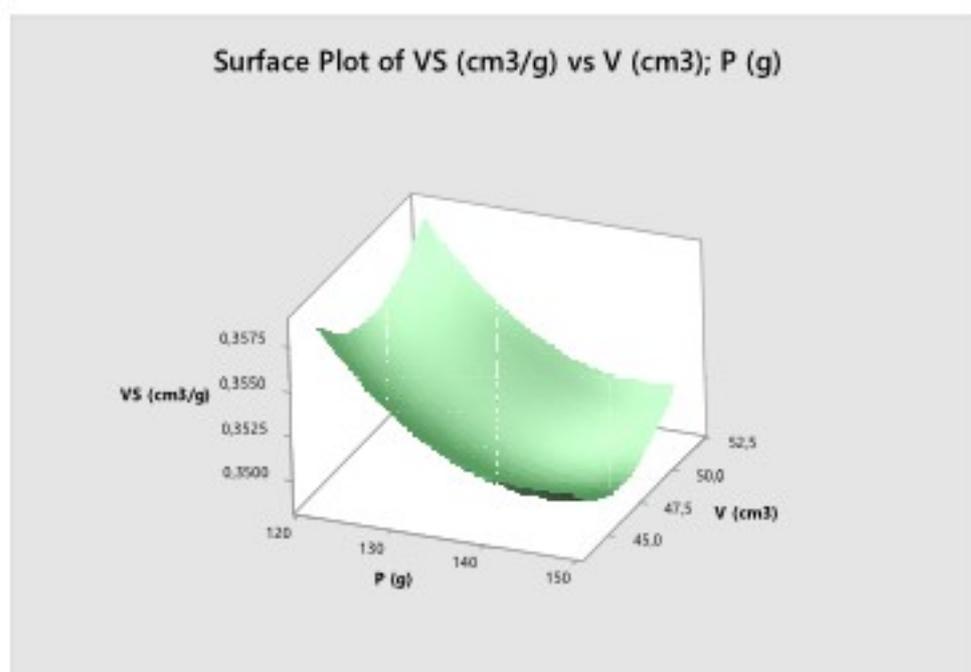


Figure 47. Surface de réponse du volume spécifique de pain d'orge enrichi en fonction du poids et du volume.

La courbe de niveau d'optimisation (figure 48), permet d'obtenir des valeurs optimales de volume et de poids après cuisson de pain d'orge enrichi en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif afin d'optimiser le meilleur volume spécifique :

- Valeur optimale V (cm^3) : 50,80
- Valeur optimale PApC (g) : 125, 89

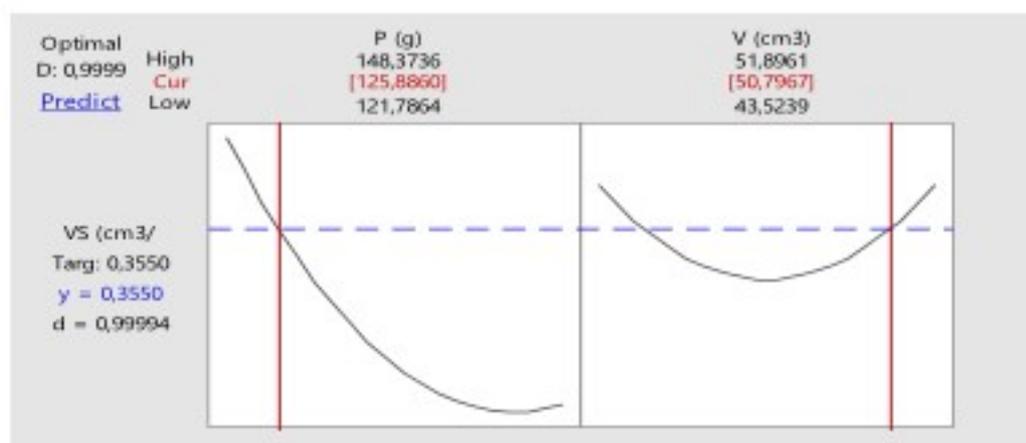


Figure 48. Courbe de niveau d'optimisation du volume spécifique en fonction du poids après cuisson et du volume de pain d'orge enrichi.

Les résultats d'optimisation du volume spécifique du pain d'orge enrichi montrent que les meilleures concentrations pour les poudre de résidus de datte lyophilisées sont celles de 20% alors que pour les poudres obtenues par séchage convectif sont celles de 10%.

10. Crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte

10.1. Formulation

10.1.1. Caractérisations physicochimiques et fonctionnelles des mélanges de poudre utilisés dans la préparation des crêpes Algériennes enrichies

La figure 49 représente les différents mélanges de poudres utilisées dans la préparation des crêpes Algériennes enrichies.



Figure 49. Mélanges de poudres utilisées dans la préparation des crêpes Algériennes enrichies.

S/PRD (SL): Semoule/Poudre de Résidu de Datte (Séchage par Lyophilisation)

S/PRD (SC): Semoule/Poudre de Résidu de Datte (Séchage Convectif)

Les changements dans les propriétés physicochimiques et fonctionnelles des mélanges de poudre utilisés dans la formulation des crêpes Algériennes sont présentés dans les tableaux 39 et 40 pour les poudres lyophilisées et obtenues par séchage convectif.

Tableau 39. Propriétés physicochimiques et fonctionnelles des mélanges de poudre utilisés dans la préparation des crêpes Algériennes enrichies (S/PRD (SL)).

Paramètres	Lyophilisation			
	Contrôle	S/PRD		
		S/PRD20	S/PRD30	S/PRD40
Teneur en eau (%)	11,64±0,15 ^b	9,44±0,01 ^{ab}	9,25±0,08 ^{ab}	9,63±0,06 ^a
Matière sèche (%)	88,36±0,15 ^a	90,56±0,01 ^{ab}	90,75±0,08 ^{ab}	90,37±0,06 ^b
Cendres (%)	0,998±0,00 ^d	0,995±0,00 ^c	0,991±0,00 ^b	0,986±0,00 ^a
pH	6,42±0,01 ^d	6,28±0,01 ^c	6,17±0,00 ^b	6,31±0,05 ^a
Teneur en sucres totaux (%)	0,39±0,01 ^a	17,41±1,32 ^b	26,51±0,55 ^c	32,27±0,77 ^d
Indice de gonflement	1,57±0,00 ^d	1,53±0,00 ^c	1,38±0,00 ^b	1,63±0,00 ^a
Masse volumique réelle (Kg/m ³)	645,16±0,00 ^c	645,16±0,00 ^c	625±0,00 ^b	625±0,00 ^a
Masse volumique apparente (Kg/m ³)	740,74±0,00 ^d	666,66±0,00 ^b	694,44±0,00 ^c	645,16±0,00 ^a

Contrôle, S/PRD20, S/PRD30 et S/PRD40: préparés avec remplacement de la semoule avec 0%, 20%, 30% et 40% de la poudre de résidu de dattes, respectivement. Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes de trois déterminations±ET; l'analyse de variance (ANOVA) est réalisée avec les tests de Newman-Keuls (SNK). Les différentes lettres sur les valeurs dans la même ligne indiquent la signification des résultats (p < 0,05). S/PRD: Semoule/Poudre de Résidu de Dattes.

Tableau 40. Propriétés physicochimiques et fonctionnelles des mélanges de poudre utilisés dans la préparation des crêpes Algériennes enrichies (S/PRD (SC)).

Paramètres	Séchage convectif			
	Contrôle	S/PRD		
		S/PRD20	S/PRD30	S/PRD40
Teneur en eau (%)	11,64±0,15 ^b	9,17±0,54 ^{ab}	8,79±0,56 ^{ab}	8,42±0,05 ^a
Matière sèche (%)	88,36±0,15 ^a	90,84±0,54 ^{ab}	91,21±0,56 ^{ab}	91,58±0,05 ^b
Cendres (%)	0,998±0,00 ^a	1,95±0,03 ^a	2,09±1,00 ^a	2,3±0,57 ^a
pH	6,42±0,01 ^d	5,97±0,03 ^b	6,02±0,02 ^b	6,18±0,01 ^c
Teneur en sucres totaux (%)	0,39±0,01 ^a	17±1,65 ^b	23,61±2,72 ^c	32,23±1,43 ^d
Indice de gonflement	1,57±0,00 ^a	3,48±0,00 ^b	3,6±0,00 ^c	4,23±0,00 ^d
Masse volumique réelle (Kg/m ³)	645,16±0,00 ^a	714,29±0,00 ^c	666,67±0,52 ^b	712,60±2,92 ^c
Masse volumique apparente (Kg/m ³)	740,74±0,00 ^c	769,23±0,00 ^d	716,00±2,96 ^b	688,08±2,73 ^a

Contrôle, S/PRD20, S/PRD30 et S/PRD40: préparés avec remplacement de la semoule avec 0%, 20%, 30% et 40% de la poudre de résidu de dattes, respectivement. Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes de trois déterminations±ET; l'analyse de variance (ANOVA) est réalisée avec les tests de Newman-Keuls (SNK). Les différentes lettres sur les valeurs dans la même ligne indiquent la signification des résultats (p < 0,05). S/PRD : Semoule/Poudre de Résidu de Dattes.

Les teneurs en eau des poudres ; Contrôle, S/PRD20, S/PRD30 et S/PRD40 sont 11,64±0,15, 9,44±0,01, 9,25±0,08, 9,63±0,06% et 11,64±0,15, 9,17±0,54, 8,79±0,56 et 8,42±0,05% pour les mélanges de poudres obtenues par la lyophilisation et par séchage convectif respectivement. Le taux d'incorporation de la poudre de résidu de dattes lyophilisée

et obtenue par séchage convectif diminue la teneur en eau et augmente la matière sèche des poudres. Ces résultats sont dus à la faible teneur en eau qui caractérise la poudre de résidu de datte. Les résultats obtenus sont comparables avec ceux de Reis *et al.* (2014) qui ont montré que les résidus de pomme ont une teneur en eau de 7,9%. Les résultats obtenus sont également comparables avec les valeurs d'humidité de la semoule (environ 14,5%) (Barkouti, 2012).

La teneur en cendre des poudres mélangées n'était pas significativement différente, elle diminue proportionnellement avec le taux d'incorporation de la poudre de résidu de datte lyophilisée et obtenue par séchage convectif, avec des valeurs de 0,998, 0,995, 0,991 et 0,986 % pour le Contrôle, S/PRD20 (SL), S/PRD30 (SL) et S/PRD40 (SL) et 0,998, 1,95, 2,09, 2,3 % pour Contrôle, S/PRD20 (SC), S/PRD30 (SC) et S/PRD40 (SC) respectivement. Les résultats montrent que la teneur en matière organique de la poudre de résidu de datte est supérieure à celle de la semoule. Les résultats sont comparables à ceux de Sacchetti *et al.* (2011) concernant la semoule avec une valeur de 0,88 (g/100 g MS) et Kohajdová *et al.*, (2012) qui indiquent que la teneur en cendres de poudre de carottes est plus élevée que la farine de blé tendre fine avec des valeurs de 1,39 et 0,40% respectivement.

Le pH des poudres à mélanger est $6,42 \pm 0,01$, $6,28 \pm 0,01$, $6,17 \pm 0,00$, $6,31 \pm 0,05$ et $5,97 \pm 0,03$, $6,02 \pm 0,02$ et $6,18 \pm 0,01$ pour le Contrôle, S/PRD20 (SL), S/PRD30 (SL), S/PRD40 (SL) et S/PRD20 (SC), S/PRD30 (SC) et S/PRD40 (SC), respectivement. Ces résultats sont liés aux caractéristiques des poudres mélangées et au taux d'incorporation de la poudre de résidu de datte et sont similaires à ceux rapportés par Pérez et Pérez (2009) pour les fettuccines de semoule de blé et le mélange de semoule avec des valeurs de 6,35 et 6,43 respectivement.

Les valeurs de sucres totaux sont 0,39 ; 17,41 ; 26,51 ; 32,27 et 17 ; 23,61 ; 32,23 (%) pour Contrôle, S/PRD20 (SL), S/PRD30 (SL), S/PRD40 (SL) et S/PRD20 (SC), S/PRD30 (SC) et S/PRD40 (SC) respectivement, ces valeurs montrent que la poudre de datte est riche en sucres totaux. La différence des résultats est due à la différence de la concentration de poudre de résidu de datte. Les résultats obtenus sont inférieurs aux ceux de Bellaouchi *et al.* (2017) concernant la poudre de pulpe de datte.

L'indice de gonflement (IG) des mélanges de (S/PRD (SL)) varie de 1,38 à 1,63 alors que pour (S/PRD (SC)), il augmente avec l'augmentation du taux de poudre de résidu de datte et varie de 1,57 à 4,23. Ces résultats dépendent de la taille des particules, le type de poudre, la solubilité dans l'eau et le taux de poudre de résidus de datte. Ces valeurs

concordent avec ceux de Doukani (2015) qui a trouvé des valeurs de 2,10 et 3,43 pour le couscous à base de fruits du gland.

La masse volumique réelle et apparente des poudres utilisées pour la préparation des crêpes Algériennes est variée de 625 à 645,16 et de 645,16 à 740,74 et de 645,16 à 714,29 et de 688,08 à 769,23 (kg/cm^3) pour S/PRD (SL) et S/PRD (SC) respectivement; les résultats obtenus montrent que la masse volumique réelle et apparente sont influencées par la méthode de séchage; elles sont plus élevées pour les poudres obtenues par séchage convectif. Ces résultats sont inférieurs à ceux rapportés par Taufiq et *al.* (2015) pour les poudres de tamarin et d'ananas. La différence est justifiée par le type de matière première et la quantité de poudre de datte incorporée.

● Couleur

La couleur des poudres à mélanger a été affectée par le taux de poudre de datte incorporé (PRD) obtenues par la lyophilisation et par séchage convectif (figure 50A, 50B).

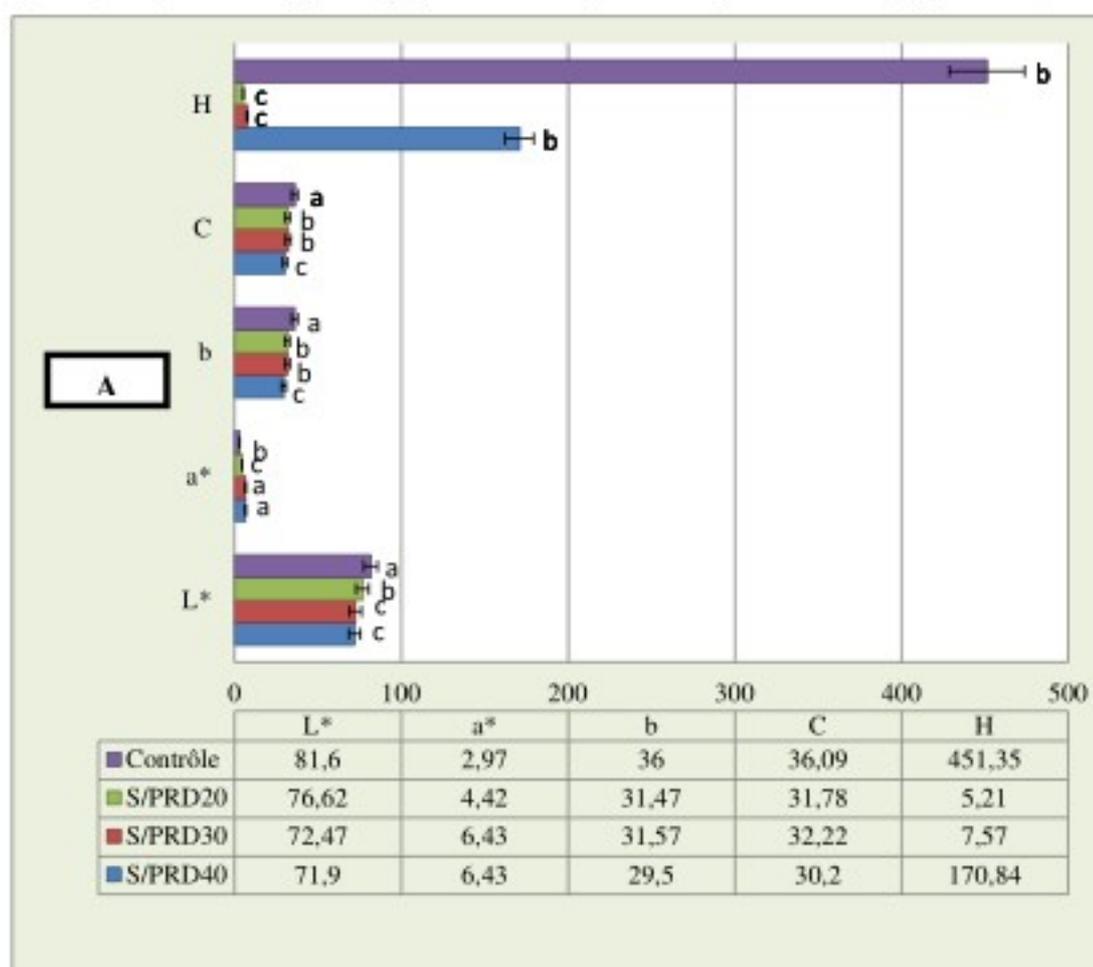


Figure 50A. Couleur des mélanges des poudres utilisées dans la préparation des crêpes Algériennes enrichies (S/PRD lyophilisée).

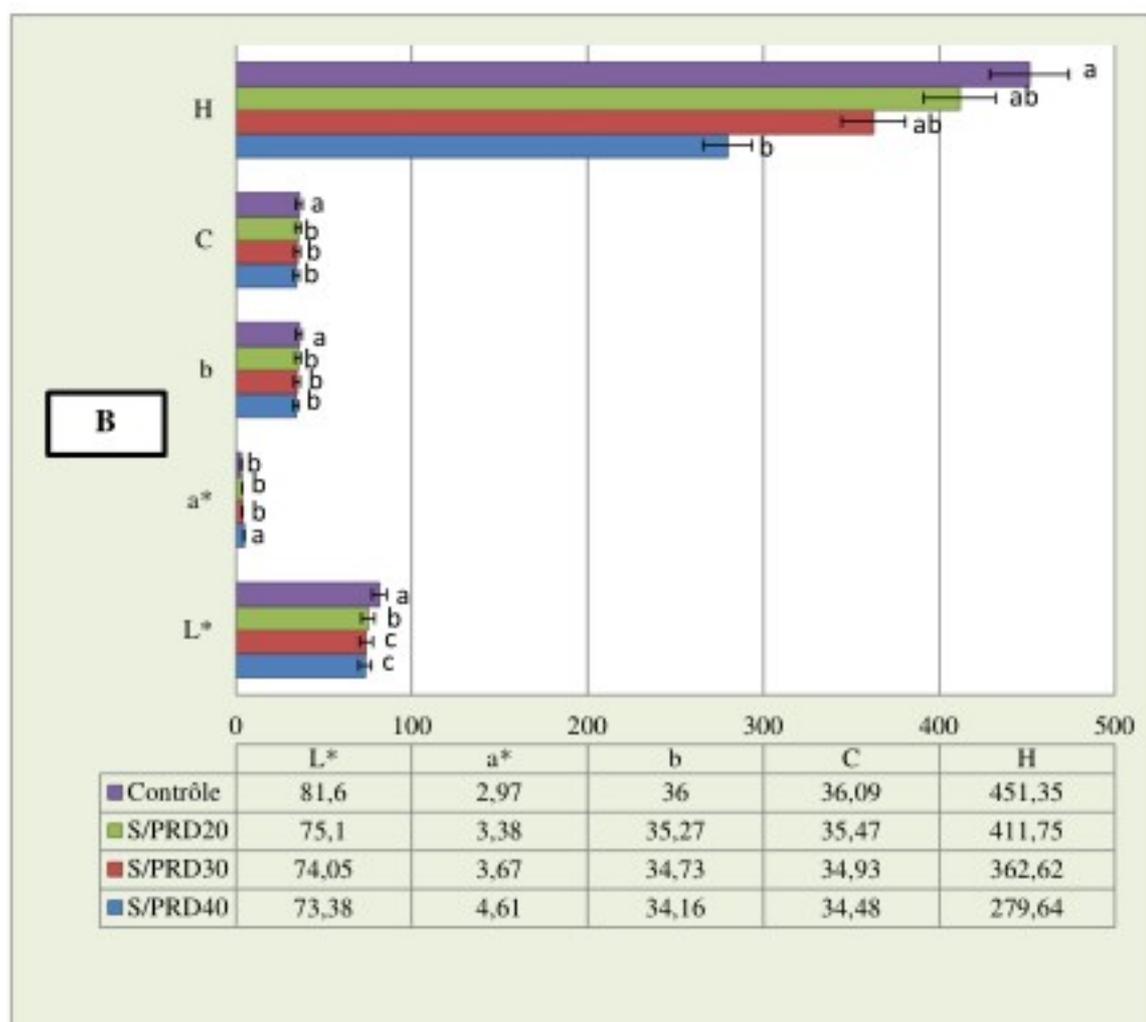


Figure 50B. Couleur des mélanges des poudres utilisées dans la préparation des crêpes Algériennes enrichies (S/PRD obtenue par séchage convectif).

En général, la luminosité (L^*) des différentes poudres mélangées diminue avec l'augmentation de la proportion de différentes poudres de datte.

La rougeur (a^*) augmente avec l'augmentation du taux de poudre de résidu de datte lyophilisée et obtenue par séchage convectif et le jaunissement (b^*) diminue avec l'augmentation du taux de poudre de résidu de datte. La luminosité et le jaunissement sont plus élevés dans les échantillons Contrôle. La rougeur des échantillons de poudre Contrôle est inférieure à celle des autres poudres. Les valeurs L^* , a^* , b^* , C et H sont influencées par le taux de poudre de résidus de dattes incorporés. Ces résultats sont comparés avec les valeurs données par Himeda (2012) et İzli (2016) concernant L^* et a^* pour le taro rosso, et C pour les dattes séchées avec différentes méthodes respectivement, la différence observée est due à la composition des poudres.

10.1.2. Analyse en Composantes Principales (ACP) des mélanges de poudre utilisés dans la préparation des crêpes Algériennes enrichies (paramètres physicochimiques et fonctionnelles)

La figure 51 représente le cercle de corrélation des variables physicochimiques et fonctionnelles des mélanges de poudre utilisés dans la préparation des crêpes Algériennes enrichies.

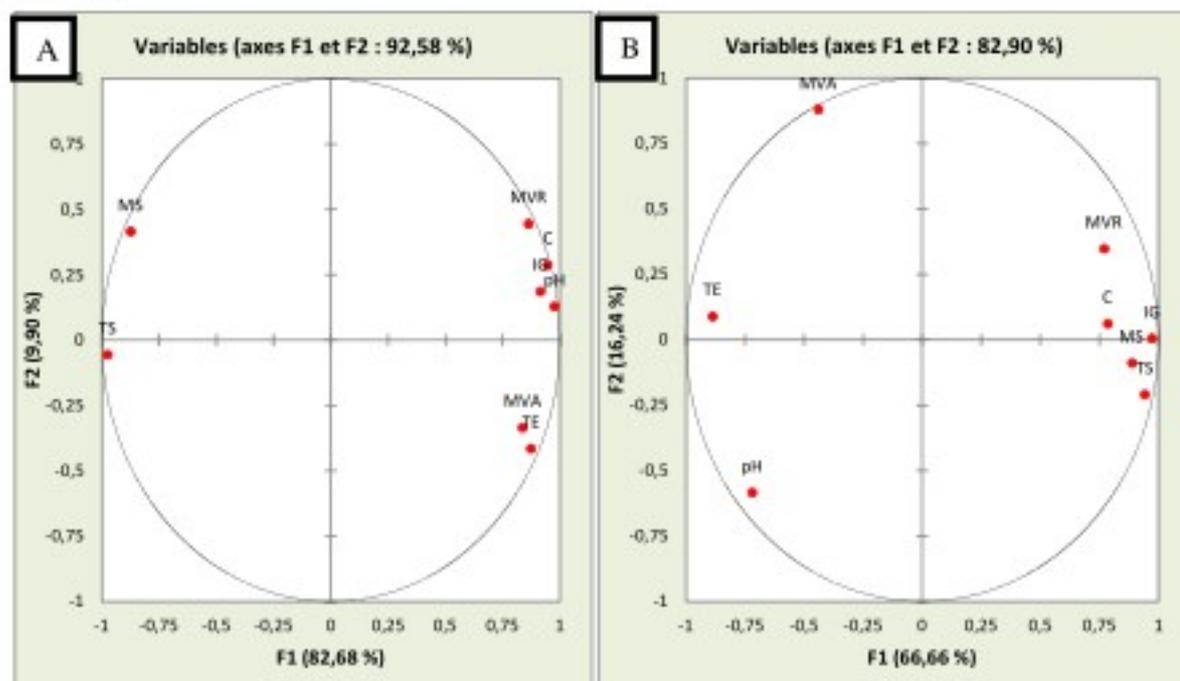


Figure 51. Cercle de corrélation des variables physicochimiques et fonctionnelles des mélanges de poudre utilisés dans la préparation des crêpes Algériennes enrichies (A: S/PRD (SL) et B: S/PRD (SC)).

TE: Teneur en eau, MS: Matière sèche, pH, C: Cendres, TS: Teneur en Sucres totaux, IG: Indice de gonflement, MVR: Masse volumique réelle, MVA: Masse volumique apparente.

Les deux facteurs (F1 (A) et F2 (A)) représentent 92,58 % de l'information totale des données (niveau de variabilité), avec 82,68 % pour F1 (A) et 9,90% pour F2 (A). Pour (F1 (B) et F2 (B)) représentent 82,90 % de l'information totale des données (niveau de variabilité), avec 66,66% pour F1(B) et 16,24% pour F2 (B). Le cercle de corrélation divise les paramètres comme suit :

✓ **Axe 1 (A):**

- **Groupe 1 (positive):** TE: Teneur en eau, pH, C: Cendres, IG: Indice de gonflement, MVA : Masse volumique apparente et MVR : Masse volumique réelle.

- **Groupe 2:** TS: Teneur en Sucres totaux et MS: Matière sèche ; qui sont corrélées négativement avec le Groupe 1.
- ✓ **Axe 2 (A) :**
 - **Groupe 1 (positive):** MS: Matière sèche, pH, C: Cendres, IG: Indice de gonflement et MVR : Masse volumique réelle.
 - **Groupe 2:** MVA : Masse volumique apparente, TE : Teneur en eau et TS : Teneur en Sucres totaux ; qui sont corrélés négativement avec le Groupe 1.
- ✓ **Axe 1 (B) :**
 - **Groupe 1 (positive):** MS: Matière sèche, C: Cendres, TS: Teneur en Sucres totaux, IG: Indice de gonflement et MVR: Masse volumique réelle.
 - **Groupe 2:** MVA: Masse volumique apparente, TE : Teneur en eau et pH ; qui sont corrélés négativement avec le Groupe 1.
- ✓ **Axe 2 (B) :**
 - **Groupe 1 (positive):** TE : Teneur en eau, C : Cendres, IG : Indice de gonflement, MVA : Masse volumique apparente et MVR : Masse volumique réelle.
 - **Groupe 2 :** pH, TS: Teneur en Sucres totaux et MS: Matière sèche; qui sont corrélés négativement avec le Groupe 1.

Les figures (52A, 52B) représentent les crêpes Algériennes enrichies en poudres de résidus de dattes.

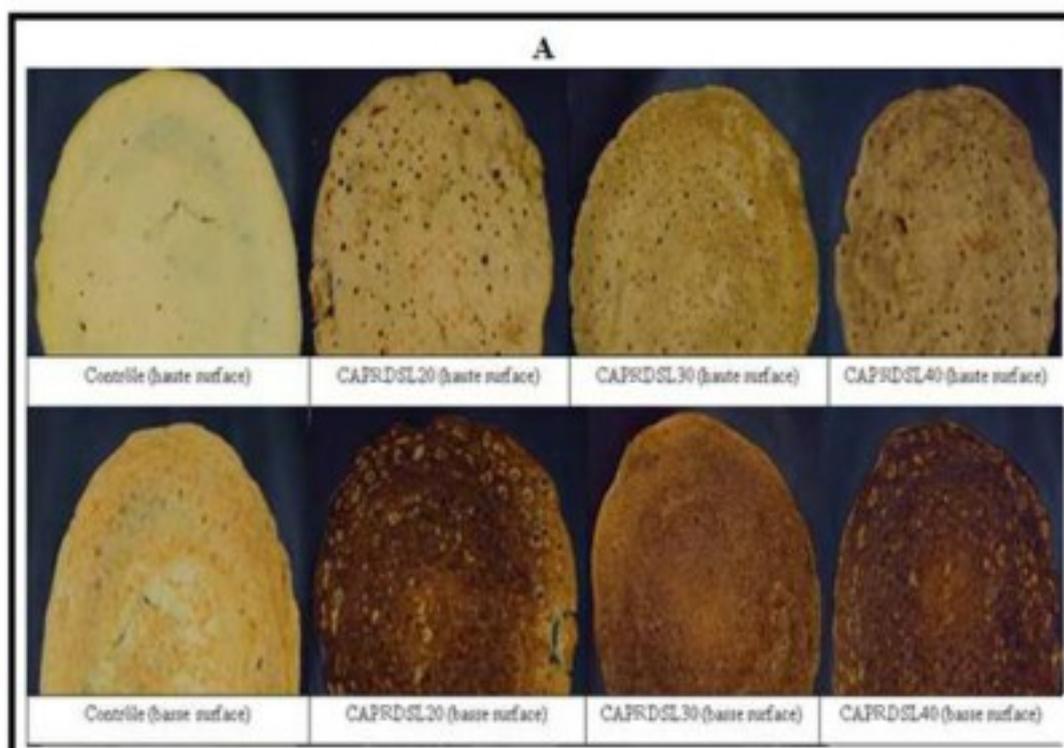


Figure 52A. Crêpes Algériennes (CA) enrichies en poudres de résidu de datte.
PRD (SL): Poudres de Résidu de Datte (Séchage par lyophilisation).

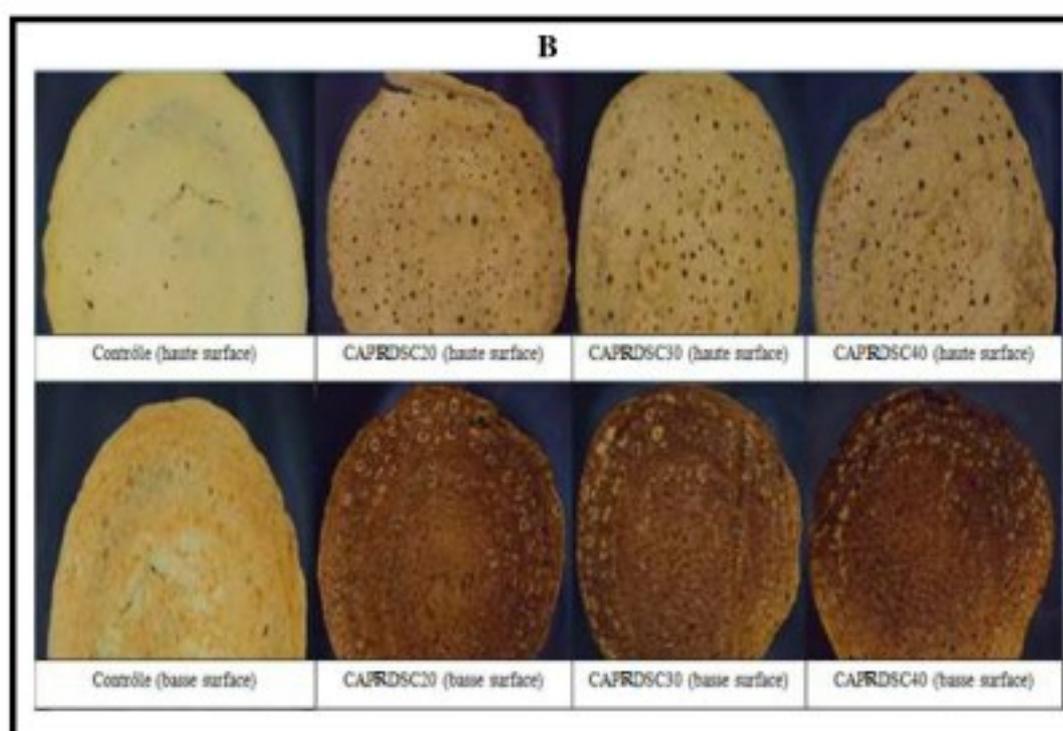


Figure 52B. Crêpes Algériennes (CA) enrichies en poudres de résidu de datte.
PRD (SC) : Poudres de Résidu de Datte (Séchage Convectif).

NB : Les photos ont été prises par un appareil photo numérique NIKON D5200 à une hauteur de 40 cm.

10.2. Caractérisation

10.2.1. Caractérisations physicochimiques et biochimiques des crêpes Algériennes enrichies

● *Crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée et obtenue par séchage convectif*

Les changements dans les caractéristiques physicochimiques des crêpes obtenues par la poudre de résidu de datte lyophilisée et obtenue par séchage convectif sont présentés dans les tableaux 41 et 42.

Tableau 41. Propriétés physicochimiques et biochimiques des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée.

Paramètres	Contrôle	CAPRD20(SL)	CAPRD30(SL)	CAPRD40(SL)
<i>Epaisseur (mm)</i>	2,56±0,21 ^b	3,21±0,46 ^a	3,62±0,19 ^a	3,23±0,33 ^a
<i>Diamètre (mm)</i>	162,66±1,52 ^a	165,66±0,21 ^a	156,66±2,89 ^b	153,66±2,08 ^b
<i>Taux de propagation</i>	63,23±4,64 ^a	51,60±6,58 ^b	43,34±3,10 ^b	47,97±5,76 ^b
<i>Poids avant-cuisson (g)</i>	67,5±0,00 ^a	67,5±0,00 ^a	67,5±0,00 ^a	67,5±0,00 ^a
<i>Poids après-cuisson (g)</i>	50,03±0,06 ^c	48,67±0,06 ^d	50,53±0,06 ^b	53,37±0,06 ^a
<i>Volume (cm³)</i>	35,33±4,40 ^a	36,5±3,32 ^a	35,26±4,41 ^a	27,26±3,36 ^b
<i>Volume spécifique (cm³ /g)</i>	0,71±0,00 ^a	0,75±0,00 ^a	0,70±0,00 ^a	0,51±0,00 ^b
<i>Teneur en eau (%)</i>	52,98±0,85 ^a	53,69±1,94 ^a	54,33±1,04 ^a	54,68±0,72 ^a
<i>Matière sèche (%)</i>	47,02±0,85 ^a	46,31±1,94 ^a	45,67±1,04 ^a	45,32±0,72 ^a
<i>Cendre (%)</i>	0,974±0,00 ^b	0,975±0,00 ^a	0,977±0,00 ^a	0,977±0,00 ^a
<i>pH</i>	7,63±0,07 ^a	7,23±0,03 ^b	7,22±0,01 ^b	7,16±0,00 ^c
<i>Sucres totaux (%)</i>	8,36±0,85 ^d	21,2±0,81 ^c	35,25±0,24 ^b	37,20±0,32 ^a
<i>Hydroxyméthylfurfural (HMF)(mg kg⁻¹ps)</i>	0,00±0,00 ^c	8,43±0,18 ^b	11,54±0,03 ^a	12,45±0,61 ^a
<i>Furfural</i>	0,30±0,03 ^c	0,43±0,01 ^b	0,15±0,01 ^d	0,71±0,1 ^a

Contrôle, CAPRD20(SL), CAPRD30(SL) et CAPRD40(SL): Crêpes Algériennes préparées avec 0%, 20%, 30% et 40% de la poudre de résidu de datte lyophilisée, respectivement. Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes de trois déterminations ± ET; l'analyse de variance (ANOVA) est réalisée avec les tests de Newman-Keuls (SNK). Les différentes lettres sur les valeurs dans la même ligne indiquent la signification des résultats ($p < 0,05$).

Tableau 42. Propriétés physicochimiques et biochimiques des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif.

<i>Paramètres</i>	<i>Contrôle</i>	<i>CAPRD20 (SC)</i>	<i>CAPRD30(SC)</i>	<i>CAPRD40(SC)</i>
<i>Épaisseur (mm)</i>	2,56±0,21 ^a	2±0,25 ^{ab}	1,67±0,38 ^{bc}	1,58±0,29 ^c
<i>Diamètre (mm)</i>	162,66±1,52 ^a	147,33±0,11 ^c	150,67±0,42 ^b	146,33±0,55 ^c
<i>Taux de propagation</i>	63,23±4,64 ^a	64,05±9,66 ^b	83,62±6,62 ^a	89,87±8,19 ^a
<i>Poids avant-cuisson (g)</i>	67,5±0,00 ^a	67,5±0,00 ^a	67,5±0,00 ^a	67,5±0,00 ^a
<i>Poids après-cuisson (g)</i>	50,03±0,06 ^a	49,43±0,04 ^b	43,09±0,03 ^d	46,51±0,03 ^c
<i>Volume (cm³)</i>	35,33±4,40 ^c	60,42±0,38 ^a	48,67±0,58 ^b	51,33±1,53 ^d
<i>Volume spécifique (cm³/g)</i>	0,71±0,00 ^b	1,22±0,01 ^a	1,13±0,01 ^a	1,10±0,03 ^a
<i>Teneur en eau (%)</i>	52,98±0,85 ^a	44,71±2,87 ^b	44,83±2,19 ^b	45,19±0,82 ^b
<i>Matière sèche (%)</i>	47,02±0,85 ^b	55,29±2,87 ^a	55,17±2,19 ^a	54,81±0,82 ^a
<i>Cendre (%)</i>	0,974±0,00 ^d	2,41±0,12 ^c	2,78±0,2 ^b	3,23±0,15 ^a
<i>pH</i>	7,63±0,07 ^a	7,46±0,01 ^b	7,41±0,04 ^b	7,18±0,03 ^c
<i>Sucres totaux (%)</i>	8,36±0,85 ^c	20,99±1,44 ^b	31,61±0,58 ^a	36,79±4,49 ^a
<i>Hydroxyméthylfurfural (HMF)(mg kg⁻¹ps)</i>	0,00±0,00 ^c	3,34±0,07 ^b	3,43±0,01 ^b	5,9±0,08 ^a
<i>Furfural</i>	0,30±0,03 ^b	0,39±0,01 ^a	0,25±0,02 ^c	0,43±0,02 ^a

Contrôle, CAPRD20 (SC), CAPRD30(SC) et CAPRD40(SC): Crêpes Algériennes préparées avec 0%, 20%, 30% et 40% de la poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif, respectivement. Les résultats sont exprimés en valeurs moyennes de trois déterminations ± ET; l'analyse de variance (ANOVA) est réalisée avec les tests de Newman-Keuls (SNK). Les différentes lettres sur les valeurs dans la même ligne indiquent la signification des résultats ($p < 0,05$).

L'évaluation des propriétés physicochimiques des crêpes enrichies montre que l'épaisseur des CAPRD30 (SL) est la plus élevée. Les résultats obtenus montrent que l'épaisseur des crêpes obtenues par des poudres de résidu de datte lyophilisées est plus élevée que celles obtenues par séchage convectif. Les résultats obtenus sont dus au taux de poudre de résidu de datte incorporée.

Le diamètre des Contrôle, CAPRD20 (SL), CAPRD30 (SL) et CAPRD40 (SL) et CAPRD20 (SC), CAPRD30 (SC) et CAPRD40 (SC) est 162,66, 165,66, 156,66 et 153,66 mm et 147,33, 150,67, 146,33 mm respectivement. L'addition de la poudre de résidu de datte a un effet sur la viscosité de la pâte liquide des crêpes pendant la cuisson. Le diamètre diminue avec l'augmentation de la proportion de la poudre de résidu de datte incorporée, il est plus élevé pour les crêpes préparées par des poudres lyophilisées. Les résultats sont comparables à ceux rapportés par Banusha et Vasantharuba (2014) pour un biscuit à base de mélange de farine de malt de blé.

Le taux de propagation du contrôle est le plus élevé alors qu'il est plus bas pour CAPRD30 (SL) avec 43,34±3,10; cela est lié à l'épaisseur et au diamètre des échantillons.

Nos résultats montrent que l'augmentation du diamètre et la diminution de l'épaisseur augmentent le taux de propagation des crêpes (Baljeet *et al.*, 2014).

Les résultats montrent que le poids avant la cuisson est similaire pour tous les échantillons (67,5 g). Le poids après la cuisson varie de 48,67 à 53,37 g pour CAPRD (SL) et de 43,09 à 50,03 g pour CAPRD (SC) respectivement. Bakare *et al.* (2016) indiquent que la perte du poids est due à l'évaporation d'eau au cours de cuisson.

Le volume des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée et obtenue par séchage convectif varie de 27,26 à 36,5 cm³ et de 35,33 à 60,42 cm³ respectivement; c'est la caractéristique la plus importante car elle fournit une mesure quantitative des performances de cuisson et une bonne mesure de la qualité des protéines. La diminution de volume des crêpes peut être due à la dilution de réseau de gluten et donc sa force avec un effet d'entraînement médiocre de dioxyde de carbone dans la pâte cuite (Olubunmi *et al.*, 2015).

Le volume spécifique est de 0,71, 0,75, 0,70 et 0,51 pour le Contrôle, CAPRD20 (SL), CAPRD30 (SL) et CAPRD40 (SL) et 1,22, 1,13 et 1,10 pour CAPRD20 (SC), CAPRD30 (SC) et CAPRD40 (SC) respectivement. Ces résultats sont comparables à ceux obtenus par Bouziane (2014) pour les crêpes; la différence est expliquée par la formulation des produits.

La détermination de la teneur en eau des produits alimentaires est l'une des analyses les plus importantes. C'est un facteur de qualité dans leur préservation. Sa connaissance, est utile pour le calcul de leurs valeurs nutritionnelles. Également, elle permet l'expression des autres déterminations analytiques (protéines, cendres, lipides...etc.) sur une base uniforme, base de matière sèche. D'autre part, L'association américaine des chimistes de céréales (A.A.C.C., 2000), montre que l'humidité est un indicateur de l'aptitude du stockage (Bouziane, 2014). Des valeurs approximatives sont observées malgré la différence du taux de poudre de résidu de datte incorporée avec 52,98 ; 53,69; 54,33 et 54,68% pour le Contrôle, CAPRD20 (SL), CAPRD30 (SL) et CAPRD40 (SL) respectivement et entre 44,71 et 52,98% pour les crêpes préparées par des poudres obtenues par séchage convectif. Ces résultats sont affirmés par Shih *et al.* (2006) pour les crêpes avec des valeurs comprises entre 48,10 et 51,80%.

La détermination du taux de cendre reste la moyenne officielle utilisée pour caractériser la pureté de la semoule (Bouziane, 2014). La valeur des cendres varie de 0,974 à 0,977 % pour CAPRD (SL) et de 0,974 à 3,23 % pour CAPRD (SC), ces résultats sont inférieurs à ceux de Shih *et al.* (2006) pour les crêpes de riz et les crêpes de blé avec des

valeurs comprises entre 2,38 et 2,70%. La différence des résultats obtenus est due à la formulation des crêpes.

Les résultats montrent que les valeurs de pH varient de 7,16 à 7,63 pour CAPRD (SL) et de 7,18 à 7,63 pour CAPRD (SC) respectivement. Ces résultats sont comparables avec ceux de Prokopov et *al.* (2015) et Yao et *al.* (2015), l'addition de la poudre de datte permet d'obtenir des crêpes à pH neutre. La différence est due à la composition de chaque produit.

Les valeurs de sucres totaux de différentes crêpes ont été présentées dans les tableaux 41 et 42; les résultats montrent que le taux de sucres totaux augmente avec l'augmentation de la concentration de la poudre de résidu de datte incorporée de 8,36 à 37,20 % et de 8,36 à 36,79 % pour CAPRD (SL) et CAPRD (SC) respectivement.

Les résultats montrent que le taux d'hydroxyméthylfurfural augmente avec l'augmentation de la concentration du poudre de datte incorporée, le HMF dans les crêpes préparées avec des poudres lyophilisées est plus élevés que celles préparées avec des poudres obtenues par séchage convectif, ces résultats sont comparable avec ceux de Ramoñez-Jimeñez et *al.* (2000). L'effet de la concentration de poudre de résidu de datte lyophilisée et obtenue par séchage convectif sur la teneur en composés furfural est illustré dans les tableaux 41 et 42 respectivement, les résultats montrent l'augmentation du taux du composés furfural avec l'augmentation du taux d'incorporation de la poudre de résidu de datte et ils sont plus élevés dans les crêpes formulées par des poudres lyophilisées avec des valeurs allant de 0,30 à 0,71. Ces résultats sont expliqués par Srivastava et *al.* (2017) qui signifie que dans les produits de boulangerie comme les gâteaux, les pains et les biscuits, la concentration de furfural varie dans une large gamme de concentration ainsi que plus de 540 composés volatils peuvent se former lors de la cuisson des produits céréaliers. La différence est due au type, composition et au taux de poudre additionnée.

● Nombres d'alvéoles

Le nombre d'alvéoles/cm² des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée et obtenue par séchage convectif est illustré dans les figures 53A et 53B.

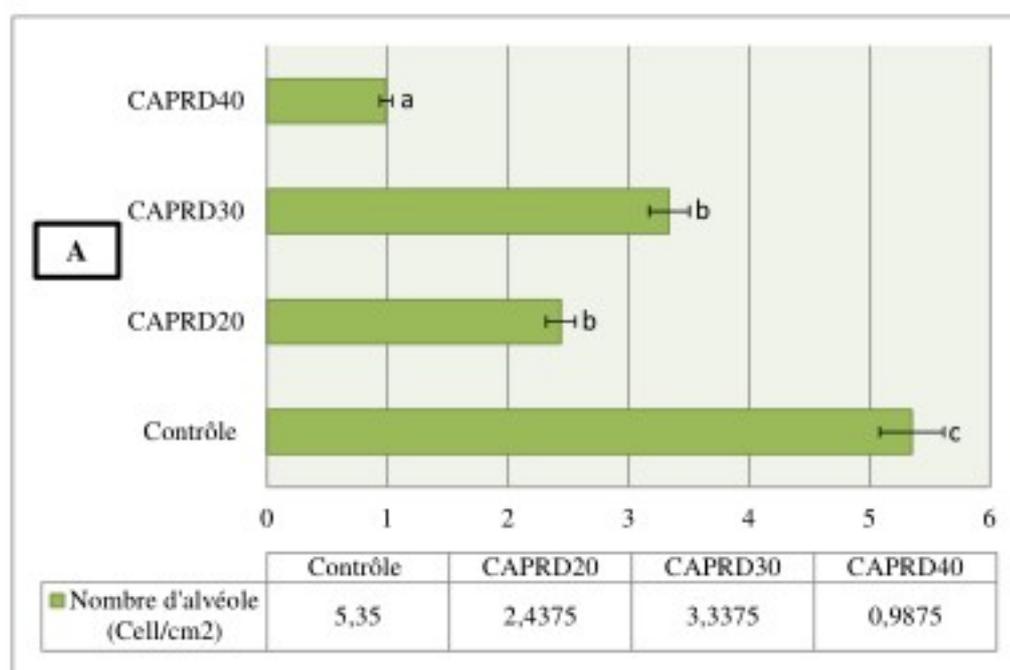


Figure 53A. Nombre d'alvéole/cm² des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée.

CAPRD20: Crêpes Algériennes enrichies en 20% de Poudre de Résidu de Datte

CAPRD30: Crêpes Algériennes enrichies en 30% de Poudre de Résidu de Datte

CAPRD40: Crêpes Algériennes enrichies en 40% de Poudre de Résidu de Datte

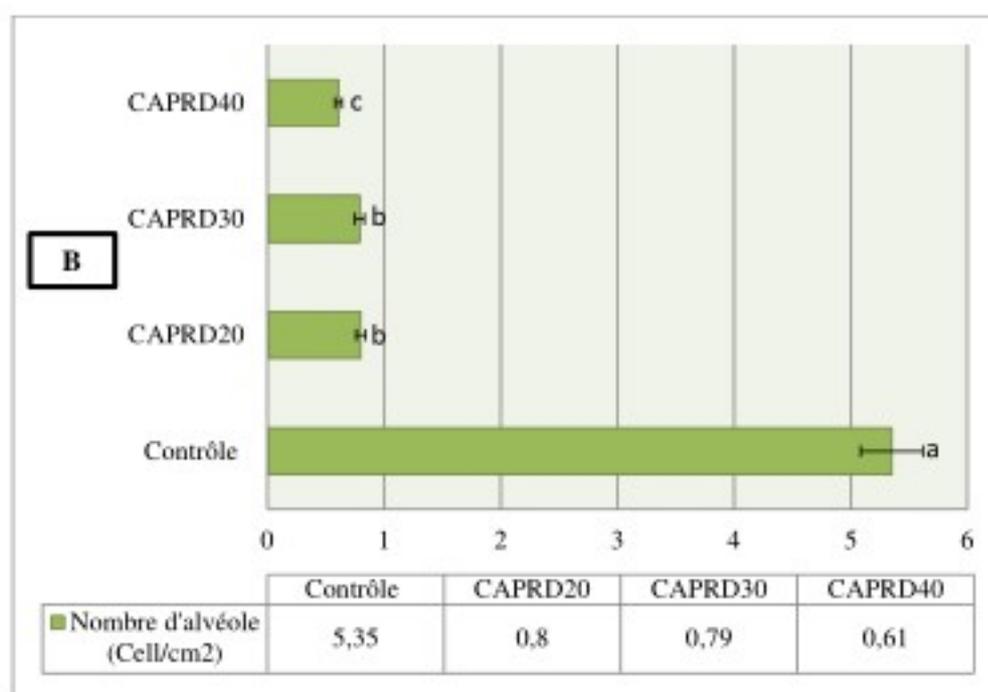


Figure 53B. Nombre d'alvéole/cm² des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif.

CAPRD20: Crêpes Algériennes enrichies en 20% de Poudre de Résidu de Datte

CAPRD30: Crêpes Algériennes enrichies en 30% de Poudre de Résidu de Datte

CAPRD40: Crêpes Algériennes enrichies en 40% de Poudre de Résidu de Datte

Les résultats montrent que le nombre d'alvéoles/cm² augmente avec la diminution de la concentration de la poudre de datte et varie de 0,9875 à 5,35 alvéoles/cm² pour CAPRD (SL) et de 0,61 à 5,35 (cell/cm²) pour CAPRD (SC). Le nombre d'alvéoles est plus élevé pour le Contrôle. Ces résultats sont comparables avec ceux de Bouziane (2014) concernant les crêpes avec des valeurs allant de 0,19 à 4,81 alvéoles/cm², la différence est due à la fluidité des pâtes définies par sa formulation initiale.

● Couleur

Les figures 54 et 55 illustrent la couleur de la haute et basse surface des crêpes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée et obtenue par séchage convectif.

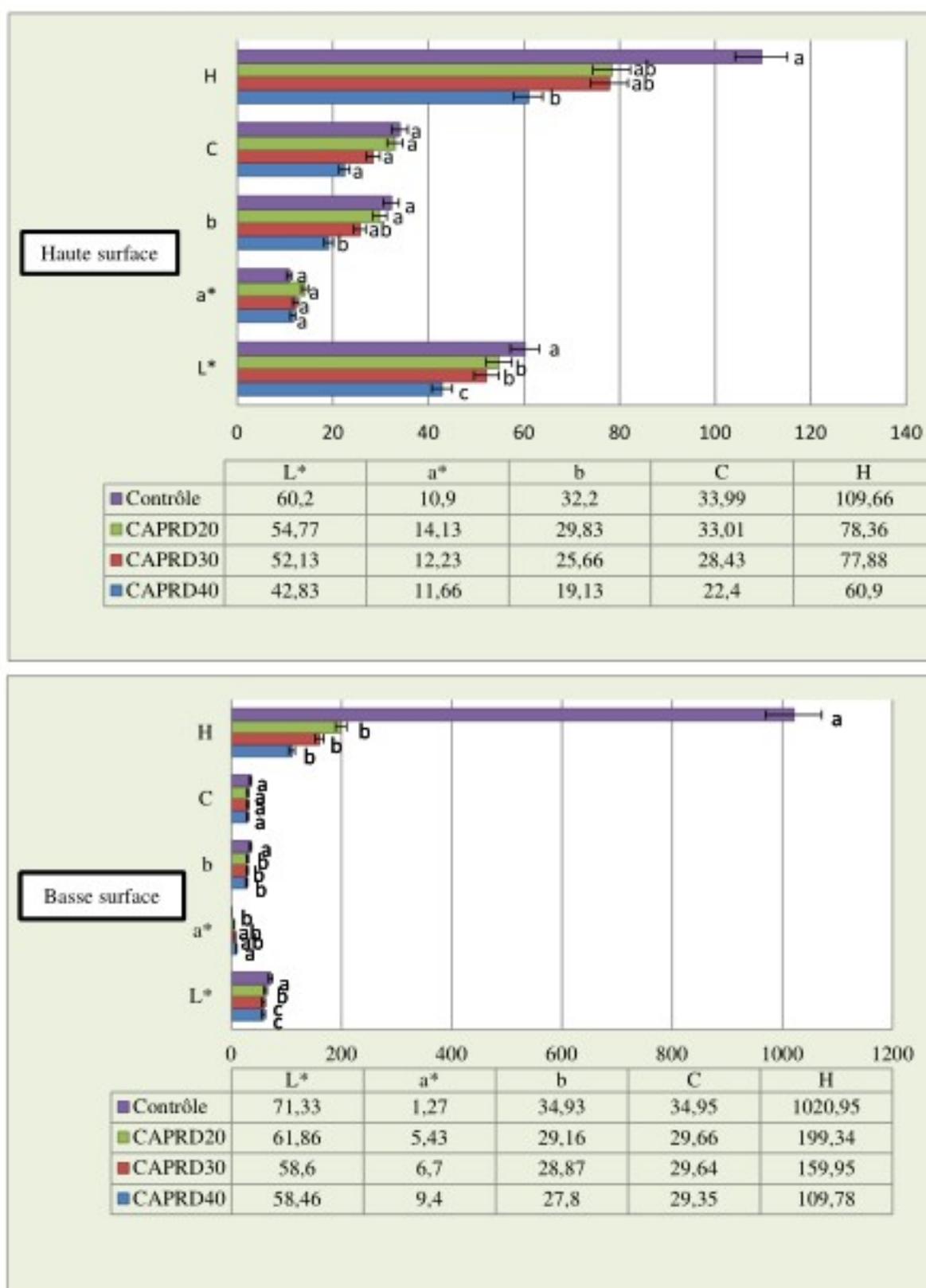


Figure 54. Couleur des crêpes Algériennes (CA) obtenues par différentes proportions de mélanges de poudres S/PRD (SL) (haute et basse surface).

S/PRD (SL): Semoule/Poudre de Résidu de Dattes lyophilisée

CAPRD20: Crêpes Algériennes enrichies en 20% de Poudre de Résidu de Dattes

CAPRD30: Crêpes Algériennes enrichies en 30% de Poudre de Résidu de Dattes

CAPRD40: Crêpes Algériennes enrichies en 40% de Poudre de Résidu de Dattes

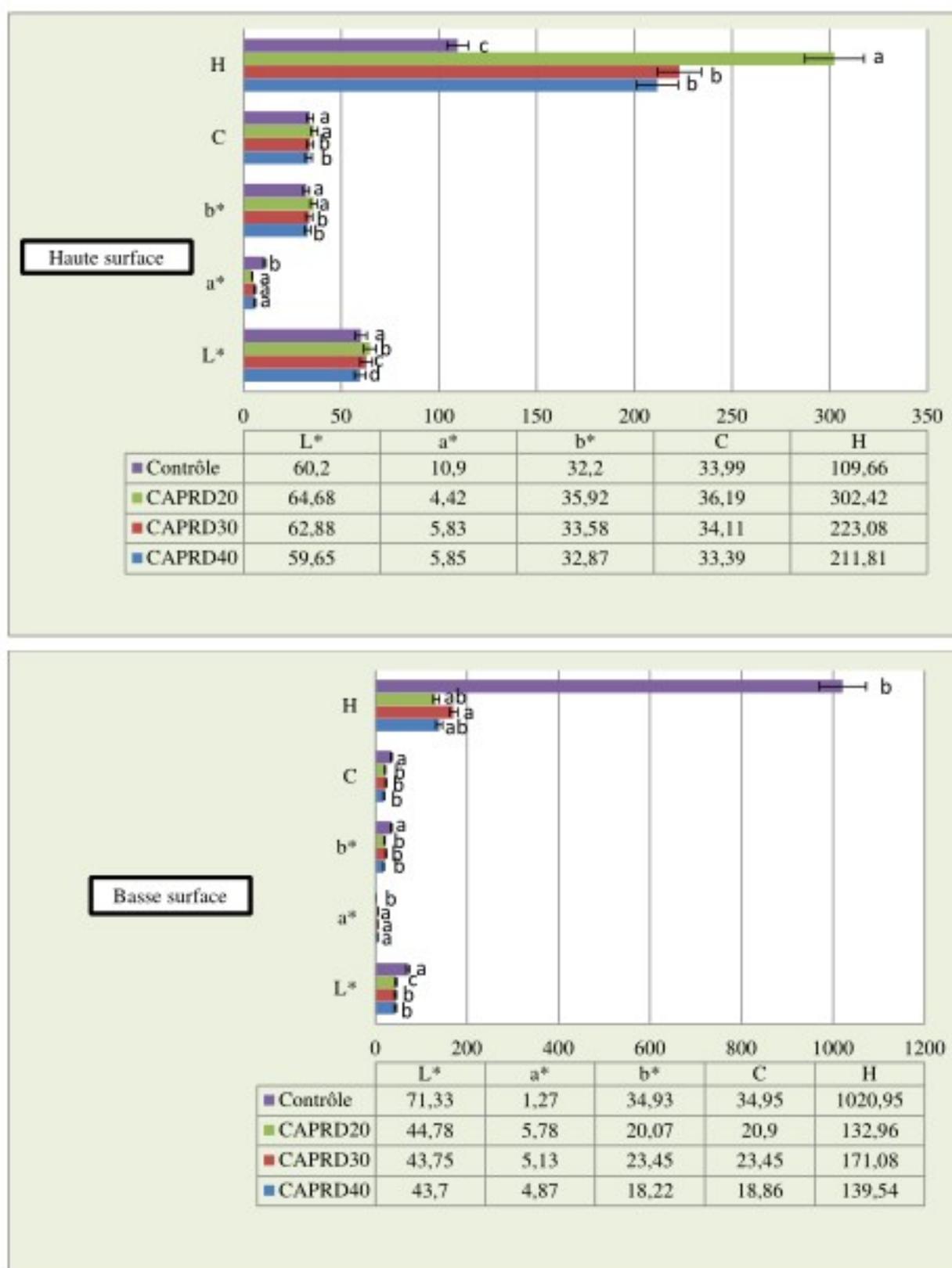


Figure 55. Couleur des crêpes Algériennes obtenues par différentes proportions de mélanges de poudres S/PRD (SC) (haute et basse surface).

S/PRD (SC): Semoule/ Poudre de Résidu de Datte obtenue par séchage convectif

CAPRD20: Crêpes Algériennes enrichies en 20% de Poudre de Résidu de Datte

CAPRD30: Crêpes Algériennes enrichies en 30% de Poudre de Résidu de Datte

CAPRD40: Crêpes Algériennes enrichies en 40% de Poudre de Résidu de Datte

La couleur de la basse surface est affectée par la réaction de Maillard et de la caramélisation au cours de la cuisson, tandis que la couleur de la surface supérieure est affectée par les composants utilisés dans la formulation des crêpes, ces résultats sont comparables avec ceux de Majzoubi et *al.* (2012) pour les gâteaux.

La luminosité diminue avec l'augmentation de la poudre de résidu de datte pour la basse et haute surface, la rougeur augmente avec l'augmentation de la poudre de résidu de datte lyophilisée et obtenue par séchage convectif pour la basse surface, tandis que pour la haute surface les valeurs de rougeur pour le Contrôle sont inférieures, pour la couleur jaune ; elle diminue avec l'augmentation de la poudre de datte pour la basse et haute surface. Ces résultats sont proches à ceux trouvés par Waldron et *al.* (2016) pour les crêpes.

10.2.2. Analyse en Composantes Principales (ACP) des crêpes Algériennes enrichies (paramètres physicochimiques et biochimiques)

La figure 56 représente le cercle de corrélation des variables physicochimiques des crêpes Algériennes enrichies.

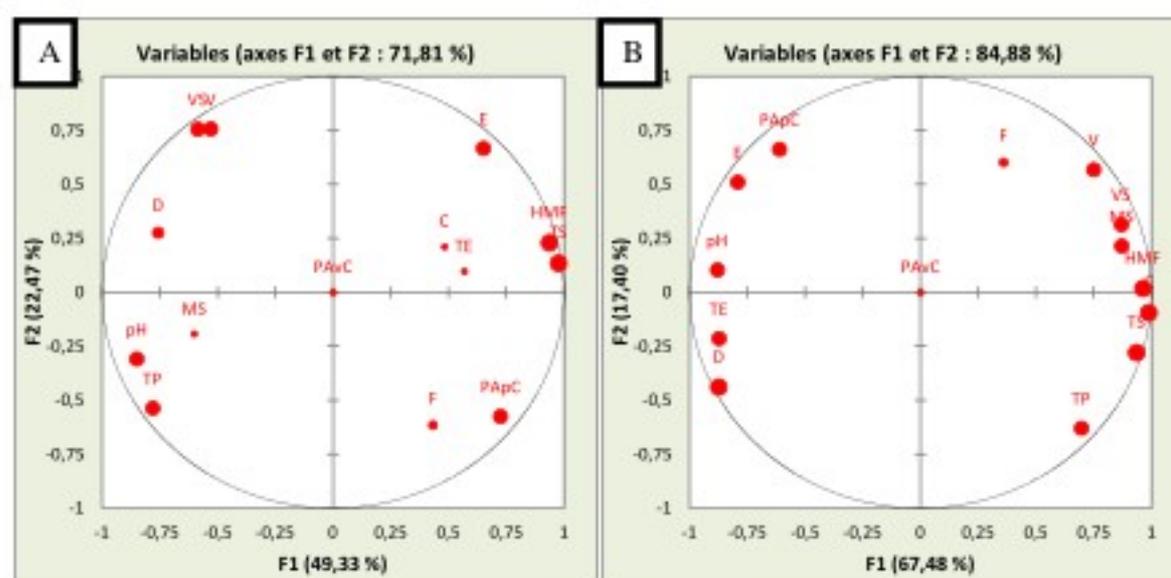


Figure 56. Cercle de corrélation des variables physicochimiques et biochimiques des crêpes Algériennes enrichies

(A: CAPRD (SL) et B: CAPRD (SC)).

E: Epaisseur, D: Diamètre, TP: Taux de propagation, PAvC: Poids avant-cuisson, PApC: Poids après-cuisson, V: Volume, VS: Volume spécifique, TE: Teneur en eau, MS: Matière sèche, pH, C: Cendre, TS: Teneur en Sucres totaux, HMF: Hydroxyméthylfurfural, F: Furfural.

Les deux facteurs (F1(A) et F2 (A)) représentent 71,81% de l'information totale des données (niveau de variabilité), avec 49,33% pour F1(A) et 22,47% pour F2 (A). Pour (F1(B) et F2(B)) représentent 84,88 % de l'information totale des données (niveau de variabilité), avec 67,48% pour F1 (B) et 17,40% pour F2 (B). Le cercle de corrélation divise les paramètres comme suit:

✓ **Axe 1 (A):**

- **Groupe 1 (positive):** E: Epaisseur, PApC: Poids après-cuisson, TE: Teneur en eau, C: Cendre, TS : Teneur en Sucres totaux, HMF : Hydroxyméthylfurfural et F : Furfural.
- **Groupe 2 :** D: Diamètre, TP: Taux de propagation, V: Volume, VS: Volume spécifique, MS: Matière sèche et pH ; qui sont corrélés négativement avec le Groupe 1.

✓ **Axe 2 (A) :**

- **Groupe 1 (positive):** D: Diamètre, V: Volume, VS: Volume spécifique, E: Epaisseur, TE: Teneur en eau, C: Cendre, Teneur en Sucres totaux et HMF: Hydroxyméthylfurfural.
- **Groupe 2 :** PApC: Poids après-cuisson, F : Furfural, MS: Matière sèche, pH et TP: Taux de propagation ; qui sont corrélés négativement avec le Groupe 1.

✓ **Axe 1 (B):**

- **Groupe 1 (positive):** E: Epaisseur, TP: Taux de propagation, PApC: Poids après-cuisson, C: Cendre, TE: Teneur en eau, TS : Teneur en Sucres totaux, HMF : Hydroxyméthylfurfural et F : Furfural.
- **Groupe 2 :** D: Diamètre, V: Volume, VS: Volume spécifique, MS: Matière sèche et pH ; qui sont corrélés négativement avec le Groupe 1.

✓ **Axe 2 (B):**

- **Groupe 1 (positive):** E: Epaisseur, D: Diamètre, V: Volume, VS: Volume spécifique, TE: Teneur en eau, C: Cendre, TS : Teneur en Sucres totaux et HMF : Hydroxyméthylfurfural.
- **Groupe 2 :** TP: Taux de propagation, PApC: Poids après-cuisson, MS: Matière sèche, F : Furfural et pH; qui sont corrélés négativement avec le Groupe 1.

10.2.3. Evaluation sensorielle des crêpes Algériennes enrichies

Les crêpes préparées avec différents type de poudre de datte (PRD (SL/SC)) sont évaluées au niveau organoleptique par l'étude des attributs suivants: homogénéité de distribution, goût sucré, goût de datte, couleur marron, aspect spongieux, collant sous la dent, croquant sous la dent, taille des alvéoles et intensité d'odeur de datte. Les résultats de l'évaluation sensorielle sont illustrés dans les tableaux (43, 44) et les figures (57, 58) qui présentent les différents profils sensoriels.

● Evaluation sensorielle des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée

Tableau 43. Résultat d'analyse sensoriel des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée (0, 20, 30 et 40% de poudre de résidu de datte).

Attributs	Contrôle	CAPRD20	CAPRD30	CAPRD40
Homogénéité de distribution	5,75±3,37 ^a	7,1±2,07 ^a	7±1,38 ^a	6±2,00 ^a
Goût sucré	1,65±1,06 ^a	3,55±1,53 ^a	4,8±1,6 ^a	5,65±1,65 ^a
Goût de datte	1,65±0,79 ^a	2,3±1,58 ^a	3,45±2,01 ^a	4,75±2,47 ^a
Couleur marron	1±0,00 ^a	5,45±2,09 ^a	6,95±1,83 ^a	7,95±1,69 ^a
Aspect spongieux	5±2,39 ^a	5,2±2,09 ^a	5,75±1,81 ^a	4,5±2,25 ^a
Collant sous la dent	3,45±2,33 ^a	3,5±1,96 ^a	4,65±2,29 ^a	6,15±2,98 ^a
Croquant sous la dent	2,2±1,57 ^a	2,7±1,49 ^a	3,4±2,13 ^a	2,85±2,41 ^a
Taille des alvéoles	5,4±1,91 ^a	5,1±2,43 ^a	4,85±2,05 ^a	3,7±2,39 ^a
Intensité d'odeur de datte	1,05±0,21 ^a	3,05±1,40 ^a	4,1±2,07 ^a	5,05±2,29 ^a

L'analyse de variance (ANOVA) est réalisée avec les tests de Newman-Keuls (SNK). Les différentes lettres sur les valeurs dans la même ligne indiquent la signification des résultats ($p < 0,05$).

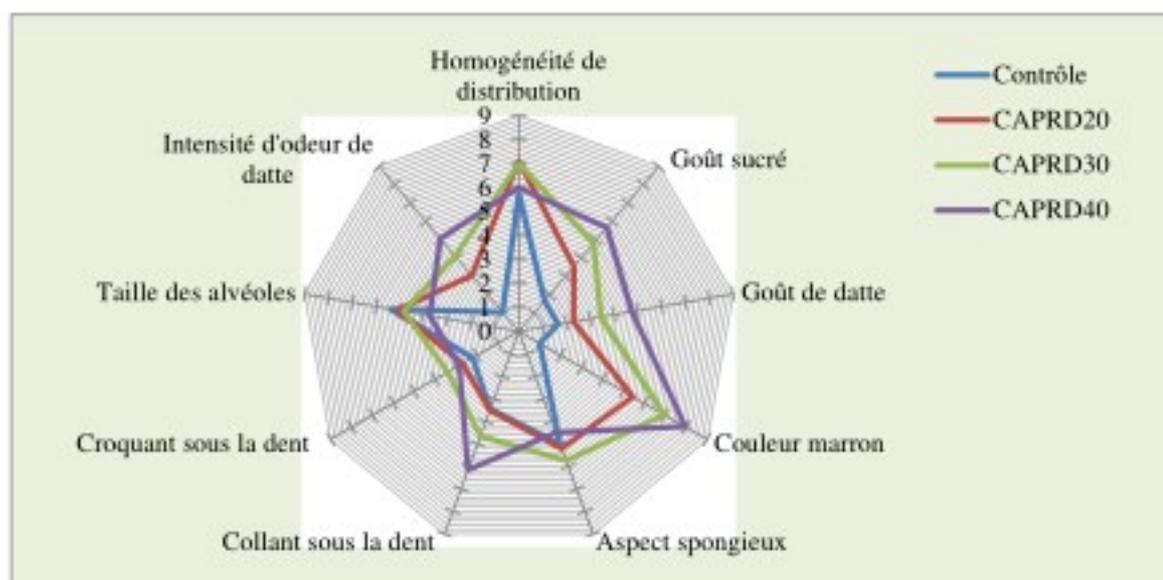


Figure 57. Profil sensoriel des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée (0, 20, 30 et 40% de poudre de résidu de datte).

● **Evaluation sensorielle des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif**

Tableau 44. Résultat d'analyse sensoriel des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif (0, 20, 30 et 40% de poudre de résidu de datte).

Attributs	Contrôle	CAPRD20	CAPRDP30	CAPRDP40
Homogénéité de distribution	5,75±3,37 ^a	3,9±2,32 ^a	3,85±2,21 ^a	3,8±2,79 ^a
Goût sucré	1,65±1,06 ^a	1,9±0,94 ^a	2,4±1,11 ^a	3,65±1,39 ^a
Goût de datte	1,65±0,79 ^a	1,95±0,92 ^a	2±0,77 ^a	3,3±1,45 ^a
Couleur marron	1±0,00 ^a	6,85±1,39 ^a	8,35±0,86 ^a	9±2,40 ^a
Aspect spongieux	5±2,39 ^a	5,65±1,35 ^a	6±1,34 ^a	6,95±1,40 ^a
Collant sous la dent	3,45±2,33 ^a	4,15±1,06 ^a	6,55±1,70 ^a	7,3±1,65 ^a
Croquant sous la dent	2,2±1,57 ^a	1,4±0,49 ^a	1,25±0,43 ^a	1,15±0,36 ^a
Taille des alvéoles	5,4±1,91 ^a	3,6±1,36 ^a	2,15±0,99 ^a	1,6±1,07 ^a
Intensité d'odeur de datte	1,05±0,21 ^a	2,05±0,92 ^a	2,55±1,28 ^a	3,15±1,62 ^a

L'analyse de variance (ANOVA) est réalisée avec les tests de Newman-Keuls (SNK). Les différentes lettres sur les valeurs dans la même ligne indiquent la signification des résultats ($p < 0,05$).

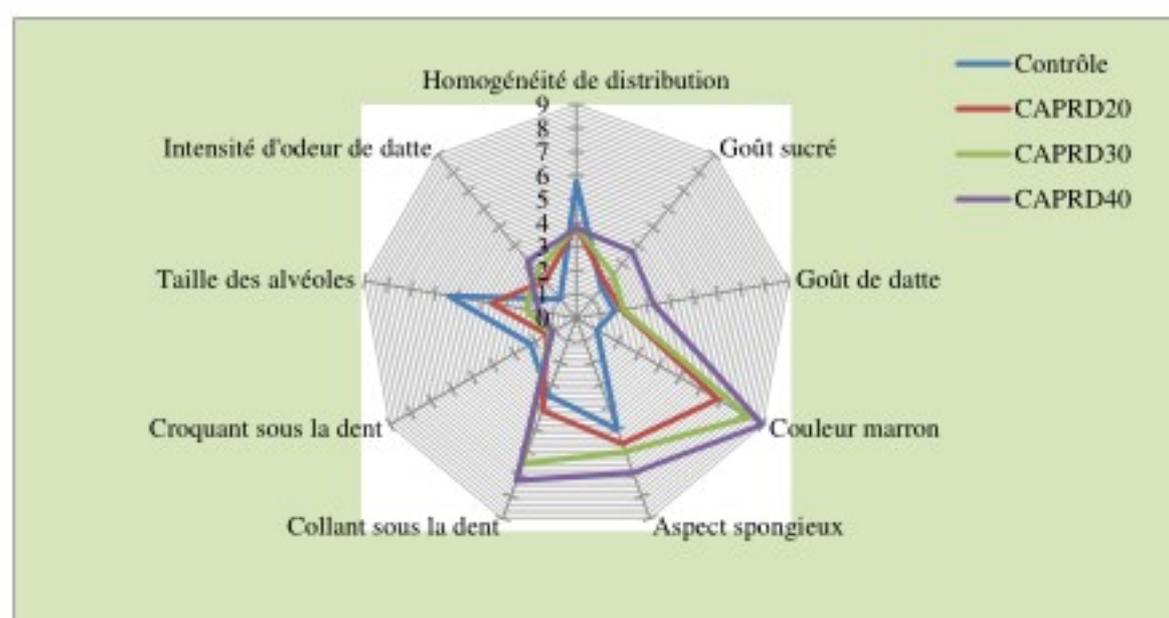


Figure 58. Profil sensoriel des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif (0, 20, 30 et 40% de poudre de résidu de datte).

L'analyse organoleptique dépend de la composition de chaque échantillon; en particulier la concentration en poudre de datte. Selon l'évaluation sensorielle, les attributs (goût sucré, goût de la datte, couleur brune, collant sous les dents et intensité d'odeur de datte) de l'échantillon CAPRD40 (SL/SC) présente le score le plus élevé concernant les différentes

préparations. En ce qui concerne l'homogénéité de la distribution, l'aspect spongieux et la taille des alvéoles, les échantillons CAPRD20 (SL/SC) et CAPRD30 (SL/SC) présentent les scores les plus élevés en raison de la concentration respective de la poudre de résidu de datte (40, 20 et 30%). Contrôle, CAPRD20 (SL/SC), CAPRD30 (SL/SC) et CAPRD40 (SL/SC) ont suivi la même tendance et tous les échantillons des crêpes sont acceptables. Cependant, les crêpes contenant 20 et 30% de poudre de résidus de datte sont les plus préférés en termes d'homogénéité de distribution, taille des alvéoles, aspect spongieux et croquant sous la dent.

10.2.4. Analyse en composantes principales des crêpes Algériennes enrichies (Attributs sensoriels)

La figure 59 représente le cercle de corrélation des attributs sensoriels des crêpes enrichies (A: CAPRD (SL) et B: CAPRD (SC)).

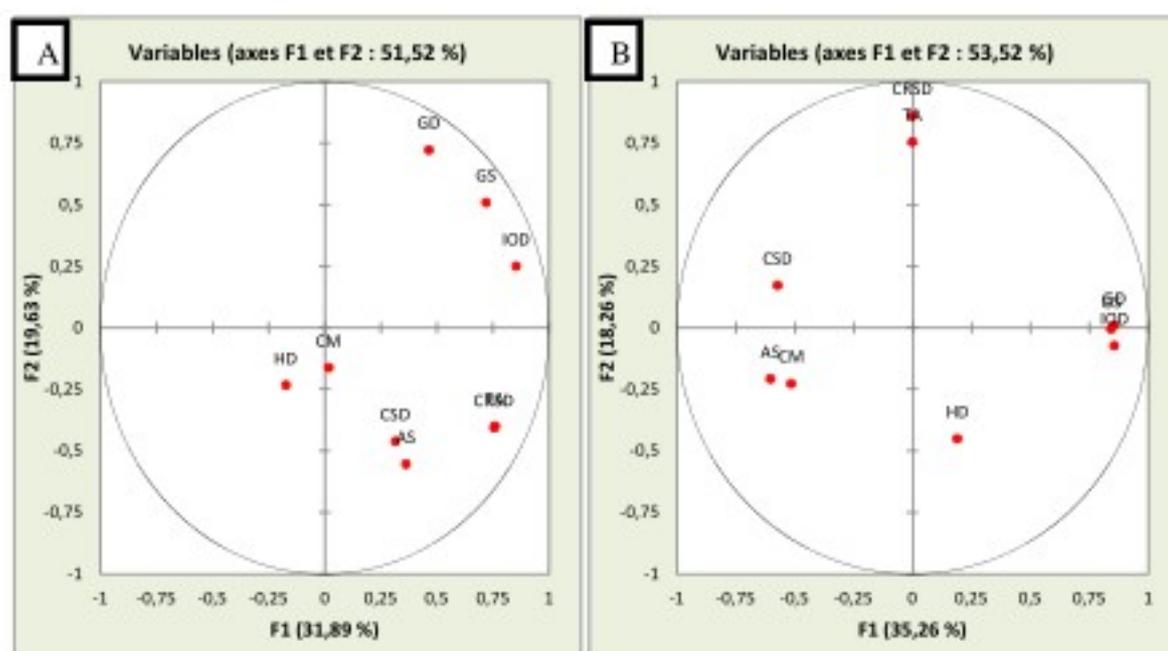


Figure 59. Cercle de corrélation des attributs sensoriels des crêpes Algériennes enrichies (A: CAPRD (SL) et B: CAPRD (SC)).

HD: Homogénéité de Distribution, GS: Goût Sucré, GD: Goût de Datte, CM: Couleur Marron, AS: Aspect Spongieux, IOD: Intensité d'Odeur de Datte, CRSD: Croquant Sous la Dent, TA: Taille des Alvéoles, CSD: Collant Sous la Dent.

Les deux facteurs (F1 (A) et F2 (A)) représentent 51,52 % de l'information totale des données (niveau de variabilité), avec 31,89 % pour F1 (A) et 19,63% pour F2 (A). Pour (F1 (B) et F2 (B)) représentent 53,52 % de l'information totale des données (niveau de variabilité), avec 35,26% pour F1 (B) et 18,26% pour F2 (B). Le cercle de corrélation divise les paramètres comme suit :

✓ **Axe 1 (A):**

- **Groupe 1 (positive):** GS: Goût Sucré, GD: Goût de Datte, CM: Couleur Marron, AS: Aspect Spongieux, IOD: Intensité d'Odeur de Datte, CRSD: Croquant Sous la Dent, TA: Taille des Alvéoles et CSD: Collant Sous la Dent.
- **Groupe 2:** HD: Homogénéité de Distribution; qui est corrélée négativement avec le Groupe 1.

✓ **Axe 2 (A) :**

- **Groupe 1 (positive):** GS: Goût Sucré, GD: Goût de Datte, et IOD: Intensité d'Odeur de Datte.
- **Groupe 2 :** HD: Homogénéité de Distribution, AS: Aspect Spongieux, CSD: Collant Sous la Dent, CM: Couleur Marron, CRSD: Croquant Sous la Dent et TA: Taille des alvéoles; qui sont corrélés négativement avec le Groupe 1.

✓ **Axe 1 (B) :**

- **Groupe 1 (positive):**, GD: Goût de Datte, GS: Goût Sucré, IOD: Intensité d'Odeur de Datte et HD: Homogénéité de Distribution.
- **Groupe 2 :** CM: Couleur Marron, CSD: Collant sous la Dent et AS: Aspect Spongieux; qui sont corrélés négativement avec le Groupe 1.

✓ **Axe 2 (B) :**

- **Groupe 1 (positive):** GD: Goût de Datte, CSD: Collant Sous la Dent, TA: Taille des Alvéoles et CRSD: Croquant Sous la Dent.
- **Groupe 2:** HD: Homogénéité de Distribution, IOD: Intensité d'Odeur de Datte CM: Couleur Marron, AS: Aspect Spongieux, GS: Goût Sucré; qui sont corrélés négativement avec le Groupe 1.

10.3. Optimisation

L'optimisation du volume, du poids après cuisson et du volume spécifique des crêpes formulées par des poudres composites comprenant la semoule et la poudre de résidu de datte lyophilisée et obtenue par séchage convectif a été étudié.

Les courbes de niveau du meilleur volume spécifique, la méthodologie de surface de réponse et les courbes de niveau d'optimisation des crêpes Algériennes enrichies en fonction de poids et de volume sont présentés dans les figures 60-65.

● Crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée

Les résultats du plan central composite de deux facteurs (V et P_{ApC}) des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée sont indiqués dans le tableau 45.

Equation de régression :

$$VS (cm^3/g) = -21,11 + 0,880 P(g) + 0,0299 V(cm^3) - 0,00905 P(g)*P(g) - 0,000469 V(cm^3)*V(cm^3) + 0,00000 P(g)*V(cm^3) \quad (28)$$

Tableau 45. Résultats du plan central composite de deux facteurs (V et P_{ApC}) des crêpes Algériennes enrichies (CAPRD (SL)).

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	P (g)	V (cm ³)	VS (cm ³ /g)
1	1	1	1	48,67	27,26	0,51
2	2	1	1	53,37	27,26	0,51
3	3	1	1	48,67	36,5	0,75
4	4	1	1	53,37	36,5	0,75
5	5	-1	1	47,70	31,88	0,7
6	6	-1	1	54,34	31,88	0,7
7	7	-1	1	51,02	25,35	0,51
8	8	-1	1	51,02	38,41	0,7
9	9	0	1	51,02	31,88	0,7
10	10	0	1	51,02	31,88	0,7
11	11	0	1	51,02	31,88	0,7
12	12	0	1	51,02	31,88	0,7
13	13	0	1	51,02	31,88	0,7

P (g): Poids après cuisson, V (cm³): Volume, VS (cm³/g) : Volume Spécifique

Le volume spécifique des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée varie entre des valeurs <0,48 jusqu'aux valeurs >0,72 cm³/g.

La courbe de niveau du volume spécifique des crêpes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée illustre la zone maximale pour des valeurs supérieures à $0,72 \text{ cm}^3/\text{g}$, avec un volume entre $31,88$ et $38,41 \text{ cm}^3$ et un poids de $47,70$ à $54,34 \text{ g}$.

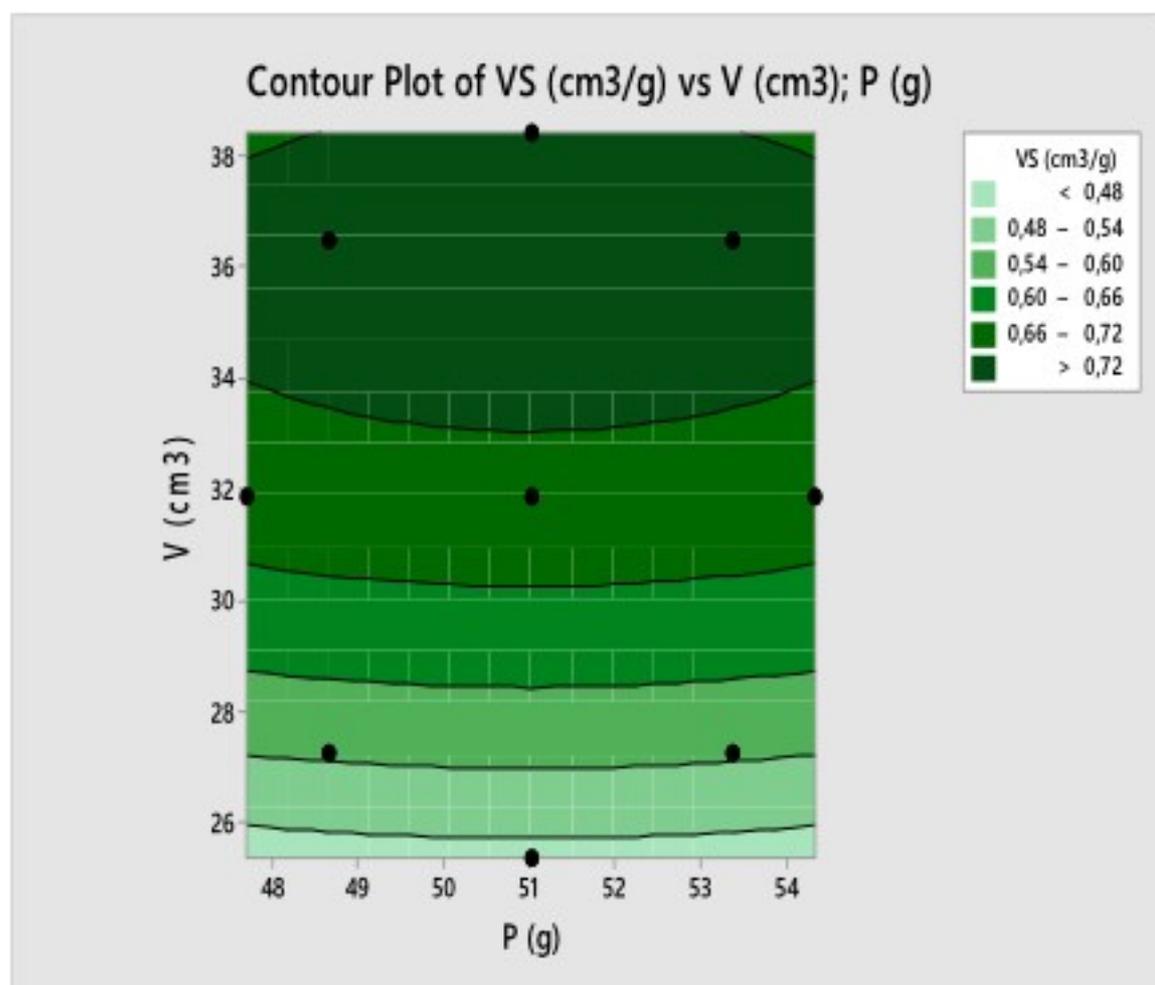


Figure 60. Courbe de niveau du meilleur volume spécifique des crêpes Algériennes enrichies en fonction du poids après cuisson et du volume de crêpes.

La surface de réponse du volume spécifique des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée (figure 61), montre une évolution du volume spécifique de $0,5$ à $0,7 \text{ cm}^3/\text{g}$.

Le taux de volume spécifique est plus élevé pour des valeurs de volume supérieur à 31 cm^3 pour des taux fixes de poids.

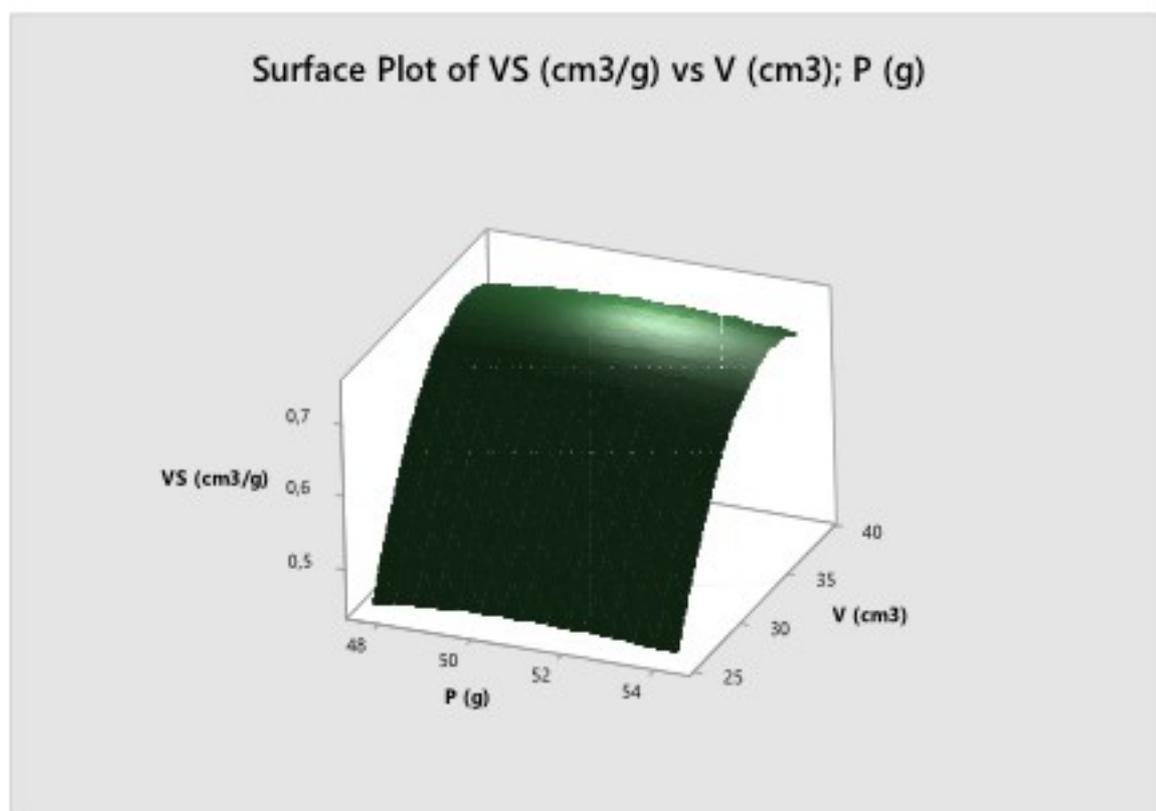


Figure 61. Surface de réponse du volume spécifique des crêpes Algériennes enrichies en fonction du poids après cuisson et du volume des crêpes.

La courbe de niveau d'optimisation (figure 62), permet d'obtenir des valeurs optimales de volume et de poids après cuisson des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte lyophilisée afin d'optimiser le meilleur volume spécifique :

- Valeur optimale V (cm^3) : 29,41
- Valeur optimale PApC (g) : 53, 23

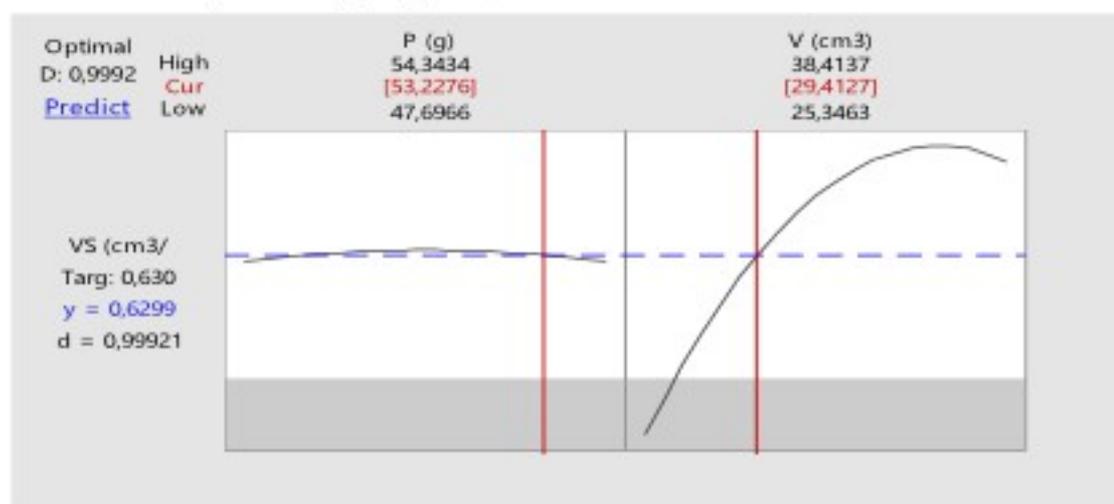


Figure 62. Courbe de niveau d'optimisation du volume spécifique en fonction du poids après cuisson et du volume de crêpe Algérienne enrichie.

● **Crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif**

Les résultats du plan central composite de deux facteurs (V et P_{ApC}) des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif sont présentés dans le tableau 46.

Equation de régression:

$$VS (cm^3/g) = -4,92 + 0,160 P (g) + 0,0801 V (cm^3) - 0,00171 P (g)*P (g) - 0,000655 V (cm^3)*V (cm^3) + 0,000000 P (g)*V (cm^3) \quad (29)$$

Tableau 46. Résultats du plan central composite de deux facteurs (V et P_{ApC}) des crêpes Algériennes enrichies (CAPRD (SC)).

StdOrder	RunOrder	PtType	Blocks	P (g)	V (cm ³)	VS (cm ³ /g)
1	1	1	1	43,09	35,33	1,13
2	2	1	1	50,03	35,33	0,71
3	3	1	1	43,09	60,42	1,13
4	4	1	1	50,03	60,42	0,71
5	5	-1	1	41,65	47,88	1,13
6	6	-1	1	51,47	47,88	0,71
7	7	-1	1	46,56	30,13	1,1
8	8	-1	1	46,56	65,62	1,1
9	9	0	1	46,56	47,88	1,1
10	10	0	1	46,56	47,88	1,1
11	11	0	1	46,56	47,88	1,1
12	12	0	1	46,56	47,88	1,1
13	13	0	1	46,56	47,88	1,1

P(g): Poids après cuisson, V (cm³): Volume, VS (cm³/g) : Volume Spécifique

Le volume spécifique des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif varie entre les valeurs <0,6 jusqu'aux valeurs >1,1 cm³/g.

La courbe de niveau du volume spécifique des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif (figure 63), illustre la zone maximale pour des valeurs supérieures à 1,1 cm³/g, avec un volume entre 30,13 et 65,62 cm³ et un poids de 41,65 à 46,56 g.

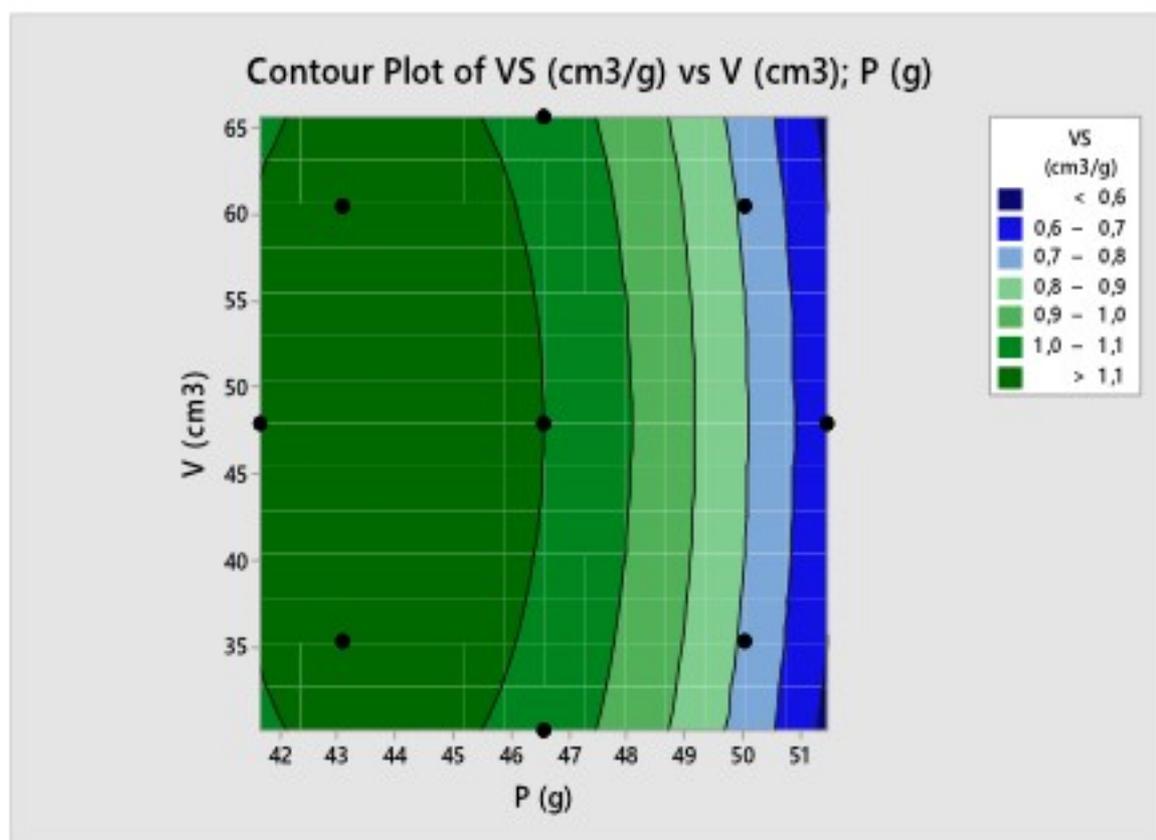


Figure 63. Courbe de niveau du meilleur volume spécifique des crêpes Algériennes enrichies en fonction du poids et du volume de crêpes.

La surface de réponse du volume spécifique des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de dattes obtenue par séchage convectif (figure 64), montre une évolution du volume spécifique de 0,50 à 1,25 cm³/g.

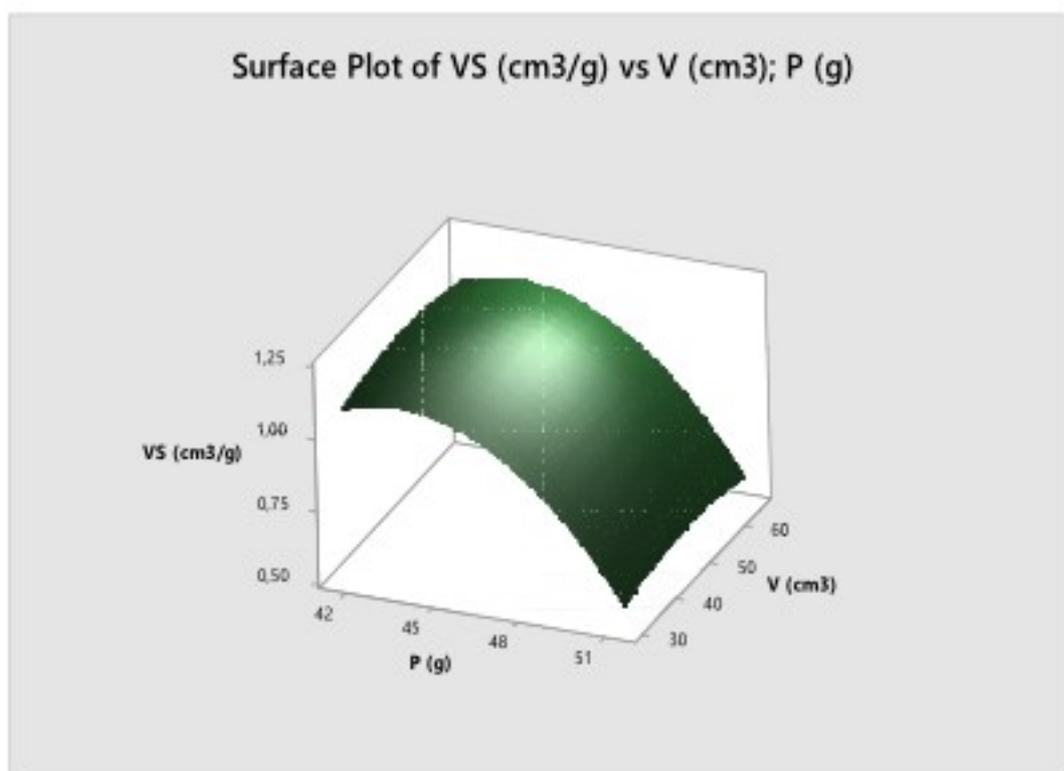


Figure 64. Surface de réponse du volume spécifique des crêpes Algériennes enrichies en fonction du poids après cuisson et du volume de crêpes.

La courbe de niveau (figure 65), permet d'obtenir des valeurs optimales de volume et de poids après cuisson des crêpes Algériennes enrichies en poudre de résidu de datte obtenue par séchage convectif afin d'optimiser le meilleur volume spécifique :

- Valeur optimale V (cm^3) : 59,91
- Valeur optimale PApC (g) : 48,77

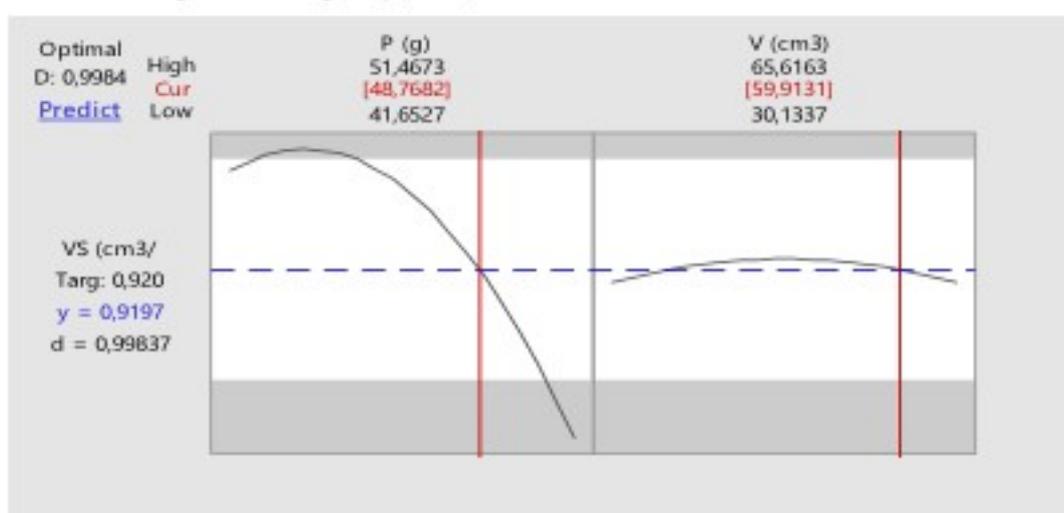


Figure 65. Courbe de niveau d'optimisation du volume spécifique en fonction de poids après cuisson et de volume des crêpes Algériennes enrichies.

Les résultats d'optimisation du volume spécifique des crêpes Algériennes enrichies montrent que les meilleures concentrations pour les poudres de résidus de datte lyophilisée sont celles de 40%, alors que pour les poudres obtenues par séchage convectif sont celles de 20%.

Conclusion

CONCLUSION

Cette étude a permis la caractérisation physique, physicochimique et biochimique de la matière première (la datte Garn Ghzel). La variété Garn Ghzel présente des caractéristiques intéressantes ; teneur en eau $11,07 \pm 1,18$ %, teneur en sucres totaux $78,96 \pm 3,28$ %, teneur en polyphénols totaux $327,38 \pm 23,15$ mg EAG/100g et teneur en flavonoïdes $47,33 \pm 0,00$ mg EQ/100g.

Les résultats les plus importants obtenus dans ce travail sont :

- *La production des poudres de pulpe, de résidu ainsi que le sirop de la variété de datte Garn Ghzel ;*
- *Les poudres de datte ont été obtenues par deux méthodes de séchage (lyophilisation et séchage convectif) ;*
- *Le processus de séchage par la lyophilisation et le séchage convectif de la pulpe et de résidu d'extraction de sirop de datte a été modélisé avec cinq modèles expérimentaux (Newton, Page, Henderson et Papis, Logarithmique et Wang et Singh). Les résultats montrent que Page et Logarithmique sont les meilleurs modèles pour la modélisation de la cinétique de séchage par la lyophilisation et par séchage convectif de la pulpe et du résidu de datte avec le coefficient de détermination le plus élevé R^2 (0,9635), R^2 (0,9987) et R^2 (0,944), R^2 (0,98277) et le chi-square le plus faible χ^2 (0,000021), χ^2 (0,000052) et χ^2 (0,00002), χ^2 (0,00020) respectivement. La loi de Fick a été utilisée pour déterminer la diffusivité effective de la teneur en eau de la pulpe et des résidus de datte lyophilisés et séchés par convection avec $9,74 \times 10^{-11}$; $5,15 \times 10^{-11}$ et $1,09 \times 10^{-9}$; $7,76 \times 10^{-11}$ m²/s respectivement ;*
- *La caractérisation des poudres de pulpe et de résidu de datte de la variété Garn Ghzel, par l'analyse des propriétés physicochimiques, fonctionnelles et biochimiques montre que les poudres de pulpe ou de résidu de datte obtenues présentent des propriétés différentes selon le type de poudre et la méthode de séchage ;*
- *Les mélanges des poudres ((FO/PRD (SL, SC)) et (S/PRD (SL, SC)) utilisées dans la préparation de pain d'orge et des crêpes Algériennes ont été analysées en termes de caractéristiques physicochimiques et fonctionnelles. L'analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée.*

- Le pain d'orge a été préparé avec des taux d'incorporation de 0%, 5%, 10%, 15% et 20% de poudre de résidu de datte lyophilisée et obtenue par séchage convectif ;
- Les crêpes Algériennes ont été préparées avec des taux d'incorporation de 0%, 20%, 30% et 40% de poudre de résidu de datte lyophilisée et obtenue par séchage convectif ;
- Les caractéristiques physicochimiques et biochimiques des pains d'orge et des crêpes Algériennes enrichies ont été évaluées ;
- L'évaluation de la qualité sensorielle des pains d'orge et des crêpes Algériennes obtenues montre que tous les produits sont acceptables en terme d'apparence/forme, couleur de la croûte, couleur brune, mastication, arôme de datte, acceptabilité générale pour le pain et d'homogénéité de répartition, goût sucré, goût de datte, couleur brune, aspect spongieux, collant sous la dent, croquant sous la dent, taille des alvéoles et intensité d'odeur de datte pour les crêpes Algériennes ;
- La méthode d'analyse en composantes principales (ACP) a été utilisée pour déterminer la corrélation des variables physicochimiques, biochimiques et des attributs sensoriels des produits obtenus ;
- Les résultats d'optimisation du volume spécifique du pain d'orge et des crêpes Algériennes enrichies montrent que les meilleures concentrations en poudre de résidu de datte lyophilisées sont 20% et 40 % alors que pour les poudres obtenues par séchage convectif sont 10% et 20%, utilisées pour la formulation des pains d'orge et des crêpes Algériennes enrichies respectivement.

Les résultats de cette étude montrent qu'il est possible de développer des produits céréaliers avec des poudres de résidu d'extraction de sirop de la variété de datte sèche Garn Ghzel.

En perspective, ce travail mérite l'investigation des axes suivants:

- Étude de la valorisation d'autres variétés de datte ;
- Application d'autres méthodes de séchage ;
- Étude de la granulométrie des différentes poudres obtenues ;
- Étude de la rhéologie et de la stabilité microbiologique des pâtes obtenues ;
- Étude de la texture et de la valeur nutritive des produits obtenus.

Références bibliographiques

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- AACC, 1995.** Approved methods of the American Association of Cereal Chemists.10 ed. Method 44-15A, 44-13, 08-01, 30-10 and 32-10. The Association: St. Paul, MN.
- AACC, 2000.** International Method 10-05, Guidelines for Measurement of Volume by Rapeseed Displacement. Approved method of the American Association of Cereal Chemists, The Association: St. Atwater W.O., Benedict F., Bryant A., Smith A. (1899). Experiments on the metabolism of matter and energy in the human body. Washington, DC: Office of Experiment Stations Bulletin.
- Abbès F., Bouaziz M.A., Blecker Ch., Masmoudi M., Attia H. et Besbes S., 2011.** Date syrup: Effect of hydrolytic enzymes (pectinase/cellulase) on physicochemical characteristics, sensory and functional properties. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 1827-1834.
- Abdelfattah K., 1989.** Quelques aspects de l'économie dattière en Tunisie. Séminaire sur "les systèmes agricoles oasiens". Les cahiers de la recherche développement N°22. pp 44-56.
- Abonyi B.I., Feng B.I., Edwards C.G. et Tang J., 2002.** Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window system. *Journal of Food Science*, 67, 1051-1056.
- Acourene S. et Tama M., 1997.** Caractérisation physicochimique des principaux cultivars de datte de la région des Zibans. *Recherche Agronomique*, N° 1. Ed. INRAA, Alger .59-66p.
- Aït Ameer 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.
- Alakali J. S., Kucha C.T. et Rabiou I.A., 2015.** Effect of drying temperature on the nutritional quality of *Moringa oleifera* leaves. *African Journal of Food Science*, 9(7), 395-399.
- Al-Jasass F.M., Siddiq M. et Sogi Dalbir S., 2015.** Antioxidants Activity and Color Evaluation of Date Fruit of Selected Cultivars Commercially Available in the United States. *Advances in Chemistry*, 1-6.
- Alhamdan A., Hassan B., Alkahtani H., Abdelkarim D. et Younis M., 2015.** Cryogenic freezing of fresh date fruits for quality preservation during frozen storage. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 1-8.

- Alhamed Y.A., 2009.** Adsorption kinetics and performance of packed bed adsorber for phenol removal using activated carbon from dates' stones. *J. Hazard. Mater.*, 170, 763-770.
- Alsenaien W.A., Alamer R.A., Tang Z.X., Albahrani S.A., Al-Ghannam M.A. et Aleid S.M., 2015.** Substitution of sugar with dates powder and dates syrup in cookies making. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 8(1): 8-13.
- Al-Shahib W. et Marshall R.J., 2003.** The fruit of the date palm: it's possible use as the best food for the future?. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, (54): 247-259.
- Ameh M.O., Gernah D.I. et Igbabul B.D., 2013.** Physico-Chemical and sensory evaluation of wheat bread supplemented with stabilized undefatted rice bran. *Food and Nutrition Sciences*, 4, 43-48.
- Amellal née Chibane H., 2008.** Aptitude technologique variétés communes de dattes: formulation d'un yaourt naturellement sucré et aromatisé. Thèse de Doctorat en technologies alimentaires. Faculté des sciences de l'ingénieur. Université M'hamed Bougara de Boumerdes, Algérie. 186p.
- Amellal-Chibane H. et Benamara S., 2011.** Total contents of major minerals in the nature yoghurt and in the yoghurts with the date powder of three dry varieties. *American Journal of Food and Nutrition*, 1(2): 74-78.
- Amorsi G., 1975.** Le palmier dattier en Algérie. Options Méditerranéennes No25, Tlemcen. 126p.
- Arshid Z., Majeed M., Pasha I., Usman Khan M., Shariati M.A. et Pigorev I., 2018.** Development and characterization of barely supplemented flavored chapatti. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1): 96-104.
- Asami DK., Hong YJ., Barrett D.M. et Mitchell AE., 2003.** Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 1237-1241.
- Bacha A., 2008.** Production et étude de l'activité de l'invertase produite par la levure *Saccharomyces cerevisiae* sur substrat a base de datte. Mémoire de Magister en technologie alimentaire. Faculté des Sciences, Département d'Agronomie. Université EL Hadj Lakhdar - Batna 1-, Algérie. 98p.
- Bakare A.H., Osundahunsi O.F. et Olusanya J.O., 2016.** Rheological, baking, and sensory properties of composite bread dough with breadfruit (*Artocarpus communis Forst*) and wheat flours. *Food Science and Nutrition*, 4(4): 573-587.

- Baliga M.S., Baliga B.R.V. et Kandathil S.M., 2011.** A review of the chemistry and pharmacology of the date fruits (*Phoenix dactylifera L.*). *Food Research International*, 44, 1812-1822.
- Baljeet S.Y., Ritika B.Y. et Reena K., 2014.** Effect of incorporation of carrot pomace powder and germinated chickpea flour on the quality characteristics of biscuits. *International Food Research Journal*, 21(1): 217-222.
- Banusha S. et Vasantharuba S., 2014.** Preparation of wheat-malted flour blend biscuit and evaluation of its quality characteristics. *Am-Euras. Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 14 (5): 459-463.
- Barkouti A., 2012.** Agglomération humide de poudres à réactivité de surface – Approche mécanistique de la morphogénèse de structures alimentaires agglomérées. Thèse de Doctorat en génie des procédés. Université Montpellier II. 1-189 p.
- Bellaouchi R., Ghomari I., Hasnaoui A., Hakkou A., Bechchari A., Chihib N.E. et Asehraou A., 2017.** Physico-chemical and microbial properties of undervalued dates and processed dates by-products in Morocco. *International Food Research Journal*, 24(3): 963-969.
- Ben Abdallah A., 1990.** La phœniciculture. Option méditerranéenne, 11: 105-120.
- Benahmed Djilali A., Benamara S., Saidi N. et Meksoud A., 2011.** Preliminary characterization of food tablets from date (*Phoenix dactylifera L.*) and spirulina (*Spirulina sp.*) powders. *Powder Technology*, 208, 725-730.
- Benahmed Djilali A., 2012.** Analyse des aptitudes technologiques de poudres de dattes (*Phoenix-dactylifera.l*) améliorées par la spiruline. Etude des propriétés rhéologiques, nutritionnelles et antibactériennes. Thèse de Doctorat en technologie alimentaire. Université de Boumerdès, Algérie. 119 p.
- Benamara S., Chibane H., Boukhelifa M., 2004.** Essai de formulation d'un yaourt naturel aux dattes. *Revue Industrie Agricole et Alimentaire. Actualités techniques et scientifiques*, N° ½ mensuel, pp11-14.
- Benmeddour Z., Mehinagic E., Le Meurlay D. et Louaileche H., 2013.** Phenolic composition and antioxydant capacities of ten Algerian date (*Phoenix dactelifera L.*) cultivars; A comparative study. *Journal of functional foods*, 5, 346-354.
- Bessah R. et Touzi A., 2001.** Production de protéines d'organismes unicellulaires (P.O.U) à partir des déchets de dattes. *Revue des Energies Renouvelables: Production et Valorisation – Biomasse*, 37-40.

- Borchani Ch., Besbes S., Blecker Ch., Masmoudi M., Baati R. et Attia H., 2010.** Chemical properties of 11 date cultivars and their corresponding fiber extracts. *African Journal of Biotechnology*, 9(26): 4096-4105.
- 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.
- Boughnou A., 1988.** Essai de production de vinaigre à partir de déchets de dattes. Thèse Magister. INA. El Harrach, Alger. 82p.
- Boukhiar A., 2009.** Analyse du processus traditionnel d'obtention du vinaigre de dattes tel qu'appliqué au sud algérien: essai d'optimisation. Mémoire de Magister, Université de Boumerdes, Algérie, 102 p.
- Boulal A., 2017.** Contribution à l'étude de la microflore des dattes conservées par des méthodes traditionnelles (Btana), et valorisation des dattes de faible valeur marchande. Thèse de Doctorat. Faculté des sciences de la nature et de la vie. Département de biologie. Laboratoire de microbiologie appliquée. Université d'Oran 1 Ahmed Ben Bella, Algérie. 199p.
- Bouziane K., 2014.** Pates sans gluten pour malades cœliaques Algériens: comportement rhéologique et aptitude culinaire de pâte liquide : type crêpe. Mémoire de Magister en sciences alimentaires, I.N.A.T.A-A. Département de technologie alimentaire. Université Constantine -1-, Algérie. 102p.
- Buelguedj M., 2001.** Caractéristiques des cultivars de dattes dans les palmeraies du sud Est Algérien, N°11, INRAA, El-Harrach, Alger, 289p.
- Buelguedj M., 2002.** Les ressources génétiques du palmier dattier : caractéristiques des cultivars de dattier dans les palmeraies du Sud-Est Algérien. Revue annuelle de l'INRAA N°1-289p.
- Calín-Sánchez A., Kharaghani A., Lech K., Figiel A., Carbonell-Barrachina A.A. et Tsotsas E., 2014.** Physical and sensory properties of chokeberry fruits dried with different methods. 19th International Drying Symposium (IDS 2014), Lyon, France, August 24-27.
- Chakkaravarthi A., Math R.G., Walde S.G. et Rao D.G., 1993.** Grinding characteristics of carrots. *Journal of Food Engineering*. 20(4), 381-389.
- Chan E.W.C., Lim Y.Y., Wong S.K., Lim K.K., Tan S.P., Lianto F.S. et Yong M.Y., 2009.** Effects of different drying methods on the antioxidant properties of leaves and tea of ginger species. *Food Chemistry*, 113, 166-172.

- Chandrasekaran M. et Bahkali A.H., 2013.** Valorization of date palm (*Phoenix dactylifera*) fruit processing by-products and wastes using bioprocess technology – Review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 20, 105-120.
- Chehema A. et Longo HF., 2001.** Valorisation des sous-produits du palmier dattier en vue de leur utilisation en alimentation du bétail. *Revue des Energies Renouvelables: Production et Valorisation – Biomasse*, 59-64.
- Crank J., 1975.** The mathematics of diffusion. Second ed. Oxford, London W.I.
- Darshan Punia V., 2016.** Sensory characteristics and nutrient composition of biscuits prepared by using seed powder of date fruit (*Phoenix Dactylifera*). *International Journal of Food Science and Nutrition*, 1(2): 01-03.
- Djerbi M., 1994.** Le précis de phoeniciculture. Ed. FAO, Rome : 52-58.
- Djouab A., 2007.** Préparation et incorporation dans la margarine d'un extrait de dattes des variétés sèches. Mémoire de Magister en génie alimentaire faculté des sciences de l'ingénieur. Département de technologie alimentaire. Université M'hamed Bougara Boumerdes, Algérie. 148p.
- Djouab A., Benamara S., Gougam H., Amellal H. et Hidous K., 2016.** Physical and antioxidant properties of two Algerian date fruit species (*Phoenix dactylifera L. and Phoenix canariensis L.*). *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 28(9): 601-608.
- Djoudi I., 2013.** Contribution à l'identification et à la caractérisation de quelques accessions du palmier dattier (*Phoenix Dactylifera.l*) dans la région de Biskra. Mémoire de Magister en sciences agronomiques. Département des sciences agronomiques. Université Mohamed Kheider Biskra, Algérie. 141p.
- Doukani K., 2015.** Comparative study between industrial couscous and acorn-based couscous. *Nature and Technology. B- Agronomic and Biological Sciences*, 13, 1-11.
- Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Rebers P.A. et Smith F., 1956.** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 23(3): 350-356.
- Ehiem J., Chinaka E. et Akachukwu B., 2014.** Determination of drying characteristics and Kinetics of bitter Kola (garcinia Kola) using page's model. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 16(4), 278-284.
- El-Nagga E.A. et Abd El-Tawab Y.A., 2012.** Compositional characteristics of date syrup extracted by different methods in some fermented dairy products. *Annals of Agricultural Science*, 57(1): 29-36.

- El Nemr Ahmed, Khaled Azza, Abdelwahab Ola, Amany El-Sikaily, 2007.** Treatment of wastewater containing toxic chromium using new activated carbon developed from date palm seed. *Journal of Hazardous Materials*, 152(1), 263-275.
- Erbay Z. et Icier F.A., 2009.** Review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results. *Food Science & Nutrition*, 50, 441-464.
- Ergun K., Caliskan G. et Dirim S.N., 2014.** Determination of the freeze drying kinetics of kiwi (*actinidia deliciosa*) puree with and without the addition of maltodextrin. 19th International Drying Symposium, August 24-27, Lyon, France, 1-4.
- Espiard E., 2002.** Introduction à la transformation industrielle des fruits. Ed. Tech et Doc-Lavoisier, 360p.
- Estanove P., 1990.** Note technique : Valorisation de la datte. In Options méditerranéennes, série A, N°11. Systèmes agricoles oasiens. Ed. Ciheam. pp 301-318.
- Fahloul D., Benmadi F. et Boudraa S., 2009.** Estimation de la diffusivité massique et cinétique de séchage sous vide de la pomme de terre (variété *Spunta*). *Revue des Energies Renouvelables*, 12, 655-665.
- Fahloul D., Abdedaim M. et Trystram G., 2010.** Heat, mass transfer and physical properties of biscuits enriched with date powder. *Journal of Applied Sciences Research*, 6(11): 1680-1686.
- Favier J.C., Ireland R.J., Laussucq C. et Feinberg M., 1993.** Répertoire général des aliments. Table de composition des fruits exotiques, fruits de cuirettes d'Afrique. Tome III, Ed. ORSTOM Edition, Lavoisier, INRA Editions, 27-28.
- Favier J.C., Ireland R.J., Toque C. et Feinberg M., 1995.** Répertoire général des aliments. Ed. Tec et Doc-Lavoisier, INRA Editions, CNEVA et CIQUAI, 897 p.
- Feldman M., 1976.** Taxonomie classification and names of wild, cul and moderne cultivated wheats. Evolution of plants. Longman, London, 120-128.
- Ganbi H.H.A., 2012.** Production of nutritious high quality date (*Phoenix dactylifera*) fruits syrup (Dibs) by using some novel technological approaches. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(3): 1524-1538.
- Ghnimi S., Almansoori R., Jobe B., Hassan MH. et Afaf KE., 2015.** Quality evaluation of coffee-like beverage from date seeds (*Phoenix dactylifera*, L.). *Journal of Food Processing & Technology*, 6(12): 1-6.
- Goula Athanasia M. et Adamopoulos Konstantinos G., 2004.** Spray drying of tomato pulp: effect of feed concentration. *Journal of Food Engineering*, 22(10): 2309-2330.
- Goupy J. et Creighton L., 2006.** Introduction aux plans d'expériences. Edition: Donud. 336p.

- Gourchala F., 2015.** Caractérisation physicochimique, phytochimique et biochimique de cinq variétés de dattes d'Algérie, *Phoenix dactylifera L.* (Deglet noor, Ghars, H'mira, Tamesrit et Tinissine). Effets de leur ingestion sur certains paramètres biologiques (Glycémie, profil lipidique, index glycémique et pression artérielle). Thèse de Doctorat en biochimie. Université Badji Mokhtar – Annaba, Algérie. 88p.
- Gurak P.D., De Bona G.S., Tessaro I.C. et Marczak L.D.F., 2014.** Jaboticaba pomace powder obtained as a co-product of juice extraction: A comparative study of powder obtained from peel and whole fruit. *Food Research International*, 62, 786-792.
- Halaby M.S., Farag M.H. et Gerges A.H., 2014.** Potential effect of date pits fortified bread on diabetic rats. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(2): 49-59.
- Hanachi S., Khitri D., Benkhalifa A., Brac De Perriere R.A., 1998.** Inventaire variétal de la palmeraie algérienne. Ed. ANEP. Alger-Algérie, 225p.
- Hariri A., Ouis N. et Bouhadi D., 2017.** Effect of substitution of sugars by date powders variety H'lowaon the quality of the soft drinks. *Journal of Applied Biotechnology & Bioengineering*, 3(6): 450-457.
- Hasnaoui A., Elhoumaizi M.A., Hakkou A., Wathelet B. et Sindic M., 2011.** Physico-chemical characterization, classification and quality evaluation of date palm fruits of some Moroccan cultivars. *Journal of Scientific Research*, 3(1): 139-149.
- Henk J., Zwir E. et Rik L., 2003.** Caroténoïde et flavonoïde contre le stress oxydatif. *Aromes ingrédients additives*. N°45. pp 42-45.
- Himeda M., 2012.** Propriétés physico-chimiques et rhéologiques de la farine et de l'amidon de taro (*Colocasia esculenta L. Schott*) variété Sosso du Tchad en fonction de la maturité et du mode de séchage. Thèse de Doctorat en Procédés Biotechnologiques et Alimentaires / Sciences Alimentaires et Nutrition, Docteur de l'Université de Lorraine et Docteur/Ph.D. de l'Université de Ngaoundéré, 246 p.
- Iguergaziz N., 2012.** Essai d'élaboration d'un alicament sous forme de comprimés de dates entières et/ou dé-sucrées additionnés d'extrait aqueux des feuilles d'olivier algérien. Mémoire de Magister en génie alimentaire. Option: technologie alimentaire. Faculté science d'ingénieur. Université Boumerdès, Algérie. 88p.
- Ishida P.M.G. et Steel C.J., 2014.** Physicochemical and sensory characteristics of pan bread samples available in the Brazilian market. *Food Science and Technology, Campinas*, 34 (4): 746-754.
- Ixtaina V.Y., Nolasco S.M. et Tomás M.C., 2008.** Physical properties of chia (*Salvia hispanica L.*) seeds. *Ind. Crop Prod.*, 28: 286-293.

- İzli G., 2016.** Total phenol cs, antioxidant capacity, color and drying characteristics of date fruit dried with different methods. *Food Science and Technology (Campinas)*, 1-9.
- Kaidi F. et Touzi A., 2001.** Production de bioalcool à partir des déchets de dattes. *Revue des Energies Renouvelables: Production & Valorisation – Biomasse*, 75-78.
- Kârklîòa D., Gedrovica I., Reça M. et Kronberga M., 2012.** Production of biscuits with higher nutritional value. *Proceeding of the Latvian Academy of Sciences*, 66(3): 1-4.
- Kau W.C., Chin S.K., Tan D.T. et Poh P.E., 2014.** Drying characteristics and quality evaluation of mixed culture mesophilic sludge under hot air and heat pump drying method, 19th International Drying Symposium (IDS 2014), Lyon, France, August 24-27, 1-8.
- Kenawi M.A., El Sokkary F.A.H., Kenawi M.N., Assous M.T.M. et Abd El galil Z.A.H., 2016.** Chemical, physical and sensory evaluation of biscuit supplemented with date powder. *Minia Journal of Agricultural Research and Development*, 36(2): 215-227.
- Kendri S., 1999.** Caractéristiques biochimiques de la biomasse "*Saccharomyces cerevisiae*" produite à partir des dattes "variété Ghars". Mémoire d'Ingénieur Agronome. Département d'agronomie Batna, 51p.
- Khali M., Boussena Z. et Boutekrabt L., 2015.** Effet de l'incorporation de noyaux de dattes sur les caractéristiques technologiques et fonctionnelles de la farine de blé tendre. *Revue « Nature & Technologie ». B- Sciences Agronomiques et Biologiques*, 12, 16-26.
- Koç M. et Kaymak-Ertekin F., 2014.** Effect of spray drying conditions on hydroxymethylfurfural content and physical properties of honey powder. *19th International Drying Symposium (IDS 2014)*, Lyon: France, 1-7.
- Kohajdová Z., Karovičová J. et Jurasová M., 2012.** Influence of carrot pomace powder on the rheological characteristics of wheat flour dough and on wheat rolls quality. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 11(4): 381-387.
- Kouidri A. et Meribai A., 2014.** Contribution to the valorization of the "Mech - Degla" date flour incorporated in artisanal couscous. *ISITES2014 Karabuk – Turkey*, 127-133.
- Kulkarni S.G., Vijayanand P., Aksha M., Reena P. et Ramana K.V.R., 2008.** Effect of dehydration on the quality and storage stability of immature dates (*Phoenix dactylifera*). *LWT- Food Science and Technology*, 41, 278-283.
- Kwaasi A.A.A., 2003.** Date palm and sandstorm-borne allergens. *Clin Exp Allergy*, 33: 419-426.
- Laurent L., 1991.** Eléments minéraux. In: Multon J.L. techniques d'analyse et de contrôle dans les industries agro-alimentaires. Tome 4. Analyse des constituants alimentaires. Ed. Tec&Doc-Lavoisier. Paris, 450p.

- Lekbir A., 2016.** Evolution des composés phénoliques et des paramètres biochimiques de trois variétés de datte (*Phoenix dactylifera L.*) au cours de différents stades de maturation. Thèse de Doctorat sciences en technologie alimentaire. Département de technologie alimentaire. Université Batna-1- Hadj Lakhdar, Batna, Algérie. 187p.
- Mahendran T., 2010.** Physico-chemical properties and sensory characteristics of dehydrated guava concentrate: effect of drying method and maltodextrin concentration. *Tropical Agricultural Research and Extension*, 13(2): 49-54.
- Majzoubi M., Mansouri H., Mesbahi Gh., Farahnaky A. et Golmakani M.T., 2016.** Effects of sucrose substitution with date syrup and date liquid sugar on the physicochemical properties of dough and biscuits. *Journal of Agricultural and Science Technology*, 18(3): 643-665.
- Manickavasagan A., Thangavel K., Dev S.R.S., Aniesrani Delfiya D.S., Nambi Orsat E.V. et Raghavan G.S.V., 2015.** Physicochemical characteristics of date powder produced in a pilot scale spray dryer. *Drying Technology*, 33, 1114-1123.
- Mansouri A., Embarek G., Kokkalou E. et Kefalas P., 2005.** Phenolic profile and antioxidant activity of the Algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*). *Food Chemistry*, 89, 411-420.
- Marques LG., Prado MM. et Freire JT., 2011.** Vitamin C content of freeze-dried tropical fruits. *International Congress on Engineering and Food*, Athens: Greece, 1-6.
- Matallah M., 1970.** Contribution à la valorisation de la datte algérienne. Mémoire d'ingénieur agronome, INA. El Harrach, Alger, 113p.
- Messaïd Habiba, 2008.** Optimisation du processus d'immersion - rehydratation du système dattes sèches - jus d'orange. Mémoire de Magister en génie alimentaire, université M'Hamed Bouguera-Boumerdes, Algérie. 109p.
- Messaoudi A. et Fahloul D., 2018.** Physicochemical and sensory properties of pancake enriched with freeze dried date pomace powder. *Annals. Food Science and Technology*, volume 19, issue 1, 59-68.
- Messar E.M., 1996.** Le secteur phoenicicole algérien: Situation et perspectives à l'horizon 2010. Option Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens : n° 28.
- Micha P., 2005.** Physical properties of food powders. *Food Engineering*, 1, 1-9.
- Mimouni Y., 2015.** Développement de produits diététiques hypoglycémisants à base de dattes molles variété «Ghars», la plus répandue dans la cuvette de Ouargla. Thèse de Doctorat en sciences biologiques. Université de Ouargla, Algérie. 169p.

- Mistrello J., Sirisenab S.D., Ghavamic A., Marshall R.J. et Krishnamoorthy S.,** Determination of the antioxidant capacity, total phenolic and flavonoid contents of seeds from three commercial varieties of culinary dates. *International Journal of Food Studies*, 3, 34-44.
- Mohd. Jusoh Y.M., Chin N.L., Yusof Y.A. et Abd. Rahman R., 2008.** Bread crust thickness estimation using L a b colour system. *Pertanika Journal of Science & Technology*, 16 (2): 239-247.
- Mrabet A., Ferchichi A., Chaira N. et Ben salah M., 2008.** Physico-chemical characteristics and total quality of date palm varieties grown in the southern of Tunisia. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11(7): 1003-1008.
- Mrabet A., Rodríguez-Gutiérrez G., Rodríguez-Arcos R., Guillén-Bejarano R., Ferchichi A., Sindic M. et Jiménez-Araujo A., 2016.** Quality characteristics and antioxidant properties of muffins enriched with date fruit (*Phoenix dactylifera L.*) fiber concentrates. PostPrint of *journal of food quality*, DOI: 10.1111/jfq.12194.
- Munier P., 1973.** Le palmier dattier. Paris: Ed. Maison-neuve, 217 p.
- Nag S. et Dash K.K., 2016.** Mathematical modeling of thin layer drying kinetics and moisture diffusivity study of elephant apple. *International Food Research Journal*, 23(6): 2594-2600.
- Nazni P. et George Sh., 2012.** Optimization of autoclave pumpkin seed bread using response surface methodology. *Elixir Food Science*, 45, 7774-7780.
- Ndangui Ch.B., 2015.** Production et caractérisation de farine de patate douce (*Ipomoeabatatas.Lam*): optimisation de la technologie de panification. Thèse en co-tutelle présentée devant l'Université de Lorraine et l'Université Marien Ngouabi pour obtenir le grade de Docteur en procédés et biotechnologiques alimentaires. 151p.
- Nireesha GR., Divya L., Sowmya C., Venkateshan N., Niranjan Babu M. et Lavakumar V., 2013.** Lyophilization/freeze drying-An Review. *International Journal of Novel Trends in Pharmaceutical Sciences*, 3(4): 87-98.
- Nguyen D.Q., 2014.** Etude comparative expérimentale des opérations d'atomisation et d'auto vaporisation: application à la gomme arabique et au soja. Thèse de Doctorat de l'université de La Rochelle, Discipline: génie des procédés industriels. 212p.
- Noui Y., 2017.** Fabrication et caractérisation des produits alimentaires élaborés à base de datte (*Phoenix dactylifera L.*). Thèse de Doctorat science en technologie alimentaire. Département de technologie alimentaire. Université Batna -1- Hadj Lakhdar, Algérie. 161p.

- Obiegbuna J.E., Akubor P.I., Ishiwu C.N. et Ndife J., 2013.** Effect of substituting sugar with date palm pulp meal on the physicochemical, organoleptic and storage properties of bread. *African Journal of Food Science*, 7(6): 113-119.
- Olubunmi I.Ph., Babatunde K.S., Bolanle O.O., Seyioba S.O., Taiwo L.T., Olukayode O.A. et Nwankego E.G., 2015.** Quality evaluation of fibre-enriched bread. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 4(4): 502-508.
- Omolola Adewale O., Jideani Afam I.O. et Kapila Patrick F., 2015.** Quality properties of fruits as affected by drying operation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, (accept manuscript).
- Osman R.M., Yang T.A., Ahmed A.H.R., Ahmed K.E., Ali M.H. et Khair S.M., 2017.** Optimization of bread baking conditions in superheated steam oven using response surface methodology. *International Journal of Agricultural and Environmental Research*, 3(3): 290-301.
- Ouazib M. Epse Ouldlamara, 2017.** Effet de traitements sur les paramètres nutritionnels et fonctionnels du pois chiche produit localement: impact sur les propriétés rhéologiques, physicochimiques et sensorielles de pain à base de pois chiche. Thèse de Doctorat en sciences des aliments. Faculté des sciences de la nature et de la vie. Département des sciences alimentaires. Université A.MIRA-Bejaia, Algérie. 153p.
- Ould El Hadj M.D., Sebihi A.H. et Siboukeur O., 2001.** Qualité hygiénique et caractéristique physico-chimique du vinaigre traditionnel de quelques variétés de dattes de la cuvette d'Ouargla. *Revue des Energies Renouvelables: Production and Valorisation-Biomasse*, 87-92.
- Pardeshi I.L., Arora S. et Borker P.A., 2009.** Thin-Layer drying of green peas and selection of a suitable Thin-Layer drying model. *Drying Technology*, 27, 288-295.
- Paul P. et Bhattacharyya S., 2015.** Antioxidant profile and sensory evaluation of cookies fortified with juice and peel powder of fresh Pomegranate (*Punica granatum*). *International Journal of Agricultural and Food Science*, 5(3): 85-91.
- Pengy I.E., Fima Kh. et Yann B., 2016.** How to Make the Perfect Pancake. *Mathematics*, 26-29.
- Pérez E. et Pérez L., 2009.** Effect of the addition of cassava flour and beetroot juice on the quality of fettuccine. *African Journal of Food Science*, 3(11): 352-360.
- Petisca C., Henriques A.R., Pérez-Palacios T. et Pinho O., 2013.** Study of hydroxymethylfurfural and furfural formation in cakes during baking in different ovens, using a validated multiple-stage extraction-based analytical method. *Food chemistry*, 141(13): 3349-3356.

- Platat C., Habib H.M., Hashim I.B., Kamal H., AlMaqbali F., Souka U. et Ibrahim W.H., 2015.** Production of functional pita bread using date seed powder. *Journal of Food Science and Technology*, 52(10): 6375-6384.
- Prokopov T., Goranova Z., Baeva M., Slavov A. et Galanakis Ch. M., 2015.** Effects of powder from white cabbage outer leaves on sponge cake quality. *International Agrophysics*, 29, 493-500.
- Rahman M.S., Kasapis S., Al-Kharusi N.S.Z., Al-Marhubi I.M. et Khan A.J., 2007.** Composition characterisation and thermal transition of date pits powders. *Journal of Food Engineering*, 80, 1-10.
- Rajeswari H., Jagadeesh S.L., Suresh G.J., 2018.** Physicochemical and sensory qualities of bread fortified with banana, aonla and sapota powders. *Journal of Nutritional Health and Food Engineering*, volume 8, Issue 6, 487-492.
- Ramón-Jiménez A., García-Villanova B. et Guerra Hernández E., 2000.** Hydroxymethylfurfural and methylfurfural content of selected bakery products. *Food Research International*, 33, 833-838.
- Razi M., 1993.** Contribution à l'étude de la valeur nutritive du jus de datte de quatre variétés molles (Ghars, Itma, Tanslit et Takermoust) en comparaison avec le miel d'abeille. Mémoire d'ingénieur agronome, I.T.A.S. Ouargla, 66p.
- Reis S.F., Rai D.K. et Abu Ghannam N., 2014.** Apple pomace as a potential ingredient for the development of new functional foods. *International Journal of Food Science and Technology*, 49, 1743-1750.
- Rosa C.S., Tessele K., Prestes R.C., Silveira M. et Franco F., 2015.** Effect of substituting of cocoa powder for carob flour in cakes made with soy and banana flours. *International Food Research Journal*, 22 (5): 2111-2118.
- Sablani Shyam S., Shrestha Ashok K. et Bhandari Bhes R., 2008.** A new method of producing date powder granules: Physicochemical characteristics of powder. *Journal of Food Engineering*, 87, 416-421.
- Sacchetti G., Cocco G., Cocco D., Neri L. et Mastrocola D., 2011.** Effect of semolina particle size on the cooking kinetics and quality of spaghetti. *Procedia Food Science*, 1, 1740-1745.
- Sahari M.A., Hamidi-Esfehani Z. et Samadlui H., 2008.** Optimization of vacuum drying characteristics of date powder. *Drying Technology*, 26, 793-797.

- Sakin Abdrabo Shaymaa, 2013.** Analytical methods applied to the chemical characterization and classification of palm dates (*Phoenix dactylifera L.*) from Elche's Palm Grove. Thèse de Doctorat. Département de chimie analytique, nutrition et de science alimentaire. Université d'Alicante. 249p.
- Sakr A.M. et Hussien H.A., 2017.** Nutritional quality of gluten free biscuits supplemented with sweet chickpeas and date palm powder. *International Journal of Food Science and Nutrition*, 2 (1): 128-134.
- Sarabandi K., Peighambardoust S.H. et Shirmohammadi M., 2014.** Physical properties of spray dried grape syrup as affected by drying temperature and drying aids. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(12): 928-934.
- Sassi kh., 2008.** Contribution à l'étude de l'adaptation des cultivars de blé dur (*Triticum durum Desf.*) à l'agriculture biologique : rendement en grains, stabilité et qualité technologique et nutritionnelle. Thèse de Doctorat en sciences agronomiques. Institut National Agronomique de Tunisie. Université du 7 Novembre A Carthage, Tunisie. 171p.
- Semić A., Oručević S., Bauman I., Muminović Š., Spaho N. et Klepo B., 2010.** Effects of increasing sourness of bread dough on bread quality. 5th International Congress FLOUR-BREAD '09, 7th, Croatian Congress of Cereal Technologists, 416-424.
- Schuck P., Dolivet A. et Jeantet R., 2012.** Les poudres laitières et alimentaires techniques d'analyse. Ed. Tec&Doc-Lavoisier. Paris, 102 p.
- Shih F.F., Truong V.D. et Daigle K.W., 2006.** Physicochemical properties of gluten-free pancakes from rice and sweet potato flours. *Journal of Food Quality*, 29, 97-107.
- Shishir M.R.I., Taipa F.S., Aziza N.A. et Taliba R.A., 2014.** Physical properties of spray-dried pink guava (*Psidium guajava*) powder. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 2, 74-81.
- Siboukeur O., 1997.** Qualité nutritionnelle, hygiénique et organoleptique du jus de dattes. Memoire de Magister, INA. El-Harrach, Alger. 106p.
- Singh R.S., Garima P., Bhargava R. et Sharma B.D., 2013.** Utilization of date palm fruits for making delicious biscuits. *Annals of Arid Zone*, 52(2): 125-127.
- Srivastava R. Bousquières J., Cepeda-Vázquez M., Roux S., Bonazzi C. et Rega B., 2017.** Kinetic study of furan and furfural generation during baking of cake models. *Food Chemistry*, 1-8.
- Sun Q., Wang G. et Hu K., 2009.** Some open problems in granular matter mechanics. *Progress in Nature Science*, 19, 523-529.

- Tamboli T.G. et Bhong M.G., 2018.** Review on different drying methods: applications & advancements. *International Journal on Theoretical and Applied Research in Mechanical Engineering (IJTARME)*, 7(1): 33-40.
- Taouda H., Mrani Alaoui M., Errachidi F., Chabir R. et Aarab L., 2014.** Etude comparative des caractéristiques morpho-métriques et biochimiques des dattes commercialisées dans le marché régional de FES / MAROC. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 8, 1-10.
- Taufiq A.M., Yusof Y.A., Chin N.L., Othman S.H., Serikbaeva A. et Aziz M.G., 2015.** Physicochemical properties of tamarind and pineapple fruit pulps and powders. *International Food Research Journal*, 22(2): 707-712.
- Terouzi W. et Oussama A., 2016.** Quantifying roasted date seed coffee in a binary mixture with Arabica coffee by Mid Infrared Spectroscopy and Chemometrics. *IOSR Journal of Applied Chemistry (IOSR-JAC)*, 9(7): 97-103.
- Togrul Y.T. et Pehivan D., 2003.** Modelling of drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering*, 58, 23-32.
- Touzi A., 1997.** Valorisation des produits et sous-produits de la datte par les procédés biotechnologiques. Rapport de synthèse de l'atelier "Technologie et qualité de la datte", CIHEAM - Options Méditerranéennes. 214 p.
- Uba A., Abdullahi M.I., Yusuf A.J., Ibrahim Z.Y.Y., Lawal M., Nasir I. et Abdullahi F.T., 2015.** Mineral profile, proximate and amino acid composition of three dates varieties (*Phoenix Dactylifera L.*). *Der Pharma Chemica*, 7(5):48-53.
- Valdenegro M., Almonacid S., Henríquez C., Lutz M., Fuentes L. et Simpson R., 2013.** The effects of drying processes on organoleptic characteristics and the health quality of food ingredients obtained from goldenberry fruits (*Physalis peruviana*). 2:642 doi: 10.4172/scientificreports.642.
- Venkatachalam Ch.D. et Sengottian M., 2016.** Study on roasted date seed non caffeinated coffee powder as a promising alternative. *Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities*, 6(6): 1387-1394.
- Vijayakumar M.C., Peter D., Bobde H. et John S.M., 2013.** Quality characteristics of cookies prepared from oats and finger millet based composite flour, *Engineering Science and Technology: An International Journal*, 3, 677-683.
- Vilkas M., 1993.** Vitamines. Ed. Hermann, 158p.
- Waldron J., Reyes R. et Legi R., 2016.** The effect of substituting sugar with artificial sweeteners on the texture and palatability of pancakes. *Nutrition*, 453, 1.

- Yahiaoui K., 1998.** Caractérisation physico-chimique et évolution du brunissement de la datte « D-N » au cours de la maturation. Mémoire de Magister, I.N.A, El-Harrach, Alger, 66p.
- Yao A.K., Koffi D.M., Blei S.H., Irié Z.B. et Niamke S.L., 2015.** Biochemical and organoleptic properties of three traditional Ivorian (attiéké, placali, attoukpou) based on native cassava granules. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9(3): 1341-1353.
- Zidani S., Alloui Lombarkia O., Boudraa S. et Saadoudi M., 2017.** Effect of dehydration by microwave on the functional properties of the cultivated apple in Algeria. *Annals. Food Science and Technology*, 18(3): 424-432.

Annexes

Annexe 1: Courbes d'étalonnages

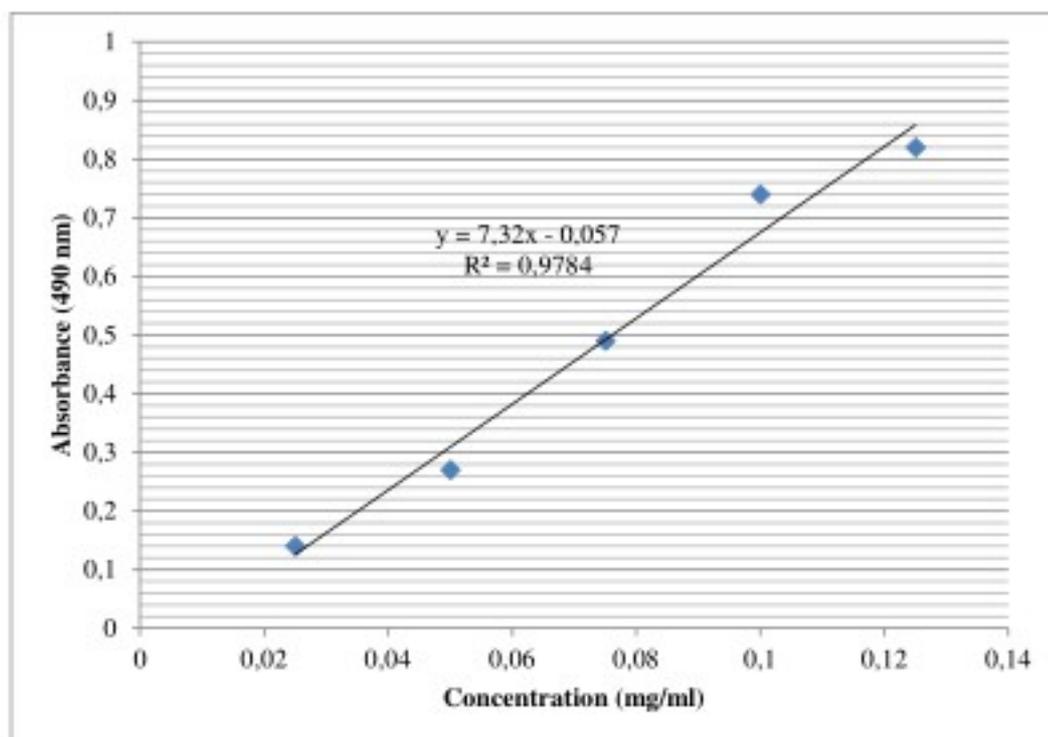


Figure 1. Courbe d'étalonnage du glucose.

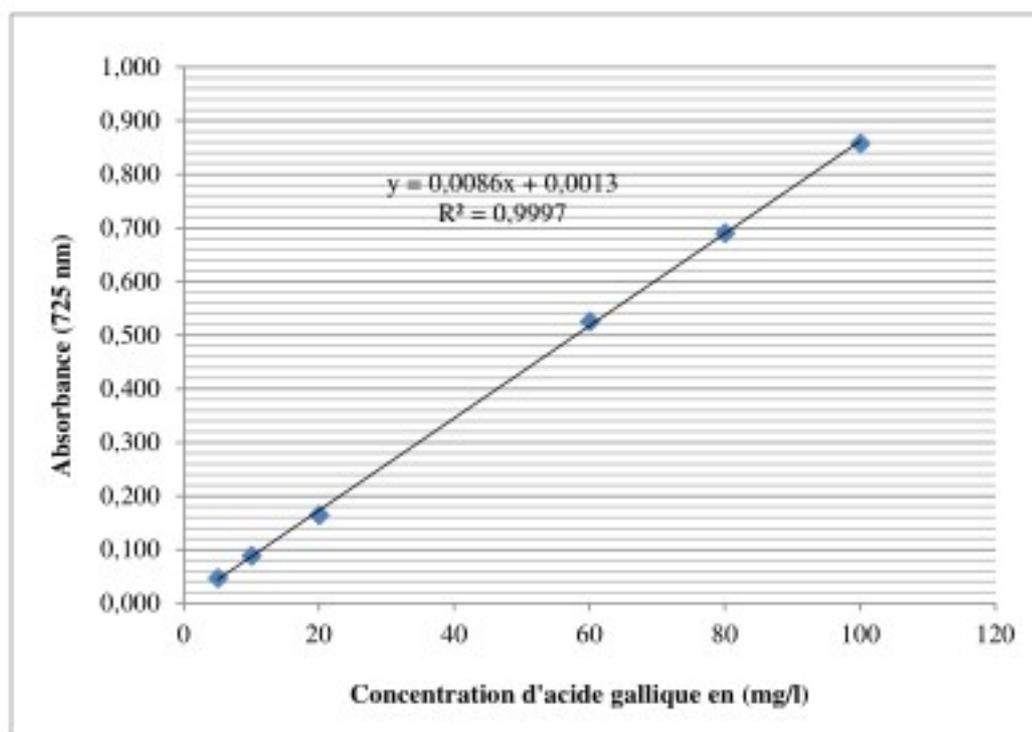


Figure 2. Courbe d'étalonnage d'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux.

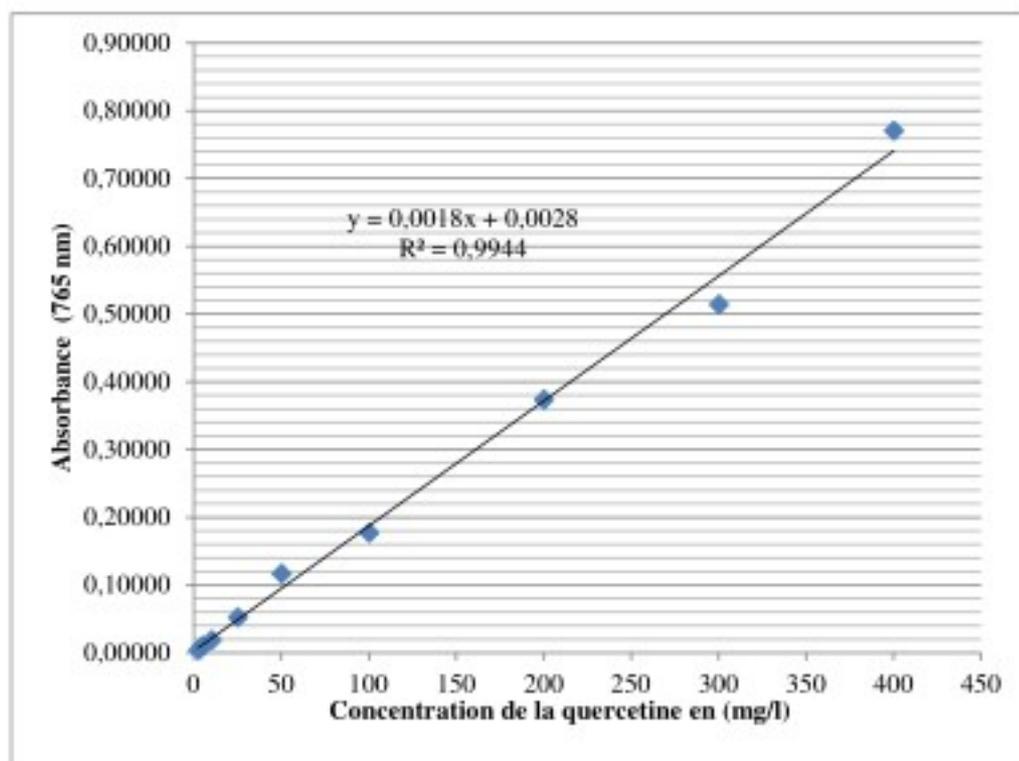


Figure 3. Courbe d'étalonnage des flavonoïdes.

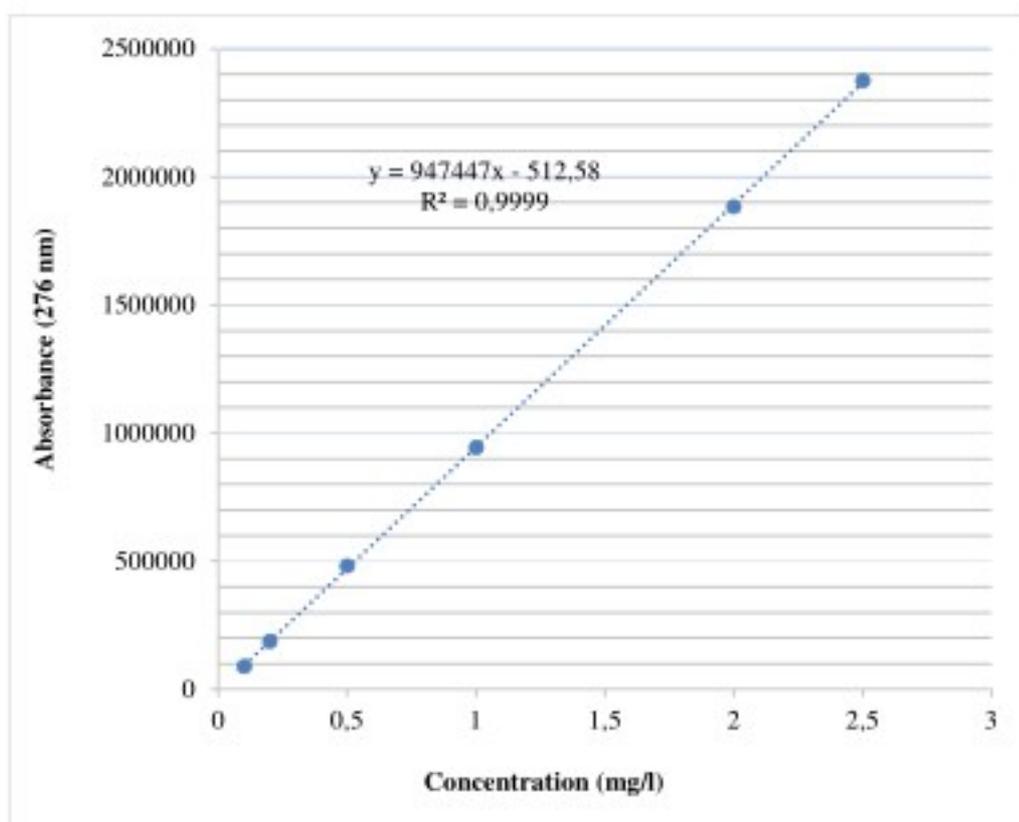


Figure 4. Courbe d'étalonnage des HMF.

Annexe 2: Fiche d'appréciation de pain d'orge enrichi

Veillez nous préciser:

Homme

Femme

Age

Moins de 30 ans

30 à 40 ans

40 à 50 ans

plus de 50 ans

Apparence/forme

Trés peu

Moyen

Homogène

1	2	3	4	5	6	7	8	9

Couleur de la croûte

Trés peu

Moyen

Homogène

1	2	3	4	5	6	7	8	9

Couleur brune

Trés peu

Moyen

Trés dominant

1	2	3	4	5	6	7	8	9

Masticabilité

Trés peu

Moyen

Trés dominant

1	2	3	4	5	6	7	8	9

Arôme de datte

Faible

Moyenne

Grande

1	2	3	4	5	6	7	8	9

Acceptabilité globale

Faible

Moyenne

Grande

1	2	3	4	5	6	7	8	9

Publications

Ce travail a donné lieu à trois publications internationales :

- **Amal Messaoudi, Djamel Fahloul. 2020.** Experimental study of production and characterization of date fruit powders and syrup. *Carpathian Journal of Food Science and Technology*, 12(3), 201-212.

- **Amal Messaoudi, Djamel Fahloul. 2020.** Physico-chemical and sensory properties of barley bread enriched by freeze dried date pomace powder. *Food and Environment Safety*, Volume XIX, Issue 1, pag. 69-75.

- **Amal Messaoudi, Djamel Fahloul. 2018.** Physicochemical and sensory properties of pancake enriched with freeze dried date pomace powder. *Annals. Food Science and Technology*, volume 19, issue 1, pp 59-68.

EXPERIMENTAL STUDY OF PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF DATE FRUIT POWDERS AND SYRUP

Amal Messaoudi¹✉, Djamel Fahloul¹¹Department of Food Technology, Food Sciences Laboratory (LSA), Hadj Lakhdar Batna 1 University, Batna, Algeria.

✉Messaoudi_Amel@live.fr

<https://doi.org/10.34302/crpfjst/2020.12.3.17>**Article history:**

Received:

20 December 2018

Accepted:

15 April 2020

Keywords:

Date;

Functional;

Mathematical modeling;

Physicochemical;

Powders.

ABSTRACT

In the present work, date pulp and pomace powders were produced under freeze drying conditions and syrup was extracted from Garn Ghzel date variety. Date products were characterized in terms of physicochemical properties (moisture, water activity, ash, soluble solids content, titrable acidity, pH and color) and functional properties (water holding capacity, wettability index, dispersibility and density). Freeze drying kinetic of date pulp and pomace was modeled using five empirical models (Newton, Page, Henderson and Papis, Logarithmic and Wang and Singh). Results showed that there is a slight difference between powders properties. Page and Logarithmic models best fitted the freeze drying kinetic of date pulp and pomace with the highest determination coefficient, R^2 (0.9635) and R^2 (0.9987) and the lowest chi-square χ^2 (0.000021) and χ^2 (0.000052) values respectively. Fick's law was used to determine the effective moisture diffusivity. Its values were 9.74×10^{-11} and 5.15×10^{-11} m²/s for date pulp and pomace respectively. These results contribute added value to date technology.

1. Introduction

Date palm (*Phoenix dactylifera* L.) is extensively cultivated for its edible fruit belonging to the *Palmae* (*Arecaceae*) family (Yahaya *et al.*, 2015). The fruit of date palm is used due to its remarkable nutritional, health and economic value, in addition to its aesthetic and environmental benefits. Date composition is rich in carbohydrates, minerals, dietary fiber, vitamins, fatty acids, amino acids and protein diet (Al-Shahib and Marshall, 2003).

Algeria is one of the largest date producers in the world with a wide production diversity. Garn Ghzel variety is not widely consumed despite its high total and reducing sugar contents (Mrabet *et al.*, 2008). Date processing industries produce various date products such as paste, syrup, jam and vinegar. Date syrup is probably the most common derived date product (Ganbi,

2012). Production of date powder could improve handling, storage and blending ability of several products such as baked foods (Manickavasagan *et al.*, 2015).

In recent years, drying operations have made possible the production of various added value food products (Omolola *et al.*, 2015). Freeze drying is a drying method used to manufacture pharmaceutical and food thermolabile products (Nireesha *et al.*, 2013). It is considered a low processing drying method.

To our knowledge, no work has been reported on the production of powders from date pomace as well as the processing of Garn Ghzel variety.

Hence, the objective of this work is to produce pulp, pomace powders and syrup from Garn Ghzel date variety, to determine their

physicochemical and functional properties and to model their freeze drying kinetic.

2. Materials and methods

2.1. Vegetable materials

Date fruit (Garn Ghzel variety) was harvested at full maturity (Tamar) and stored at 4°C in a refrigerator, (SUMSUNG, South Korea). It was purchased from the region of Sidi Okba (Biskra, Algeria). The fruit was washed using water and divided into 2 parts; the first part used to characterize the pulp, the second part to produce date syrup and pomace.

Date syrup was prepared according to Alfarsi (2003) method with a slight modification: A chopper was used to cut dates into pieces of 1 cm, then dates were mixed with an equal amount of distilled water. The mixture was stirred for 20 min at 60°C in a water bath, (DK-420, China).

Finally, the juice was extracted through a muslin cloth. Filtration was performed in two steps; coarse (50 µ filter paper) and fine (3 µ filter paper).

Concentration was performed on a hot plate, (IKA-COMBIMAG RCT, Germany) (90°C) (Daas Amieur *et al.*, 2014), until syrup reached 35°Brix.

Date pulp and pomace were freeze dried in a laboratory freeze dryer model (LD 2-8 CHRIST BETA PLUS, Germany) for 24 hours at a pressure and temperature of 0.12 mbar and -40°C respectively. The thickness of date pulp and pomace was measured using digital caliper, LCD screen 0.01mm-150mm (Electronic Vernier, UK) (Goula Athanasia and Adamopoulos Konstantinos, 2004). Samples were ground and sieved in a sieve of 1mm diameter (Figure 1).

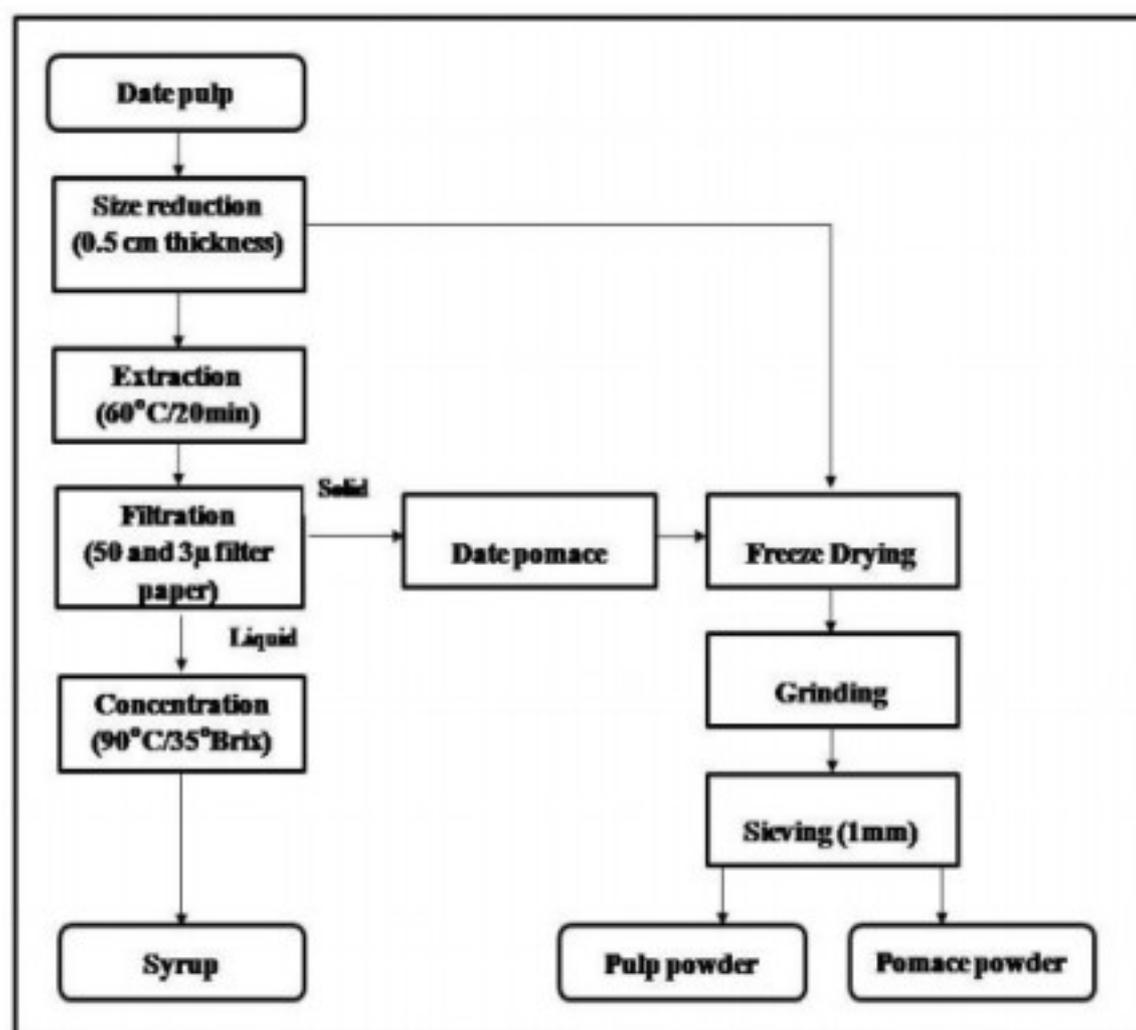


Figure 1. Simplified flowchart of date powders and syrup processing

2.2. Physicochemical and functional analysis of powders and syrup

2.2.1. Physicochemical analysis

For powders, moisture content was determined by drying at 70°C to obtain constant weight in a moisture analyzer, (RADWAG MA 110.R.NS, Poland) and moisture loss expressed as a percentage of (100 kg water / kg wet material) (Goula Athanasia and Adamopoulos Konstantinos, 2004). For syrup, moisture content was obtained by drying at 105°C in a forced convection laboratory oven, (ESCO isotherm, USA) until constant weight (Gurak *et al.*, 2014).

Water activity of date pulp and pomace powders was measured using water activity meter model (rotronic HYGROSCOP BT-

RS1, Gemini BV), set at $24.70 \pm 1^\circ\text{C}$ (Caparino *et al.*, 2012). For date syrup, water activity was measured according to Fennir *et al.* (2003) with a slight modification, where samples have the same concentration and prepared without dilution.

For date powders and syrup, ash was determined by combustion of the sample in a muffle furnace, (Nabertherm 30-3000°C, Germany) at 550°C for 8 h (Abbès *et al.*, 2011).

Soluble solids content of date powders and syrup was determined using a digital refractometer, (ATAGO, HSR500, Japan) (Kulkarni *et al.*, 2008).

Titration acidity was determined by titrating a known quantity of sample with 0.1 N NaOH and expressed as citric acid (Kulkarni *et al.*, 2008).

pH was determined according to standard ISO 10390 (1994); the method consists of preparing a suspension component in five times its volume of distilled water, leave for 5 minutes then rest for at least two hours but no more than 24 hours. pH is measured using a pH meter, (HACH, France) (Kulkarni *et al.*, 2008).

Color: Powders and date syrup were poured into Petri dishes, formed a layer of 10 mm thick and covered with a transparent film. The colorimeter, (KONICA MINOLTA SENSING, INC CR-10, Japan) was calibrated with a

standard white ceramic plate before playback ($L = 95.97$, $a = -0.13$, $b = -0.30$). L , a , b parameters were measured for all samples. The average values L , a and b were obtained from six readings for each sample (Abonyi *et al.*, 2002).

2.2.2. Functional analysis

Density of syrup was calculated using the following equation:

$$\text{Density} = \frac{\text{weight of syrup volume}}{\text{weight of the same volume of distilled water at } 4^\circ\text{C}} \quad (1)$$

Weighing is conducted using a precision balance model (RADWAG, AS 220.R2, Poland) with reading accuracy of 0.0001g and maximum capacity of 220g (Mimouni, 2015).

Water holding capacity (WHC) is determined by the method described by AACC (1995); 2 g of powders put in 200 ml of distilled water, were stirred for 30 seconds with a glass rod. The mixture rested 10 minutes, the stirring operation was repeated five times. Tubes were centrifuged for 20 min at 4000 rev/min in a centrifuge, (SIGMA 6-16 KS, Germany). The supernatant was carefully decanted, then the content of the tube was dried at 45°C for 10 minutes in an oven, (ESCO isotherm, USA) before being weighed, using a standard scale, (RADWAG, AS 220.R2, Poland). The water holding capacity was expressed as percentage increase in the sample's weight (Adepeju *et al.*, 2014).

The index of wettability is measured from the results obtained during the rehydration of powder without stirring. It is expressed as the time in seconds required for a given amount of powder to enter the water through its free surface at rest (Schuck *et al.*, 2012).

Dispersibility: 10 ml of distilled water at 25°C were poured into a beaker of 50 ml. 1 g of powder was added in the beaker. The stopwatch started and the sample stirred vigorously with a spoon for 15 seconds by 25 full movements back and forth across the diameter of the container. Reconstituted honey was poured through a sieve (112 microns). 1 ml of sieved honey was transferred into an aluminum pan weighed and dried for 2 hours in

a vacuum oven $70 \pm 1^\circ\text{C}$ model (BINDER, Germany).
Dispersibility of the powder was calculated as follows:

$$D (\%) = \frac{(10+m) \times \text{TS}}{m \times ((100-\text{MC})/100)} \quad (2)$$

m: amount of powder (g) being used, MC: Moisture content in the powder (db) and TS%: dry matter in of reconstituted honey after it has been passed through the sieve (Koç and Kaymak-Ertekin, 2014).

True density: determined as the ratio of the mass of dry solids (m) to total volume (V_s) of the sample excluding the air ports (Calín-Sánchez *et al.*, 2014):

$$\rho_t = \frac{m}{V_s} \quad (3)$$

Samples were weighted with an analytical balance, (RADWAG, AS 220.R2, Poland), while V_s was measured with a pycnometer model (ISO LAB In 20°C , 10ml BORO 3.3 A, Germany).

Bulk density: Determined as the ratio of solid mass to the bulk volume (V_b). Samples were weighted with the analytical balance, (RADWAG, AS 220.R2, Poland) with reading accuracy of 0.0001g and the bulk volume was measured with an 80 mL graduated container (Calín-Sánchez *et al.*, 2014):

$$\rho_b = \frac{m}{V_b} \quad (4)$$

2.2.3. Mathematical modeling of freeze drying kinetics

Moisture ratio (MR) of date (pulp and pomace) during freeze drying was calculated using the following equation:

$$\text{MR} = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (5)$$

Where: M_t , M_0 and M_e are moisture content at any time, the initial moisture and the equilibrium moisture (g water / g dry matter), respectively (Erbay and Icier, 2009).

The effective moisture diffusivity can be defined from Fick's second law of diffusion, which describes the movement of moisture within the solid.

$$\frac{\delta M}{\delta t} = D \frac{\delta^2 M}{\delta z^2} \quad (6)$$

Analytical solution of this law in the case of drying an infinite slab of thin layer, assuming moisture migration being by diffusion, one-dimensional moisture movement, uniform initial moisture distribution, negligible shrinkage, constant moisture diffusivity, and negligible external resistance to heat and mass transfer can be developed in the form of the following equation (Crank, 1975).

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{(2n-1)^2} \exp\left[-(2n-1)^2 \frac{\pi^2}{4} \frac{Dt}{L^2}\right] \quad (7)$$

Where L is the thickness (m); t is the time (min); and D is the effective diffusivity (m^2/s). Simplifying the previous equation by taking the first term of the series solution and assuming M_e equal to 0:

$$\text{MR} = \frac{M}{M_0} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \exp\left[-\frac{\pi^2}{4} \frac{Dt}{L^2}\right] \quad (8)$$

Where L the thickness of the sample and D the effective diffusion coefficient.

Taking logarithm on both sides of previous equation gives the following equation (Nag and Dash, 2016):

$$\ln \text{MR} = \left(\ln \frac{8}{\pi^2}\right) - \frac{\pi^2 Dt}{4L^2} \quad (9)$$

The diffusion coefficient (D) is calculated using the method of slopes.

$$\text{Slope} = -\left(\frac{\pi^2 D}{4L^2}\right) \quad (10)$$

Drying kinetics of date pulp and pomace were fitted to five models (Newton, Page, Henderson and Papis, Logarithmic, Wang and Singh). The quality of the adjustment was determined using the coefficient of

determination (R^2), the reduced χ -square (χ^2) (Ergun *et al.*, 2014) and root mean square error (RMSE) as follows:

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp}(i)} - MR_{\text{pre}(i)})^2}{N-n} \quad (11)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{pre}(i)} - MR_{\text{exp}(i)})^2}{N}} \quad (12)$$

Where $MR_{\text{exp}(i)}$ is the i th experimental moisture ratio, $MR_{\text{pre}(i)}$ is the i th predicted moisture ratio, N is the number of observations, n is the number of constants in drying model (Pardeshi *et al.*, 2009).

2.2.4. Statistical analysis

Analyses were performed with three replications, while color with six and results expressed as the mean \pm standard deviation (SD). Results were submitted to the analysis of variance (ANOVA) and means were compared

by Tukey's test using Origin Pro 2016 32 Bit software. Differences were considered to be significant at $P < 0.05$.

3. Results and discussions

3.1. Production of powders

100 g of pulp and pomace were freeze dried at a temperature of -40°C and a pressure of 0.12 mbar (Fig 1). After 24h, samples weight became 96.70 g and 63.50 g respectively.

Pulp and pomace samples have an initial water content of 0.11 and 0.45 (kg H_2O / kg product) respectively. The relative water content of pomace decreases and reaches a level of 0.55 after 12 h. However, pulp reaches a value of 0.94 after 12 h, these results agree with Sahari *et al.* (2008) who studied the effect of initial moisture and date thickness on the drying process.

3.2. Physicochemical properties of powders

Physicochemical properties of date powders are shown in Table 1.

Table 1. Physicochemical properties of pulp and pomace powders

Parameters	Pulp powder	Pomace powder
Moisture (%)	2.50 \pm 0.05	7.64 \pm 0.22
Water activity	0.17 \pm 0.22	0.32 \pm 0.02
Ash (g/100g)	0.84 \pm 0.04	1.00 \pm 0.01
Soluble solids content ($^\circ\text{Brix}$)	60 \pm 0.00	59.90 \pm 0.17
Titrate acidity (% citric acid)	3.03 \pm 0.20	2.57 \pm 0.20
pH	6.28 \pm 0.05	6.36 \pm 0.02
Color (L^*)	78.57 \pm 0.23	68.9 \pm 0.36
Color (a^*)	4.41 \pm 0.12	7.10 \pm 0.09
Color (b^*)	22.43 \pm 0.29	25.00 \pm 0.17

Results are expressed as mean values of three determinations \pm SD; analysis of variance (ANOVA) $p < 0.05$ with Tukey's tests.

Color results are expressed as mean values of six determinations \pm SD

Moisture content of pulp and pomace powders were 2.50 \pm 0.05 and 7.64 \pm 0.22% respectively. These results are similar to moisture content values of freeze dried papaya and pineapple, 2 and 7% (wb) respectively (Marques *et al.*, 2011).

However, they were higher than freeze dried marionberries and strawberries cultivars (0.10-0.20%) and corn cultivars (0.70-1.10%) (Asami *et al.*, 2003).

Titrate acidity of pulp and pomace powders were 3.03 \pm 0.20, 2.57 \pm 0.20 (% citric acid) respectively. They were higher than

freeze-dried papaya pulp powders with a value of $1.38 \pm 0.07\%$ citric acid (Canuto *et al.*, 2014).

pH of date powders was almost similar with values of 6.28 ± 0.05 and 6.36 ± 0.02 of pulp and pomace powders respectively. These results were closer to those reported by Mahendran (2010) for freeze dried guava.

Microbiological, chemical and enzymatic stability of food products is related to water activity content (a_w), values of water activity ranging between 0.20 and 0.40 ensure stability of the product (Nur Dirim and Çalışkan, 2012), the a_w of pulp and pomace powders were 0.17 ± 0.22 and 0.32 ± 0.02 respectively. These values were similar to water activity value of freeze dried pumpkin puree powder found as 0.20 (Nur Dirim and Çalışkan, 2012). Ashes and total soluble solids have values of 0.84 ± 0.04 , 1.00 ± 0.01 (g/100g) and 60 ± 0.00 , $59.90 \pm 0.17^\circ\text{Brix}$ for pulp and pomace powders respectively. These values were similar to those

reported in literature for samples of Mech Degla date powder 1.44 ± 0.20 (g/100g) and 60°Brix .

Food color is a major determinant of product quality and affects consumer preferences. Color may be used as an indicator to predict chemical and quality change due to thermal processing (Valdenegro *et al.*, 2013). Color parameters (L^* , a^* , b^*) of pulp and pomace powders were shown in Table 1. Pulp and pomace powders were slightly orange ($a^*4.41 \pm 0.12$) and ($a^*7.10 \pm 0.09$), slightly yellow ($b^*22.43 \pm 0.29$) and ($b^*25.00 \pm 0.17$) respectively, the difference in color parameters is due to product composition. Similar L^* , a^* , and b^* values were reported by Sablani *et al.* (2008) for date powder (Mech degla variety).

3.3. Functional properties of powders

Table 2 shows functional properties of pulp and pomace powders. Water holding capacity (WHC), wettability index and dispersibility show the ability of powders to rehydrate.

Table 2. Functional properties of pulp and pomace powders

Parameters	Pulp powder	Pomace powder
Water holding capacity (g water/g dry matter)	0.63 ± 0.23	0.70 ± 0.02
Wettability index (s)	930 ± 0.50	1425 ± 0.33
Dispersibility (%)	91.76 ± 0.21	68.51 ± 0.40
True density (Kg/m^3)	884.96 ± 0.00	454.55 ± 0.00
Bulk density (Kg/m^3)	909.00 ± 0.00	505.05 ± 0.00

Results are expressed as mean values of three determinations \pm SD; analysis of variance (ANOVA) $p < 0.05$ with Tukey's tests.

According to Gurak *et al.* (2014), WHC is defined as the amount of water retained by the sample without being subjected to any stress. Pulp powder has a WHC value less than pomace with values of 0.63 ± 0.23 and 0.70 ± 0.02 (g of water / g dry matter) respectively. These results were lower than those obtained by Nguyen (2014) with values of 0.90 to 1.00 (g eau/ g powder) for soy powders produced by atomization and between 3.97 and 6.20 g/g dry fiber for date fiber concentrates varieties (Borchani *et al.*, 2010). The difference is due to composition and varieties. The wettability or the ability of powder to absorb water is one of the

most important physical properties related to reconstituting powders (Sarabandi *et al.*, 2014). The obtained results were 930 ± 0.50 (s) for pulp which is lower than 1425 ± 0.33 (s) for pomace. According to Manickavasagan *et al.* (2015), date powder obtained by spray drying has a wettability time ranged between 145.70 and 162.70 (s), dispersibility values of pulp and pomace powders were 91.76 ± 0.21 and $68.51 \pm 0.40\%$ respectively. These values are higher than results obtained by Koç and Kaymak-Ertekin (2014), ranging between 51.30 and 100% for spray dried honey powder.

Bulk density of powders is determined by particle density, which is determined by solid density and particle internal porosity, and also by spatial arrangement of particles in the container (Micha, 2005). True and bulk density (Table 2) of powder samples were 884.96 ± 0.00 - 909.00 ± 0.00 Kg/m^3 and 454.55 ± 0.00 - 505.05 ± 0.00 Kg/m^3 respectively. Pulp powder density was higher than pomace powder and bulk density was also higher than the true density. The difference is justified since powder heap reduces the space between particles, so volume will decrease. The obtained results were

similar to Calín-Sánchez *et al.* (2014) results regarding freeze dried chokeberry fruits.

3.4. Physicochemical properties of syrup

Date syrup is an important date by-product and a natural sweetener considered as a suitable replacement of sugar in food products formulation, in order to reduce the harmful effect of sugar, and improving the nutrient properties (Raiesi Ardali *et al.*, 2014). Physicochemical properties of syrup were shown in Table 3.

Table 3. Physicochemical properties of date syrup

Parameters	Date syrup
Moisture (%)	61.81 ± 0.08
Water activity	0.92 ± 0.01
Ash (g/100g)	1.02 ± 0.99
Soluble solids content ($^{\circ}$ Brix)	35 ± 0.00
Titration acidity (% citric acid)	0.58 ± 0.20
pH	6.22 ± 0.06
Color (L*)	33.06 ± 0.23
Color (a*)	0.60 ± 0.00
Color (b*)	6.93 ± 0.14
Density (g/ml)	1.20 ± 0.02

Results are expressed as mean values of three determinations \pm SD; analysis of variance (ANOVA) $p < 0.05$ with Tukey's tests. Color results are expressed as mean values of six determinations \pm SD. Moisture content and water activity of date syrup are $61.81 \pm 0.08\%$ and 0.92 ± 0.01 respectively, these results are similar to Ganbi (2012) with values of $74.06 \pm 6.10\%$ for water bath date fruits juice (Dibs) and Fennir *et al.* (2003) for Saidi date syrups with values of 0.881. The difference could be due to date varieties. Syrup ash content is 1.02 ± 0.99 (g/100g), this result is lower than Raiesi Ardali and Akbarian (2014) who found a value of 1.69 (g/100g). Total soluble solids,

titration acidity and pH have values of $35 \pm 0.00^{\circ}$ Brix, 0.58 ± 0.20 (% citric acid) and 6.22 ± 0.06 respectively, which are closer to values reported by Farahnaky *et al.* (2016); El-Sharnouby *et al.* (2014) and Ganbi (2012) respectively. Density has a value of 1.20 ± 0.02 (g/ml) which is similar to Jamshidi Mokhber *et al.* (2008) with a value of 1.35 (g/ml). Color parameters (L*, a*, b) of syrup were shown in Table 3. Syrup was slightly orange ($a^*0.60 \pm 0.00$) and slightly yellow ($b^*6.93 \pm 0.14$). Similar L*, a*, and b* values were reported by Raiesi Ardali and Akbarian (2014); Fennir *et al.* (2003) for date syrup.

Table 4. Model constants and statistical parameters for date pulp and pomace

Date pulp					
Models	Equations	Constants and coefficients	R²	χ²	RMSE
Newton	MR=exp(-kt)	k= 0.00450	0.9403	0.000030	0.00152
Page	MR=exp(-kt ⁿ)	k= 0.00231 n= 1.29878	0.9635	0.000021	0.00390
Henderson and Papis	MR=aexp(-kt)	a=1.00538 k= 0.00512	0.9613	0.000022	0.00401
Logarithmic	MR= aexp(-kt)+c	a=24.13641 k=0.00021 c=-23.13126	0.9619	0.000028	0.00398
Wang and Singh	MR= 1+at+bt ²	a=-0.00443 b=-0.00005	0.9630	0.000027	0.00392
Date pomace					
Models	Equations	Constants and coefficients	R²	χ²	RMSE
Newton	MR=exp(-kt)	k= 0.07042	0.6691	0.009080	0.08811
Page	MR=exp(-kt ⁿ)	k= 0.25645 n= 0.37086	0.9774	0.007420	0.02307
Henderson and Papis	MR=aexp(-kt)	a=0.89177 k=0.05420	0.7824	0.007160	0.07152
Logarithmic	MR= aexp(-kt)+c	a=0.45683 k=0.41041 c= 0.54464	0.9987	0.000052	0.00546
Wang and Singh	MR= 1+at+bt ²	a=-0.10019 b= 0.00566	0.9688	0.001290	0.02710

3.5. Mathematical modeling of freeze drying kinetics

The freeze drying behavior was determined from the loss of samples weight. Total drying time was determined as 12 hours for the pulp and pomace samples. Similar results were obtained by Marques *et al.* (2011) for freeze dried pineapple, guava and mango pulp.

The experimental data were fitted using Origin Pro 2016 32 Bit software to five models (Newton, Page, Henderson and Papis, Logarithmic and Wang and Singh) (Table 4). The correlation coefficient (R²) was used to define the best model of the drying process for

the pulp and pomace date, with χ² having the lowest value (Togrul and Pehivan, 2002).

Figure 2 represents the experimental data of water content with the best mathematical model for pulp and pomace date.

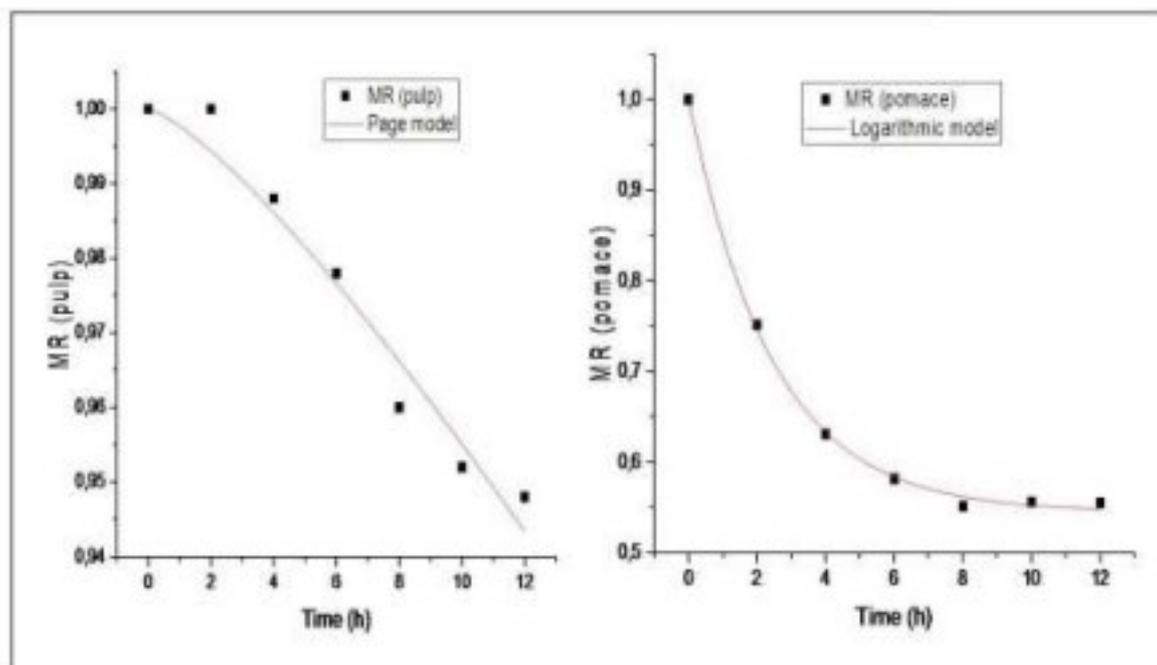


Figure 2. Plot of moisture ratio versus drying time for freeze dried pulp and pomace date (Page and Logarithmic models)

Diffusivity values were ranged between 9.74×10^{-11} and $5.15 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ for pulp and pomace respectively. These values are within the range reported by Ergun *et al.* (2014) for the foods ranging from 10^{-12} to $10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$.

4. Conclusions

This study investigated the production and characterization of pulp and pomace date powders as well as date syrup from Garn Ghzel variety. Powders were obtained using freeze drying process. The Garn Ghzel variety date shows interesting physicochemical and functional characteristics. The freeze drying process of pulp and pomace date was modeled and best fitted to Page and Logarithmic models respectively.

5. References

- Abbès, F., Bouaziz, M.A., Blecker, Ch., Masmoudi, M., Attia, H., Besbes, S. (2011). Date syrup: Effect of hydrolytic enzymes (pectinase/cellulase) on physicochemical characteristics, sensory and functional properties. *LWT-Food Science and Technology*, 44, 1827-1834.
- Abonyi, B.I., Feng, B.I., Edwards, C.G., Tang, J. (2002). Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window system. *Journal of Food Science*, 67(3), 1051-1056.
- Adepeju, A.B., Gbadamosi, S.O., Omobuwajo, T.O., Abiodun, O.A. (2014). Functional and physico-chemical properties of complementary diets produced from breadfruit (*Artocarpus altilis*). *African Journal of Food Science*, 5(4), 105-113.
- Al-Farsi, M.A. (2003). Clarification of date juice. *International Journal of Food Science and Technology*, 38, 241-245.
- Al-Shahib, W., Marshall, R.J. (2003). The fruit of the date palm: it's possible use as the best food for the future?. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 54(4), 247-259.
- Asami, DK., Hong, YJ., Barrett, D.M., Mitchell, AE. (2003). Comparison of the total phenolic and ascorbic acid content of freeze-dried and air-dried marionberry, strawberry, and corn grown using conventional, organic, and sustainable agricultural practices. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(5), 1237-1241.
- Borchani, Ch., Besbes, S., Blecker, Ch., Masmoudi, M., Baati, R., Attia, H. (2010). Chemical properties of 11 date cultivars and

- their corresponding fiber extracts. *African Journal of Biotechnology*, 9(26), 4096-4105.
- Calin-Sánchez, A., Kharaghani, A., Lech, K., Figiel, A., Carbonell-Barrachina, A.A., Tsotsas, E. (2014). Physical and sensory properties of chokeberry fruits dried with different methods. 19th International Drying Symposium, August 24-27, Lyon, France, 1-6.
- Canuto, H.M.P., Afonso, M.R.A., Costa José, M.C. (2014). Hygroscopic behavior of freeze-dried papaya pulp powder with maltodextrin. *Acta Scientiarum. Technology*, 36(1), 179-185.
- Caparino, O.A., Tang, J., Nindo, C.I., Sablani, S.S., Powers, J.R., Fellman, J.K. (2012). Effect of drying methods on the physical properties and microstructures of mango (Philippine 'Carabao' var.) powder. *Journal of Food Engineering*, 111(1), 135-148.
- Crank, J. (1975). *The mathematics of diffusion*. (2nd ed.). London W.I.: Oxford.
- Daas Amiour, S., Alloui-Lombarkia, O., Bouhdjila, F., Ayachi, A., Hambaba, L. (2014). Study of the involvement of phenolic compounds of extracts of three date varieties in its antibacterial activity. *Phytotherapy*, 12, 135-142.
- El-Sharnouby G.A., Aleid S.M., Al-Otaibi M.M. (2014). Liquid Sugar Extraction from Date Palm (*Phoenix dactylifera*L.) Fruits. *Journal of Food Processing and Technology*, 5(12), 41-47.
- Erbay, Z., Icier, F.A. (2009). Review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50, 441-464.
- Ergun, K., Caliskan, G., Dirim, S.N. (2014). Determination of the freeze drying kinetics of kiwi (*actinidia deliciosa*) puree with and without the addition of maltodextrin. 19th International Drying Symposium, August 24-27, Lyon, France, 1-4.
- Farahnaky, A., Mardani, M., Mesbahi, Gh., Majzoobi, M., Golmakani, M. T. (2016). Some Physicochemical Properties of Date Syrup, Concentrate, and Liquid Sugar in Comparison with Sucrose Solutions. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 18, 657-668.
- Fennir, M.A., Landry, J.A., Ramaswamy, H.S., Raghavan, V.G.S. (2003). An investigation of sugar extraction methods and the use of microwave power for date syrup processing Efficiency and color related considerations. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 38(3), 189-196.
- Ganbi, H.H.A. (2012). Production of Nutritious High Quality Date (*Phoenix dactylifera*) Fruits Syrup (Dibs) by using some Novel Technological Approaches. *Journal of Applied Sciences Research*, 8(3), 1524-1538.
- Goula Athanasia, M., Adamopoulos Konstantinos, G. (2004). Spray Drying of Tomato Pulp: Effect of Feed Concentration. *Journal of Food Engineering*, 22(10), 2309-2330.
- Gurak, P.D., De Bona, G.S., Tessaro, I.C., Marczak, L.D.F. (2014). Jaboticaba Pomace Powder Obtained as a Co-product of Juice Extraction: A Comparative Study of Powder Obtained from Peel and Whole Fruit. *Food Research International*, 62, 786-792.
- Jamshidi Mokhber, M., Alemzadeh, I., Vossoughi, M. (2008). Optimization of hfd production from date syrup. *International Journal of Engineering, Transactions B: Applications*, 21(2), 127-134.
- Koç, M., Kaymak-Ertekin, F. (2014). Effect of spray drying conditions on hydroxymethylfurfural content and physical properties of honey powder. 19th International Drying Symposium, August 24-27, Lyon, France, 1-7.
- Kulkarni, S.G., Vijayanand, P., Aksha, M., Reena, P., Ramana, K.V.R. (2008). Effect of dehydration on the quality and storage stability of immature dates (*Phoenix dactylifera*). *LWT- Food Science and Technology*, 41(2), 278-283.
- Mahendran, T. (2010). Physico-chemical properties and sensory characteristics of dehydrated guava concentrate: effect of drying method and maltodextrin

- concentration. *Tropical Agricultural Research and Extension*, 13(2), 49-54.
- Manickavasagan, A., Thangavel, K., Dev, S.R.S., Aniesrani Delfiya, D.S., Nambi, E., Orsat, V. Raghavan, G.S.V. (2015). Physicochemical Characteristics of Date Powder Produced in a Pilot Scale Spray Dryer. *Drying Technology*, 33, 1114-1123.
- Marques, L.G., Prado, M.M., Freire, J.T. (2011). Vitamin C content of freeze-dried tropical fruits. International Congress on Engineering and Food, May 22-26, Athens, Greece, Vol III, 1-6.
- Micha, P. (2005). Physical properties of food powders. *Food Engineering*, 1, 1-9.
- Mimouni, Y. (2015). Development of dietary hypoglycemic products based on soft dates "Ghars" variety, the most widespread in the Ouargla basin. (Doctoral dissertation), University of Kasdsi Merbah, Ouargla, Algeria, 169p.
- Mrabet, A., Ferchichi, A., Chaira, N., Ben salah, M. (2008). Physico-chemical characteristics and total quality of date palm varieties grown in the southern of Tunisia. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 11(7), 1003-1008.
- Nag, S., Dash, K.K. (2016). Mathematical modeling of thin layer drying kinetics and moisture diffusivity study of elephant apple. *International Food Research Journal*, 23(6), 2594-2600.
- Nireesha, G.R., Divya, L., Sowmya, C., Venkateshan, N., Niranjan Babu, M., Lavakumar, V. (2013). Lyophilization/Freeze Drying-An Review. *International Journal of Novel Trends in Pharmaceutical Sciences*, 3(4), 87-98.
- Nguyen, D.Q. (2014). Experimental comparative study of atomization and autovaporization operations: Arabic Gum and Soya application. (Doctoral dissertation), University of La Rochelle, France. 212p.
- Nur Dirim, S., Çalışkan, G. (2012). Determination of the effect of freeze drying process on the production of pumpkin (*cucurbita moschata*) puree powder and the powder properties. *GIDA/The Journal of Food*, 37(4), 203-210.
- Omolola Adewale, O., Jideani Afam, I.O., Kapila Patrick, F. (2015). Quality properties of fruits as affected by drying operation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, (accept manuscript).
- Raiesi Ardali, F., Rahimi, E., Tahery, S., Shariati, M. A. (2014). Production of a New Drink by Using Date Syrup and Milk. *Journal of Food Biosciences and Technology*, 4(2), 67-72.
- Raiesi, A.F., Akbarian, M. (2014). The Influence of Date Syrup on Color, Texture and Sensory Properties of Gaz. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences*, 3(2), 159-163.
- Sablani S., S., Shrestha A., K., Bhandari, B., R. (2008). A new method of producing date powder granules: Physicochemical characteristics of powder. *Journal of Food Engineering*, 87(3), 416-421.
- Sahari, M. A., Hamidi-Esfehani, Z., Samadlui, H. (2008). Optimization of Vacuum Drying Characteristics of Date Powder. *Drying Technology*, 26(6), 793-797.
- Sarabandi, K., Peighambardoust, S. H., Shirmohammadi, M. (2014). Physical properties of spray dried grape syrup as affected by drying temperature and drying aids. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(12), 928-934.
- Schuck, P., Dolivet, A., Jeantet, R. (2012). Milk and food powders analysis techniques. (1st ed.). Paris: Tec and Doc-Lavoisier.
- Togrul, Y.T., Pehivan, D. (2003). Modelling of drying kinetics of single apricot. *Journal of Food Engineering*, 58, 23-32.
- Valdenegro, M., Almonacid, S., Henríquez, C., Lutz, M., Fuentes, L., Simpson, R. (2013). The Effects of Drying Processes on Organoleptic Characteristics and the Health Quality of Food Ingredients Obtained from Goldenberry Fruits (*Physalis peruviana*). *Scientific Reports*, 2(2), 1-7.
- Yahaya, S.A., Omokhudu, C.A., Abdulahi, M.A., Sanusi, M.K. (2015). Phytochemical screening and mineral evaluation of fresh

date fruits (*Phoenix dactylifera L.*) in wet season of Nigeria. *Journal of Agricultural and Crop Research*, 3(3), 47-52.

Acknowledgment

The authors thank all the staff of Food Sciences Laboratory (LSA), Department of Food Technology, Hadj Lakhdar University Batna 1.



PHYSICO-CHEMICAL AND SENSORY PROPERTIES OF BARLEY BREAD ENRICHED BY FREEZE DRIED DATE POMACE POWDER

* Amal MESSAOUDI¹, Djamel FAHLOUL¹

¹Department of Food Technology, Food Sciences Laboratory (LSA), Hadj Lakhdar Batna 1 University, Batna, Algeria, Messaoudi_Amel@live.fr,

*Corresponding author

Received 8th March 2020, accepted 30th March 2020

Abstract: Bread is the principal cereal product. Date pomace is a by-product of the date syrup industry. The main objective of this work is to evaluate physico-chemical and sensory properties of barley bread supplemented by freeze dried date pomace powder of Garn Ghzel date variety. Barely bread was prepared after incorporation of 0, 5, 10, 15 and 20% of freeze dried date pomace powders. The results show that the rate of incorporation of date pomace powder has a significant effect on physico-chemical (thickness, weight before and after cooking, volume, specific volume, moisture, dry matter, ash, pH, wet gluten, dry gluten and color) and the sensory properties of barley bread in terms of appearance/shape, crust, brown color, chewing, date aroma, general acceptability. All barley bread samples were acceptable; however, the samples fortified by 20% of freeze dried date pomace powders are the most preferred. Findings showed that good and acceptable barley bread could be produced using freeze dried date pomace powder at different levels.

Keywords: Barely bread, freeze drying, date pomace powder, physico-chemical properties, sensory properties.

1. Introduction

Bakery products are consumed all over the world [1]. Baked products are gaining popularity because of their availability, ready to eat convenience and reasonably good shelf life [2]. Common bakery products include biscuit, muffin, cake, bread, pastries and pies [3].

Bread is one of the commonest staple food eaten world over [4]. It is the major baked product that is widely acceptable and consumed as a very convenient form of food worldwide; however, there are increasing demands toward consumption of high fiber breads due to their health prompting properties. It is a good source of nutrients, such as macronutrients (carbohydrates, protein and fat) and micronutrients (minerals and vitamins) that are all essential for

human health [5].

Barley (*Hordeum vulgare*) is a widely consumed cereal important for human nutrition. Approximately 80-90% of the barley harvest is used as animal feed and to produce malt. However, barley is now receiving renewed interest as an ingredient in functional foods due to its high concentrations of bioactive compounds such as β -glucans and polyphenols. Additionally, consumption of barley is associated with lower total and serum cholesterol, improved postprandial glucose and insulin response and reduced incidence of heart disease and cancer [6].

Date pomace is a by-product of date syrup industry [7]. However, information on incorporation of date pomace powder in barley bread is unusual.

The use of fruit and vegetable by-products as natural food additives has recently been suggested, due to their high content of polyphenols, carotenoids, dietary fiber, or other bioactive compounds [8].

The objectives of this work were to study the valorization of date pomace powder of Garn Ghzel date variety by incorporation into barley bread product and to determine its physico-chemical and sensory properties.

2. Materials and methods

Preparation of date pomace powder

Date syrup was prepared according to Al-Farsi (2003) [9] method with a slight modification: A chopper was used to cut dates into pieces of 1 cm, and then mixed with an equal amount of distilled water.

The mixture was stirred for 20 min at 60°C in a water bath, (DK-420, China). Finally, the juice was extracted through a muslin cloth. Left material after juice extraction is called date pomace. It was freeze dried in a laboratory freeze dryer model (LD 2- 8 CHRIST BETA PLUS, Germany) for 24 hours at a pressure and temperature of 0.12 mbar and -40°C, respectively. Samples were ground and sieved in a sieve of 1 mm diameter [7].

Barley bread preparation

The barley bread formula was adapted from the recipe of Ndangui (2015) [10] with some modifications. Barley bread formula was shown in Table 1.

Table 1.

Enriched barley bread formulation

Ingredient (g)	Control	BBDPP5	BBDPP10	BBDPP15	BBDPP20
Barley flour	100	95	90	85	80
Date pomace powder	0	5	10	15	20
Yeast	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
Salt	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
Margarine	5	5	5	5	5
Water	60	60	60	60	60

Control, BBDPP5, BBDPP10, BBDPP15 and BBDPP20 Barley Bread: prepared with 0%, 5%, 10%, 15% and 20% of Date Pomace Powder, respectively.

Physicochemical properties of barley bread

According to Mohd. Jusoh et al., (2008) [11] with some modifications, the thickness of barley bread was measured using a digital vernier caliper with a precision of up to 0.01 mm.

The bread weight was determined according to Olubunmi et al., (2015) [5] with some modifications, weighing the bread before and after cooking, using the laboratory scale (Kern, Imlab France) and the readings recorded in grams.

The barley bread volume was determined by using Rapeseed displacement method. This was done by loading millet grains into an empty box with calibrated mark until it reached the marked level and unloaded back. The bread sample was put into the box and the measured millet was loaded back again. The remaining millet grains left outside the box was measured using measuring cylinder and recorded as loaf volume in cm³ [5].

The flow chart for the production of barley bread is presented in Fig. 1.

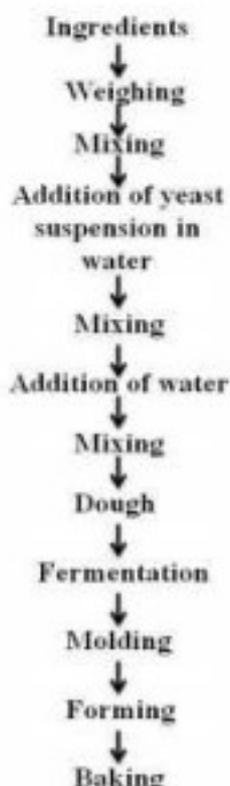


Fig.1. Flow chart for the production of barley bread based on freeze dried date pomace powder

The specific volume (volume to mass ratio) (cm^3/g) was thereafter calculated. The specific volume (volume/mass ratio) (cm^3/g) was calculated as follows:

$$\text{Specific volume (cm}^3/\text{g)} = \frac{\text{Bread volume}}{\text{Bread weight}} \quad (1)$$

According to Sassi (2008) [12] with some modifications, gluten extraction was obtained by mechanically kneading flour dough and washing with a buffered NaCl solution and then squeezing and weighing the residue (AACC 38.12, ICC Standard 137).

$$\text{GH}\% = \text{Pg} \times 10 \quad (2)$$

GH: wet gluten (retained)

Pg: gluten weight.

The total gluten was dried in a hot plate for 4 minutes and then weighed [12].

The color of barely bread was determined using Minolta chroma meter. Color value

is based on L^* (lightness–darkness), a^* (redness–greenness) and b^* (yellowness–blueness) according to the method of Rosa *et al.* (2015) [13] with some modification.

Sensory evaluation

The determination of acceptability level was based on appearance/form, crust, brown color, chewiness, date aroma and overall acceptability were conducted using a 9-point hedonic scale (9=liked very much, and 1=disliked very much) [5].

Statistical analysis

All analysis was performed with three repetitions, while color with six and the results were expressed as the mean \pm standard deviation (SD). Results were submitted to the analysis of variance (ANOVA) and the means were compared with Tukey (HSD) test using XL STAT 2016. Differences were considered to be significant at $P < 0.05$.

3. Results and discussion

Physico-chemical characteristics of barley bread

Changes in barley bread enriched with date pomace powder are shown in Table 2.

Table 2.

Physico-chemical characteristics of barley bread prepared with date pomace powder

	Control	BBDPP5	BBDPP10	BBDPP15	BBDPP20
Thickness (cm)	6.4±0.4 ^a	5.73±0.23 ^{ab}	5.33±0.23 ^b	5.33±0.23 ^b	5.07±0.23 ^b
Pre-cooking weight (g)	160.21±0.55 ^c	170.85±0.05 ^a	159.64±0.02 ^d	161.32±0.00 ^b	153.27±0.06 ^c
Post-cooking weight (g)	130.35±0.32 ^c	132.97±0.02 ^c	140±0.00 ^a	136.12±0.08 ^b	130.99±0.18 ^d
Volume (cm ³)	44.75±0.25 ^{bc}	44.33±0.58 ^c	44.08±0.14 ^c	45.5±0.5 ^{ab}	46±0.00 ^a
Specific volume (cm ³ /g)	0.35±0.00 ^b	0.33±0.00 ^c	0.31±0.00 ^d	0.33±0.00 ^c	0.35±0.00 ^a
Moisture (%)	40.81±0.96 ^b	39.90±0.52 ^b	45.64±1.98 ^a	41.75±0.30 ^b	40.23±1.02 ^b
Dry Matter (%)	59.19±0.96 ^a	60.10±0.52 ^a	54.36±1.98 ^b	58.25±0.30 ^a	59.77±1.02 ^a
Ash (%)	3.81±0.00 ^a	2.97±0.01 ^a	2.05±0.00 ^a	1.51±0.01 ^a	0.93±1.16 ^a
pH	6.03±0.02 ^{ab}	5.94±0.02 ^c	5.94±0.02 ^c	6.04±0.04 ^a	5.97±0.02 ^{bc}
Wet gluten (%)	29.77±0.23 ^a	27.63±0.13 ^b	24.87±0.10 ^c	19.32±0.06 ^d	14.72±0.20 ^e
Dry gluten (%)	9.09±0.8 ^a	8.24±0.3 ^b	8.16±0.04 ^b	5.65±0.12 ^c	4.41±0.08 ^d

Control, BB DPP5, BB DPP10, BB DPP15 and BB DPP20: prepared with 0%, 5%, 10%, 15% and 20% replacement of barley flour with date pomace powder, respectively. Results are expressed as mean values of three determinations ± SD; analysis of variance (ANOVA) p<0.05 with Tukey (HSD) tests.

The thickness of enriched barley bread decreases with the increase in the rate of incorporation of freeze-dried date pomace powder, it is higher for the control with a value of 6.4 ± 0.4 cm and lower for BB DPP20 with 5.07 ± 0.23 cm.

Significant differences observed between enriched breads weight (before and after cooking) with values varied from 153.27 ± 0.06 to 170.85 ± 0.05g and from 130.35 ± 0.32 to 140 ± 0.00g respectively.

The volume of the loaves varies from 44.75 ± 0.25 to 50.67 ± 0.58 cm³ and the specific volume ranges from 0.31±0.00 to 0.35±0.00 (cm³/g). According to Ndangui (2015) [10], bread volume variation can be attributed mainly to different levels of carbon dioxide production and the degree of starch gelatinization. The results obtained are similar to those of Ndangui (2015) [10], for which the volume of bread decreases with the increase in the sweet potato flour substitution rate.

The water content of barley breads enriched with freeze-dried date pomace powder ranges from 39.90 ± 0.5 to 45.64 ± 1.98%. These results are superior to those of Obiegbuna et al. (2013) [4] who studied the influence of sugar replacement by date pulp flour on physicochemical, organoleptic properties and on bread preservation. The difference in results is due to the difference in the preparation of bread.

According to the results obtained the ash content decreases with the increase in the concentration of date pomace powder (DPP) from 3.81 ± 0.00 to 0.93 ± 1.16%. Obiegbuna et al. (2013) [4] obtained similar results.

The pH of different breads varies from 5.94 ± 0.02 to 6.04 ± 0.04, The results obtained is in agreement with those reported by Semić et al. (2010) [14].

According to Ouazib (2017) [15], the gas retention capacity depends on the quantity and especially the quality of the gluten to

form a paste that can retain the released CO₂. Wet gluten extracted from wheat flour is a viscoelastic substance consisting mainly of the insoluble fraction of proteins (gliadins and glutenins). It has properties of extensibility, elasticity and toughness that can influence the behavior of the pasta in production and the quality of the finished product (bread, biscuit, ...) [12]. The wet and dry gluten of barley breads produced is high for control with 29.77 ± 0.23 and $9.09 \pm 0.8\%$ and low for BBDPP20 with 14.72 ± 0.20 , $4.41 \pm 0.08\%$. These results are consistent with

those obtained by Sassi (2008) [12] for whole semolina and Halaby *et al.* (2014) [16] for different wheat flour.

The breads enriched with different concentrations of date pomace powder (5-20%) are characterized by: A proportional difference in the different brightness (L*), redness (a*) and yellowing (b*) parameters of different fortified breads (Fig. 2);

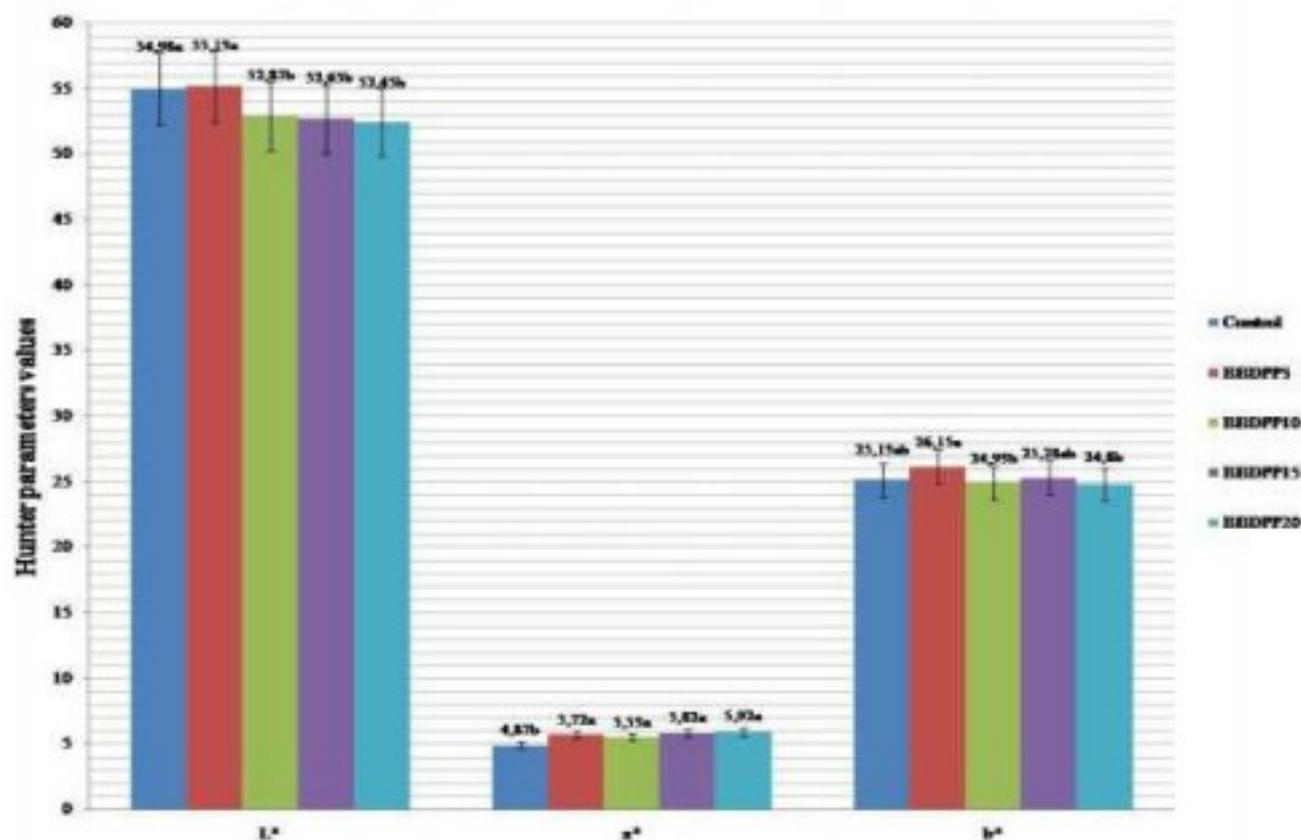


Fig. 2. Color measurements of barley bread product with different proportions of date pomace powders: 0% (Control), 5% (BBDPP5), 10% (BBDPP10), 15% (BBDPP15) and 20% (BBDPP20)

The results obtained are influenced by the amount of date pomace powder incorporated and the color of the barley flour.

These values are compared with those of Ishida and Steel (2014) [17] for bread samples available on the Brazilian market.

Sensory evaluation

Web diagram for mean sensory scores of enriched date pomace powder barley bread was presented (Fig. 3).

According to the sensory evaluation, the BBDPP20 sample has the highest score

(appearance/shape, crust, brown color, chewiness and date aroma).

The global acceptability of all samples followed the same trend. Thus, the sample containing 20% of lyophilized date pomace powder is the most preferred.

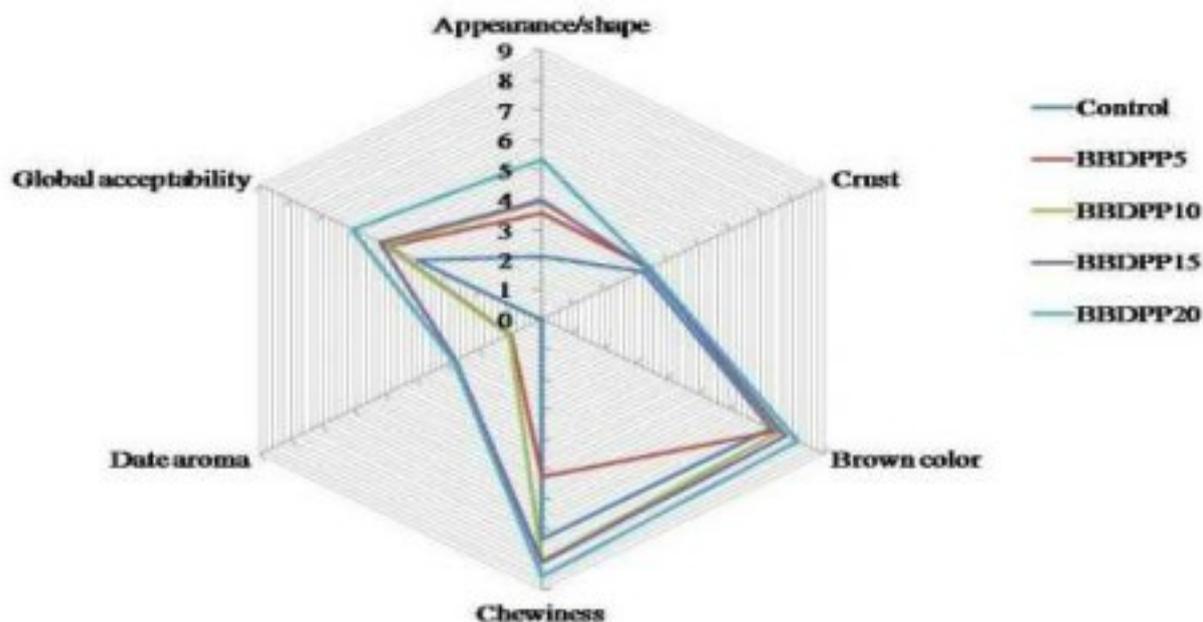


Fig. 3. Diagram for mean sensory scores of date pomace powder barley bread with different proportions of date pomace powders: 0% (Control), 5% (BBDPP5), 10% (BBDPP10), 15% (BBDPP15) and 20% (BBDPP20)

4. Conclusion

The results of this study showed that it is possible to develop barley bread with Garn Ghzel date pomace powder. The incorporation of freeze dried date pomace powder in the formulation of barley bread was found to improve physicochemical and sensory properties of samples. Barley bread prepared at incorporation rates of 5%, 10%, 15% and 20% are all acceptable in terms of global acceptability, appearance/shape, crust, brown color, chewiness and date aroma. Barley bread with 20% of date pomace powder was the most preferred.

5. Acknowledgements

The authors thank all the staff of Food Sciences Laboratory (LSA), Department of Food Technology, Hadj Lakhdar Batna 1 University.

6. References

- [1]. LU T.M., LEE CH.CH., MAU J.L., LIN SH.D., Quality and antioxidant property of green tea sponge cake, *Food Chemistry*, 119: 1090-1095, (2010).
- [2]. VIJAYAKUMAR M.C., PETER D., BOBDE H., JOHN S.M., Quality characteristics of cookies prepared from oats and finger millet based composite flour, *Engineering Science and Technology: An International Journal*, 3: 677-683, (2013).

- [3]. PAUL P., BHATTACHARYYA S., Antioxidant profile and sensory evaluation of cookies fortified with juice and peel powder of fresh Pomegranate (*Punica granatum*), *International Journal of Agricultural and Food Science*, 5: 85-91, (2015).
- [4]. OBIEGBUNA J.E., AKUBOR P.I., ISHIWU C.N., NDIFE J., Effect of substituting sugar with date palm pulp meal on the physicochemical, organoleptic and storage properties of bread, *African Journal of Food Science*, 7: 113-119, (2013).
- [5]. OLUBUNMI I.P.H., BABATUNDE K.S., BOLANLE O.O., SEYIOBA S.O., TAIWO L.T., OLUKAYODE O.A., NWANKEGO E.G., Quality Evaluation of Fibre- Enriched Bread, *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 4: 503-508, (2015).
- [6]. TANZILA H., MUDASIR A., FAROOQ A.M., ADIL G., UMER A., Physicochemical and pasting properties of barley/wheat flour blends and the physical, baking and sensory characteristics of cakes, *Nutrafoods*, 17: 41-45, (2018).
- [7]. MESSAOUDI A., FAHLOUL D., Physicochemical and sensory properties of pancake enriched with freeze dried date pomace powder, *Annals. Food Science and Technology*, 19: 59-68, (2018).
- [8]. PROKOPOV T., GORANOVA Zh., BAEVA M., SLAVOV A., GALANAKIS Ch.M., Effects of powder from white cabbage outer leaves on sponge cake quality, *International Agrophysics*, 29: 493-500, (2015).
- [9]. AL-FARSI M.A., Clarification of date juice, *International Journal of Food Science and Technology*, 38: 241-245, (2003).
- [10]. NDANGUI Ch. B., Sweet potato flour production and characterization (*Ipomoeabatatas.Lam*): optimization of bread-making technology. PhD Thesis in Food Biotechnology and Processes, Lorraine and Marien Ngouabi Universities, 151p, (2015).
- [11]. MOHD. JUSOH Y.M., CHIN N.L., YUSOF Y.A., ABD. RAHMAN R., Bread Crust Thickness Estimation Using L a b Colour System, *Pertanika Journal of Science & Technology*, 16: 239-247, (2008).
- [12]. SASSI Kh., Contribution to the study of the adaptation of durum wheat cultivars (*Triticum durum Desf.*) to organic farming: grain yield, stability and technological and nutritional quality. PhD Thesis in Agricultural Sciences, University of 7 November In Carthage, National Agronomic Institute, Tunisia, 171p, (2008).
- [13]. ROSA C.S., TESSELE K., PRESTES R.C., SILVEIRA M., FRANCO F., Effect of substituting of cocoa powder for carob flour in cakes made with soy and banana flours, *International Food Research Journal*, 22: 2111-2118, (2015).
- [14]. SEMIĆ A., ORUČEVIĆ S., BAUMAN I., MUMINOVIĆ Š., SPAHO N., KLEPO B., Effects of increasing sourness of bread dough on bread quality, 5th International Congress FLOUR-BREAD '09, 7th, Croatian Congress of Cereal Technologists, 416-424, (2010).
- [15]. OUAZIB M., Effect of treatments on the nutritional and functional parameters of chickpea Produced locally: impact on the rheological, physicochemical and sensory properties of chickpea bread. PhD Thesis in Food Science, University of A.MIRA-BEJAIA, Algeria, 153p, (2017).
- [16]. HALABY M.S., FARAG M.H., GERGES A.H., Potential effect of date pits fortified bread on diabetic rats, *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3: 49-59, (2014).
- [17]. ISHIDA P.M.G., STEEL C.J., Physicochemical and sensory characteristics of pan bread samples available in the Brazilian market, *Food Science and Technology, Campinas*, 34: 746-754, (2014).

PHYSICOCHEMICAL AND SENSORY PROPERTIES OF PANCAKE ENRICHED WITH FREEZE DRIED DATE POMACE POWDER

Amal Messaoudi¹, Djamel Fahloul¹

¹Department of Food Technology, Food Sciences Laboratory (LSA), Hadj Lakhdar Batna 1 University, Batna, Algeria.
E-mail: Messaoudi_Amel@live.fr, dfahloul2@yahoo.com

Abstract

Pancakes are starch-based products prepared by pouring batter onto a hot solid surface and cooking until solid. The main objective of this work is to evaluate physicochemical and sensory properties of pancake supplemented with freeze dried date pomace powder of Garn Ghzel date variety. Pancakes were prepared after incorporation of 20, 30 and 40% of freeze dried date pomace powder. Physicochemical and functional properties of different mixing powders used in formulations of pancake were characterized. Results showed that the incorporation rate of date pomace powder affected physicochemical and functional properties of different mixing powders (moisture, dry matter, ash, pH, titrable acidity, swelling index, true and bulk density), physicochemical characteristics (diameter, thickness, spread ratio, pre-cooking weight, post-cooking weight, volume, specific volume, number of cell, moisture, dry matter, ash, pH and titrable acidity) and sensory properties of pancake in terms of homogeneity of distribution, sweet taste, taste of date, Brown color, spongy appearance, sticky undertooth, crunchy undertooth, size of alveoli, date odor intensity were evaluated. All pancake samples were acceptable; however sample with 30% of date pomace powder was most preferred. Findings showed that good and acceptable pancake could be produced using date pomace powder at different levels.

Keywords: Pancake, Freeze dried, date pomace powder, physicochemical characteristics, functional properties, sensory evaluation.

Received: 18.12.2017

Reviewed: 20.02.2018

Accepted: 21.03.2018

1. INTRODUCTION

Relation between food and health has an increasing impact on food innovation, due to the popularity of the concept of functional food. Practise of using nutrition knowledge at food product level to improve consumer health forms the general concept of functional foods (Kárkliöa et al., 2012). Bakery products are consumed all over the world (Lu et al., 2010). Baked products are gaining popularity because of their availability, ready to eat convenience and reasonably good shelf life (Vijayakumar et al., 2013). Common bakery products include biscuit, muffin, cake, bread, pastries and pies (Paul and Bhattacharyya, 2015). Pancakes are starch-based products prepared by pouring batter onto a hot solid surface and cooking until solid (Pengy et al., 2016).

Pancakes consumed in Algeria are a product of family preparation. It is consumed on occasions and on holidays. Several names are given to this type of preparation such as

Baghrir, Ghraif, Korsia etc. (Bouziane, 2014). The term "pancakes" refers to many preparations cooked traditionally in other countries of the world (Gocmen et al., 2009). The use of fruit and vegetable by-products as natural food additives has recently been suggested, due to their high content of polyphenols, carotenoids, dietary fibre, or other bioactive compounds (Prokopov et al., 2015). Date (*Phoenix dactylifera*) is a highly energetic fruit. Typically date contains carbohydrate (44-88%), fat (0.2-0.5%), protein (2.3-5.6%), dietary fiber (6.4-11.5%), minerals such as potassium (650 mg/100g), iron (3 mg/100 g) and magnesium (75 mg/100 g) and vitamins such as vitamin B1, B2, A, riboflavin and niacin. Antioxidant potentials of dates have been also demonstrated (Fahloul et al., 2010). Date pomace is a by-product of date syrup industry. However, information on incorporation of date pomace powder in pancake is scarce.

The objectives of this work were to study the valorization of freeze dried date pomace powder and syrup of Garn Ghzel date variety by incorporation into pancake product and to determine its physicochemical and sensory properties.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Preparation of date pomace powder

Date syrup was prepared according to Al-farsi (2003) method with a slight modification: A chopper was used to cut dates into pieces of 1 cm, then mixed with an equal amount of distilled water. The mixture was stirred for 20 min at 60°C in a water bath, (DK-420, China). Finally, the juice was extracted through a muslin cloth. Left material after juice extraction is called date pomace. It was freeze dried in a laboratory freeze dryer model (LD 2-8 CHRIST BETA PLUS, Germany) for 24 hours at a pressure and temperature of 0.12 mbar and -40°C respectively. Samples were ground and sieved in a sieve of 1mm diameter.

2.2. Pancake preparation

The pancake formula was adapted from the recipe of Shih et al. (2006) with some modifications. Pancake formula was shown in Table 1.

Table 1. Formulation of pancake

Ingredient (g)	Control	P20	P30	P40
Semolina	97.7	78.32	68.39	58.62
Date pomace powder	0	19.38	29.31	39.08
Salt	2.0	2.0	2.0	2.0
Baking powder	4.2	4.2	4.2	4.2
Nonfat dried milk	15	15	15	15.0
Egg beaters	39.1	39.1	39.1	39.1
Distilled water	160	160	160	160

Control, P20, P30, and P40: prepared with 0%, 20%, 30% and 40% replacement of pancake semolina with date pomace powder, respectively.

Pancakes (Figure 2) prepared with 0%, 20%, 30% and 40% replacement of semolina with date pomace powder were designated as the control, P20, P30 and P40 respectively. Mixing of dry ingredients, including: semolina (97.7

g), salt (2.0 g), chemical baking powder (4.2 g) and nonfat dried milk (15.0 g), were added to distilled water (160g) and egg beaters (39.1 g) to make a batter. The later was mixed with a spatula for 45s, than with a mixer for 3 min and fermented at $42 \pm 0.5^\circ\text{C}$ for 60 min, Aisi 430 (Taiwan). 67.5g of the batter was homogenized and poured on the preheated commercial pancake maker (Crépemaber CM 2221 CB) at 170°C. Cooking time was set to 2 min by assessing the surface color of pancake. The flow chart for the production of pancake is shown in Figure 1.

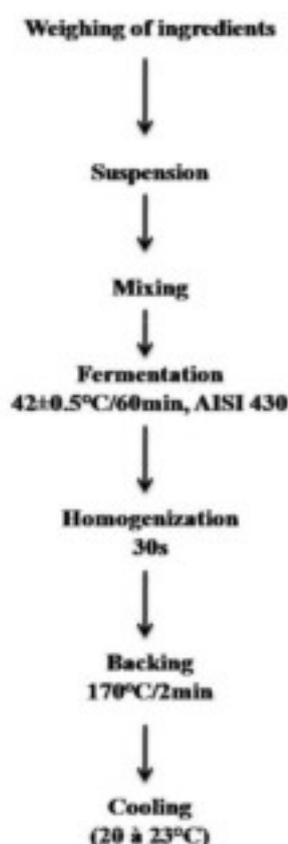


Figure 1: Flow chart for the production of pancake based on freeze dried date pomace powder

2.3. Physicochemical and functional characteristics of mixing powders

According to AOAC (1995), moisture and ash content of mixing powders were determined by gravimetric method at 105°C and incineration at 550°C respectively (Prokopov et al., 2015). pH and titrable acidity were determined

according to Kulkarni et al. (2008).

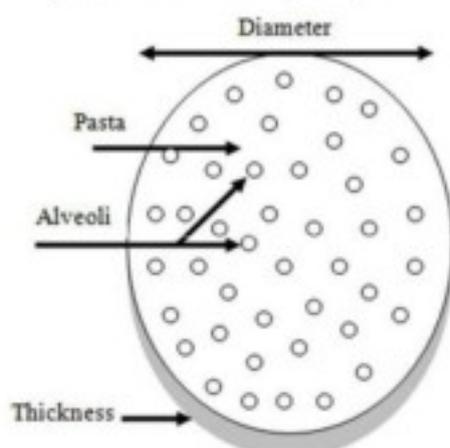


Figure 2: Descriptive diagram of pancake

Swelling index was determined according to Doukani (2015); weigh 50 g of sample and put in an empty test tube to measure volume (V1), then contents poured into a beaker filled with 200 ml of distilled water and leave to stand for 30 minutes. Then performing the reading of the obtained volume (V2). Swelling index is calculated according to the formula:

$$SI = \frac{V2}{V1} \quad (1)$$

SI: swelling index.

V1: dry sample volume (ml).

V2: wet sample volume after 30 min (ml).

True density of dry samples was determined as the ratio of the mass of dry solids (m) to total volume (Vs) excluding the air ports (Calín-Sánchez et al., 2014):

$$\rho_t = \frac{m}{V_s} \quad (2)$$

Samples were weighted with an analytical balance, (RADWAG, AS 220.R2, Poland) with reading accuracy of 0.0001g, while Vs was measured with a pycnometer model (ISO LAB In 20°C, 10ml BORO 3.3 A, Germany).

Bulk density of dried samples was determined as the ratio of solid mass to the bulk volume (Vb). and the bulk volume was measured with an 80 mL graduated container (Calín-Sánchez et al., 2014):

$$\rho_b = \frac{m}{V_b} \quad (3)$$

For color, samples were poured into Petri dishes, formed a layer of 10 mm thick and covered with a transparent film. The colorimeter, (KONICA MINOLTA SENSING, INC CR-10, Japan) was calibrated with a standard white ceramic plate before playback (L = 95.97, a = - 0.13, b = - 0.30). L is (lightness of the color zero (black) to 100 (white); a* value (degree of redness (0-60) or greenness (0 to -60); and b* (yellowing (0-60) or blueness (0 to - 60) were measured for all samples. The average value L, a* and b* were obtained from six readings for each sample (Abonyi et al., 2002).

2.4. Physicochemical properties of pancake

Diameter and thickness were measured using calipers in millimeters (Banusha and Vasantharuba, 2014). Spread ratio was calculated by dividing the average value of diameter by average value of pancake thickness (Baljeet et al., 2014). According to Rosa et al. (2015) with some modifications, weight was determined by weighing the raw Pancake before cooking, using a semi analytical balance (Kern, Imlab France). The same procedure was performed when the pancakes were baked, the readings recorded in grammes. Volume (cm³) was measured by rapeseed replacement method described in the AACC (1983). Specific volume (volume to mass ratio) (cm³/g) was there after calculated (Olubunmi et al., 2015).

$$\text{Specific volume} = \frac{\text{pancake volume}}{\text{pancake weight}} \quad (4)$$

The number of open cells per cm² was counted using a pancake with a known surface in five areas of each pancake (Bouziane, 2014).

$$ALV(\text{cm}^2) = \frac{\sum_{i=1}^5 alvz1 + alvez2 + alvz3 + alvz4 + alvz5}{16 \times 5} \quad (5)$$

z1, z2, z3, z4, z5: the five delimited areas;

Surface of a square shape: 16 cm².

The color of pancake was determined using Minolta chroma meter. Color value is based on L*(lightness–darkness), a*(redness–greenness) and b*(yellowness–blueness) according to the method of Rosa et al. (2015) with some modification.

Moisture, ash, pH and titrable acidity were obtained according to Kulkarni et al. (2008) and Prokopov et al. (2015).

2.5. Sensory evaluation

According to Rosa et al. (2015) with some modification; sensory evaluation was performed in order to evaluate differences among pancakes prepared with different amount of date pomace powders. It was performed using Twenty experienced staff members. They were selected according to willingness, availability, motivation and previously demonstrated capability to work as a member of a sensory panel. The affective test was used to evaluate the acceptability of pancakes in terms of homogeneity of distribution, sweet taste, taste of date, brown color, spongy appearance, sticky under tooth, crunchy under tooth, size of the alveoli and date odor intensity using a 9 - point hedonic scale, where the extremes corresponded to: 9=liked very much, and 1= disliked very much.

2.6. Statistical analysis

All analysis was performed with repetitions, and the results were expressed as the mean \pm standard deviation (SD). Results were submitted to the analysis of variance (ANOVA) and the means were compared with Tukey's test using OriginPro 2016 32 Bit. Differences were considered to be significant at $P < 0.05$.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Physicochemical and functional characteristics of mixing powders

Changes in physicochemical and functional properties of mixing powders used in the formula of pancake were presented in Table 2. Moisture contents of control, P20, P30 and P40 powders were 11.64 ± 0.15 , 9.44 ± 0.01 , 9.25 ± 0.08 and $8.24 \pm 0.08\%$ respectively; incorporation rate of date pomace powder decreased the moisture content and increased the dry matter of mixing powders, these results are due to the low water content which characterizes date pomace powder. These results are supported by the findings of Reis et

al. (2014) who reported that apple pomace has a moisture content 7.9%. Results obtained are also compared with values of semolina moisture around 14.5% (Barkouti, 2012). Ash content of mixing powders was not significantly different, decreased proportionally with incorporation rate of date pomace powder with values of 0.998, 0.995, 0.991 and 0.989% for control, P20, P30 and P40 respectively. Results showed that date pomace powder content in organic matter is higher than semolina. Results are compared with those of Sacchetti et al. (2011) concerning semolina with value of 0.88 (g/100 g_{dw}) and Kohajdová et al., (2012) who reported that the ash of carrot pomace powder is higher than fine wheat flour with values 1.39 and 0.40% respectively. pH of mixing powders decreased proportionally with increasing of mixed rate of date pomace powder with values of 6.42, 6.28, 6.17 and 6.11 for control, P20, P30 and P40 respectively. These results are related to mixed powders characteristics and incorporation rate and were similar to those reported by Pérez and Pérez (2009) for wheat semolina fettuccine and blend semolina with values of 6.35 and 6.43 respectively. Titrable acidity of mixing powders increased with the increasing of date pomace powder rate with values of 0.08, 0.5, 0.58 and 0.66 (Meqg/100 g of flour) for control, P20, P30 and P40 respectively. These results are due to mixing powders characteristics. Results were similar to those of Sall (1998) for wheat flour.

Swelling index (SI) of mixing powders ranged from 1.12 to 1.57. It depends on size particles, type of powders, solubility in water and date pomace powder content. Control samples had the highest value (1.57) and P40 had the lowest value (1.12), the SI decreases with the increase of date pomace powder incorporate. These results are lower than values given by Doukani (2015) for couscous products and acorn fruit with values of 2.10 and 3.43.

True and bulk densities of powders ranged from 625 to 645.16 and 555.55 to 609.75 kg/cm³ for pancake preparation respectively; results obtained were lower than those reported

by Taufiq et al. (2015) for tamarind and pineapple powders. The difference is justified by the control type and the amount of incorporated date pomace powder; true and

bulk densities of pancake preparation decreases with the increase of incorporated date pomace powder.

Table 2. Physicochemical and functional properties of different mixing powders

	Control	P20	P30	P40
Moisture (%)	11.64±0.15	9.44±0.01	9.25±0.08	8.24±0.08
Dry matter (%)	88.36±0.15	90.56±0.01	90.75±0.08	91.76±0.08
Ash (%)	0.998±0.00	0.995±0.00	0.991±0.00	0.989±0.00
pH	6.42±0.01	6.28±0.01	6.17±0.00	6.11±0.01
Titration acidity (Meqg / 100 g of flour)	0.08±0.00	0.5±0.00	0.58±0.14	0.66±0.14
Swelling index	1.57±0.00	1.53±0.00	1.38±0.00	1.12±0.00
True density (Kg/m ³)	645.16±0.00	645.16±0.00	625±0.00	625±0.00
Bulk density (Kg/m ³)	740.74±0.00	666.66±0.00	694.44±0.00	645.16±0.00

Control, P20, P30, and P40: prepared with 0%, 20%, 30% and 40% replacement of pancake semolina with date pomace powder, respectively. Results are expressed as mean values of three determinations ± SD; analysis of variance (ANOVA) $p < 0.05$ with Tukey's tests.

Color of mixing powders was affected by the incorporated rate of date pomace powder (Figure 3). In general, lightness (L^*) of different mixing powders control, P20, P30 and P40 decreases with increasing of date pomace powder proportion and it was higher in powders intended for preparation of pancake. Redness (a^*) increased with increasing of date pomace powder rate, and finally yellowness (b^*) decreased with increasing of date pomace powders rate. Lightness and yellowness were higher in control samples. Redness of control powders samples was lower than other powders (P20, P30 and P40). L^* , a^* and b^* components ranged from 71.9 to 81.6, 2.97 to 6.43 and 29.5 to 35.4 (Figure 3).

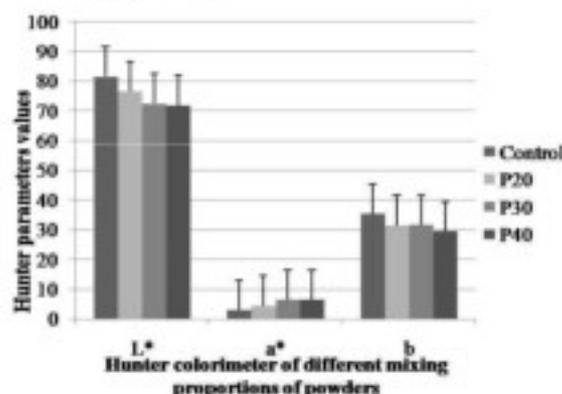


Figure 3: Color measurements of different mixing powders

Key: Control, P20, P30, and P40: prepared with 0%, 20%, 30% and 40% replacement of pancake semolina with date pomace powder, respectively.

These values are influenced by the level of incorporated date pomace powder. These results are supported with the values given by Makhlof (2012) concerning L^* and a^* for taro rosso, the difference due to powders composition.

3.2. Physicochemical characteristics of pancake

Changes in pancake characteristics with date pomace powder are shown in Table 3. Evaluation of physical properties of enriched pancake showed that thickness in P30 was the highest and the lowest for the control. The result was due to the level of incorporated date pomace powder. Diameter for control, P20, P30 and P40 was 162.66, 165.66, 156.66 and 153.66 mm respectively. Addition of date pomace powder affected the viscosity of liquid paste of pancake during cooking, so the diameter decreases with the increase of incorporated date pomace powder. Results are compared to those reported by Banusha and Vasantharuba (2014) for wheat-malted flour blend biscuit. Spread ratio of control was the highest and for the P30 was the lowest; it was related to thickness and diameter of samples.

Table 3. Physicochemical characteristics of pancake prepared with date pomace powder

	Control	P20	P30	P40
Thickness (mm)	2.56±0.21	3.21±0.46	3.62±0.19	3.23±0.33
Diameter (mm)	162.66±1.52	165.66±0.21	156.66±2.89	153.66±2.08
Spread ratio	63.23±4.64	52.13±6.58	43.34±3.10	47.97±5.76
Pre-cooking weight (g)	67.5±0.00	67.5±0.00	67.5±0.00	67.5±0.00
Post-cooking weight (g)	50.03±0.06	48.67±0.06	50.53±0.06	53.37±0.06
Volume (cm ³)	35.33±4.40	36.5±3.32	35.26±4.41	27.26±3.36
Specific Volume (cm ³ /g)	0.71±0.00	0.75±0.00	0.70±0.00	0.51±0.00
Moisture (%)	52.98±0.85	53.69±1.94	54.33±1.04	54.68±0.72
Dry Matter (%)	47.02±0.85	46.31±1.94	45.67±1.04	45.32±0.72
Ash (%)	0.974±0.00	0.975±0.00	0.977±0.00	0.977±0.00
pH	7.63±0.07	7.23±0.03	7.22±0.01	7.16±0.00
Titration acidity (meqg/100g of product)	1.25±0.00	1.46±0.36	1.04±0.36	1.46±0.36

Control, P20, P30, and P40: prepared with 0%, 20%, 30% and 40% replacement of pancake semolina with date pomace powder, respectively. Results are expressed as mean values of three determinations ± SD; analysis of variance (ANOVA) $p < 0.05$ with Tukey's tests.

Spread ratio of pancake decreased from 63.23 to 43.34. Hence, results indicated that increasing of diameter and decreasing of thickness increase the spread ratio (Baljeet et al., 2014). Results showed that pre-cooking weight is similar for all samples (67.5g). The post-cooking weight ranged from 48.67 to 50.53g for P20 and P30 respectively. Silva et al. (2010) reported that this observation occurs because fibers absorb more water, which leads to an increase in yield in the formulation of baked products. Pancake volume ranged from 27.26 to 36.5, lower in P40 and higher in P20; it was the most important characteristic because it provides a quantitative measurement of baking performance and it is a good measurement of protein quality. Decrease in volume may be attributed to the dilution effect on the gluten network thereby reducing the gluten strength with a ripple effect of poor carbon dioxide gas formation and retention in the baked dough (Olubunmi et al., 2015). Specific volume was 0.71, 0.75, 0.70 and 0.51 for control, P20, P30 and P40 respectively. These results are compared with values of Bouziane (2014) for pancake; the difference is explained by the products preparation. For moisture, approximate values are observed despite the difference in rate of date pomace

powder; 52.98, 53.69, 54.33 and 54.68% for control, P20, P30 and P40 respectively. It increased with the increase of incorporated date pomace powder. Dry matter decreases with increasing of date pomace powder, results are consistent with those of Shih et al. (2006) regarding pancakes with values from 48.10 to 51.80%. Ash value varied from 0.974 to 0.977%, it increased with increase of incorporated date pomace powder, results were lower than those of Shih et al. (2006) for rice pancakes and wheat pancakes with values varied from 2.38 to 2.70. Cooking conditions and studied products affect the obtained results. pH level and titration acidity ranged from 7.16 to 7.23 and 1.25 to 1.46 meqg /100 g of product respectively. pH level decreased significantly upon addition of date pomace powders in contrast to titration acidity as compared with results of Prokopov et al. (2015) for sponge cakes, date pomace powder supplementation resulted in production of pancake with neutral pH. Regarding titration acidity, the results were lower than those reported by Yao et al. (2015) for l'attiéké product. Difference is due to the composition of each product. The number of cell/m² of pancake prepared with date pomace powder was presented in Figure 4.

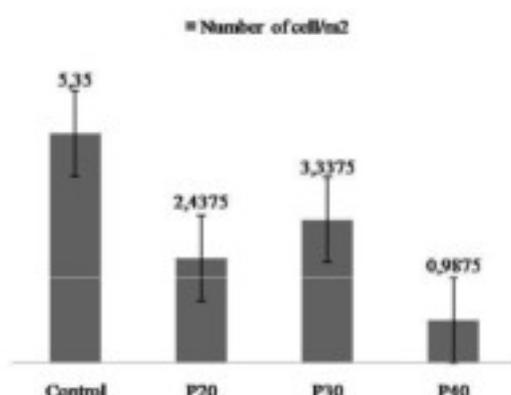


Figure 4: Number of cell/m² of pancake prepared with date pomace powder

Key: Control, P20, P30, and P40: prepared with 0%, 20%, 30% and 40% replacement of pancake semolina with date pomace powder, respectively.

The number of cell/m² for control, P20, P30 and P40 was 5.35, 3.34, 2.44 and 0.99 cell/m² respectively. Results showed that control

sample has the higher value followed by P30, P20 and P40. These results are compared with those of Bouziane (2014) for pancake with values from 0.19 to 4.81 cell/cm², the difference is due to the fluidity of pastes defined by its initial formulation.

Color of bottom and upper surface of pancake fortified with date pomace powder was presented in Figure 5.

Color of bottom pancakes surface was affected by Maillard and caramelization reaction during baking, while the upper surface color was affected by the components used in the formulation, similar to results of Majzoubi et al. (2012) for cake product. Results indicated that L*, a* and b* are the following 71.33, 61.86, 58.6 and 58.46; 1.27, 5.43, 6.7 and 9.4; 34.93, 29.16, 28.87 and 27.8 for control, P20, P30 and P40 for bottom surface respectively.

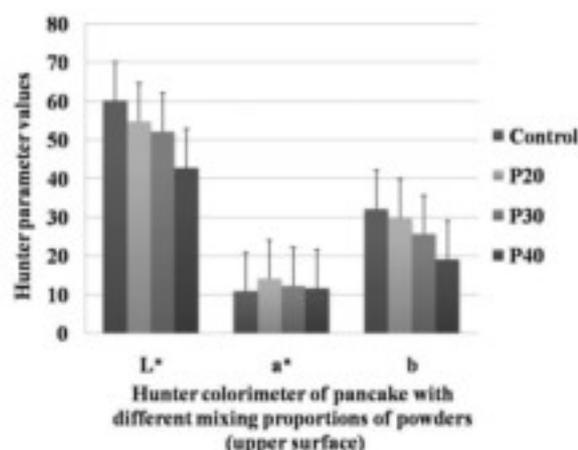
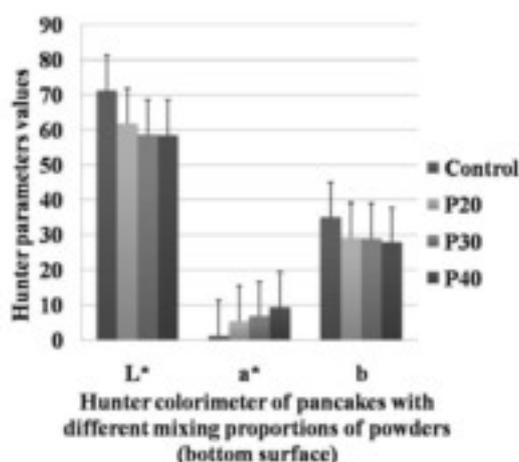


Figure 5: Color measurements of pancake product with different mixing proportions of powders (bottom and upper surface)

Key: Control, P20, P30, and P40: prepared with 0%, 20%, 30% and 40% replacement of pancake semolina with date pomace powder, respectively.

For upper surface the values obtained for L*, *a and b* are the following 60.20, 54.77, 52.13 and 42.83; 10.9, 14.13, 12.23 and 11.66; 32.2, 29.83, 25.66 and 19.13 concerning control, P20, P30 and P40 respectively. Lightness decreased with increasing date pomace powder for bottom and upper surface, redness increased with increasing date pomace powder for

bottom surface, while for upper surface the values of redness for control was less than P20, P30 and P40 and for yellowness decreased with increasing date pomace powder for bottom and upper surface. These are close to results found by Waldron et al. (2013) for pancake product.

3.3. Sensory evaluation

Web diagram for mean sensory scores of

enriched date pomace powder pancake with Garn Ghzel date syrup was presented (Figure 6).

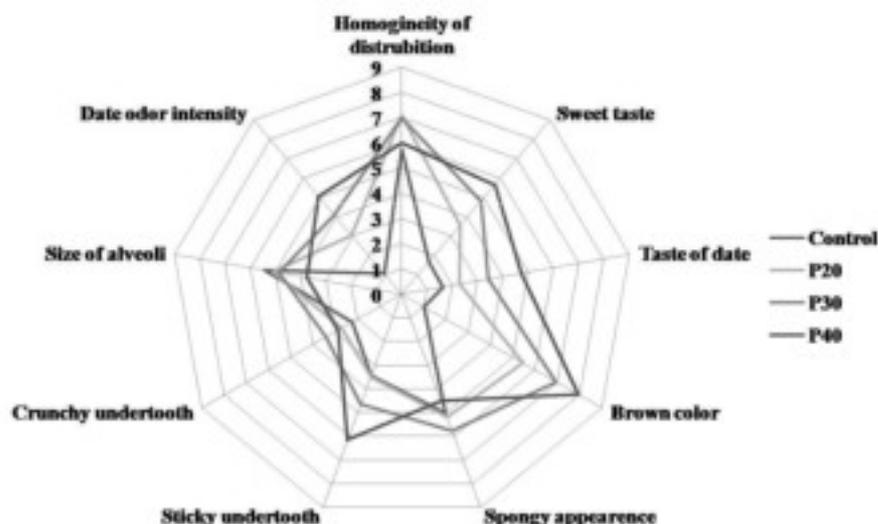


Figure 6. Web diagram for mean sensory scores of date pomace powder pancake with date syrup

Key: Control, P20, P30, and P40; prepared with 0%, 20%, 30% and 40% replacement of pancake semolina with date pomace powder, respectively.

Analysis was dependent on the composition of each sample; especially concentration of date pomace powder. According to sensory evaluation, the attributes (sweet taste, taste of date, brown color, sticky under tooth and date odor intensity) for sample P40 had the highest score. For homogeneity of distribution, spongy appearance and size of alveoli, samples P20 and P30 had the highest score because concentration of date pomace powder (40, 20 and 30%) respectively. Overall acceptability of control, P20, P30 and P40 followed the same trend and all pancakes samples were acceptable. However, sample with 30% of date pomace powder was the most preferred.

4. CONCLUSION

The results of this study showed that it is possible to develop pancakes with Garn Ghzel date pomace powder. The Incorporation of freeze dried date pomace powder in the formulation of pancakes was found to improve physicochemical and functional properties of samples. Pancakes prepared at incorporation rates of 20%, 30% and 40% are all acceptable

in terms of color, homogeneity of distribution, odor, taste, size of alveoli and spongy appearance. Pancake with 30% of date pomace powder was the most preferred.

Acknowledgements

The authors thank all the staff of Food Sciences Laboratory (LSA), Department of Food Technology, Hadj Lakhdar Batna 1 University.

5. REFERENCES

- [1]. Kärkliõa, D., Gedrovica, I., Reça, M., and Kronberga, M. Production of biscuits with higher nutritional value. *Proceeding of the Latvian Academy of Sciences*, 66 (3), 2012, 1-4.
- [2]. Lu, T.M., Lee, Ch.Ch., Mau, J.L., Lin, Sh.D. Quality and antioxidant property of green tea sponge cake. *Food Chemistry*, 119, 2010, 1090-1095.
- [3]. Vijayakumar, M.C., Peter, D., Bobde, H. and John, S.M. Quality characteristics of cookies prepared from oats and finger millet based composite flour. *Engineering Science and Technology: An International Journal*, 3, 2013, 677-683.
- [4]. Paul, P. and Bhattacharyya, S. Antioxidant profile and sensory evaluation of cookies fortified with

- juice and peel powder of fresh Pomegranate (*Punica granatum*). *International Journal of Agricultural and Food Science*, 5 (3), 2015, 85-91.
- [5]. Pengy, I. E., Fima, Kh. and Yann, B. How to Make the Perfect Pancake. *Mathematics*, 2016, 26-29.
- [6]. Bouziane, K., (2014). Gluten-free pastes for Algerian celiac patients: rheological behavior and culinary skills of pasta liquid: pancake type. Magister memory, Univ. Constantine, 1-102 p.
- [7]. Gocmen, D., Inkaya, A. N. and Aydin, E. Flat breads. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 15 (4), 2009, 298-306.
- [8]. Prokopov, T., Goranova, Z., Baeva, M., Slavov, A. and Galanakis, Ch.M. Effects of powder from white cabbage outer leaves on sponge cake quality. *International Agrophysics*, 29, 2015, 493-500.
- [9]. Fahloul, D., Abdedaim, M. and Trystram, G. Heat, Mass Transfer and Physical Properties of Biscuits Enriched with Date Powder. *Journal of Applied Science Research*, 6(11), 2010, 1680-1686.
- [10]. Al-Farsi, M.A. Clarification of date juice. *International Journal of Food Science and Technology*, 38, 2003, 241-245.
- [11]. Shih, F.F., Truong, V.D. and Daigle, K.W. Physicochemical properties of gluten-free pancakes from rice and sweet potato flours. *Journal of Food Quality*, 29, 2005, 97-107.
- [12]. Kulkarni, S.G., Vijayanand, P., Aksha, M., Reena, P. and Ramana, K.V.R. Effect of dehydration on the quality and storage stability of immature dates (*Phoenix dactylifera*). *Lwt- Food Science and Technology*, 41, 2008, 278-283.
- [13]. Doukani, K. Comparative study between industrial couscous and acorn-based couscous. *Nature and Technology. B- Agronomic and Biological Sciences*, 13, 2015, 1-11.
- [14]. Calín-Sánchez, A., Kharaghani, A., Lech, K., Figiel, A., Carbonell-Barrachina, A.A. and Tsotsas, E. Physical and sensory properties of chokeberry fruits dried with different methods. *Proceeding of the 19th International Drying Symposium*, 2014, 24-27. Lyon: France.
- [15]. Abonyi, B.I., Feng, B.I., Edwards, C.G. and Tang, J. Quality retention in strawberry and carrot purees dried with Refractance Window system. *Journal of Food Science*, 67, 2002, 1051-1056.
- [16]. Banusha, S. and Vasantharuba, S. Preparation of Wheat-Malted Flour Blend Biscuit and Evaluation of its Quality Characteristics. *Am-Euras. Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, 14 (5), 2014, 459-463.
- [17]. Baljeet, S. Y., Ritika, B.Y. and Reena, K. Effect of incorporation of carrot pomace powder and germinated chickpea flour on the quality characteristics of biscuits. *International Food Research Journal*, 21 (1), 2014, 217-222.
- [18]. Rosa, C.S., Tessele, K., Prestes, R.C., Silveira, M. and Franco, F. Effect of substituting of cocoa powder for carob flour in cakes made with soy and banana flours. *International Food Research Journal*, 22 (5), 2015, 2111-2118.
- [19]. Olubunmi, I.Ph., Babatunde, K.S., Bolanle, O.O., Seyioba, S.O., Taiwo, L.T., Olukayode, O. A., Nwankego, E.G. Quality Evaluation of Fibre-Enriched Bread. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 4 (4), 2015, 503-508.
- [20]. Reis, S.F., Rai, D.K. and Abu Ghannam, N. Apple pomace as a potential ingredient for the development of new functional foods. *IJFST*, 49, 2014, 1743-1750.
- [21]. Barkouti, A., (2012). Wet agglomeration of powders with surface reactivity-mechanical approach of the mechanistic of the morphogenesis of agglomerated food structures. Doctoral Thesis, Univ. Montpellier II, 1-189 p.
- [22]. Sacchetti, G., Cocco G., Cocco D., Neri L., Mastrocola D. Effect of semolina particle size on the cooking kinetics and quality of spaghetti. *Procedia Food Science*, 1, 2011, 1740 – 1745.
- [23]. Kohajdová, Z., J. Karovičová and M. Jurasová. Influence of carrot pomace powder on the rheological characteristics of wheat flour dough and on wheat rolls quality. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 11 (4), 2012, 381-387.
- [24]. Pérez, E. and Pérez, L. Effect of the addition of cassava flour and beetroot juice on the quality of fettuccine. *African Journal of Food Science*, 3 (11), 2009, 352-360.
- [25]. Sall, Kh. (1998). Control of quality of cereal flours placed on the market in Senegal. Doctoral Thesis, Univ. cheikh anta diop of Dakar, 1-118.
- [26]. Taufiq, A. M., Yusof, Y. A., Chin, N. L., Othman, S. H., Serikbaeva, A. and Aziz, M. G. Physicochemical properties of tamarind and pineapple fruit pulps and powders. *International Food Research Journal*, 22 (2), 2015, 707-712.
- [27]. Makhlof, H. (2012). Physico-chemical and rheological properties of flour and taro starch (*Colocasia esculenta L. Schott*) in the Soso variety of Chad as a function of maturity and drying mode. Doctoral Thesis, University of Ngaoundéré 245 p.
- [28]. Silva, L.M.R., Abreu, D.A.A., Soares, D.J., Pontes, D.F. and Constant, P.B.L.S.

- Processamento de bolo com farinha de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd): estudo de aceitabilidade. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 12 (2), 2010, 125-132.
- [29]. Yao, A. K., Koffi, D. M., Blei, S. H., Irié, Z.B. and Niamke, S. L. Biochemical and organoleptic properties of three traditional Ivorian (attiéké, placali, attoukpou) based on native cassava granules. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 9 (3), 2015, 1341-1353.
- [30]. Majzoobi, M., Mansouri, H., Mesbahí, Gh., Farahnaky, A. and Golmakani, M. T. Effects of Sucrose Substitution with Date Syrup and Date Liquid Sugar on the Physicochemical Properties of Dough and Biscuits. *Journal of Agricultural and Science Technology*, 18, 2016, 643-65.
- [31]. Waldron, J., Reyes, R. and Legi, R. The effect of substituting sugar with artificial sweeteners on the texture and palatability of pancakes. *Nutrition*, 453, 2016, 1.