

CONTRIBUTION AU SECHAGE CONVECTIF DES DATTES (VARIETE MOLLE)

MESSAOUDI Amal¹, FAHLOUL Djamel²

¹Laboratoire des Sciences des Aliments (LSA), Département de Technologie alimentaire, Institut des Sciences Vétérinaires et des Sciences Agronomiques, Université Batna 1 – Algérie, Poste Zana Ouled Sbaa-Zana Elbaida-Seriana-BATNA-, Messaoudi_Amel@live.fr

²Laboratoire des Sciences des Aliments (LSA), Département de Technologie alimentaire, Institut des Sciences Vétérinaires et des Sciences Agronomiques, Université Batna 1 – Algérie, Batna, dfahloul2@yahoo.com

RÉSUMÉ

Dans ce travail, la cinétique de séchage convectif de la datté (variété molle) a été étudiée pour quatre températures (40, 50, 60 et 70°C) et deux découpes (entière et moitié). La diffusivité massique et l'énergie d'activation sont estimées. Les résultats ont montré que la perte de poids des fruits et des teneurs en humidité est influencée par la variation de la température et de la découpe, le coefficient de diffusion varie de $1,05 \times 10^{-08}$ à $4,49 \times 10^{-09}$ (m²/s) et $1,74 \times 10^{-09}$ à $7,02 \times 10^{-10}$ (m²/s) avec l'augmentation de température, pour les dattes entières et moitiés respectivement. L'équation d'Arrhenius donne une valeur de l'énergie d'activation de 26,67 et 25,68 (KJ/mol), pour les dattes entières et moitiés respectivement, cette dernière diminue avec la diminution de l'épaisseur.

Mots clés: Datté molle, cinétique de séchage, diffusivité massique, énergie d'activation, paramètres physiques, découpe.

NOMENCLATURE

Symboles	Indices / Exposants :
D Diffusivité massique, m ² /s	a activation
E Energie d'activation, kJ/mole MS	e équilibre
\bar{M} Teneur en eau du produit, kg/kg MS	s sèche
\bar{M} Teneur en eau à l'équilibre, kg/kg MS	0 initiale
R Constante gaz parfaits, kJ/mole.K	
H Humidité, %	
Ms Matière sèche, %	
K Constante de séchage, s ⁻¹	
L Epaisseur du produit, m	
M0 Teneur initiale, kg/kg MS	
T Température de l'air, K	
t Temps, s	

1. INTRODUCTION

Le palmier dattier *Phoenix dactylifera L.* est un arbre tropical et subtropical qui appartient à la famille Plamae (Arecaceae) [1-2] parmi les plantes cultivées les plus anciennes de l'humanité. Pendant 6000 années plusieurs générations ont l'utilisés en raison de sa valeur économique et alimentaire remarquable et pour ces bénéfices sanitaire en plus de ses avantages esthétiques et

environnementaux [3]. Il est produit en grande partie dans les régions désertiques chaudes du sud-ouest d'Asie et en Afrique du nord, et commercialisé dans le monde entier comme un fruit à haute valeur nutritive [4]. Le patrimoine phoenicol Algérien (caractérisé par une grande diversité de variétés) [5] occupe une place de premier rang dans l'agriculture saharienne (emploi, sédentarisation de populations, production) [6-8]. La datte est un fruit charnu non climatique [9] qui représente un axe alimentaire important pour la population des régions arides, semi-arides du Nord Africain, du Moyen orient et des Pays de Sud (Iran). Les dattes ont une valeur nutritive significative pour améliorer l'alimentation des consommateurs, pour cela, elles sont largement consommées surtout au cours du mois sacré du Ramadan [10]. Elles sont riches en antioxydants, y compris le sélénium, composés phénoliques, et caroténoïdes. Les dattes sont une bonne source d'énergie rapide en raison de leur teneur élevée en hydrates de carbone (70–80%), principalement fructose et glucose qui sont facilement absorbés par le corps humain [11]. Elles se composent de péricarpe et de graine charnue. Les noyaux du palmier dattier ont beaucoup d'utilisation après la transformation technologique des fruits de datte ou leur transformation biologique [12]. En plus de son utilisation diététique, les dattes sont utiles en médecine et sont employées pour traiter une variété de maux dans les divers systèmes traditionnels de médecine [13]. Le séchage est, soit un moyen de conservation, soit une étape dans la transformation de certains produits. Il est utilisé dans le monde rural à travers le séchage des produits agricoles, viandes ... [14]. Les études sur le séchage du fruit de palmier dattier ne sont pas bien documentées, particulièrement le processus de séchage, l'optimisation de la cinétique de séchage et les caractéristiques du palmier dattier portant les fruits [15]. L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence de la température et de la découpe sur la cinétique de séchage, la diffusivité massique et l'énergie d'activation de dattes algériennes variété molle.

2. MODÈLES MATHÉMATIQUES/METHODES EXPERIMENTALES

2.1. PROCEDURE DE SECHAGE

La cinétique de séchage des deux découpes de dattes (entière et moitié) a été étudiée à quatre températures de séchage qui sont 40, 50, 60 et 70°C, à l'air chaud dans une étuve à convection naturelle (type Memmert, Germany). L'étuve a été réglée à une température de séchage sélectionné pendant une demi-heure avant le début de l'expérience pour atteindre des conditions stables. Ensuite, les échantillons ont été placés dans l'étuve. 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 des échantillons 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 [16 – 17]. Le poids des échantillons a été mesuré jusqu'à une teneur en eau relative bien défini de 0,94 pour les dattes entière et 0,86 pour les dattes moitié au temps ($t = 300$ min).



Figure1. Etuve type Memmert, Germany

2.2. PREPARATION DE L'ECHANTILLON

Cette étude a été réalisée sur des fruits de datte (variété molle) provenant du marché couvert de la wilaya de Batna et stockés à 4°C pour qu'elles soient utilisées comme échantillon de séchage. Les dattes ont été séchées entièrement et en moitié. Le poids initial des dattes entières et moitié a été mesuré en utilisant une balance électronique de précision à 0,01g près.

2.3. ESTIMATION DE LA DIFFUSIVITÉ MASSIQUE ET DE L'ÉNERGIE D'ACTIVATION

Le transfert de l'humidité pendant le séchage est contrôlé par la diffusion interne. La deuxième loi de Fick de diffusion, a été largement utilisée pour décrire le processus de séchage pour la plupart des produits biologiques [18- 19]. En supposant l'uniformité de la distribution de l'humidité initiale, les résistances externes négligeables et un processus isotherme, la solution de la deuxième loi de Fick proposée par Crank [20] est:

$$\frac{\bar{M}-M_e}{M-M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-(2n+1)^2 \frac{\pi^2}{4} \frac{Dt}{L^2} \right] \quad (3)$$

La solution prend en compte la teneur en eau initiale (M0), la teneur en eau à l'équilibre (Me) et l'épaisseur de l'échantillon (L). En supposant Me égal à 0:

$$MR = \frac{\bar{M}}{M0} = \frac{8}{\pi^2} \exp \left[-\frac{\pi^2}{4} \frac{Dt}{L^2} \right] \quad (4)$$

Comme le séchage arrive seulement sur une surface de l'échantillon, l'épaisseur L dans les équations (3) et (4) est remplacée par L/2. avec K, la constante de séchage. L'intégration de l'équation (4) à un instant t est:

$$MR = \exp(-Kt) \quad (5)$$

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

$$K = \frac{\pi^2}{L^2} D \quad (6)$$

L'énergie d'activation de la diffusion peut être estimée à l'aide de l'équation d'Arrhenius [19].

3. RESULTATS

3.1. INFLUENCE DE LA TEMPERATURE ET DE LA DECOUPE

Les courbes de séchage à différentes températures et pour les deux découpes (moitié et entière) diminuent en fonction du temps. On a trouvé des valeurs de teneur en eau relative pour les dattes entières d'environ de (0,978 ; 0,968 ; 0,957 ; 0,949) pour les températures (40, 50, 60, 70°C) au temps bien déterminé (t = 300 min) et pour les dattes moitiés (0,960 ; 0,929 ; 0,880 ; 0,860) pour les températures (40, 50, 60, 70°C) au temps (t = 300 min). Ces résultats sont illustrés par les figures 1-2. L'influence de la température est plus élevée pour la découpe moitié que l'entière. Cette différence dans le comportement de séchage est peut être due aux caractéristiques morphologiques (épaisseurs). Les courbes de séchage deviennent plus rapides avec l'augmentation de la température; pour la datte entière pour les quatre températures (40, 50, 60 et 70°C) respectivement, Ainsi, les résultats obtenus s'accordent bien avec ceux rapportés dans la littérature pour d'autres produits alimentaires, tel que le séchage de bitter kola [19] et le séchage de la pomme de terre [18].

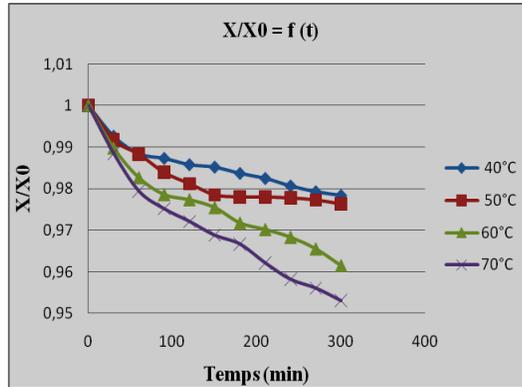


Figure2. Influence de la température sur la teneur en eau relative en fonction du temps (datte entière)

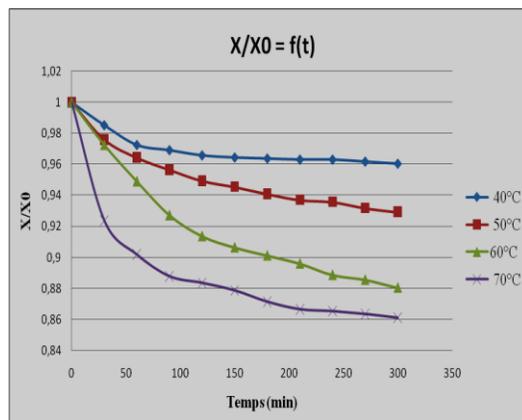


Figure3. Influence de la température sur la teneur en eau relative en fonction du temps (datte moitié)

3.2. DETERMINATION DE LA DIFFUSIVITE MASSIQUE ET DE L'ENERGIE D'ACTIVATION

3.2.1. DETERMINATION DE LA DIFFUSIVITE MASSIQUE

Le coefficient de diffusion pour chaque température de séchage a été calculé en utilisant la loi de fick. D'après l'équation 4, on obtient les valeurs de la diffusivité massique présentées dans le tableau 1 Les résultats montrent que la diffusivité massique augmente avec l'augmentation de la température et de l'épaisseur. La majorité des produits agricoles (92%) ont une diffusivité massique dans la gamme 10^{-12} à 10^{-8} (m^2/s) [18]. Les valeurs obtenues pour la diffusivité massique varient entre ($1,05 \times 10^{-8}$ à $4,49 \times 10^{-9}$ (m^2/s) et $1,74 \times 10^{-9}$ à $7,02 \times 10^{-10}$ (m^2/s) pour la datte entière et moitié respectivement. Amellal a trouvé des valeurs entre [$4,892 \times 10^{-9}$ et $12,87 \times 10^{-9}$ (m^2/s)], [$10,30 \times 10^{-9}$ et $18,025 \times 10^{-9}$] et [$6,48 \times 10^{-9}$ et $14,8 \times 10^{-9}$ (m^2/s)] pour les variétés Mech Deglat, Deglat-Baida et Frezza respectivement [21]. D'après Ashraf et al., la diffusivité massique de la pâte de datte varie entre [$6,085 \times 10^{-8}$ et $4,868 \times 10^{-7}$ (m^2/s)] [22]. Les changements observés correspondent au changement de la variété de datte étudié ainsi que les conditions de séchage.

Découpe	T (°C)	D ($m^2.s^{-1}$)	Ea (KJ/mole)	R2
Entière	40	$1,05 \times 10^{-8}$	26,67	0,956
	50	$7,41 \times 10^{-9}$		
	60	$4,90 \times 10^{-9}$		
	70	$4,49 \times 10^{-9}$		

	40	$1,74 \times 10^{-09}$		
Moitié	50	$1,19 \times 10^{-09}$		
	60	$1,03 \times 10^{-09}$	25,68	0,972
	70	$7,02 \times 10^{-10}$		

TABLEAU 1: Estimation de la diffusivité massique et l'énergie d'activation en fonction des conditions opératoires.

3.2.2. DETERMINATION DE L'ENERGIE D'ACTIVATION

L'énergie d'activation est calculée en représentant le logarithme népérien des valeurs expérimentales de la diffusivité effective D_{eff} en fonction de l'inverse de la température (figure 3). C'est une droite qui indique la dépendance d'Arrhénius dans la gamme des températures étudiées [21]. D'après le tableau 1, les valeurs de l'énergie d'activation sont respectivement 26,67 et 25,68 (kJ/mole) pour les découpes (entière et moitié).

Ces résultats sont en accord avec la valeur 20,78 kJ/mole obtenue par Amellal pour la variété de datte Mech-Deglat [21], L'énergie d'activation diminue avec la diminution de l'épaisseur.

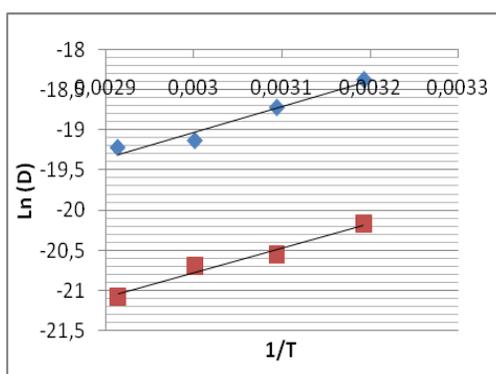


FIGURE4.Evolution de Ln D en fonction de 1/ T

4. CONCLUSIONS

Dans ce travail, la cinétique de séchage des dattes (variété molle) sont effectuées dans une étuve à convection naturelle pour quatre températures (40, 50, 60 et 70°C) et pour deux découpes (entière et moitié). Les résultats montrent que :

- L'augmentation de la température et le changement de la découpe, agissent sur le séchage et permettent d'obtenir de courtes durées de séchage.
- La diffusivité massique augmente avec l'augmentation de la température et de l'épaisseur.
- L'énergie d'activation augmente avec l'augmentation de l'épaisseur.

REFERENCES

- [1] B. Abdelkader, D. Alain, K. Hamid and H. Youssef, Isolation and structural characterization of hemicelluloses from palm of *Phoenix dactylifera* L., *Carbohydrate Polymers*, Volume 68, Pages 601–608, 2007.
- [2] M. A. Faqir, I.B. Sardar, A.H. El-Ghorab, M. Issa Khan, M. Nadeem, SH. Hussain and M. Sajid Arshad, Phytochemical characteristics of Date Palm (*Phoenix dactylifera*)fruit extracts, *PAK. J. FOOD SCI.*, Volume 22, Pages 117-127, 2012.

- [3] W. Al-Shahib and R.J. Marshall, The fruit of the date palm: it's possible use as the best food for the future?, *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, Volume 54, Pages 247/259, 2003.
- [4] M.S. Rahman, S. Kasapis, N.S.Z. Al-Kharusi, I.M. Al-Marhubi and A.J. Khan. Composition characterisation and thermal transition of date pits powders, *Journal of Food Engineering*, Volume 80, Pages 1–10, 2007.
- [5] M. Abdelhak, E. Guendez, K. Eugene and K. Panagiotis, Phenolic profile and antioxidant activity of the Algerian ripe date palm fruit (*Phoenix dactylifera*), *Food Chemistry*, Volume 89, Pages 411–420, 2005.
- [6] S.E. Benziouche et F. CHeriet, Structure et contraintes de la filière dattes en Algérie, *NEW MEDIT*, Numéro 4, 2012.
- [7] A. Chehma et HF. Longo, Valorisation des Sous-Produits du Palmier Dattier en Vue de leur Utilisation en Alimentation du Bétail, *Rev. Energ. Ren. : Production et Valorisation – Biomasse*, Pages 59-64, 2001.
- [8] H. Acheheb, A. Ferradji and A. Khatir, Optimisation of osmotic dehydration of apples slices in dates syrup using the response surface methodology, *19th International Drying Symposium (IDS 2014)*, Lyon, France, August 24-27, Pages 1-8, 2014.
- [9] S. Shyam Sablani , K. Ashok Shrestha and R. Bhesh Bhandari, A new method of producing date powder granules: Physicochemical characteristics of powder, *Journal of Food Engineering* , Volume 87, Pages 416–421, 2008.
- [10] A. Abekhti, K. Zarour, A. Boulal, Z. Benmechernene and M. Kihal, Evaluation of Microbiological Quality of the Date Fruit Product “ Btana” Produced in Adrar South Algeria, *Journal of Microbiology Research*, Volume 3, Pages 163-170, 2013.
- [11] L.Trigueros, E. Sayas-Barberá, J.A. Pérez-Álvarez and E. Sendra, Use of date (*Phoenix dactylifera L.*) blanching water for reconstituting milk powder: Yogurt manufacture, food and bioproducts processing, Volume 9, Pages 506–514, 2012.
- [12] S. Besbes, C. Blecker, C. Deroanne, G. Lognay, N.-E. Drira and H. Attia, Quality Characteristics and Oxidative Stability of Date Seed Oil During Storage, *Food Sri. Tech. Int.*, Volume 10, Pages 333-338, 2004.
- [13] M. SH. Baliga, B.R. Vittaldas Baliga, CH.M. Kandathil, H.P. Bhat and P.K. Vayalil, A review of the chemistry and pharmacology of the date fruits (*Phoenix dactylifera L.*), *Food Research International*, Volume 44, Pages 1812–1822, 2011.
- [14] S. El Mokretar, R. Miri et M. Belhamel, Etude du Bilan d’Energie et de Masse d’un Séchoir de Type Serre, *Rev. Energ. Ren.*, Volume 7, Pages 109-123, 2004.
- [15] A. N. Fernandes Fabiano, S. Rodrigues , Ch. L. Law and A. S. Mujumdar, Drying of Exotic Tropical Fruits: A Comprehensive Review. *Food Bioprocess Technol.*, Volume 4, Pages 163 – 185, 2011.

- [16] E.S. Siew et S.K. Chin, Drying Characteristics and Quality Evaluation of Kiwi Slices under hot air drying method. *19th International Drying Symposium (IDS 2014)*. Lyon, France, August 24-27, Pages 1-8, 2014.
- [17] W.C. Kau, S.K. Chin, D.T. Tan and P.E. Poh, 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, Pages 1-8, 2014.
- [18] D. Fahloul, F. Benmadi et S. Boudraa, Estimation de la diffusivité massique et cinétique de séchage sous vide de la pomme de terre (variété Spunta), *Revue des Energies Renouvelables*, Volume 12, Pages 655 – 665, 2009.
- [19] J. Ehiem, E.Chinaka et B. Akachukwu, Determination of drying characteristics and Kinetics of bitter Kola (garcinia Kola) using page's model, *Agric. Eng. Int: CIGR Journal*, Volume 16, Page 278, 2014.
- [20] J. Crank, 'Mathematics of diffusion', 2 nd ed., Oxford University Press, London, 1975.
- [21] H. Amellal, 2008. Aptitude Technologiques de Quelques Variétés Communes de Dattes : Formulation d'un Yaourt Naturellement Sucré et Aromatisé. Thèse de Doctorat, spécialité Génie Alimentaire, Option : Technologies Alimentaires, Université de Boumerdès, 164 p.
- [22] Z. Ashraf, Z. Hamidi-Esfahani, and M. A. Sahari, Evaluation and Characterization of Vacuum Drying of Date Paste, *J. Agr. Sci. Tech.* Volume : 14, Pages 565-575, 2012.