

Influence des méthodes de séchage sur la qualité des tomates séchées (variété *Zahra*)

N. Lahmari, D. Fahloul* et I. Azani

Laboratoire Sciences des Aliments, Département de Technologie Alimentaire
Université Hadj Lakhdar
1, Avenue Chahid Mohamed El Hadi Boukhrouf, Batna, Algérie

(reçu le 05 Janvier 2012 - accepté le 30 Juin 2012)

Résumé – L'objectif de ce travail est l'étude de l'influence de différentes méthodes de séchage (air libre, solaire à convection forcée, solaire à convection naturelle et sous vide) sur la cinétique de séchage de la tomate. Les paramètres suivants ont été déterminés: diffusivité massique, énergie d'activation, teneur en lycopène, et capacité de réhydratation. Les résultats ont montré que l'augmentation de la température et la diminution de la pression permettent d'obtenir des durées de séchage courtes. La diffusivité massique augmente avec l'augmentation de la température et la diminution de la pression. Quatre modèles empiriques ont été utilisés pour les cinétiques de séchage. Les modèles de Midilli et al. et de Page sont des modèles intéressants pour modéliser le comportement du séchage de la tomate. A partir des résultats obtenus, le séchage solaire à convection forcée et le séchage sous vide à température 50 °C et à pression 20 cm Hg sont les meilleures méthodes de séchage.

Abstract - The aim of this work was to study the effect of different drying methods (air drying, forced convection solar drying, natural convection solar drying and vacuum drying) on drying kinetics of tomatoes. The followings parameters were calculated: moisture diffusivity coefficient, activation energy, lycopene content and rehydration capacity. Results showed that temperature increase and pressure decrease allowed shorter drying times. Moisture diffusivity coefficient increased with increasing temperature and decreasing pressure. Four models were used to model drying kinetics of tomatoes. Midilli et al. and Page models were the best models to fit drying of tomatoes. It was concluded that solar drying with forced convection and vacuum drying at temperature 50 °C and pressure 20 cm Hg were the best drying methods of tomatoes.

Mots clés: Tomate - Séchage sous vide - Séchage solaire à convection forcée – Séchage solaire à convection naturelle – Réhydratation – Modélisation - Lycopène.

1. INTRODUCTION

La culture de la tomate (*Lycopersicon esculentum*) est très répandue à travers le monde [1]. La tomate est consommée à l'état frais, sous forme de jus, purée, sauce ou conserve. En plus, la tomate séchée est utilisée comme ingrédient dans la préparation de pizza et des plats cuisinés [2]. De nombreux produits agricoles, consommés en grandes quantités ne sont pas toujours disponibles toute l'année. Une grande partie de cette production agricole (tomate, dattes, etc.) se prête parfaitement à une conservation par séchage pour assurer une continuité dans sa disponibilité [3].

L'opération de séchage est une opération consommatrice d'énergie. Le séchage solaire est une des applications potentielles les plus importantes au Sahara algérien [4]. Cependant, la qualité du produit séché au soleil peut être dégradée [5]. Une solution à ce

* dfahloul2@yahoo.com

problème peut être l'utilisation d'un séchoir solaire à convection naturelle ou à convection forcée [4]. Le séchage sous vide a aussi l'avantage de réduire le temps de séchage, la consommation d'énergie et la préservation de la qualité des produits séchés [6].

L'objectif de ce travail est d'étudier l'influence des différentes méthodes de séchage (air libre, solaire à convection forcée, à convection naturelle et sous vide) sur la cinétique de séchage des tomates, afin d'estimer les paramètres suivants: diffusivité massique, énergie d'activation, teneur en lycopène et capacité de réhydratation.

2. MATERIEL ET METHODES

2.1 Matériel végétal

Les tomates (*Lycopersicon esculentum*) de variété *Zahra* ont été achetées fraîches au marché local de Batna. Elles ont été stockées au réfrigérateur à 4 °C, pendant toute la durée des essais.

2.2 Préparation de la matière première

Les tomates ont été vidées de leur contenu de graines et découpées avec un couteau, en morceaux cubiques d'épaisseur 5 ± 1 mm [7].

2.3 Séchage sous vide

L'étuve sous vide (Jouan Ev100) a été utilisée lors des expériences. La température de l'étuve est contrôlée par le biais d'un régulateur électronique et un manomètre indique la pression interne de la chambre. Une pompe à vide externe est entièrement commandée par le biais du panneau de contrôle de l'étuve. La pression dans la chambre est contrôlée par un régulateur de débit permettant à tous instants de régler le vide et de créer un flux permettant d'accélérer l'évacuation des vapeurs hors de la chambre.

2.4 Séchage à l'air libre

Le séchage à l'air libre est réalisé dans l'ombre, avec une circulation naturelle de l'air. La chambre de séchage a les dimensions suivantes (L= 8 m, W= 4 m, H=4 m). Le séchage s'est déroulé au mois de juin 2009. La température moyenne de la chambre est de 22 ± 2 °C. Le séchage est contrôlé par convection naturelle.

2.5 Séchage solaire

Il s'agit d'un séchoir de laboratoire fabriqué en bois rouge et peint en noir. La chambre de séchage a les dimensions suivantes (30 cm × 30 cm × 30 cm). Elle contient trois plateaux perforés. La distance entre les plateaux est de 7 cm. La surface du collecteur solaire est 1 m², incliné par rapport à l'horizontale d'un angle de 30°. Un ventilateur est utilisé pour assurer la convection forcée au sein du séchoir avec une vitesse d'air égale à 1 m/s.

2.6 Estimation de la diffusivité massique et l'énergie d'activation

Le transfert de matière pendant le séchage est contrôlé par diffusion interne. La deuxième loi de Fick de diffusion indiquée dans l'équation (1), a été largement utilisée pour décrire le processus de séchage pour la plupart des produits biologiques [8].

$$\frac{\delta M}{\delta t} = D \times \frac{\delta^2 M}{\delta z^2} \quad (1)$$

Liant la teneur en eau du produit (M), la diffusivité massique (D), le temps (t) et la direction (z). En supposant l'uniformité de la distribution de l'humidité initiale, les résistances externes négligeables et un processus isotherme, la solution de l'équation (1) est: [9]

$$\frac{\bar{M} - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \times \exp \left[-\frac{(2n+1)^2 \times \pi^2}{4} \times \frac{D \times t}{L^2} \right] \quad (2)$$

La solution prend en compte la teneur initiale en eau (M_0), la teneur en eau à l'équilibre (M_e) et l'épaisseur de l'échantillon (L). Simplifiant l'équation (2) en prenant le premier terme de la solution de série et en supposant $M_0 - M_e$ égal à 0.

$$M_R = \frac{\bar{M}}{M_0} = \frac{8}{\pi^2} \times \exp \left[\frac{\pi^2 \times D \times t}{4L^2} \right] \quad (3)$$

L'estimation de la diffusivité massique et l'énergie d'activation a été développé dans un travail précédent [10].

2.7 Modélisation des courbes de séchage

Quatre modèles empiriques ont été utilisés pour modéliser les cinétiques de séchage. Il s'agit des modèles de Lewis, de Page, de Midilli *et al.* et de Henderson *et al.* (Tableau 1).

Tableau 1: Modèles semi théoriques de séchage en couche mince

Nom du modèle	Equation du modèle
Lewis	$M_R = \exp(-k t)$
Page	$M_R = \exp(-k t^Y)$
Henderson <i>et al.</i>	$M_R = a \times \exp(-k t)$
Midilli <i>et al.</i>	$M_R = a \times \exp(-k t^n) + b \times t$

L'ajustement entre les données expérimentales et les données prévues a été déterminé en utilisant le coefficient de détermination (R^2), le chi-square réduit (χ^2) (4) et l'erreur moyenne de la racine carrée (RMSE) (5). Le choix du meilleur modèle est basé sur le R^2 le plus élevé, χ^2 et RMSE les plus bas [2].

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (M_{R \text{ exp}}(i) - M_{R \text{ pre}}(i))^2}{N - n} \quad (4)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\left[\frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N (M_{R \text{ exp}}(i) - M_{R \text{ pre}}(i))^2 \right]} \quad (5)$$

2.8 Dosage de lycopène par la méthode colorimétrique

L'extraction du lycopène est basée sur la méthode de Fish *et al.*, cité par [11] avec de légères modifications. La quantité de lycopène dans les tissus a été estimée par la formule suivante:

$$\text{lycopène(mg/kg)} = (X / Y) \times A503 \times 3.12 \quad (6)$$

où, X, est la quantité d'hexane (ml), Y, le poids des tissus de fruits (g), A503, l'absorbance à 503 nm, et 3,12 le coefficient d'extinction.

2.9 Test de réhydratation

Le taux de la réhydratation (TR) est défini comme le rapport du poids de l'échantillon réhydraté (M_f) sur le poids de l'échantillon sec (M) [12]:

$$\text{TR} = M_f / M \quad (7)$$

La réhydratation totale de 01 gramme de tomate sec est 14.68 g. Par conséquent, la capacité de réhydratation (CR) est calculée comme suit:

$$\text{CR}(\%) = \frac{M_f}{14.68} \times 100 \quad (8)$$

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Les résultats ont montré que la tomate de variété *Zahra* contient 93.19 % d'eau (93.19 g d'eau /100g de tomate) et 6.81 % de matière sèche (6.81g/100g de tomate). Ces valeurs sont comparables à celles trouvées dans la littérature et sont proches des résultats trouvés par [5, 13].

3.1 Influence de la température

La figure 1 montre que la température a une influence sur l'évolution de la teneur en eau au cours du séchage. L'influence de la température sur la cinétique de séchage est importante, une augmentation de la température résulte en une diminution de la teneur en eau.

Ces échanges sont de moins en moins importants au fur et à mesure que le séchage se fait, car la quantité d'eau que l'on peut retirer du produit est plus faible et la différence de teneur en eau entre le produit et l'air est de plus en plus faible. Donc les échanges se font plus difficilement [14].

La durée de séchage n'est pas la même pour les quatre températures, le temps de séchage diminue avec l'augmentation de la température [15].

3.2 Influence de la pression

L'influence de la pression sur les cinétiques de séchage est montrée sur la figure 2. La diminution de la pression réduit considérablement la durée de séchage, ce qui est observé pour la pression de 20 cm Hg.

Selon Noomhorm [16], le rôle de la diminution de la pression dans le séchage est de diminuer la température et d'assurer un transfert de matière rapide.

Les courbes de cinétique pour les pressions 20 et 40 cm Hg sont proches par rapport à 60 cm Hg pour la température 80 °C. D'après les résultats obtenus, il est possible que l'augmentation de la température de séchage réduit l'effet de la pression.

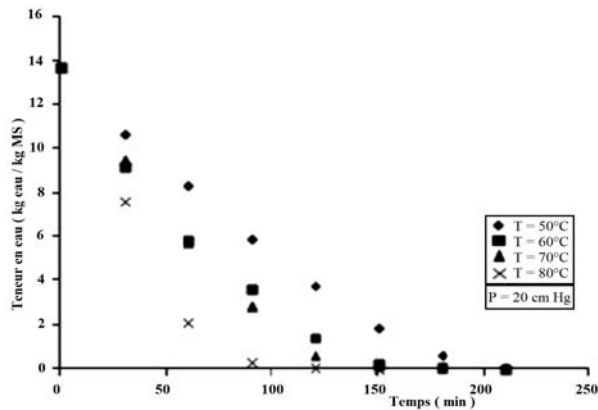


Fig. 1: Teneur en eau en fonction du temps pour différentes températures et pression = 20 cm Hg

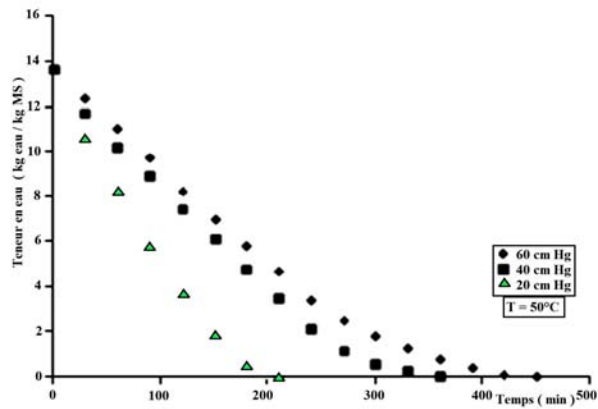


Fig. 2: Teneur en eau de la tomate en fonction du temps à différentes pressions et à une température = 50°C

3.3 Influence du mode de séchage

La figure 3 montre l'évolution de la teneur en eau en fonction du temps selon 3 mode de séchage: séchage solaire à convection forcée, 'SSCF', séchage solaire à convection naturelle, 'SSCN' et séchage à l'air libre.

Le séchage solaire à convection forcée est plus rapide que le séchage à l'air libre, qui à son tour supérieur au séchage solaire à convection naturelle. Cela est probablement dû à la circulation de l'air asséchant assuré par la ventilation pour la convection forcée.

Ces résultats sont comparables à la littérature [4, 5].

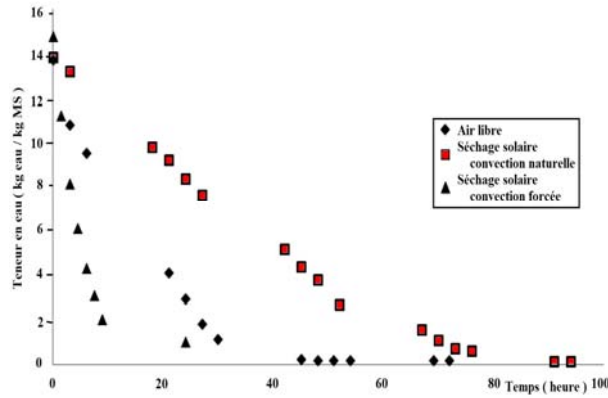


Fig. 3: Teneur en eau en fonction du temps pour le séchage solaire à convection forcée (SSCF), à convection naturelle (SSCF) et à l'air libre

3.4 Détermination de la diffusivité massique et l'énergie d'activation

3.4.1 Détermination de la diffusivité massique

Les valeurs de la diffusivité massique sont présentées dans le **Tableau 2**. Les résultats montrent que la diffusivité massique augmente avec l'augmentation de la température et la diminution de la pression. En effet, la majorité des produits agricoles (92 %) ont une diffusivité massique dans la gamme 10^{-12} à 10^{-8} m²/s [17].

Les valeurs obtenues pour la diffusivité massique varient entre 9.11×10^{-8} et 1.01×10^{-7} (m²/s). Cakmak *et al.* [18] ont trouvé des valeurs similaires entre 5.47×10^{-10} et 1.35×10^{-9} (m²/s).

Tableau 2: Estimation de la diffusivité et l'énergie d'activation en fonction des conditions opératoires

P (cm Hg)	T (°C)	D (m ² /s)	E _a (kJ/mol)
20	50	5.82×10^{-8}	21.26
	60	8.86×10^{-8}	
	70	9.11×10^{-8}	
	80	1.21×10^{-7}	
40	50	3.29×10^{-8}	38.23
	60	4.05×10^{-8}	
	70	7.85×10^{-8}	
	80	1.01×10^{-7}	
60	50	2.53×10^{-8}	36.67
	60	3.54×10^{-8}	
	70	6.83×10^{-8}	
	80	7.34×10^{-8}	

3.4.2 Détermination de l'énergie d'activation

L'énergie d'activation a été évaluée en traçant la fonction (LnD) en fonction de (1/T). Nous constatons que la diminution de la pression diminue l'énergie

d'activation. En effet, lorsqu'on diminue la pression, les molécules d'eau ont besoin de moins d'énergie pour se déplacer d'une molécule vers une autre.

3.5 Modélisation des courbes de séchage

Les **Tableaux 3-5** représentent les paramètres et les critères d'ajustement de la modélisation en utilisant quatre modèles, pour le séchage sous vide, le séchage solaire à convection forcée, à convection naturelle et à l'air libre.

D'après les résultats obtenus, les modèles de Midilli *et al.*, et Page sont considérés les meilleurs pour décrire le comportement du séchage de la tomate quelque soit le mode de séchage utilisé. Le modèle de Page avec $R^2 = 0,999$, $X^2 = 0,000005$ et $RMSE=0,0018$, suivi du modèle de Midilli *et al.*, avec $R^2= 0,999$, $X^2=0,000009$ et $RMSE = 0,0017$.

Des résultats similaires ont aussi montré que les meilleures modèles pour modéliser le séchage de la tomate sont les modèles de Midilli *et al.*, et Page [1, 2, 13, 19, 20].

Tableau 3: Paramètres de la modélisation du séchage sous vide de la tomate à pression 20 cm Hg

Température	Modèle	k	a	b	n	y	R ²	X ²	RMSE
50	Lewis	0,0109	-	-	-	-	0,966	0,0051	0,0671
	Page	0,0014	-	-	-	1,4394	0,992	0,0011	0,0296
	Henderson et Pabis	0,0115	1,0557	-	-	-	0,965	0,0013	0,0630
	Midilli <i>et al.</i>	-0,3835	0,7152	-0,0059	0,000017	-	0,834	0,0380	0,1378
60	Lewis	0,0159	-	-	-	-	0,982	0,0023	0,0456
	Page	0,0043	-	-	-	1,2990	0,995	0,0007	0,0239
	Henderson et Pabis	0,0164	1,0318	-	-	-	0,983	0,0025	0,0439
	Midilli <i>et al.</i>	0,0059	0,9959	-0,0002	1,2106	-	0,997	0,0006	0,0186
70	Lewis	0,1169	-	-	-	-	0,97	0,0043	0,0612
	Page	0,0022	-	-	-	1,4731	0,996	0,0005	0,0202
	Henderson et Pabis	0,0175	1,0444	-	-	-	0,973	0,0047	0,0584
	Midilli <i>et al.</i>	-0,2393	0,6987	-0,00057	0,000012	-	0,80	0,0597	0,1600
80	Lewis	0,0265	-	-	-	-	0,974	0,0041	0,0590
	Page	0,0018	-	-	-	1,6903	0,999	0,000005	0,0018
	Henderson et Pabis	0,0271	1,0274	-	-	-	0,975	0,0050	0,0578
	Midilli <i>et al.</i>	0,0018	1,000006	0,000002	1,69962	-	0,999	0,000009	0,0017

Tableau 4: Paramètres de la modélisation du séchage sous vide de la tomate à pression 40 cm Hg

Température	Modèle	k	a	b	n	y	R ²	X ²	RMSE
50	Lewis	0,0064	-	-	-	-	0,95	0,0056	0,0724
	Page	0,0007	-	-	-	1,4276	0,988	0,0014	0,0354
	Henderson et Pabis	0,0063	1,0734	-	-	-	0,958	0,0052	0,0669
	Midilli <i>et al.</i>	0,0015	0,9889	-0,00043	1,21828	-	0,996	0,00061	0,0205
60	Lewis	0,0038	-	-	-	-	0,961	0,0048	0,0655
	Page	0,0011	-	-	-	1,4512	0,995	0,00067	0,0228
	Henderson et Pabis	0,0104	1,0644	-	-	-	0,967	0,0046	0,0226
	Midilli <i>et al.</i>	0,0019	0,9947	-0,00033	1,3060	-	0,998	0,00039	0,0147
70	Lewis	0,0145	-	-	-	-	0,965	0,0042	0,0600
	Page	0,0018	-	-	-	1,4703	0,995	0,0081	0,0241
	Henderson et Pabis	0,0151	1,0500	-	-	-	0,969	0,0054	0,0621
	Midilli <i>et al.</i>	0,0029	0,9960	-0,00036	1,3356	-	0,998	0,00057	0,0156
80	Lewis	0,0245	-	-	-	-	0,972	0,0044	0,0612
	Page	0,0018	-	-	-	1,6570	0,999	0,000011	0,0026
	Henderson et Pabis	0,0251	1,0316	-	-	-	0,974	0,0053	0,0597
	Midilli <i>et al.</i>	0,0018	0,9981	0,0013	1,6657	-	0,999	0,000019	0,0025

Tableau 5: Paramètres de la modélisation du séchage solaire à convection forcée (SSCF), à convection naturelle (SSCN) et à l'air libre

Mode de séchage	Modèle	k	a	b	n	Y	R ²	X ²	RMSE
Air libre	Lewis	0,0681	-	-	-	-	0,992	0,00088	0,0285
	Page	0,0561	-	-	-	1,0642	0,993	0,000869	0,0271
	Henderson et Pab	0,0683	1,0030	-	-	-	0,992	0,00096	0,0285
	Midilli et al.	0,0507	0,9808	-0,00012	1,0858	-	0,993	0,00098	0,0261
Solaire à convection Naturelle 'SSCN'	Lewis	0,0272	-	-	-	-	0,955	0,0051	0,0692
	Page	0,0039	-	-	-	1,5124	0,995	0,00055	0,0220
	Henderson et Pab	0,0291	1,0736	-	-	-	0,963	0,0045	0,0629
	Midilli et al.	0,0051	0,9886	-0,00059	1,4142	-	0,997	0,00032	0,0156
Solaire à convection Forcée 'SSCF'	Lewis	0,2326	-	-	-	-	0,993	0,00074	0,0255
	Page	0,1783	-	-	-	1,1728	0,998	0,00014	0,0104
	Henderson et Pab	0,2382	1,0232	-	-	-	0,994	0,00075	0,0237
	Midilli et al.	0,1763	0,9963	-0,00017	1,1757	-	0,998	0,00021	0,0103

3.6 Dosage de lycopène

La teneur en lycopène de la tomate séchée varie entre 14,76 et 15,45 mg/100 g MS. Ce résultat est supérieur à celui trouvé dans la littérature [21], allant de 1,2 à 8,9 mg /100g MS. Cela peut être dû à la variété de la tomate utilisée.

La figure 4 montre la teneur en lycopène en fonction de la température et la pression. Nous remarquons que la pression a une influence sur la teneur en lycopène. Lorsqu'on passe de 20 cm Hg à 60 cm Hg, la teneur en lycopène diminue.

De même pour la température, lorsqu'on passe de 50 °C à 70 °C, la teneur en lycopène diminue. A 80 °C, la teneur en lycopène augmente légèrement. Cela peut être dû à la réduction du temps de séchage qui a permis de préserver la teneur en lycopène.

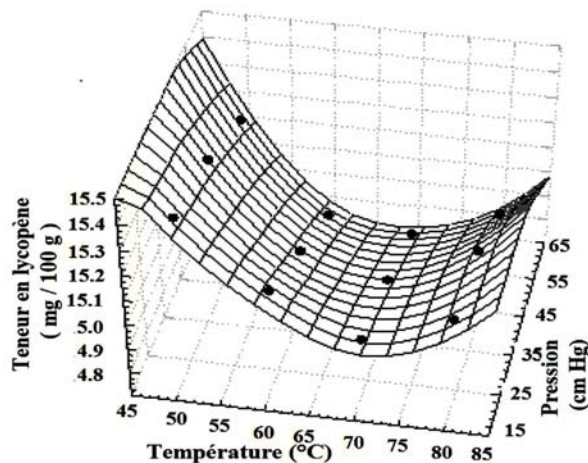


Fig. 4: Teneur de lycopène en fonction de la pression et la température

3.7 Capacité de réhydratation

La figure 5 présente l'évolution de la capacité de réhydratation, 'CR' en fonction de la pression et de la température. Nous remarquons que les meilleurs résultats de la

capacité de réhydratation sont dans l'ordre décroissant, les échantillons séchés dans le séchoir solaire à convection forcée puis à convection naturelle, à l'air libre, à faible température, enfin les échantillons séchés à température élevée et faible pression.

Les parois des cellules absorbent l'eau rapidement dans le matériel séché, puis les cellules gonflent progressivement en raison d'élasticité naturelle de la structure des cellules [22].

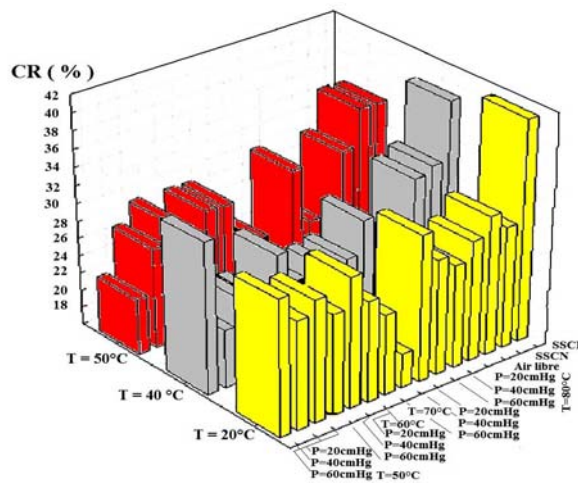


Fig. 5: Evolution de la capacité de réhydratation (CR) en fonction de la pression et la température

SSCN: Séchage solaire à convection naturelle;

SSCF: Séchage solaire à convection forcée; Air libre: Séchage à l'air libre

4. CONCLUSION

Ce travail a pour objectif l'étude des cinétiques de séchage de la tomate en utilisant différentes méthodes de séchage (sous vide, solaire à convection forcée, solaire à convection naturelle, et à l'air libre).

D'après les résultats obtenus, nous pouvons déduire que:

- L'augmentation de la température et la diminution de la pression agissent sur le séchage et permettent d'obtenir de courtes durées de séchage.
- La diffusivité massique augmente avec l'augmentation de la température et la diminution de la pression.
- Le séchage solaire à convection forcée présente des résultats intéressants avec une durée de séchage autour de 24 heures et une capacité de réhydratation meilleure par rapport au séchage à convection naturelle et à l'air libre.
- Les modèles de Midilli *et al.*, et Page sont intéressants pour modéliser le comportement du séchage de la tomate.
- D'après les analyses de qualité nutritionnelle (lycopène) et physique (capacité de réhydratation), le produit séché par séchage solaire à convection forcée et séchage sous vide à température 50 °C et pression 20 cm Hg sont les meilleurs modes de séchage.

NOMENCLATURE

D : Diffusivité massique (m^2/s)	K : Constante de séchage (s^{-1})
E : Energie d'activation (kJ/mole MS)	M_0 : Teneur initiale (kg/kg MS)
M_e : Teneur à l'équilibre (kg/kg MS)	M : Teneur du produit (kg/kg MS)
T : Température de l'air (K)	t : Temps (s)
R : Constante gaz parfaits (kJ/mole.K)	Z : Direction (m)

REFERENCES

- [1] A.R. Celma, F. Cuadros and F. López-Rodríguez, 'Characterisation of Industrial Tomato By-Products from Infrared Drying Process', Food and Bioproducts Processing, Vol. 87, N°4, pp. 282 – 291, 2009.
- [2] I. Doymaz, 'Air-Drying Characteristics of Tomatoes', Journal of Food Engineering, Vol. 78, N°4, pp. 1291 - 1297, 2007.
- [3] B. Touati, 'Etude Théorique et Expérimentale du Séchage Solaire des Feuilles de la Menthe Verte (*Mentha viridis*)', Thèse doctorat de l'I.N.S.A, Lyon, et Université de Tlemcen, 2008.
- [4] S. Boughali, H. Benmoussa, B. Bouchekima, D. Mennouche, H. Bouguettaïa and D. Bechki, 'Crop Drying by Indirect Active Hybrid Solar – Electrical Dryer in the Eastern Algerian Septentrional Sahara', Solar Energy, Vol. 83, N°12, pp. 2223–2232, 2009.
- [5] R. Perumal, 'Comparative Performance of Solar Cabinet, Vacuum Assisted Solar and Open Sun Drying', Thesis of Master of Science, Department of Bioresource Engineering, McGill University, Montreal, Canada, 2007.
- [6] S.J. Kowalski and K. Rajewska, 'Effectiveness of Hybrid Drying', Chemical Engineering and Processing, Vol. 48, N°8, pp. 1302 - 1309, 2009.
- [7] K. Sacilik and G. Unal, 'Dehydration Characteristics of Kastamonu Garlic Slices', Biosystems Engineering, Vol. 92, N°2, pp. 207 – 215, 2005.
- [8] J. Srikiatden and J.S. Roberts, 'Predicting Moisture Profiles In Potato And Carrot During Convective Hot Air Drying Using Isothermally Measured Effective Diffusivity', Journal of Food Engineering, Vol. 84, N°4, pp. 516–525, 2008.
- [9] J. Crank, 'Mathematics of diffusion', 2nd ed., Oxford University Press, London, 1975.
- [10] D. Fahloul, F. Benmadi and S. Boudraa, 'Estimation de la Diffusivité Massique et Cinétique de Séchage Sous Vide de la Pomme de Terre (variété Spunta)', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 12, N°4, pp. 655 - 665, 2009.
- [11] J. Javanmardi and C. Kubota, 'Variation of Lycopene, Antioxidant Activity, Total Soluble Solids and Weight Loss of Tomato during Postharvest Storage', Postharvest Biology and Technology, Vol. 41, N°2, pp. 151 - 155, 2006.
- [12] Y. Deng and Y. Zha, 'Effect of Pulsed Vacuum and Ultrasound Osmopretreatments on Glass Transition Temperature, Texture, Microstructure and Calcium Penetration of Dried Apples (Fuji)', LWT - Food Science and Technology, Vol. 41, N°9, pp. 1575 - 1585, 2008.
- [13] K. Sacilik, R. Keskin and A.K. Elicin, 'Mathematical Modelling of Solar Tunnel Drying of Thin Layer Organic Tomato', Journal of Food Engineering, Vol. 73, N°3, pp. 231 - 238, 2006.

- [14] J.J. Bimbenet, C. Bonazzi and E. Dumoulin, 'Séchage, Cuisson, Cuisson-Extrusion', In: J.J. Bimbenet, A. Duquenoy and G. Trystram (Eds), 'Génie des Procédés Alimentaires', Dunod, Paris, 2002.
- [15] K. Sacilik, 'The Thin Layer Modelling of Tomato Drying Process', *Agriculturae Conspectus Scientificus*, Vol. 72, N°4, pp. 343 - 349, 2007.
- [16] A. Noomhorm, 'Overview of Dehydration Method on Quality of Fruit and Vegetable', *SWU Scientific Journal*, Vol. 23, pp. 2550 - 2562, 2007.
- [17] N.P. Zogza, Z.B. Maroulis and D. Marinos-Kouris, 'Moisture Diffusivity Data Compilation In food Stuffs', *Drying Technology*, Vol. 14, N°10, pp. 2225 – 2253, 1996.
- [18] G. Cakmak and C. Yildiz, 'The Drying Kinetics of Seeded Grape in Solar Dryer with PCM-Based Solar Integrated Collector', *Food and Bioproducts Processing*, 2010.
- [19] R. Quevedo, M. Jaramillo, O. Díaz, F. Pedreschi and J.M. Aguilera, 'Quantification of Enzymatic Browning in Apple Slices Applying the Fractal Texture Fourier Image', *Journal of Food Engineering*, Vol. 95, N°2, pp. 285–290, 2009.
- [20] K. Movagharnjad and M. Nikzad, 'Modeling of Tomato Drying Using Artificial Neural Network', *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol. 59, N°1-2, pp. 78–85, 2007.
- [21] C.H. Chang, H.Y. Lin, C.Y. Chang and Y.C. Liu, 'Comparisons on the Antioxidant Properties of Fresh, Freeze-Dried and Hot-Air-Dried Tomatoes', *Journal of Food Engineering*, Vol. 77, N°3, pp. 478–485, 2006.
- [22] C. Cavusoglu, 'Investigations into the High-Temperature Air Drying of Tomato Pieces', *Mémoire de Docteur Ingénieur*, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn, Germany, 2008.