

## Valorisation de la pâte de tomate par le procédé de séchage solaire indirect a convection naturelle

Djamel MENNOUCHE \*, Bachir BOUCHEKIMA, Abdelghani BOUBEKRI,  
Slimane BOUGHALI Karima KARROUMI, Samira Chouicha

<sup>a</sup> Université Kasdi Merbah Ouargla, Laboratoire de Développement des Energies Nouvelles et Renouvelables dans les Zones Arides et Sahariennes, LENREZA Faculté des Sciences, de la Technologie et des Sciences de la Matière, BP 511 30000 Ouargla Algérie

\*Corresponding Author: [mennouche@gmail.com](mailto:mennouche@gmail.com)  
Tel : +213664709444, Fax : +21329715205

**Résumé :** Ce travail représente une étude expérimentale du procédé de séchage d'un produit agro-alimentaire (pâte de tomate) dans un séchoir solaire indirect en convection naturelle. Ce type de séchoir à été conçu et réalisé par l'équipe de conversion d'énergie du laboratoire LENREZA. La préparation de la pâte de tomate comporte quatre étapes principales : Le lavage, l'épluchage, le broyage et l'égouttage.

Les résultats expérimentaux obtenus ont montré que le rayonnement solaire et la température de séchage des tranches de la pâte de tomate (épaisseur 1 cm) varient dans l'intervalle de 290-815 W/m<sup>2</sup> et 42-61°C respectivement. La durée de l'opération de séchage, pour avoir une teneur en eau finale du produit ( $X_f=0,13$  kg/kg matière sèche), est de 9 heures et 30 minutes (deux jours). L'aspect qualité du produit final à été évalué en utilisant un colorimètre Minolta CR-400.

### Mots clés :

Séchage ; Tomate ; Pâte ; Convection naturelle ; Séchoir solaire

## 1. Introduction

L'énergie solaire présente une source d'énergie renouvelable. Elle est gratuite, inépuisable, non polluante et disponible en abondance dans la plupart des endroits du monde [1-3]. L'utilisation de l'énergie solaire pour des applications thermiques, tels que le chauffage, la distillation de l'eau et le séchage, a augmenté en raison des fluctuations du prix des combustibles fossiles et du déséquilibre écologique [4,5].

Le séchage direct au soleil est la méthode la plus utilisée dans la plupart des pays en voie de développement [6]. Pendant le séchage par cette méthode, des problèmes liés à la contamination et des pertes considérables se produisent en raison de diverses influences telles que les oiseaux, les insectes, les micro-organismes, les poussières, les pluies etc. En plus, la qualité des produits alimentaires peuvent être sérieusement dégradée [6-10]. Afin de réduire les pertes et améliorer la qualité des produits séchés, le séchage direct au soleil devrait être remplacé par le séchage on utilisant des séchoirs solaires [11].

Les tomates (*Lycopersicon esculentum*) sont des sources importante de lycopène, qui contribue à la prévention de nombreuses maladies chroniques comme le cancer et les maladies cardiaques [12] (Chawla, 2008), elles sont également sources nutritionnelles (vitamines A, C et E, des minéraux et des fibres alimentaires) [13-14].

La teneur en eau de la tomate est très élevée (environ 90%), ce qui favorise sa dégradation à l'état frais et sa détérioration physico-chimique et microbiologique.

La production mondiale de la tomate, selon les données fournies par la FAO pour l'année 2010, est de 123 millions de tonnes, dont l'Algérie avec une production de 710 milles tonnes.

Le séchage présente un procédé approprié pour minimiser la perte et l'amortissement du caractère saisonnier de la tomate. De nombreuses études ont été rapportées sur le séchage à air chaud de la tomate à des températures différentes [15-19]. Grâce à la teneur en eau très élevée de ce fruit, cette méthode de séchage est considérée comme coûteuse [20] (Hawllader et al 1991). Afin de minimiser le coût du processus de séchage, plusieurs auteurs ont étudié le séchage des tomates en utilisant des séchoirs solaires [13, 21,22].

De nombreuses études montrent que les tomates peuvent être séchées en forme coupées à moitié, en tranches ou en quartiers [13,19-21,23]. Cependant, dans la littérature aucune étude n'existe sur le séchage de la tomate sous forme de pâte, en utilisant un séchoir solaire indirect à convection naturelle.

L'objectif de ce présent travail est de valoriser la pâte de tomate par le procédé de séchage solaire indirect à convection naturelle. L'effet de séchage sur la couleur du produit a été évalué en utilisant un colorimètre Minolta CR-400.

## 2. Matériels et méthodes

### 2.1. Description du système de séchage

Dans cette étude nous avons utilisé un séchoir solaire indirect à convection naturelle (figure1) conçu et réalisé par l'équipe de conversion d'énergie du laboratoire LENREZA. Les principaux éléments constitutifs sont : Le capteur solaire, la chambre de séchage et la cheminée.

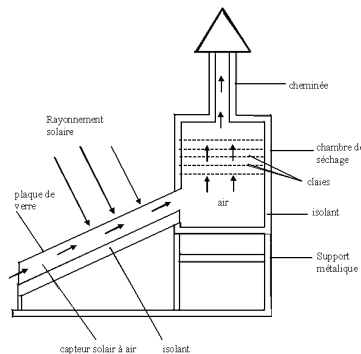


Figure 1 : Schéma descriptif du système de séchage

### 2.2. Fonctionnement du séchoir solaire naturel

L'air frais capté de l'extérieur circule dans le capteur solaire par convection naturelle, il est chauffé avant d'arriver à l'entrée de la chambre de séchage, puis il continue son chemin à travers la claie de séchage. Enfin, l'air asséchant est évacué vers l'extérieur à travers la cheminée solaire.

### 2.3. Préparation du produit

La préparation du produit s'effectue selon les étapes suivantes :

2.3.1. *Le lavage de la tomate* : Pour éliminer les impuretés, la boue, les résidus d'insecticides, et autres contaminations.

2.3.2. *L'épluchage et l'enlèvement des graines* : Pour assurer une couche de pâte homogène, et faciliter l'opération de séchage.

2.3.3. *Le broyage* : Le broyage des tomates s'effectue dans un broyeur destiné pour les légumes.

2.3.4. *L'égouttage* : L'égouttage de la tomate broyée est effectué dans un sac perméable pendant quelques heures.

2.3.5. *Mise en place du produit* : Une masse de la pâte de tomate égouttée est étalée sur une claie en couche d'épaisseur de 1 cm et coupée en tranches de forme triangulaire. Ces tranches sont placées sur une claie galvanisée de dimensions 38 cm x 40 cm. Enfin le produit est introduit dans la chambre de séchage.

### 2.4. Protocole expérimental

Pour suivre la perte de masse du produit au cours du séchage, nous avons effectué des mesures de poids chaque 30 minutes à l'aide d'une balance de précision 0,01g. La durée de séchage est le temps nécessaire pour sécher un produit jusqu'à atteindre une teneur en eau finale souhaitée. Les mesures de température du rayonnement solaire, de l'humidité relative de l'air et de la vitesse de l'air sont également effectuées chaque 30 minutes.

### 2.5. Détermination de la masse sèche du produit :

La détermination de la masse sèche du produit s'effectue à l'aide d'un analyseur d'humidité (type Sartorius MA 45), selon les étapes suivantes :

- Réglage de la température de l'analyseur d'humidité à 105°C.
- Introduction d'une masse initiale de la pâte de tomate (3g) dans la chambre de l'analyseur.
- Démarrage de l'analyseur en choisissant le programme convenable de chauffage.
- Arrêt automatique de l'appareil après que la masse de l'échantillon devienne constante.

## 2.6. Appareillage de mesure

### 2.6.1. Mesure du rayonnement solaire

Le rayonnement solaire global reçu sur le plan du capteur est mesuré en  $W/m^2$  à l'aide d'un polarimètre et ceci durant la journée de l'expérience.

### 2.6.2. Mesures des températures

La mesure des températures s'effectue à l'aide des thermocouples de type K dans plusieurs endroits du séchoir solaire : entrée et sortie du capteur solaire (e-cap et s-cap), avant et après la claie de séchage (av-cl et ap-cl) et au niveau du produit.

L'ensemble des thermocouples est relié à un appareil KIMO type LV 110 qui sert à afficher les températures mesurées aux différents endroits.

### 2.6.3. Mesure de l'humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air est mesurée à trois différents endroits, avant et après la claie de séchage à l'aide de deux sondes d'humidité, et à l'entrée du capteur solaire à l'aide d'un hygromètre test 608-N1.

### 2.6.4. Mesure de la vitesse de l'air

La vitesse de l'air dans la chambre de séchage est mesurée à l'aide d'un anémomètre à fil chaud.

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Variation du rayonnement solaire

La figure 2 montre la variation du rayonnement global en fonction du temps pendant la période de séchage de la pâte de tomate. Le rayonnement solaire varie pour le premier jour de 585  $W/m^2$  au début de l'opération de séchage (10h) jusqu'à 290  $W/m^2$  à 17h et atteint une valeur maximale de 736  $W/m^2$  à 12 h. La courbe du deuxième jour présente une variation de 653 à 815  $W/m^2$ .

### 3.2. Evolution de la température dans le séchoir

La figure 3 montre la variation des températures en fonction du temps pour la période de séchage (deux jours). On remarque que pendant la période de séchage, les températures à l'entrée du capteur ( $T_{e-cap}$ ) et à la sortie capteur ( $T_{s-cap}$ ) varient respectivement de 28,5 à 53,2°C et de 49,1 à 67,7°C. On constate un écart important entre  $T_{e-cap}$  et  $T_{s-cap}$  due aux influences ajoutées du rayonnement solaire "piégé" (effet de serre), et de son effet sur la surface absorbante.

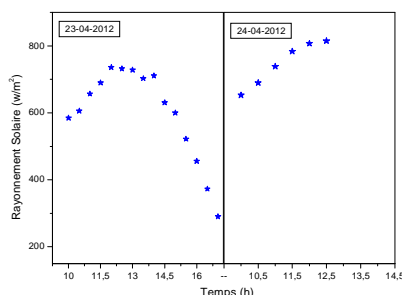


Figure 2 : Variation du rayonnement global en fonction du temps

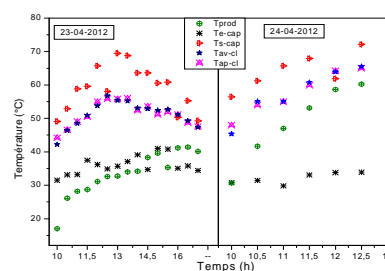


Figure 3 : Evolution de la température dans le séchoir solaire

La température de l'air asséchant dans la chambre de séchage ( $T_{av-cl}$ ) varie entre 42 et 61°C. On remarque aussi sur la figure que la température de l'air, lorsque il traverse la claie de séchage ( $T_{ap-cl}$ ), reste proche de  $T_{av-cl}$ . Ceci peut être justifié par la faible circulation et la non uniformité de l'écoulement de l'air dans la chambre de séchage (figure 4), ce qui provoque des zones plus chaudes au dessus de la claie de séchage conduisant à des températures de  $T_{ap-cl}$  plus importantes que celles de  $T_{av-cl}$ .

On remarque aussi sur la figure précédente que la température du produit varie entre 17 et 56,7°C. L'écart de température entre  $T_{prod}$  et  $T_{av-cl}$  diminue au cours de l'opération de séchage et tend vers une valeur de 4,9°C à

la fin de l'opération de séchage. Ceci est expliqué par la diminution de l'évaporation de l'eau à la surface du produit, ce qui entraîne une augmentation de la température du produit due au flux de chaleur échangé.

La figure 3 montre aussi que les courbes des températures ont le même comportement que celles du rayonnement solaire (figure 2) c.-à-d. lorsque le rayonnement augmente, la température augmente et vis-versa.

### 3.4. Evolution de la vitesse d'air

La figure 4 montre la variation de la vitesse de l'air en fonction du temps. On constate que l'écoulement de l'air dans le séchoir est non uniforme pendant l'opération de séchage et est caractérisé par une faible vitesse variant entre 0,01 et 0,45 m/s. Le rôle de cette vitesse est tout simplement d'évacuer la vapeur d'eau dégagée par la pâte de tomate et qui sera aspirée par la cheminée du séchoir solaire.

### 3.5. Variation de la teneur en eau

La figure 5 représente la variation de la teneur en eau en fonction du temps. On remarque sur cette figure que la durée de séchage, pour avoir une teneur en eau finale de 0,13 kg eau/kg de matière sèche (Sacilik et al., 2006) est de 9 heures et 30 minutes (deux jours).

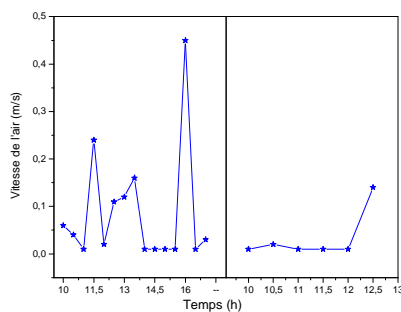


Figure 4 : Variation de la vitesse de l'air dans la chambre

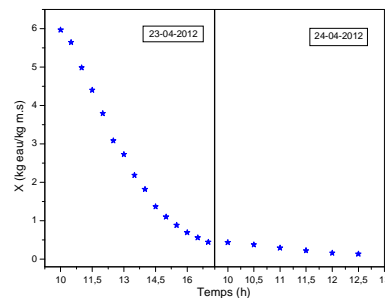


Figure 5 : Variation de la teneur en eau en fonction du temps

Nous pouvons voir aussi sur la figure 4 qu'à partir de 10h et ce jusqu'à 14h, la teneur en eau présente une diminution importante (de 4,41 jusqu'à 1,0 kg eau/kg de matière sèche), ceci est expliqué par le phénomène de diffusion d'une grande quantité de vapeur d'eau dans l'air asséchant. Pour le reste du temps de séchage, la diminution de la teneur en eau est moins importante et tend vers une valeur finale de 0,13 kg eau/kg de matière sèche.

### 3.6. Variation de l'humidité relative de l'air

La figure 5 présente la variation de l'humidité relative de l'air à l'entrée du capteur solaire (Hr-ecap), avant et après la claie de séchage, en fonction du temps. On remarque que Hr-ecap varie entre 10,2 et 19,5 % pour les deux jours de séchage. Pendant la période de passage de l'air à travers le capteur solaire, Hr diminue sous l'effet de l'augmentation de la température de l'air (figure 3), et varie lorsqu'il arrive à la chambre de séchage (Hr-av) de 9,2 à 5,1 % pour le premier jour et de 9,6 à 2,2 % pour le deuxième jour. L'évaporation de l'eau de la pâte de tomate, durant le passage de l'air à travers la claie de séchage, favorise la diffusion de la vapeur d'eau dans ce dernier. En effet ceci se traduit par une élévation de Hr-ap, qui varie dans l'intervalle de 16,3 à 10 %.

### 3.7. Evolution de la couleur de produit séché

La quantification des changements de couleur des échantillons séchés a été déterminée en utilisant un colorimètre Minolta CR-400 permettant l'enregistrement automatisée des Paramètres  $L$ ,  $a$ ,  $b$ , dans le système Hunter-Lab où  $L$  représente le paramètre d'échelle Noir/blanc,  $a$  le paramètre d'échelle rouge/vert et  $b$  le paramètre d'échelle jaune/bleu. Les paramètres de couleur de la surface ont été mesurés (à raison de dix mesures par échantillon) puis ramenés à une moyenne.

Dans l'objectif d'étudier la qualité du produit séché par la mesure des valeurs de couleur Lab., une expérience a été réalisée sous une température moyenne de séchage de 47°C et pour une durée de séchage de 14 h.

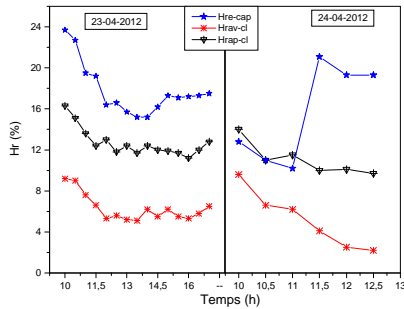


Figure 5 : Variation de l'humidité relative de l'air en fonction du temps

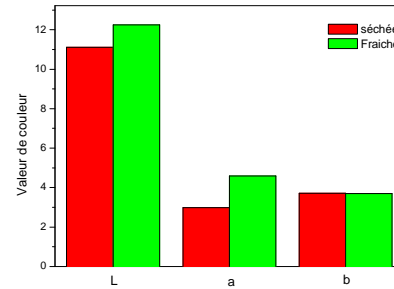


Figure 6 : Variation des valeurs de couleur (L,a,b) de la pâte de tomate fraîche et séchée

On remarque sur la figure 6 que les échelles de couleur L, a, et b pour la pâte de tomate fraîche et séchée sont 12,25, 4,59, 3,70 et 11,12 2,98 3,72 respectivement. Cette figure présente une diminution (pour le produit séché) de 35% dans le paramètre de couleur a (rouge/vert) c'est-à-dire que la couleur rouge du produit séché est moins importante que celle du produit frais. Une diminution de 9,22 % a été observée aussi sur le paramètre de couleur L (noir/blanc), par contre l'effet de séchage sur le paramètre de couleur b (bleu/jeune) est négligeable.

#### 4. Conclusions

Le séchage solaire de la pâte de tomate par le procédé de séchage solaire indirect à convection naturelle, présente un nouveau procédé pour la valorisation de la tomate. Les résultats expérimentaux nous amènent aux conclusions suivantes :

- Le temps de séchage des tranches de la pâte de tomate (épaisseur 1 cm) pour avoir une teneur en eau finale du produit (0,13 kg eau/kg matière sèche) est de 9h 30 min (deux jours).
- La température de l'air asséchant dans la chambre de séchage varie entre 42 et 61°C
- L'étude de la qualité de produit séché par la mesure des valeurs de couleur L, a, b présente une diminution de 35% dans le paramètre de couleur a et 9,22 % dans le paramètre de couleur L, par contre le paramètre de couleur b reste constant pendant l'opération de séchage.

#### Références

- [1] S. Panna Lal. Silk cocoon drying in forced convection type solar dryer. *Journal of Applied Energy*, 88, 1720-1726, 2011
- [2] A. Sreekumar, P.E. Manikantan, K.P.Vijayakumar. Performance of indirect solar cabinet dryer. *Energy Conversion and Management* 49, 1388-1395, 2008.
- [3] M.A. Basunia, T. Abe. Thin-layer solar drying characteristics of rough rice under natural convection. *Journal of Food Engineering* 47, 295-301, 2001.
- [4] D.R. Pangavhane, R.L. Sawhney. Review of research and development work on solar dryers for grape drying. *Journal of Energy Conversion and Management* 43, 45-61, 2002.
- [5] K. Fudholi, A. Sopian, M.H. Ruslan, M.A. Alghoul, M.Y. Sulaiman. Review of solar dryers for agricultural and marine products. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 1- 30, 2010.
- [6] S. Lahsasni, M. Kouhila, M. Mahrouz, A. Idlimam, A. Jamali. Thin layer convective solar drying and mathematical modeling of prickly peel (*Opuntia ficus indica*). *Journal of Energy* 29, 211-224, 2004.
- [7] J. Prasad, V.K. Vijay, G.N. Tiwari, V.P.S. Sorayan,. Study of performance evaluation of hybrid drier for turmeric (*Curcuma longa* L.) drying at village scale. *Journal of Food Engineering* 75, 497-502, 2006
- [8] M. B. Lalit, S. Sanatoch, S.N. Naik. Solar dryer with thermal energy storage systems for drying agricultural food products: A review. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14, 2298-2314, 2010.
- [9] M. Aghbashlo, M.H. Kianmehr, A. Arabhosseini. Performance analysis of drying of carrot slices in a semi-industrial continuous band dryer. *Journal of Food Engineering* 91, 99-108, 2009.
- [10] R.K. Goyal, G.N.Tiwari. Parametric study of a reverse flat plate absorber cabinet dryer : A new concept. *Solar energy* 60, 41-48, 1997.
- [11] C. Ertekin, O.Yaldiz. Drying of eggplant and selection of a suitable thin layer drying model. *Journal of Food Engineering* 63, 349-359, 2004.
- [12] C. Chawla, D. Kaur, D.P.S.Oberoi, D.S. Sogi. Drying characteristics, sorption isotherms, and lycopene retention of tomato pulp. *Drying Technology* 26, 1257,1264, 2008.
- [13] P. Rajkumar, S. Kulanthaisami, G.S.V. Raghavan, Y.Gariépy, V. Orsat. Drying kinetics of tomato slices in

- vacuum assisted solar and open sun drying methods. *Drying Technology* 25, 1349-1357, 2007.
- [14] J. N. Davies, G. E. Hobson. The constituents of tomato fruit. The influence of environment, nutrition, and genotype. *CRC Crit. Rev. in Food Sci. Nutri* 15, 205-280, 1981.
- [15] I. Doymaz. Air-drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 78(4),1291-1297, 2007.
- [16] P. Lewicki, H. Vu Le, W.Pomarańska-Lazuka. Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 54, 141–146, 2002.
- [17] B. Zaroni, C. Peri, V.Lavelli. Oxidation heat damage of tomato halves as affected by drying. *Food research international* 31(5), 395-401, 1999.
- [18] C. H Chang, H. Y Lin, C.Y. Chang, Y.C. Liu. Comparisons on the antioxidant properties of fresh, freeze-dried and hot-air-dried tomatoes. *Journal of Food Engineering* 77, 478–485, 2006.
- [19] C.T. Akanbi, R.S. Adeyemi, A. Ojo. Drying characteristics and sorption isotherm of tomato slices. *Journal of Food Engineering* 73, 157–163, 2006.
- [20] M.N.A Hawlader, M.S. Uddin, J.C. Ho, A.B.W. Teng. Drying characteristics of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 14, 259–268, 1991.
- [21] S. Boughali, H. Benmoussa, B. Bouchekima, D. Mennouche, H. Bouguettaia, D. Bechki,. Crop drying by indirect active hybrid solar - Electrical dryer in the eastern Algerian Septentrional Sahara. *Solar Energy* 83(12), 2223-2232, 2009.
- [22] K. Sacilik, R. Keskin, A.K.Elicin. Mathematical modeling of solar tunnel drying of thin layer organic tomato. *Journal of Food Engineering* 73 (3), 231–238, 2006.
- [23] R. Queiroz, A. L. Gabas, V. R. N. Telis. Drying Kinetics of Tomato by Using Electric Resistance and Heat Pump Dryers. *Drying Technology* 22, 1603-1620, 2004.