

Etude expérimentale comparative du séchage solaire indirect

Mohamed. AISSA, Bachir. DADDA, Sofien. KHERROUR

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaïa, Algeria

Email : mohamed.aissa1@yahoo.fr

Résumé : Dans le cadre de la valorisation du procédé de séchage et de stockage des légumes et des fruits, nous nous intéressons à l'étude de la cinétique de séchage d'un produit alimentaire, au moyen d'un séchoir solaire indirecte installé dans la région de Ghardaïa, à des conditions aérouliques et de température caractérisant le climat de cette région au début de saison de printemps. Des résultats expérimentaux de séchage par convection naturelle du produit considéré ont été obtenus. Cette étude nous a permis de déterminer l'évolution de la température sur deux différents niveaux du séchoir indirecte en fonction du temps pendant la période complète du séchage, ainsi que la variation de la teneur en eau durant cette période. Dans cette étude, nous avons comparés les résultats trouvés par séchage solaire indirecte avec ceux que nous avons obtenus par séchage solaire lors d'exposition directe de notre produit au rayonnement solaire dans l'air libre.

Mots clés : Température – Séchoir solaire indirect – Rayonnement – Humidité – Pression

1. Introduction

Dans le secteur agroalimentaire, de nombreux travaux ont été menés pour optimiser l'opération du séchage. Cette opération consiste à rationaliser à la fois la consommation de l'énergie solaire et la sauvegarde de la qualité du produit séché [1]. Les mécanismes de séchage sont complexes à décrire du fait que les transferts de chaleur et de masse sont étroitement imbriqués. La complexité des mécanismes mis en jeu et le caractère variable des produits à sécher (nature, forme, propriétés physiques) empêchent de trouver un modèle unique susceptible de représenter toutes les situations [2]. Le choix d'un modèle à priori pour décrire l'intégralité d'une courbe de séchage peu également s'avérer un handicap dans le cas d'un produit présentant différentes phases de séchage. Ces raisons ont poussé des nombreux auteurs [3-7] à opter pour la méthode de la courbe caractéristique de séchage qui caractérise les cinétiques de séchage sans faire l'hypothèse préalable sur la forme. Cette méthode est très utilisée pour décrire les comportements des produits alimentaires pendant le séchage. L'objectif principale de cette étude est de faire une analyse complète des profils de température au sein du séchoir solaire indirecte, des courbes de l'évolution de la teneur en eau du produit considéré, et des allures de la cinétiques de séchage. Tout cela se fait pendant les trois jours consécutifs (19-20-21/03/2013) durant la période du séchage.

2. Description du dispositif expérimental

Le séchoir indirect se compose de deux parties : un collecteur qui convertit le rayonnement solaire en chaleur et une chambre de séchage qui contient le produit à sécher (fig. 1). L'air chaud monte par convection naturelle jusqu'à la chambre de séchage et la durée de séchage est très variable selon les conditions climatiques. D'après Sokhansanj et Jayas [8], Les paramètres considérablement influençant les performances d'un séchoir sont :

- Les caractéristiques de l'air sécheur (température de l'air sécheur, le taux d'humidité et d'écoulement de l'air).
- Les variables dimensionnelles (épaisseur, longueur, hauteur ou diamètre du séchoir, la configuration du séchoir).

Les caractéristiques physiques du séchoir :

Ça concerne le type, le poids, les Dimensions et le matériau du séchoir. Même si le bois et le métal sont les matériaux souvent utilisés, le ciment et le mortier sont aussi utilisés [9]. Le collecteur est souvent construit avec de l'aluminium, le fer ou l'acier galvanisé et peint avec de la peinture noire matte (non réfléchissante).

Les avantages du séchoir indirect :

Le séchoir solaire indirect présente les avantages suivants :

- Le produit n'est pas exposé directement au soleil.

Il conserve mieux sa couleur et sa valeur nutritionnelle (notamment les vitamines A et C).

- Possibilité de construire ce type de séchoirs localement, avec un coût réduit.
- Son fonctionnement n'exige pas une énergie électrique ou des combustibles fossiles.

Selon les mesures et les conditions des séchoirs cités dans la littérature nous présentons tout brièvement le dispositif expérimental du séchoir solaire indirect dans les figures 1 et 2, et ces dimensions.

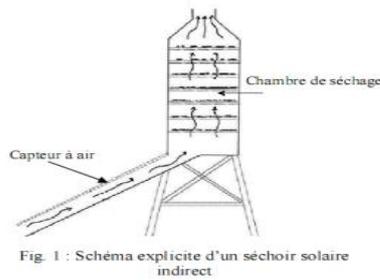


Fig. 1 : Schéma explicite d'un séchoir solaire indirect



Figure 2 : le séchoir solaire indirect.

Figure 1 : Schéma explicite d'un séchoir solaire
Les dimensions réelles du séchoir mis en jeu sont données dans le tableau suivant :

Tableau 1 : Fiche technique.

Armoire	Hauteur : 1000 mm Largeur : 1030 mm Profondeur : 490 mm
Surface du séchage	Trois caissons : 1,08 m ²
Capteur à air	Longueur : 1920 mm Largeur : 960 mm Epaisseur : 150 mm Inclinaison : 32° Vitrage : 4 *885*1790mm3

3. Résultats et discussion

3.1. Etude des conditions climatiques et du rayonnement durant l'opération du séchage

3.1.1 Etude des profils des paramètres climatiques

Le travail que nous avons réalisé pour l'étude du bilan d'énergie et de masse d'un séchoir de type indirect s'est scindé en expérimentale qui a consisté en la mesure : des températures des différents éléments constituant le séchoir, de la température de l'air ambiant, de l'humidité relative de l'air à l'extérieur du séchoir, du rayonnement solaire global, du rayonnement diffus et de la perte de masse du produit (tomate) au cours du séchage.

Les résultats obtenus à travers la mesure de ces paramètres physiques sont traduits en courbes donnant leur évolution en fonction du temps. Nous étudierons de plus la teneur en eau du produit et la cinétique de séchage.

Dans la figure 3 nous remarquons l'évolution de la température ambiante, de l'humidité relative et de la pression atmosphérique pendant toute la période de l'étude expérimentale. La température marque des valeurs modérées correspondant au climat de la saison du printemps, elle présente des minima autour de 12°C pendant l'absence du rayonnement solaire et des maxima au tour de 25°C entre midi et quatorze heures. Dans cette figure on présente ainsi les courbes de l'humidité relative des trois jours, nous remarquons une évolution inversement proportionnelles à l'évolution de la température de l'air ambiant. Cependant, l'humidité marque d'importantes valeurs durant la période nocturne, et de faibles valeurs pendant la période diurne, c'est ce qui favorise le processus de séchage.

Des pressions atmosphériques modérées marquées au 19 et au 21 Mars 2013, pour qu'elle atteigne d'importantes valeurs au 20 Mars 2013 (figure 3) et influe considérablement dans le processus de séchage.

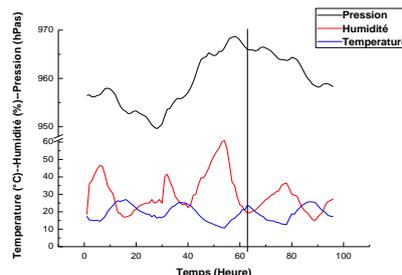


Figure.3 : Profils des températures, d'humidité relative et de la pression, de l'air ambiant du (18-19-20-21/05/12)

3.1.2 Evolution des composantes du rayonnement solaire

Sachant que le rayonnement est un mode de transfert de chaleur, jouant le rôle le plus important dans l'opération de chauffage du capteur, l'absorbeur est peint de la couleur noir qui permet de recevoir tous le rayonnement incident sur la vitre. Selon la figure 3, le rayonnement global et presque similaire durant les trois journées de mesure, il suit une forme de cloche et atteint un maximum (1000 W/m²) autour de midi TSV et évidemment des valeurs nulles pendant l'absence du soleil (nuit).

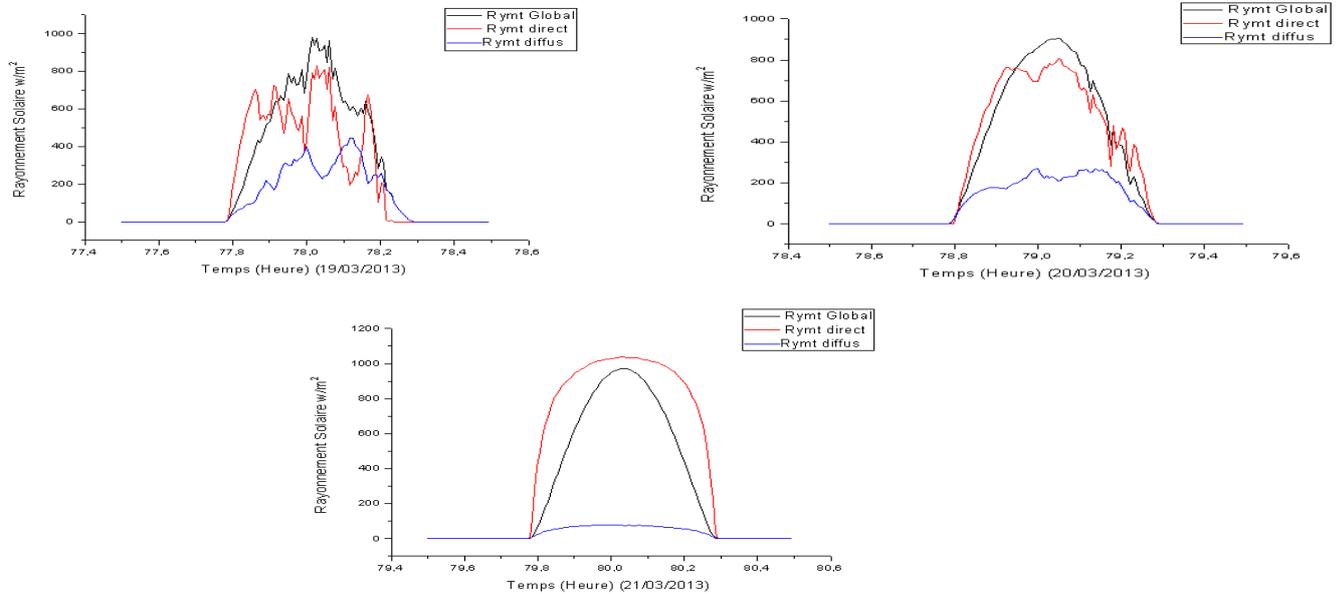


Figure.4 : Evolution du rayonnement solaire (diffus, global, direct) du 19 au 21/03/2013

Une vitre inclinée à 55°, maximise la captation de l'énergie solaire pendant la période froide. Une autre inclinée à 15°, permet d'optimiser la transmission du rayonnement en saison estivale. La vitre du capteur de notre dispositif est inclinée d'un angle de 32° selon la latitude de la région de Ghardaïa en saison de printemps considérée comme une période typique pour le séchage des denrées alimentaires.

3.2. Température des différents éléments constituant du séchoir

Dans l'objectif d'amélioration des propriétés énergétiques du dispositif expérimental utilisé, nous avons effectué des changements favorisant le rendement du capteur solaire. Cela par l'étanchéité des différents points de conjonction du dispositif, en utilisant de la matière de silicone. Le principe fondamentale de transfert de chaleur résidant dans l'effet de serre au niveaux du capteur solaire devient plus important (figures 5 et 6). On remarque dans la figure 6 l'évolution des températures de la journée de 12/05/2011, la température de l'air ambiant pendant cette journée varie entre 25°C et 30°C. Néanmoins, la figure 3 montre des températures de l'air ambiant variantes entre 10°C et 25°C durant la période d'expérimentation du 19-20-21/03/2013. En fait, par augmentation des performances du capteur solaire nous avons amélioré le gain thermique de ce dernier d'une déférence de température d'environ de 35°C par journée, cela est mis en évidence dans la figure 5 comparativement à la figure 6.

Par conséquent, nous avons acquis de la chaleur supplémentaire au niveau de l'armoire considérée comme lieu d'opération du séchage des produits alimentaires. La figure 7 montre l'évolution temporelle des températures au sein des tiroirs dans l'armoire du séchoir solaire. Ces signaux évoluent qualitativement de même façon pendant les deux journées 19 et 21 Mars 2013 de l'expérimentation, nous marquons des maxima de température autour de 52°C à midi et des minima moyennement autour de 25°C à minuit.

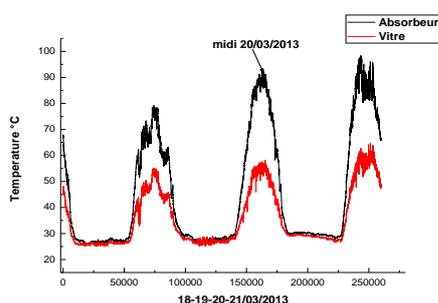


Figure.5 Variation des températures du capteur durant le (18-19-20-21 Mars 2013)

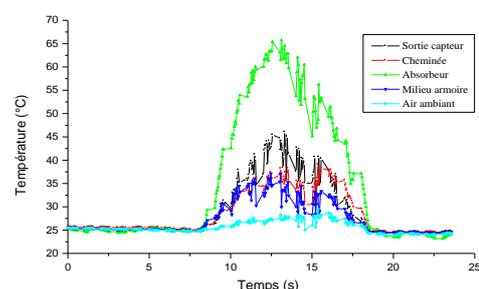


Figure.6 : L'évolution des températures en fonction du temps pour la journée du 12/05/2011.[10]

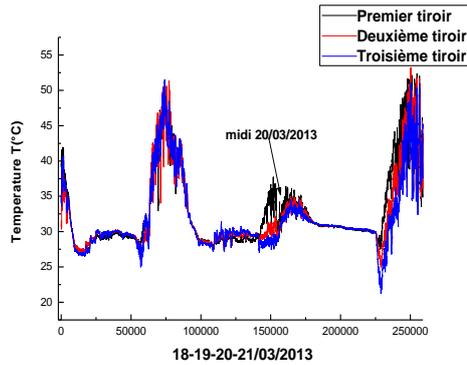


Figure 7 : Variation de la température dans les différents niveaux de l'armoire

Des faibles valeurs de températures peuvent être remarquées durant le jour du 20 Mars 2013 par rapport aux deux autres jours de l'expérience. Cela peut être expliqué par les conditions de pression et de vitesse de l'air qui favorisent sa recirculation à l'intérieur du séchoir sans extraire l'énergie cumulée dans l'absorbeur du capteur solaire. Les profils fluctuants des températures qui sont enregistrés en ce spécial jour de conditions atmosphériques, sont considérablement affaiblies au sein de l'armoire, ils montrent des augmentations de températures d'environ de 10°C par rapport aux celles de l'air ambiant.

3.2. Etude de la cinétique de séchage

3.2.1 La perte de l'eau au cours du temps

L'objectif principal de cette étude expérimentale est de déterminer les courbes de perte de l'eau et de vitesse de séchage du produit agro-alimentaire considéré. La masse humide du produit est pesée par intervalles de temps successifs réguliers pendant la durée du jour ensoleillé. L'étude expérimentale s'est déroulée en mois de Mars 2013 considéré comme la meilleure période de séchage. On a utilisé une balance de 0.1g de précision pour la pesée du produit à sécher.

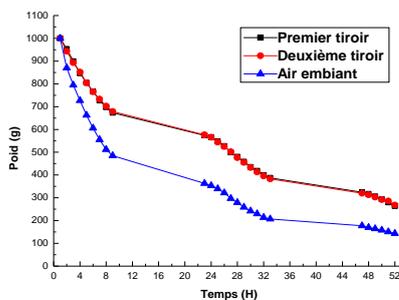


Figure 8 : Variation du poids du produit séché (Tomate) au cours du temps (19-20-21/03/2013)

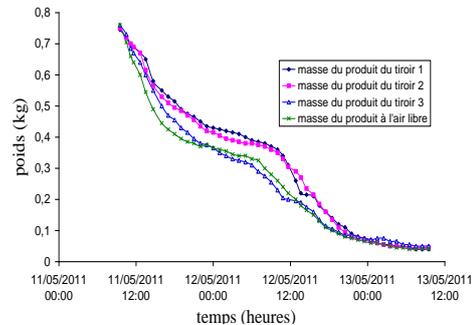


Figure.9 : L'évolution du poids de la tomate durant le processus de séchage (11-12-13/05/2011). [10]

La figure 8 montre l'évolution de la perte au poids de notre produit en fonction du temps. La masse globale du produit considéré est divisée en trois quantités de 1000g chargées dans le premier et le deuxième tiroir et dans l'air libre.

Nous observons dans cette figure la variation identique des deux courbes d'évolution des masses des produits humides dans les tiroirs, Cependant, un remarquable décalage de la courbe de variation de poids du produit exposé directement au soleil dans l'air ambiant, tel qu'une importante chute du poids est effectuée dans les premières phases de l'opération du séchage relativement à celle des tiroirs pendant les périodes diurnes. Nous remarquons ainsi de faible variation du poids pendant les périodes nocturnes. Lorsqu'on compare entre les résultats des deux figures 8 et 9, on trouve au premier jour d'équivalents pourcentages (~45%) de quantité d'eau évaporée au niveau du séchoir pour les deux périodes d'expérimentations considérées, malgré les différentes conditions climatiques de ces deux périodes.

3.2.2. La vitesse de perte de l'eau au cours du temps

La figure 10. montre l'évolution des courbes des vitesses de séchage qui représentent trois maximums relatifs successivement décroissent avec la diminution de la quantité d'eau à extraire du produit. Ces maximums traduisent l'importance de la cinétique de séchage aux moments de rayonnement solaire intense et de température élevée durant la période diurne. Ces moments peuvent atteindre en chaque jour entre midi et

quatorze heures. Ainsi que les vitesses minimums correspondent à l'absence de rayonnement solaire et de basse température à la période nocturne.

On remarque aux premiers moments de l'opération de séchage une très grande vitesse de séchage associée au produit exposé directement aux rayonnements solaires dans l'air ambiant. Par contre au cours des deuxième et troisième journées, l'opération de séchage directe à l'air libre devient plus faible par rapport à celle qui correspond au sein du séchoir solaire indirect. Ce phénomène peut s'expliquer par la perte brutale de très grandes quantités d'eau du produit séché aux premiers moments d'opération de séchage. En fait, cette façon de changement influe négativement sur les propriétés nutritionnelles et la couleur des produits alimentaires séchés.

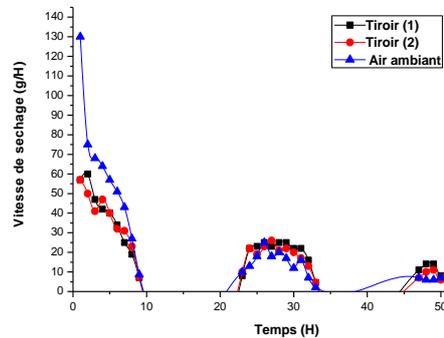


Figure 10 : L'évolution de la vitesse de séchage pendant les trois jours

Conclusion

Dans ce travail expérimental, nous avons présenté les résultats d'une analyse énergétique du processus de séchage de la tomate dans un séchoir solaire indirect de type serre fonctionnant sous principe de convection naturelle. Le phénomène de transfert de masse et de cinétique de séchage concernant les quantités d'eau extraites de notre produit alimentaire ont été étudiés.

Les résultats trouvés par cette analyse expérimentale durant la période choisie au début de la saison de printemps sont comparés avec ceux qu'on a trouvés précédemment en mois de mai 2011 par le même dispositif expérimental dans une période plus chaude. On constate qu'avec une bonne isolation thermique des constituants de séchoir nous avons amélioré considérablement le rendement de notre capteur solaire, et par conséquent du celui du séchoir solaire.

Références

- [1] Benhamou A, Idlimam A, Lamharrar A, Benyoucef B, Kouhila M. Diffusivité hydrique et cinétique de séchage solaire en convection forcée des feuilles de marjolaine. *Revue des énergies renouvelables* vol 11 N°1(2008) 75-85
- [2] S. Kherrou, S.M.A. Bekkouche et L. Serir, Comportement thermique d'un séchoir solaire direct type serre dans la région de Ghardaïa, *Revue des Energies Renouvelables SMSTS'08 Alger* (2008) 167 – 176
- [3] F. Z. Ferahta , D. Ababsa , C. Abid et S. Bougoulf. Z. Ferahta , D. Ababsa , C. Abid et S. Bougoul, Simulation numérique de la convection naturelle dans une lame d'air « absorbeur-vitre » d'un capteur solaire thermique. *Workshop sur les Energies Renouvelables et leurs Applications, WERA'10, Batna, 28 et 29 Septembre 2010*
- [4] Desmorieux H, Decean N, Convective drying of spirulina in thin layer, *journal of food Engineering* 66 (2005) 497-503.
- [5] Desmorieux H, Diallo C, Coulibaly Y Operation simulation of a convective and semi-industrial mango dryer, *Journal of food Engineering* 89 (2008) 119-127.
- [6] Talla A, Jannot Y, Kapseu C, Nganhou J, Etude expérimentale et modélisation de la cinétique de séchage de fruits tropicaux. Application à la banane et à la mongue. *Sciences des aliments*, 21(2001)499-127
- [7] Jannot Y, Talla A, Nganhou J, Puigalli J.R., Modeling of Banana Convective Drying by the Drying characteristic curve (DCC) Methode, *Drying Technology* vol.22, N°.08(2004), 1949-1968;
- [8] Ahouannou C, Jannot Y, Lips B, Lallemand A, Caractérisation et Modélisation du Séchage de Trois Produits Tropicaux : manioc, gingembre et gombo. *Sciences des Aliments* 20(4/5)(2000)413-432.
- [9] S. Sokhansanj and D. Jayas, 'Drying of Foodstuffs', In: A.S. Mujumdar, Editor. 'Handbook of Industrial Drying, 2'. New York: Marcel Decker Inc., 1995.
- [10] S. Kherrou, B. Dadda, M. Aissa, Séchage solaire indirect de la tomate dans les régions arides. *Séminaire National de Mécanique, SNM'11*