



Séchoir Solaire pour les Tomates

A. Zriba¹, M. S. Guellouz^{1,2}, N. Kechaou³ and A. Jemni¹

¹Laboratoire d'Etudes des Systèmes Thermiques et Energétiques,
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir, Université de Monastir
Rue Ibn Al Jazzar, 5019 Monastir, Tunisia

²Ecole Nationale d'Ingénieurs de Bizerte, Université de Carthage
BP66, Campus Universitaire Menzel Abderrahman 7035, Bizerte, Tunisia

³Laboratoire Mécanique des Fluides Appliquée et Modélisation Génie des Procédés et Environnement
Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, Université de Sfax, Sfax, Tunisia

zriba-amani@live.fr, sadok.guellouz@enib.rnu.tn, nabil.kechaou@enis.rnu.tn, abdelmajid.jemni@enim.rnu.tn

Résumé : Dans le cadre d'un Programme de Recherche et de Développement Fédéré Tunisien (PRF) qui implique plusieurs laboratoires tunisiens et qui est financé par le ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, cette présente étude a pour but de concevoir et d'optimiser un séchoir solaire pour les tomates. Les objectifs généraux du programme sont de réduire au minimum la consommation d'énergie du séchage industrielle des tomates tout en assurant la haute qualité des produits, et de permettre aux petites entreprises d'accéder à un séchoir à énergie « propre » et à faible coût.

Afin d'évaluer les différentes alternatives de conception puis dimensionner et optimiser le séchoir solaire, des simulations thermodynamiques de l'ensemble du système, y compris la cellule de séchage, les capteurs solaires, le réservoir de stockage de l'énergie thermique, l'échangeur de chaleur eau/air et le mélangeur à renouvellement d'air, ont été effectuées en utilisant le logiciel TRNSYS. L'évolution temporelle des propriétés du bois et de l'air de séchage et l'énergie nécessaire pour le processus sont calculés à partir des cinétiques de séchage obtenues expérimentalement, et utilisé comme entrées pour le modèle thermodynamique TRNSYS. Les simulations sont faites pour les conditions météorologiques typiques au cours d'une année et ont permis, l'estimation et l'optimisation de la surface de captation et du volume de l'eau de stockage thermique pour fournir l'énergie thermique nécessaire au processus de séchage des tomates.

Mots clés : Séchage des tomates, cinétiques de séchage, séchoir solaire, TRNSYS, simulations numériques.

1. Introduction

Le séchage est l'une des plus anciennes méthodes de préservation des aliments connues de l'homme. C'est une activité intensive en énergie. Pour réduire la demande d'énergie qui lui est associée, on peut remplacer les combustibles fossiles conventionnels par des énergies renouvelables. Une alternative appropriée, dans des pays comme la Tunisie, est l'énergie solaire.

La présente étude fait partie d'un programme tunisien de recherche et de développement fédéré (PRF) qui implique plusieurs laboratoires tunisiens et qui est financé par le Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique. Le but du programme est la conception et l'optimisation d'un séchoir pour les tomates alimenté par l'énergie solaire. Les objectifs généraux du programme sont de minimiser la consommation d'énergie du séchage industriel des tomates tout en garantissant une qualité élevée des produits et de donner aux petites entreprises l'accès à des séchoirs à faible coût.

Pour simuler différentes configurations de conception, dimensionner et optimiser le modèle retenue, des simulations thermodynamiques de l'ensemble du système, y compris la chambre de séchage, les capteurs solaires, le réservoir de stockage de l'énergie thermique, l'échangeur de chaleur eau-air et le mélangeur à renouvellement d'air, ont été réalisées à l'aide de l'interface de calcul du logiciel TRNSYS. Le temps de séchage des tomates, les propriétés de l'air de séchage et l'énergie requise pour le procédé sont calculés à partir des cinétiques de séchage obtenues expérimentalement et utilisés comme entrées pour le modèle thermodynamique TRNSYS. Les simulations ont permis d'étudier la réponse dynamique du système pour des conditions météorologiques typiques sur une année et ont permis d'estimer et d'optimiser la surface de captation et le volume de stockage de l'énergie thermique pour sécher 315 kg des tomates fraîches.

2. Modèle de séchage des tomates

2.1. La cinétique de séchage

La cinétique de séchage des tomates, (Figure 1) a été obtenue expérimentalement de la soufflerie du groupe de recherche GP2A de l'Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax (ENIS), Tunisie. L'écoulement de l'air de séchage est horizontale par rapport l'échantillon de produit (Figure 2). La température et la vitesse d'écoulement sont régulées. Les conditions initiales de séchage utilisées dans cette étude sont :

- Température d'entrée de l'air de séchage = 65 °C.
- Humidité relative d'entrée de l'air de séchage = 20 %.
- Masse initiale totale = 315 kg de tomates fraîches.
- Vitesse de l'air de séchage = 1,6 m/s.
- Débit massique de l'air de séchage = 18748,8 kg/h.
- Paramètres de la chambre de séchage :
 - Nombre de chariots = 3.
 - Nombre de claies par chariot = 21.
 - Longueur de claie = 90 cm.
 - Largeur de claie = 60 cm.
 - Espace inter-claie = 6 cm.

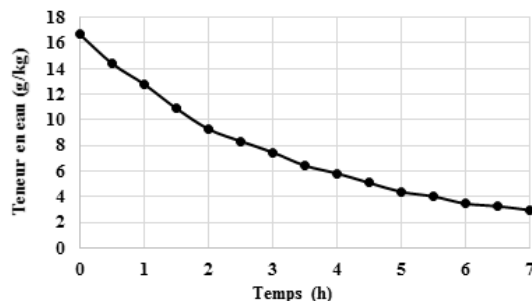


Figure 1 : Cinétique de séchage des tomates

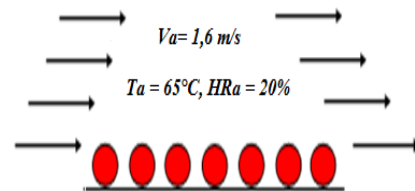


Figure 2 : Ecoulement horizontal de l'air de Séchage

Lors de son passage dans la chambre de séchage, l'air s'humidifie en absorbant l'eau quittant les tomates (Figure 3). En même temps, la température de l'air diminue pour compenser l'énergie latente d'évaporation de cette eau. Au début du séchage, cette évaporation est maximale, ce qui induit un rafraîchissement maximal de l'air. Cependant, au cours du séchage le taux d'évaporation diminue avec le temps, et la température de l'air augmente progressivement à la sortie de la chambre de séchage (Figure 4). A la fin du séchage, la température de l'air à la sortie atteint asymptotiquement la température de l'air à l'entrée de la pile de bois, ce qui est une confirmation de la fin de l'évaporation d'eau.

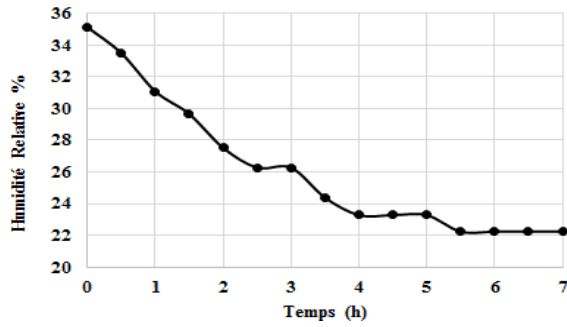


Figure 3 : Humidité relative de sortie de l'air de séchage

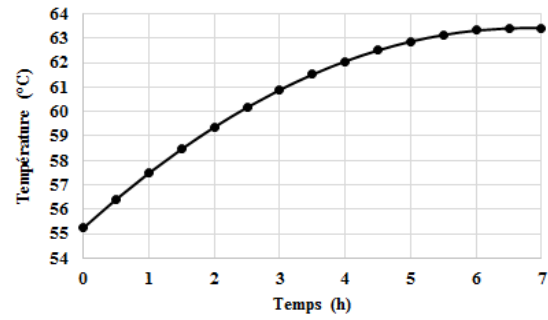


Figure 4 : Température de sortie de l'air de séchage

2.2. Modélisation du séchoir solaire

Plusieurs configurations de l'installation solaire ont été envisagées. La configuration retenue du séchoir solaire est illustrée dans la Figure 5. Elle se compose des capteurs solaires de type tubes sous vide, un réservoir de stockage à deux degrés de stratification, un échangeur de chaleur eau-air, une chambre de séchage et un mélangeur à renouvellement d'air. Ce dernier est un élément constitutif de notre système, il est destiné à réaliser un mélange d'air provenant de l'unité de séchage et d'air ambiant dans des proportions bien déterminées, ce qui permet toujours d'obtenir l'humidité absolue requise à l'entrée de l'enceinte de séchage, indépendamment des conditions météorologiques du lieu d'implantation du séchoir.

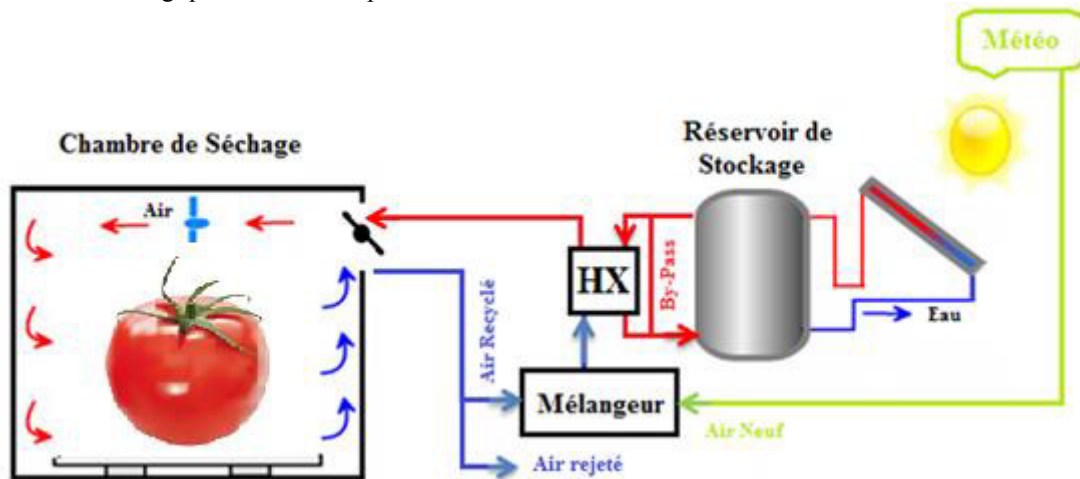


Figure 5- Installation séchoir solaire pour tomates

Le comportement des composants constituant la cellule de séchage a été étudiée par simulation numérique en utilisant le logiciel TRNSYS. Le dispositif numérique présenté, sur la Figure 6, comprend essentiellement deux circuits : un d'eau en circuit fermé et l'autre d'air fonctionnant en circuit ouvert.

Le fonctionnement du système passe par deux phases. La première consiste à faire fonctionner le circuit d'eau afin de préchauffer l'eau du système de stockage jusqu'à une température beaucoup plus importante que la température d'air souhaitée pour le séchage et aussi jusqu'à accumuler une masse de stockage suffisante pour le fonctionnement de nuit (il est possible de faire deux cycles de séchage en une journée, essentiellement, pendant la saison estivale).

Une fois la limite inférieure de la température de l'eau (à peu près 85°C dans le haut du réservoir de stockage pour assurer une température de séchage qui est de l'ordre de 65 °C) est atteinte, on passe à la deuxième phase par le déclenchement de l'échangeur de chaleur pour chauffer une masse de 18748,8 kg/h d'air servant à sécher 315 kg de tomates fraîches.

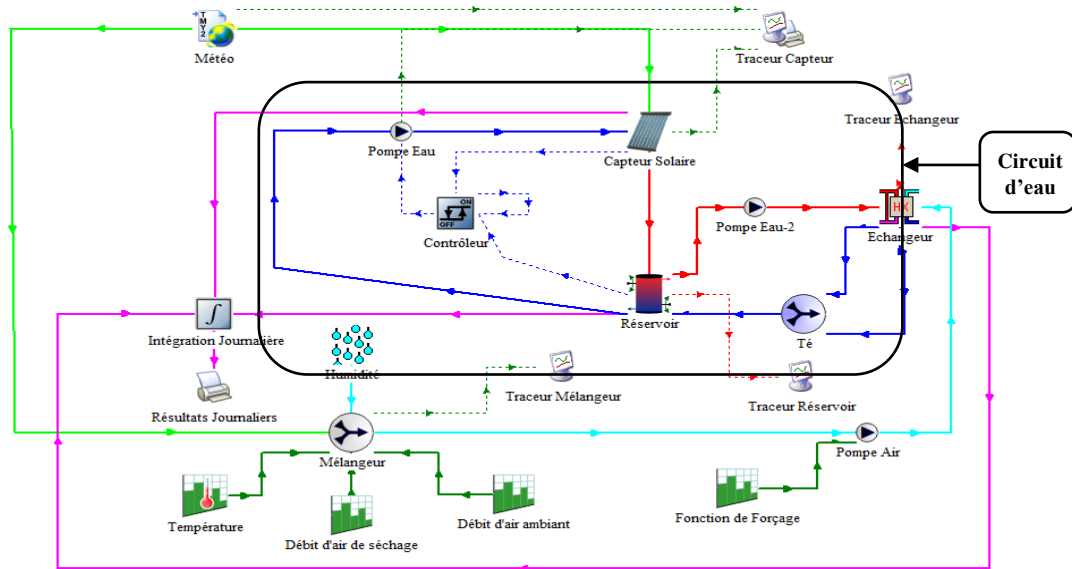


Figure 6- Modèle TRNSYS du séchoir solaire avec capteurs à eau et stockage

3. Résultats et Discussions

Les simulations TRNSYS effectuées sont basées sur la notion d'une année typique. Le champ des capteurs solaire doit chauffer le réservoir de stockage de l'énergie thermique à une température dépassant les 85°C avant le déclenchement du circuit d'air. Les performances thermodynamiques des différents composants sont étudiées. Des exemples de tels résultats sont présentés pour une année entière (Figure 7) et pour une semaine estivale et une autre hivernale (Figures 8 et 9).

Vu que le processus de séchage doit être continu et doit répondre à une demande constante d'énergie, la température de l'air à la sortie de l'échangeur, qui correspond aussi à la température à l'entrée de l'enceinte de séchage, comme le montrent les deux figures 8 et 9, suit une courbe presque constante à une valeur égale à 65 °C. Ce qui confirme le bon fonctionnement de l'installation requise.

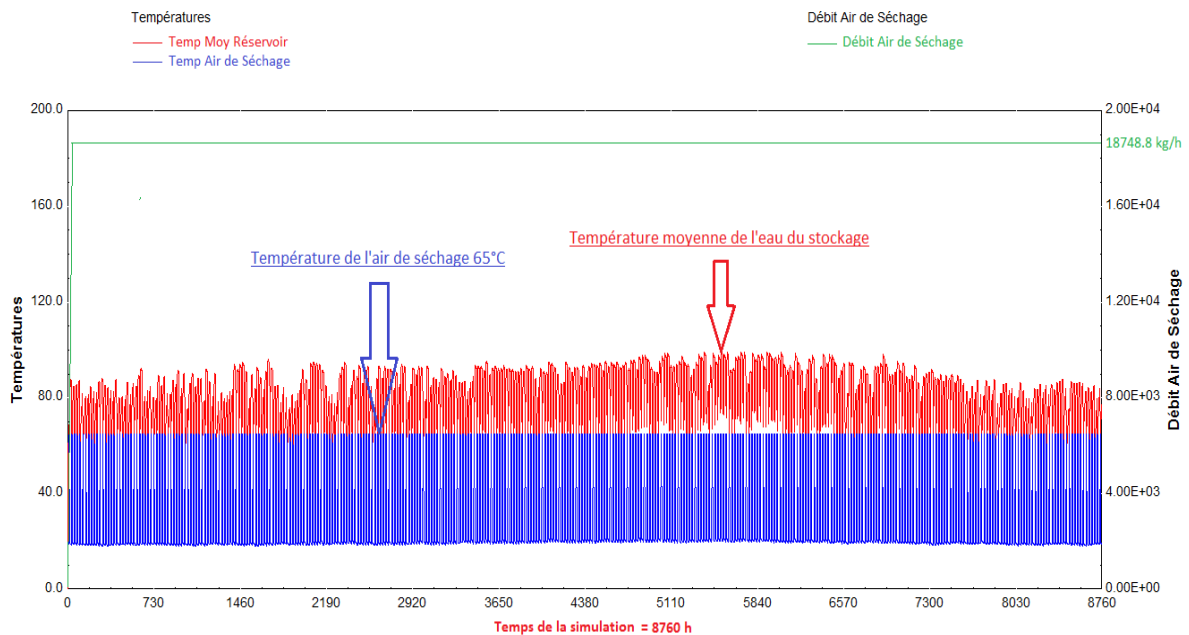


Figure 7- Températures de l'eau de stockage, température et débit de l'air de séchage dans l'échangeur de chaleur pour toute l'année

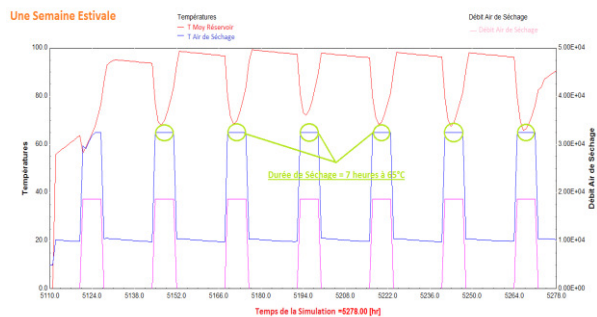


Figure 8- Températures de l'eau de stockage, température et débit de l'air de séchage dans l'échangeur de chaleur pour une semaine estivale

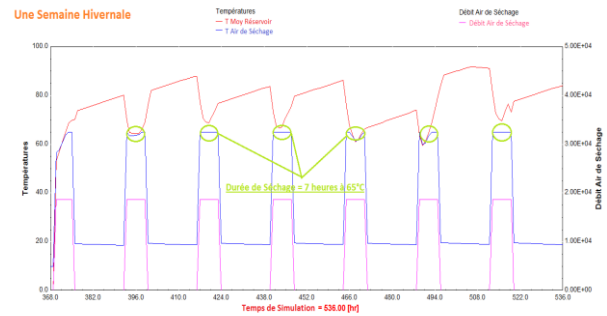


Figure 9- Températures de l'eau de stockage, température et débit de l'air de séchage dans l'échangeur de chaleur pour une semaine hivernale

Les figures 10 et 11 montrent respectivement la surface de capteurs solaires requise et le volume de réservoir de stockage requis pour les différents mois de l'année pour un séchoir fonctionnant avec les conditions climatiques de Tunis, elles présentent deux scénarios de séchoir solaire. On constate que la courbe de variation de la surface de captation représente deux paliers correspondant à deux scénarios de dimensionnement. Le premier séchoir utilise 40 m² pour couvrir les besoins de la saison estivale, et dans ce cas, l'utilisation de l'énergie auxiliaire (le GPL) est nécessaire du mois d'Octobre au mois de Mai. Le deuxième séchoir fonctionne avec une surface de captation de 55 m² et le recours au chauffage auxiliaire en brûlant le GPL sera que pour satisfaire les besoins des trois mois : Décembre, Janvier et Février.

La courbe du volume du réservoir de stockage suit une variation similaire avec un rapport presque constant du volume du réservoir à la surface du collecteur de 80 l / m².

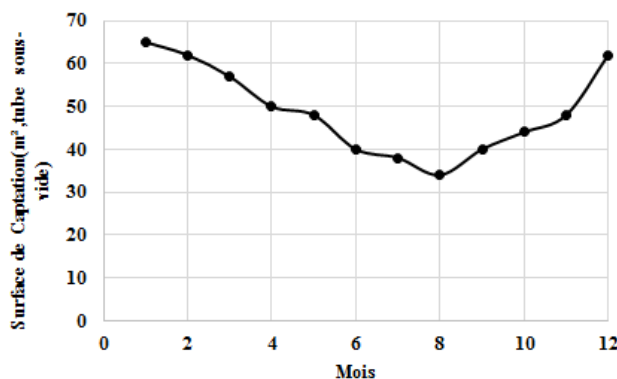


Figure 10- Variation mensuelle de la surface de captation

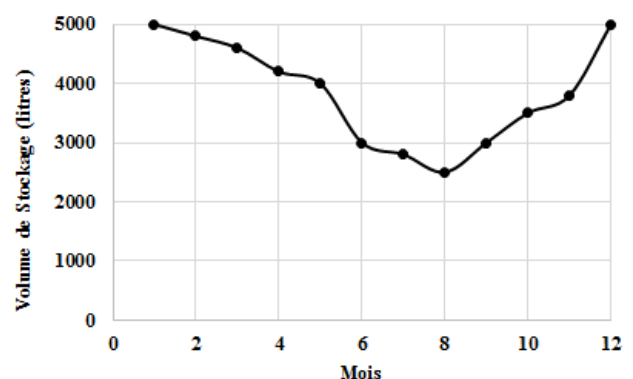


Figure 11- Variation mensuelle du volume de stockage

Conclusion

Dans cet article, une cinétique de séchage expérimentale des tomates a été utilisée pour déterminer le temps de séchage et les propriétés de l'air de séchage. Les résultats sont ensuite utilisés pour simuler le comportement thermodynamique du système de séchage solaire complet.

Le présent travail a démontré la faisabilité du concept et la mise en place du séchoir solaire situé l'usine du partenaire industriel AGRIFOOD.

Références

- [1] El Mokretar, S., Miri, R., Belhame, M., Etude du Bilan d'Énergie et de Masse d'un Séchoir de Type Serre, Applications au Séchage des Produits Agro-alimentaires, *Revue des Énergies Renouvelables*, Volume 7, p : 109123, 2004.
- [2] Nadia NADIR, Recherche des conditions optimales de fonctionnement d'un séchoir solaire, *Thèse*, Faculté des sciences et sciences de l'ingénieur, Université Kasdi Merbah Ouargla.
- [3] Romain RÉMOND, Approche déterministe du séchage des avivés de résineux de fortes épaisseurs pour proposer des conduites industrielles adaptées, *Thèse*, École Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts, Nancy, 2004.

- [4] A.R. Celma, F. Cuadros and F. López-Rodríguez, Characterisation of Industrial Tomato ByProducts from Infrared Drying Process, *Food and Bioproducts Processing*, Vol. 87, N°4, pp. 282 – 291, 2009.
- [5] 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.
- [6] Maha AHMAD, Nouveaux composants actifs pour la gestion énergétique de l'enveloppe légère des bâtiments. Couplage matériaux à changement de phase, super-isolation, apports solaires, *Thèse*, Université Joseph Fourier, Grenoble 1, Novembre 2004.
- [7] B. K. Bala, M. R. A. Mondol, B. K. Biswas, B.L. Das Chowdury and S. Janjai, Solar drying of pineapple using solar tunnel drier, *Renewable Energy*, 28, Issue 2, (183-190) - (2003).
- [8] Prakash O, Anil K. Historical Review and Recent Trends in Solar Drying Systems. *Int J Green Energy* 2013, 690-738.
- [9] Lyes Bennamoun: An overview on application of Exergy and Energy for Determination of Solar Drying Efficiency, *International Journal of Energy Engineering* 2012.
- [10] A.G.M.B. Mustayen, S. Mekhilef, R. Saidur, Performance study of different solar dryers: a review, *Renew Sustain Energy Rev*, 34 (2014), pp. 463–470.