

Contribution à l'étude de faisabilité de séchoirs solaires pour les produits agricoles

L. Bennamoun^{1,3*} et A. Belhamri^{2,3}

¹ Département de Physique, Institut des Sciences Exactes,
Centre Universitaire Larbi Ben M'hidi, Oum El Bouaghi, Algérie

² Département de Génie Climatique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur,
Université Mentouri, Constantine, Algérie

³ Laboratoire de Génie Climatique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur,
Université Mentouri Constantine, 25000, Algérie

Résumé – Le but de l'étude est l'analyse de la fonctionnalité et la rentabilité de l'utilisation d'un séchoir solaire pour la région de Constantine (Nord-Est de l'Algérie). Le séchoir simulé est de type 'lots', utilisant l'air chauffé par un capteur plan à air. L'étude prend en considération l'effet de rétrécissement, conduisant au changement des caractéristiques physiques du produit. Les résultats montrent que la vitesse de l'air ambiant a une influence sur le rendement du capteur solaire et du séchoir. L'ajout d'appoint de chauffage permet l'utilisation du séchoir dans les conditions climatiques défavorables.

1. INTRODUCTION

Les producteurs agricoles sont constamment confrontés à l'amélioration du rendement de leurs productions, en dépit des nombreux problèmes qui limitent l'atteinte de cet objectif, notamment, la détérioration des récoltes au cours du stockage. Or le stockage constitue une étape importante de la chaîne de production. Parmi les méthodes de préservation, qui ont été toujours utilisées pour éviter ou minimiser ces pertes : le séchage. Et il n'est pas rare de voir de nos jours, dans nos campagnes que l'on sèche encore des produits, en les exposant à l'air libre et aux rayons du soleil. Les inconvénients de cette méthode sont nombreux, notamment l'exposition à l'air libre et à la lumière peut détruire les vitamines sensibles aux rayons ultraviolets, la présence de poussières, d'insectes,. De nos jours, les méthodes de séchage se sont diversifiées grâce aux progrès scientifiques et technologiques. Mais les opérations industrielles de séchage présentent l'inconvénient de consommer une grande quantité d'énergie.

La situation géographique de l'Algérie lui permet de disposer d'un potentiel énergétique inépuisable qui est l'énergie solaire. Zidani *et al.* [1] rapportent que l'énergie journalière maximale, pour un ciel clair au mois de Juillet, peut dépasser les 6 kW.h.m^{-2} , quant à l'énergie annuelle maximale elle peut dépasser les 2500 kW.h.m^{-2} . Boukar *et al.* [2] indiquent que le territoire algérien bénéficie d'une durée annuelle moyenne d'ensoleillement de l'ordre de 2500 heures et de 16.2 à 27 MJ.m^{-2} d'insolation globale annuelle moyenne, reçue par jour, sur plan horizontal. Il serait donc intéressant d'exploiter ce gisement énergétique gratuit comme source énergétique pour le séchage.

Ce travail étudie la rentabilité d'un séchoir solaire simple, utilisant un capteur plan à air pour faire chauffer l'air ambiant. Cette étude est développée pour la région de Constantine qui se trouve au Nord-Est de l'Algérie.

2. CINETIQUE DE SECHAGE ET MODELE MATHEMATIQUE

L'étude du séchoir est basée sur l'utilisation de la méthode 'pas à pas' [3], qui consiste à prendre une tranche fictive des différents composants du séchoir (le collecteur solaire et la chambre de séchage) et d'effectuer un bilan énergétique et massique. Les résultats obtenus sont

* lyes_bennamoun@yahoo.ca

ensuite généralisés pour tout le séchoir. Le design et la formulation mathématique différentielle peuvent être consultés dans Bennamoun *et al.* [4]. La cinétique de séchage est une fonction nécessaire pour ce calcul.

Le produit simulé pour cette étude est l'abricot. Le choix est porté sur ce produit à cause des quantités importantes produites à l'est du pays et tout particulièrement dans les wilayas de Batna et de M'sila. La direction nationale de l'agriculture rapporte que ces deux wilayas ont produit plus de 25 % de la production nationale, qui est de 398500 quintaux en 1997 et plus de 36 % de la production nationale en 2002 qui s'élève à 737330 quintaux.

Un modèle empirique basé sur les travaux expérimentaux de Bozkir [5] est utilisé. La cinétique de séchage est écrite sous la forme suivante :

$$\frac{X}{X_0} = \exp(-k t^n) \quad (1)$$

où k et n sont des paramètres de séchage. L'importance de ce modèle est dans la présentation du paramètre ' n ' comme fonction des conditions de séchage. Ainsi, les variations des conditions de séchage sont prises en compte et le modèle peut être appliqué au séchage solaire. k est considéré constant et égal à 0.083331, par contre n s'écrit :

$$n = (1 \pm 0.045) [94.45 10^{-6} T_{ach}^2 - 0.001181 T_{ach} - 0.01067 V_{ach}^2 + 0.09361 V_{ach} + 0.5247] \quad (2)$$

Les premières parenthèses prennent le signe négatif si la température est inférieure à 42.5 °C et le signe positif si elle est supérieure à 42.5 °C.

Le produit est composé de 84.54 % d'eau, 0.47 % de protéines, 14.13 % de carbohydrates, 0.36 % de graisses et 0.5 % d'autres composants. Il a une densité initiale de 1053.15 kg.m⁻³, une chaleur spécifique de 3758.36 J.kg⁻¹.deg⁻¹ et un diamètre initial de 3 cm. Le changement de ces caractéristiques physiques est pris en compte dans ce travail de simulation et les résultats montrent que le produit a, en fin de séchage : une densité de 1156.80 kg.m⁻³, une chaleur spécifique de l'ordre de 1128.77 J.kg⁻¹.deg⁻¹ et un diamètre de 0.77 cm ce qui représente un taux de rétrécissement de l'ordre de 74 %. Les formules mathématiques utilisées pour ces calculs sont identiques à celles citées dans Bennamoun *et al.* [4, 6].

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Cette étude est développée pour la journée du 15 juillet. Des températures réelles sont utilisées, fournies par le service météorologique de Constantine. Ces températures sont représentées dans la figure 1. Cette dernière montre que l'étude ne peut être performante avant 8 heures, et cela sachant que l'énergie solaire est reçue par le capteur depuis 5 heures de la même journée. Cette énergie reçue sert plutôt au réchauffement du capteur. Les résultats représentés sont ceux d'un collecteur à air de surface de 3 m² et incliné de 10 degrés.

Comme le montre la figure 1, le capteur ne commence à utiliser l'énergie reçue pour le réchauffement de l'air ambiant qu'après 8 heures. La température de sortie va donc augmenter et atteint une valeur maximale à 13 heures. Un temps de réaction de transmission de la chaleur acquise à l'air est alors enregistré, puisque l'énergie absorbée maximale est atteinte à midi. Par ailleurs, et pour la même raison, la température de sortie du capteur, à 19 heures, est supérieure à celle ambiante malgré l'annulation de l'énergie absorbée.

La figure 2 montre l'effet de la vitesse de l'air ambiant sur le rendement du capteur solaire et la température de sortie de celui-ci. Cet effet est donc positif sur le rendement et l'élévation de la vitesse de l'air conduit à l'augmentation des échanges thermique avec l'air et par conséquent le rendement accroît. Cependant, l'effet est négatif sur la température de l'air chauffé. L'augmentation du débit conduit à la diminution de la température de sortie du capteur. Cette dernière a un rôle très important, puisque elle représente la température d'entrée à la chambre de séchage. Ces résultats sont en conformités avec plusieurs travaux expérimentaux et de simulation [7].

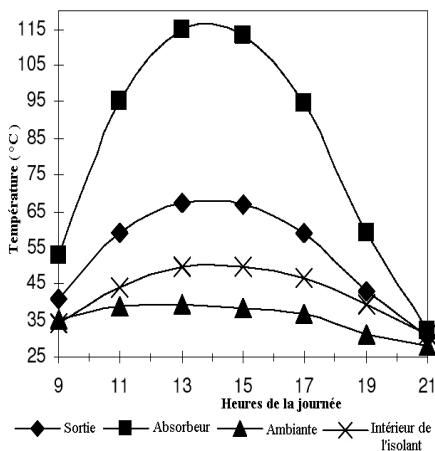


Fig. 1: Variation des températures des différentes parties du capteur solaire

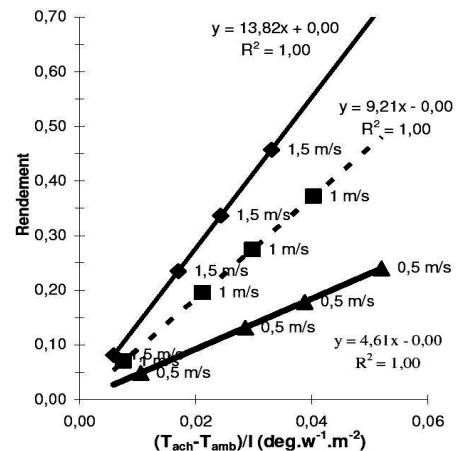


Fig. 2: Influence de la vitesse de l'air ambiant sur le rendement du capteur

Les figures 3 et 4 représentent respectivement la variation de la teneur en eau du produit et le rendement (pick up) du séchoir, pour la dernière claire du séchoir ($j = 10$). Or, il est observé que durant le séchage solaire, 5 jours sont indispensables pour atteindre une teneur acceptable. Cependant, l'utilisation d'un appont de chauffage peut réduire considérablement le temps de séchage et permet l'utilisation du séchage durant les conditions climatiques défavorables.

Le rendement (pick up) détermine l'efficacité de l'enlèvement d'humidité du produit par l'air de séchage [8]. D'après cette définition, il est déduit que le rendement dépend de la température de l'air asséchant et l'humidité présente dans le produit. Pour cela, on voit que le rendement du séchoir prend la forme de la température de sortie du capteur et atteint une valeur maximale entre 13 et 14 heures. Puis, comme l'humidité du produit diminue dans le temps, ce rendement va donc diminuer.

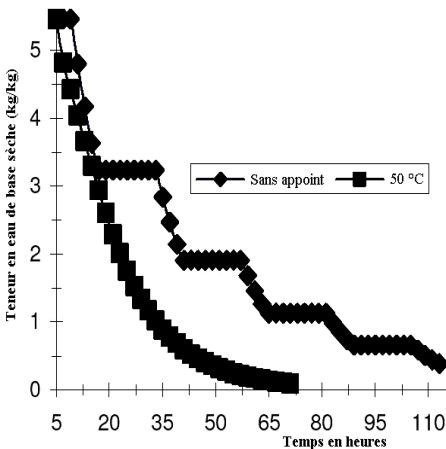


Fig. 3: Variation de la teneur en eau du produit à sécher

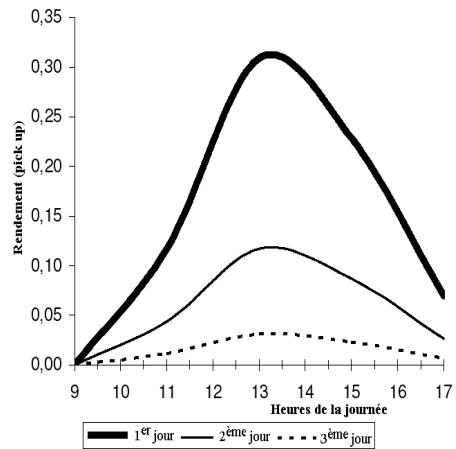


Fig. 4: Variation du rendement du séchoir selon les jours de séchage

4. CONCLUSION

L'augmentation de la vitesse de l'air ambiant augmente les échanges thermiques et par conséquent le rendement du capteur solaire. Cependant, elle joue un rôle dissipatif sur la température de sortie du capteur. L'utilisation d'un appont peut réduire considérablement le temps de séchage, avec élimination du temps mort des périodes à faibles insolations. Il serait important d'étudier, le retour d'investissement que l'agriculteur peut effectuer, de connaître et de contrôler les principaux paramètres influents pour l'amélioration du processus.

NOMENCLATURE

I	Flux lumineux incident, W.m ⁻²
J	Numéro de la claire du séchoir
T	Température, °C
t	Temps, s
V	Vitesse, m.s ⁻¹
X	Teneur en eau, kg/kg de base sèche
<i>Indices</i>	
ach	Air chauffé
am	Air ambiant
0	Valeurs initiales

REFERENCES

- [1] C. Zidani, F. Benyarou et B. Benyoucef, ‘*Simulation de la Position Apparente du Soleil et Estimation des Energies Solaires Incidentes sur un Capteur Plan pour la Ville de Tlemcen en Algérie*’, Rev. Energ. Ren., Vol. 6, N°2, 2003.
- [2] M. Boukar, A. Harmim, M. Amar, ‘*Etude des Performances Thermiques d'un Distillateur Solaire Vertical Indirect en Milieu Saharien*’, Proc. C.N.P.A., p. 191, Béchar, Algérie, 18-21 Décembre, 2006.
- [3] M. Daguenet, ‘*Les Séchoirs Solaires : Théorie et Pratique*’, UNESCO, 1985.
- [4] L. Bennamoun and A Belhamri, ‘*Design and Simulation of a Solar Dryer for Agriculture Products*’, J. Food Eng., Vol. 59, pp. 259 – 266, 2003.
- [5] O. Bozkir, ‘*Thin-Layer Drying and Mathematical Modelling for Washed Dry Apricot*’, J. Food Eng., Vol. 77, pp. 146 – 151, 2006.
- [6] L. Bennamoun and A. Belhamri, ‘*Numerical Simulation of Drying under Variable External Conditions: Application to Solar Drying of Seedless Grapes*’, J. Food Eng., Vol. 76, pp. 179 – 187, 2006.
- [7] M.K. Azharul and M.N.A. Hawlader, ‘*Performance Evaluation of a V-Groove Solar Air Collector for Drying Applications*’, App. Therm. Eng., Vol. 26, pp. 121 – 130, 2006.
- [8] M.A. Leon, S. Kumar and S.C. Bhattacharya, ‘*A Comprehensive Procedure for Performance Evaluation of a Solar Food Dryers*’, Renew. Sust. Energ. Review, Vol. 6, pp. 367 – 393, 2002.