

## Séchage solaire des feuilles de menthe verte

A. Bayouhdh\* et J. Sghaier †

Unité de Recherche de Thermique et Thermodynamique des Procédés Industriels  
Département de Génie Energétique, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Monastir  
Avenue Ibn El jassar, 5019 Monastir, Tunisie

(reçu le 10 Février 2014 – accepté le 30 Septembre 2014)

**Résumé** - *Le séchage est un procédé de stabilisation et de conservation des produits agroalimentaires et des plantes aromatiques et médicinales. Il existe plusieurs types de séchage selon la nature du produit à sécher. Pour les plantes aromatiques qui admettent une teneur en eau élevée, le séchage à basse température comme le séchage solaire se présente comme une solution adéquate, économe en énergie et respectueuse de l'environnement. Elle ne détériore pas le produit et elle conserve les arômes et les huiles essentielles. Afin d'étudier et d'améliorer le procédé de séchage solaire des plantes aromatiques, on a réalisé dans ce travail une étude expérimentale de séchage de feuilles de menthe verte par l'intermédiaire d'un séchoir solaire indirect à convection forcée, fabriqué à l'ENIM. Cette étude, nous a permis de déterminer la cinétique de séchage du produit, l'évolution de la température et l'influence du recyclage d'air asséchant sur la durée de séchage.*

**Abstract** – *Drying is a method of stabilizing and preserving food products and medicinal and aromatic plants. There are several types according to the nature of drying of the product to be dried. For herbs that admit a high water content, drying at low temperature such as solar drying is as economical appropriate solution, energy and environmentally friendly. It does not damage the product and maintains the essential oils and aromas. In order to study and improve the process of sun-drying herbs, we realized in this work an experimental study of drying spearmint leaves via an indirect forced convection solar dryer, made the ENIM. This study allowed us to determine the drying kinetics of the product, the evolution of the temperature and the influence of air recycling drying on the drying time.*

**Mots clés:** Séchage solaire - Menthe verte - Cinétique de séchage - Température - Recyclage d'air.

### 1. INTRODUCTION

L'utilisation des plantes aromatiques et médicinales a connu ces dernières années une évolution significative. Elles sont exploitées dans les domaines aromatiques et alimentaires, cosmétiques, pharmaceutiques et médicaux et aussi comme un composant pour la production de pesticides. En Tunisie, il y a plus que 2160 espèces de plantes. La superficie totale cultivée est estimée, en 2011, à 4550 hectares répartis en plantes médicinales (1396 ha) et en plantes aromatiques (3154 ha) [1].

Parmi ces plantes, on a la menthe verte qui est une plante aromatique très utilisée en Tunisie. Elle est riche en substances actives: huiles essentielles, alcaloïdes, tanins... [2].

Pour que cette plante soit exploitée dans certains domaines, elle doit être conservée sèche. Généralement, le séchage de la menthe se fait d'une manière traditionnelle à l'air libre, mais à condition qu'il soit à l'ombre, car cette plante perd ses qualités en exposant directement en rayons solaires.

---

\* aida\_bayouhdh@yahoo.fr

† Jalila.Sghaier@enim.rnu.tn

Dans ce cadre, plusieurs recherches ont été réalisées pour améliorer le séchage de ce produit en choisissant le type de séchoir le plus convenable [3, 4], on peut citer les recherches de Touati *et al.*, [6] et de El Sebahi *et al.*, [7] qui s'occupent au séchage indirect des feuilles de menthe, il y a aussi les travaux de Belhamel *et al.*, [8, 9] et de Akipinar [10] qui comparent le séchage solaire indirect avec le séchage direct et le séchage à l'air libre.

Tandis que M. Kouhila *et al.*, [5] se dirigent vers le séchage à chauffage partiellement solaire pour améliorer le procédé de séchage solaire.

On s'intéresse dans ce travail à l'amélioration du séchage solaire des feuilles de menthe verte. On a fait des expériences sur un prototype d'un séchoir solaire indirect à convection forcée qui est fabriqué au sein de l'ENIM.

## 2. MATERIEL ET EXPERIENCE

### 2.1 Matériel

Le séchoir solaire utilisé (Fig. 1) au cours des expériences est un séchoir indirect à convection forcée. Il est constitué de:

- Un capteur solaire plan à air, simple passe, simple vitrage. Ce capteur a 2 m de longueur et 1 m de largeur. Il est incliné de 45° par rapport au plan horizontal et orienté plein sud. Ce capteur est constitué d'un vitrage en verre ordinaire, un absorbeur en tôle galvanisée, teintée en noir et d'un isolant en bois.
- Une chambre de séchage sous forme d'une armoire en tôle calorifugée avec laine de verre. Elle contient un chariot de trois claies superposées sur lesquelles s'étale le produit à sécher.
- Un ventilateur centrifuge monté à l'amont du capteur solaire.
- Des instruments de mesure:
  - Un solarimètre fixé au niveau du capteur pour déterminer l'ensoleillement global.
  - Deux thermo-hygromètres d'incertitude  $\pm 1^\circ\text{C}$  pour la mesure de la température,  $\pm 3\%$  pour la mesure de l'humidité relative inférieure à 75% et  $\pm 5\%$  pour la mesure de l'humidité relative supérieure à 75%.
  - Le premier thermo-hygromètre est placé à l'entrée de la chambre de séchage pour mesurer la température de l'air et l'humidité relative et le deuxième est placé à la sortie de la chambre.
  - Un anémomètre d'incertitude  $\pm 0.1$  m/s pour mesurer la vitesse du vent au niveau de la vitre du capteur solaire.
  - - Deux thermocouples de type K pour mesurer la température à la surface supérieure du vitre et celle à la surface inférieure de l'absorbeur du capteur.
  - Une sonde de pénétration pour mesurer la température du produit étalé sur la claie.
  - Un thermocouple type K pour mesurer la température ambiante.

L'air frais refoulé par le ventilateur dans le capteur solaire s'échauffe par convection avec l'absorbeur. L'air chaud à la sortie du capteur solaire atteint l'entrée de la chambre de séchage à travers une gaine qui relie les deux compartiments du séchoir solaire. En traversant le chariot de la chambre de séchage, l'air se met en contact avec le produit à sécher, puis il est évacué vers l'extérieur à travers une conduite.



Fig. 1: Séchoir solaire étudié

## 2.2 Description de l'expérience

On a effectué deux expériences, l'expérience 1 est réalisée le 18/09/2013 sans recyclage d'air et la deuxième est effectuée le 20/09/2013 avec un système de recyclage d'air asséchant.

Pour chaque expérience, on a étalé uniformément sur une claie de la chambre de séchage une quantité de 100 g de feuilles de menthe. On a pesé le produit tous les 15 min jusqu'à la fin de séchage et pour chaque pesée, on a déterminé à l'aide des instruments de mesure utilisés les différents autres paramètres : température, humidité relative, ensoleillement.

Pour déterminer la masse sèche du produit, la menthe séchée dans le séchoir solaire est placée dans une étuve de température 110 °C jusqu'à atteindre la déshydratation totale.



Fig. 2: Feuilles de menthe avant et après séchage

## 3. RESULTATS

### 3.1 Résultats de l'expérience 1

L'ensoleillement est un facteur climatique qui a une forte influence sur le procédé de séchage, la figure 3 présente la variation de l'ensoleillement global pour la journée de l'expérience 1.

Elle atteint un maximum de 1030 W/m<sup>2</sup> à midi. La variation de l'ensoleillement au cours du séchage implique une variation au niveau de la température de l'air ambiant à l'entrée du capteur solaire et par la suite celle de l'air asséchant à la sortie du capteur. Ces variations sont présentées dans la figure 4, on observe que l'écart entre la température ambiante et la température de l'air asséchant a atteint les 10 °C.

La teneur en eau du produit est sous la forme suivante:

$$X = (\text{masse produit} - \text{masse produit sec}) / \text{masse produit sec}$$

Les figures 5 et 6 présentent respectivement la cinétique de séchage et la variation de la vitesse en fonction du temps pour l'expérience 1.

L'allure de deux courbes est décroissante. Elles montrent l'absence de la phase de mise en température et la phase de séchage à vitesse constant, il n'y a que la phase à vitesse décroissante [2, 5].

La durée de séchage est de six heures pour une température d'air asséchant qui varie entre 30 °C et 40 °C pendant la période de séchage.

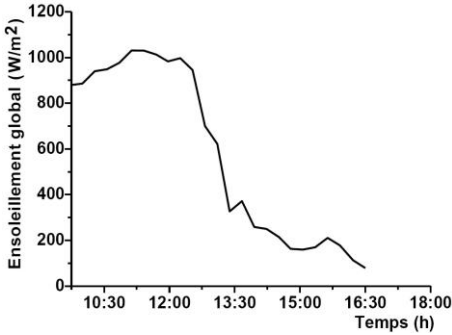


Fig. 3: Variation de l'ensoleillement en fonction du temps pour la journée du 18/09/2013

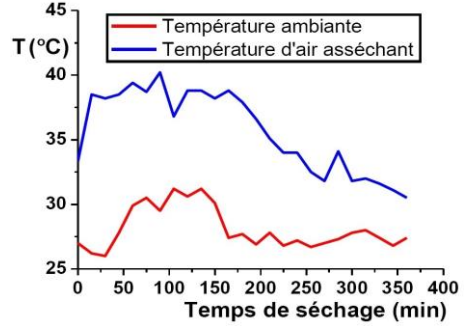


Fig. 4: Evolution de la température ambiante et de la température de l'air asséchant en fonction du temps pour la journée du 18/09/2013

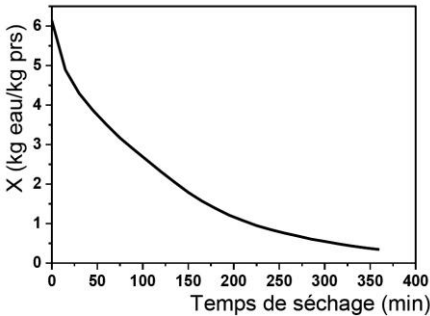


Fig. 5: Evolution de la teneur en eau au cours du temps pour la journée du 18/09/2013

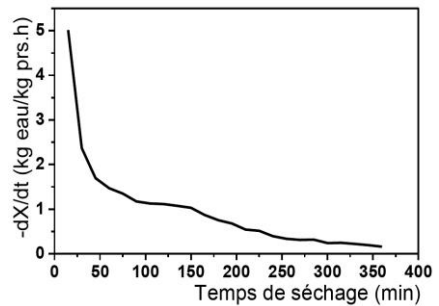


Fig. 6: Variation de la vitesse de séchage au cours du temps pour la journée du 18/09/2013

Un facteur essentiel dans le procédé de séchage est l'humidité de l'air, la figure 7 présente la variation de l'humidité relative de l'air asséchant dans la chambre de séchage avant et après qu'il traverse la claie où s'étaler les feuilles de menthe.

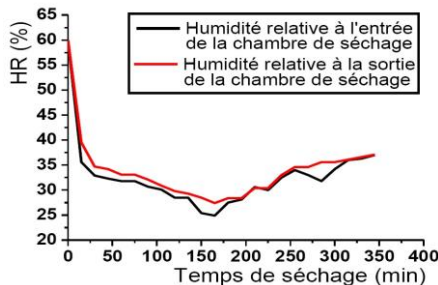


Fig. 7: Variation de l'humidité relative de l'air asséchant au cours du temps pour la journée du 18/09/2013

### 3.2 Résultats de l'expérience 2

La deuxième expérience consiste à ajouter un circuit de recyclage d'air asséchant qui relie la sortie de la chambre de séchage avec l'entrée du capteur solaire.

Comme pour la figure 3, la figure 8 présente la variation de l'ensoleillement pour la journée du 20/09/2013, elle admet un maximum de  $1080 \text{ W/m}^2$ .

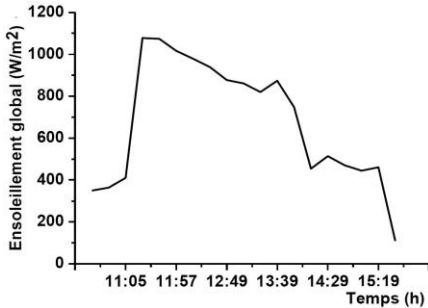


Fig. 8: Variation de l'ensoleillement en fonction du temps pour la journée du 20/09/2013

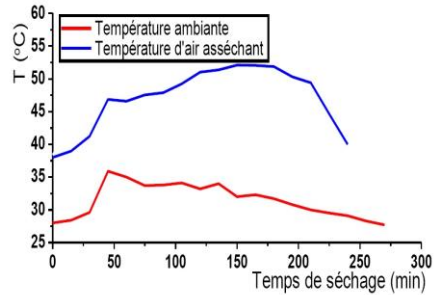


Fig. 9: Evolution de la température ambiante et de la température de l'air asséchant en fonction du temps pour la journée du 20/09/2013

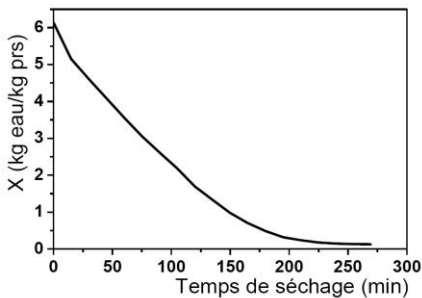


Fig. 10: Evolution de la teneur en eau au cours du temps pour la journée du 20/09/2013

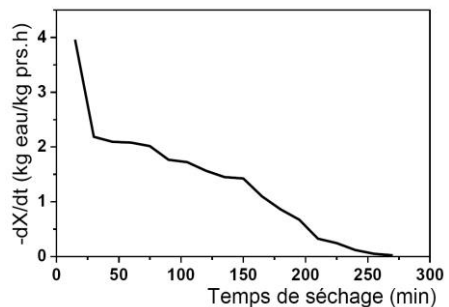


Fig. 11: Variation de la vitesse de séchage au cours du temps pour la journée du 20/09/2013

L'écart entre la température ambiante et la température à la sortie du capteur solaire est plus important dans l'expérience 2 que celle qui est dans l'expérience 1, (Fig. 9), il atteint  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

La variation de la teneur en eau et de la vitesse en fonction du temps pour la deuxième expérience sont présentées dans les figures 10 et 11.

Elles admettent la même allure que la première expérience, mais avec un gain du temps de deux heures, la durée de séchage pour la deuxième expérience est de l'ordre de quatre heures avec une température d'air asséchant qui varie entre  $38 \text{ }^\circ\text{C}$  et  $52 \text{ }^\circ\text{C}$ .

La figure 12 présente la variation de l'humidité relative de l'air asséchant durant la période de séchage de la deuxième expérience. L'air à la sortie de la chambre de séchage est plus humide que celui qui est à l'entrée.

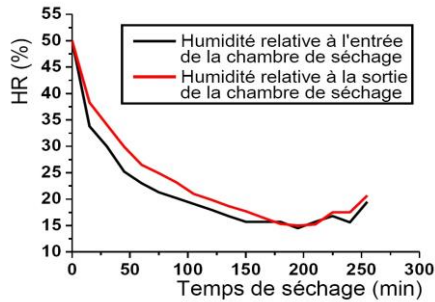


Fig. 12: Variation de l'humidité relative de l'air asséchant au cours du temps pour la journée du 20/09/2013

#### 4. CONCLUSION

Dans ce travail, on a expérimenté le séchoir solaire qui est fabriqué à l'ENIM pour le séchage de feuilles de menthe verte. Ces expériences ont permis de déterminer l'évolution de la cinétique de séchage et de la vitesse au cours du temps et d'établir la variation de la température et de l'humidité relative de l'air. Le recyclage de l'air asséchant permet un gain du temps important.

#### REFERENCES

- [1] Document Technique, 'Amélioration de la Qualité et du Positionnement des Plantes Aromatiques et Médicinales', Etude de l'Agence de Promotion des Investissements Agricoles (APIA), 2013.
- [2] B. Touati, 'Etude Théorique et Expérimentale du Séchage Solaire des Feuilles de la Menthe Verte (*Mentha vridis*)', Thèse à I.N.S.A de Lyon et Université de Tlemcen, 2008.
- [3] M. Daguinet, 'Les Séchoirs Solaires: Théorie et Pratique', UNESCO, 1985.
- [4] S. VijayaVenkataRamana, S. Iniyamb and Ranko Goicc, 'A Review of Solar Drying Technologies', Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 16, pp. 2652 – 2670, 2012.
- [5] M. Kouhila, A. Belghit, M. Kaoua et M. Daguinet, 'Etude Expérimentale du Séchage Convectif de la Menthe dans un Séchoir Modulaire Polyvalent à Chauffage Partiellement Solaire', Revue des Energies Renouvelables- Physique Energétique, pp. 1 – 5, 1998.
- [6] B. Touati, B. Lips, B. Ben Youcef, J. Virgone, M. Kouhila et N. Kerroumi, 'Séchage Solaire des Produits en Feuilles, Etude Théorique et Expérimentale d'un Capteur Solaire à Air', 8<sup>ème</sup> Séminaire International sur la Physique Energétique, 2006.
- [7] A.A. El-Sebaï and S.M. Shalaby, 'Experimental Investigation of an Indirect-Mode Forced Convection Solar Dryer for Drying Thymus and Mint', Energy Conversion and Management, Vol 74, pp. 109 – 116, 2013.
- [8] S. El Mokretar, R. Miri et M. Belhamel, 'Etude du Bilan d'Energie et de Masse d'un Séchoir de Type Serre Applications au Séchage des Produits Agro-alimentaires', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 7, pp. 109 - 123, 2004

- [9] R. Ben Khelfellah, S. El Mokretar, R. Miri et M. Belhamel, '*Séchoirs Solaires. Etude Comparative de la Cinétique de Séchage des Produits Agroalimentaires dans des Modèles de Type Direct et Indirect*', 12<sup>èmes</sup> Journées Internationales de Thermique, pp. 259 – 262, 2005.
- [10] E. Kavak Akpınar, '*Drying of Mint Leaves in a Solar Dryer and Under Open Sun: Modelling, Performance Analyses*', Energy Conversion and Management, Vol. 51, N°12, pp. 2407 – 2418, 2010.