

Etude Expérimentale du Séchage Convectif de la SAUGE dans un Séchoir Solaire muni d'un Appoint Electrique

M. Kouhila ¹, A. Belghit ², B.C. Boutaleb ²

¹ Laboratoire d'Energétique Solaire, Ecole Normale Supérieure, B.P 2400, Marrakech, Maroc

² Laboratoire d'Automatique et de Génie des procédés, Faculté des Sciences Semlalia, B.P. 2390, Marrakech, Maroc

1. INTRODUCTION

L'utilisation de l'énergie solaire comme source de chauffage naturelle est un moyen rentable pour la déshydratation des produits à basses températures. Elle constitue une solution possible pour les pays non pourvus de richesses énergétiques conventionnelles.

Le présent travail présente les résultats d'une étude expérimentale de la cinétique de séchage de la sauge, dans un séchoir indirect fonctionnant par convection forcée et à chauffage partiellement solaire [1]. L'expérience a été réalisée dans des conditions climatiques réelles (Journée du 10 juillet 96). Les scénarios expérimentaux envisagés visent à déterminer les courbes de perte de masse du produit en fixant sa masse initiale, sa teneur en eau initiale, la température de séchage, le débit d'air asséchant et la fraction d'air recyclé. Il s'agit d'étudier l'influence de ces paramètres aérothermiques sur la durée de séchage de la sauge.

2. APPAREILLAGE ET METHODE DE MESURE

Dans cette étude, on s'intéresse tout particulièrement au séchage de la sauge dans un séchoir solaire muni d'un appoint électrique et fonctionnant par convection forcée. L'expérience consiste à suivre le comportement thermique et massique du produit durant le séchage et d'évaluer les bilans énergétiques (radiatifs, convectifs, ...) de ce procédé afin de prévoir l'influence de certains paramètres de l'air asséchant sur la cinétique de séchage du produit [2].

2.1 Description du séchoir solaire

Le système étudié présenté sur la figure 1 est un séchoir indirect modulaire polyvalent à chauffage partiellement solaire. Il est constitué des éléments suivants :

- **une unité de production d'air chaud** constituée d'un capteur solaire à air à simple circulation et à simple vitrage, de surface 2,5 m² incliné de 31° (latitude de la ville de Marrakech) par rapport au plan horizontal et orienté vers le sud. L'absorbeur, en tôle galvanisée, est peint en noir. L'isolation thermique, d'épaisseur 50 mm, est en polyuréthane et le vitrage est en verre ordinaire.
- **un conduit d'aspiration aéraulique** constitué d'un tunnel de section parallélépipédique et conique dans le sens de sa hauteur.
- **une chambre de séchage** de hauteur 1,40 m, de profondeur 0,90 m et de largeur 0,50 m. Les parois extérieures sont en tôle galvanisée avec une isolation interne en polyuréthane de 50 mm d'épaisseur. A l'intérieur de cette enceinte, on dispose d'un chariot mobile sur des rails et contenant dix claies en plastique (étagères) sur lesquelles on étale le produit à sécher.
- **une armoire de commande** qui régit un système électrique comprenant :
 - un ventilateur centrifuge de marque SP et de type GO T 60 avec un débit d'air réglable à l'aide d'une vanne allant de 50 à 300 m³/h.

- un thermostat digital de gamme 0-99°C relié à une sonde de platine PT 100 de classe A et de précision 0,33°C.
- des résistances électriques de puissance 1 kW.

- **une unité de production d'énergie d'appoint** constituée de résistances électriques à ailettes pilotées par un thermostat et un relais statique de puissance. Cette source de chaleur est placée dans un coffre collé au bas du caisson, en aval du ventilateur et au niveau de l'ouverture par où entre l'air caloporteur dans le conduit de séchage. Cette unité assure un chauffage d'appoint en cas d'insuffisance de l'apport solaire.

2.2 Principe de fonctionnement

L'air préalablement chauffé dans un capteur solaire plan à simple circulation est aspiré par l'intermédiaire d'un ventilateur centrifuge à travers le conduit aérodynamique qui le propulse à travers une enceinte de séchage dans laquelle sont disposés les produits à sécher. Dans cette enceinte, l'air traverse les claies suivant une direction normale à leur surface. Un appoint en énergie électrique est mis à l'entrée de l'enceinte de séchage afin d'assurer une température de consigne constante. A la sortie du séchoir, l'air est soit évacué vers l'extérieur, soit recyclé à travers le conduit d'aspiration.

2.3 Mesures effectuées

On se fixe la masse du produit à sécher par claie. On règle la température de séchage à l'aide du thermostat. On fixe un débit d'air asséchant à l'aide d'un vélocimètre muni d'un tube de Pitot. On règle le volet de recyclage à l'aide d'une vanne pour se fixer la fraction d'air recyclé. On pèse le produit de chaque claie toutes les 10 mn jusqu'à l'atteinte de la teneur en eau souhaitée (teneur en eau finale du produit).

• Préparation du produit

Les feuilles de sauge sont soigneusement préparées et étalées sur les claies 2, 5 et 10 de l'armoire de séchage. La masse initiale du produit à sécher est de 75g par claie pour tous les scénarios expérimentaux envisagés.

• Mesure du rayonnement solaire

Le rayonnement diffus ainsi que le rayonnement global reçus sur le plan de capteur sont mesurés à l'aide de deux pyranomètres et ceci durant la journée de l'expérience (Fig. 2), On constate bien que la puissance est considérable. Elle atteint une valeur de 1126,634 W/m² à 13 h 30 mn.

• Mesure des températures

On sélectionne trois sections de l'armoire de séchage (claies 2, 5 et 10) au niveau desquelles on installe trois prises de température (thermocouples en miniature) pour suivre l'évolution de la température du produit sur chaque claie (ou étagère). A l'aide de thermocouples de type K (chromel-alumel) de diamètre d=1mm et de précision 0,5°C, on mesure les températures à l'entrée et à la sortie du capteur, à l'entrée et à la sortie de la chambre de séchage et sur la surface du produit. L'ensemble des thermocouples est connecté à un enregistreur thermométrique à 30 voies.

• Mesure de la masse humide du produit (Mh)

Pour pouvoir suivre d'une manière continue la diminution de masse au cours du processus de séchage de la sauge, on pèse le produit à sécher toutes les 10 mn environ.

• Mesure de la masse sèche du produit (Ms)

Afin de déterminer la masse sèche du produit Ms, la sauge séchée dans le séchoir solaire est ensuite placée dans une étuve réglée à 110°C durant 6 à 7 heures. A l'aide d'une balance de précision 0,001g, le produit est pesé toutes les heures jusqu'à déshydratation totale.

2.4 Protocole expérimental

Dans le conduit de séchage, nous avons sélectionné trois claies sur lesquelles on a déposé les paniers supportant les feuilles de sauge en couches minces. Chaque claie contient une masse initiale de 75g. Pour suivre la variation de la température de la plante médicinale disposée sur les claies au cours du séchage, nous avons choisi deux sections au niveau desquelles nous avons installé deux thermocouples. Il faut noter que notre expérience est basée sur un chauffage partiellement solaire, et les conditions climatiques sont aléatoires et non contrôlées. Tous les scénarios expérimentaux sont réalisés pour un débit d'air de 300 m³/h [3].

3. RESULTATS ET DISCUSSION

3.1 Effet de la disposition du produit dans l'enceinte de séchage

La figure 3 montre l'effet de la position des claies sur la teneur en eau du produit. On remarque bien que le produit posé sur la claie 2 sèche le premier, après celui de la claie 5 et enfin celui de la claie 10. Mais la différence entre les trois claies n'est importante. Ceci peut être expliqué par la faible distance entre les claies d'une part, et la petite masse étudiée d'autre part. En outre, les feuilles de sauge sèchent rapidement car elles sont très minces et légères.

3.2 Cinétique de séchage de la sauge

La courbe de séchage représente la variation de la teneur en eau $X = (M_h - M_s)/M_s$ en fonction du temps (Fig. 4). Pour l'obtenir, nous avons suivi l'évolution la masse humide du produit M_h en cours de séchage en pesant les trois claies 2, 5 et 10 toutes les dix minutes jusqu'à atteindre la teneur en eau finale souhaitée. Ce sont des abaques indispensables pour l'industrie agro-alimentaire surtout pour les opérations de stockage et de conservation. La figure 5 illustre la variation de la vitesse de séchage ($-dX/dt$) en fonction du temps. L'obtention de cette courbe, se fait par dérivée de l'équation de lissage de la courbe $X=f(\text{temps})$.

3.3 Influence de taux de recyclage

Le recyclage est d'une grande importance dans les opérations de séchage car quoique l'air sortant du séchoir soit plus humide, sa température est élevée. La figure 6 montre bien l'influence du taux de recyclage sur la teneur en eau du produit.

3.4 Influence de la teneur en eau initiale du produit

Il est évident que, plus la teneur en eau initiale du produit est élevée, plus le temps de séchage est long. Toutefois, elle n'est pas proportionnelle à la quantité d'eau à évaporer. La figure 7 illustre bien cette influence pour une température de séchage de 50 °C.

3.5 Influence de la masse initiale du produit

Pour une température de 50°C et un taux de recyclage de 25%, la figure 8 montre que la vitesse de séchage augmente lorsque la masse du produit diminue.

3.6 Influence de la température de l'air asséchant (T_m)

La figure 9 représente les profils de la cinétique de séchage de la sauge pour diverses valeurs de la température de l'air asséchant T_m . Ces cinétiques ne mettent pas en évidence les phases 0 et 1. Ce résultat est prévisible pour les produits biologiques qui sèchent à allure décroissante. En outre, ce type de séchage est souvent accompagné par des déformations du produit et par un dépôt de soluté, ce qui entraîne une réduction de la surface d'échange air-produit. La disponibilité de l'eau à diffuser et à évaporer se trouve ainsi réduite. La figure 9 montre qu'une augmentation de la température entraîne une diminution de la durée de séchage du produit.

Il faut noter que pour une température de 70 °C, la couleur de la sauge tend vers un gris foncé.

Son odeur n'est plus la même que celle de la plante fraîche. Pour des températures de 40°C, 50°C et 60°C, la plante garde plus ou moins sa couleur et son odeur.

4. CONCLUSION

Dans ce travail, nous avons déterminé la cinétique de séchage de la sauge à l'aide d'un séchoir à chauffage partiellement solaire. Une telle caractérisation est très intéressante du moment qu'elle permet d'approcher un facteur important qui est la vitesse de séchage. La détermination de la cinétique séchage est indispensable pour la bonne compréhension des mécanismes ayant lieu dans le produit étudié et pour le dimensionnement du séchoir utilisé.

Ce travail nous a permis d'optimiser, dans un travail postérieur [4], les conditions de déshydratation de la sauge en déterminant sa cinétique de séchage à l'aide d'une soufflerie à atmosphère contrôlée.

Que ce soit pour la menthe, la verveine ou la sauge, nos recherches [5, 6] montrent que la température est le paramètre le plus important qui influence la cinétique de séchage des plantes médicinales. Pour les trois plantes aromatiques, nous avons déterminé les seuils de température maxima pour éviter les dégradations du produit.

Enfin, le séchoir utilisé dans cette expérience, permet de cerner l'influence de plusieurs paramètres aérothermiques en même temps. La température de séchage, la durée de séchage, la teneur en eau finale du produit sont toutes des grandeurs qui permettent de caractériser le comportement cinétique de la sauge lors d'un processus de séchage. Ainsi, pour un débit d'air chaud fixe, on a étudié l'influence du taux de recyclage, de la température de l'air asséchant, de la teneur en eau initiale du produit et de la masse initiale du produit, sur la cinétique de séchage de la sauge.

REFERENCES

- [1] M. Kouhila, '*Contribution à l'Etude des Performances Thermiques et Technico-économiques d'un Séchoir Modulaire Polyvalent à Chauffage Partiellement Solaire : Application aux Abricots*', Thèse de Doctorat de 3^{ème} Cycle, Ecole Normale Supérieure, Marrakech, Maroc, 1989.
- [2] B.C. Boutaleb, '*Etude Expérimentale du Séchage Convectif des Plantes Médicinales : Application à la Sauge et à la Verveine*', Thèse de D.E.S, Université Cadi Ayyad, Marrakech, Maroc, 1997.
- [3] B.C. Boutaleb, A. Belghit, A. Bennis, M. Kouhila, R. Moklisse, S. Benet, '*Etude Expérimentale du Séchage par Convection Forcée de Plantes Médicinales : Application à la Sauge*', Actes du 3^{ème} Congrès de Mécanique, Vol. 2, pp. 545-550, Tétouan, Maroc, 1997.
- [4] A. Belghit, M. Kouhila, B.C. Boutaleb, '*Experimental Study of Drying Kinetics of Sage in a Drying Tunnel Working in Forced Convection*', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 2, n°1, Alger, 1999.
- [5] M. Kouhila, A. Belghit, M. Kaoua, M. Daguénet, '*Etude Expérimentale du Séchage Convectif de la Menthe dans un Séchoir Modulaire Polyvalent à Chauffage Partiellement Solaire*', Revue des Energies Renouvelables, Numéro Spécial, pp. 1-6, Alger, 1998.
- [6] A. Belghit, M. Kouhila, B.C. Boutaleb, '*Approche Expérimentale de la Cinétique de Séchage de la Verveine (lippa citriodora)*', Revue des Energies Renouvelables, Vol. 2, n°2, Alger (sous presse)

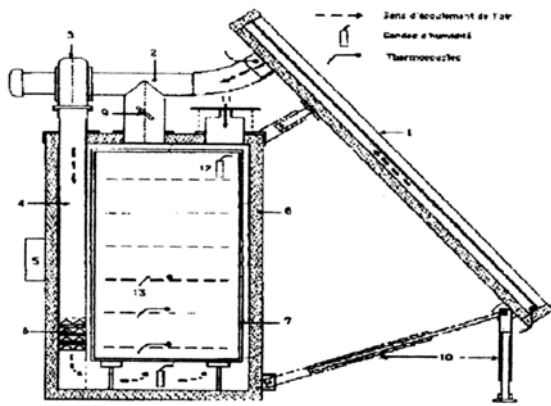


Fig. 1: Schéma du séchoir solaire

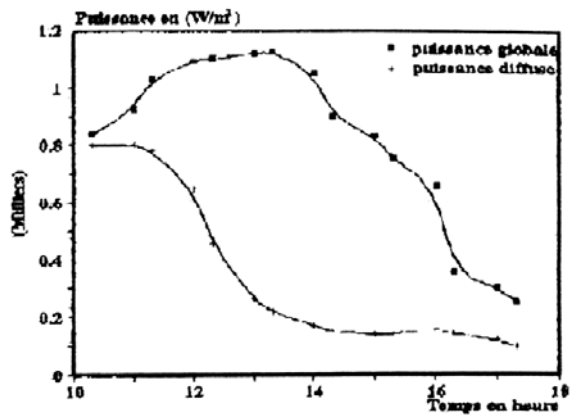


Fig. 2: Variation du rayonnement solaire durant la journée de l'expérience

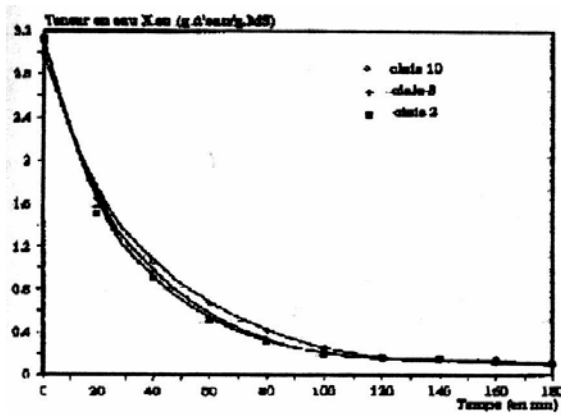


Fig. 3: Effet de la position des claies sur la variation temporelle de la teneur en eau

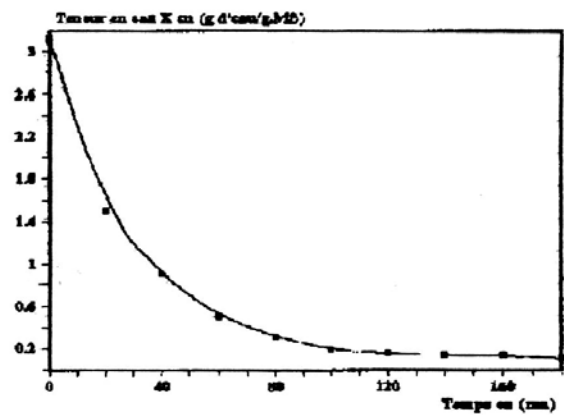


Fig. 4: Variation temporelle de la teneur en eau pour une masse initiale de 75 g

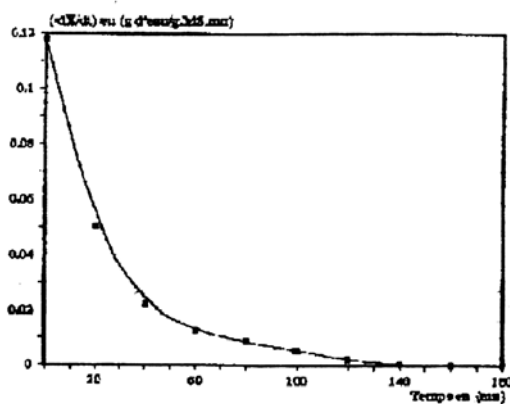


Fig. 5: Variation de la vitesse de séchage de la sauge en fonction du temps

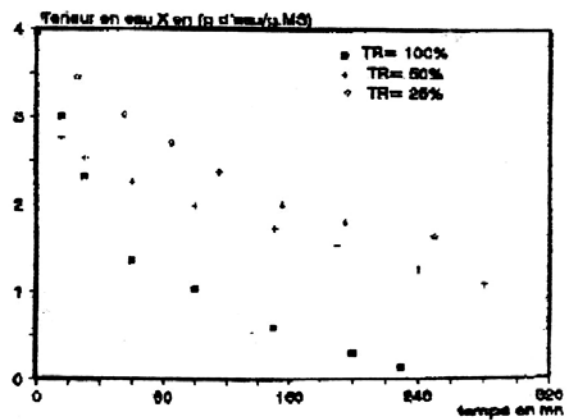


Fig. 6: Influence du taux de recyclage sur la variation de la teneur en eau de la sauge

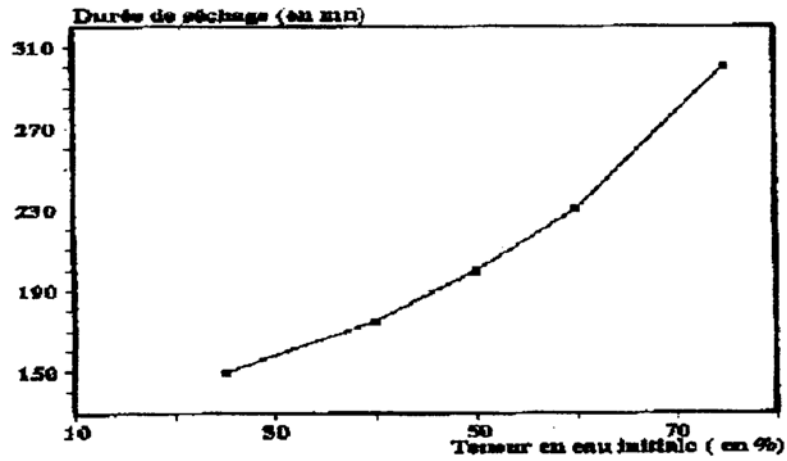


Fig. 7: Influence de la teneur en eau initiale sur la durée de séchage de la sauge

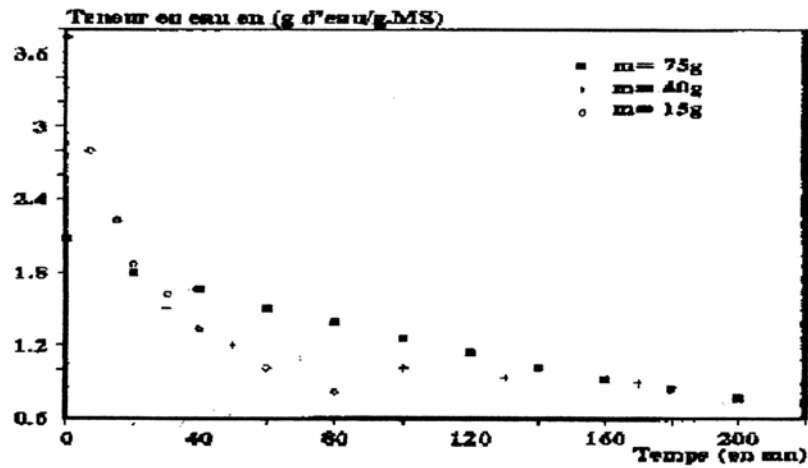


Fig. 8: Influence de la masse initiale du produit sur la variation de la teneur en eau en fonction du temps

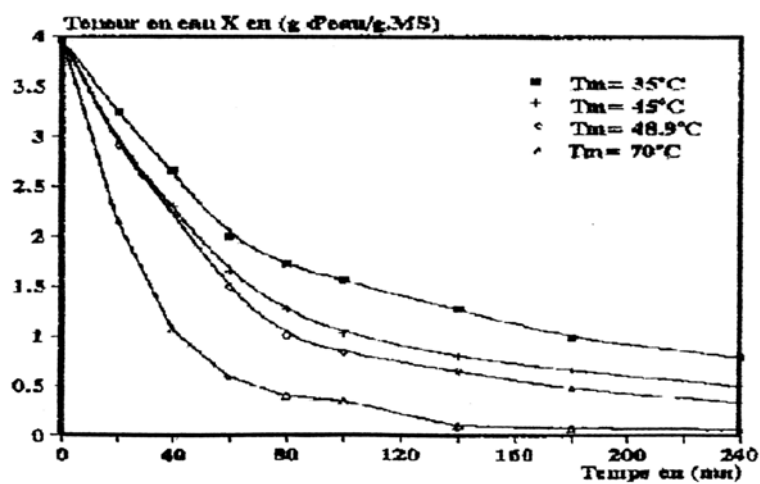


Fig. 9: Influence de la température de l'air asséchant sur la variation de la teneur en eau en fonction du temps