



Développement de séchoirs solaires pour plantes aromatiques et médicinales (PAM)

Nour-Eddine Benaouda*¹

¹ Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, BP 62 Route de l'Observatoire, Bouzaréah, 16340, Alger, Algérie

*n.benaouda@gmail.com

Abstract— Le séchage de PAM représente une activité socio-économique très importante dans les régions maghrébines, car ces régions sont dotées d'immenses potentialités en énergie solaire. Ce travail, axé exclusivement sur les travaux développés sur le séchage solaire de PAM, vise à présenter quelques séchoirs solaires. Afin de mettre le point sur les résultats, les remarques soulevées, ainsi que les contraintes énergétiques et nutritionnelles. À notre connaissance l'utilisation de séchoirs solaire n'a pas pris de l'ampleur comme prévu, peut-être en raison de diverses contraintes à savoir : Les petits paysans malgaches préfèrent encore sécher leurs produits au soleil à l'air libre malgré les résultats obtenus sont généralement médiocres qu'utiliser les séchoirs solaires développait, l'investissement initial des séchoirs solaires élevé, faible capacité des séchoirs solaires, conditions météorologiques, etc. Plusieurs réalisations remarquables dans le séchage solaire des PAM sont établies en raison de la recherche et du développement durable achevé par divers chercheurs. Nous analysons les différents paramètres influençant le processus de séchages de PAM, plusieurs résultats de littératures sont également présentés et discutés. L'étude montre que plusieurs facteurs font que la chaîne de développements se brise entre deux maillons : Prototype et vulgarisation, les résultats de faisabilité technico-économique développé dans cette étude montrent que le séchage solaire de PAM est tout à fait possible.

Keywords— Séchage solaire, PAM, air asséchant

I. INTRODUCTION

Les PAM constituent une part importante des cultures vivrières dans les pays maghrébins. Le séchage est l'une des méthodes utilisées pour conserver les PAM par diminution de leur teneur en eau jusqu'à des valeurs résiduelles où le développement de tout micro-organisme est inhibé, la température de l'air asséchant doit être maintenue entre 30 et 50°C [2] pour éviter des modifications de la structure physicochimique de PAM et donc la détérioration de ses qualités [5]. De nombreuses variétés de PAM sont cultivés durant toute l'année (les feuilles de Thé, Menthe, Laurier, Verveine, etc..) et la plupart d'entre eux sont largement consommés dans leur forme séchée même pendant la période où l'offre en produit frais est élevée. Cela en raison de vertus intrinsèques reconnues ou d'utilisation spécifique. Ces plantes séchées sont généralement utilisés dans l'industrie agro-alimentaire et pharmaceutique. L'Algérie, du fait de sa

position géographique, jouit de conditions climatiques et de ressources hydriques très favorables au développement de cultures intensives des PAM. Cependant, cette filière reste encore très peu développée dans notre pays, qui génère des revenus substantiels et crée des emplois importants. Le temps de séchage des plantes peut varier de quelques heures à quelques jours, selon les plantes, et les paramètres asséchant à savoir : durée d'ensoleillements, température, débit d'air et l'hygrométrie [3]. Il faut sécher les PAM immédiatement après récoltes. Les séchoirs solaires doivent être installés au voisinage de champs de récoltes afin de réduire les coûts de fonctionnement et conserver la qualité des herbes. L'économie de la transformation de PAM est considérablement alourdie par les coûts de l'énergie de séchages donc l'utilisation de l'énergie solaire permet de réduire au minimum les coûts de fonctionnement. Dans ce travail, un examen a été effectué sur quelques séchoirs solaires pour PAM, les différents paramètres disponibles affectant le processus de séchages et le produit sont discutés. Plusieurs résultats de la littérature sont reportés pour divers séchoirs et PAM. Ainsi que des finalités à cette analyse nous ont amené sur la faisabilité technico-économique de séchages des PAM.

II. SECHOIRS SOLAIRE (PAM)

Les séchoirs solaires pour le séchage de PAM sont classés comme ils sont indiqués sur la figure 1.

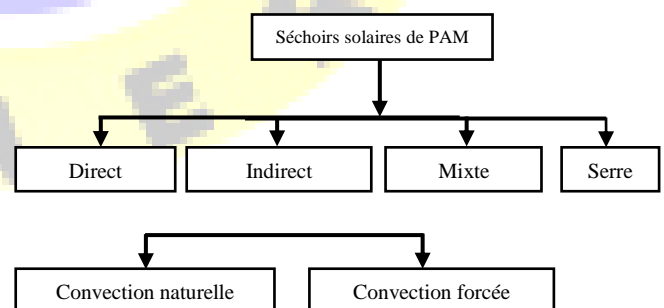


Fig. 1 Classification des séchoirs solaires



Le 4^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 4th International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 24 - 25 Octobre 2016



D. Humidité relative

III. PARAMETRES AFFECTANT LE SECHAGE SOLAIRE DE PAM

A. Densité de chargement (Épaisseur produit)

La densité de chargement (kg m^{-2}) du produit dans le séchoir est un facteur important qui affecte les caractéristiques de séchage de PAM. La densité de chargement augmente avec l'efficacité du séchage [1]. Pour de grandes densités d'herbes, le séchage nécessite un fonctionnement à l'échelle industrielle, le choix des techniques de séchage et le contrôle des conditions de l'air asséchant sont importants pour affecter la qualité des herbes séchées.

B. Débit d'air

Le Débit d'air est un autre paramètre important qui influence sur le processus de séchage. À mesure que le débit d'air augmente, les pertes par conduction et rayonnement peuvent être faibles si l'élévation de la température est faible. Le rendement de séchage baisse si le débit d'air asséchant devient très important car l'air asséchant ne peut pas avoir un temps de contact suffisant avec le produit pour réduire sa teneur en eau. Un débit d'air très faible permet de baisser le transfert d'humidité et augmenter excessivement la température de l'air asséchant. Cependant, la résistance interne de déplacement de l'humidité de PAM est beaucoup plus grande par rapport à la résistance au transfert de masse surfacique que le débit d'air au-delà de certaines valeurs n'a pas d'effet significatif sur la vitesse de séchage. Dans les systèmes à convection naturelle, le débit d'air asséchant est principalement déterminé par le gradient de température dans l'insolateur. Nous recommandons l'utilisation d'un débit d'air asséchant plus élevé au début de séchage et un débit plus faible lors de phase de séchage à allure décroissante [1].

C. Température

La température de l'air asséchant est un paramètre principal qui affecte le temps de séchage ainsi que les propriétés du produit final, l'augmentation de la température affecte la vitesse de séchage et également permet de réduire considérablement le temps de séchage. Au début de séchage l'eau du produit est non liée, la température de l'air asséchant augmente progressivement au fur et à mesure que l'eau s'évapore jusqu'à l'obtention d'une très faible teneur en eau du produit, la chaleur nécessaire pour évaporer l'eau liée est très élevée qui nécessite une température d'air asséchant très élevée [1].

L'humidité relative est une contrainte primordiale pour les performances des séchoirs solaires. C'est un paramètre caractérisant le pouvoir asséchant de l'air (transfert d'eau du produit vers l'air). Ce transfert massique est obtenu par entraînement, grâce à une différence de pression partielle de vapeur d'eau entre la surface du produit à sécher et l'air entourant le PAM. Si l'air asséchant est entièrement saturé le pouvoir de ramasser l'eau du produit devient quasiment nul, par contre lorsque l'air contient une grande affinité de capter l'humidité du produit, qui permet d'augmenter la vitesse de séchage.

IV. DEVELOPPEMENT DE SECHOIRS SOLAIRES POUR PAM

Le séchage solaire de différents PAM sont discutés par Kouhila et al., Janjai et al., N.Benaouda et al., M.Häuser et al. et J. MOLLER et al [1-4]. Nous présentons ces principaux travaux abordés sur les séchoirs solaires de PAM. L'humidité relative est une contrainte primordiale pour les performances des séchoirs solaires. C'est un paramètre caractérisant le pouvoir asséchant de l'air (transfert d'eau du produit vers l'air).

A. Séchoir solaire Indirect intégré au toit d'un bâtiment

Les auteurs J. MOLLER et al [6] ont développé un séchoir solaire de type à effet de serre pour le séchage de PAM (menthe, sauge et houblon). Le système de séchoir proposé (Figure 4) est conçu pour une utilisation sur place à la ferme pour éviter le transport des produits sur de grandes distances vers les séchoirs industriels, qui permet d'augmenter considérablement les coûts et également la dégradation de la qualité des produits. Ce séchoir serre est constitué des insolateurs incorporés en toiture, se compose d'un tissu absorbant noir, qui est placé entre le couvercle transparent (film plastique) et une feuille d'aluminium bulle d'air isolant, ces matériaux ont permis d'abaisser les coûts de séchage. Pour obtenir une conception modulaire, le système est structuré en plusieurs compartiments de largeur 2 m. Chaque compartiment forme un dispositif d'une unité chauffage d'air / lot de séchage indépendant et actionné par un ventilateur à alimentation électrique avec une consommation de puissance de 500 W. La capacité maximale du compartiment est de 250-500 kg matières fraîches de PAM, grâce à sa conception modulaire, chaque unité insolateur / compartiment de séchage peut être utilisée séparément afin de sécher différents produits au même temps. Chaque compartiment de séchage peut être adapté aux besoins réels de l'air asséchant. La température maximale de l'air asséchant est dans une plage de 40 à 60 ° C. le contrôle



des températures de l'air asséchant est obtenu par une variation de la circulation d'air grâce à l'ajustage (ouverture/fermeture) de la paroi latérale. Pour économiser la consommation électrique des ventilateurs, le système est conçu de telle sorte que les pertes de charges totales du système sont réduites à 50 Pa, à cet effet, la ventilation fournit une vitesse de l'air asséchant égale à 0.1 ms^{-1} (débit d'air de $3300 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ par compartiment de séchage). Pour les feuilles de menthe, caractérisées par une teneur en eau initiale de 80% base humide à une teneur en eau finale de 11% base humide, la durée de séchage atteint 3-4 jours. L'investissement initial du séchoir solaire est d'environ la moitié du coût d'un hangar qui serait nécessaire comme une superstructure pour un séchoir discontinu classique. Par rapport à un séchoir conventionnel, le coût de fonctionnement est couvert par le coût de chauffage solaire. En dehors de la période de séchage, ces compartiments de séchage peuvent être utilisés pour le stockage des PAM à cause de l'effet de serre. L'utilisation non saisonnière augmente la rentabilité du système considérablement. Les faibles coûts de l'investissement, fonctionnement et la qualité des PAM obtenus permettent de dire que ce séchoir solaire a un intérêt certain dans le séchage des PAM. Les auteurs Janjai et al. [1] ont développé également un séchoir solaire de type serre pour le séchage de PAM (fleurs de roselles) (figure 3) l'insolateur est intégré en toiture, le séchage dans ce système permet une réduction significative du temps de séchage par rapport à la méthode de séchage traditionnelle et la qualité du produit sec obtenus est meilleure à la qualité produits sur les marchés. La période de récupération du séchoir solaire intégrée en toiture est d'environ 5 ans.

B. Séchoir solaire serre pour PAM

M.Häuser et al. [2] ont conçu et développé un séchoir solaire tunnel adapté au séchage des plantes médicinales et aromatiques sous le climat de Marrakech comme illustré sur la figure (2). Ce séchoir est composé de plusieurs ventilateurs équipés de buses de soufflement d'air et de tôles de guidage de l'air afin d'assurer la répartition homogène de l'air à l'intérieur de l'insolateur. L'air est aspiré par le bas et pénètre dans l'insolateur en passant entre l'absorbeur et la couverture (en plastique). Il atteint le compartiment de séchage à travers le canal de liaison. La chambre de séchage est constituée d'une unité de séchage de 7 m de long, 3,4 m de large et 5 m de haut (voir fig. 1). L'air chauffé pénètre dans la chambre d'expansion de l'abri à travers un canal de liaison placé en amont et entièrement amovible. L'air traverse de bas en haut les plantes médicinales et aromatiques étalées sur une grille. À cause de leurs surfaces rugueuses, les herbes sont plus difficiles à sécher et demandent une plus grande quantité d'air les entourant. Le débit d'air asséchant transporté varie entre 0

et $3850 \text{ m}^3/\text{h}$. le produit séché menthe, la quantité maximale de menthe fraîche 600 kg, la densité de séchage 50 kg m^{-2} , l'épaisseur produit entassé atteindra environ 80 cm, la température maximale de l'air asséchant est égale à 50°C . L'insolateur solaire est couvert avec une bâche pendant les heures où la température fournie par l'insolateur atteint des valeurs critiques durant les mois de juillet et août. Pendant les autres mois de séchage, cette mesure de précaution n'est pas nécessaire. Retourner les herbes à sécher le matin et le soir. La teneur en eau initiale des feuilles de menthe fraîche est généralement de 82%, le processus de séchage est arrêté lorsque la teneur en eau finale de 10% est atteinte). La quantité de produit chargé est de 200 kg, durée de séchage 33 heures, quantité d'eau extraite 160 kg, débit d'air volumique $3800 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, besoin en énergie électrique pour les ventilateurs est 17.2 kWh. La période de récupération de ce type de système est d'environ 3-4 ans.

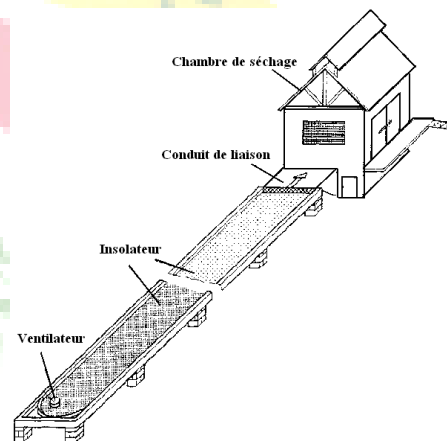


Fig. 2 séchoir solaire tunnel pour le séchage des plantes aromatiques et médicinales [2]

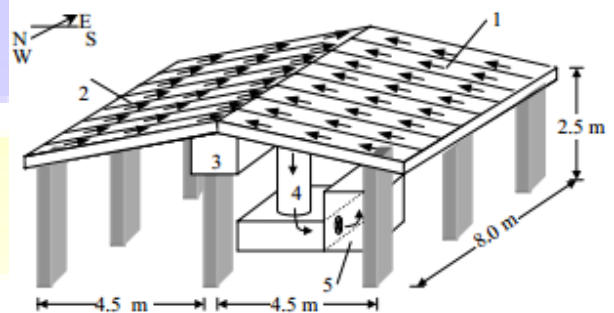


Fig. 3 Diagramme schématique du séchoir solaire à insolateur installé en toiture du séchoir (1) Insolateur solaire sud, (2) Insolateur solaire nord, (3) conduit d'air asséchant horizontal, (4) conduit d'air asséchant vertical, (5) séchoir

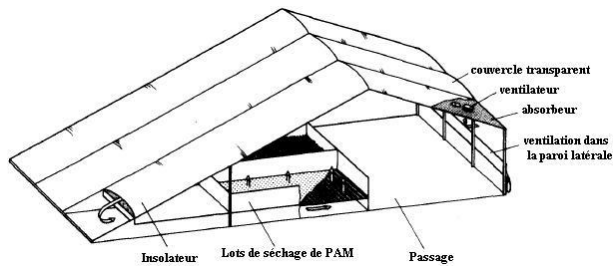


Fig. 4 séchoir solaire-serre

C. Séchoir solaire modulaire (Indirect à convection forcée)

Ce système de séchage est composé d'une armoire de section parallélépipédique ($L_s \times l_s \times h$), d'un insulateur plan à air, d'un ventilateur centrifuge muni d'un variateur de vitesse et d'un chauffage auxiliaire. Ce dispositif de chauffage est équipé d'un thermostat électronique. L'armoire de séchage comporte N_c claies constituées d'un cadre en aluminium ou en bois sur lequel est fixé un grillage métallique. L'air est acheminé à travers un conduit à la partie inférieure de la chambre de séchage et s'écoule par convection forcée vers la partie supérieure du séchoir. La température de l'air est ajustée à une température de consigne T_d , par le chauffage auxiliaire. Lorsque l'humidité relative de l'air à la sortie du séchoir est suffisamment faible, une fraction de cet air TR est recyclé à travers le séchoir en le mélangeant avec l'air provenant de l'insulateur. Le système de séchage est orienté plein sud ; l'angle d'inclinaison de l'insulateur est égale à la latitude du lieu (λ). Dans la suite, en présentant deux types différents de séchoir solaire indirecte modulaire ainsi que les principaux résultats:

D. Séchoir solaire indirect (EESPAM, ENS Marrakech) [3]

Les auteurs ont étudiés les cinétiques de séchage de plusieurs PAM dans des conditions aérothermiques diverses. Ils ont affirmé que la durée de séchage du produit dépend de plusieurs facteurs : la masse initiale du produit, sa teneur en eau initiale, la température de séchage est le paramètre le plus important qui influence la cinétique de séchage des plantes médicinales, le débit d'air asséchant et la fraction d'air recyclé. Les résultats obtenus permettent d'aborder dans des conditions réelles et optimales le séchage solaire convectif de PAM produites en grande quantité dans la région de Marrakech [3].

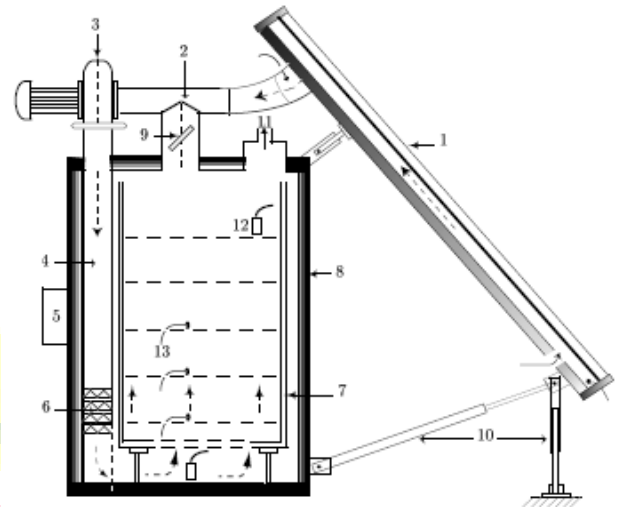


Fig. 5 Coupe schématique du séchoir solaire indirect (EESPAM, ENS Marrakech) (1) insulateur, (2) conduite de ventilation, (3) ventilateur, (4) conduit aéronautique, (5) commande, (6) appoint, (7) chariot, (8) armoire, (9) recyclage, (10) pied de réglage, (11) sortie de l'air, (12) sondes d'humidité, (13) thermocouples séchoir solaire-serre

E. Séchoir solaire indirect modulaire (C.D.E.R)

Le système de séchage modulaire figure 5 est installé au centre de développement des énergies renouvelables C.D.E.R (Alger, Algérie) [4], l'influence de divers paramètres caractéristiques du fonctionnement du séchoir tels que le débit massique et la température de l'air asséchant, le poids du produit à sécher sur les performances thermiques du séchoir ont été analysés. Pour les conditions opératoires retenues (aire de l'insulateur égale à 2 m^2 , débit massique de l'air asséchant compris entre 0.05 et 0.23 kg s^{-1} et température de l'air asséchant compris entre 30 et 55°C , les durées de séchage des feuilles de laurier noble à celle des feuilles de menthe sont 5h et 3h . Le temps de retour est de 2 ans pour un prix de vente de la menthe séchée de 400 DA kg^{-1} . Durant la période d'été, où la température extérieure de l'air voisine de 30°C , la couverture solaire moyenne peut atteindre 80% pour les feuilles de menthe et le coût de séchage peut être très compétitif pour des quantités importantes de produit [4].

V. CONCLUSIONS

Le savoir faire local en matière de séchage solaire de PAM doit être encouragé et perfectionné en développant et en fabriquant localement les séchoirs solaires et ce, sans négliger pour autant les nouvelles techniques de séchage. En outre, une meilleure connaissance des caractéristiques hygrométriques de PAM permettra le perfectionnement de la technologie de séchage afin d'améliorer les qualités nutritionnelles de PAM. Le développement des petites entreprises agro-industrielles,



**Le 4^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables**
**The 4th International Seminar on New and Renewable
Energies**

**Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 24 - 25 Octobre 2016**



intégrés en milieu rural autonomes et fabriquant à partir des spéculations produites localement des PAM, peuvent concurrencer le marché de PAM en qualité et prix, l'exportation de ces produits peuvent participer à la croissance économique du pays et d'accroître la production vivrière. L'examen des revues bibliographique suggère que les séchoirs solaires pour les PAM peuvent être une méthode intéressante pour la conservation des PAM ainsi que la technologie après récolte et aussi pour une proposition commerciale. Le séchage solaire peut être considéré comme une meilleure alternative pour les PAM sans effet préjudiciable à l'environnement, la rentabilité et l'élimination ou la réduction de l'utilisation des sources d'énergie auxiliaires. Etude de divers paramètres affectant séchage a montré que le débit d'air, la teneur en humidité initiale, la température d'air asséchant et la densité du produit joue rôle majeur. Une grande valeur de teneur en humidité initiale requiert plus grande quantité d'énergie pour atteindre la teneur d'eau d'équilibre de telle sorte que le temps nécessaire pour le séchage augmente. Augmentation de la vitesse de l'air asséchant augmente la vitesse de séchage. Pour un poids faible de produit la vitesse de séchage augmente, mais parfois la perte inhabituelle de l'énergie peut avoir lieu. L'expérience a montré que le séchage solaire dans les séchoirs

est meilleur par rapport à séchage traditionnelle. Le temps de retour des investissements est généralement inférieur à 5 ans.

REFERENCES

- [1] S. Janjai, P. Tung, Performance of a solar dryer using hot air from roof-integrated solar collectors for drying herbs and spices, *Renewable Energy*, Volume 30, Pages 2085–2095, 2005.
- [2] M. Häuser, O. Ankila, Manuel du séchage solaire au Maroc, GATE/GTZ, Allemagne, Pages 11-13, 1995.
- [3] M. Kouhila, A. Belghit et M. Daguinet, Modélisation et expérimentation du fonctionnement d'un séchoir solaire convectif pour plantes aromatiques, *Environment and Solar*, 2000 Mediterranean Conference for CMPLES, Pages 181- 188, 2000.
- [4] N.Benaouda, B.Zeghamati, Analyse technico-économique d'un séchoir à chauffage partiellement solaire pour Plantes Aromatiques et Médicinales (PAM), 16èmes Journées Internationales de Thermique (JITH 2013), Marrakech (Maroc), du 13 au 15 Novembre, 2013, pages 1-6, 2013.
- [5] Guohua Chen and Arun S. Mujumdar, Drying of Herbal Medicines and Tea, chapter 26, *Handbook of Industrial Drying*
- [6] J. MOLLER, G. REISINGER, J. KISGECI, T. E. KOTTA, M. TESIC AND W. V. OHLBAUER, Development of a greenhouse-type solar dryer for medicinal plants and herbs, solar & wind technology vol. 6, no. 5, pp. 523-530, 1989. M. Metev and V. P. Veiko, *Laser Assisted Microtechnology*, 2nd ed., R. M. Osgood, Jr., Ed. Berlin, Germany: Springer-Verlag, 1998.