

Etude Expérimentale d'un Séchoir Solaire

R. Miri*, O. Mokrani* , F. Siad* et M. Belhamel **

*Département de Génie Mécanique. USTHB ALGER .

**Centre de développement des Energies Renouvelables Bouzaréah ALGER

Résumé – *Le but primordial de notre travail est une étude expérimentale du séchage solaire, par la méthode indirecte et en convection naturelle; Elle nous a permis aussi, d'étudier l'influence de la double circulation d'air, en amont et en aval de l'absorbeur de l'insolateur, sur les divers organes du dispositif expérimental. Nous nous intéressons, pour cela, à l'évolution de la température de l'air le long de son parcours dans le séchoir, ainsi qu'aux pertes de masse et aux vitesses de séchage des produits expérimentés tels que la menthe verte, la verveine officinale, le laurier (Lauris nobilis), le piment rouge et raisin (Muscat d'Alexandrie).*

L'efficacité du séchage solaire, est déterminée par une étude comparative entre le temps mis par les produits pour sécher à l'intérieur du séchoir, et à l'air libre. Les durées de séchage et les pertes de masses relevés pour chaque produit sont présentés et commentés.

Abstract – *The main objective of our work is an experimental study of solar drying, by the indirect method and in natural convection, It also allowed us, to study the influence of the double circulation of air, upstream and downstream from the absorber of the solar heater, on the various components of the experimental device. We study, for that, the change of the temperature of the air along its course in the drier, as well as the losses mass and speeds of drying of the products tested such as spearmint, the common vervain, the bay-tree (Lauris nobilis), the hot red pepper and grape (Muscatel of Alexandria*

The effectiveness of solar drying is determined by with a comparative study between the time put by the products to dry inside and outside the drier. Times of drying and the losses of masses raised for each product are presented and commented on.

1. INTRODUCTION

L'humidité initiale de chaque produit à été déduite à la fin de l'opération de séchage, en faisant la différence entre la masse initiale et finale du produit considéré.

Les courbes de perte d'humidité que nous présenterons plus loin illustrent en réalité les pertes d'humidité relative qui représente le pourcentage de la masse d'eau contenue dans le produit par rapport à sa masse totale ou humide. Cette humidité relative est donnée par la relation suivante :

$$W = \frac{\text{masse.d'eau.contemue.dans.le.produit}}{\text{masse.totale.du.produit}} = \left[\frac{\text{g.eau}}{\text{g.produit}} \right]$$

Ne connaissant pas avec exactitude l'humidité finale des produits séchés, nous avons été contraints de la supposer nulle, par conséquent nous supposons que tous nos produits sont des corps hygroscopiques. Cette supposition n'a aucune répercussion sur les résultats de notre étude, à savoir sur le temps ou sur la vitesse de séchage car nous résonnons sur l'humidité susceptible d'être extraite.

La vitesse de séchage quant à elle, est déduite à partir des pertes d'humidité par la relation suivante :

$$V = \frac{\Delta.w}{\Delta t} = \left[\frac{\text{g.eau} / \text{g.produit}}{\text{heure}} \right]$$

Après avoir décrit le séchoir solaire expérimental nous présentons l'essentiel des résultats que nous avons obtenus en deux partie, la première s'intéressant au températures des divers organes et à l'influence de la double circulation d'air sur ces derniers, pour la quelle nous avons consacré deux journées types, et la seconde regroupe les différentes courbes de pertes d'humidité et de vitesses de séchages des cinq produits séchés.

2. REALISATION DU SECHOIR SOLAIRE EXPERIMENTAL

Le séchoir solaire étudié (Image 1) est une conception que nous avons réalisé au Centre de Développement des Energies Renouvelables de Bouzaréah. Le séchoir solaire est de type indirect sans recyclage d'air et sans système d'appoint il se compose d'un capteur à air et d'une chambre de séchage

2.1. Le capteur solaire : (Image 2)

Le capteur solaire utilisé est un capteur à air plan à double circulation d'air l'une dans la partie supérieure, entre la vitre et la plaque absorbante, et l'autre dans la partie inférieure entre la plaque et l'isolant. Il a une longueur de 2m, une largeur de 0.94m et une hauteur de 0.12 m.



Image 1: Séchoir solaire expérimental



Image 2 : Capteur solaire à air

2.2. La chambre de séchage :

Notre chambre de séchage est une boîte en bois de forme cubique dont la partie supérieure est surmontée d'une toiture en 'V'. Nous l'avons isolée thermiquement avec du polystyrène sur les parois latérales et de la laine de verre sur la toiture et les volets servant d'ouverture. En outre nous l'avons muni d'une cheminée sur le toit en tube PVC d'un mètre de longueur et d'un diamètre de 80 mm ainsi que d'une ouverture sur sa base pour l'admission de l'air chaud provenant du capteur. (Image 3) Les quatre faces latérales ont une surface de 1m² chacune



Image 3: Chambre de séchage

L'une d'elle est munie d'une porte à double battants ayant les dimensions : 2 x 45 x 90cm. En plus de l'isolation thermique, la boîte de séchage est entièrement recouverte d'un plastique de couleur noire pour assurer une parfaite étanchéité les jours de pluie et un maximum d'apport thermique par rayonnement solaire.

Notre chambre de séchage est posée sur un support métallique à une hauteur de 2.20m du sol. Les produits sont disposés à l'intérieur de la boîte sur trois (3) claies de forme carrée composées chacune d'un cadre en bois sur lequel est fixé un grillage galvanisé, pour permettre le passage de l'air. Les claies sont distantes les unes des autres de vingt (20) centimètres. (Image 3)

3. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

Nous avons consacré les deux premiers jours de notre étude expérimentale le 15 et le 16 août 1999 à l'évaluation de l'influence de la circulation de l'air provenant de la partie supérieure du capteur solaire sur la cinétique de séchage, ainsi qu'à celle issue de la double circulation. Pour cela, nous avons relevé les températures de l'air à différents endroits ainsi que les températures de divers organes du système pendant les deux journées de test consacrées chacune à un mode de circulation.

3.1. Mesure de l'éclairement solaire

L'éclairement solaire au cours de la journée du 15 août visible sur la figure (1a) atteint un maximum de 980 w/m^2 aux alentours de 13 heures locales (12h00 TSV). Sa moyenne journalière (entre 9h30 à 16h30) est de 811 w/m^2 . Pour la journée suivante du 16 août, L'éclairement solaire visible sur la figure (2a) atteint un maximum de 990 w/m^2 aux alentours de 13 heures locales (12h00 TSV). Sa moyenne journalière (entre 9h30 à 16h30) est de 847 w/m^2 .

3.2. Relevé expérimental des températures

Afin de mieux comprendre l'influence de chacun des circuits de circulation de l'air sur le système, nous présentons, les moyennes des températures des différents organes dans le tableau suivant :

Température des organes (°C)	Absorbeur	Vitre	Sortie haute	Sortie basse	Entrée chambre	Claies	T ambiante
Simple circulation	103,31	68,95	86,42	51,17	61,68	44,97	26,53
Double circulation	96,55	67,61	76,96	56,96	50,07	38,19	26,62

La principale constatation est l'écart important entre la température de l'air à la sortie haute et celle de la partie basse (de l'ordre de 35°C). Cet écart est du au fait que l'air circulant sur la partie supérieure du capteur léche l'absorbeur chauffé par effet serre. L'air circulant dans la partie basse, quant à lui, ne s'échauffe que par conduction et convection.

L'augmentation de la température des claies au cours de la simple circulation de l'air dans la partie supérieure nous a conduit à opter pour ce mode de fonctionnement pour effectuer l'opération de séchage. Les évolutions comparatives de température des différents organes du système, pour les deux modes de circulation de l'air sont montées sur les graphes 1b, 1c et 2b, 2c.

3.3. Evolution de l'humidité et de la vitesse de séchage des produits étudiés

Les évolutions de perte de masse et de vitesse de séchage **du laurier, de la verveine et de la menthe** sont montrées sur les graphes (3 à 8). Nous commentons, à titre d'exemple, celles relatives à la menthe montrées sur les graphes 7 et 8. L'humidité relative de la menthe est initialement de 80%. Son élimination dans le séchoir dure 30 heures tan disque que son séchage à l'air libre dure, quant à lui, 50 heures. Nous pouvons conclure que le gain de temps est de 20 heures, soit 40%.

Au vu du graphe de la vitesse de séchage(N°8), nous constatons des oscillations dues à une perte de masse pendant la période diurne et une relative augmentation de cette dernière en période nocturne lorsque la température ambiante atteint la valeur du point de rosée.

Les évolutions de perte de masse et de vitesse de séchage **du raisin** sont montées sur les graphes 9 et 10 tan disque celles **du piment** son indiquées sur les graphes 11 et 12. L'humidité initiale du raisin est de 70% tan disque celle du piment est de l'ordre de 80%. Le temps de séchage du raisin dans le séchoir est de 318h (580h à l'air libre soit un gain de 45%) tan disque celui du piment est de 243h (342h à l'air libre soit un gain de 29%)

Les résultats de séchage des produits étudiés à l'intérieur du modèle, comparés à ceux obtenus à l'air libre sont consignés dans le tableau ci après. Nous constatons un gain de temps variant entre 30 à 45% dans notre séchoir solaire qui fonctionne en convection naturelle et ne nécessite aucune énergie conventionnelle.

Journée du 15 Août 1999
Circulation d'air (partie haute)

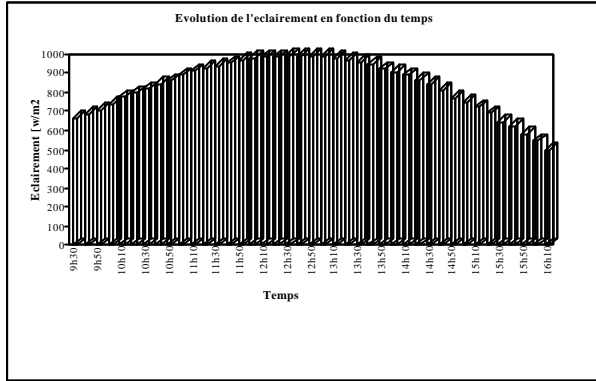


Fig. 1 a

Journée du 16 Août 1999
Double circulation d'air

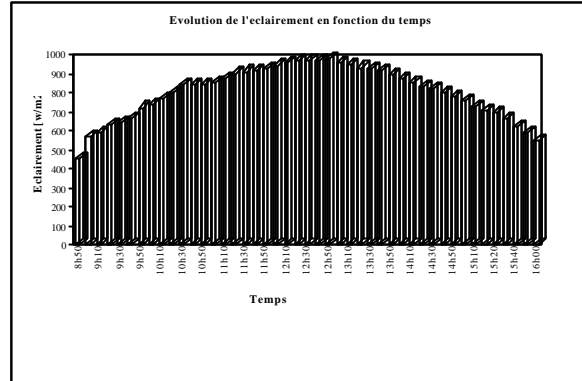


Fig. 2 a

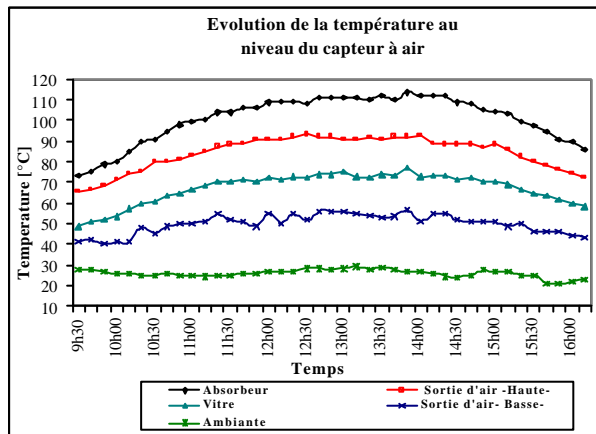


Fig. 1 b

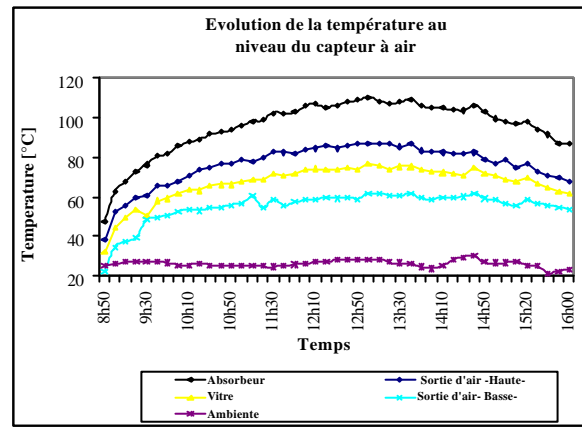


Fig. 2 b

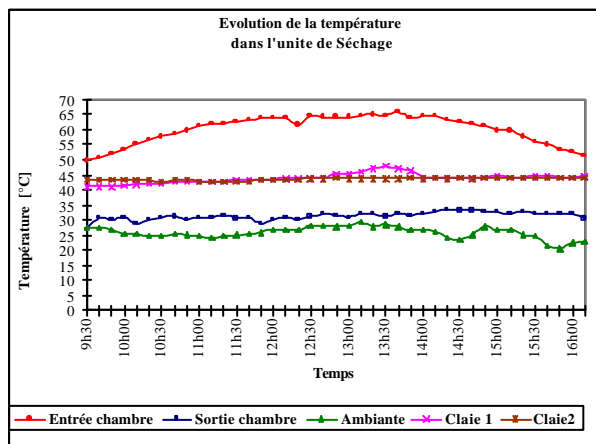


Fig. 1 c

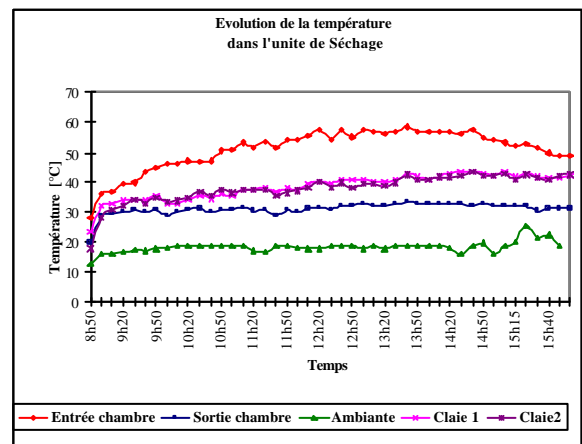


Fig. 2 c

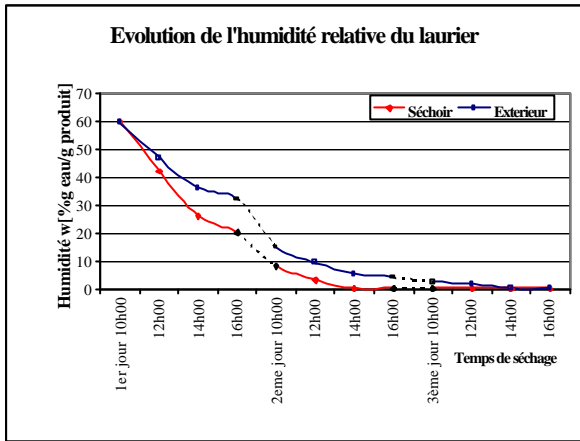


Fig. 3

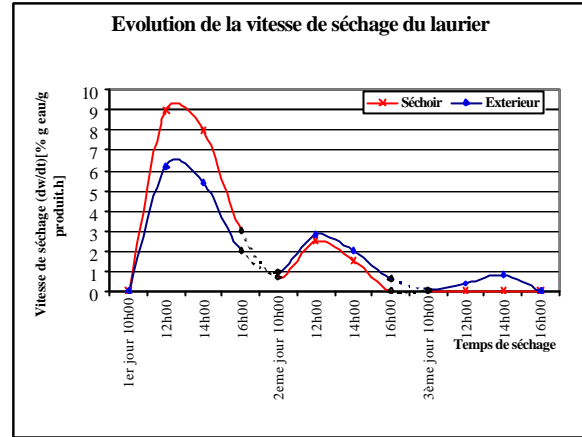


Fig. 4

Le LAURIER

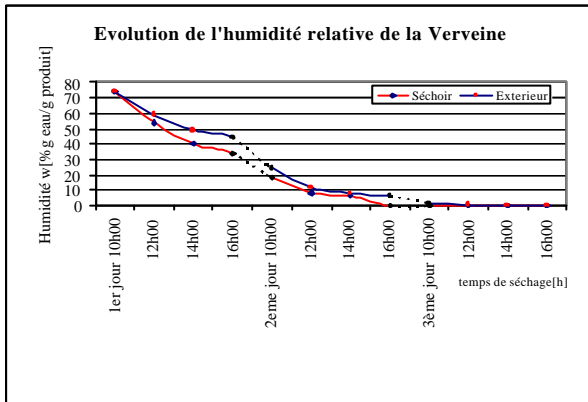


Fig. 5

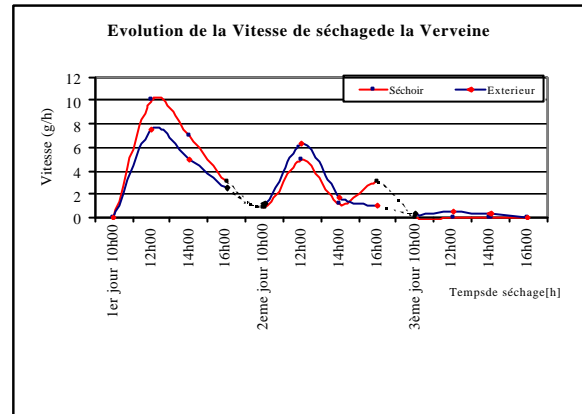


Fig. 6

La VERVEINE

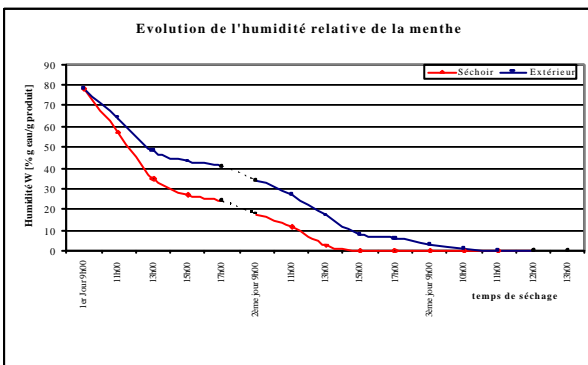


Fig. 7

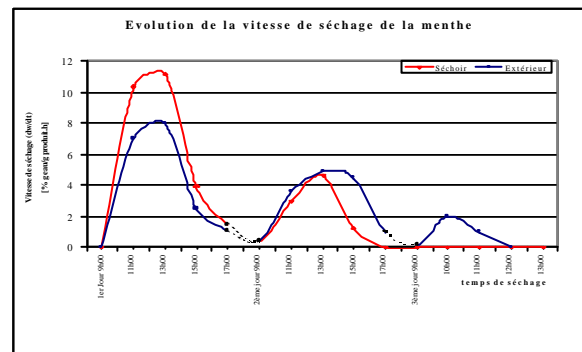


Fig. 8

LA MENTHE

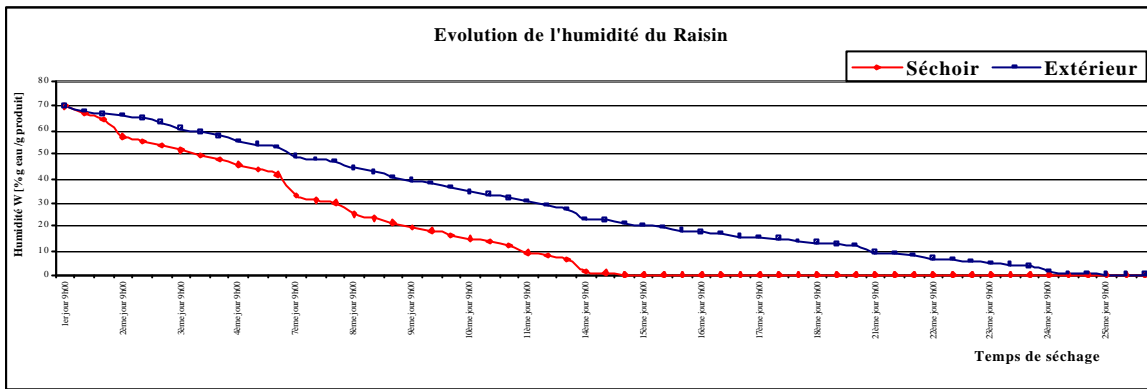


Fig. 9

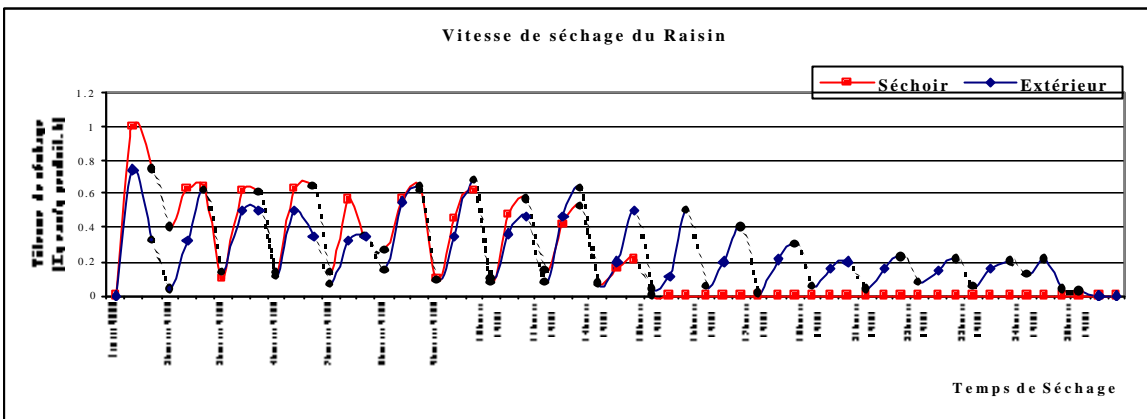


Fig. 10

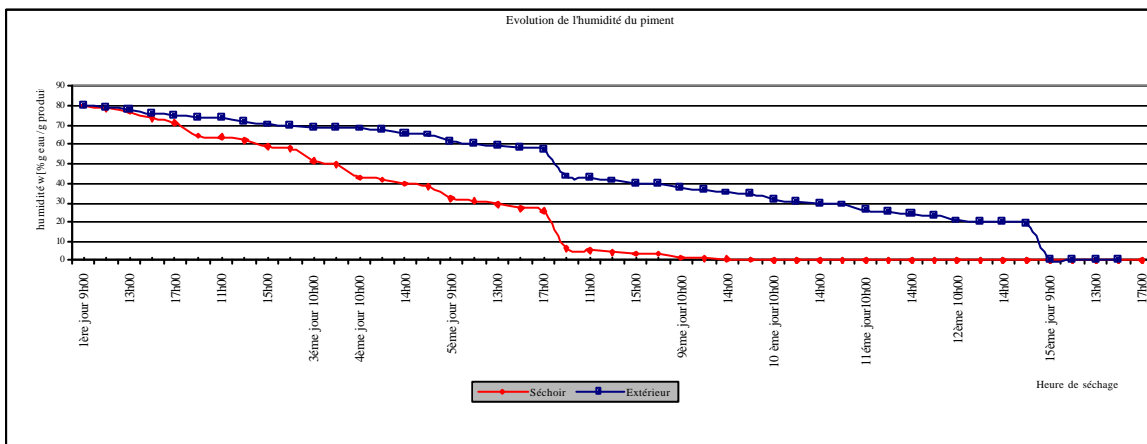


Fig. 11

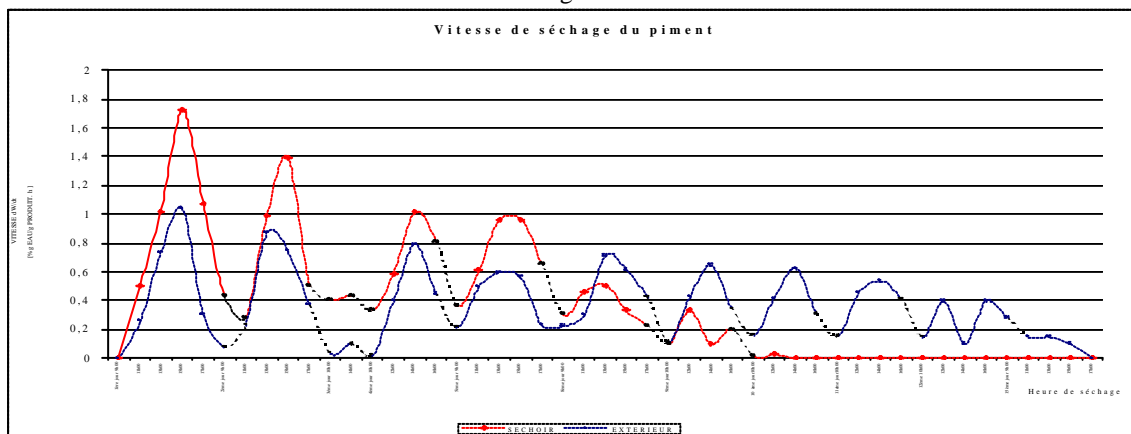


Fig. 12

4. CONCLUSION

L'étude expérimentale que nous avons menée sur le **séchoir indirect en convection naturelle**, a consisté à l'étude de deux grands axes, à savoir une partie rayonnement solaire au niveau du **capteur** et une partie séchage dans la **chambre**.

Concernant l'**insolateur**, nous nous sommes intéressés à l'influence de la double circulation d'air sur le capteur plan que nous avons adapté pour la circonstance (Mélange régulé de l'air chauffé provenant de la sortie haute du capteur (entre la vitre et la plaque absorbante) celui issu de la sortie basse (entre la plaque absorbante et l'isolant pour éviter ainsi des températures trop élevées qui risqueraient de brûler les produits séchés).

Nous avons noté, à 12⁰⁰ TSV que la température de l'air provenant de la sortie haute du capteur avoisinait les **80°C** et que celle de celui issu de la sortie basse avoisinait les **45°C**, (la marge des températures de séchage de la majorité des produits agro-alimentaire, varie entre **30 et 80°C**).

Dans notre étude du séchage en convection naturelle, nous nous sommes intéressés d'abord à son efficacité par rapport au séchage naturel à l'air libre.

Les durées de séchage, les gains en heures ainsi que les pertes de masses relevés pour chaque produit sont résumés dans le tableau suivant :

produits	Temps de séchage dans le séchoir [heure]	Temps de séchage à l'air libre [heure]	Gains [heure]	Masse initiale [g]	Masse finale [g]	% d'humidité extraite
Menthe	30	50	20	200	40	80
Piment	243	342	99	300	60	80
Raisin	318	580	262	500	150	70
Laurier	28	52	24	300	120	60
Verveine	30	52	22	300	75	75

L'efficacité du séchoir ainsi que nous l'avons défini précédemment, vaut une moyenne de 40%. Ce résultat est très encourageant d'autant plus que nous avons trouvé des **insuffisances** à notre séchoir.

Nous estimons que le séchage solaire par convection naturelle donne d'assez bons résultats (amélioration du temps de séchage de l'ordre de 40%) mais nous croyons que ces applications sont restreintes aux usages domestiques.

Nous croyons tout de même que le séchage solaire serait exploitable et très intéressant dans l'industrie en étant enrichi d'un système d'appoint qui remédierait aux insuffisances du soleil surtout le soir et les jours de pluie, d'un système de recyclage d'air qui économiserait de l'énergie et d'un dispositif de pompage qui accélérerait le processus

REFERENCES

- [1] .Arditti, "*Technologie Industrielle Chimique*", (TOME 3, 1972).
- [2] Adda-Philibert, "*Diffusion dans les Solides*", (TOME1,1966).
- [3] J. J. Bimbenet, "*Séchage dans les Industries Agro-alimentaires*", (SAPAIC.PARIS 1987).
- [4] J. D. Balcomb, "*Systèmes de Chauffage de l'Habitat*".
- [5] W. Beckman and A. J. Duffi, "*Solar Engineering of Thermal Processes*", (édition 2, 1991).
- [6] A. Benkhalifa, R. A. Brac De La Perrire, S. Hannachi et D. Khitri, "*Inventaire Variétal de la Palmeraie Algérienne*" (MARS 1998).
- [7] F. Bentahar, "*Etude de la Cinétique de Séchage des Produits Alimentaires – Application à la carotte et Pomme de Terre*"- (1996).
- [8] J. C. Charpentier, *Techniques de l'Ingénieur, Génie des Procédés*, (types des séchoirs et modes de séchage artificiels, 12-1996).
- [9] Centre International de la Physique Théorique : 4^{ème} séminaire de l'énergie solaire (10-21octobre, 1984).
- [10] M. Daguene, "*Séchoirs Solaires, Théorie et Pratique*" (1985).
- [11] D. Greiner, "*Le Marché de la Datté, Produit de Rente des Oasis*" (www.aupelfuref.org/revues/séchresse, 1998).
- [12] *Séchage Solaire* (www.fao.org/X00184E/x00184e.htm).
- [13] INRAA: Recherche Agronomique (revue semestrielle n°:1, OCTOBRE 1997).
- [14] N. Kechaou, M. Bagane , M. Maalej et C. Capseu, "*Approche Empirique de la Cinétique de Séchage des Dattes*", JITH, volume 3, 1995).

- [15] F. Kreith: Thermodynamique, Transfert de Chaleur et de Masse (2^{ème} édition, 1982).
- [16] A. Lallemand : Techniques de l'Ingénieur, Génie Energétique (air humide, 10-1998).
- [17] G. Menguy: Rayonnement Solaire, Conversion Thermique et Applications (1991).
- [18] R. Miri: Contribution à L'étude Expérimentale et Théorique d'un Bilan d'Energie d'une Serre (thèse, 1983).
- [19] P. Meffar: Industrie Agro-Alimentaire (1990).
- [20] R. G. Morvan: Encyclopédie Internationale des Sciences et des Techniques.
- [21] J. F. Sacadura: Initiation Aux Transferts Thermiques, 4^{ème} édition (1993).
- [22] E. R. Treybal: Mass Transfer Operations, 3^{ème} édition, (1980).