

## Amélioration des Performances des Capteurs Solaires Plans à Air: Application au Séchage de l'Oignon Jaune et du Hareng

A. Ahmed-Zaïd <sup>1</sup>, A. Moulla <sup>1</sup>, M. S. Hantala <sup>1</sup> et J.Y. Desmons <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institut Algérien du Pétrole, Ecole Supérieure du Pétrole et du Gaz de Boumerdes  
Département Exploitation 1, avenue du 1<sup>er</sup> novembre 1954, Boumerdes 35000, Algérie

<sup>2</sup> Laboratoire d'Aérodynamique, d'Energétique et de l'Environnement, Université  
de Valenciennes et du Hainaut-Cambrésis, B.P. 311 F-59304 Valenciennes, cedex, France

**Résumé** -- En raison de l'insuffisance de l'échange thermique réalisée dans le capteur solaire plan à air entre le fluide et l'absorbeur l'utilisateur est amené à apporter des améliorations pour de meilleures performances ou une meilleure efficacité thermique. Dans cette étude expérimentale, par la simulation de l'énergie solaire, nous avons cherché à améliorer le couple « Rendement - Ecart de température » du capteur en introduisant des chicanes (obstacles) lesquelles sont déposées dans la veine dynamique du capteur. Les transferts thermiques, la température de sortie et le rendement du capteur sont nettement améliorés. Une application des meilleurs systèmes est présentée pour sécher l'oignon jaune et le hareng dans des temps intéressants.

**Abstract** -- In the solar flat plate collector, in reason of the insufficiency of the thermal exchange between the fluid and the absorber the user is brought to bring some improvements, to obtain the best performances or the best thermal efficiency. In this experimental study, by the solar energy simulation, we have sought to improve the «Efficiency - Temperature Rise » couple of the air solar flat plate collector by considering obstacles. These later are deposited in rows in the dynamic vein of the collector. The thermal transfers and, consequently, the output temperature and the efficiency of the collector are clearly improved. An application of the best systems is presented for drying the yellow onion and the herring in the interesting drying times.

**Mots clés:** Energie solaire - Capteurs solaires - Obstacles - Convection forcée - Séchage - Oignon jaune - Hareng.

### 1. INTRODUCTION

L'amélioration des performances des capteurs solaires plans consiste à limiter les pertes thermiques entre l'absorbeur et l'environnement. Plusieurs approches ont été développées.



Fig. 1: Disposition des obstacles DCL

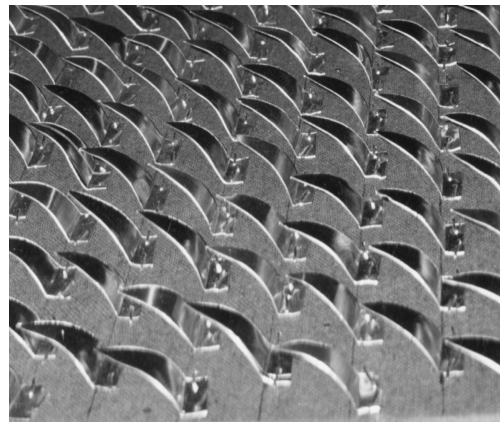


Fig. 2: Disposition des obstacles OCL

Dans le cas des obstacles fixés sur l'isolant, le choix des formes géométriques d'obstacles utilisés doit satisfaire certains critères. En effet, la forme et la disposition des obstacles affectent l'écoulement d'air pendant sa trajectoire. Les obstacles assurent une bonne irrigation de l'absorbeur, créent la turbulence et réduisent les zones inactives dans le collecteur [1-7].

Dans un premier temps, nous présentons une comparaison entre les résultats obtenus dans les cas du capteur solaire muni d'obstacles et du capteur sans obstacles (SC). Les différentes formes étudiées, à la fois simples et intéressantes, concernent, comme le montrent figure 1, figure 2, et figure 3, les chicanes Delta Cintrées Longitudinalement (DCL), Ogivales Cintrées Longitudinalement (OCL) et Transversales-Longitudinales (TL).

Dans un second temps, nous exposons les résultats obtenus lors du séchage de **loignon jaune** et du **hareng**, utilisant le capteur sans chicanes (SC) et le capteur muni de chicanes DCL puis TL. Après analyse des résultats, le capteur muni d'obstacles TL paraît le meilleur.

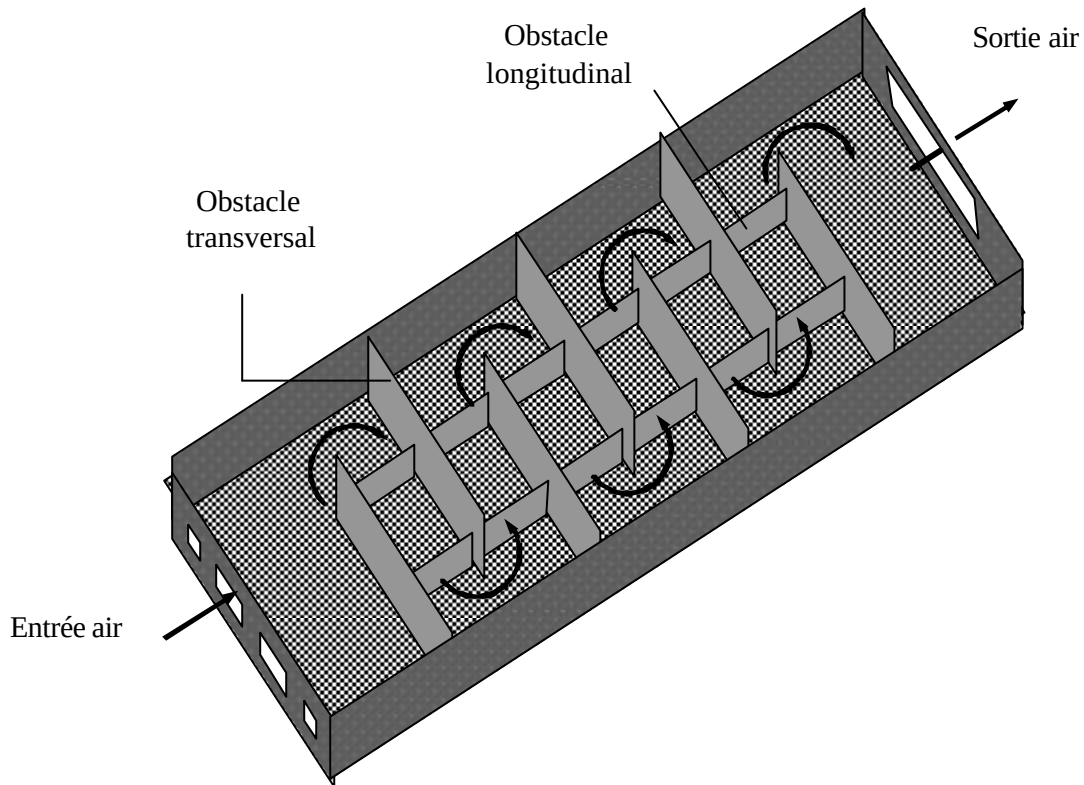


Fig. 3: Capteur muni d'obstacles TL

Dans un second temps, nous exposons les résultats obtenus lors du séchage de l'**oignon jaune** et du **hareng**, utilisant le capteur sans chicanes (SC) et le capteur muni de chicanes DCL puis TL. Après analyse des résultats, le capteur muni d'obstacles TL paraît le meilleur.

## 2. EFFET DES OBSTACLES

L'introduction d'obstacles dans la veine dynamique nécessite un choix judicieux du mode de fixation. Cela peut être fait sur l'isolant, sous l'absorbeur ou par la combinaison des deux. Dans tous les cas les résultats sont améliorés car la section de passage de l'air est réduite. Dans cette veine, le nombre de Reynolds ( $Re$ ) est calculé en tenant de la vitesse maximale de l'air ( $V_m$ ) correspondant à la section de passage minimale ( $S_{min}$ ):

$$Re = \frac{V_m \cdot D_h}{\nu} = \frac{Q_V \cdot D_h}{\nu \cdot S_{min}}$$

avec  $D_h = \frac{2 \cdot d \cdot \ell}{d + \ell}$

Ayant  $d \ll \ell \Rightarrow d + \ell \approx \ell$  puis  $D_h = 2 \cdot d$

En posant  $b' = 1 - \frac{S_{min}}{d \cdot \ell}$  nous avons :

$$Re = \frac{2 \cdot Q_V}{\nu \cdot \ell \cdot (1 - b')} \quad (1)$$

Le coefficient d'échange thermique ( $h_{cf}$ ) entre l'absorbeur et l'air dépend du nombre Reynolds. On déduit que l'augmentation de  $b'$  entraîne celle de  $Re$  et  $h_{cf}$ . La section minimale ( $S_{min}$ ) est fonction de la forme des obstacles, de leurs dimensions et de leur disposition.

### 3. DESCRIPTION DU CAPTEUR SOLAIRE

Le capteur solaire plan (Fig. 4) est constitué de:

- une couverture en polycarbonate ayant des coefficients de transmission ( $\rho_C$ ) et d'émission ( $\epsilon_C$ ) égaux respectivement à 83% et 90%, avec des longueurs d'onde différentes.
- un absorbeur en aluminium peint en noir ayant des coefficients d'absorption ( $\alpha_a$ ) et de conductivité thermique ( $K_a$ ) égaux respectivement à 95% et 205 W/m.K
- un isolant en polystyrène résistant aux températures plus grandes que 90 °C et ayant un coefficient de conductivité thermique ( $K_{is}$ ) égal à 0.04 W/m.K.

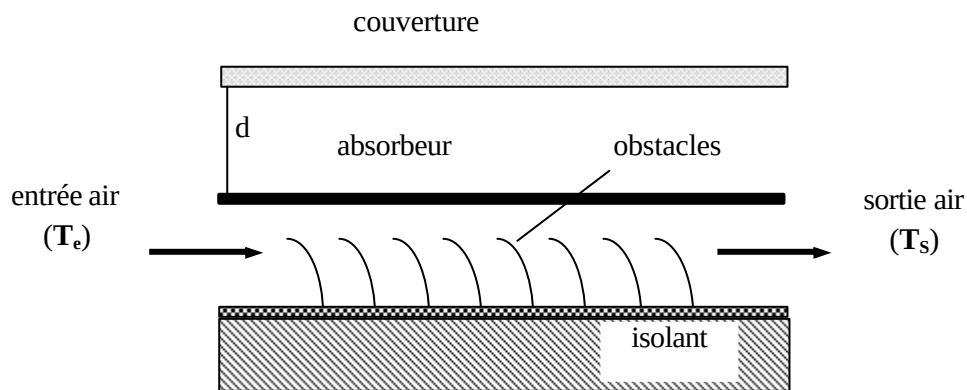


Fig. 4: Composants du capteur solaire.

Le système utilisé (Fig. 5) est un séchoir solaire indirect qui opère en convection forcée. Le système est simple. Il ne possède pas de source de chaleur auxiliaire et d'installation de recyclage d'air. Afin d'éviter les zones inactives dans le capteur, la géométrie de l'entrée et de la sortie (détails A et B) doit être bien choisie.

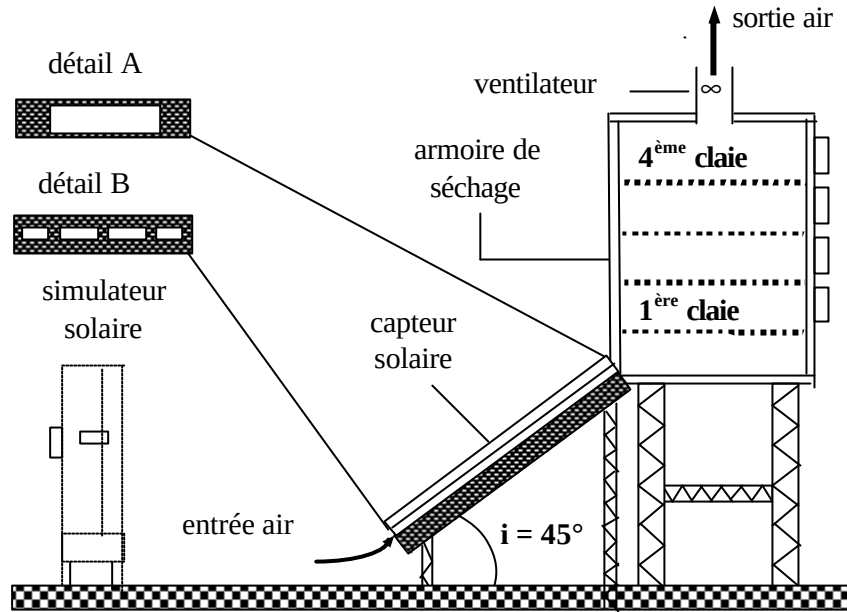


Fig. 5: Installation expérimentale.

#### 4. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Notre travail est réalisé par simulation de l'énergie solaire en se référant à la journée caractéristique du mois de juillet correspondant à la moyenne des années 1993, 1994 et 1995 [8] sur le site de Valenciennes (France), (Table. 1) :

**Table 1:** Variation de la température ambiante et du flux solaire horaire global

| Heure | $I_G$ (w/m <sup>2</sup> ) | T° (°C) | Heure | $I_G$ (w/m <sup>2</sup> ) | T° (°C) |
|-------|---------------------------|---------|-------|---------------------------|---------|
| 5     | -                         | 12.0    | 13    | 980.0                     | 26.0    |
| 6     | -                         | 13.0    | 14    | 1063.5                    | 26.5    |
| 7     | -                         | 17.0    | 15    | 1000.0                    | 26.5    |
| 8     | -                         | 18.5    | 16    | 920.0                     | 26.0    |
| 9     | 300.0                     | 20.0    | 17    | 800.0                     | 24.5    |
| 10    | 500.0                     | 22.0    | 18    | 670.0                     | 18.5    |
| 11    | 680.0                     | 23.0    | 19    | 500.0                     | 17.0    |
| 12    | 860.0                     | 24.0    | 20    | 300.0                     | 17.0    |

#### 4.1. Amélioration du couple "Rendement- Ecart de Température"

Par l'intermédiaire d'un support en bois, les obstacles sont fixés sur l'isolant (Fig. 4). Nous présentons d'abord les résultats obtenus avec le capteur sans obstacles et avec le capteur muni d'obstacles DCL, OCL (Fig. 1 et 2). Se référant aux travaux antérieurs [7,9,10], nous montrons qu'un cintrage longitudinal et homogène d'ailes delta droite permet d'obtenir de bons résultats.

Dans l'expression choisie [11] pour calculer le rendement ( $\eta$ ) du capteur, la densité du flux horaire global est prise constante et égale à  $1063.5 \text{ W/m}^2$  (midi solaire de la journée considérée). Nous rappelons que le débit d'air ( $Q_V$ ) est exprimé par unité de surface ( $A_C = 1.28 \text{ m}^2$ ) de l'absorbeur:

$$\eta = \frac{Q_u}{I_G \cdot A_C} = \frac{Q_{mf} \cdot C_{pf} \cdot (T_S - T_e)}{I_G \cdot A_C} = \frac{\rho_f \cdot Q_{Va} \cdot C_{pf} \cdot (T_S - T_e)}{I_G \cdot A_C}$$

$$\eta = \frac{\rho_f \cdot C_{pf} \cdot Q_V \cdot (T_S - T_e)}{I_G} \quad (2)$$

avec  $T_e$  et  $T_S$  en  $^{\circ}\text{K}$

$$\rho_f = \rho_0 \cdot \frac{273}{273 + T_{SV}} \cdot \frac{P(Z)}{P_0} ;$$

Dans la couche de l'atmosphère dénommée "troposphère", la température décroît de  $6.5^{\circ}\text{C}$  par kilomètre d'altitude. Cette couche se situe immédiatement au-dessus du sol, donc

$$P(Z) = P_0 \cdot \left[ 1 - \frac{6,50 \cdot Z}{288} \right]^{5,31}.$$

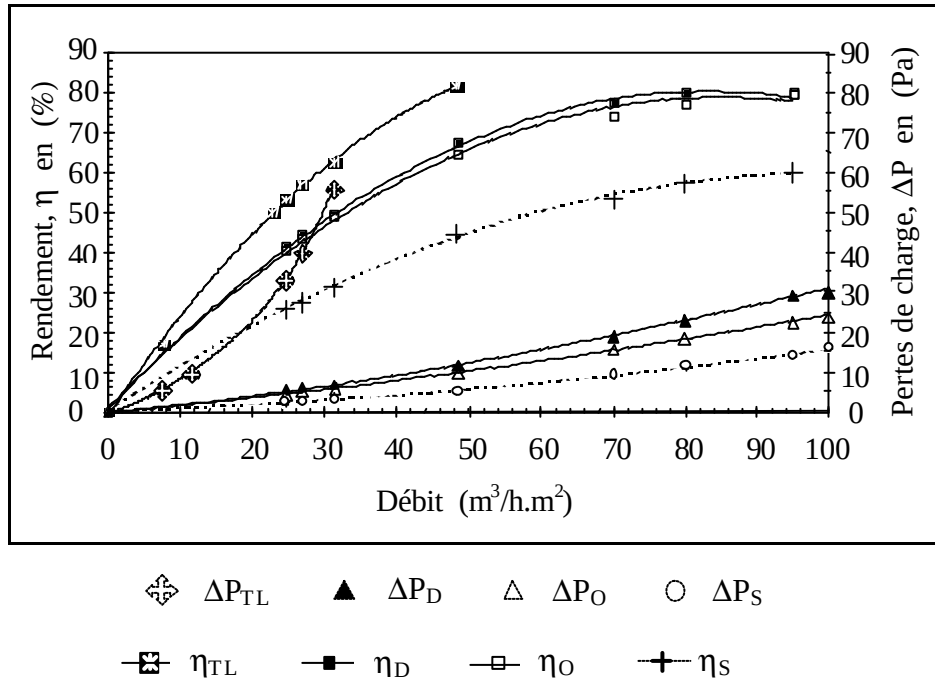


Fig. 6: Variation du rendement ( $\eta$ ) et des pertes de charge ( $\Delta P$ ) en fonction du débit  $Q_V$ , capteur SC, Capteur muni de DCL, OCL puis TL.

Pour les altitudes (Z) inférieures à 3 kms, la forme simplifiée de la relation précédente est:

$$\frac{P(Z)}{P_0} = (0,89)^Z$$

avec Z en kms

L'altitude de Valenciennes est égale à 60.0 mètres, alors  $\frac{P(Z)}{P_0} \approx 1$ .

Cela dit, dans le cas du capteur muni d'obstacles DCL puis OCL le rendement ( $\eta$ ) de 50% est obtenu avec les débits d'air de 32 et 33 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup> (Fig. 6), correspondant aux températures de sortie (T<sub>s</sub>) respectives de 85 et 81 °C.

On note que le capteur muni d'obstacles OCL présente des résultats légèrement faibles car la section de passage de l'air dans la veine mobile est un peu plus grande par rapport au cas d'obstacles DCL

Pour atteindre ce même rendement, dans le cas du capteur SC, le débit d'air nécessaire est de 58 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup> correspondant à une température de 54 °C.

Cependant, dans le cas du capteur muni d'obstacles TL (Fig. 3) les améliorations apportées sont considérables. La même rendement est obtenu avec seulement 23 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup> correspondant à la température de 97 °C. Ces obstacles TL permettent d'obtenir de réductions de débit de 28.1 et 60.3% comparés respectivement aux cas du capteur muni d'obstacles DCL et du capteur SC.

L'effet d'obturation avec les obstacles TL est un avantage pour créer un courant très turbulent. Ainsi, nous avons un très bon échange thermique, malheureusement, avec des pertes de charge très importants (Fig. 6). Ces pertes de charge que nous avons déterminées expérimentalement s'expriment en théorie par l'expression suivante:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot C_{Pf} \cdot S^{\#} \cdot \rho_f \cdot L \cdot Q_V^2 = \xi \cdot Q_V^2 \quad (3)$$

$$\text{où } C_{Pf} = 0,085 \cdot Re - 0,25 + 0,01625 \cdot \left( \frac{D_H}{L} \right)$$

L = longueur totale parcourue par l'air depuis l'entrée jusqu'à la sortie du capteur.

$$S^{\#} = \frac{\text{Surface d'échange thermique mouillée totale}}{\text{Surface de captation face à l'insolation}}$$

$S^{\#} = 2$  : cas du capteur sans chicanes et  $S^{\#} > 2$  : cas du capteur muni de chicanes.

#### 4.2 Amélioration du temps de séchage

Nous présentons les différents résultats expérimentaux obtenus en utilisant le capteur SC puis le capteur muni d'obstacles, d'une part, du type DCL et, d'autre part, du type TL.

Pour étudier l'influence du débit d'air sur le temps du séchage, il est intéressant de considérer les deux débits 31.3 et 70 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>. On note que seules les claies extrêmes sont choisies pour l'opération de séchage en raison de leur position.

Dans le cas de l'**Oignon Jaune**, la masse initiale par claie est égale à 1034 g. L'humidité initiale et finale du produit sont respectivement égales à 7.34 et 0.04 kg eau / kg MS. Le temps du séchage dans la 1<sup>ère</sup> claie est plus long avec le capteur SC mais très intéressant avec le capteur muni d'obstacles DCL puis TL.

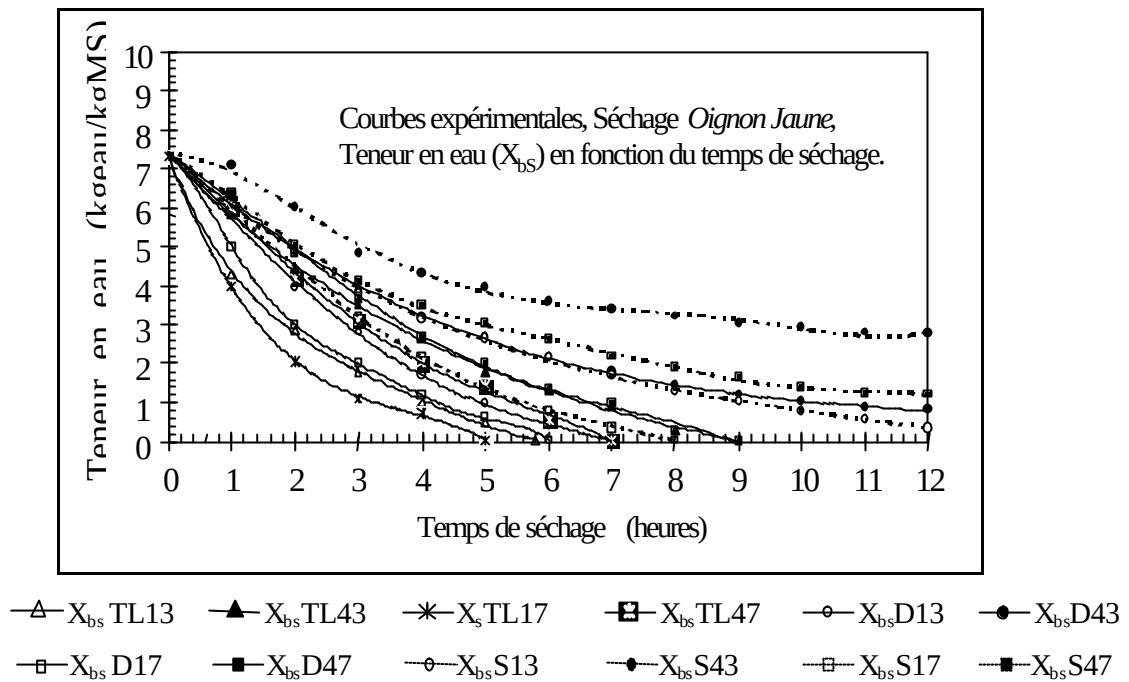


Fig. 7: Variation de la teneur en eau en fonction du temps de séchage, débits de 31.3 et 70 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>, capteur SC, Capteur muni de DCL puis TL.

En effet, dans le cas du débit de 31.3 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>, en utilisant le capteur muni d'obstacles DCL la réduction relative du temps du séchage au niveau de la 1<sup>ère</sup> claie est égale à 48 % par rapport au capteur SC (Fig. 7). Cela dit, dans les mêmes conditions le capteur muni d'obstacles TL nous permet une réduction de 57%. Ce résultat est extrêmement intéressant.

Dans le cas du **Hareng**, la masse initiale du produit est de 1470 g par claie et sa teneur en eau correspondante est de 4 kg eau / kg MS [7]. Avec les débits d'air de 31.3 et 70 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup> les temps du séchage sont supérieurs à 12 heures. Par contre, en utilisant le débit de 70 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup> les réductions sont très intéressantes dans le cas du capteur muni d'obstacles TL (Fig. 8). Cela dit, le temps du séchage au niveau de la 1<sup>ère</sup> claie est ramené à 10 heures, correspondant à l'humidité finale de 0.35 kg eau / kg MS.

La température de l'air du séchage recommandée ne devrait pas dépasser 55 °C pour l'**oignon jaune** et 50 °C pour le hareng. Au-delà la température de 71 °C, nous observons des taches de roussissement de l'oignon (signe de brûlure). D'autre part, le **hareng** commence à rôtir à la température de 60 °C. Pour sécher dans des conditions idéales avec les températures recommandées deux solutions peuvent être envisagées en installant soit:

- un indicateur de température à l'entrée de l'armoire de séchage et travailler un débit d'air élevé si nécessaire. Rappelons cependant que, si cette augmentation de débit devient indispensable en milieu de journée, elle ne le serait pas pour des soleils moins hauts et plus obliques par rapport au capteur en début ou en fin de la même journée.
- un régulateur de température de l'air du séchage avec une valeur maximale fixée suivant le produit considéré. Dans ce cas, seules les quantités de la chaleur nécessaires pour le séchage peuvent pénétrer dans l'armoire.

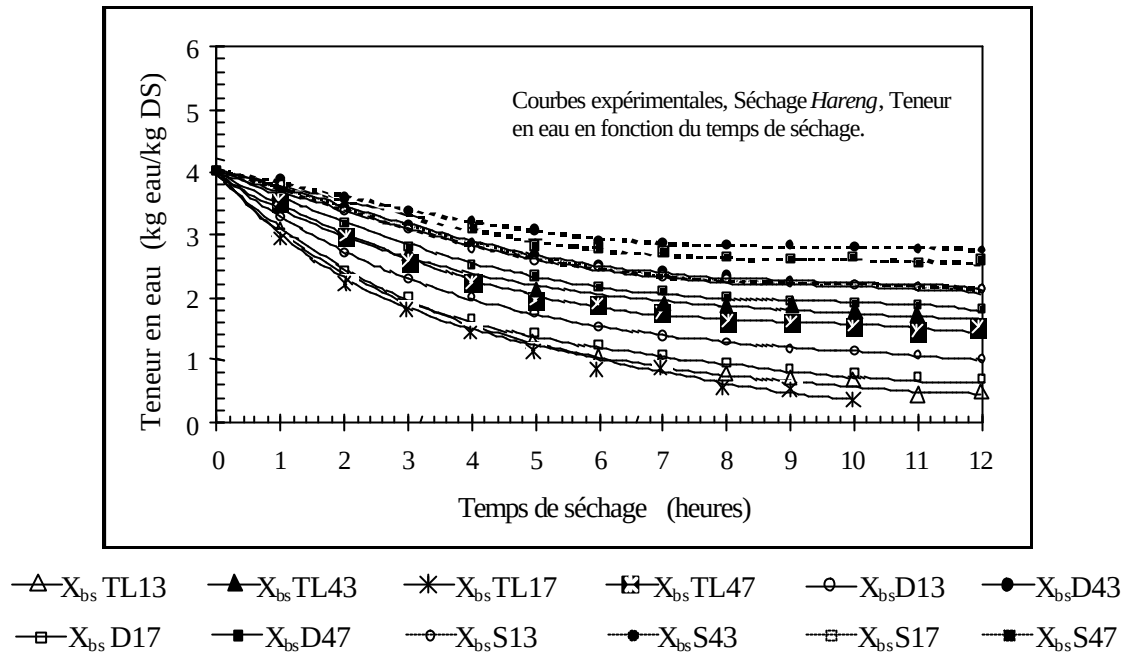


Fig. 8: Variation de la teneur en eau en fonction du temps de séchage, (*hareng*), débits 31.3 and 70 m<sup>3</sup>/h.m<sup>2</sup>, capteur SC et capteur muni d'obstacles DCL puis TL.

## 5. CONCLUSION

Cette étude a montré que l'usage des chicanes dans la veine dynamique d'un capteur solaire plan demeure un moyen efficace pour l'amélioration de ses performances. L'ensemble des résultats présentés montre bien la nette amélioration apportée par l'utilisation des obstacles TL et DCL. Les quantités de chaleur récupérée par l'air en léchant l'absorbeur dépendent des bonnes performances du capteur [7]. Cependant, le respect de la température idéale de l'air de séchage est indispensable pour prendre en considération quelques contraintes (qualité, saveur, couleur et valeur alimentaire) imposées par le produit fini. Par conséquent, à l'entrée de l'armoire la température de séchage doit être limitée à la valeur maximale exigée par le produit fini.

Dans le sud de l'Algérie, le climat étant ensoleillé et très chaud (surtout en été), cependant, les températures de sortie de notre capteur plan muni d'obstacles peuvent atteindre la valeur de 100 °C à midi solaire. Les grandes quantités de chaleur obtenues peuvent être utilisées selon les besoins ou stockées pour les réutiliser en hivers.

Cette étude pourra être appliquée pour les installations de la compagnie Sonatrach ou Sonelgaz (chauffages centrales et chauffage du gaz de combustion des turbines).

## NOMENCLATURE

|          |                                                               |
|----------|---------------------------------------------------------------|
| $A_C$    | Surface de l'absorbeur (m <sup>2</sup> )                      |
| $b'$     | coefficient de blocage de la veine dynamique                  |
| $C_{pf}$ | chaleur massique de l'air (J/Kg.K).                           |
| $d$      | distance entre l'absorbeur et la couverture ou l'insolant (m) |
| $D_h$    | diamètre hydraulique (m)                                      |



|            |                                                                            |
|------------|----------------------------------------------------------------------------|
| $h_{ccf}$  | coefficient d'échange thermique par convection                             |
| $I_G$      | flux solaire horaire global ( $W/m^2$ )                                    |
| $l$        | largeur de la veine dynamique du capteur (m)                               |
| $P_0$      | pression standard au niveau de la mer ( $1.013 \cdot 10^5$ Pascal à 288 K) |
| $P(Z)$     | pression à l'altitude $Z$ (kms)                                            |
| $Q_u$      | quantité de chaleur à la sortie du capteur (watts)                         |
| $Q_{mf}$   | débit massique de l'air ( $Kg/h$ )                                         |
| $Q_{Va}$   | débit de l'air ( $m^3/h$ )                                                 |
| $Q_V$      | débit de l'air par unité de surface de l'absorbeur ( $m^3/h.m^2$ )         |
| $S_{min}$  | surface minimale de passage d'air ( $m^2$ )                                |
| $T_e, T_s$ | température entrée et sortie du capteur (K)                                |
| $T_{SV}$   | température de sortie du ventilateur (K)                                   |
| $V_m$      | vitesse maximale d'écoulement de l'air (m/s)                               |

### symboles Grecs

|                 |                                                                                    |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| $\eta$          | rendement du capteur (%)                                                           |
| $\eta_{TL}$     | rendement du capteur muni de chicanes TL                                           |
| $\eta_{DCL}$    | rendement du capteur muni de chicanes DCL                                          |
| $\eta_{OCL}$    | rendement du capteur muni de chicanes OCL                                          |
| $\eta_{SC}$     | rendement du capteur sans chicanes                                                 |
| $\nu$           | viscosité cinématique de l'air ( $m^2/s$ )                                         |
| $\rho_0$        | masse volumique de l'air ( $1.293 \text{ Kg}/m^3$ ) correspondant à $P_0$ .        |
| $\rho_f$        | masse volumique de l'air à l'altitude ( $Z$ ) de l'endroit considéré ( $Kg/m^3$ ). |
| $\Delta P_{TL}$ | Pertes de charge du capteur muni de chicanes TL                                    |
| $\Delta P_S$    | Pertes de charge du capteur sans chicanes                                          |

### Notations

|               |                                                                                                  |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DCL           | Delta Cintrées Longitudinalement                                                                 |
| OCL           | Ogives Cintrées Longitudinalement                                                                |
| SC            | Sans Chicanes                                                                                    |
| TL            | Transversales – Longitudinales                                                                   |
| MS            | Masse Sèche                                                                                      |
| $X_{bs} S17$  | teneur en eau à base sèche, capteur SC, 1 <sup>ère</sup> claie, $Q_V = 70 \text{ m}^3/h.m^2$     |
| $X_{bs} D13$  | teneur en eau à base sèche, chicanes DCL, 1 <sup>ère</sup> claie, $Q_V = 31.3 \text{ m}^3/h.m^2$ |
| $X_{bs} TL43$ | teneur en eau à base sèche, chicanes TL, 4 <sup>ème</sup> claie, $Q_V = 31.3 \text{ m}^3/h.m^2$  |

## REFERENCES

- [1] S. Ouard, "Optimisation des formes et disposition des obstacles dans la veine mobile du capteur solaire avec deux couches en vu de maximiser le couple Rendement-Ecart de température", Thèse Université de Valenciennes, France, 1989.
- [2] R. Ben Slama, "Contribution pour l'étude et développement des pompes et capteurs solaires", Thèse Université de Valenciennes, France, 1987.

- [3] P. Gbaha, *‘Etude de l’optimisation de l’échange thermique et performances du capteur solaire plan avec deux veines dynamiques’*, Thèse Université de Valenciennes, France, 1989.
- [4] A. Hachemi, *‘Contribution pour l’optimisation des performances thermiques du capteur solaire muni de rangées d’obstacles, amélioration du rendement par interaction entre radiation et convection’*, Thèse Université de Valenciennes, France, 1992.
- [5] C. Choudhury and H. P Gary, *‘Performance of air heating collectors with packed air flow passage’*, Solar Energy, 50 (1993) 205-221.
- [6] N. Moummi, *‘Prévention systématique et optimisation des performances du capteur solaire plan dans divers sites Méditerranéens ou sahariens avec ou sans altitudes’*, Thèse Université de Valenciennes, France, 1994.
- [7] A. Ahmed-Zaid, *‘Optimisation des capteurs solaires plans à air. Application pour le Séchage de Produits Agricoles et de la Pêche’*, Thèse Université de Valenciennes, France, 1999.
- [8] Météo-France, Direction Régionale, Villeneuve d’Ascq, Lille, France, 1996.
- [9] H. Messaoudi, A. Ahmed-Zaid et M. Le Ray, *‘Le rôle de la géométrie dans l’amélioration ou diminution de l’échange thermique turbulent dans les capteurs solaires plans’*, 3<sup>èmes</sup> Congrès de mécanique, Compagnie Marocaine des Sciences Mécaniques et Université Abdelmalek Essaadi, 1997, V1, pp 637-644.
- [10] H. Messaoudi, *‘Structures tourbillonnaires induites par des obstacles triangulaires complexes et interactions Ailes Delta minces-Corps de Révolution. Application des Angles Privilégiés, en Aérodynamique et Energétique’*, Thèse Université de Valenciennes, France, 1996.
- [11] T. Letz, *‘Modélisation et dimensionnement économique d’un système de chauffage domestique bi-énergie’*, Thèse INSA Lyon, 1985.