



# Comportement thermique du canal d'un capteur a air horizontal sous l'effet du rayonnement solaire

S. Kherrou<sup>#1</sup>, A. Bouhjar<sup>\*2</sup>, A. Boualit<sup>#3</sup>, S. HANINI<sup>\*\*4</sup>, K. Kaci<sup>\*5</sup>, R. Zarrit<sup>#6</sup>

<sup>#</sup>Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement  
des Energies Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaïa, Algeria

<sup>1</sup>s\_kherrou@yahoo.fr

<sup>3</sup>hboualit@uraer.dz

<sup>6</sup>r.zarrit@yahoo.fr

<sup>\*</sup>Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 16340, Algiers, Algeria

<sup>2</sup>a.bouhdjar@cder.dz

<sup>5</sup>KKACI2001@yahoo.fr

<sup>\*\*</sup>LBMPT, Medea University, Street Ain d'Heb, 26000, Algeria

<sup>4</sup>s\_hanini2002@yahoo.fr

**Résumé**— L'objectif de ce travail consiste en l'étude de l'effet de l'intensité du rayonnement solaire incident sur le comportement thermique du canal de ce séchoir. Pour simplifier le travail relativement à une suite simulation d'un système de régulation, l'air traversant le canal avec un débit correspond à un nombre de Reynolds moyen et a une température constants.

Pour cela un modèle mathématique à été développé en utilisant la méthode des éléments finis pour évaluer le comportement thermique le long du séchoir pendant tout la période d'ensoleillement.

Sachant que lorsque le rayonnement incident sur la paroi supérieure du séchoir augmente, provoquant ainsi une élévation très importante de la température de l'air à l'intérieur du séchoir. Ceci peut influencer négativement sur le produit à sécher.

Pour la régulation des températures, on peut ajouter à notre séchoir solaire dans un prochain travail des injections, un processus de régulation convient avec l'intensité du rayonnement solaire.

**Mots clés:** séchage solaire; méthode des éléments finis; Nombre de Reynolds; champ de température; champ de vitesse

des séchoirs solaires indirects à convection forcée. C'est un capteur à air de longueur de huit mètre constitué d'un vitrage et un absorbeur montés sur une surface isolante. L'air passe entre l'absorbeur et la surface isolante.

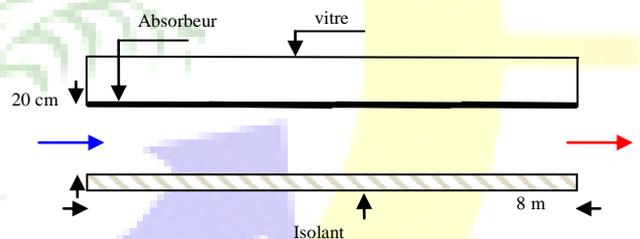


Fig. 1 Séchoir solaire longitudinal.

## I. INTRODUCTION

Dans les pays en voie de développement, dont le degré d'ensoleillement est considéré très important tout au long de l'année, le séchage par le biais de l'énergie solaire est une alternative raisonnable. Mais la variation de l'intensité du rayonnement solaire et la discontinuité du fonctionnement des séchoirs solaires présente l'inconvénient majeur d'entraîner un coût énergétique supplémentaire le long de la période du séchage.

Pour exprimer le phénomène de transfert de chaleur dans le canal du séchage afin de pouvoir remédier au problème traiter et bénéficier de toute la période de l'ensoleillement de la journée, nous avons opté à réaliser une étude sur un séchoir solaire longitudinal. Le séchoir étudié entre dans la catégorie

## II. HYPOTHESES SIMPLIFICATRICES

Pour simplifier le travail demandé, les hypothèses suivantes sont prises en compte :

- L'étude est effectuée uniquement pour le canal du séchoir solaire.
- Le seul apport de chaleur sur le fluide est celui du rayonnement solaire incident sur la surface de l'absorbeur.
- Les pertes de chaleur par convection et celles par conduction vers les éléments au-dessus de l'absorbeur seront négligés devant les pertes par rayonnement.
- Le fond du capteur est un isolant parfait.



### III. MODÈLE MATHÉMATIQUE

#### A. Conditions aux limites :

Dans ce travail, on a considéré des conditions aux limites spécifiques et représentatives de l'aspect physique considéré.

Pour l'analyse de l'établissement d'un régime hydrodynamique, on a imposé :

- Une condition de non glissement aux parois solides ;
- Vitesse constante à l'entrée ;
- Profil de vitesse établi à la sortie pour éviter les perturbations du calcul.

Tandis que pour l'établissement d'un régime thermique, on a considéré :

- Un flux variable à la paroi solide et cette variation est spatiotemporelle ;
- Température constante à l'entrée ;
- Profil de température établi à la sortie.

#### B. Formulation adimensionnelle :

En guise de généralisation, les équations évoquées précédemment sont ramenées à une forme adimensionnelle en considérant les échelles de longueur ( $L$ ), de vitesse ( $U$ ) (vitesse moyenne débitante à l'entrée) et de température  $\Delta T = (T_p - T_c)$  ou bien  $q R$ , suivant le cas traité.

Les équations gouvernant le problème s'écrivent alors :

$$\frac{\partial u^*}{\partial x^*} + \frac{\partial v^*}{\partial y^*} = 0 \quad (3)$$

$$Re \left( u^* \frac{\partial u^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial u^*}{\partial y^*} \right) = - \frac{\partial P^*}{\partial x^*} + \frac{\partial}{\partial x^*} \left( 2 \frac{\partial u^*}{\partial x^*} \right) + \frac{\partial}{\partial y^*} \left( \frac{\partial u^*}{\partial y^*} + \frac{\partial v^*}{\partial x^*} \right) \quad (3)$$

$$Re \left( u^* \frac{\partial v^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial v^*}{\partial y^*} \right) = - \frac{\partial P^*}{\partial y^*} + \frac{\partial}{\partial x^*} \left( \frac{\partial u^*}{\partial y^*} + \frac{\partial v^*}{\partial x^*} \right) + \frac{\partial}{\partial y^*} \left( 2 \frac{\partial v^*}{\partial y^*} \right) \quad (3)$$

$$Pe \left( u^* \frac{\partial \theta^*}{\partial x^*} + v^* \frac{\partial \theta^*}{\partial y^*} \right) = \frac{\partial}{\partial x^*} \left( \frac{\partial \theta^*}{\partial x^*} \right) + \frac{\partial}{\partial y^*} \left( \frac{\partial \theta^*}{\partial y^*} \right) \quad (3)$$

Les variables adimensionnelles associées sont :

$$u^* = \frac{u}{u_m}, v^* = \frac{v}{v_m}, x^* = \frac{x}{H}, y^* = \frac{y}{H}$$

$$P^* = P / \left( \mu \frac{u_m}{H} \right) \quad \text{[pression adimensionnelle]}$$

$$Pr = \frac{C_p \mu}{K} \quad \text{[nombre de Prandtl]}$$

$$Re = \frac{\rho u_m H}{\mu} \quad \text{[nombre de Reynolds]}$$

$$Pe = Pr Re = \frac{u_m H}{K} \quad \text{[nombre de Peclet]}$$

Pour le cas de la température :

$$\theta = (T - T_c) / \left( q_{ref} \frac{R}{K} \right)$$

#### C. Méthode numérique :

Plusieurs méthodes numériques offrent la possibilité de résoudre le système d'équations aux dérivées partielles. Ces méthodes dont on cite la méthode des différences finies [1-5], aux volumes finis [6,7], aux éléments finis [8-12]..., permettent la transformation du système d'EDP ou de sa forme intégrale en un système d'équations algébriques, dont la résolution aboutit à une reconstruction de la forme de la solution.

Dans notre travail, on a adopté la méthode aux éléments finis qui se résume aux étapes suivantes :

- Subdivision du domaine physique en un nombre d'éléments ;
- Réécriture du système d'EDP sous une forme intégrale par l'introduction de la méthode des résidus pondérés ;
- Approximation simple des variables inconnues à fin de permettre le passage du système d'EDP mis sous forme intégrale à un système d'équations algébriques ;
- Résolution numérique du système d'équations algébriques.

### IV. INTERPRETATION DES RESULTATS

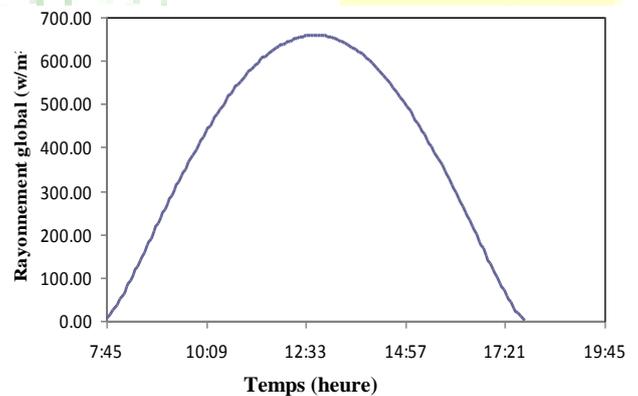


Fig. 2 Variation du rayonnement global sur un plan horizontal à Ghardaïa le 08 janvier 2012.

La figure 2 montre l'évolution de l'ensoleillement mesuré à Ghardaïa le 08 janv 2012. Ces valeurs sont obtenues à partir d'une station météorologique appelée SunTracker de grande précision [13]:

L'interprétation des résultats sera répartie en quatre périodes selon l'intensité du rayonnement solaire incident sur la surface du séchoir, le début d'ensoleillement, la courbe ascendante jusqu'à la valeur maximum qui atteint les 650 w/m², la courbe descendante et la fin de la journée.

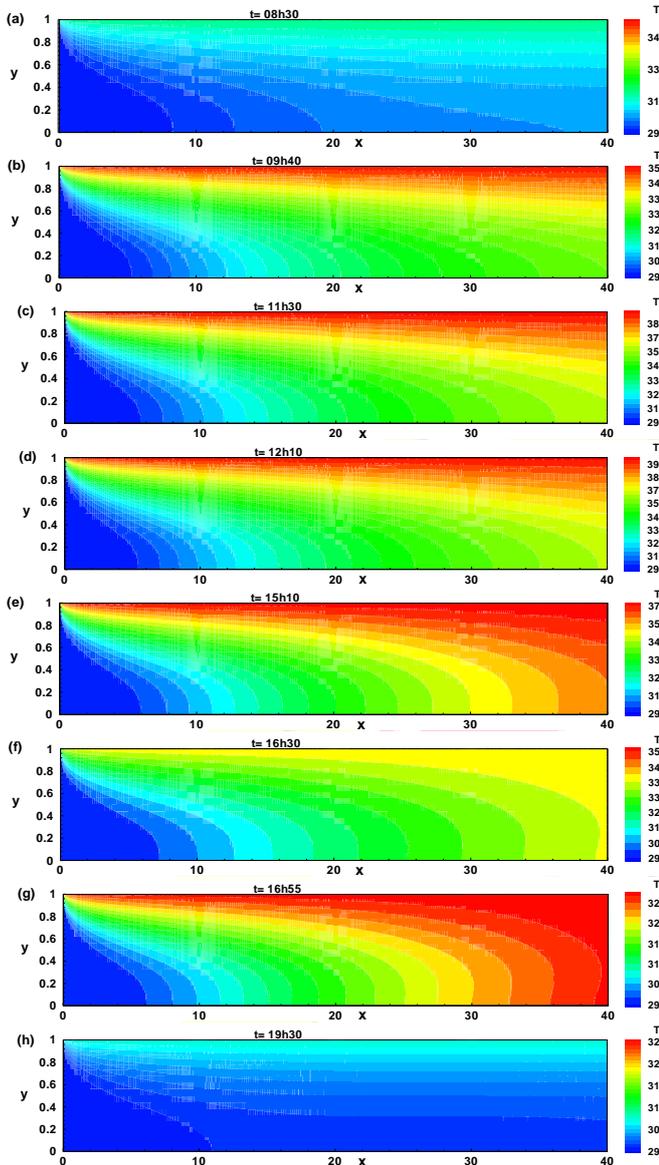


Fig. 3 Variation de la température du fluide dans le canal du séchoir le 08 janvier 2012.

1. Début d'ensoleillement (7h50') jusqu'à 9h50'.

Cette période de la journée est caractérisée par un faible rayonnement, insuffisant à un amorçage rapide du processus de séchage. Donc cette période nécessite un système pour accélérer le chauffage. Figures (3a, 3b).

2. De 09h50 jusqu'à 12h10.

Avec le temps, le rayonnement incident sur la paroi supérieure du séchoir augmente provoquant ainsi une élévation très importante de la température de l'air à l'intérieur du séchoir avec un seuil de 360 K. Ceci peut influencer négativement sur le produit à sécher. Figure (3c, 3d).

3. De 12h10' jusqu'à 16h30'.

Cette durée d'exploitation est caractérisée par la diminution du rayonnement incident sur l'absorbeur du séchoir solaire. La température à la sortie du capteur s'est abaissée de 370 K à 338 K en espace de 3 heures. Malgré ce fait, les profils de températures obtenus se situent hors la gamme désirée de température répondant aux exigences du séchage. Figure (3e, 3f)

4. De 16h30' jusqu'au fin du processus.

A partir de 16h30', le rayonnement solaire s'affaiblit à un point qui rend impératif l'arrêt du processus de séchage comme le montre les figures 3g, 3h.

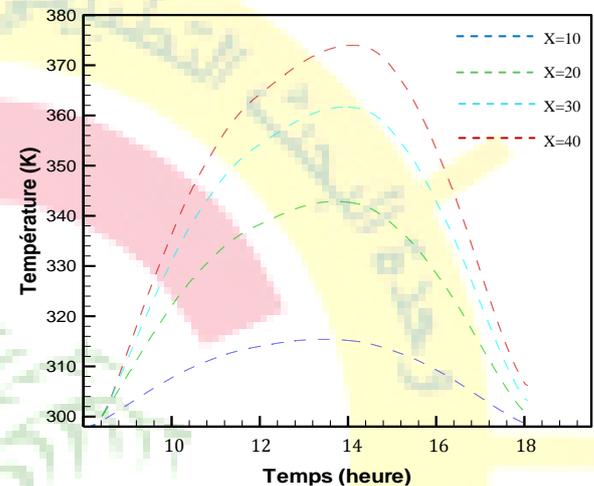


Fig. 4 Evolution de la température en fonction du temps pour les positions :  $x=10, x=20, x=30, x=40$

L'évolution temporelle de la température du fluide au niveau des points (10, 20, 30, 40) est donnée pour toute la période de séchage par la figure 4. Il est noté que pour un écoulement sans régulation les températures évoluent dans un intervalle très important hors la gamme de séchage voulue, elles dépassent les 100 °C à la sortie du canal.

V. CONCLUSION :

Notre objectif principal était de développer un modèle mathématique pour décrire les transferts de chaleur dans le canal d'un séchoir longitudinal. Selon l'intensité du rayonnement solaire on peut proposer une série de méthode de régulation :

Au début de la journée, lorsque le rayonnement est faible, on peut procéder à varier le débit de ventilation à l'entrée du capteur de  $Re=25$  à  $Re=85$ .

La nécessité d'avoir un profil de température dans une plage de valeurs limitées, quand le rayonnement devient plus important, nous contraindra d'atténuer cette élévation par des processus de régulation.



# Le 3<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

## The 3<sup>rd</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 13 et 14 Octobre 2014



L'énergie thermique évacuée du séchoir pendant la période ensoleillée peut être utilisée pendant la période nocturne en annexant au séchoir solaire un système de stockage thermique pour assurer la continuité du processus de séchage.

### NOMENCLATURE

#### Symboles Désignations

H	Longueur caractéristique du domaine physique	m
K	Diffusivité thermique	m <sup>2</sup> .s <sup>-1</sup>
P	Pression	pa
q	Flux de chaleur	W.m <sup>-2</sup>
R	Longueur caractéristique du domaine physique	m
T	Température	°C
t	Temps	s
u	Vitesse longitudinale	m.s <sup>-1</sup>
v	Vitesse transversal	m.s <sup>-1</sup>
x	Coordonnée longitudinal	m
y	Coordonnée transversale	m

#### Symboles Grecs

$\theta$	Température adimensionnelle	
$\mu$	Viscosité dynamiques	Pa.s
$\rho$	La densité	Kg.m <sup>-3</sup>

#### Indices

e	Entrée
p	Parois
m	Moyenne

### REFERENCES

- [1] Forsythe, G.E., Wasow, W.R., *Finite difference methods for partial differential equations*. John Wiley and Sons, New York, 1960.
- [2] Ozisik, M. N., *Finite Difference Methods in Heat Transfer*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1994.
- [3] Richtmyer, R.D., Morton, K.W., *Difference methods for initial value problems*. Wiley, New York, 1967.
- [4] Smith, G.D., *Numerical solution of partial differential equations finite difference methods*. 3rd edn, Clarendon Press, Oxford, 1985.
- [5] Strikwerda, J.C., *Finite difference methods for the incompressible Navier-Stokes equations – A survey*. MRC Tech. Summary Rept. 2584, Math. Res. Ctr., University of Wisconsin, 1983.
- [6] Patankar, S.V., *Numerical heat transfer and fluid flow*. McGraw-Hill, New York, 1980.
- [7] Versteeg, H.K., Malalasekera, W., *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*. Addison-Wesley, 1996.
- [8] Baker, A.J., *Finite element computational fluid mechanics*. McGraw-Hill, New York, 1983.
- [9] Chung, T.J., *Finite element analysis in fluid dynamics*. McGraw-Hill, New York, 1978.
- [10] Comini, G., Del Giudice, S., Nonino, C., *Finite Element Analysis in Heat Transfer*. Taylor & Francis, Washington, DC, 1994.
- [11] Girault, V., Raviart, P.-A., *Finite element methods for Navier-stokes equations*. Springer, Berlin, 1986.
- [12] Zienkiewicz, O.C., *The finite element method*, McGraw-Hill, New York, 1977.
- [13] Gairaa K., Benkacali S., *Modélisation numérique des irradiations globale et diffuse au site de Ghardaïa*. *Revue des Energies Renouvelables Vol. 11 N°1*, p 129 – 136, 2008.