

Etude d'un système de captation-stockage de l'énergie solaire thermique

Si chaib amel^{#1}, Aliane Khaled^{*2}, Sari Hassoun Zakaria^{#3}

[#] Laboratoire MECACOMP, Université d'Aboubekr Bekaid Tlemcen
Université de Tlemcen, Bp 230 Chetouane Tlemcen

¹sichaibamel13@yahoo.fr

³sarihassounz@yahoo.fr

^{*} Laboratoire MECACOMP, Université d'Aboubekr Bekaid Tlemcen
Université de Tlemcen, Bp 230 Chetouane Tlemcen

²Kh_aliane@yahoo.fr

Résumé— Les L'utilisation de l'énergie solaire fait appel à plusieurs mécanismes de transformation suivant le principe de la chaîne énergétique : Le captage, dispositif qui permet à récupérer l'énergie de la source sous une forme exploitable La transformation, permet de produire le type d'énergie attendue (électricité, chaleur, ...). Cette étape n'est pas réalisée dans le cas d'une utilisation directe de l'énergie captée (pompes à chaleur, moulins à vent mécaniques) ;

Le transport, qui achemine l'énergie de la source à l'usage, le dispositif de production n'étant pas toujours situé à proximité ;

Le stockage, qui permet de compenser les fluctuations de la production, car l'énergie produite n'est pas disponible à la demande.

Nous avons synthétisé et développé une méthodologie qui permet l'étude de la captation et du stockage de l'énergie solaire thermique par le biais d'un capteur solaire plan à air (captation) et par le biais du mur Trombe (stockage).

Mots clés— Écoulement turbulent, Transfert thermique, méthodes des volumes finis, capteur solaire, Mur Trombe.

I. INTRODUCTION

Les capteurs plans à air sont les éléments chargés de capter l'énergie solaire (radiante) en la transformant en énergie thermique. Il joue aussi le rôle d'échangeur en cédant cette énergie captée au fluide caloporteur (air) qui les traverse. Les usages sont multiples ; à savoir ; le chauffage des locaux, le séchage, etc.

L'un des obstacles majeurs qui entrave actuellement le développement de la conversion thermo-solaire est l'insuffisante connaissance du fonctionnement des divers types de stockage de celle-ci et en particulier les stockages en mur Trombe.

La forme de l'absorbeur influence largement le rendement du capteur.

De ce fait, des chercheurs ont proposé d'augmenter le transfert thermique entre l'absorbeur et le fluide caloporteur

(sans toucher les dimensions du capteur) par l'ajout des obstacles (ailettes) jointes à la face inférieure de l'absorbeur, A. Abene et al (2004) [1], Ho-Ming yeh Chii-Dong Ho (2009) [2], «Bourhaleb.H» (1987) [3], S. youcef-Ali (2005) [4], (N. Moumami et al (2004) [5], Hikmet Esen (2008) [6], A. Ucar et M. Inalli (2006) [7], et, selon ces auteurs, les obstacles peuvent augmenter la surface d'échange, réduire les zones mortes et créer la turbulence.

«Bourhaleb.H» (1987) [3], et aussi A. Abene et al (2004) [1], ont montré que la forme, les dimensions, l'orientation et la disposition de ces obstacles influents considérablement sur l'efficacité du capteur.

II. PROBLEMATIQUE

Dans ce travail, en à étudié une chaîne énergétique principalement réservé à l'étude de la production de l'énergie au niveau du capteur, et au stockage de cette énergie, en commençant par l'étude le stockage de la chaleur du type « Mur Trombe » en reportant les mêmes propriétés thermo physiques des matériaux constituant ce mur Trombe utilisent par Catalin Grigoras et al [8]. Dans un deuxième lieu, on étudie la simulation de l'écoulement d'où au sein de capteur solaire avec chicanes triangulaires.

* Etude de stockage type « mur Trombe » :

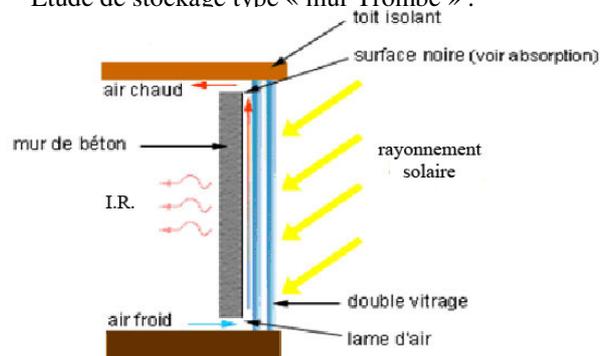


Fig.1 Schéma représente la géométrie étudiée.

* Etude de l'écoulement dans le capteur solaire avec chicanes triangulaires :

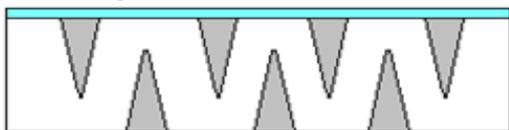


Fig.2 Schéma représente la géométrie étudiée.

A. Système d'équation

Pour formuler un phénomène physique, on utilise souvent des équations mathématiques. Ces dernières représentent une modélisation de ce phénomène.

1) Conservation de la masse

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

2) Conservation de la quantité de mouvement

• Conservation de la quantité de mouvement suivant la direction axiale

$$\rho u \frac{\partial u}{\partial x} + \rho v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu + \mu_t) \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \quad (2)$$

• Conservation de la quantité de mouvement suivant la direction radiale

$$\rho u \frac{\partial v}{\partial x} + \rho v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[(\mu + \mu_t) \left(2 \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] \quad (3)$$

3) Conservation d'énergie

• Conservation dans le fluide

$$\rho u \frac{\partial T}{\partial x} + \rho v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_t} \right) \frac{\partial T}{\partial y} \right] \quad (4)$$

• Conservation dans la paroi

$$\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = 0 \quad (5)$$

4) Modèle de turbulence k - ε

• Energie cinétique turbulente k

$$\rho u \frac{\partial k}{\partial x} + \rho v \frac{\partial k}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right] + P_k - \rho C_{\epsilon 2} f_2 \epsilon \quad (6)$$

• Energie de dissipation ε

$$\rho u \frac{\partial \epsilon}{\partial x} + \rho v \frac{\partial \epsilon}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial y} \right] + (C_{\epsilon 1} f_1 P_k - \rho C_{\epsilon 2} f_2 \epsilon) \quad (7)$$

P_k : Représente le terme de production d'énergie cinétique.

$$P_k = \mu_t \left[2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right)^2 \right] \quad (8)$$

La viscosité turbulente est obtenue en combinant k et ε comme suit:

$$\mu_t = f_\mu \rho C_\mu \quad (9)$$

Les constantes empiriques du modèle de turbulence k-ε standard sont :

$$C_\mu = 0.09, C_{\epsilon 1} = 1.44, C_{\epsilon 2} = 1.44, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3, \sigma_\zeta = 0.9 \text{ Et } f_1 = f_2 = f_\mu = 1.0.$$

B. Etude de l'écoulement

1) Etude de stockage type « Mur Trombe »

L'ensemble de la paroi comporte une lame d'air intercalée entre les matériaux de structure. Cette lame d'air forme un circuit aérien distinct, avec une entrée d'air froid venant de bas et l'autre pour la sortie d'air chaud venant de haut et les deux sont de l'intérieur de la pièce.

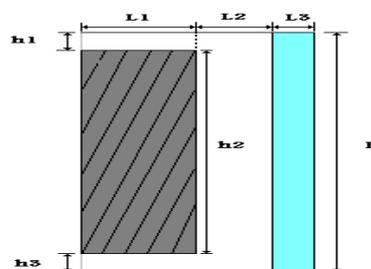


Fig.3 Schéma représente la géométrie étudiée.

- a) le mur porteur (béton chanvre): L1=16 cm;
- b) le canal d'air chaud, film de circuit et permettant de préchauffer l'air de renouvellement: L2=10 cm;
- c) l'entrée de l'air froid: h3=6 cm;
- e) la sortie de l'air chaud: h1=6 cm;
- f) la vitre: L3=6 cm.
- g) la hauteur du mur : h2=1 m ;
- h) la hauteur du vitre : H=1.12m.

2) Etude de l'écoulement dans le capteur avec chicanes triangulaires

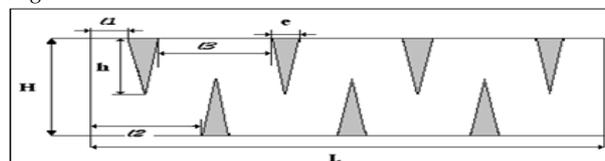


Fig.4 La géométrie étudiée.

Le problème consiste comme cité auparavant à l'analyse et l'étude du comportement d'un écoulement d'air en convection forcée turbulente passant dans un canal rectangulaire de longueur L muni d'ailettes et de chicanes transversales.

Les dimensions de ce type de capteur sont comme suit :

- La hauteur des chicanes : h= 0.06 m.
- La hauteur d'absorbeur : H=0.08 m.
- L'espace entre l'entrée et la chicane supérieure : l1= 0.025 m.
- L'espace entre l'entrée et la première chicane inférieure : l2= 0.055 m.
- L'espace entre les deux chicanes : l3= 0.05 m.
- L'espace entre la chicane inférieure et la sortie : l1= 0.025 m.
- L'épaisseur des chicanes : echi= 0.01m.

C. conditions aux limites

1) Etude de stockage de type « Mur Trombe »

La température de l'intérieur : $T_i = 278K$.
 La température de l'extérieur avec un rayonnement solaire : $T_e = 303K$.

- Entrée : $T_e = 278 K$ $V_e = 0.1 m/s$ - Haut : $T = 300 K$
 - Sortie : $T_s = 295 K$ $P_s = 1 atm$ - Bas : $Q = 0W/m^2$.

2) Le cas où le mur est sans isolation, dans ce cas un flux constant et imposé au mur.

La température de l'intérieur : $T_i = 278K$.

La température de l'extérieur avec un rayonnement solaire : $T_e = 303K$.

- Entrée : $T_e = 278 K$ $V_e = 0.1 m/s$ - Haut : $Q = 650W/m^2$.
 - Sortie : $T_s = 295 K$ $P_s = 1 atm$
 - Bas : $T = 300K$.

III. RESULTATS ET INTERPRETATIONS

La simulation et l'interprétation des résultats numériques obtenus dans les configurations étudiées. On présente la validation avec les travaux de la bibliographie.

A. Validation des résultats

Les résultats de la simulation numérique ont été validés avec les travaux de CATALIN GRIGORAS et al [8]. Ces résultats sont donnés par la figure 5. La figure montre une bonne concordance entre nos résultats et les résultats de CATALI

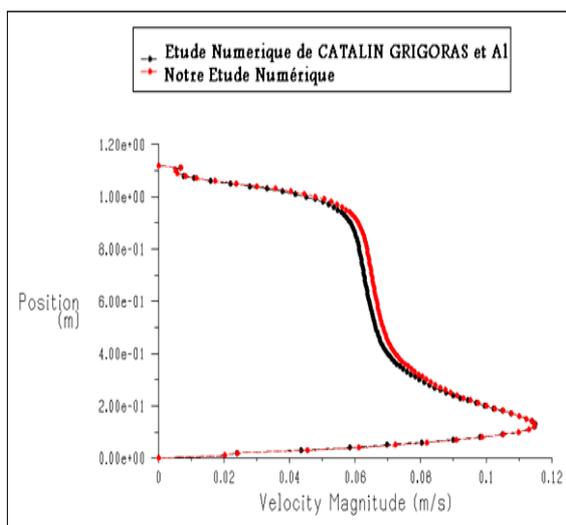


Fig.5 : Comparaison des résultats.

La comparaison entre nos résultats numériques et ceux de « Bourhaleb H ». [3], est présentée sur la figure 5, pour une position axiale $x=0,135m$, les courbes montrent une bonne concordance entre les vitesses axiales

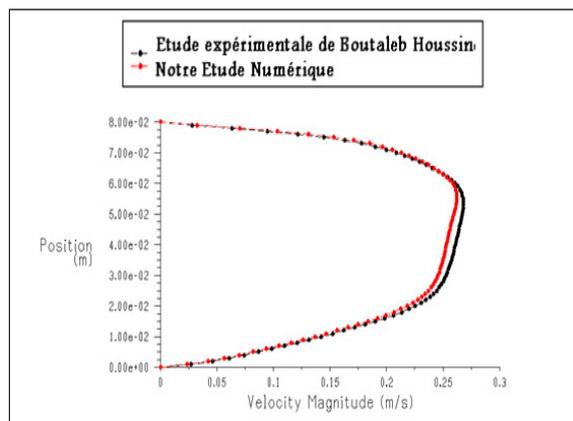


Fig.6 : Validation de la simulation numérique avec les résultats expérimentaux de Bourhaleb Houssin. [3].

B. Discussion

1) Etude de stockage de type « Mur Trombe »

- Champ de vitesse

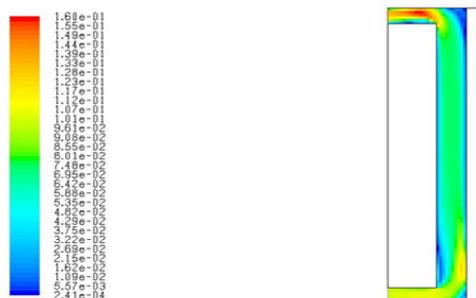


Fig.7 Contour de vitesse.

Les résultats Numériques montrent que les valeurs de vitesse sont très faibles au voisinage de vitre et le mur (en béton), surtout dans les volumes morts et dans les régions situées au milieu d'écoulement d'air, et puis augmente à la sortie du film de circuit.

- Champ de Température



Fig.8 Contours de Température.

On observe que pour la section du film de circuit d'air froid, la température augmente au voisinage de la vitre jusqu'à la sortie du canal où, elle prend la valeur maximale ($T=343K$), se qui donne un très bon transfert thermique entre la vitre et l'air froid.

- *Profil de vitesse*

Le profil de vitesse est pour la section de la veine fluide au milieu du film de circuit ($X=0.24m$).

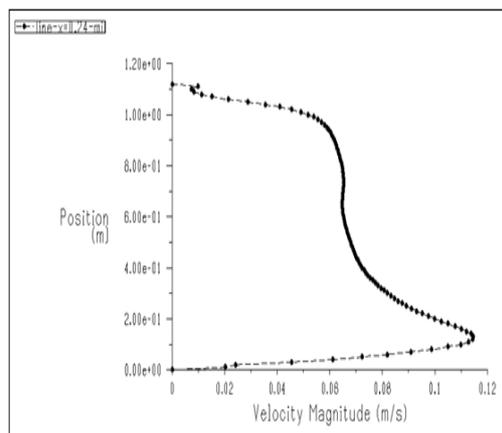


Fig. 9 Profil de la vitesse axiale au milieu $x=0.24m$.

On remarque que la vitesse diminuée au milieu du film de circuit où le réchauffement est plus important à cause du rayonnement.

- *Profil de Température*

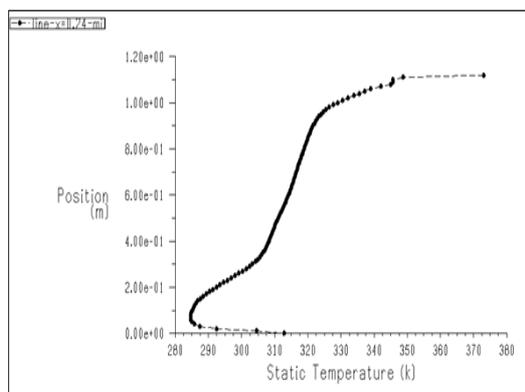


Fig. 10 Profil de la Température au milieu $x=0.24m$.

On observe que les sections les plus proches de vitre sont les mieux chauffées que les sections éloignées.

2) Etude de l'écoulement dans le capteur avec chicane triangulaires

- *Champ de vitesse*

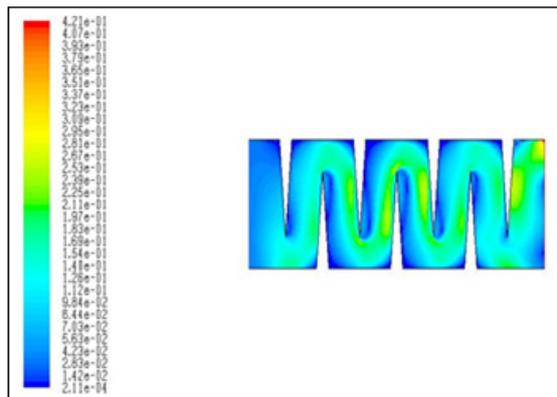


Fig.11 Contours de vitesse.

Nous pouvons remarquer une accélération de la vitesse entre l'espace paroi-chicanes, ceci est dû à la diminution de la section du passage du fluide. Dans la zone d'écoulement d'air, la vitesse prend des valeurs importantes 0.29m/s.

- *Champ de Température*

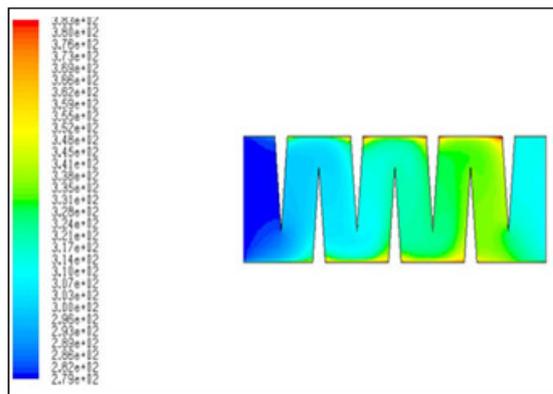


Fig.12 Contours de Température.

Les zones les plus chaudes sont localisées au voisinage des parois et aux extrémités des chicanes.

On constate aussi que les valeurs de température totale sont sensiblement élevées au voisinage des chicanes surtout dans les régions situées en aval des chicanes inférieures.

• *Profil de vitesse*

On trace les courbes de vitesse axiales pour les positions axiales : $x=0.105m$, $x=0.135m$.

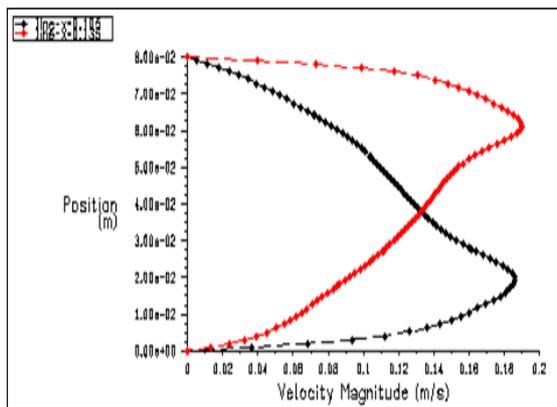


Fig. 13 Profils de la vitesse à $x=0.105m$ et $x=0.135m$.

L'écoulement en présence de chicane de formes triangulaire s'accélère de plus en plus de gauche vers la droite en augmentant la taille de la zone de recirculation.

• *Profil de Température*

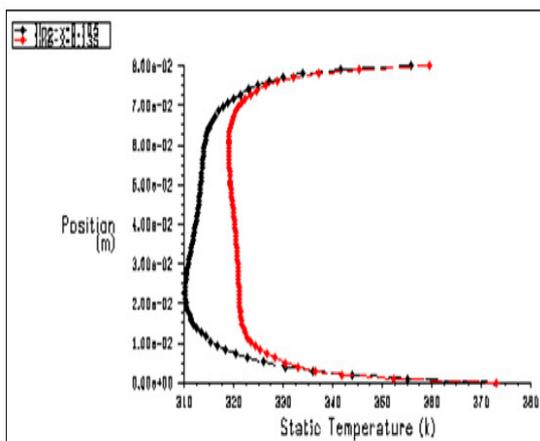


Fig. 14 Profils de la Température à $x=0.105m$ et $x=0.135m$.

On observe que la présence des chicanes induit une forte augmentation de la température surtout dans les points morts en amont et en aval de la dernière chicane, paradoxalement dans le milieu intérieur d'écoulement d'air, on constate des valeurs sensiblement faibles à cause de la vitesse de l'écoulement et surtout au voisinage du passage sous l'ailette.

IV. CONCLUSIONS

Nous avons abordé au cours de ce travail, en premier lieu, l'étude des champs dynamique et thermique dans un mur Trombe pour le stockage thermique de la chaleur, puis dans un deuxième lieu, la convection naturelle dans les capteurs solaires plans à air pour le cas de capteurs avec chicanes de formes triangulaires. Nous avons systématiquement procédé à des calculs numériques à l'aide d'un code de calcul «fluent». La simulation numérique est le but de comparer leur rendement dans les mêmes conditions.

D'après les résultats on a constaté ce qui suit:

- Etude de stockage de type « Mur Trombe »,
 D'après l'analyse des allures des graphes de la température totale et ceux de la vitesse axiale, on peut dire qu'il ya une proportionnalité inverse entre la vitesse axiale de l'air et sa température dans chaque section transversale.
- Etude de l'écoulement dans le capteur avec chicanes triangulaires,

Un vortex fort en aval de chaque chicane est observé. Cette perturbation est due à la séparation d'écoulement.

Loin de ces zones de recirculation, les lignes du courant deviennent parallèles ce qui se traduit par le développement progressif de l'écoulement.

D'après l'analyse des allures des graphes de la température totale et ceux de la vitesse axiale, on peut dire qu'il ya une proportionnalité inverse entre la vitesse axiale de l'air et sa température dans chaque section transversale.

REFERENCES

- [1] Abene A. Dubois V. Ouagued A. Si-Youcef M, « Etude expérimentale de capteur solaire a air, le séchage de la figue », *Technologies Avancées*, Numéro 17. Janvier 2005.
- [2] Ho-Ming Yeh, Chii-Dong Ho. «Effect of external recycle on the performances of flat-plate solar air heaters with internal fins attached». *Renewable Energy*, 34, pp. 1340-1347. 2009.
- [3] BOURHALEB Houssine. «Etude et expérimentation d'une chaîne énergétique solaire avec capteur à air, stockage thermique souterrain et récupération par pompe à chaleur», *Thèse de doctorat 3ème cycles en Énergétique*, Université HAINAVT Cambresis. 1987.
- [4] S.Youcef-Ali, «Study and optimization of the thermal performances of the offset rectangular plate fin absorber plates, with various glazing», *Renewable Energy*, 30, pp. 271-280. 2005.
- [5] N. Moumami, J.Y. Desmons, S. Youcef-Ali, A. Moumami, «Energy analysis of a solar air collector with rows of fins», *Renewable energy*, ISSN 0960-1481, N° 13. pp. 2053-2064, 2004.
- [6] Hikmet Esen. «Experimental energy and exergy analysis of a double-flow solar air heater having different obstacles on absorber plates». *Building and Environment*, 43, pp. 1046-1054. 2008.
- [7] A. Ucar, M. Inall. «Thermal and exergy analysis of solar air collectors with passive augmentation techniques». *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 33, pp. 1281-1290. 2006.
- [8] Catalin Grigoras, Theodor Matescu et Nelu-Cristian : « Analyse du comportement thermodynamique pour deux systèmes de chauffage solaire – murs échangeurs de chaleur », *Université Technique « Gheorghe Asachi »*, Iași, Faculté de Génie Civil et Services des Bâtiments, Roumanie, 2011.