

# Etude numérique de la performance d'un capteur hybride à double vitrage.

Sihem ABIDI <sup>1\*</sup>, Habib SAMMOUDA Habib<sup>1</sup>, Rachid BENNACER <sup>2</sup>

<sup>1</sup> LabEM, LR11ES34- Université de Sousse, Ecole Supérieure des Sciences et de Technologie, Rue Amin ElAbbassi, 4011 Hammam Sousse (Tunisie)

<sup>2</sup> ENS-Cachan, LMT, Dpt GC 61, Av. Président Wilson 94235 Cachan Cedex, France

\* (auteur correspondant : [abidi.sihem@hotmail.fr](mailto:abidi.sihem@hotmail.fr))

**Résumé** - Afin d'améliorer le rendement du capteur solaire à cellules PV, nous nous intéressons à récupérer la chaleur perdue par effet joule par l'ajout d'une vitre supplémentaire et par l'adjonction au capteur PV d'un échangeur. Cet échangeur est formé d'une cavité et d'un canal ouvert dont la paroi adjacente à la cavité est un absorbeur métallique. L'efficacité du système global a été étudiée en utilisant les paramètres caractéristiques,  $Ra$ ,  $Em$  et  $\lambda$ . On a mis en évidence que l'optimum en rendement du système doit aussi bien être électrique que thermique.

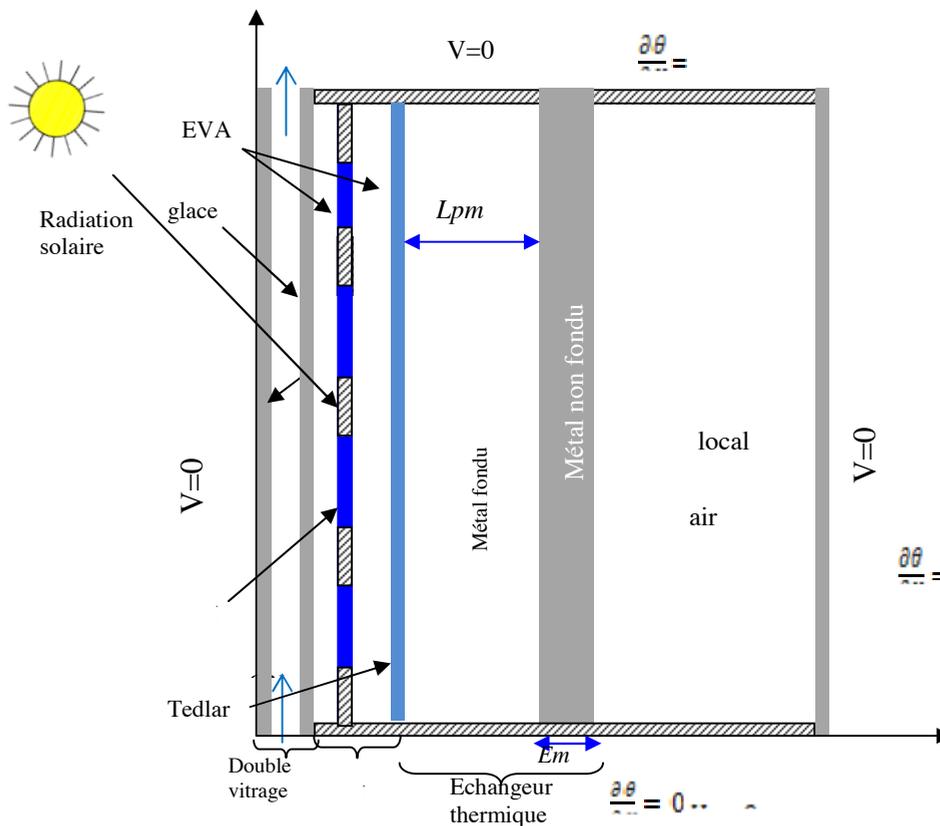


Figure 1 : Configuration géométrique

## Nomenclature

A	Rapport de forme du système global	<i>Symboles grecs</i>	
Bi	Nombre de Biot	$\theta$	Température adimensionnelle
Em	Epaisseur de la plaque métallique	<i>Indices et exposants</i>	
g	Accélération gravitationnelle ( $m.s^{-2}$ )	f	Fluide
$Gr$	Nombre de Grashof	s	Solide
$P_r$	Nombre de Prandtl	$\lambda$	Conductivité thermique
$R_\lambda$	Rapport de conductivité thermique		
V	Vitesse adimensionnelle		

## 1. Introduction (Premier intertitre, 14 pts, gras)

Les capteurs Hybrides Photo Voltaïques Thermiques (HPVT) sont une alternative sûre par rapport aux modules photovoltaïques et capteurs thermiques plans placés séparément pour l'approvisionnement des habitats en électricité et en chaleur. Basak. K.k et al. [1] ont présenté une comparaison entre un panneau PV avec un seul verre et une autre avec un double verre. Deepali. K et al. [2] ont fait une étude théorique pour évaluer la performance d'un hybride PVT à façade à passe double pour le chauffage des locaux pour le climat composé de New Delhi en utilisant le module photovoltaïque semi transparent. Ils ont montré que le module photovoltaïque semi transparent a une efficacité électrique plus élevée que le module photovoltaïque opaque. F.Sarhaddi et al. [3] ont évalué la performance d'un capteur solaire PVT à air et ont effectué une analyse détaillée pour calculer les paramètres thermiques et électriques et l'efficacité d'un PVT à air. Ionut-Razvan.C et al. [4] ont fait une modélisation thermique d'un module photovoltaïque dans les conditions de la convection libre, dont le but est d'obtenir le profile de la température d'un module de BP 585 F monté aux distances différentes du toit, aussi les profiles de la température et de vitesse d'air à la section de sortie entre le panneau et le mur. L'influence de la largeur de canal a ensuite été étudiée sur les valeurs de la température et de vitesse. A. Ibrahim et al. [5] ont fait la comparaison de la performance de plusieurs types de plaque plate PV/T. En outre, ils ont fourni des critiques de la dernière évolution et les futurs travaux sur le collecteur PV/T basée sur l'examen chercheur précédente. Une tentative intéressante a été faite par Anderson et al. [6] pour intégrer le système PV/T à un bâtiment. Dans cette expérience, quelques cellules photovoltaïques sont posées sur un joint debout ou en auge toit de tôle laminée en utilisant une technique à partir d'un système BIPVT. GL. Jin et al. [7] ont développé une expérience sur un seul passage PV/T avec absorbeur tunnel rectangulaire. Le tunnel rectangulaire a agi comme un collectionneur d'absorption a été fixé sous le panneau photovoltaïque. Le résultat montre que l'efficacité atteint 64,72% et le rendement thermique égal à 54,70% avec l'irradiation solaire de  $817.4Wm^{-2}$ , le débit massique de  $0.0287kgs^{-1}$  à la température ambiante de  $25^\circ C$ .

Ainsi, nous nous intéressons à récupérer la chaleur perdue par effet joule par l'adjonction au capteur PV d'un échangeur à trois caloporteurs. Cet échangeur est formé d'une cavité emprisonnant un premier fluide caloporteur et d'un canal ouvert conduisant un second caloporteur (air) dont la paroi adjacente à la cavité est un absorbeur solide à haute conductivité thermique, comme schématisé la Figure 1.

## 2. Equations

Le mouvement du fluide et sa température sont régis par les équations de continuité, quantité de mouvement et de l'énergie.

Le mouvement du fluide et sa température sont régis par les équations de continuité, quantité de mouvement et de l'énergie.

Les équations de conservation sans dimension s'écrivent:

-Au niveau du fluide:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{V} = 0 \quad (1)$$

$$(\vec{V} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \vec{V} = -\vec{\nabla} P + Gr\theta \vec{e}_g + \Delta \vec{V} \quad (2)$$

$$\vec{e}_g = -\cos\beta \vec{i} - \sin\beta \vec{j}$$

Dans ce cas le capteur est placé verticalement donc  $\beta = 90$

Au niveau du fluide:

$$\vec{V} \cdot \vec{\nabla} \theta_f = \frac{1}{Pr} \vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \theta_f) + \frac{Bi}{Pr} (\theta_f - \theta_s) \quad (3)$$

Au niveau du solide:

$$\vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \theta_s) + \frac{Bi}{R_\lambda} (\theta_s - \theta_f) = 0 \quad (4)$$

### 3. Conditions aux limites

Si on note le vecteur vitesse par  $\vec{V}$  (U, W), les conditions aux limites adimensionnelles s'écrivent :

A la paroi gauche (X = 0, 0 ≤ Z ≤ 1) : W = 0, U = 0 et  $\frac{\partial \theta}{\partial x} = 1$ , (Flux Solaire)

A la paroi droite (X = A, 0 ≤ Z ≤ 1) : W = 0, U = 0 et  $\frac{\partial \theta}{\partial x} = 0$ , (Condition adiabatique)

Sur la paroi inférieure (Z = 0)  $\left\{ \begin{array}{l} W = 0, U = 0 \text{ et } \frac{\partial \theta}{\partial z} = 0, \text{ (au niveau de la cavité)} \\ \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \text{ et } \frac{\partial \theta}{\partial z} = 0, \text{ (au niveau du canal)} \end{array} \right.$

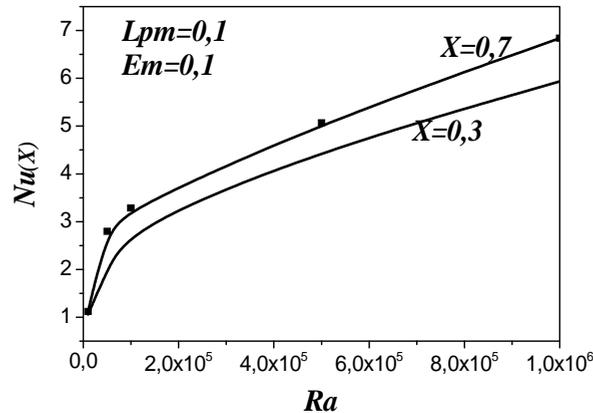
Sur la paroi supérieure (Z = 1)  $\left\{ \begin{array}{l} W=0, U=0 \text{ et } \frac{\partial \theta}{\partial z} = 0, \text{ (au niveau de la cavité)} \\ \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \frac{\partial u}{\partial z} = 0 \text{ et } \frac{\partial \theta}{\partial z} = 0, \text{ (au niveau du canal)} \end{array} \right.$

## 4. Résultats et discussion

### 4.1.1. Effet du flux de chaleur solaire (nombre de Rayleigh)

La figure 5.2, présentant l'évolution du nombre de Nusselt, aux plans médians verticaux de la zone occupée par le métal fondu (X=0.3) et du local (X=0.7), en fonction du flux de chaleur capté par les cellules PV, on note qu'en augmentant la valeur du nombre de **Ra**, la quantité de chaleur transférée devient de plus en plus importante. En effet quand le nombre de **Ra** se rapproche de la valeur  $10^6$  où le mouvement est entièrement convectif, la quantité de chaleur tendra vers une valeur maximale, ce qui prouve que l'augmentation du nombre de Rayleigh favorise le transfert de chaleur. Aussi on peut noter que la quantité de chaleur

transférée au sein du local ( $X=0.7$ ) est supérieure à celle au sein de la zone occupée par le métal fondu et ça est justifié par l'importance de la vitesse du fluide dans le local.

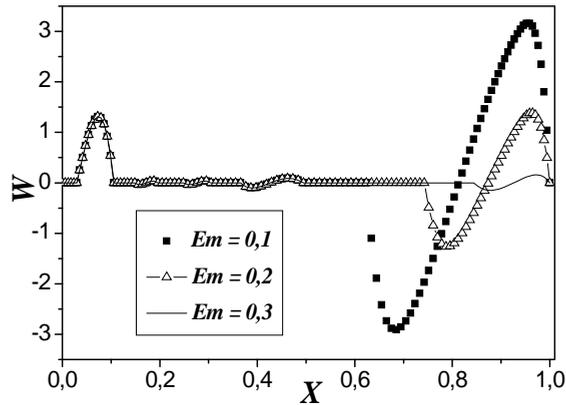


**Figure .2:** Influence de flux de chaleur capté par les cellules PV sur le transfert de chaleur, aux plans médians verticaux de la zone occupée par le métal fondu ( $X=0.3$ ) et du local ( $X=0.7$ ), pour  $A=1$  ;  $E_m=0.1$  et  $L_{pm}=0.1$ .

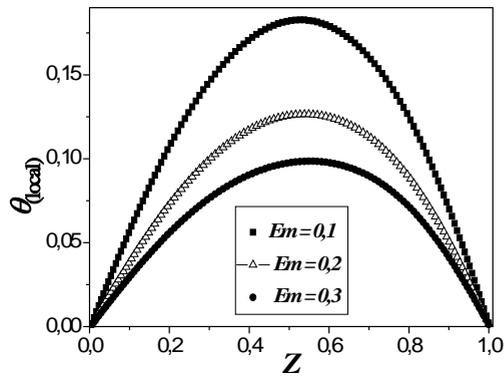
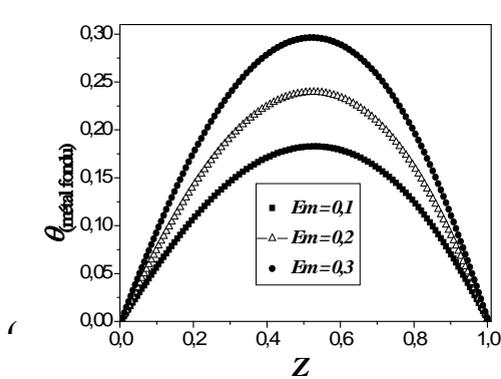
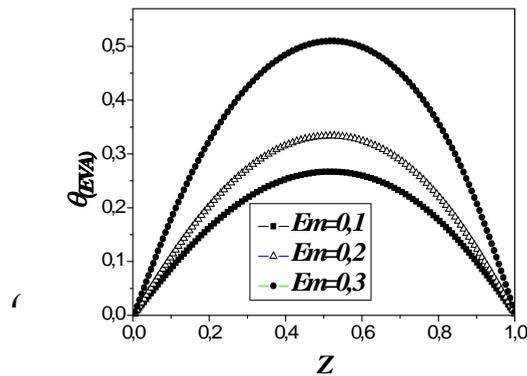
#### 4.1.2. Effet de l'épaisseur de l'absorbeur métallique (matériau non fondu), $E_m$

Les profils de la composante verticale de la vitesse, pour différentes épaisseur de l'absorbeur métallique, sont représentés sur la figure .3. On note que la variation de la vitesse dans le plan médian horizontal est sinusoïdale et que plus la valeur de  $E_m$  diminue plus la vitesse augmente, ce qui nous laisse constater aussi que pour les faibles valeurs de  $E_m$  le transfert de chaleur est meilleur. Dans la gamme de la plaque solide on peut voir qu'il n'y a pas d'écoulement (vitesse nulle), à l'interface se développe un écoulement de couche limite dynamique.

La figure .4 illustre les profils de température aux trois positions remarquables: aux plans médians verticaux de la zone occupée par le gel (EVA), en face arrière des cellules PV et de la zone occupée par le métal fondu et du local, pour  $Ra = 10^5$ ,  $L_{pm}=0.1$  et  $A = 1$  et pour différentes valeurs de l'épaisseur de l'absorbeur métallique, noté  $E_m$ . On remarque que l'effet de ce rapport se manifeste dans les trois plans. Près de la face arrière des cellules photovoltaïques (la zone occupée par le gel (EVA) et la zone occupée par le métal fondu), on constate que plus  $E_m$  diminue plus la valeur de la température diminue. Alors que, dans le plan médian du local, on constate que plus l'épaisseur de l'absorbeur métallique diminue plus la température augmente, au niveau de cette zone. Ce qui explique que le transfert de chaleur est plus important pour les gammes mince de l'absorbeur métallique.



**Figure 3 :** Effet de l'épaisseur de l'absorbeur métallique sur les profils de la vitesse verticale le long de l'axe horizontale avec:  $A=1$ ;  $Ra=10^5$ ,  $L_{pm}=0.1$ .

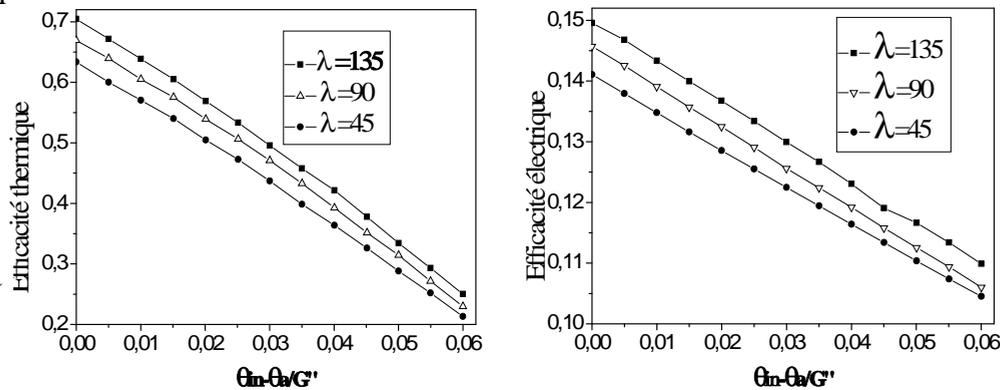


**Figure 4 :** Effet de l'épaisseur de l'absorbeur métallique sur les profils de température avec : (a) dans le gel près des cellules PV ( $X=0.15$ ), (b) dans le plan médian de la zone du métal fondu ( $X=0.3$ ) et (c) dans le plan médian du local ( $X=0.7$ ), pour:  $Ra=10^5$ ,  $A=1$ ,  $L_{pm}=0.1$ .

#### 4.1.3. L'effet de la conductivité absorbeur solide

Dans ce qui suit, nous allons étudier l'effet de la conductivité thermique de l'absorbeur métallique sur les performances du système. On peut voir, d'après la Figure. 5, qu'en augmentant la valeur du coefficient de transfert de chaleur conduit à une amélioration de l'efficacité thermique maximale de presque 5%. Étant donné que les adhésifs à haute conductivité thermique sont couramment utilisés dans la fixation de composants électriques

pour chauffer les puits pour améliorer le refroidissement. Il est évident que de les utiliser pour fixer les cellules PV dans le BIPVT permettrait également d'améliorer le rendement électrique.



**Figure .5 :** Efficacité : (a) thermique et (b) électrique de système relativement au rapport de la température réduite et le rayonnement incident global sur la surface de collecteur pour différentes valeurs de la conductivité de l'absorbeur solide pour  $Lpm=0,1$ ,  $A = 1$ ;  $Ra = 10^4$ ,  $Em = 0,1$ .

## 5. Conclusion

Pour améliorer le rendement du système PV/T, un nouvel échangeur à trois caloporteurs et une vitre supplémentaire sur la face avant des cellules PV, est associé à un capteur solaire photovoltaïque. Cet échangeur est formé d'une cavité emprisonnant un premier fluide caloporteur à haute capacité calorifique et d'un local rempli d'air dont la paroi adjacente à la cavité est un absorbeur solide à haute conductivité thermique. Le but de ce travail est de récupérer le maximum de chaleur perdue par effet Joule en ajoutant l'échangeur de capteur PV qui induit l'amélioration de l'efficacité d'un tel système. Les résultats montrent que le bon choix du fluide caloporteur en contact avec le panneau photovoltaïque aide à récupérer le maximum de chaleur dégagée par effet Joule. De plus, l'optimisation des caractéristiques thermiques du solide et du fluide caloporteur est nécessaire pour garantir un bon transfert de chaleur telle que la conductivité thermique. Enfin, cette étude permettra d'optimiser les valeurs des nombres caractéristiques,  $Ra$ ,  $Em$  (épaisseur de l'absorbeur métallique) et  $\lambda$  (la conductivité thermique de l'absorbeur métallique). Il a été démontré que la performance optimale du système doit être à la fois électrique et thermique.

## Références (par ordre d'apparition dans le texte, 11 pts)

- [1] B. K. Koyunbaba, Z. Yilmaz, The comparison of trombe wall systems with single glass, double glass and PV panels, *Renewable Energy*. 45 (2012) 111-118.
- [2] D. Kamthania, S. Nayak, G.N. Tiwari, Performance evaluation of a hybrid photovoltaic thermal double pass facade for space heating, *Energy and Buildings*. 43 (2011) 2274–2281.
- [3] F.Sarhaddi, S. Farahat, A.Behzadmehr, Exergetic performance assessment of a solar photovoltaic thermal (PV/T) air collector, *Energy and Buildings*. 42 (2010) 2184-2199.
- [4] I.R. Caluianu, F. Baltaretu, Thermal modelling of a photovoltaic module under variable free convection conditions, *Applied Thermal Engineering*. 33-34 (2012)86-91.
- [5] A. Ibrahim, M. Y. Othman, M. H. Ruslan, S.Mat, K. Sopian, Recent advances in flat plate photovoltaic/ thermal (PV/T) solar collectors, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 15 (2011) 352-365.
- [6] T.N. Anderson, M. Duke, G.L. Morrison, J.K. Carson, Performance of a building integrated photovoltaic/thermal (BIPVT) solar collector, *Solar Energy*. 83 (2009) 445-455.

[7] GL. Jin, A. Ibrahim, YK. Chean, R. Daghigh, H. Ruslan, S. Mat, et al., Evaluation of single-pass photovoltaic-thermal air collector with rectangle tunnel absorber, *A.J.of Applied Sciences*. 7 (2010) 277-282.

[8] P. Karava, C. Mohammad Jubayer, E. Savory, Numerical modelling of forced convective heat transfer from the inclined windward roof of an isolated low-rise building with application to photovoltaic/thermal systems, *Applied Thermal Engineering*. 31 (2011) 1950-1963.