

Performances Thermiques du Capteur Solaire à Double Passe Avec et Sans Milieu Poreux

Abdel Illah Nabil KORTI

Université de Tlemcen, Laboratoire ETAP, Faculté de Technologie, Département de Mécanique,
B. P. 230, Tlemcen 13000, Algérie.
Email : n_korti@mail.univ-tlemcen.dz

Résumé : Cet article présente les performances thermiques du capteur solaire à air à double passe avec et sans milieu poreux dans le deuxième canal (inférieur). La présence du milieu poreux dans le canal inférieur fournit une température à la sortie plus élevée par rapport au capteur classique avec un seul passage. Par conséquent, le rendement thermique du capteur solaire est plus élevé.

Des bilans énergétiques ont été appliqués dans les différentes régions du capteur basés sur les équations de conservation de l'énergie. Ces équations non linéaires ont été discrétisées numériquement par la méthode des différences finies et résolues par la méthode itérative de Gauss-Seidel. La solution est obtenue sous forme d'évolution des températures nodales de vitrage, du fluide passant dans le premier et le deuxième canal, de l'absorbeur et de l'isolation. Les effets du débit massique d'air, du rayonnement solaire sur le rendement thermique du capteur ont été étudiés.

Mots-clés : Capteur solaire, énergie solaire, milieu poreux, rendement thermique.

Nomenclature

B : Largeur du capteur (m)

C : capacité calorifique (kJ/kgK)

d : Epaisseur de la veine d'air mobile (m)

D_h : Diamètre hydraulique (m)

G : Débit d'air massique (kg/s)

h_r : Coefficient de transfert radiatif ($W/m^2 K$)

h_c : Coefficient de transfert convectif ($W/m^2 K$)

I : Flux global reçu par le capteur à air (W/m^2)

K : Conductivité thermique (W/mK)

T : Température (K)

Nombres adimensionnels

Re : Nombre de Reynolds

Pr : Nombre de Prandtl

Nu : Nombre de Nusselt

AMP : avec milieu poreux

SMP : sans milieu poreux

Lettres grecques

δ : Epaisseur (m)

α : Coefficient d'absorption

τ : Coefficient de transmission

ε : Emissivité

Indices

p : Absorbeur

g : Vitrage

$f1$: Fluide dans le premier passage

$f2$: Fluide dans le deuxième passage

b : Isolation

pm : Milieu poreux

1. Introduction

En moyenne annuelle, le rayonnement est en le littoral nord-africain de l'ordre de 3000 kWh environ d'énergie calorifique par m² et par an, ce qui correspond à la quantité d'énergie contenue par 300 litres de fioul ou par 300 m³ de gaz naturel environ. Des capteurs solaires implantés dans une installation correctement dimensionnée et équipée de composants adaptés permettent d'économiser de 60 à 70 % environ des besoins énergétiques annuels pour la production d'eau chaude sanitaire dans des maisons individuelles. En été, il est parfois même possible de ne pas avoir recours à un appoint. Cependant, l'énergie solaire n'est pas tout à fait gratuite, son utilisation nécessite un investissement de départ souvent plus lourd que pour les sources d'énergie conventionnelles. Généralement, les applications thermiques de l'énergie solaire exigent des capteurs à rendements élevés. Ces rendements peuvent être atteints en augmentant d'une part, les coefficients de transfert convectifs entre l'absorbeur et le fluide caloporteur et d'autre part, en réduisant les pertes thermiques.

L'utilisation d'un double passage d'air dans les capteurs solaires à air a été largement étudiée dans le but d'augmenter la surface d'échange et le temps de séjour de l'air dans le capteur. Cette technique a trouvée sa place même dans les capteurs photo-thermiques (hybride) dans le but de refroidir les cellules photovoltaïque,

Alfegi [1]. Une étude de simulation d'un capteur solaire à double passes avec milieux poreux a été analysée par Naphon [2]. L'idée principale est de réduire au maximum les pertes de chaleur de la couverture du capteur et de maximiser l'extraction de chaleur à partir de l'absorbeur. Les milieux poreux forment une surface étendue pour le transfert de chaleur où le coefficient de transmission de chaleur volumétrique est très haut. Il augmentera le transfert de chaleur à partir de l'absorbeur vers l'écoulement d'air. Sopian et al. [3] ont entrepris des études expérimentales sur le capteur solaire à double passes avec et sans des milieux poreux dans le deuxième canal. Le capteur a seulement une couverture en verre et un absorbeur noirci en métal. La matière employée comme milieu poreux est la laine en acier. La performance thermique d'un capteur solaire à air à double passe et double vitrage avec un lit thermique au-dessus de la plaque absorbante du capteur a été étudiée expérimentalement et théoriquement par Ramadan et al. [4]. Le calcaire et le gravier ont été employés comme des matériaux de lit thermique. L'étude a montré que d'employer des lits thermiques de masses plus élevées et de faibles porosités assure l'augmentation de la température de sortie d'air après le couché du soleil. Kumar [5] a étudié l'effet du débit massique d'air sur la performance thermique du capteur solaire à air avec double passe parallèle. Les débits d'air dans le système à co-courant fournissent une performance thermique plus élevée par rapport aux systèmes à contre-courant. La fraction du débit massique totale dans les conduites du capteur solaire est un paramètre dominant dans la détermination de l'efficacité thermique du capteur.

Le présent travail porte sur l'étude thermique d'un capteur solaire à air à double passe avec présence d'un milieu poreux dans le deuxième canal. La géométrie du capteur étudiée est montrée dans la figure 1. L'air circule dans le canal supérieur et retour vers l'arrière par le canal inférieur. Le milieu poreux est ajouté dans le canal inférieur. Le but est de mettre en évidence l'influence du milieu poreux sur les performances thermiques du capteur solaire.

2. Position du problème

Le capteur solaire étudié est de type plan à air à double passe dont les principaux composants sont : une seule couverture transparente en verre, une plaque absorbante en aluminium peinte en noir et un milieu poreux placé dans le passage inférieur. La veine d'air dynamique est comprise entre l'absorbeur et les deux plaques supérieure (vitrage) et inférieure (isolation). La modélisation mathématique des transferts peut être établie à partir des bilans énergétiques et massiques traduisant la conservation de l'énergie et de la masse. En supposant que les transferts se font uniquement dans le sens de l'écoulement de l'air dans le capteur, le problème devient à évolution unidimensionnelle en régime établi.

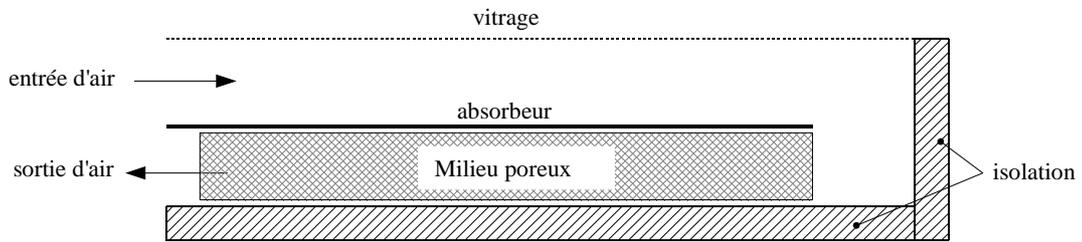


Fig. 1- capteur solaire à air à double passe avec milieu poreux

Bilan énergétique au niveau du vitrage :

$$\alpha_g I + h_{rpg}(T_p - T_g) + h_{cgl1}(T_{f1} - T_g) - h_{rgs}(T_g - T_s) - h_{cga}(T_g - T_a) = 0 \quad (1)$$

Bilan énergétique du fluide entre le vitrage et l'absorbeur (premier canal)

$$\frac{G_{f1} C_{f1}}{B} \frac{\partial T_{f1}}{\partial x} + h_{cpf1}(T_p - T_{f1}) - h_{cgl1}(T_g - T_{f1}) = 0 \quad (2)$$

Bilan énergétique à travers l'absorbeur :

$$\alpha_p \tau_p I + K_p \delta_p \frac{\partial^2 T_p}{\partial x^2} - h_{rpg}(T_p - T_g) + h_{cpf2}(T_p - T_{f2}) - h_{rpb}(T_p - T_b) - h_{cpf1}(T_p - T_{f1}) = 0 \quad (3)$$

Bilan énergétique du fluide entre l'absorbeur et l'isolation (deuxième canal)

$$-\frac{G_{f2}C_{f2}}{B} \left(-\frac{\partial T_{f2}}{\partial x} \right) + K_{pm} \delta_{pm} \frac{\partial^2 T_{f2}}{\partial x^2} + h_{cpf2} (T_p - T_{f2}) + h_{cbf2} (T_b - T_{f2}) = 0 \quad (4)$$

Bilan énergétique à travers l'isolation :

$$K_b \delta_b \frac{\partial^2 T_b}{\partial x^2} + h_{rpb} (T_p - T_b) - h_{cbf2} (T_b - T_{f2}) - U_R (T_b - T_a) = 0 \quad (5)$$

Les coefficients radiatifs sont en fonction des températures des surfaces des deux côtés

$$h_r = \frac{\sigma (T_1^2 + T_2^2) (T_1 + T_2)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_1} + \frac{1}{\varepsilon_2} - 1 \right)} \quad (6)$$

En ce qui concerne la convection forcée, le coefficient moyen de transfert thermique est calculé comme suit:

$$h_c = \frac{Nuk}{D_h} \quad (7)$$

où D_h est le diamètre hydraulique de la conduite. Dans le cas des sections transversales non circulaire sans milieu poreux, le D_h est donnée par :

$$D_h = \frac{4A}{P} = \frac{4(Bd)}{2(B+d)} = \frac{2(Bd)}{(B+d)} \quad (8)$$

Dans le cas avec milieu poreux, il peut s'écrire :

$$D_h = \phi \frac{4A}{P} = \phi \frac{2(Bd)}{(B+d)} \quad (9)$$

Le nombre de Nusselt est calculé par la relation empirique suivante :

$$Nu = Nu_\infty + \frac{a \left[\text{RePr} \left(\frac{D_h}{L} \right) \right]^m}{1 + b \left[\text{RePr} \left(\frac{D_h}{L} \right) \right]^n} \quad (10)$$

Les constantes : $a = 0.00398$, $b = 0.0114$, $m = 1.66$, $n = 1.12$, et $Nu_\infty = 4.4$.

Le rendement du capteur solaire, définie comme étant le rapport entre la quantité d'énergie utile récupérée et le rayonnement global incident, est donné par :

$$\eta = \frac{GC_f (T_0 - T_i)}{IA} \quad (11)$$

3. Résultats et interprétations

La figure 2 montre la variation de la température des différents composants du capteur solaire (vitrage, absorbeur, isolation et le fluide dans les deux passages) en fonction de la position x . On remarque que la

température de l'absorbeur est la plus élevée puisqu'il absorbe le maximum du rayonnement solaire pour alimenter le fluide dans les deux conduites avec de la chaleur. La température du fluide augmente dans la première conduite dans le sens des x et dans la deuxième conduite dans le sens inverse des x (écoulement à contre courant). La figure montre que le débit massique a une grande influence sur le comportement thermique du capteur. Les températures de l'absorbeur, du fluide dans la deuxième conduite et de l'isolation diminuent considérablement avec l'augmentation du débit. En effet, le temps de séjour du fluide dans les deux conduites diminue avec l'augmentation du débit.

Avec un milieu poreux, on remarque qu'il y a diminution de la température de l'absorbeur et de l'isolation. Cette diminution se traduit par l'augmentation de la température du fluide dans le deuxième canal. Pour les grands débits, cela n'est pas évident vu la courte durée de séjour du fluide dans le capteur.

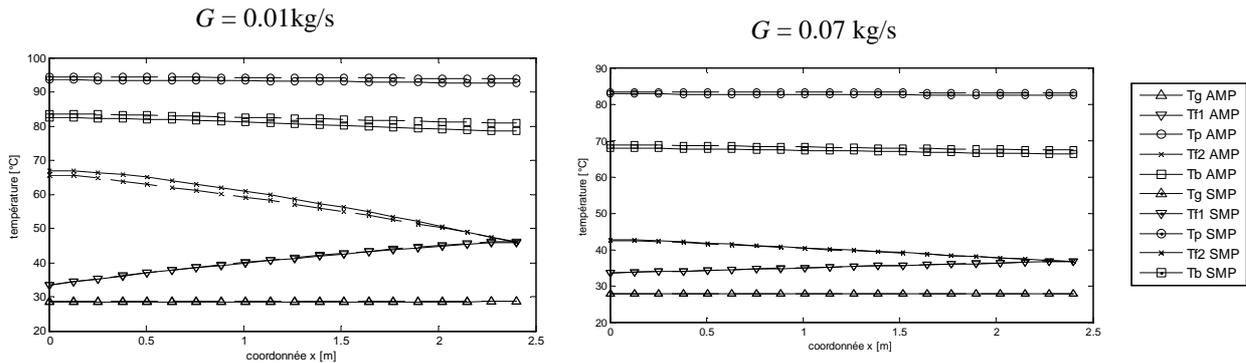


Fig. 2-Evolution des températures des composants du capteur avec milieu poreux pour $G = 0.01$ et 0.07 kg/s

La figure 3 illustre la variation de la température du fluide dans les deux conduites sans et avec milieu poreux en fonction du débit. On remarque que le milieu poreux contribue à l'amélioration des températures du fluide de sortie. On remarque que le gain, en élévation de température du fluide à la sortie, en utilisant le milieu poreux change avec le changement du débit.

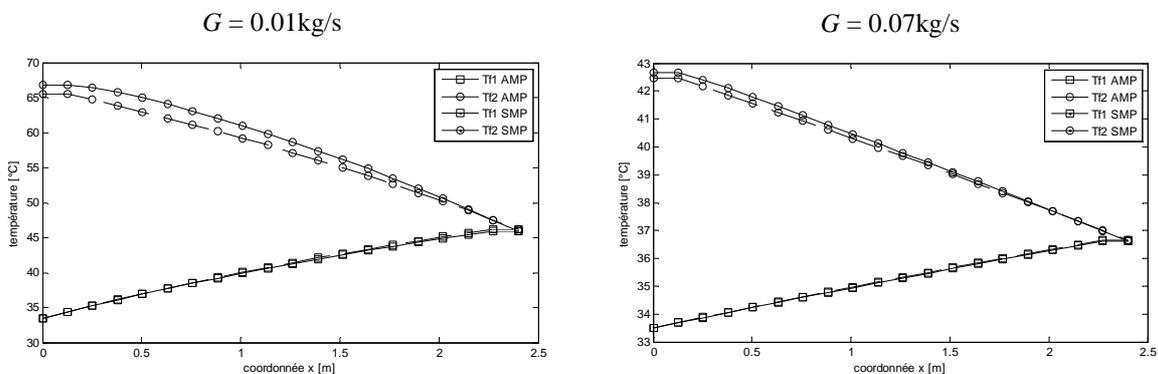


Fig. 3-Comparaison des températures T_{f1} et T_{f2} du capteur avec et sans milieu poreux pour $G = 0.01$ et 0.07 kg/s

La figure 4 montre l'effet du débit d'air sur le rendement thermique du capteur solaire à double passe (sans et avec milieu poreux). On remarque que le rendement thermique du capteur augmente avec l'augmentation du débit d'air circulant dans les deux passages. En effet, le flux de chaleur évacué dépend directement du débit massique d'air. En plus, l'augmentation de la surface d'échange avec l'ajout d'un milieu poreux entraîne l'amélioration du rendement thermique par rapport à un capteur sans milieu poreux.

La figure 5 montre l'effet du débit sur l'écart de température du fluide entre l'entrée et la sortie du capteur. On remarque qu'avec l'augmentation du débit d'air, l'élévation de la température d'air dans le capteur décroît puisque le temps de séjour d'air diminue. Nous remarquons aussi que l'élévation de la température avec la présence du milieu poreux est meilleure par rapport à un capteur sans milieu poreux. Cependant, la figure montre cette élévation est plus notable pour les faibles débits. L'ajout d'un milieu poreux est donc conseillé dans une zone d'utilisation réservée aux faibles débits.

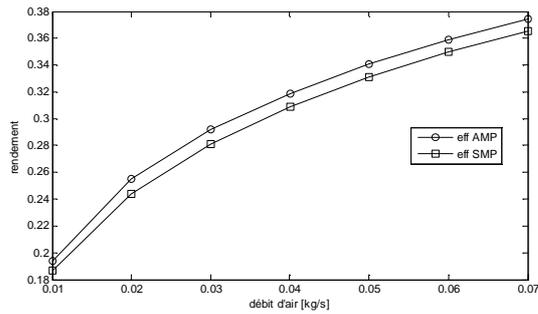


Fig. 4- Effet du débit d'air sur le rendement thermique du capteur

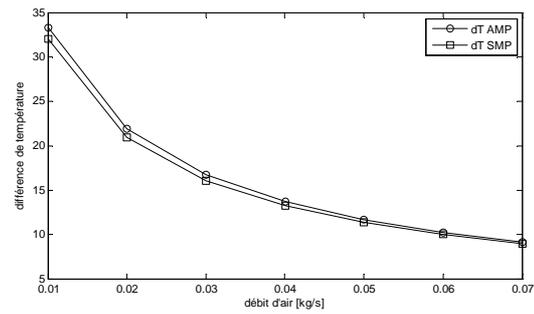


Fig. 5-Effet du débit sur l'écart de température du fluide entre l'entrée et la sortie du capteur.

4. Conclusion

L'ajout d'un milieu poreux dans le deuxième passage d'un capteur solaire à air à double passe améliore son rendement thermique en augmentant la surface d'échange. Ce rendement augmente avec l'augmentation du débit d'air circulant dans les deux passages. En effet, le flux de chaleur évacué dépend directement du débit massique d'air. L'élévation de la température du fluide entre l'entrée et la sortie du capteur avec la présence du milieu poreux est meilleure par rapport à un capteur sans milieu poreux. Cette élévation est plus notable pour les faibles débits.

5. Références

- [1] E.M.A. Alfegi, Mathematical model of double pass photovoltaic thermal air collector with fins, *American Journal of Environmental Sciences*, 5, pages 592-598, 2009).
- [2] P. Naphon, Effect of porous media on the performance of the double-pass flat plate solar air heater, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 32, pages 140–150, 2005.
- [3] K. Sopian, Evaluation of thermal efficiency of double-pass solar collector with porous-nonporous media, *Renewable Energy*, 34, pages 640–645, 2009.
- [4] M.R.I. Ramadan, Thermal performance of a packed bed double-pass solar air heater, *Energy*, 32, pages 1524–1535, 2007.
- [5] P. Kumar, Effect of differential mass flow rate on the thermal performance of double duct packed bed solar air heaters, *International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPO'12)*, Santiago de Compostela (Spain), Mars 28-30, 2012