

Etude expérimentale des performances thermiques et des pertes de charges de différentes configurations de capteurs solaires plans à air

(Experimental study of thermal performance and pressure drop of various designs of flat plate collectors)

Adnane LABED¹✉, Noureddine MOUMMI¹, Kamel AOUES², Miloud ZELLOUF²

¹Laboratoire de Génie Mécanique, LGM, Université de Biskra

²Laboratoire de Génie Énergétique et Matériaux, LGEM, Université de Biskra

B.P. 145 R.P. 07000, Biskra, Algeria

Email des auteurs adnanelabeled@yahoo.fr, a.labeled@univ-biskra.dz

Résumé : Dans cette étude, nous présentons les résultats expérimentaux relatifs aux expériences menées sur des capteurs solaires plans à air. En premier lieu nous décrivons les différentes configurations étudiées, ainsi que les infrastructures d'essais qui nous ont permis de réaliser notre étude expérimentale. En deuxième phase nous exposons les résultats qui traduisent l'influence des différentes solutions technologiques proposées sur les performances thermiques et la consommation électrique d'un capteur solaire en comparant les rendements thermiques et les pertes de charge pour tous les cas étudiés.

Mots clés :

Capteur solaire, rendement thermique, rugosités artificielles, perte de charge.

1. Introduction

Les capteurs solaires plans à air transforment l'énergie radiante du soleil en énergie thermique extraite par l'air en écoulement dans le capteur. Les capteurs solaires à air sont moins compliqués par rapport aux chauffe-eau solaires et très attrayants pour les technologies solaires à basses températures, qui nécessitent des températures de l'air en dessous de 100 ° C. En effet, les CSPs sont largement utilisés au fil des années, parce qu'ils sont relativement simples avec une utilisation minimale de matériaux, facile à utiliser et ont un faible coût [1, 2]. Les CSPs à air sont utilisés pour le chauffage, le séchage des produits industriels et le séchage des produits agricoles comme les légumes, fruits, céréales, épices, plantes médicinales, bois, tabac, poissons,

Plusieurs travaux de recherches sont menés sur les CSP à air afin de caractériser l'écoulement et le transfert de chaleur et étudier les facteurs qui influent sur l'efficacité de ces systèmes [3, 4]. Ces facteurs peuvent être conceptuels ou structurels : la longueur, la hauteur de la veine d'air mobile, le type de la plaque absorbante et de la couverture, la vitesse du vent, etc. Augmenter la surface de l'absorbeur augmente le transfert de chaleur (absorbeur-air), mais augmente également les pertes thermiques.

Certains travaux portent sur l'amélioration des échanges convectifs, par l'introduction de chicanes dans la veine d'écoulement du fluide [5, 6]. En effet, l'utilisation des rugosités artificielles sous différentes formes et géométries apparait le moyen le plus efficace et économique pour l'amélioration des performances de ces systèmes.

Dans le cadre des travaux menés au Laboratoire de Génie Mécanique concernant l'optimisation des performances thermiques des CSPs à air, conçu pour les applications de séchage [7-15]. Les auteurs ont utilisé différentes formes d'obstacles montés sous la plaque absorbante dans la veine d'air mobile afin d'accroître le parcours offert au fluide caloporteur permettant ainsi un meilleur échange thermique.

2. Présentation des différentes configurations étudiées

Dans cette partie, nous présentons les résultats expérimentaux relatives aux expériences menées sur un capteur solaire plan à air avec et sans chicanes (Fig.1). En premier lieu nous décrivons les différentes configurations étudiées, ainsi que les infrastructures d'essais qui nous ont permis de réaliser notre étude expérimentale. En deuxième phase nous exposons les résultats qui traduisent l'influence des différentes solutions

✉ E-mail: adnanelabeled@yahoo.fr a.labeled@univ-biskra.dz
Tel./Fax: +213 (0) 33 73 39 89

technologiques proposées sur l'efficacité d'un capteur en comparant les rendements calculés pour tous les cas étudiés.

Il est à rappeler que notre contribution à travers cette étude, consiste à optimiser ces systèmes classiques en vue d'améliorer leurs performances, par la proposition de trois solutions d'optimisation issues de la synthèse effectuée sur la technologie de ces systèmes.

De ce fait nous avons opté à combiner trois solutions technologiques :

- ✓ La première consiste à introduire différentes géométries de rugosités dans la veine d'air mobile.
- ✓ La deuxième consiste à inverser le sens de l'écoulement de l'air dans le capteur.
- ✓ La troisième consiste à faire circuler l'air chauffé autour de la plaque inférieure du CSP (CSP à double passage d'air).

Nous présentons sur les figures 2 et 3 les différentes géométries des chicanes et les différentes configurations des CSPs étudiées, respectivement.

Sept (07) configurations géométriques offertes au passage de l'air dans la veine d'écoulement active (Fig.3) :

- Configuration N-1 : capteur sans chicanes à simple passage d'air, entrée de l'air par le bas;
- Configuration N-2 : capteur sans chicanes à simple passage d'air, entrée de l'air par le haut;
- Configuration A-1 : capteur avec chicanes rectangulaires, entrée de l'air par le bas;
- Configuration A-2 : capteur avec chicanes rectangulaires à simple passage, entrée de l'air par le haut;
- Configuration B-1 : capteur avec chicanes trapézoïdales à simple passage, entrée de l'air par le bas;
- Configuration B-2 : capteur avec chicanes trapézoïdales à simple passage, entrée de l'air par le haut;
- Configuration C : CSP avec chicanes trapézoïdales à double passage d'air autour de la plaque inférieure;

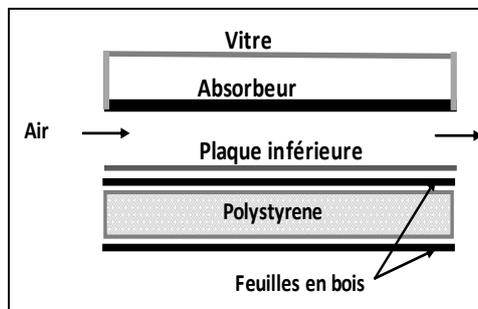


Fig. 1 : Schémas du modèle étudié.

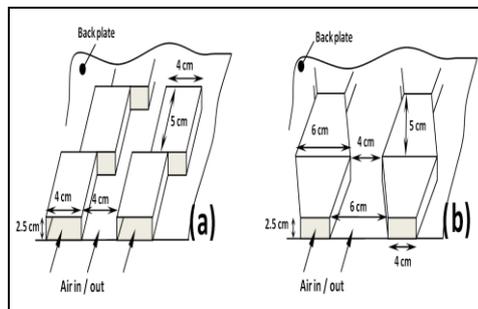


Fig. 3: Schématisation des différentes formes des obstacles utilisés.

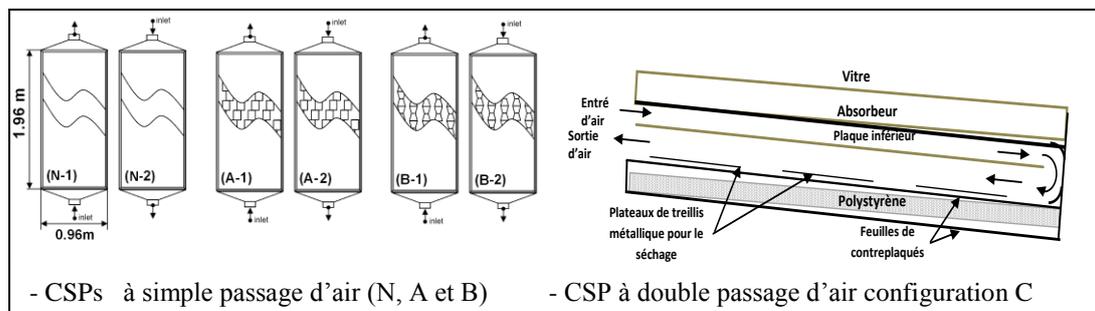


Fig. 2: présentation des six modèles étudiés ; à simple passage d'air : (N) sans obstacles, (A) avec des obstacles rectangulaires et (B) avec des obstacles trapézoïdaux. Les indices 1 et 2, indiquent le sens d'entrée de l'air dans le CSP. La configuration C : CSP à double passage d'air avec chicanes trapézoïdales

3. Description du capteur solaire

Le capteur solaire étudié est un capteur plan à air à simple passe d'une surface de captation égale à $1,76m^2$, d'une longueur $L_c=1.96m$ et d'une largeur $l_c=0.9m$, (Fig. 1). Nous résumons les principaux composants du capteur comme suit :

- Une seule couverture transparente de verre d'épaisseur $5mm$.
 - Une plaque absorbante mince en acier galvanisé peinte en noir mat avec une épaisseur de $0.4mm$.
 - Une plaque arrière mince en acier galvanisé placée sur l'isolant d'une épaisseur de $0.4mm$.
 - La hauteur entre la couverture transparente et la plaque absorbante est égale à $20mm$.
 - La veine d'air dynamique d'une hauteur de $25mm$ est comprise entre la plaque absorbante (corps noir) et la plaque inférieure.
 - Les rugosités artificielles sont des petits canaux dont la base est de forme trapézoïdale d'une hauteur de $25mm$.
 - L'isolation arrière est assurée grâce à une feuille de polystyrène de $30 mm$ d'épaisseur et puis elle est assurée également par le boîtier en bois de $5mm$ d'épaisseur.
- L'installation expérimentale comprend:
- La mesure du rayonnement solaire
 - La mesure de la température de l'air ambiant, de la température du fluide caloporteur à l'entrée et à la sortie du capteur solaire ainsi que celle de l'absorbeur.
 - La mesure de la vitesse de l'air dans le canal d'écoulement et de la vitesse du vent.

4. Résultats et discussion

4.1. Le rendement en fonction du débit

En régime stationnaire, où la variation de la température est inférieure à $0.5^\circ C/min$ l'analyse des échanges de chaleur du capteur solaire plan à air permet d'écrire l'énergie utile récupérée sous la forme suivante [8]: (en négligeant l'énergie thermique stockée)

$$Q_u = \dot{m} c_p (T_{fo} - T_{fi}) \quad (1)$$

La norme ASHRAE standard exige que, pour les essais d'efficacité des capteurs solaires, le rayonnement solaire doit être au-dessus de $630 W/m^2$ [16]. Les rendements instantanés sont déterminés à partir de la formule

$$\eta = \frac{\dot{m} c_p (T_{fo} - T_{fi})}{I_G \cdot A_c} \quad (2)$$

La figure 4, regroupe les courbes de la variation du rendement en fonction du débit pour les différentes configurations de CSPs.

Comme nous l'avons constaté, le rendement du capteur augmente lorsque le débit augmente. De même, l'utilisation des chicanes trapézoïdales induit une amélioration du rendement, ceci s'explique par le fait que la forme trapézoïdale induit une diminution des sections de passage de l'air et par suite l'augmentation du nombre de Reynolds ; ce qui signifie que l'échange thermique convectif entre l'air et l'absorbeur s'améliore et par conséquent le rendement du capteur augmente.

Nous remarquons aussi, que les rendements des capteurs dont l'entrée de l'air est par le haut (Configurations : N-2, A-2 et B-2) sont plus élevés que ceux des capteurs ayant l'entrée de l'air par le bas (Configurations : N-1, A-1 et B-1). Cette élévation est plus remarquable pour les faibles débits. Ceci est dû à l'importance de la convection naturelle à l'égard de la convection forcée à faibles nombre de Reynolds, ce qui perturbe l'écoulement dans les régions avoisinants l'absorbeur et permet d'arracher le maximum de calories.

On constate que les configurations de chicanes proposées et étudiées (rectangulaires et trapézoïdales), ainsi que le fait que l'entrée de l'air se fait par le haut, apportent une amélioration sensible du rendement de ses systèmes solaires.

En première approche, on peut établir un classement de ces formes de chicanes d'après l'amélioration apportée aux rendements des capteurs A et B, ainsi qu'aux pertes de charge et consommations électriques résultantes.

Par ailleurs, l'inversement du sens d'écoulement du bas vers le haut (blowing up) pour être du haut vers le bas (blowing down), présente une amélioration remarquable du rendement, dans le cas du capteur sans chicanes.

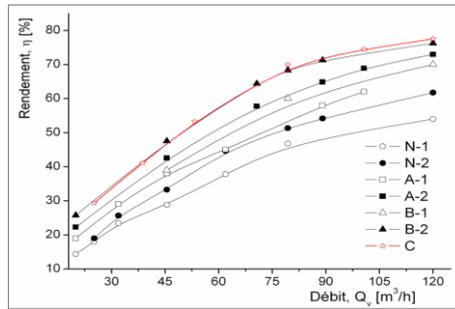


Fig. 4 : Comparaison des rendements des différentes configurations en fonction du débit.

4.2 Pertes de charge et consommations électriques engendrées :

Les courbes des figures (5 et 6), qui traduisent la variation des pertes de charge mesurées et les consommations électriques résultantes en fonction du débit, ont permis de tirer les conclusions suivantes.

Certes les solutions proposées apportent des améliorations remarquables sur les performances thermiques des capteurs solaires plans à air par comparaison à un capteur lisse. Cependant ces améliorations engendrent des pertes de charges supplémentaires. Dans cette section nous essayons de voir les (ΔP) engendrées et voir si ces améliorations restent acceptables. Dans les différents capteurs, nous avons constaté d'après les mesures de pertes de charge que ces dernières augmentent dans le même sens que l'augmentation du débit. Dans les configurations dont le sens de l'écoulement est du bas vers le haut nous remarquons que les pertes de charge sont moins importantes que les pertes de charge créées par l'inversement du sens de l'écoulement (du haut vers le bas). Les chicanes trapézoïdales placées dans le capteur B et la double circulation de l'air autour de la plaque d'acier font augmenter les pertes de charge ainsi que la consommation électrique.

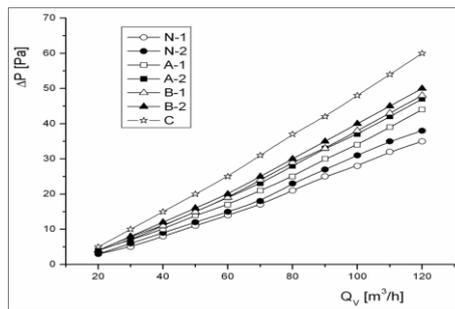


Fig. 5 : Pertes de charge en fonction du débit pour différentes configurations étudiées.

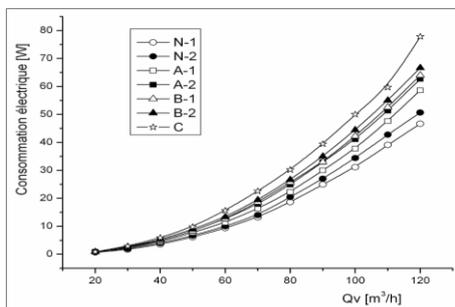


Fig. 6 : Puissances électriques consommées en fonction du débit pour différentes configurations étudiées.

Conclusion

À la suite des travaux entrepris dans cette étude et de ceux que nous venons de mener, nous espérons avoir contribué à l'étude et le développement des capteurs solaires plans à air.

Il ressort des valeurs enregistrées que l'adjonction de chicanes, de forme trapézoïdales avec une incidence normale à l'écoulement et pour le cas de la configuration et la disposition choisies, paraît la plus avantageuse par rapport à celle des chicanes rectangulaires et que dans les deux cas le rendement du capteur est nettement

supérieur à celui d'un capteur sans chicanes, une amélioration de 15% pour un débit de 80 m³/h est remarquée pour le cas d'un capteur garni de chicanes trapézoïdales, et que par exemple pour avoir un rendement de 50% avec un capteur sans chicanes, le débit nécessaire est de 75 m³/h alors qu'avec un capteur garni de chicanes trapézoïdales, le débit nécessaire n'est que de 45 m³/h, autrement dit.

Les relevés des températures de l'air et de l'absorbeur du capteur ont permis la détermination de leurs évolutions réelles comme nous avons pu le constater après avoir étudié l'influence du **type de chicanes, le sens de l'entrée** et le deuxième passage d'air sur le rendement. En mesurant les pertes de charge relatives aux différentes formes étudiées, nous avons pu avoir une idée sur l'importance de ces dernières, et aussi de la section de passage offerte au fluide caloporteur.

Nomenclature

Ac	Surface de captation du CSP, m ²	T _{fi}	Température de l'air à l'entrée du CSP, °C
Cp	Chaleur massique de l'air, J/kgK	T _{fo}	Température de l'air à la sortie CSP, °C
Csp	Capteur solaire plan,	Q _u	Quantité de chaleur utile récupérée par le CSP, W/m ²
\dot{m}	Débit massique d'air, kg/s		Symboles grecs
P	Puissance électrique consommée, W	η	Rendement thermique du CSP, %

Références

1. J. A. Duffie, D. Beckman, Solar engineering of thermal processes, *Jhon & Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA ed*, (2006).
2. S. Kalogirou, Solar thermal collectors and applications. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30: 231-295, 2004.
3. C. Choudhury, H.P. Gary, Performance of air heating collectors with packed airflour passage. *Solar Energy*, 50 (3): 205–221, 1993.
4. Varun et al. A review on roughness geometry used in solar air heaters. *Solar Energy*, 81: 1340-1350, 2007.
5. N. Moumami, S. Youcef-Ali, A. Moumami, J.Y. Desmons, Energy analysis of a solar air collector with rows of fins. *Renewable Energy*, 29: 2053-2064, 2004.
6. S. H. Vishavjeet et al, Performance of artificially roughened solar air heaters, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13 : 1854–1869, 2009.
7. K. Aoues, N. Moumami, M. Zellouf, A. Moumami, A. Labed, E. Achouri, A. Benchabane, Amélioration des performances thermiques d'un capteur solaire plan à air: Etude expérimentale dans la région de Biskra. *Revue des Energies Renouvelables*, 12: 237 – 248, 2009.
8. A. Labed, N. Moumami, K. Aoues, M. Zellouf, A. Moumami, Etude théorique et expérimentale des performances d'un capteur solaire plan à air muni d'une nouvelle forme de rugosité artificielle. *Revue des Energies Renouvelables*, 12: 551-561, 2009.
9. A. Labed, N. Moumami, A. Benchabane, K. Aoues, A. Moumami, Performance investigation of single- and double-pass solar air heaters through the use of various fin geometries, *Int. J. of Sustainable Energy*, DOI: 10.1080/14786451.2011.590899, 2011.
10. A. Labed, N. Moumami, A. Benchabane, Experimental study on the performance and optimisation of flat plate collector: comparaison between two technological solutions., *Congrès Algérien de mécanique (CAM 2011)*, Guelma Algérie, 14-17 novembre 2011.
11. A. Labed, N. Moumami, A. Benchabane, M. Zellouf, Etude expérimentale de l'efficacité d'une nouvelle forme de rugosité artificielle sur les performances d'un capteur solaire plan à air ; application au séchage du Henné, *Premier Séminaire Nationale de Génie Mécanique (SNGM 01)*, Biskra, 7 et 8 Décembre 2011.
12. A. Labed, N. Moumami, A. Benchabane, Experimental investigation of various designs of solar dryer: Application for the drying of hot chili. *Sixth International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications*, Istanbul, Turkey, 29 au 1^{er} juin 2012,.
13. N. Moumami, A. Moumami, K. Aoues, C. Mahboub, S. Youcef Ali, Systematic forecasts of solar collector's performance in various sites of different climates in Algeria. *International Journal of Sustainable Energy*, 29: 142–150, 2010.
14. K. Aoues, N. Moumami, M. Zellouf, A. Benchabane, Thermal performance improvement of solar air flat plate collector. A theoretical analysis and an experimental study in Biskra, Algeria, *Ambient Energy* 2 (2): 95–102, 2011.
15. A. Labed, N. Moumami, A. Benchabane, Experimental investigation of various designs of solar flat plate collectors: Application for the drying of green chili. *J. Renewable Sustainable Energy* 4, 043116 (2012); doi: 10.1063/1.4742337.
16. S. Karsli, Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications, *Renewable Energy* 32: 1645–1660, 2007.