

Étude expérimentale d'un capteur solaire plan muni d'un collecteur sous forme de serpent

Omar Ketfi ^{1*}, Mustapha Merzouk ^{2†}, Nachida Kasbadji Merzouk ¹,
Said Elmetenani ¹ et Djamel Lafri ²

¹ Unité de Développement des Equipements Solaires, UDES
Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER
42004, Tipaza, Algeria

² Laboratoire de Physique Fondamentale et Appliquée,
Université Saâd Dahlab, B.P. 270, 09000 Blida, Algeria

(reçu le 14 Février 2014 – accepté le 25 Décembre 2014)

Abstract - *The aim of this work is the achievement and the experimentation of a flat solar collector realized at the Mechanical Department in the University of Blida according to Terms and Conditions taken from European Standard EN 12975-2. The experimental tests carried out on the solar collector, in closed and open loop, has allowed the determination of the thermal performances of the collector by the estimation of the time-constant and the daily efficiency. The tests were carried out during a typical day of July in open loop, and one period equal one week. The results of the tests gave a time-constant of 5 minutes, and a daily efficiency of 41% for the day of 19/7/2012.*

Résumé - *Le but de ce travail est la réalisation et l'expérimentation d'un capteur solaire plan à eau réalisé au niveau de l'Institut de Mécanique à l'Université de Blida conformément aux conditions exigées par la norme Européenne EN 12975-2. Les tests expérimentaux menés sur le capteur solaire, en circuit fermé et ouvert, ont permis la détermination des performances thermiques du capteur à travers l'estimation de la constante de temps et du rendement journalier. Les tests ont été effectués durant la journée type du mois de Juillet, ainsi que durant la période d'une semaine. Les résultats des tests ont donnés une constante du temps de 5 min et un rendement journalier de 41% pour la journée du 19/07/2012.*

Mots clés: Capteur solaire plan - Constante du temps - Circuit fermé - Circuit ouvert - Rendement journalier.

1. INTRODUCTION

En Algérie, la production de l'eau chaude sanitaire est généralement assurée par l'énergie conventionnelle (gaz naturel, résistance électrique...), dont les principaux systèmes utilisés pour le chauffage de l'eau, sont le chauffe-eau individuel à gaz, la chaudière pour le collectif, ou le cumulus électrique.

Malheureusement, ces formes d'énergies présentent plusieurs inconvénients (pollution, réserve limitée, ...). C'est pour cette raison que la transition vers les énergies renouvelables s'avère être d'une nécessité certaine et ce à cause de leurs avantages certains (propres, renouvelables, gratuites, ...).

La production de l'eau chaude sanitaire par voie solaire est l'une des techniques d'exploitation, la plus répandue de l'énergie solaire. Les installations d'eau chaude sanitaire sont toutes munies de capteurs solaires plans ou évacués. Equipements indispensables pour la conversion de l'éclairement solaire en énergie calorifique, véhiculée par un fluide caloporteur vers l'utilisation. Le but de cet article est la détermination des performances thermiques d'un prototype de capteur solaire à eau,

* omar_k09@hotmail.fr , nkmerzouk@udes.dz , said_elmetenani@yahoo.fr

† mus.merzouk@gmail.com , d_lafri@yahoo.fr

réalisé à l'Université de Blida et caractérisé par un collecteur en forme de serpent. Les caractéristiques de ce dernier et les résultats des tests sont déterminées.

2. DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL

L'originalité du capteur plan réalisé, réside dans le fait qu'il est muni d'un collecteur du type serpent. Sa surface d'ouverture est égale à 1.74 m². Les caractéristiques du capteur sont données en **Table 1** [1].

Table 1: Eléments du capteur et leurs caractéristiques

Dimensions	2000 × 1000 × 100 mm
Bac	Acier ordinaire- 1.5 mm
Vitrage	Verre ordinaire- Epaisseur=4 mm , Transmittivité- 0.84
Absorbeur	Acier galvanisé- Epaisseur = 0.8 mm, Absorptivité- 0.94 , Revêtement- peinture noir mat
Collecteur (serpentin)	Cuivre- Longueur= 19m, Di/De- 14/16 N° de segment- 19
Isolation	Mousse polyuréthane, Epaisseur Latérale- 40 mm Arrière- 40 mm

2.1 Instruments de mesure

Pour la détermination des performances instantanées du capteur solaire, un certain nombre de paramètres doivent être mesurés.

Les différents paramètres mesurés et les instruments de mesure utilisés sont [1]:

- Températures: 08 thermocouples étalonnés de type K ont été installés pour la mesure de la température sur différentes parties du système. L'emplacement des thermocouples est montré en figure 1.
- Mesure du débit (méthode classique).
- Mesure d'éclairement solaire: un solarimètre de type Kipp & Zonen est installé sur le plan du capteur pour la mesure du global incliné à la latitude du lieu 36.4°
- Acquisition des données: un enregistreur de type Hydra Séries II est utilisé pour l'enregistrement des données.

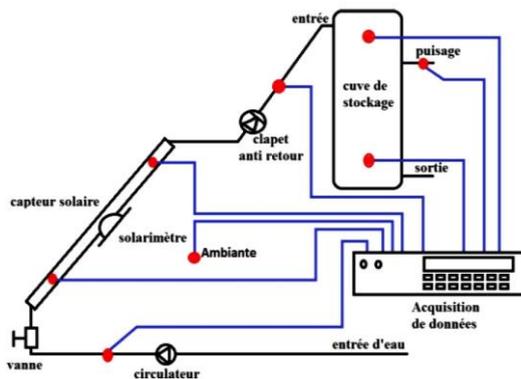


Fig. 1: Disposition des thermocouples dans le système

2.2 Support du capteur

Pour faciliter le déplacement, l'orientation et l'inclinaison du capteur, un support adéquat aux conditions de tests a été réalisé, (Fig. 2), [1].

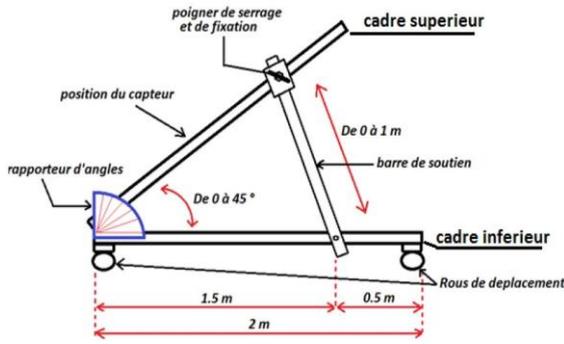


Fig. 2: Support du capteur

3. MODELISATION THEORIQUE

Soit \dot{Q}_a , l'énergie solaire absorbée par le capteur et \dot{Q}_u , l'énergie utile transmise au fluide caloporteur, \dot{Q}_p , l'énergie perdue par le capteur (rayonnement, convection) et ΔU étant la variation d'énergie interne.

Le bilan énergétique sur un volume de contrôle, autour de l'ensemble du capteur s'écrit:

$$\dot{Q}_a = \dot{Q}_u + \dot{Q}_p + \Delta U \tag{1}$$

En supposant que le régime est stationnaire, la variation d'énergie interne s'annule et l'équation (1) s'écrit:

$$\dot{Q}_u = \dot{Q}_a - \dot{Q}_p \tag{2}$$

La quantité d'énergie extraite du capteur et récupérée par le fluide peut être exprimée par la relation suivante:

$$Q_u = \dot{m} \times C_p \times (T_s - T_e) \tag{3}$$

En introduisant le coefficient de pertes globales U_g (avant, arrière, latérale) du capteur, l'énergie utile peut être exprimée par la relation suivante, [1, 2]:

$$Q_u = A_c F_r [G - U_g (T_e - T_a)] \tag{4}$$

$$Q_u = A_c F_r [(\tau\alpha)_{\text{eff}} I_g - U_g (T_e - T_a)] \tag{5}$$

Pour un collecteur de type serpentin, le facteur F_r (facteur de conductance) a été évalué par Zhang *et al.*, (1985) en fonction de trois paramètres dimensionnels (F_1 , F_2 et F_3) [2]. Il est donné par:

$$\frac{F_r}{F_1} = F_3 \times \left\{ \frac{2 F_5 F_3}{F_6 \exp \left[-F_3 \left(1 - F_2^2 \right)^{0.5} \right] + F_5} - F_5 \right\} \tag{6}$$

Les paramètres F_1, F_2, F_3 sont fonctions des paramètres géométriques (w, e_p, D_i, D_e, N), des paramètres thermiques (K_p, U_g, C_p, h_f) et du débit du fluide du capteur, tel que:

$$F_1 = \frac{\kappa}{U_g w} \frac{\kappa R(1+\gamma)^2 - 1 - \gamma - \kappa R}{[\kappa R(1+\gamma) - 1]^2 - (\kappa R)^2}, \quad F_2 = \frac{1}{\kappa R(1+\gamma)^2 - 1 - \gamma - \kappa R}$$

$$F_3 = \frac{\dot{m} C_p}{F_1 U_g A_c}, \quad F_4 = \left(\frac{1 - F_2^2}{F_2^2} \right)^{0.5}$$

$$F_5 = \frac{1}{F_2} + F_4 - 1, \quad F_6 = 1 - \frac{1}{F_2} + F_4 \quad (7)$$

$$\text{Avec, } \kappa = \frac{(k \times e_p \times U_g)^{0.5}}{\sinh \times [(2w) \times (U_g / k \times e_p)^{0.5}]}$$

$$\gamma = -2 \cosh [(2w) \times (U_g / k \times e_p)^{0.5}] - \frac{D \times U_g}{\kappa}$$

$$R = \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_i h_f} \quad (8)$$

Le rendement instantané du capteur s'écrit comme étant le rapport entre la puissance récupérée par le capteur solaire et celle incidente. On note, [2-4]:

$$\eta = \frac{Q_u}{Q_a} = F_r \times (\tau \alpha)_{\text{eff}} - F_r \times U_g \times \frac{T_e - T_a}{I_g} \quad (9)$$

Avec- $\eta_0 = F_r \times (\tau \alpha)_{\text{eff}}$, le rendement optique du capteur.

Conformément aux normes européennes, l'équation peut se mettre sous la forme:

$$\eta = \eta_0 - a_1 \times X - a_2 \times X^2 \quad (10)$$

$$\text{Avec- } X = \frac{(T_{\text{mf}} - T_a)}{I_g}$$

a_1 et a_2 , coefficients de pertes thermiques du 1^{er} et 2^{ème} degré. Par ailleurs, la relation du rendement journalier peut être estimé à partir de la relation suivante, [2, 4]:

$$\eta = \frac{\dot{m} \times C_p \times \int (T_s - T_e) dt}{A_c \times \int I_g dt} \quad (11)$$

4. TESTS EXPERIMENTAUX

Une série de tests de rodage, ont été entrepris au sein du Département de Génie Mécanique à l'Université de Blida sur une période de trois jours (exigé par la norme EN 12975-2, [3]), puis une semaine [8]. Plusieurs types de tests ont été effectués, à savoir:

- A circuit ouvert et sans stockage. (Journée du 15, 16/07/2012).
- A circuit ouvert avec $T_e = T_a$. Journée type choisie pour le mois de Juillet (17/07/2012).
- Tests avec $T_e = T_a + 20$ et $T_e = T_a + 40$. Journée du (18/07/2012).
- A circuit fermé avec cuve de stockage d'une capacité de 40 litres. Journée du (19/07/2012).

4.1 Constante du temps

Pour effectuer le test de la constante de temps, le capteur a été incliné à un angle de 36.4° (latitude de Blida) et ce conformément aux conditions de tests exigées par la norme EN 12975-2, [3]. Les tests pour la détermination de la constante du temps du capteur ont été effectués et ont donné 275 s (4m, 58s) comme le montre bien la figure 3.

Cette valeur indique que le capteur a une bonne conception et une faible inertie qui permet la réalisation de l'effet de thermosiphon après un faible laps de temps [7].

Le capteur solaire a été découvert à un temps t pour mesurer jusqu'à ce que l'écart de température ($T_s - T_a$) atteigne une valeur presque constante. La constante de temps correspond au temps correspondant à une augmentation égale à 3 % du total.

4.2 Performances du capteur

La variation journalière de l'éclairement solaire global mesuré sur le plan du capteur pendant les journées de tests, est donnée dans les figures 4 et 5.

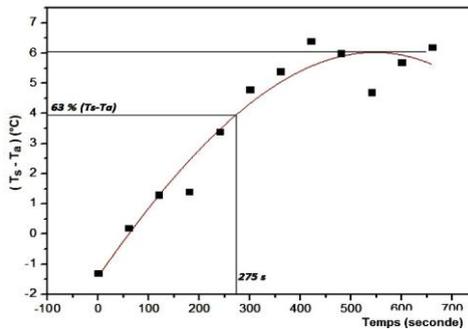


Fig. 3: Constante du temps

4.3 Résultats

Ces dernières indiquent que le jour des tests, le ciel était clair.

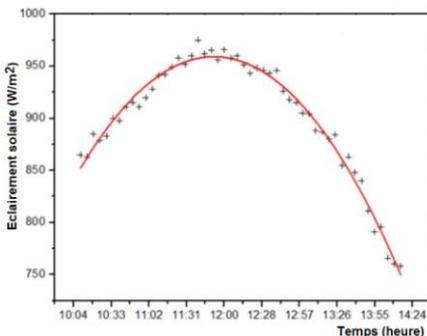


Fig. 4: Variation de l'éclairement solaire global incliné (17/07/2012)

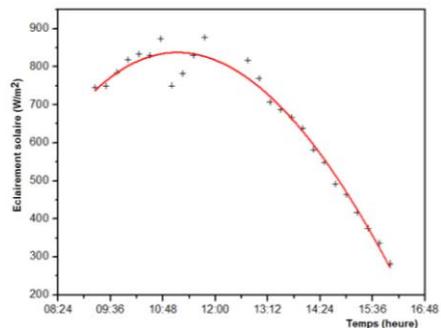


Fig. 5: Variation de l'éclairement solaire global incliné (19/07/2012)

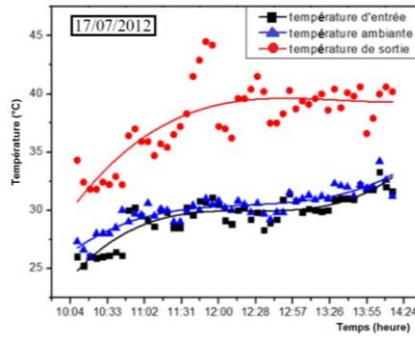


Fig. 6: Variation des températures d'entrée, sortie et ambiante

Durant le test, le maintien de la température d'entrée du fluide à 2°C autour de la température ambiante, a été réalisé à l'aide d'une résistance électrique.

L'évolution des différentes températures mesurées en fonction du temps sont données en figure 6 à 9 et ce pour les journées de test.

On note en figure 6 et 7 que le gradient de température entrée- sortie devient de plus en plus important le long de la journée jusqu'à atteindre $\Delta T \approx 10^\circ\text{C}$ pour la journée du 17 et 4°C pour celle du 19/07/2012.

Par ailleurs, la température entrée du fluide suit la forme de l'évolution de la température ambiante. Ceci étant vrai lorsque le ciel est clair.

L'intersection constatée en figure 7, de la courbe de température d'entrée du capteur et celle de sortie à la fin de la journée, est due à la chute de la température ambiante et de l'éclairage solaire global.

L'évolution de la température de la plaque absorbante (supérieure et inférieure) pour les deux journées est représentée respectivement en figures 8 et 9.

On remarque une évolution similaire des deux températures (inférieure et supérieure) de la plaque absorbante.

La température maximale atteint respectivement 70°C et 88°C pour les journées du 17 et 19/07/2012. Un écart de 2°C est obtenu entre la température supérieure et inférieure de la plaque absorbante.

L'évolution de la température à l'intérieur de la cuve de stockage est représentée en figure 10 et ce pour la journée du 19 juillet 2012.

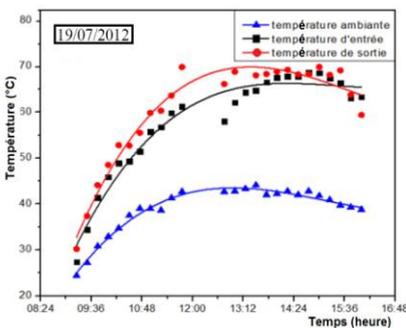


Fig. 7: Variation des températures d'entrée, de sortie et ambiante

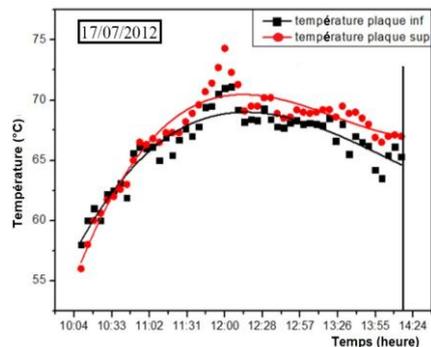


Fig. 8: Variation des températures de la plaque absorbante

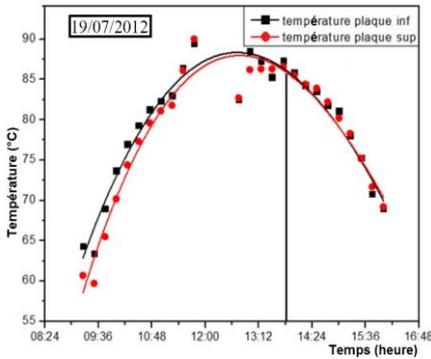


Fig. 9: Variation des températures de la plaque absorbante

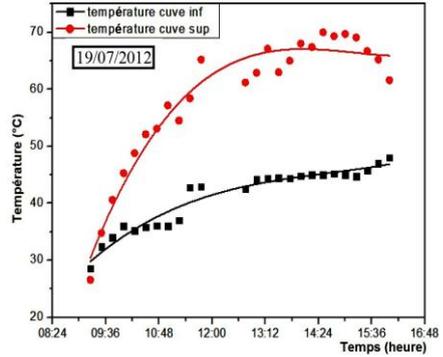


Fig. 10: Variation des températures des deux niveaux de la cuve

En effet, un gradient de température apparaît entre les deux niveaux. C'est le phénomène de stratification. Cette stratification est justifiée par la position verticale de la cuve de stockage.

Par ailleurs, ces courbes peuvent être décomposées en deux phases distinctes:

1) *Phase de charge*- dans ce cas, la température dans la cuve augmente et sa courbe présente une droite avec une pente très importante. Autrement dit en espace d'un période relativement court.

2) *Phase de stockage*: Dans cette phase le système étant à l'arrêt, on remarque une stabilité de température, ensuite une légère diminution à cause des pertes thermiques dans la cuve de stockage.

Ceci étant vrai pour un stockage sans soutirage d'eau de la cuve. Pour la journée (19/07/2012), un rendement journalier de 41 % a été calculé.

5. CONCLUSION

L'étude présentée a permis la détermination des performances d'un capteur solaire plan muni d'un collecteur en forme de serpent. Le principe de fonctionnement, ainsi que les paramètres influant sur le rendement des capteurs plans ont été cernés et définis.

Les différentes températures mesurées au niveau de capteur et de la cuve de stockage ont été présentées et discutées. Le rendement journalier obtenu indique que le capteur réalisé est bien conçu.

Par ailleurs, il faut souligner que les tests (par ciel clair) n'ont duré que deux jours, ce qui restent insuffisant pour l'établissement des caractéristiques du capteur solaire plan. En effet, il serait intéressant de mener des tests de performances en incluant des perturbations climatiques (température ambiante, éclairage, soutirage de l'eau de la cuve, ...).

Certaines améliorations peuvent être proposées pour augmenter les performances du système, telles que:

- Choisir un absorbeur de meilleure qualité. [9]
- Veiller à la bonne adhérence radiateur-absorbeur.
- Rajouter un revêtement sélectif de l'absorbeur. [10]
- Intégrer un système de régulation de la température d'entrée à la cuve de stockage.

NOMENCLATURE

<p>A_c - Surface d'ouverture du capteur, m^2</p> <p>U - Coefficient de pertes therm., W/m</p> <p>C_p - Chaleur spécifique, $kJ/kg.K$</p> <p>\dot{m} - Débit massique, kg/s</p> <p>T - Température, K</p> <p>D - Diamètre</p> <p>η_0 - Rendement optique</p> <p>a - absorbé, ambiante, u - utile.</p> <p>g - global. p - perdue.</p>	<p>C_p - Chaleur spécifique, $kJ/kg.K$</p> <p>k - Coefficient de convection, $W/m^2.K$</p> <p>k_p - Conductivité de la plaque, $W/m.K$</p> <p>G - Irradiation solaire globale, W/m^2</p> <p>Q - Quantité de chaleur, W</p> <p>w - largeur de l'ailette, m</p> <p>η - Rendement</p> <p>e - extérieur, entrée, eau, i - intérieur.</p> <p>s - sortie.</p>
--	--

REFERENCES

- [1] O. Ketfi, '*Réalisation et Expérimentation d'un Capteur Solaire Plan à Eau*', Mémoire de Master, Université de Blida, 2012.
- [2] J.A. Duffie and W.A. Beckman, '*Solar Engineering of Thermal Processes*', Second Edition, New York, 1991.
- [3] EN 12975, Capteurs Solaires-Méthodes d'Essai, '*Installations Solaires Thermiques et leurs Composants*', Partie 2, 2006.
- [4] M. Merzouk, '*Protocole et Banc d'Essais pour l'Etude Expérimentale des Capteurs Solaires Plans*', Rapport Technique Interne, CDER, 1990.
- [5] O. Ketfi et S. Khaled, '*Etude d'un Système de Régulation pour Chauffe-eau Solaire*', Mémoire de Licence, Université de Blida, 2010.
- [6] H. Abdi, '*Contribution à la Détermination des Performances de Capteurs Plans à Contact Direct Eau-Plaque d'Absorption*', Mémoire d'ingénieur, Université de Blida, 1999.
- [7] A. Arbane, '*Analysis of Experimental Test Results for the Solar Water Heater of UDES*', Unité de Développement des Equipements Solaires, Bousmail, 2013.
- [8] K. Kaci, N. Kasbadji Merzouk, M. Merzouk and S.A. Hakem, '*Effect of Test Norms on the Instantaneous Efficiency of a Flat Plate Collector*', Procedia Engineering, ISWEE, Vol. 33, pp. 392 - 403, 2012.
- [9] J.P. Holman, '*Heat Transfert*', tenth edition, New York, 2010.
- [10] F. Haddad, A. Chikouche and M. Laour, '*Simulation of the Opti-Physical Parameters of Selective Surfaces of Absorber by the FATD Method Applied to Solar Water Heater*', Energy Procedia, Février 2011.