

Influence de la Nature de l'Absorbeur sur les Performances d'un Capteur Solaire Plan à Contact Direct Eau-Plaque d'Absorption

R.Kerfah^{#1}, B. Noura^{#2}, A. Zaaraoui^{#3}

*# Laboratoire Fluides Industriels, Mesures et Applications. Université de Djilali Bounaâma
Khemis Miliana W. Ain Defla, 44225, Algérie.*

¹rkerfah@yahoo.fr

²nourabelhadj@yahoo.fr

³a.zaaraoui@gmail.com

Résumé — Dans ce présent papier, nous présentons une étude théorique de l'effet du changement de la nature de la plaque d'absorption sur les performances d'un capteur solaire plan. Ce capteur est de type radiateur à contact direct eau plaque d'absorption. Les équations régissant le fonctionnement du système ont été établies afin de modéliser les transferts thermiques. Un code de calcul a été élaboré afin de déterminer les différents paramètres du capteur solaire à savoir débit, température, température de stockage, rendement instantané du capteur solaire et le rendement journalier du chauffe-eau. Afin d'étudier l'effet de la nature de l'absorbeur sur les performances du capteur solaire, plusieurs types de matériau ont été testés (acier, aluminium, cuivre, caoutchouc, polymère). La résolution du système algébrique d'équations issu de la modélisation a montré que les performances de ce type de capteur solaire plan (à contact direct eau plaque d'absorption) dépendent de la nature de l'absorbeur. Les résultats ont montrés que le cuivre présente le meilleur rendement suivi de l'aluminium, l'acier et en dernier lieu le caoutchouc.

Mots clés—: Énergie solaire, Capteur solaire plans, Contact direct, Chauffe-eau, La plaque absorbante

I. INTRODUCTION

L'énergie solaire présente des coûts de fonctionnement réduits et offre dans certains cas une alternative économiquement rentable par rapport aux sources d'énergie conventionnelles.

Le développement de l'utilisation de l'énergie solaire sera lié non seulement à ses avantages économiques (qui grandiront au fur et à mesure que les réserves d'énergie fossile diminueront) mais surtout à des considérations liées à la protection de l'environnement : pas de rejets polluants (fumées contenant du CO₂ et des NO_x par les centrales thermiques), pas de danger radioactif et de déchets encombrants (centrales nucléaires).

Dans le but de changer les matériaux classiques utilisés dans la réalisation des absorbeurs des capteurs solaires plans afin de réduire le coût de réalisation. Pour cela une étude de l'influence de ce changement sur les performances du capteur solaire plan s'impose. Le capteur choisi est du type radiateur à contact direct eau plaque d'absorption. Après avoir établi une étude théorique afin de modéliser le comportement du capteur vis-à-vis ce changement, un code de calcul nous a permis de comparer plusieurs types de matériau (acier, aluminium, cuivre, caoutchouc, polymère... etc.)

II. DESCRIPTION DU CHAUFFE-EAU SOLAIRE :

Le chauffe-eau solaire est constitué d'un capteur plan de 0,5 m² de surface, et d'une cuve de stockage ayant une capacité de 110 litres. La particularité de ce capteur solaire est le contact direct eau- plaque d'absorption. Le passage de l'eau à travers ces plaques se fera dans des espaces aménagés dans celles-ci par formage (emboutissage), ces plaques sont soudées formant ainsi l'absorbeur (Figure 1). Les caractéristiques techniques des deux capteurs conçues sont données dans le

tableau 1

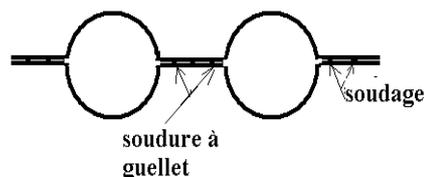


Figure 1 : Plaque absorbante

$$T_{pm} = T_{fe} + \frac{Qu}{A_c U_G Fr} (1 - Fr) \quad 2$$

TABLEAU 1 : LES CARACTERISTIQUES TECHNIQUE DU CAPTEUR SOLAIRE

Eléments	Dimensions et caractéristiques
Bac	Longueur : 935 mm Largeur : 670 mm Epaisseur : 83 mm
Couverture	Longueur : 929 mm Largeur : 669 mm Epaisseur : 4 mm Emissivité : 0,88 Indice de réfraction : 1,52 Coefficient d'extinction : 16
Absorbeur	Longueur : 865 mm Largeur : 600 mm Epaisseur : 1 mm Absorptivité : 0,94 Emissivité : 0,96 Conductivité thermique : Cuivre : 386 W/m.°C Aluminium : 204 W/m.°C Acier : 46 W/m.°C Caoutchouc : 0,19 W/m.°C
 Tubes	Nombre des tubes : 10 Diamètre : 12 mm
Collecteur	Diamètre : 22 mm
Isolant	Epaisseur arrière : 35 mm Epaisseur latérale : 35 mm Conductivité thermique : 0,041 W/m°C

III. MODELISATION DU CAPTEUR SOLAIRE :

Pour déterminer les performances d'un capteur solaire plan, on doit faire une analyse thermique de l'absorbeur dont la modélisation est généralement très compliquée. Cette difficulté résulte de l'instabilité des flux d'énergie dans le temps et de la variation des modes de transfert thermique qui la régissent.

En régime quasi-stationnaire, la puissance récupérée au niveau du fluide caloporteur est définie comme étant la différence entre l'énergie solaire incidente et les pertes thermiques [1].

$$Qu = A_c \cdot [(\tau\alpha)_{eff} \cdot G_t - U_G \cdot (T_{pm} - T_{amb})] \quad 1$$

Pour calculer les paramètres du capteur U_G, Fr, F_c, Qu , la température moyenne de la plaque T_{pm} , la température moyenne du fluide dans le capteur et le débit massique sont initialisés. Le calcul est répété par itérations.

La température moyenne de la plaque est donnée par :

La température moyenne du fluide dans le capteur est calculée par l'équation de Kein [2]

$$T_{fm} = T_{fe} + \frac{Qu}{A_c U_G Fr} \left(1 - \frac{Fr}{Fc}\right) \quad 3$$

Le rendement du capteur est défini comme étant le rapport entre l'énergie extraire par le fluide caloporteur et l'énergie incidente sur le capteur.

$$\eta_i = \frac{Qu}{A_c G_t} \quad 4$$

Pour le calcul de la température de l'eau stocké, on adopte le modèle brasé. ce dernier consiste à supposer que la température dans la cuve de stockage est uniforme. Le régime est considéré transitoire.

La variation de l'énergie stockée dans la cuve est donc :

$$(MCp)_s \frac{dT_s}{dt} = A_c Fr [(\tau\alpha)_{eff} G_t - U_G (T_s - T_{amb})] - (UA)_s (T_s - T_{amb}) - \dot{m} C p_s (T_s - T_{Lv}) \quad 5$$

L'intégrale d'Euler peut être utilisée et l'équation précédente devient alors :

$$T_s^* = T_s + \frac{\Delta t}{(MCp)_s} \left[A_c Fr \left((\tau\alpha)_{eff} G_t - U_G (T_s - T_{amb}) \right)^* - (UA)_s (T_s - T_{amb}) - \dot{m} (T_s - T_{amb}) \right] \quad 6$$

Le rendement du chauffe-eau est donné dans le cas sans puisage par équation suivante :

$$\eta_{ce} = \frac{W_{ft} (T_m^* - T_m)}{A_c \int_0^t G_t dt} \quad 7$$

IV. RESULTATS ET INTERPRETATIONS :

La journée représentative est celle du 21/06/2014, cette dernière est caractérisée par un ciel clair, une vitesse de vent moyenne égale à 0,8 m/s. et une température ambiante entre 20 et 35°C, ces caractéristiques nous mènent à dire que c'est une journée normale avec des coefficients de troubles $A=0,88$ et $B=0,26$

La

figure 2 représente l'évolution de l'éclairement solaire global sur une surface inclinée durant la journée du 21/06/2014. L'allure a la forme d'une cloche. Le sommet se situe à midi (TSV), la valeur maximale est de 974 W/m²

La

figure 3 illustre l'évolution de la température de la plaque absorbante, on remarque qu'elle suit une variation similaire à celle de l'éclairement. On constate que le cuivre et l'aluminium présentent des courbes similaires, tandis que l'acier présente une température de la plaque qui est peu élevée que celles de l'aluminium et le cuivre, a cause de sa conductivité thermique qui est en peu petite en la comparant avec celles de l'aluminium et le cuivre. Néanmoins, le caoutchouc présente une température très élevée à l'égard de celles de trois autres matériaux, car sa conductivité thermique est plus petite par rapport aux autres matériaux.

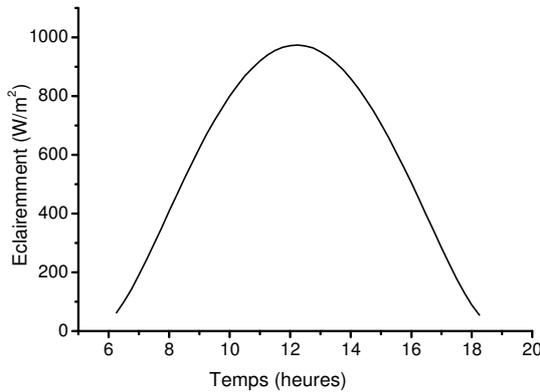


Figure 2 : Evolution de l'éclairement global sur une surface inclinée (21/06/2014)

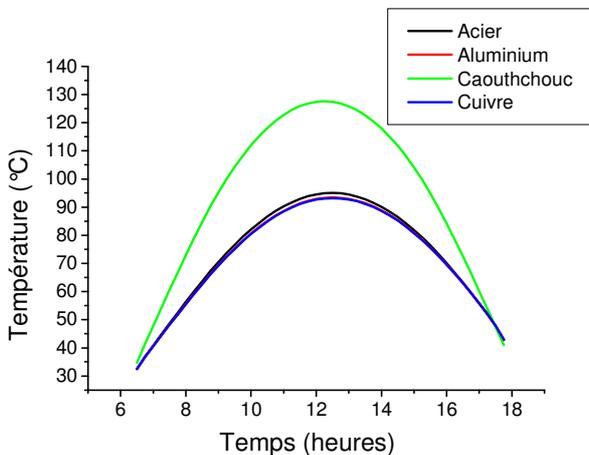


Figure 3 : Evolution de la température de la plaque absorbante au cours de la journée du 21/06/2014

La variation de la température de sortie du fluide dans les quatre cas étudiés est représentée dans la figure 4. Malgré que l'allure générale des courbes est similaire à celle des courbes de la température de la plaque absorbante, on constate un inversement du classement de ces courbes, c'est-à-dire que les

matériaux qui donnent une température de la plaque plus élevée, présentent une température de sortie de fluide plus basse, et vis versa, ceci est expliqué par l'influence de la résistance thermique des matériaux constituant l'absorbeur.

La figure 5 représente l'évolution de la température moyenne de l'eau dans la cuve de stockage, cette température évolue suivant trois phases. Dans la première phase, on constate que les courbes sont presque horizontales ce qui signifie que la quantité de chaleur absorbé n'est pas suffisante pour augmenté la température de stockage vue la quantité d'eau présente dans la cuve. Dans la deuxième cette phase, la température augmente d'une façon considérable, en fin de journée nous avons remarqué que la température de stockage continue à augmenter malgré la diminution de l'intensité du rayonnement, ceci est dû aux éléments chauds du capteur (absorbeur, tubes...) qui cèdent leur chaleur à l'eau entrant dans la cuve et dans la dernière phase, la température se stagne voir diminue d'une façon très minime, ceci semble dû à l'isolation thermique de la cuve de stockage. Aussi l'évolution de la température de stockage suit parfaitement le même ordre de classement que celles de la température de fluide à la sortie du capteur solaire.

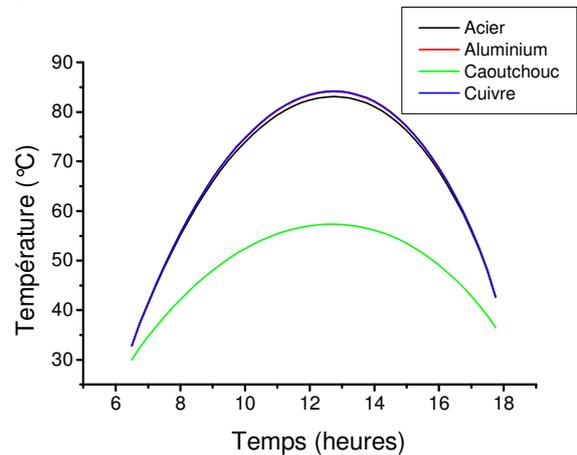


Figure 4 : Evolution de la température de du fluide à la sortie du au cours de la journée du 21/06/2014

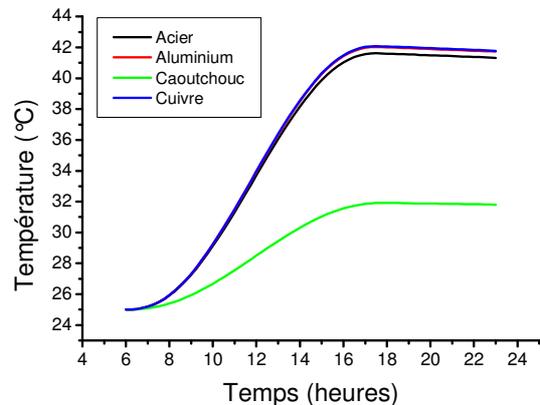


Figure 5 : Evolution de la température de l'eau dans la cuve de stockage au cours de la journée du 21/06/2014

L'évolution du débit massique est représentée par la figure 6, l'allure générale des courbes de celui-ci présente une parabole similaire à celle de l'éclairement solaire, elle diminue avec le flux solaire. Atteignant son maximum au l'environ de midi TSV. On constate que le débit massique pour le caoutchouc est très petit par rapport aux autres matériaux à cause de sa température de fluide très basse, à la même cause l'acier présente un débit massique plus petit que le cuivre et l'aluminium, avec un écart aussi très petit.

L'évolution du rendement instantané est représentée par la figure 7, ce rendement atteint son maximum dans la période de la matinée, puis il commence à diminuer à la fin de la journée. Il est à noter que le rendement dans le cas du caoutchouc est très petit en le comparant avec ceux-ci des autres matériaux, car son débit massique, sa chaleur spécifique et sa température du fluide, sont plus petits que les autres matériaux.

On remarque également que l'acier a présenté un rendement plus petit que le cuivre et l'aluminium.

A la fin de la journée (environ de 16h30) on remarque que le rendement du caoutchouc devient plus grand que ceux-ci des autres matériaux, ce phénomène est à l'origine de ses faibles pertes thermiques par rapport aux autres matériaux.

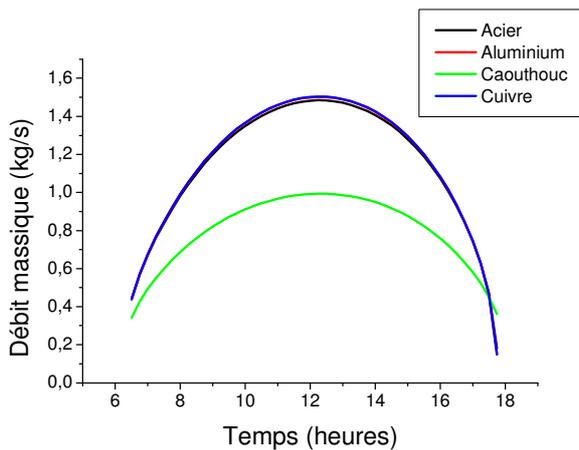


Figure 6 : Evolution du débit massique au cours de la journée du 21/06/2014

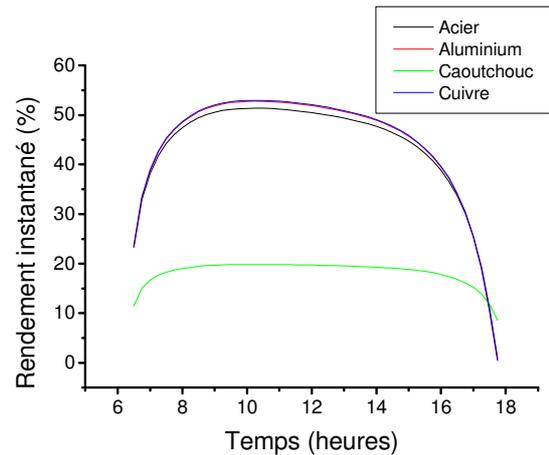


Figure 7 : Evolution du Rendement instantané au cours de la journée du 21/06/2014

Le rendement journalier et le rendement de chauffe-eau solaire dans les quatre cas étudiés sont présentés dans le tableau 2.

TABLEAU 2 : RENDEMENT JOURNALIER ET RENDEMENT DU C.E.S

		Rendement journalier	Rendement du C.E.S
Matériau de l'absorbeur	Acier	46,97 %	45,27 %
	Aluminium	48,08 %	46,38 %
	Caoutchouc	19,02 %	18,89 %
	Cuivre	48,21 %	46,54 %

V. CONCLUSION :

Les performances du capteur solaire dépendent de plusieurs paramètres. Parmi ces paramètres, les plus importants sont les conditions extérieures, la construction même du capteur ainsi que les caractéristiques thermiques des matériaux et fluides utilisés. La nature de la plaque d'absorption influe aussi sur les performances du capteur. Le changement du matériau du plaque absorbante va influe sur les performances du capteur solaire. Pour cela nous avons établi un modèle mathématique basé sur les bilans thermiques des différents éléments du capteur pour obtenir l'évolution de ces performances (débit, température, rendement).

Les résultats obtenus par l'étude des performances du capteur dans les cas étudiées (acier, aluminium, caoutchouc, cuivre) nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

Le cuivre présente le meilleur rendement suivi par l'aluminium, l'acier et en dernier lieu le caoutchouc.

La conductivité thermique représente un paramètre important dans le choix du matériau de la plaque d'absorption.

Afin de obtenir en rendement performant, on doit utiliser un matériau qui à une conductivité thermique élevée que possible

VI. NOMENCLATURE :

Ac : Surface du capteur. m^2

$\tau\alpha_{eff}$: Produit effective transmissivité-absorptivité

Cp : Chaleur spécifique de l'eau. ($J/Kg^{\circ}C$)

Dh : Diamètre hydraulique de section de passage. (m)

Fc : Efficacité d'échange de l'absorbeur

Fr : Facteur d'évacuation de chaleur (conductance)

Gt : Rayonnement global reçu par une surface incliné. (W/m^2)

H : Hauteur. (m)

Ht : Force motrice générée par le capteur. (m)

\dot{m} : Débit massique. (Kg/s)

Qu : Energie utile récupérée par le fluide. (W)

T: Température. $^{\circ}C$

W.f : Capacité thermique de l'eau stockée dans la cuve de stockage

ρ_1 : Masse volumique de l'eau à l'entrée du capteur. (Kg/m^3)

ρ_2 : Masse volumique de l'eau à la sortie du capteur. (Kg/m^3)

η_{cc} : Rendement du chauffe-eau solaire

Indice :

Amb : Ambiante

C : Coude

cc : Cuve-capteur

cv : Cuve de stockage

f : Fluide

m : moyenne

s: stockage

VII. REFERENCES

- [1] J. A. Duffe et William. A. Beckman, "Solar engineering of thermal Processes", Jhon wily et Sons, 2nd edition, New York..1991
- [2] [2] S.A Klein. , J. A. Duffe et W. A. Beckman,"Transit considiration of flat-plate solar collectors", Tran.ASME, j Eenergy For power. 96 A. pp 109
- [3] D. L," Critten, Horticultural greenhouse engineering", Silsoe research institute, England.
- [4] K. S. ong, "An improved computer for thermal performance of a solar water heater". J. Solar Energy 18 , pp 183 – 191. 1976