

INFLUENCE DU CHANGEMENT DE L'ATMOSPHERE ENTRE LE VITRAGE ET L'ABSORBEUR SUR LES PERFORMANCES D'UN CAPTEUR SOLAIRE PLAN

Mr R.kerfah¹ – Mr N.Ait Messaoudene²

1. Centre universitaire de Khemis Miliana, Khemis Miliana – (w) Ain Defla
Tél. /Fax : 027 66 48 63 e-mail : rkerfah@caramail.com
2. Université de Blida, institut de Génie mécanique, Route de soumaa-Blida, B.P 270 – Blida

RESUME

Dans ce présent papier, nous présentons une étude théorique et expérimentale de l'influence du changement de la couche d'air entre la plaque d'absorption et le vitrage par une couche de CO₂ sur les performances d'un capteur solaire plan à contact direct eau plaque d'absorption.

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

1- INTRODUCTION :

L'utilisation de l'énergie solaire pour la production de l'eau chaude sanitaire est une des applications les plus usuelles de cette énergie. Il a été prouvé que certains gaz comme le CO₂ contribuent à augmenter l'effet de serre et au réchauffement de la planète. C'est un effet néfaste du point de vue écologique, mais du point de vue d'un capteur, ce réchauffement de l'atmosphère d'un capteur (couche de gaz entre l'absorbeur et la plaque de verre) est bénéfique et pourrait augmenter son efficacité. La présente étude est toutefois centrée sur les effets qu'apportent le remplacement de la couche d'air qui existe entre la plaque d'absorption et la vitre par une couche de CO₂ [1].

2- DESCRIPTION DU BANC D'ESSAI ET PROCEDURE D'EXPERIMENTATION :

deux types de test expérimentaux sont réalisés. Dans le premier il s'agit de vérifier l'étanchéité du capteur, ce dernier est réalisé avant même le montage du banc d'essai. la vérification consiste à introduire de l'air comprimé dans l'espace entre la plaque d'absorption et la vitre, ensuite une quantité d'eau savonneuse est versée sur le vitrage et le contour du capteur afin de localiser les fuites. Après la localisation des fuites, ces derniers sont obturés à l'aide de silicone. Le deuxième type d'essai est de tester les performances du capteur avec du CO₂. Le banc d'essais est composé du prototype réalisé (Figure 1) et une cuve de stockage de capacité 110 litre. le capteur est incliné à 26° par rapport à l'horizontale, orienté plein sud. le tableau 1 donne les dimensions et les caractéristiques des différentes composantes.

les tests se déroulent à Bouzareah. Ce site représente les coordonnées suivantes: latitude 36,8°, longitude 3°12', l'altitude 345 m.

Pour mesurer les températures 11 thermocouple de type K (Kromel-Alumel) sont implantés comme suite (Figure2)

- Quatre thermocouples sont mis à des différentes positions à l'intérieur de la cuve de stockage afin de mesurer la température à l'intérieur de celle-ci.
- Trois thermocouples sont placés diagonalement sur la plaque d'absorption.
- Deux thermocouples sont placés à l'entrée et à la sortie du capteur
- Deux thermocouples l'un à 60mm de la plaque et l'autre à 3mm, pour déterminer la température du CO₂.

Les thermocouples sont connectés à un enregistreur de type Hydra DATA Acquisition Unit (model 2620A) à 20 voies. Le débit massique est mesuré en se basant sur la méthode de visualisation de l'écoulement [2] en injectant un colorant dans la conduite transparente de 32 cm de longueur et de 16 mm de diamètre. l'éclairement globale est mesuré par un solarimètre (model Kipp & Epply). La vitesse du vent est obtenue par l'utilisation d'un anémomètre type NG 6313 (model Jules, Richard & Peckly). Les paramètres indiqués précédemment sont mesurés chaque 15 mn.

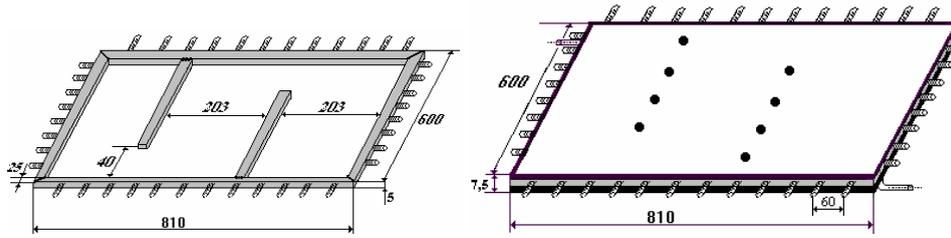


Figure 1 : Schéma du bac parallépipédique

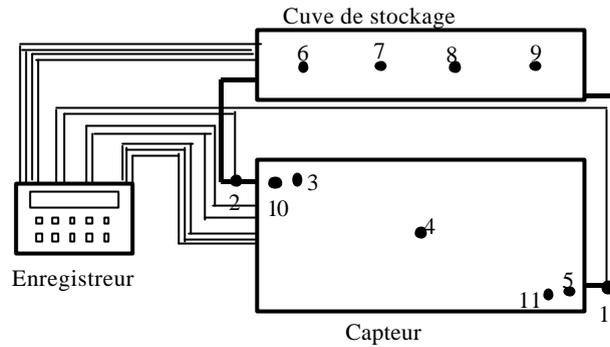


Figure 2 : Dispositions des thermocouples dans le chauffe eau solaire

Tableau 1 : Caractéristiques techniques du capteur solaire

ELEMENTS	DIMENSIONS ET CARACTERISTIQUES	MATERIAUX
Bac	Longueur : 810 mm Largeur : 620 mm Hauteur : 130 mm	Bois
Couverture	Longueur : 804 mm Largeur : 614 mm Epaisseur: 4 mm Transmissivité : 0.8 Indice de réfraction : 1.52 Coefficient d'extinction : 16	Verre blanc 4 mm
Absorbeur	Longueur : 810 mm Largeur : 600 mm Epaisseur : 1 mm Emissivité: 0.95 Conductivité : 46.7 (w/m°C) Absorptivité : 0.94	Acier galvanisé 1 mm
Isolant	Epaisseur : 30 mm Conductivité : 0.041 (w/m°C)	Laine de verre

3- ANALYSE THEORIQUE DES SYSTEMES :

La puissance récupérée par le fluide caloporteur est défini comme étant la différence entre l'énergie solaire incidente et les pertes thermiques. Elle est donnée par [3]

$$Q_u = A_c \cdot [(\tau\alpha)_{\text{eff}} \cdot G_t - U_G \cdot (T_{\text{Pm}} - T_{\text{amb}})]$$

1

Pour le calcul des paramètres de performance, on suppose que

- Le CO₂ est un gaz gris.
- Le rayonnement réémis par la plaque d'absorption est totalement absorbé par la couche de gaz.

Pour calculer les paramètres du capteur U_G, Fr, Fc, 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 [3] :

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

La température moyenne du fluide dans le capteur est calculée par l'équation de Kein [4]

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

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 :

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

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

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

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

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

Pour le calcul du débit massique nous avons recouru à un modèle relativement simple issu des équation d'Euler modifiées et de l'équation de continuité, appliquées au système en se basant sur les hypothèses suivante :

- Régime quasi-stationnaire ($\frac{\partial}{\partial t} = 0$ pendant l'intervalle de temps choisis pour le calcul)
- Fluide peut compressible
- La variation de la masse volumique suit une forme polynomiale et varie linéairement avec les hauteurs dans la cuve de stockage et dans le capteur. (figure)
- Les pertes thermiques des tubes de connexion sont négligeables.

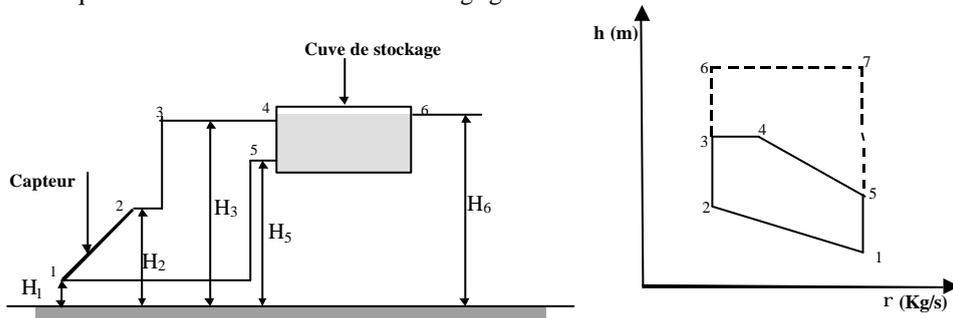


Figure 3 : Variation de la masse volumique de l'eau dans les différentes positions du C.E.S

L'écoulement de l'eau est régi par l'équation (système de coordonnées curvilignes) [5]

$$\frac{1}{\rho g} \left(\frac{\partial P}{\partial S} \right) + \frac{u}{g} \left(\frac{\partial u}{\partial S} \right) + \frac{1}{g} \left(\frac{\partial u}{\partial t} \right) + \frac{\partial h}{\partial S} + \frac{\partial H_f}{\partial S} = 0 \quad 8$$

L'expression de la force motrice générée par le capteur d'écoulant du calcul analytique ou graphique est la suivante :

$$H_t = \frac{\rho_1 - \rho_2}{2} F(h) \quad 9$$

Avec :

$$F(h) = 2(H_3 - H_1) - (H_2 - H_1) - \frac{(H_3 - H_5)^2}{H_6 - H_5} \quad 10$$

A l'équilibre, la force motrice générée par le capteur est égale à la somme des pertes de charges linéaires et singulières dans le circuit.

L'équation du débit massique est donc un polynôme de second degré:

$$K_1 \dot{m}^2 + K_2 \dot{m} + K_3 = 0 \quad 11$$

Avec :

$$K_1 = \frac{8}{\pi^2 \rho_m^3 g D_t^4} \sum_{n=1}^4 \left(1 - \frac{S_n}{S_{n+1}} \right)^2 + \frac{8}{\pi^2 \rho_m^2 g D_t^4} \sum_{c=1}^6 \xi_C + \frac{8}{\pi^2 \rho_m^3 g D_t^4} \sum_{con=1}^4 \xi_{co} + \frac{8C_1}{\pi^2 \rho_m g D_t^4} \xi_\pi \quad 12$$

$$K_2 = \frac{144L}{D_h^4} + 128 \sum_{CC=1}^8 \frac{L_{CC} \cdot \mu}{D_{CC}^4 \rho g \pi} \quad 13$$

$$K_3 = \frac{\rho_1 - \rho_2}{2} F(h) \quad 14$$

4- RESULTATS ET DISCUSSIONS

La journée représentative est celle du 04/04/1999, cette dernière est caractérisée par un ciel clair avec des passages nuageux dans l'après-midi, une vitesse de vent entre 0 m/s et 2,1 m/s et une température ambiante entre 18,8°C et 27°C, ces caractéristiques mous mènent à dire que c'est une journée normale avec des coefficients de troubles A=0,88 et B=0,26

La figure 4, illustre la variation théorique et expérimentale de l'éclairement globale sur le plan du capteur. Elle présente la forme d'une cloche dont le sommet se situe à 12 TSV. On constate que les deux courbes sont similaires avec un écart dans la matinée qui devient moins important dans l'après midi. Les fluctuations au niveau des résultats sont dus aux erreurs de mesure et aux coefficients de troubles pris constant dans le temps pour le modèle théorique. La figure 5 montre la variation de la température de sortie du fluide. Une comparaison entre les résultats théoriques et expérimentaux montre une concordance de ces derniers, néanmoins il existe des écarts dus aux écarts au niveau de l'éclairement globale. La variation de la température moyenne de stockage est représentée sur la figure 7. Les deux courbes ont les mêmes allures avec un écart dus aux perturbations déjà indiquées ainsi qu'aux phénomènes de stratification. Le débit massique est représenté sur la figure 8. Les deux courbes suivent la même évolution. Mais, il existe un écart très important entre les deux dans l'intervalle du temps allant de 12^H00 à 13^H00 où le débit massique expérimental est nettement supérieur au théorique cela est dû à l'apport d'énergie reçu par le fluide à travers les tuyaux de connexion supposés isolés dans le modèle théorique.

Le rendement moyen du capteur ainsi que le chauffe-eau sont donnés dans le tableau suivant

Tableau 2 : rendement moyen de la journée 04/04/1999

	Rendement journalier Théorique	Rendement journalier Expérimental
Capteur à couche de CO ₂	46,77 %	52,05 %
Chauffe-eau solaire à couche de CO ₂	36,18	38,42 %

5- 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 (design et matériaux) ainsi que les caractéristiques thermiques des matériaux et fluides utilisés. La couche d'air qui se trouve entre la plaque d'absorption et la vitre influe aussi sur les performances du capteur. Celle-ci est représentée en générale par un milieu transparent. Le remplacement de cette couche par une couche d'un autre gaz (CO₂ dans notre cas) va influencer sur les performances du capteur solaire. Pour cela un modèle mathématique a été établi pour simuler le comportement du capteur. Celui ci est validé par comparaison aux résultats expérimentaux. La concordance s'avère acceptable avec des écarts dus aux perturbations du système (passage nuageux) d'une parts et aux erreurs de mesure d'autre part. , s'ajoute à cela le modèle théorique qui considère que le gaz (CO₂) comme un gaz gris. Ce modèle fait du gaz un obstacle devant le rayonnement incident au plan du capteur. Le rayonnement réémis par la plaque est absorbé par le gaz avant d'être réfléchi une autre fois par le vitrage se qui diminue le rendement du capteur. En fait le modèle mathématique doit être amélioré afin d'inclure l'effet de serre du CO₂ lui-même ainsi que l'échange de chaleur entre le CO₂ et la plaque du fait de réchauffement de celui-ci par rapport à l'air.

NOMENCLATURE

Ac : Surface du capteur. m ²	$\tau\alpha_{\text{eff}}$: Produit effective transmissivité absorptivité
Cp : Chaleur spécifique de l'eau. j/Kg°C	η_{ce} : Rendement du chauffe-eau solaire
D _h : Diamètre hydraulique de section de passage. m	ρ_1 :Masse volumique de l'eau à l'entrée du capteur. Kg/m ³
Fc : Efficacité d'échange de l'absorbeur	ρ_2 :?Masse volumique de l'eau à la sortie du capteur. Kg/m ³
Fr : Facteur d'évacuation de chaleur (conductance)	Indice :
G _t : Rayonnement global reçu par une surface incliné. W/m ²	Amb : Ambiante
H : Hauteur. m	C : Coude
\dot{m} : Débit massique. Kg/s	cc : Cuve-capteur
Qu : Energie utile récupérée par le fluide. w	cv : Cuve de stockage
T: Température. °C	f : Fluide
Ht : Force motrice générée par le capteur. m	m : moyenne
W _f :Capacité thermique de l'eau stockée dans la cuve de stockage	s: stockage

RÉFÉRENCES

- [1] D. L," *Critten, Horticultural greenhouse engineering*", Silsoe research institute, England.
- [2] K. S. ong, "An improved computer for thermal performance of a solar water heater". J. Solar Energy **18** (1976) , pp 183 – 191
- [3] John. A. Duffe et William. A. Beckman, "Solar engineering of thermal Processes", Jhon wily et Sons, 2nd edition, New York.(1991)
- [4] S.A Klein. John. A. Duffe et William. A. Beckman,"Transit considiration of flat-plate solar collectors", Tran.ASME, j Eenergy For power. 96 A. pp 109
- [5] I. E. Ideel'cik," *Memento des pertes de charge*", édition Eyrolles, Paris (1986).

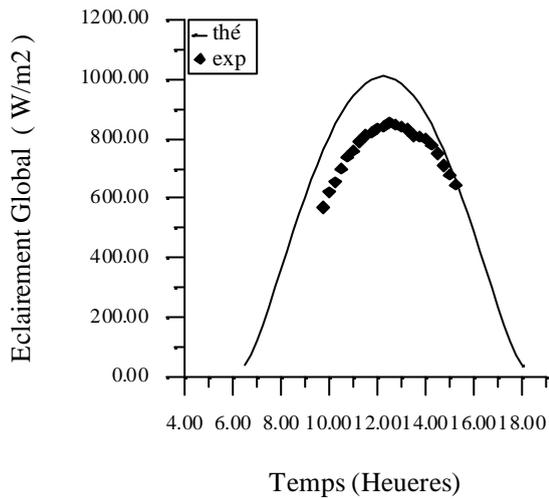


Figure 4 : Variation de l'éclairage global en fonction du temps (04 / 04 / 1999)

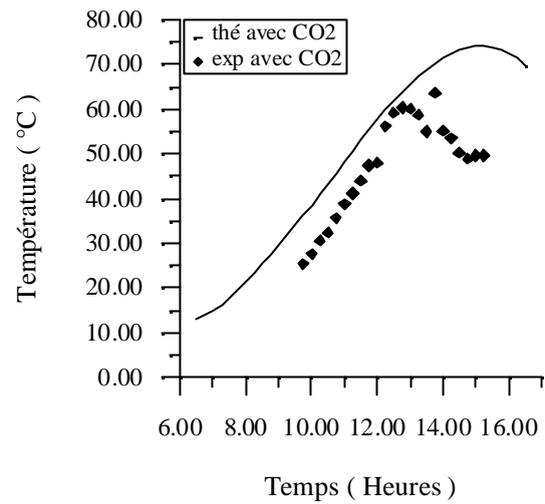


Figure 5 : Variation de la température de sortie de l'eau en fonction du (04 / 04 / 1999)

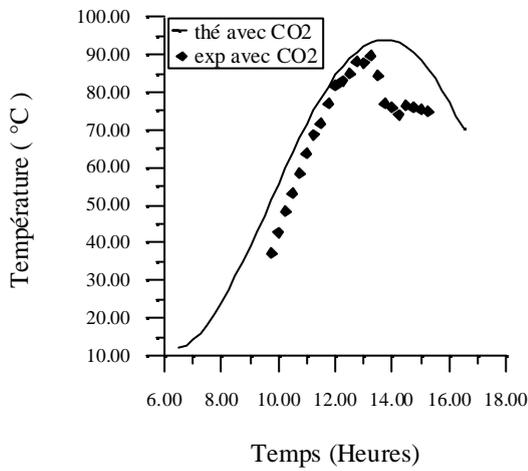


Figure 6 : Variation de la température de la plaque absorbante en fonction du temps (04/04/1999)

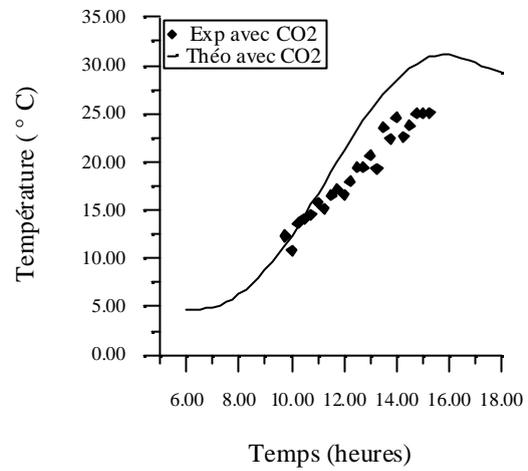


Figure 7 : Variation de la température de stockage en fonction du temps (04/ 04 / 1999)

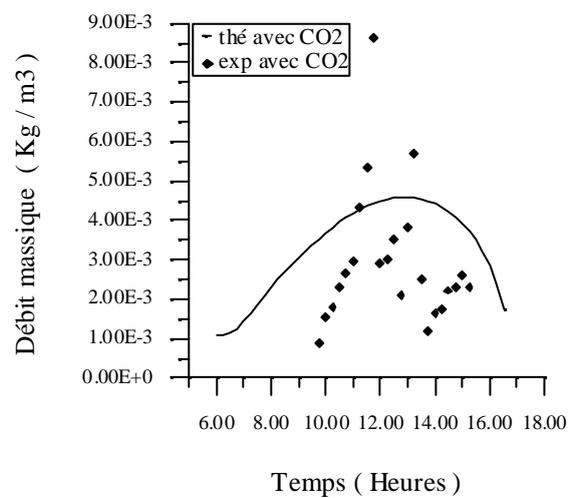


Figure 8 : Variation du débit massique en fonction du temps (04 / 04 / 1999)