

## L'INFLUENCE DU FLUX SOLAIRE SUR L'EFFICACITE DU CONVERTISSEUR SOLAIRE PLAN

Reçu le 07/05/2009 – Accepté le 20/06/2010

### Résumé

Le solaire thermique est une énergie gratuite, nous présentons dans ce travail une application de cette énergie. Notre étude consiste à maîtriser en présence l'influence du flux solaire sur la température de sortie du fluide caloporteur et la température de la plaque d'absorbeur d'un capteur solaire plan incliné. On découpe le capteur en tranches fictives dans le sens de l'écoulement du fluide caloporteur et à établir les bilans des échanges qui interviennent aux niveaux des nœuds considérés : l'extérieure de la vitre, l'intérieur de la vitre, l'absorbeur, dans le fluide caloporteur ainsi que l'intérieure et l'extérieur de l'isolant. Il est commode pour cela d'utiliser l'analogie qui existe entre les transferts de chaleur et les lois électriques, les profils des températures au niveau des nœuds principaux résultats commentés. Le programme élaboré a été validé par l'étude comparative des résultats théoriques et expérimentaux pris dans les mêmes conditions.

**Mots clés** : solaire thermique ; flux solaire ; capteur solaire ; transferts de chaleur

### Abstract

Solar thermal energy is free, in this work we present an application of this energy. Our study is the master in the presence of solar flux influence on the outlet temperature of the coolant and the temperature of the absorber plate of a solar collector inclined plane. We cut the sensor sliced phantom in the direction of flow of the coolant and to establish the balance of trade occurring at the nodes considered: the exterior of the glass, the inside of the glass, the absorber, peddler in the fluid and the interior and exterior of the insulation. It is convenient for it to use the analogy between heat transfer and electrical laws, the profiles of temperature at nodes main results discussed. The program developed was validated by the comparative study of theoretical and experimental results taken under the same conditions.

**Key words** : solar thermal, solar flux, solar, heat transfer

**N. BELLEL  
A. BOURAS**

Laboratoire de physique  
énergétique  
Université Mentouri-Constantine  
Algérie.

### ملخص

الطاقة الشمسية الحرارية هي حرة ، في هذا العمل نقدم طلبا من هذه الطاقة. دراستنا هو سيد في وجود تأثير على تدفق الطاقة الشمسية والحرارة مخرج المبرد، ودرجة الحرارة من لوحة امتصاص طائرة جميع الطاقة الشمسية ميلا. نقطع شبح استشعار شرائح في اتجاه تدفق سائل التبريد وإقامة الميزان التجاري التي تحدث في العقد النظر فيها : الجزء الخارجي من الزجاج، والزجاج من الداخل، وامتصاص، بائع متجول في السائل والداخلية والخارجية من العزل. لأنها مريحة لاستخدام هذا التشبيه بين نقل الحرارة والقوانين الكهربائية ، لمحات من درجة الحرارة في العقد النتائج الرئيسية التي تمت مناقشتها.

تمت المصادقة على البرنامج الذي وضعته دراسة مقارنة النتائج النظرية والتجريبية التي اتخذت في ظل نفس الظروف.

الطاقة الشمسية الحرارية ، وتدفق الطاقة الشمسية، والطاقة الشمسية، ونقل الحرارة

### Introduction

La conversion de l'énergie solaire, qui est sous forme d'un rayonnement électromagnétique, peut s'envisager suivant des principes physiques différents. On distingue essentiellement les conversions photoélectrique et photochimique, ainsi que la conversion photo thermique, qui est la transformation de l'énergie solaire en chaleur. Dans le domaine de la conversion photo thermique, de nombreuses applications sont été mises en évidence, le travail présenté ici s'inscrit dans la contribution de la conception et simulation des convertisseurs thermiques. De part une relative simplicité de mise en œuvre et vu l'importance des besoins énergétique sous forme de chaleur, la conversion photothermique est encore actuellement la plus usuelle. Concernant la production de chaleur à basse température, on peut de nos jours considérer qu'au moyen de dispositifs de captation dite actifs, les problèmes ne sont plus que d'ordre économique. Le chauffage des piscines par capteur plan est par exemple devenu classique. Dans ce travail nous présentons L'effet du flux solaire sur un convertisseur solaire plan incliné fonctionnant en circulation forcée avec une seule vitre.

L'étude théorique consiste à mettre en équation les échanges énergétiques intervenant au niveau du capteur qu'on tranche en mailles, avant la résolution de ce système par un approche numérique basé sur la méthode itérative de Gauss Seidel nous avons placé des nœuds au sein de la maille. Nous terminerons par un étude comparative des résultats théoriques et expérimentales est fait pour mettre en évidence la validité de notre programme de calcul.

**Nomenclature**

- $H_0$  : irradiation Journalière ( $w/m^2$ )
- $\overline{H}$  : Rayonnement solaire moyen, mensuel mesuré sur un surface horizontale au niveau du sol ( $w/m^2$ ).
- $\overline{H}$  : Rayonnement solaire moyen, mensuel mesuré sur un surface horizontale ( $w/m^2$ ).
- $\overline{H}_0$  : Rayonnement solaire moyen, mensuel hors de l'atmosphère ( $w/m^2$ ).
- $\overline{K_T}$  : L'indice de clarté
- $\overline{H}_b$  : Rayonnement moyen, mensuel direct sur un surface horizontale ( $w/m^2$ ).
- $\overline{H}_d$  : Rayonnement moyen, mensuel diffus sur un surface horizontale ( $w/m^2$ ).
- $I$  : Rayonnement global horaire sur une surface horizontale ( $w/m^2$ ).
- $I_d$  : Rayonnement diffus horaire sur une surface horizontale ( $w/m^2$ ).
- $I_b$  : Rayonnement direct horaire sur une surface horizontale ( $w/m^2$ ).
- $I_{bi}$  : Rayonnement direct sur une surface inclinée ( $w/m^2$ ).
- $I_{di}$  : Rayonnement diffus sur une surface inclinée ( $w/m^2$ ).
- $I_i$  : Rayonnement solaire global horaire sur une surface inclinée ( $w/m^2$ ).
- $K$  : la conductance thermique
- $P_T$  : la puissance reçue par le capteur.
- $P_p$  : La puissance absorbée à la surface de l'absorbent
- $F_t$  : Facteur de transfert thermique
- $T_{fe}$  : température d'entrée du fluide (°K)
- $T_a$  : température ambiante (°K)
- $\rho$  : est l'albédo du sol

**II. rayonnement global extraterrestre**

$H_0$  : rayonnement global extraterrestre sur un plan horizontal, est calculé par l'équation suivant :

$$H_0 = \frac{86400.1367}{\pi} \left( 1 + 0.033 \cos \left( \frac{360}{365} n \right) \right) (\cos \Phi \cos \delta \sin w_s + w_s \sin \Phi \sin \delta) \dots (1)$$

Où  $\Phi$  : latitude de lieu,  $\delta$  Déclinaison solaire, n numéro du jour dans l'année

$$\delta = 23.45 \sin \left( \frac{320}{365} (284 + n) \right) \approx \dots (02)$$

$$23.45 \sin \left( \frac{360}{365} (n - 81) \right)$$

L'indice de clarté

$$\overline{K_T} = \frac{\overline{H}}{\overline{H}_0} \dots (03)$$

$\overline{H}$  flux solaire moyen, mensuel mesuré sur un surface horizontale  $w/m^2$ .

$\overline{H}_0$  flux solaire moyen, mensuel hors de l'atmosphère  $w/m^2$ .

$$\frac{\overline{H}_d}{\overline{H}} = 1.391 - 3.560 \overline{K_T} + 4.189 \overline{K_T}^2$$

$$- 2.137 \overline{K_T}^3 \dots (4)$$

$$\overline{H}_b = \overline{H} - \overline{H}_d \dots (05)$$

$\overline{H}_b$  flux moyen, mensuel direct sur un surface horizontale  $w/m^2$ .

$\overline{H}_d$  flux moyen, mensuel diffus sur un surface horizontale

$$r_t = \frac{I^*}{H}$$

$$r_t = \frac{\pi}{24} (a + b \cos w) \frac{(\cos w - \cos w_s)}{\left( \sin w_s - \frac{\pi}{180} w_s \cos w_s \right)}$$

$$r_d = \frac{I_d^*}{H_d}$$

$$r_d = \frac{\pi}{24} \left( \frac{\cos w - \cos w_s}{\sin w_s - \frac{\pi}{180} w_s \cos w_s} \right)$$

$$I_b = I - I_d \quad I_{bi} = R_b I_b$$

$$\frac{I_{bi}}{I_b} = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \cos w + \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cos \phi \cos w}$$

Le flux global parvenant au sol sur une surface horizontale est la somme du flux direct et du flux diffus

$$I_i = I_b R_b + I_d \left( \frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + (I_b + I_d) \rho \left( \frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \dots \dots \dots (6)$$

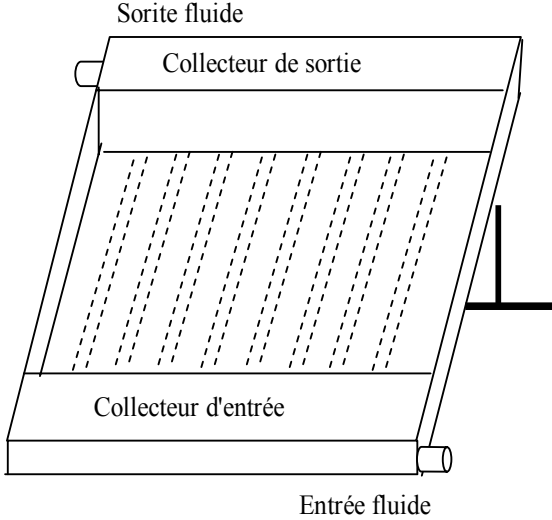


fig :01 le schéma de principe d'un capteur solaire plan

III.1. Simulation du capteur

La densité de flux de chaleur échangée entre un point de température  $T_1$  et un autre point de température  $T_2$  peut s'écrire sous la forme :  $Q_{21} = h_{21} \cdot S(T_2 - T_1)$

Cette expression est semblable à la loi d'Ohm

On peut appliquer les lois d'Ohm et de Kirchhoff considérons une section spatiale

Quelconque du système à l'instante  $t$ , soit (i) l'un des milieux représentés dans cette section ( $m_i$ ) Sa masse (Kg),

$C_{p_i}$  sa chaleur spécifique  $\left( \frac{J}{Kg \cdot ^\circ K} \right)$  et  $T_i$  sa température ( $^\circ k$ ).

Le bilan thermique ou noeud i

donne :  $m_i C_{p_i} \frac{\partial T_i}{\partial t} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{R_{ij}} (T_j - T_i) + P_i$

$n$  : ensemble de  $j$  pour les quelles  $T_j$  est un potentiel connecte à  $T_i$

$P_i$  : terme source au puits

III.2. Discrétisation des équations

Échange dans l'extérieur de la vitre:

$$\frac{m_v C_{p_v}}{Surf_v \Delta t} (T_{ve}^{t+\Delta t}(j+1) - T_{ve}^t(j+1)) = P_v + h_{rvc} (T_c - T_{ve}^{t+\Delta t}(j+1)) + h_{v,om} (T_{om} - T_{ve}^{t+\Delta t}(j+1)) + K_v (T_{vi}^{t+\Delta t}(j+1) - T_{ve}^{t+\Delta t}(j+1)) \dots \dots \dots (7)$$

$$\frac{n}{Surf_v \Delta t} \text{ Échange dans l'intérieur de la vitre : } (j+1) + h_{v,vm} (T_n^{t+\Delta t}(j+1) - T_{vi}^{t+\Delta t}(j+1)) + K_v (T_{ve}^{t+\Delta t}(j+1) - T_{vi}^{t+\Delta t}(j+1)) \dots \dots \dots (8)$$

Échange dans l'absorbteur

$$\frac{m_n C_{p_n}}{Surf_n \Delta t} (T_n^{t+\Delta t} - T_n^t) = P_n + h_{r,nv} (T_{vi}^{t+\Delta t}(j+1) - T_n^{t+\Delta t}(j+1)) + h_{v,vm} (T_{vi}^{t+\Delta t}(j+1) - T_n^{t+\Delta t}(j+1)) + h_{v,an} (T_F^{t+\Delta t}(j) - T_n^{t+\Delta t}(j+1)) + h_{r,ni} (T_{ii}^{t+\Delta t}(j+1) - T_n^{t+\Delta t}(j+1)) \dots \dots \dots (9)$$

Échange dans fluide caloporteur

$$\dot{m}_F C_{p_F} (T_F^{t+\Delta t}(j+1) - T_F^{t+\Delta t}(j)) = h_{v,an} (T_n^{t+\Delta t}(j+1) - T_F^{t+\Delta t}(j)) + h_{v,ac} (T_{ii}^{t+\Delta t}(j+1) - T_F^{t+\Delta t}(j)) \dots \dots \dots (10)$$

Échange dans la surface de l'isolant

$$\frac{m_i C_{p_i}}{Surf_i \Delta t} (T_{ii}^{t+\Delta t}(j+1) - T_{ii}^t(j+1)) = h_{v,oi} (T_F^{t+\Delta t}(j) - T_{ii}^{t+\Delta t}(j+1)) + K_{ii} (T_{ie}^{t+\Delta t}(j+1) - T_{ii}^{t+\Delta t}(j+1)) + h_{r,mi} (T_n^{t+\Delta t}(j+1) - T_{ii}^{t+\Delta t}(j+1)) \dots \dots \dots (11)$$

Échange paroi extérieure de l'isolant sol :

$$K_{ci} (T_{ii}^{t+\Delta t}(j+1) - T_{ie}^{t+\Delta t}(j+1)) + h_{ris} (T_{sol} - T_{ie}^{t+\Delta t}(j+1)) + h_{vs} (T_{om} - T_{ie}^{t+\Delta t}(j+1)) \dots \dots \dots (12)$$

Pour calcul le flux absorbe par l'absorbteur et la vitre

$$P_n = I_{bi} \frac{\tau \alpha_p}{1 - \rho_d (1 - \alpha_p)} + I_{di} \frac{\tau_d \alpha_p}{1 - \rho_d (1 - \alpha_p)} \dots (13)$$

$$P_v = I_{bi} \alpha_v + I_{di} \alpha_d \dots (14)$$

Avec :  $P_n$  flux absorbe par l'absorbteur,  $P_v$  flux absorbe par la vitre

$\tau$  : facteur de transmission du vitrage,  $\tau_d$  : facteur

de transmission hémisphérique

$\rho_d$  : coefficient de réflexion hémisphérique ,  $\alpha_d$  : coefficient d'absorption hémisphérique

$\alpha_p$  : coefficient d'absorption de l'absorbeur pour les longueurs d'onde  $\lambda$

On obtient un système d'équation de six inconnus

$$B_{ij} \bullet T_i = F_c \quad \text{Avec } j=1 \dots \dots \dots 6,$$

$i=1 \dots \dots \dots 6$

pour la résolution de ce système nous appliquons la méthode itérative de Gauss Seidel.

**IV. Résultats et discussions**

Dans le cadre de cette étude nous avons adapté les hypothèses suivantes

\* l'inclinaison du capteur est égale à 25° par rapport à l'horizontale

\* les températures ambiantes ont été données par la formule :

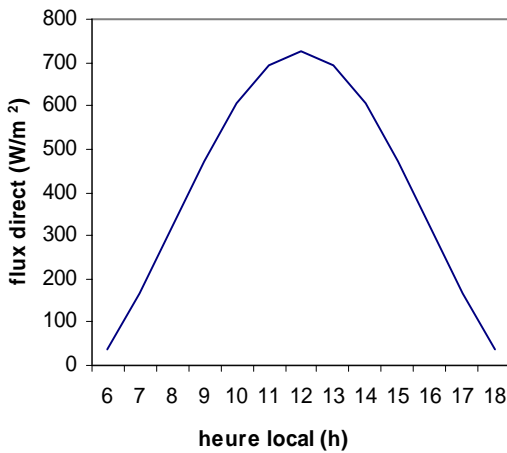
$$T_a(t) = [(T_a \text{ max} - T_a \text{ min})/2] \cdot \sin[(t-8) \cdot \pi/12] + (T_a \text{ max} + T_a \text{ min})/2$$

\* la température d'entrée d'eau caloporteur est égale à 35°

\* avec une zone de la condition normale pour un albédo  $\rho = 0.2$

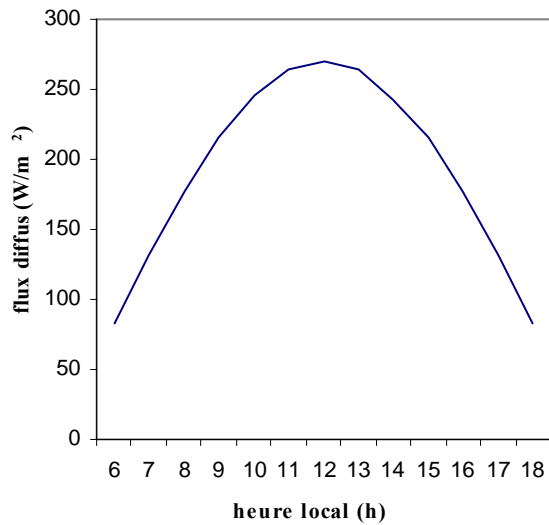
\*on choisit le 21 juin

**IV. 1 ) flux direct**



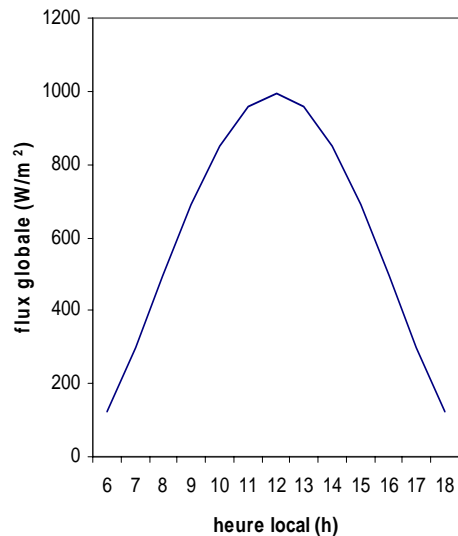
**fig 02-** variations du rayonnement solaire direct qui concerne la journée du 21 juin

**IV. 2) flux diffus**



**fig 03 -** variations du rayonnement solaire diffus qui concerne la journée du 21 juin

**IV. 3) flux global**



**fig 04 -** variations du rayonnement solaire global qui concerne la journée Du 21 juin

Les figures (02), (03), (04) représentent les variations du rayonnement solaire direct, diffus et global qui concerne la journée du 21 juin, d'après les figures nous observons : le flux atteint son maximum est à midi solaire et la valeur maximale du flux global est égale à 1008 w/m² et celle du flux diffus est égale à 270w/m² et une symétrie par rapport à midi.

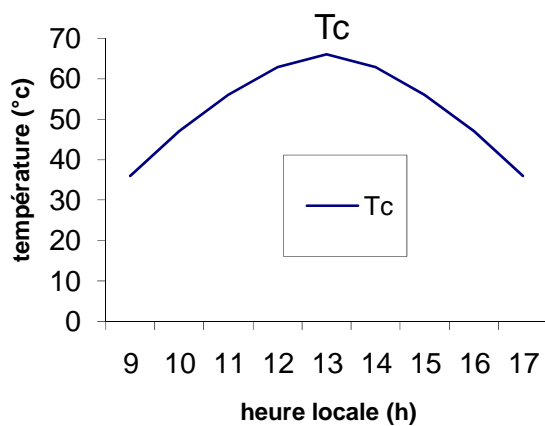
D'après la courbe de flux solaire global, on remarque que

# L'INFLUENCE DU FLUX SOLAIRE SUR L'EFFICACITE DU CONVERTISSEUR SOLAIRE PLAN

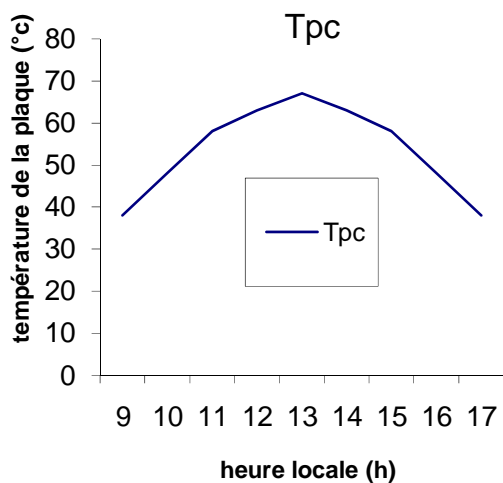
les valeurs du flux les plus considérables se situent dans l'intervalle de temps 9h-16h.

les figures (05), (06), représentent l'évolution temporelle de la température du sortie et la température du plaque en fonction du temps. D'après cette figure, on remarque que les températures de l'eau augmentent au début en fonction du temps local, passent par un maximum et diminuent vers la fin de la journée.

Ceci est du à l'évolution du température de la plaque en fonction du temps qui a la même allure à peu près que celles des températures des sorties, Le capteur nous permet d'atteindre une température maximale de 66°C. dans ces conditions.



**fig 05** variation temporelle de la température du sortie (Théorique)

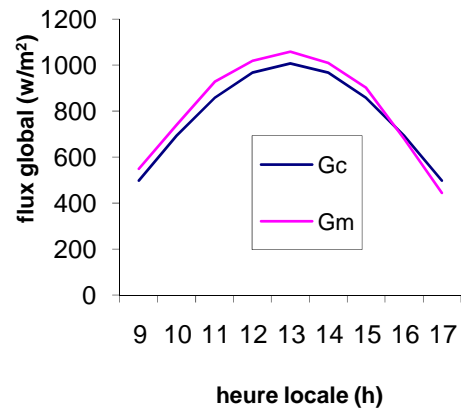


**fig 06** variation temporelle de la température du

plaque(Théorique )

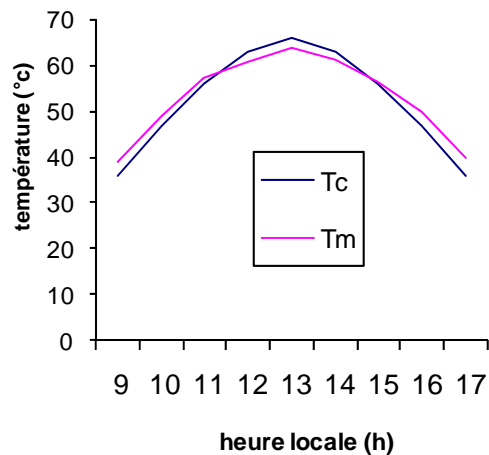
\* Pour valider les résultats numériques obtenus dans le cadre de ce travail, nous avons entrepris quelques essais.

## V.6) Comparaison des résultats numériques et expérimentaux

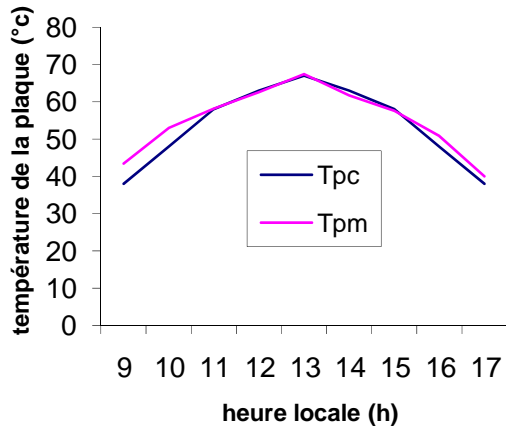


**fig 07** La comparaison entre les flux Solaires globaux calculées et mesurées

La figure 07 montre que la concordance entre le flux global mesuré et calculé est Acceptable.



**fig. 08** - variation temporelle de la température du sortie(Théorique et expérimentale)



**fig09-** variation temporelle de la température du plaque (Théorique et expérimentale)

les figures 08 et 09 représentent l'évolution des températures expérimentales et théoriques du plaque et à la sortie du capteur solaire pour le même débit de caloporteur. En effet, les températures continuent d'augmenter tant qu'il y a du flux solaire malgré sa diminution en fin de journée.

Cette figure montre une bonne concordance entre les températures théorique et expérimentale.

### CONCLUSION

L'application de la méthode nodale sur un convertisseur solaire plan incliné a été effectuée par l'obtenir l'influence de paramètre externe (flux solaire) sur la température du plaque et la température de sortie du capteur solaire incliné pour la production d'eau chaude sanitaire.

D'après les résultats obtenus sur ce dispositif, on remarque que le flux solaire qui reste le paramètre le plus impotente sur les caractéristiques d'un capteur solaire plan, on remarque que chaque fois la température de la plaque augmente chaque fois la température du fluide caloporteur augmente.

Cette étude nous a permis d'évaluer grâce à un modèle représentant le comportement dynamique d'un capteur solaire

Les différentes températures dans différents éléments de ce capteur ont été déterminées en régime instationnaire.

La comparaison entre les résultats expérimentaux et théorique nous a permis la validation du modèle proposé de ce système solaire en fonction de l'orientation manuelle des panneaux solaire avec un angle d'inclinaison égale à 25°.

### REFERENCES

- [1] D. Laplace, Le rayonnement solaire estimation et mesures La Garenne-colombes, France 1990.
- [2] H. Aras, O. Balli, A. Hepbasli, Estimating the horizontal diffuse solar radiation over the Central Anatolia Region of Turkey, Tuaf, Eskisehir, Turkey Vol (47) 2240-2249 (2006).
- [3] R. Giblin, Transmission de la chaleur par convection naturelle, Saint-germain Paris 1974.
- [4] R. Marchal, Transmission de la chaleur par convection dans les tubes, Saint-germain Paris 1974.
- [5] J. M. Chassériaux, Conversion thermique du rayonnement solaire, Bordas Paris 1984.
- [6] H. O. Menges, C. Ertekin, Evaluation of global solar radiation. Models for Konya, Turkey vol (47) 3149-3173 (2006).
- [7] J. Bernard, Énergie solaire calcul et optimisation, Paris 2004.
- [8] J.A. Duffie, et W .A. Beckman, Solar Energy thermal Processes, Wiley Interscience 1974.
- [9] A. Gourdin, M. Boumahrat, Méthodes numériques appliquées, OPU Alger 1991.