

# Etude et réalisation d'un nouveau capteur solaire thermique à contact direct eau-plaque d'absorption

M. HARIZI<sup>1\*</sup>, M. TAHAR ABBES<sup>1</sup>, Dj. BELKACEM<sup>1</sup>, S. MOHAMED BELKEBIR<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Mécanique et Energétique, Université Hassiba Benbouali de Chlef, Algérie

\* (Harizi0019@yahoo.fr)

## Résumé

Les tendances actuelles dans la recherche sont la réalisation d'un capteur solaire thermique à haute performance et à faible coût pour les besoins domestiques. Dans ce cadre, l'étude proposée dans cet article est la réalisation et la détermination des performances théoriques et expérimentales d'un capteur solaire plan. Il s'agit principalement d'étudier l'effet de la forme géométrique des passages de fluide sur l'efficacité de capteur dans le cas d'un contact direct eau – plaque d'absorption. Un modèle mathématique a été élaboré et validé par comparaison à des tests pour déterminer les performances thermiques de notre capteur dont la plaque d'absorption sur la base de certains paramètres géométriques avec les résultats théoriques. L'installation expérimentale complète comprend la mesure du rendement journalier, l'éclairement solaire global, le débit massique et les températures ambiante et de fluide à l'entrée et à la sortie, température moyenne de la plaque d'absorption et de l'eau dans la cuve de stockage. Afin d'optimiser les performances thermiques. La réalisation du capteur a été effectuée au niveau du laboratoire de l'université de Khemis Miliana et l'expérimentation au niveau de Miliana, alors le capteur a été orienté face au sud, incliné d'un angle égal à la latitude de Miliana et soumis aux conditions environnementales. Le banc d'essai utilisé pour le déroulement des tests comprend un chauffe-eau solaire à circulation naturelle dont la plaque d'absorption composé du capture, incliné à 36° par rapport à l'horizontal et ont une orientation plein sud afin de capter le maximum d'énergie, d'une cuve de stockage de 42 litres de capacité est placée horizontalement dans le plan de capture, l'ensemble est soutenu par une structure portante (Fig.1). Les tests ont été effectués sous les conditions météorologiques de Miliana, Ain defla. Les coordonnées de site sont les suivantes : Latitude 36°18 N, Longitude 02°14 E, L'altitude 714.96 m. Pour mesurer la température de l'eau à l'entrée et la sortie du capture, et dans la cuve de stockage et la température de la plaque absorbante ainsi que la température de la vitre, nous avons utilisé six thermocouples sont implantés comme suit (Fig. 1).

- Un implanté sur la surface de la vitre (T1).
- Deux thermocouples sont implantés sur la surface de la plaque absorbante (T2 et T3).
- Deux sont placés l'un à l'entrée, l'autre à la sortie du capture (T4 et T5).
- Deux thermocouples sont mis à des positions différentes à l'intérieur de la cuve de stockage (T6) et (T7).



Figure 1 : Le capteur solaire réalisé

## Nomenclature

$A$	Rapport de forme
$D$	Diffusivité massique, $m^2.s^{-1}$
$L$	Largeur, $m$
$k$	Vecteur unité
$S$	Surface d'échange, $m^2$
$T$	Température, $K$

### Symboles grecs

$\alpha$	Diffusivité thermique, $m^2.s^{-1}$
----------	-------------------------------------

### Indices et exposants

$p$  paroi

## 1. Introduction

L'énergie solaire devient plus compétitive si on améliore les performances des systèmes de conversion thermique. Pour les capteurs solaires thermiques, le rendement thermique est amélioré si on favorise l'échange de chaleur entre la plaque d'absorption et le fluide caloporteur. Dans cet objectif il est proposé dans cette étude une nouvelle forme de plaque d'absorption. La particularité principale du capteur proposé est le contact direct eau-plaque d'absorption, comme dans les capteurs roll-bond. Il est étudié l'effet de la forme géométrique de la plaque d'absorption sur les performances de capteur présenté. La circulation de l'eau dans la plaque se fera dans des espaces spécifiquement aménagés. Cette plaque étant elle-même soudée à une plaque de même forme formant le dos de l'assemblage.

## 2. Procédure expérimentale

Le banc d'essai utilisé comprend un chauffe-eau solaire à circulation naturelle et une cuve de stockage de 42 litres de capacité, le tout soutenu par une structure portante (Fig.2). La plaque d'absorption composée du capteur est inclinée d'un angle de  $36^\circ$  par rapport à l'horizontal et une orientation plein sud afin de capter le maximum d'énergie, la cuve de stockage est placée horizontalement dans le plan de capture. Les caractéristiques techniques de capteur réalisé sont données dans le tableau 1.

Pour mesurer la température, nous avons utilisé huit thermocouples (Figure 2) sur les différents composants.

- (01) thermocouple (T1) installé sur la vitre,
- (02) thermocouples (T2 et T3) installés sur la plaque absorbante,
- (02) thermocouples (T4 et T5) placés l'un à l'entrée, l'autre à la sortie du capteur,
- (02) thermocouples (T6 et T7) sont mis à des positions différentes à l'intérieur de la cuve de stockage,
- La température ambiante est mesurée à l'ombre à l'aide d'un thermocouple posé à l'air libre.

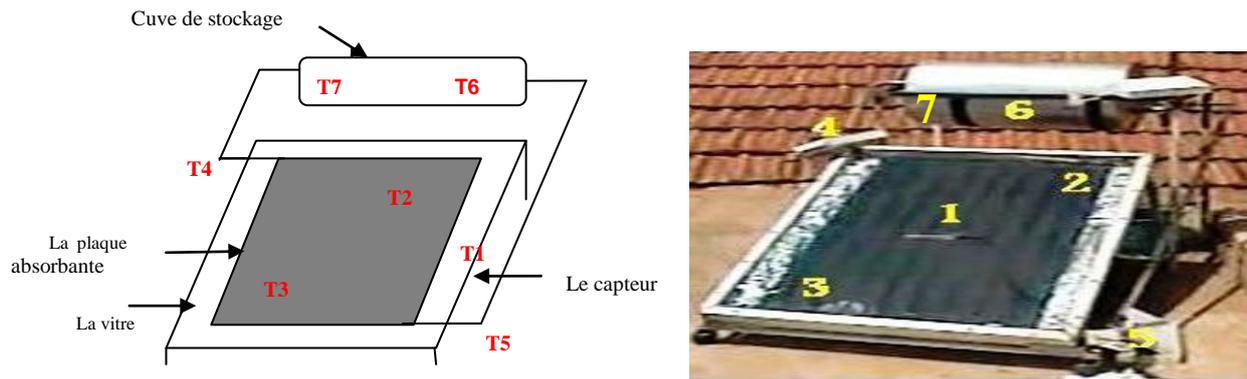


Figure 2 : Emplacement des thermocouples

Tableau 1 : Caractéristiques techniques du capteur

Nombre	Caractéristiques techniques du capteur		
	Element	Matériau	Dimension et caractéristiques
1	Bac de protection	Acier galvanise 0.6mm	Longueur : 200mm Largeur : 950mm Hauteur : 70mm
2	Couverture	Verre blanc 5mm	Longueur : 180mm Largeur : 915mm Epaisseur : 5mm Transmissivité : 0.88 Coefficient d'extinction : 16
3	Absorbeur	Acier galvanisé 0.5mm	Longueur 1090mm Largeur : 730mm Epaisseur : 0.5mm Emissivité : 0.95 Conductivité : 46 w/m.c° Absorptivité : 0.94 Nombre de passage : 8 Diamètre : 10mm
4	Collecteur	Cuivre	Longueur : 860mm Diamètre : 22mm Nombre : 2
5	Isolant	Laine de verre	Epaisseur latérale : 35mm Epaisseur arrière : 35mm Conductivité : 0.040 w/m.c°

### 3. Equations

L'énergie transférée au fluide est donnée par la relation suivante [2]:

$$Q_u = A_c F_r [(\tau\alpha)_{eff} G_t - U_G (T_e - T_a)] \quad (1)$$

La température moyenne de la plaque est donnée par [2] :

$$T_{pm} = T_e + \frac{Q_u}{A_c U_G F_r} (1 - F_r) \quad (2)$$

Avec :

$$F_r = \frac{GC_p}{U_G} \left( 1 - \exp\left(\frac{-U_G F_c}{GC_p}\right) \right) \quad (3)$$

La température moyenne du fluide dans le capteur est calculée par l'équation de Klein [3]:

$$T_{fm} = T_e + \frac{Q_u}{A_c U_G F_r} \left( 1 - \frac{F_r}{F_c} \right) \quad (4)$$

Le rendement du capteur est défini comme étant le rapport entre l'énergie utile extraite par le fluide caloporteur est l'énergie incidente sur le capteur [2] :

$$\eta_i = \frac{Q_u}{A_c G_t} \quad (5)$$

Le rendement journalier est défini par l'équation [2]:

$$\eta_j = \frac{\sum Q_u}{A_c \sum G_t} \quad (6)$$

La température dans la cuve de stockage est donnée par la relation suivante [4]:

$$T_S^* = T_S + \frac{\Delta t}{(MC_p)_s} \left\{ \begin{array}{l} A_c F_r [(\tau\alpha)_{eff} G_t - U_G (T_S - T_a)] \\ - (UA)_S (T_S - T_a) - \\ \dot{m} C_{ps} (T_S - T_{LT}) \end{array} \right\} \quad (7)$$

Le rendement d'un chauffage – eau solaire sur une période donnée est donné par la relation suivante [5]:

$$C_e = \frac{W_f (T_m^* - T_m)}{A_c \int_0^t G_t dt} \quad (8)$$

Le débit massique dépend de la nature de l'écoulement, de l'ensoleillement durant la journée et de la géométrie du système. Pour le déterminer, nous avons adopté un modèle simple issu des équations d'Euler modifiées et de l'équation de continuité appliquées au système.

L'écoulement du fluide est régi par l'équation d'Euler ([6], [7]) suivante :

$$\frac{1}{\rho g} \left( \frac{\partial P}{\partial S} \right) + \frac{u}{g} \left( \frac{\partial u}{\partial S} \right) + \frac{1}{g} \left( \frac{\partial h}{\partial t} \right) + \frac{\partial h}{\partial S} + \frac{\partial H_F}{\partial S} = 0 \quad (9)$$

La force motrice du capteur est donnée par la formule (méthode des aires) ([7], [8]) suivante :

$$H_T = \frac{\rho_1 - \rho_2}{2} F(h) \quad (10)$$

Avec :

$$F(h) = 2(H_3 - H_1) - (H_2 - H_1) - \frac{(H_3 - H_5)^2}{(H_6 - H_5)} \quad (11)$$

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

L'équation du débit massique est de la forme :

$$K_1 m^2 + K_2 + K_3 = 0 \quad (12)$$

Avec :

$$K_1 = \Delta H_{SIN} = \frac{8}{\pi^2 \rho_m^2 g} \left[ \frac{N_T \xi_{CT}}{D_{CO}^4} + \frac{\zeta_{TC}}{\left( N_T \frac{S_T}{S_{CO}} \right)^2 D^4} + \frac{N_T \zeta_{TC}}{(1 - N_T)^2 D_{CO}^4} + \frac{N_C \zeta_C}{D_C^4} \right], \quad (13)$$

$$K_2 = \frac{128\mu}{\rho^2 g \pi} \left[ \frac{L_T}{D^4} + \sum_{i=1}^2 \frac{L_{COi}}{D_{COi}^4} + \sum_{i=1}^{N_S} \frac{L_S}{D_{Si}^4} \right] \quad (14)$$

Et

$$K_3 = -\frac{\rho_1 - \rho_2}{2} F(h) \quad (15)$$

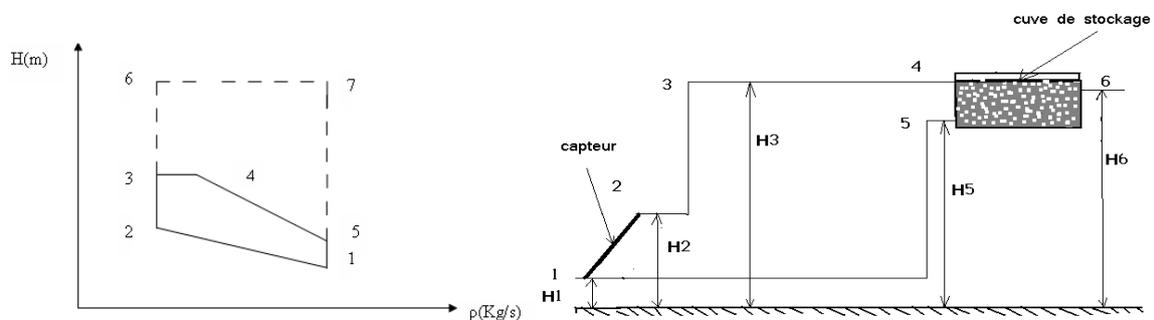


Figure 3 Variation de la masse volumique de l'eau dans les différentes positions du C.E.S

#### 4. Résultats et discussions

Les mesures ont été effectuées sur plusieurs jours du mois de juillet de l'année 2007 et la journée représentative est celle du 22 juillet. La journée, qui était une journée de conditions météorologiques normales, est caractérisé par un ciel clair, la température ambiante varie entre 25.3 C° est 38.5 C° et une vitesse de vent est égale à 1m/s.

La journée d'étude correspond à une journée normale et permet ainsi d'avoir une concordance entre les résultats théoriques et les résultats expérimentaux des différents paramètres de fonctionnement du banc d'essai conçu.

La figure 4 montre la concordance entre les valeurs expérimentales et théorique de l'éclairement global. Néanmoins, il existe un certain écart dû à la précision du pyranomètre.

Les figures 5 et 6 représentent l'évolution théorique et expérimentale des températures du fluide caloporteur (l'eau) à l'entrée et à la sortie du capteur, et la température ambiante en fonction de temps.

Pour cette journée la courbe de la température ambiante reste presque constante, par contre celle de la température de l'eau à l'entrée et à la sortie du capteur varie avec un écart assez important. On remarque que les deux températures commencent à décroître et tendent à se stabiliser avec un écart constant.

Les températures mesurées à l'entrée et à la sortie du capteur évaluent de la même manière que celles des valeurs théoriques. On remarque ainsi que les températures à l'entrée et à la sortie du capteur sont les mêmes à partir de 8h jusqu'à 10h30 pendant la journée, ceci s'explique par l'inertie du réaction du capteur.

La figure 7 présente l'évolution théorique et expérimentale de la température moyenne de la plaque absorbante pour deux positions en fonction de temps. On constate que l'évolution des deux courbes est similaire, néanmoins, il existe un certain écart dû à la mauvaise isolation des thermocouples, cette dernière à cause d'échange de chaleur entre les thermocouples et l'air entre la plaque absorbante (l'absorbeur) et le vitrage.

En comparant la température moyenne calculée et mesurée de l'eau dans la cuve de stockage (Fig. 8), on constate une concordance relativement acceptable, cependant un certain décalage temporel subsiste au début de fonctionnement, ceci est due à l'inertie thermique du système.

La figure 9 montre les résultats théoriques et expérimentaux du débit massique en fonction de temps. L'écart entre les deux résultats théoriques est expérimentalement vérifié, avec cependant un écart au début du fonctionnement ceci peut être expliqué par les raisons suivantes:

- La subdivision irrégulière du débit massique pour les huit passages
- L'état de surface de la plaque rugueuse contrairement au calcul théorique
- Les pertes de charge à l'extérieur du capteur qui sont importantes dans l'augmentation de la longueur du tube de connexion entre la sortie de la cuve de stockage et l'entrée du capteur.

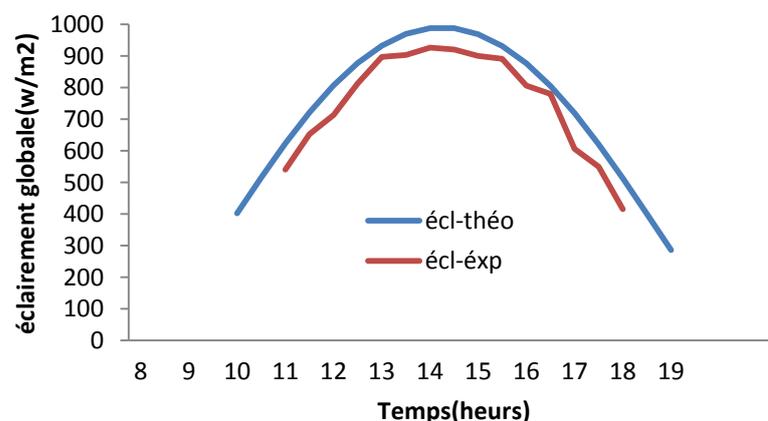


Figure 4: Variation de l'éclairement global sur une surface inclinée

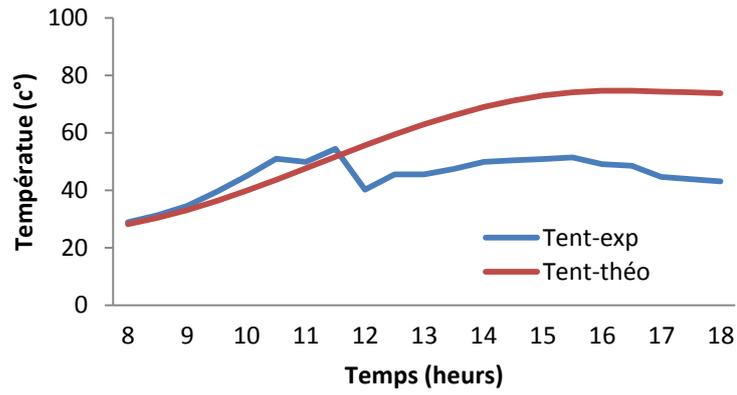


Figure 5: Variation de température d'entrée en fonction du temps

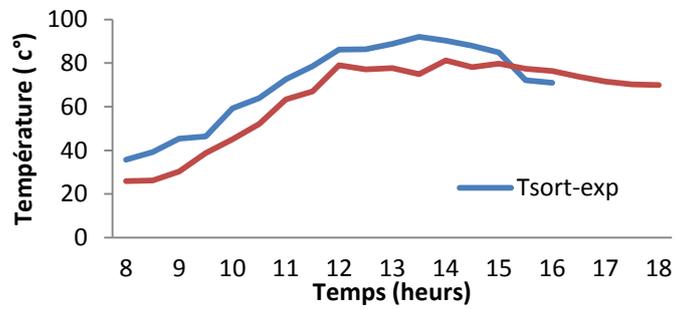


Figure 6: Variation de la température de sortie en fonction du temps

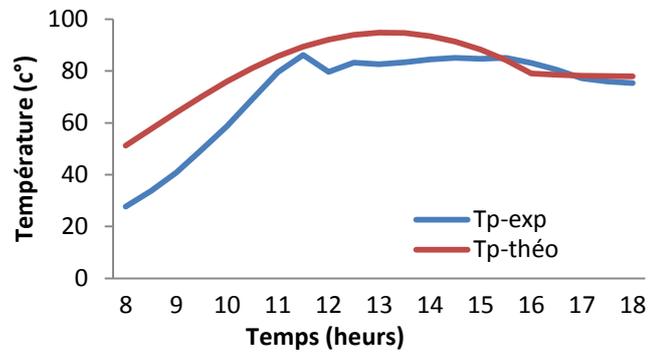


Figure 7 : Variation de la température de la plaque absorbante en fonction du temps

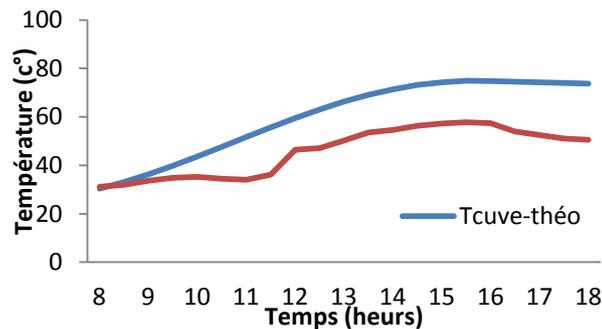


Figure 8 : Variation de la température dans la cuve de stockage en fonction du temps

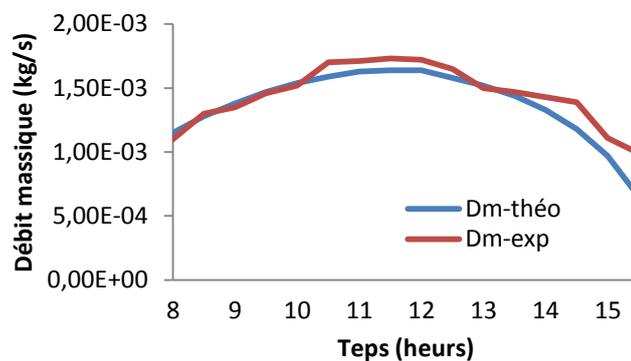


Figure 9: Variation du débit massique en fonction du temps

Le rendement journalier théorique et expérimentale ce jour est illustré dans le tableau 2.

Tableau 2 : Le rendement théorique et expérimental

Journée des mesures	Rendement théorique	Rendement expérimental
22/07/2007	52.14	41.26

On conclue d’après ces résultats du rendement expérimental que le capteur est performant, car il est proche de la valeur théorique, alors le modèle mathématique présenté est acceptable.

## 5. Conclusions

L’étude présentée consiste à la réalisation, l’expérimentation et la simulation d’un nouveau prototype de capteur solaire thermique à eau qui nous a permit de déterminer sa performance. Le rendement thermique du capteur solaire étudié dépend, en plus des paramètres habituels (conditions extérieures, caractéristiques thermiques), des paramètres géométriques de la plaque d’absorption. L’effet de la forme géométrique de la plaque absorbante est étudié afin de la performance du capteur. Le modèle mathématique simulant le comportement thermique de capteur est validé par des essais expérimentaux.

Les résultats théoriques et expérimentaux de l’évolution des températures et du débit massique s’avèrent acceptables et les écarts qui existent sont dus d’une part, aux erreurs de mesure, à l’inertie thermique et d’autre part à la fiabilité du système. Le rendement journalier expérimental du capteur est de bonne qualité, car il est proche à valeur théorique de modèle mathématique établir,

donc cette forme de plaque absorbante est le plus rentable pour la fabrication des capteurs solaires thermiques plans.

## 6. Références

- [1] K.S.Ong, 'An Improved Computer Program for Thermal Performance of a Solar Water Heater', Solar Energy, Vol. 18, pp. 183-191, 1976.
- [2] OULD MED OULD CHEIKH Ahmadou 'Influence du changement de la nature de la plaque de l'adsorption sur les performances d'un capteur solaire plan', Mémoire de P.F.E, U.H.B.C 2004
- [3] S.A.Klein, J.A. Duuffie and W.A. Beckman, 'Transient Consideration of Flat-Plate Solar Collectrs', Trans.ASME, J .Engig,For Power, 96A, 109, 1974.
- [4] S.A, Klein, W.A. Beckman and J.A. Duuffie,' A Design Procedure for Solar Collectors', Solar Energy, Vol. 18, pp. 113-127, 1976.
  
- [5] KERFAH.R, ' L'influence de l'atmosphère entre la plaque de verre et l'absorbeur sur les performances d'un capteur solaire plan' Mémoire de magistère U.H.B.C 2001.
- [6] G.L. Morrison and D.B.J.Rantunga,'Transient Response of Thermosiphon Solar Collectors', Solar Energy, Vol. 24, pp. 55-61, 1980.
- [7] G.L. Morrison and D.B.J.Rantunga, Thermosiphon Circulation un Solar Collectors', Solar Energy, Vol. 24, pp. 191-198, 1980.
- [8] B.J.Huang and C.T.Hseih, 'A Simulation Method for Solar Thermosiphon Collectors', Solar Energy, Vol. 35.N°1, pp. 31-43, 1985.