



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables
The 2nd International Seminar on New and Renewable
Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



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

Hafsaoui hamza¹, Harizi mohamed²

Département de Génie Climatique

Université de Khemis Miliana

¹hamzouz1015@hotmail.fr

²harizi0019@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 testes 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 centre universitaire 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.

Mots clé : Energie solaire, capteur plan, capteur solaire thermique, Eau chaude sanitaire, transfert de chaleur, rendement thermique.

I. INTRODUCTION

La fin du vingtième siècle marque une étape décisive dans l'orientation de la recherche énergétique mondiale et les progrès tangibles réalisés récemment dans les domaines de l'économie de l'énergie, démentent tout l'intérêt accordé à la maîtrise de l'énergie d'origine fossile ou fissile dont l'exploitation des réserves, malheureusement limitées doit être la plus rationnelle possible pour réparer l'avenir énergétique. L'énergie solaire paraît, être une alternative très prometteuse, plus particulièrement pour l'Algérie où l'ensoleillement est l'un des élevés du globe.

L'énergie solaire reste toujours une source non négligeable d'économie d'énergie, surtout pour les conditions où l'ensoleillement est abondant et l'énergie conventionnelle est plus coûteuse. Cette énergie devient plus compétitive si on améliore les performances des systèmes de conversion thermique. Pour les capteurs solaires thermiques, le rendement thermique peut être amélioré si on favorise l'échange de

chaleur entre la plaque d'absorption et le fluide caloporteur. Pour ce faire, nous avons proposé de nouvelle forme de plaque d'absorption. La particularité principale de capteur proposé est le contact direct eau-plaque d'absorption, comme dans les capteurs roll-bond. Il s'agit d'étudier l'effet de la forme géométrique de la plaque d'absorption sur les performances de capteur réalisée. La circulation de l'eau à travers cette plaque se fera des espaces aménagés dans celle-ci par emboutissage. Cette plaque étant elle-même soudée à une plaque de même forme formant le dos de l'assemblage (Fig. 1).

Le capteur est réalisé au niveau du laboratoire de génie climatique de centre universitaire de KHEMIS – MILIANA.

II. DESCRIPTION DU BANC D'ESSAIS ET PROCEDURE D'EXPERIMENTATION

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 placés horizontalement dans le plan de capture, l'ensemble est soutenu par un structure portante (Fig.2). Les caractéristiques techniques de capteur réalisé est donnée dans le tableau 1. Les testes ont été effectués sous les conditions météorologiques du Miliana, Aindefla. 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 huit thermocouples sont implantés comme suit (Fig. 2).

- 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).



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



- Deux thermocouples sont mis à des positions différentes à l'intérieur de la cuve de stockage (T6).
- La température ambiante est mesurée à l'aide d'un thermocouple mise à l'ombre.

Les thermocouples sont connectés à un enregistreur de type HYDRA DATA Acquisition unit (Model 2620 A). Pour mesurer le débit massique, nous avons en recours à une méthode de mesure artisanale utiliser par K.S.ONG (méthode indirecte) [1], elle consiste en la mesure du temp par couru par un front de fluide sur une longueur connue de 30cm. Pour cela nous avons injecté un liquide coloré de viscosité proche de celle de l'eau en aval de l'écoulement à l'aide d'une seringue. La circulation du fluide est visualisée à travers une conduite transparente de diamètre 16 mm. L'éclairement global est mesuré par un pyranomètre (modèle CMP11). La vitesse de vent est mesurée à l'aide d'un anémomètre au niveau du station de la météo à Miliana, et on a obtenu $v = 1$ m/s.les paramètres indiqués précédemment sont mesurés chaque 30 minutes.

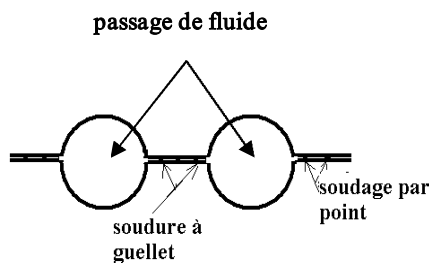


Fig. 1: plaque absorption



Fig. 2: L'emplacement des thermocouples

TABEAU 1 : CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU CAPTEUR

Nbre D'élément	caractéristiques techniques du capteur		
	Eléments	Matériaux	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 Coef 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 Nbre 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 : 0.04 w/m.c°

III. ANALYSE THEORIQUE THERMIQUE DE SYSTEME

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

$$Q_{xx} = A_c F_r [(T_{\alpha})_{eff} G_T - U_G (T_s - T_f)] \quad (1)$$

Pour calculer les paramètres du capteur A_c , F_r , U_G et Q_u , la température moyenne de la plaque T_{pm} , la température moyenne du fluide dans le capteur et le débit massique sont initialisée le calcul est répété par itérations.

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 :

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

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 donné par la relation suivante [4]:

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

Le rendement d'un chauffage – eau solaire sur une période donnée est défini comme étant le rapport entre l'augmentation de l'énergie thermique stockée dans le réservoir et l'énergie totale incident depuis l'instant initial. il est donné par la relation suivante [5]:

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

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

continuité appliquées au système en se basant sur les hypothèses suivantes :

- Régime d'écoulement permanent $\left(\frac{d}{dt} = 0 \right)$
- Le fluide est compressible
- La variation de la masse volumique de l'eau en fonction de la température suit une forme polynomiale et varie linéairement avec la hauteur dans la cuve de stockage et dans le capteur (Fig. 3).
- Les pertes thermiques des tubes de connexion sont négligeables.

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 :

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

Avec :

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

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



$$\text{et } K3 = -\frac{\rho_1 - \rho_2}{2} F(h) \quad (15)$$

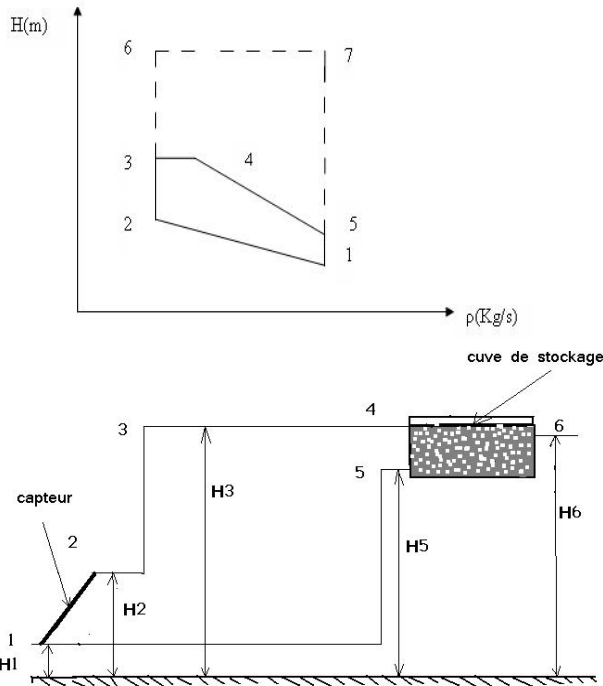


Fig. 3: variation de la masse volumique de l'eau dans les différentes positions du C.E.S

IV. RUSULTATS ET DISCUSSIONS

Nous avons des mesures dans plusieurs jours du mois de juillet de l'année 2007 et la journée représentative est celle du 22 juillet, caractérisé par un ciel clair, la température ambiante varie entre 25.3 C° est 38.5 C° dans l'intervalle de mesure, et une vitesse de vent est égale à 1m /s. Ces conditions météorologiques correspondent à une journée normale. Pour cela et afin d'avoir une concordance entre les résultats théoriques et les résultats expérimentaux des différents paramètres de fonctionnement de prototype conçu, nous avons adopté au modèle théorique développé dans les coefficients de troubles qui correspondent à une journée normale.

La (Fig. 4) montre que la concordance entre l'éclairement globale mesuré et calculé est acceptable, néanmoins, il existe un certain écart. Ceci nous amène à dire que la précision du pyranomètre à surface plane limitée

La (Fig. 5) et la (Fig. 6) représente les évolutions théoriques et expérimentales des températures de 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 est reste presque constante, par contre celle des températures de l'eau à l'entrée et à la sortie du capteur ont varié avec un écart assez important. On remarque que les deux températures commencent à décroître et tendent à stabiliser d'un écart de la température constante.

Les températures mesurées à l'entrée et à la sortie du capteur évaluent de la même manière que celles des valeurs théoriques en remarque ainsi que les températures à l'entrée et à la sortie du capteur sont les mêmes à partir de 8:00 jusqu'à 10:30 ceci dû à l'inertie du capteur.

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

La (Fig. 9) montre une comparaison des résultats théoriques et expérimentaux du débit massique en fonction de temps. L'écart entre les deux résultats théoriques est expérimentalement vérifié, mais l'écart entre les deux résultats est significatif, ceci peut être expliqué par les raisons suivantes:

- La subdivision irrégulière du débit massique pour les huit passages.
- Etat de surface de plaque rugueuse contrairement au calcul théorique.
- 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.

Donc On peut dire que les résultats expérimentaux et théoriques du débit massique sont presque les mêmes.



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012

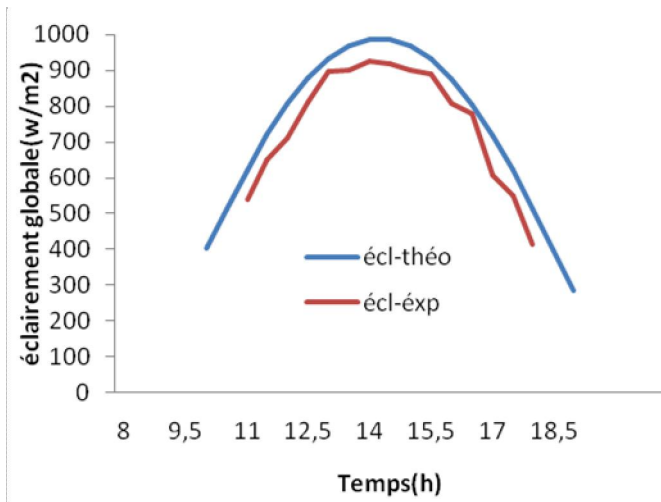


Fig. 4 : Variation de l'éclairement global sur une surface inclinée

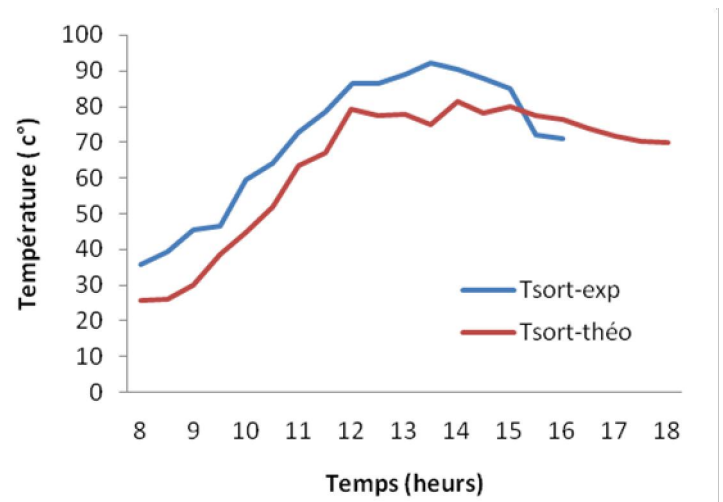


Fig. 6 : Variation de température de sortie en fonction du temps

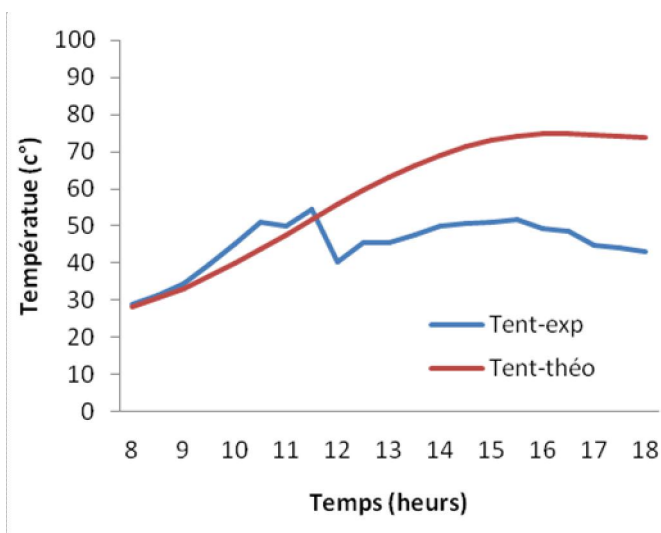


Fig. 5 : Variation de température d'entrée en fonction du temps

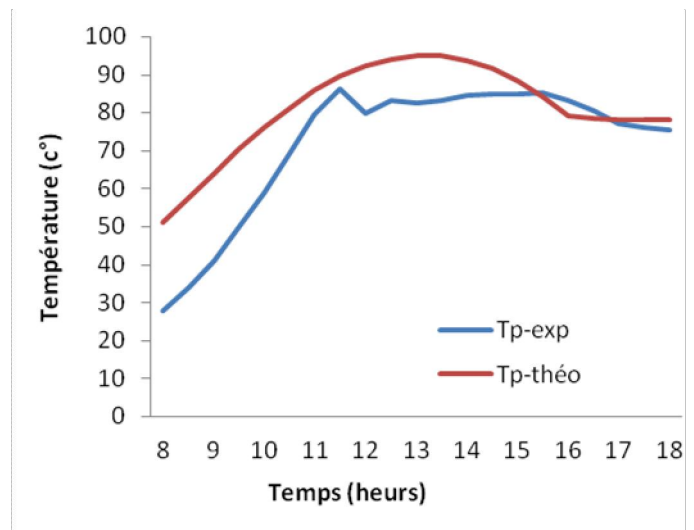


Fig. 7 : Variation de température de la plaque absorbante en fonction du temps



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012

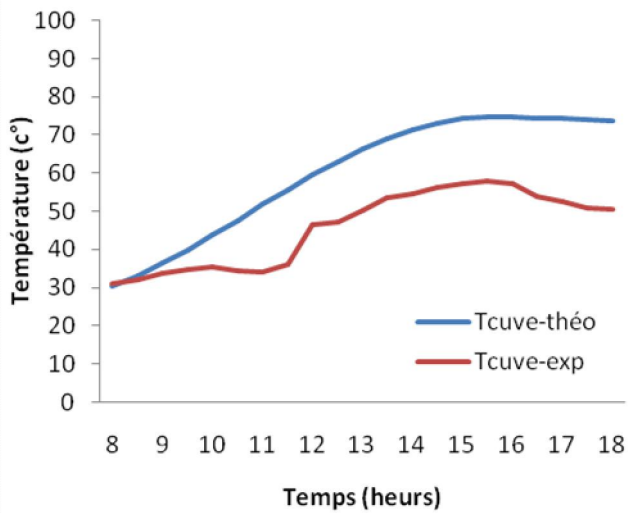


Fig. 8: Variation de la température dans la cuve de stockage en fonction du temps

Les rendement journalier théorique et expérimental de ce jour est illustré dans le tableau 2.

TABEAU 2 : LE RENDEMENT THEORIQUE ET EXPERIMENTAL

Date	Rendement théorique %	Rendement expérimental %
22-07-2007	52.19	47.26

On conclue d'après ces résultats que le rendement expérimental est de bon qualité, car il est proche à valeur théorique, alors le modèle mathématique établir est acceptable.

V. CONCLUSION

Le travail que nous avons effectué consiste à la réalisation, expérimentation et simulation d'un nouveau prototype de capteur à eau et nous a permit de déterminer leurs performances. Le rendement thermique de capteur solaire étudié dépend, en plus des paramètres habituels (conditions extérieures, caractéristiques thermiques), des paramètres géométriques de la plaque d'absorption. Nous avons étudié l'effet de la forme géométrique de la plaque absorbante afin de voir leur avantage et nous avons réalisé un modèle mathématique simulant le comportement thermique de capteur que nous avons validé par des essais expérimentaux.

Les résultats théoriques et expérimentaux des évolutions de toutes les températures et le 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 aux perturbations du système. Le rendement journalier expérimental du capteur est de bon 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.

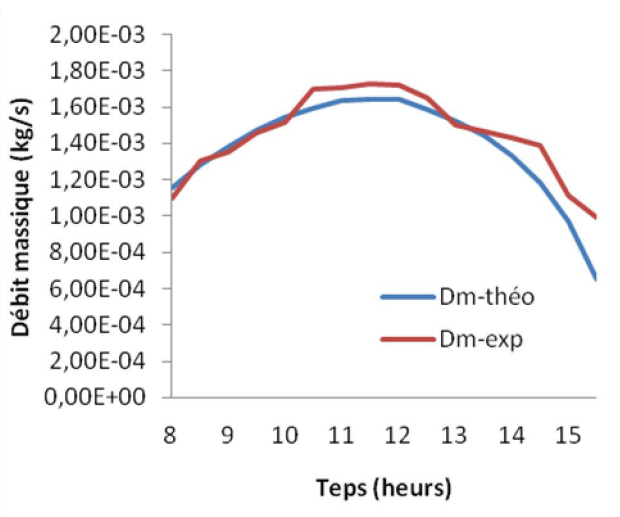


Fig. 9 : Variation du débit massique en fonction du temps



Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa – Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012



VI. REFERENCES

- [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, 'Transit 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.