



Le 4<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et  
Renouvelables  
The 4<sup>th</sup> International Seminar on New and Renewable  
Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa - Algérie 24 - 25 Octobre 2016



# Étude expérimentale d'un capteur hybride PVT à eau avec des réflecteurs

I. Tabet<sup>\*1</sup>, K. Touafek<sup>1</sup>, N. Bellel, A. Khelifa<sup>1</sup>, M.T.baissi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaïa, Algérie

<sup>2</sup>Université de Constantine 1, Algérie

\*[tabet21@yahoo.fr](mailto:tabet21@yahoo.fr)

**Résumé** — Dans ce travail en s'intéressent l'étude expérimentale d'un capteur hybride photovoltaïque thermique à eau avec des réflecteurs latéraux, cette étude a été effectuée dans la région du sud algérien à Ghardaïa. Nous avons présentés les résultats des essais expérimentaux fait tels que la température de chaque composant du capteur, la température du fluide à l'entrée et à la sortie du capteur, le courant et la tension, les résultats obtenus montre qu'il existe une amélioration de la performance du module photovoltaïque avec l'addition du système de refroidissement et le réflecteur inférieur.

**Mot Clet** - énergie solaire, system hybride, capteur PVT, réflecteurs solaires

capteur thermique avec des réflecteurs, qui devrait réduire le temps de retour des coûts. Zoran et al. [4] analysés l'impact des réflecteurs plans (en bas, en haut, à gauche et à droite) en Al, sur le rayonnement solaire totale sur un capteur solaire au cours d'une journée sur une année entière, ils ont constatés que l'intensité du rayonnement solaire sur le capteur augmentent d'environ 80% pendant la période estivale (Juin Septembre) à l'aide de réflecteurs inclinés de façon optimale, par rapport au capteur sans réflecteurs. Joseph et al. [5] développé un modèle analytique utilisé pour déterminer le rayonnement solaire sur les capteurs plans augmentés avec des réflecteurs plans.

Notre travail porte sur l'étude expérimentale d'un capteur hybride photovoltaïque thermique à eau avec des réflecteurs. Cette étude a été effectuée dans la région sud de l'Algérie à Ghardaïa. Nous avons présentés les résultats des essais expérimentaux fait tels que la température du capteur, la température du fluide à l'entrée et à la sortie du capteur, le courant et la tension.

## I. INTRODUCTION

L'énergie solaire est la source la plus importante d'énergie renouvelable, pour cela l'exploitation de l'énergie solaire en Algérie est un grand axe de recherche qui connaît de considérable développement cette dernière décennie. Actuellement, il existe deux voies principales d'exploitation de l'énergie solaire : le solaire photovoltaïque qui transforme directement le rayonnement en électricité ; le solaire thermique qui transforme directement le rayonnement en chaleur.

La composante la plus importante et la plus couteuse d'un système solaire actif de l'énergie est le capteur solaire [1-2]. Un Capteur solaire est un dispositif qui capte l'énergie solaire rayonnante et la convertit en énergie utile. Des nombreuses innovations techniques permettent d'augmenter le rendement des capteurs thermiques et hybride PVT, telles que ; diminuer les pertes thermiques par l'utilisation des matières d'isolation à haute performance, l'amélioration des échanges thermiques par des assemblages tubes-ailettes.

L'ajout des systèmes de concentration du rayonnement solaire sur les capteurs solaires et aussi permet d'obtenir des très grandes performances, pour cette raison, plusieurs études ont été fait les capteurs plans avec réflecteurs. Ljiljana et al. [3] investigué l'influence de la position des réflecteurs des plaques planes en tôle Al sur l'efficacité thermique du capteur solaire thermique, il a montré l'effet positif des réflecteurs, un gain d'énergie dans la gamme 35-44% pendant la période d'été, pour

## II. LE CAPTEUR HYBRIDE PHOTOVOLTAÏQUE THERMIQUE PVT

Un capteur photovoltaïque thermique (PVT) est un capteur solaire hybride permettant de convertir une partie de l'énergie solaire captée en électricité et de valoriser l'autre, habituellement perdue sous forme de chaleur [6-9].

Un module PV convertit 6-20% du rayonnement solaire d'incident en électricité selon son type et les conditions climatiques. Le rayonnement solaire avec la longueur d'onde de 0.6 à 0.7 $\mu$ m est absorbé par les cellules PV et convertie en électricité, alors le restant est la majeure partie de rayonnement solaire d'incident est convertie en chaleur qui augmente la température du module photovoltaïque et réduit son efficacité [10]

Plusieurs configurations de capteur hybride sont disponibles peut être divisé dans les catégories suivantes :

- Capteur hybride PVT à eau.
- Capteur hybride PVT à air.

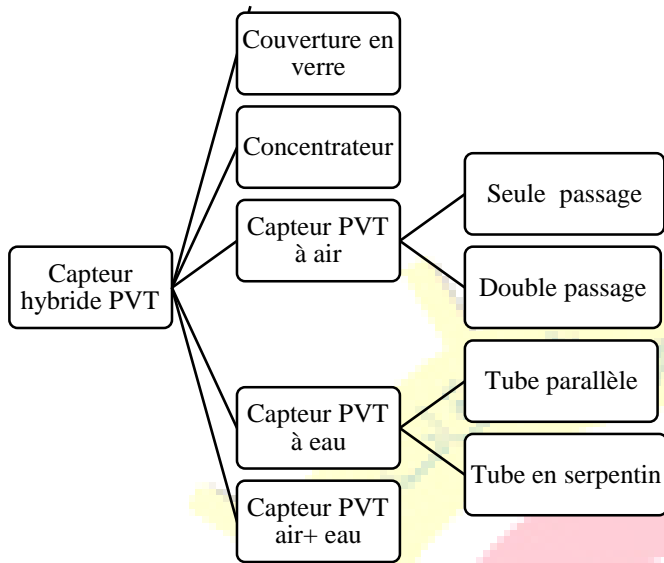


Fig.1 Classification des capteurs hybrides PVT

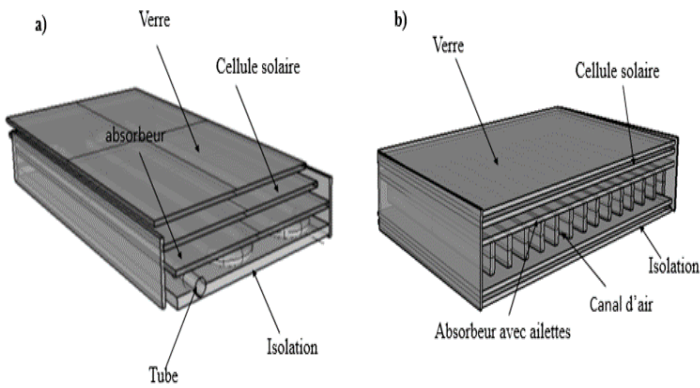


Fig.2 Capteurs hybrides (PVT) ;a) PVT à eau, b) PVT à air

### III. PERFORMANCE DES CAPTEURS HYBRIDES PVT

La performance d'un capteur hybride PVT est essentiellement dérivée de celle d'un capteur solaire thermique et le module photovoltaïque PV [8].

#### A. Rendement thermique du capteur PVT

Le rendement thermique, ( $\eta_{th}$ ) est le rapport de l'énergie thermique utile, ( $Q_u$ ) sur le rayonnement solaire incident ( $G$ ). Il peut être écrit comme suit :

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{G} \quad (1)$$

L'énergie thermique utile,  $Q_u$  peut être obtenue en multipliant le débit massique ( $\dot{m}$ ), la capacité thermique ( $C_p$ ) du fluide, et la différence de température entre la sortie ( $T_{fo}$ ) et l'entrée de fluide ( $T_{fi}$ ),

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_{fo} - T_{fi}) \quad (2)$$

L'énergie utile peut aussi être exprimée par la quantité du rayonnement solaire absorbée après enlevé la quantité des pertes de chaleur et produit de l'énergie électrique par le module PV. Le coefficient de perte global est déterminé par la somme des pertes du dessus, de côté et au-dessous du capteur PVT [11]. Les pertes importantes causées principalement par une perte supérieure qui a été le transfert de chaleur par rayonnement entre les verres et le milieu ambiant [12].

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_{p,m} - T_a)] \quad (3)$$

Où  $U_L$  est le coefficient de perte global,  $A$  est la surface du capteur,  $S$  et la quantité du rayonnement solaire absorbée  $G(\alpha\tau)$  et  $T_{p,m}$  est la température moyenne de la plaque absorbante, cette température est difficile à calculer et mesurer en raison de la conception complexe de la plaque absorbante. Li et al. [13] mentionné la caractéristique du capteur solaire dépend non seulement de matière absorbante, mais aussi de la géométrie, type d'isolation, l'épaisseur de la couverture qui affectent de manière significative le coefficient de perte optique et de la chaleur.

Pour simplifier l'analyse en raison de la conception du capteur PVT, l'équation pour un capteur plan par Hottel-Whillier a été modifié par le remplacement du  $T_{p,m}$  avec la température à l'entrée du capteur  $T_{fi}$

$$Q_u = A_c F_R [S - U_L (T_{fi} - T_a)] \quad (4)$$



Où  $F_R$  est le facteur de dissipation de la chaleur qui concernait le facteur d'efficacité,  $F'$  et l'efficacité d'ailette  $F$ , en utilisant l'équation suivante :

$$\frac{F_R}{F'} = \frac{GC_p}{U_L F'} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{U_L F'}{GC_p}\right) \right] \quad (5)$$

Connaissant l'eau comme fluide caloporteur,  $F'$  peut être déterminée en utilisant l'équation suivante :

$$F' = \frac{1}{U_L} \frac{1}{w \left[ \frac{1}{U_L [D_o + (W - D_o) F]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{m D_i h_{fi}} \right]} \quad (6)$$

Où  $W$  est l'écart entre les tubes,  $D_o$  et  $D_i$  sont le diamètre extérieur et intérieur des tubes,  $C_b$  est la conductivité de la liaison entre les ailettes et les tubes, et  $h_{fi}$  est le coefficient de transfert thermique du fluide dans les tubes.  $F$ , est l'efficacité de l'ailette et peut être décrit par :

$$F = \frac{\tanh(x)}{x} \quad (7)$$

$x$  donné par :

$$x = \sqrt{\frac{U_L}{K \delta}} \left( \frac{W - D_o}{2} \right) \quad (8)$$

Avec  $K$  et  $\delta$  sont la conductivité thermique et l'épaisseur de l'ailette

#### B. Rendement électrique du capteur PVT

L'équation du rendement électrique  $\eta_{pv}$  d'un module PV peut être exprimée par l'équation suivante :

$$\eta_{pv} = \frac{I_m V_m}{G A_c} \quad (9)$$

La performance d'un module PV diminué avec l'accroissement de la température, comme indique par l'équation suivante [14] :

$$\eta_{pv} = \eta_o (1 - \beta [T_{pv} - T_{ref}]) \quad (10)$$

Avec  $\eta_o$  est le rendement électrique dans les conditions normales de température ou à la température de référence 25°C à 1000 W/m<sup>2</sup>,  $\beta$  est le coefficient de température de l'efficacité des cellules  $T_{pv}$  est la température de la cellule photovoltaïque

dépend des conditions environnementales et tandis que  $T_{ref}$  est la température de référence. Les valeurs de  $\eta_o$ ,  $T_{ref}$ ,  $\beta$  sont généralement données par le fabricant. Ils dépendent également des matériaux de modules PV.

#### C. Rendement global du capteur PVT

Le rendement global des systèmes PVT peut être obtenu par [15] :

$$\eta_g = \eta_{th} + \eta_{pv}$$

Tiwari et al. [16] a noté que le rendement global d'un système PVT peut être obtenu en utilisant l'équation suivante :

$$\eta_g = \eta_{th} + \frac{\eta_{pv}}{\eta_{cp}}$$

Où la valeur de  $\eta_{cp}$  référence à la qualité du charbon en termes de teneur en cendres. Les gammes comprises entre 0,2-0,4.

### IV. CONCEPTION ET ETUDE EXPERIMENTALE

Nous montrons dans la Figure 3 le prototype d'un capteur hybride PVT à eau ou nous avons fait les tests expérimentaux, deux réflecteurs sont placés sur les côtés du capteur, ce capteur placé sur à un toit d'un immeuble de l'unité de recherche appliqué en énergie renouvelable située dans le sud de l'Algérie loin de la ville du Ghardaïa d'environ 18 km. La latitude, la longitude et l'altitude de l'unité sont respectivement + 32,37 °, + 3,77 ° et 450 m au-dessus du niveau de la mer, les essais effectués dans un jour clair de moins de juin 2015, nous avons étudié le comportement thermique et électrique du capteur ainsi l'effet du réflecteur sur le comportement ou nous avons mesurés la température du fluide à l'entrée et à la sortie du capteur, les température du vitre supérieur et la partie arrière du capteur. Le courant et la tension du capteur PVT.

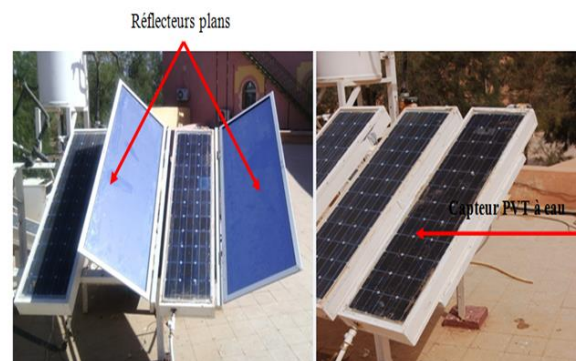


Fig.3 Images du prototype du capteur PVT à eau



# Le 4<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

## The 4<sup>th</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa - Algeria 24 - 25 Octobre 2016

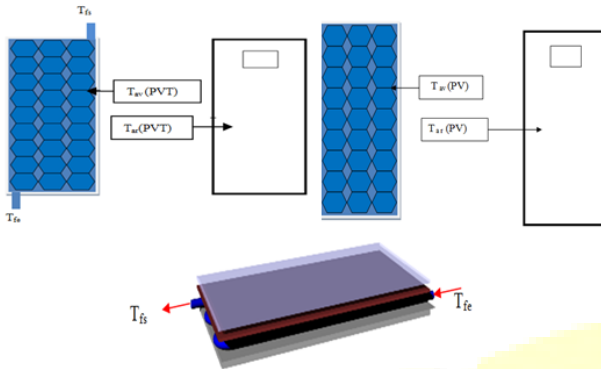


Fig.4 Emplacement des thermocouples dans le prototype du capteur PVT à eau

Le module photovoltaïque utilisé en silicium monocristallin avec les paramètres apparaissant dans le tableau 1

TABEAU 1

PARAMETRES DU MODULE PHOTOVOLTAÏQUE DU CAPTEUR PVT A EAU

Paramètres	Valeur
Résistance parallèle : Rp	0.34 kohm
Résistance série : RS	1.9 ohm
Fill factor : FF	0.631
Tension de circuit ouvert : Uoc	20.8 V
Courant de court-circuit : Isc	2.99 A
Tension maximum : Upmax	14.9 V
Courant maximum : Ipmx	2.62 A
Puissance maximum : Pmax	39.1W
Nombre des cellules	36
Éclairement : G	1068 W/m <sup>2</sup>
Surface	0.42m <sup>2</sup>

### V. RESULTATS ET DISCUSSION

Les Figures 5-11 présentent les résultats expérimentaux des tests sur le capteur PVT à eau avec réflecteurs le 30 juin 2015. La variation horaire de l'éclairement solaire global incident et la température ambiante sont représentés dans La Figure 5. Ces données et les différentes conditions climatiques (humidité, pression atmosphérique, soleil, etc.) ont été obtenues par la station météorologique et radiométrique située dans l'unité de recherche appliquée dans les énergies renouvelables (Ghardaïa). Les courbes montrent que le ciel était clair sur la journée. L'éclairement global

incidence variait 0 -1000 W / m<sup>2</sup>, ce jour-là, la température ambiante atteint 40 ° C à midi TSV.

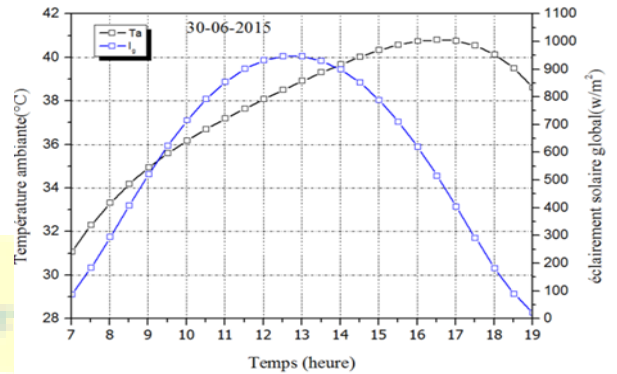


Fig.5 Variation du rayonnement solaire et la température ambiante durant le jour

La Figure 6 illustre la variation journalière des tests expérimentaux des températures des éléments du capteur hybride photovoltaïque thermique à eau avec réflecteur et le module photovoltaïque, nous voyons que ces température atteins des valeurs maximales dans les heures du jour entre 10 heure et 14 heure .

La variation journalière de la température d'eau à l'entrée et la sortie du capteur PVT est illustré dans la Figure 7, l'écart de température du fluide à l'entrée et à la sortie du capteur varie de 3°C à 9°C.

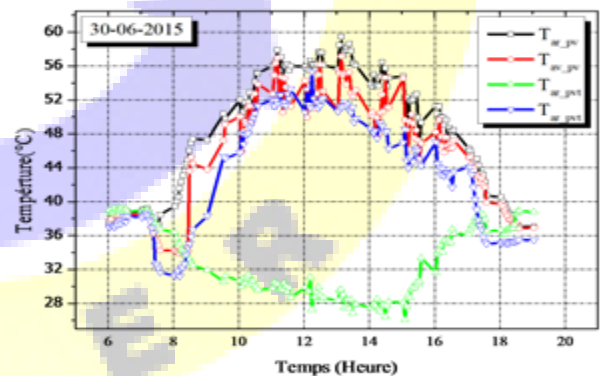


Fig.6 Évolutions des températures des composants du capteur PVTR à eau



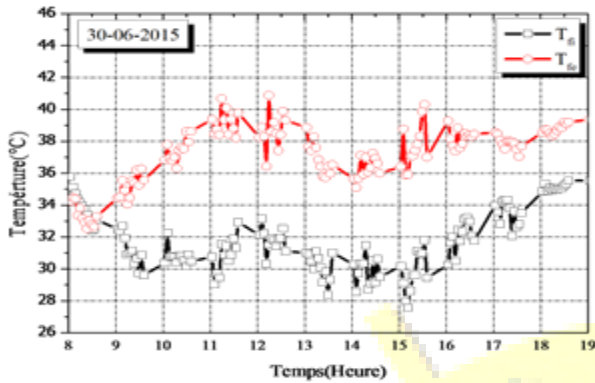


Fig. 7 Évolutions de la température du fluide

La Figure 8 montre l'évolution quotidienne du rendement thermique du capteur PVT à eau avec réflecteurs, le débit massique et égale à 0.0055 kg/s, une valeur quotidienne moyenne est égale environ 0.40. Le rendement thermique quotidien en fonction de la température réduite est montré dans la Figure 9.

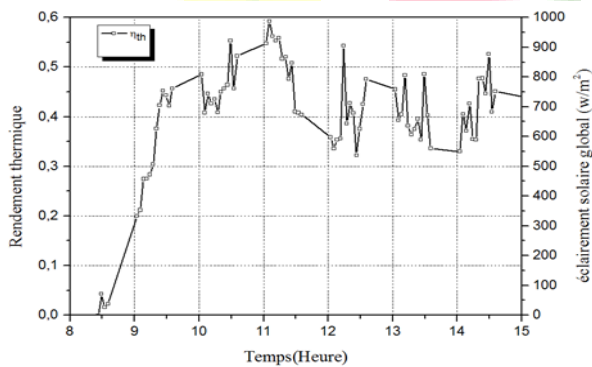


Fig.8 Rendements thermiques journaliers du capteur PVT à eau

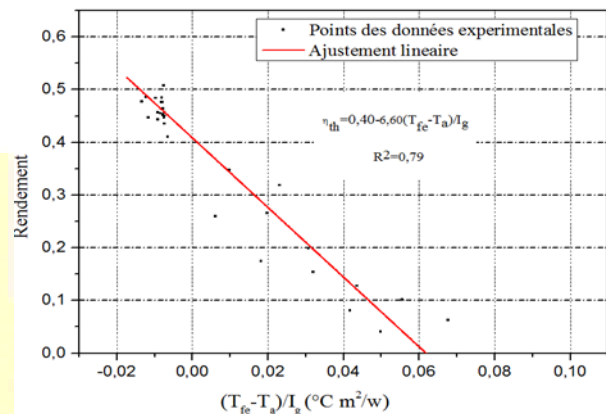


Fig.9 Rendements thermiques en fonction de la température réduite

Nous présentons dans les Figures 10,11 les courbes caractéristiques du courant-tension du module photovoltaïque et capteur photovoltaïque thermique à eau avec et sans réflecteurs, ces résultats obtenues à partir des essais expérimentaux sur le module photovoltaïque et le capteur hybride durant les jours 30-06-2015. Selon les résultats obtenues on trouve que pour une même surface de captation l'ajout du system du refroidissement provoque un accroissement du 0.16 à 0.16 % la tension du module photovoltaïque en raison de la diminution de la température du module photovoltaïque, l'ajout du réflecteur provoque une augmentation de la quantité du rayonnement solaire incident sur la surface du capteur PV qui provoque a accroissement de 1.8 à 7 % du courant du module photovoltaïque.

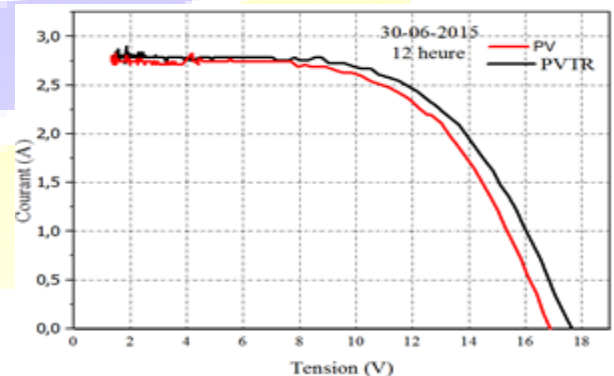


Figure 9 Courbes caractéristiques courantes tensions du capteur PVTR

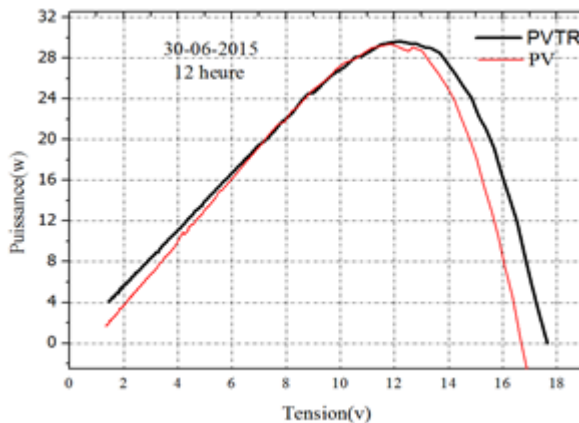


Fig.10 Puissance électrique délivrée par le capteur PVTR et le module PV

## VI. CONCLUSION

Dans ce papier, nous avons fait une étude expérimentale sur un prototype d'un capteur hybride photovoltaïque thermique à eau, deux réflecteurs rectangulaires placés sur les côtés latéraux du capteur PVT, ce prototype est placé dans un toit d'un immeuble de l'unité de recherche appliquée en énergie renouvelable située dans le sud algérien à Ghardaïa,

## REFERENCES

- [1] R.foster, M.ghassemi,A.cota, solar energy, renewable energy and the environment,2009.
- [2] J.A. Duffie, W.A. Beckman, solar engineering of thermal processes, 2nd ed., JohnWiley & Sons, New York, 1991.
- [3] Ljiljana T. Kostić, Zoran T. Pavlović, optimal position of flat plate reflectors of solar thermal collector, Energy and Buildings,vol. 45 .pp.161-168,2012.
- [4] Zoran T. Pavlović, Ljiljana T. Kostić, variation of reflected radiation from all reflectors of a flat plate solar collector during a year,Energy,vol. 80,pp 75-84,2015.
- [5] Joseph W. Bollentin and Richard D. WILK, modeling the solar irradiation on flat plate collectors augmented with planar reflectors, solar energy ,vol. 55,5 .pp.343-354,1995.
- [6] I. Tabet, K. Touafek, N. Bellel, N. Bouarroudj, A. Khelifa, and M. Adouane, optimization of angle of inclination of the hybrid photovoltaic-thermal solar collector using particle swarm optimization algorithm, journal of renewable and sustainable energy,vol.6,pp. 053116,2014 .
- [7] Adnan Ibrahim, Mohd Yusof Othman, Mohd Hafidz Ruslan, Sohif Mat, Kamaruzzaman Sopian, Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, pp.352-365,2011.
- [8] M.A.M. Rosli, S. Mat, M.K. Anuar, Kamaruzzaman Sopian, M.Y. Sulaiman and S. Ellias, Progress on Flat-Plate Water Based of Photovoltaic Thermal (PV/T) System: A Review, Iranica Journal of Energy & Environment ,vol.5,No.4,pp.407-418, 2014.

- [9] A. Khelifa, K. Touafek, H. Ben Moussa, I. Tabet, Modeling and detailed study of hybrid photovoltaic thermal (PV/T) solar collector, Solar Energy,vol.135, pp.169-176,2016.
- [10] Karima E.Amori, Mustafa Adil Abd-ALRaheem, field study of various air base photovoltaic/thermal hybrid solar collectors, renewable Energy,vol. 63,pp. 402-414,2014.
- [11] Amori, K.E. and H.M. Taqi Al-Najjar analysis of thermal and electrical performance of a hybrid (PV/T) air based solar collector for Iraq, Applied Energy, vol. 98,pp. 384-95,2012.
- [12] Klein, S.A., calculation of flat-plate collector, loss coefficients. Solar Energy, vol.17,pp.79-80,1975.
- [13] Li, M., G.L. Li, X. Ji, F. Yin and L. Xu,the performance analysis of the Trough Concentrating Solar Photovoltaic/Thermal system. Energy Conversion Management, vol.52,pp. 2378-83,2011.
- [14] Cristofari, C., G. Notton and J.L. Canaletti, thermal behavior of a copolymer PV/Th solar system in low flow rate conditions. Solar Energy, vol.17, pp. 83: 1123-38,2009.
- [15] Huang, B., T. Lin, W. Hung and F. Sun, performance evaluation of solar photovoltaic/thermal Photovoltaic-Thermal Solar Energy Experiment in systems. Solar Energy,vol. 70,pp.443-8,2001.
- [16] Tiwari, G.N., R.K. Mishra and S.C. Solanki, photovoltaic modules and their applications: A review on thermal modelling. Applied Energy, vol.88,pp.2287-304,2011.