

Conception et étude expérimentale d'un nouveau capteur solaire hybride

S. Haddad^{#1}, K. Touafek^{*2}, M. Mordjaoui^{#3} and H.Bougarouche^{#4}

^{1,4}Laboratoire de génie mécanique et matériaux LGMM, Université 20 août 1955 Skikda
Skikda, 21000, Alegria.

²Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables URAER, Centre de développement des Energies
Renouvelables, CDER, 47133, Ghardaïa, Algeria.

³Laboratoire LRPCSI, Université 20 août 1955 Skikda, Skikda, 21000, Alegria.

¹s.haddad@univ-skikda.dz

³m.mordjaoui@univ-skikda.dz

Resumé— La consommation énergétique dans l'habitat est très importante. Le recours aux énergies renouvelables et notamment solaire, s'avère une priorité urgente. L'essentiel des besoins énergétiques des bâtiments sont le chauffage d'espace l'eau chaude sanitaire. Dans cet article, un nouveau capteur solaire air eau est conçu et réalisé. Ce capteur produira en même temps de l'eau chaude sanitaire et le chauffage de l'espace. Le fait de rassembler dans un même système les deux fonctions (eau et air) permettra de gagner de l'espace et d'économiser les efforts et investissements. Dans ce travail on va présenter l'étude expérimentale, qui a été réalisée à l'Unité de Recherche Appliquée aux Energies Renouvelables de Ghardaïa. La plupart des recherches appliquées sur les capteurs hybrides était de genre photovoltaïque/thermique, et ce que nous voulons faire c'est quelque chose de nouveau, la combinaison de deux capteurs solaires thermiques. Ce nouveau capteur solaire peut être utilisé pour le chauffage de l'eau et de l'espace d'un habitat. Nous avons entamé des mesures de température, et de rayonnement dans une période de temps, ces mesures nous ont permis de relever les caractéristiques thermiques de notre capteur et les étudier. Les résultats trouvés sont très encourageantes.

Mots clés : Energie solaire, Capteur, Chauffage, Expérimentale

I. INTRODUCTION

Une installation solaire est destinée à recueillir l'énergie solaire pour le convertir en énergie thermique et le transférer à un fluide caloporteur (air, eau) ou en énergie électrique. On distingue donc deux types de capteur solaire : le capteur solaire thermique et le capteur solaire photovoltaïque.

Le capteur solaire à plan vitré est le type de capteur solaire thermique le plus répandu pour la transformation du rayonnement solaire en chaleur. Il utilise l'effet de serre pour capter l'énergie thermique du soleil. Les capteurs solaires à plan vitré sont généralement composés d'un châssis sous forme de coffre, d'un isolant en fond, d'un absorbeur de couleur noire en tubes de cuivre munis d'ailettes dans lequel circule le fluide caloporteur et d'une vitre [1]. La technologie solaire offre un grand potentiel en termes de fourniture des

besoins énergétiques de la planète. Toutefois, l'utilisation de cette énergie reste dans le monde encore limitée. Le facteur principal est lié au coût initial élevé de la construction du système [1]. Les rayonnements solaires sont des rayonnements électromagnétiques émis par le soleil qui peuvent être captés et transformés en énergies utiles, telles que la chaleur et de l'électricité, en utilisant une variété de technologies. Toutefois, la faisabilité technique et le fonctionnement économique de ces technologies à un endroit précis dépend de la ressource solaire disponible. [2]

Chaque endroit sur Terre reçoit la lumière du soleil au moins une partie de l'année. La quantité de rayonnement solaire qui atteint une tache sur la surface de la Terre varie en fonction de la situation géographique, heure de la journée, saison, paysage local, météo locale [1]. Comme par exemple notre pays l'Algérie, elle dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700KWh/m²/an au Nord et 2263 kWh/m²/an au Sud du pays [3].

La recherche sur les capteurs solaires a débuté dans les années 70 et a été intensifiée dans les années 90[4].

Diverses études expérimentales et théoriques ont été réalisées ensuite, en vue du développement des systèmes hybrides.

Kern et Russell, 1978 [5], donnent les principaux concepts de ces systèmes par l'usage d'eau ou de l'air comme fluide caloporteur. Hendrie, 1979 [6], présente un modèle théorique sur les systèmes PV/T qui utilisent des techniques du capteur plan thermique conventionnelle.

Bhargava et al 1991 [7] et Prakash 1994 [8], présentent les résultats de leur travaux sur l'effet du débit et de canal d'air. Des travaux sur les performances des capteurs hybrides ont été étudiés par Sopian et al en 1995 et en 1996 [9]. Dans les travaux précités le rendement thermique de ces systèmes PV/T était dans la gamme de 45% à 65%.

Bergene et Lovvik, 1995 [10], ont analysé le transfert de l'énergie entre les différents composants du system hybride PV/T utilisant du liquide comme fluide caloporteur. Une étude paramétrique pour l'habitat a été présentée par Brinkworth et al, 1997 [11]. Garg et Adhikari, 1999 [12] ont étudié le system PV/T utilisant de l'air pour le chauffage en simple et en doubles vitres.

La plupart des recherches menées dans ce domaine ont pour objectif d'évaluer les performances thermiques et électriques ou d'analyser l'aspect économique des systèmes hybrides à travers l'estimation du taux de couverture solaire assuré. Pour cela, quelques auteurs mettent l'accent sur le développement de modèles thermiques analytiques ou réalisés suivant une analogie électrique, et plus rarement de modèles électriques de photo-conversion en régime permanent ou dynamique. Certaines de ces analyses s'appuient en outre sur des confrontations avec des études expérimentales en conditions contrôlées ou in situ sur divers sites.

D'autres recherches ont pour but l'optimisation des performances des composants solaires existants en améliorant les conditions de fonctionnement (inclinaison, orientation du composant...) ou en proposant des configurations géométriques innovantes. Ainsi, elles se basent sur la modification des dimensions ou des propriétés des matériaux de construction (isolant thermique, absorbeur, cellules PV...) ou des fluides caloporteurs (air, eau glycolée...). Ces améliorations visent à accroître la quantité d'énergie solaire absorbée et les transferts thermiques entre le fluide caloporteur et l'absorbeur ou à réduire voire éliminer les pertes thermiques extérieures du capteur solaire hybride.

II. CONCEPTION D'UN NOUVEAU CAPTEUR SOLAIRE HYBRIDE

La réalisation du capteur thermique hybride (chauffe-eau/air) exige la fabrication d'un nouvel absorbeur à eau pour la face avant du capteur et d'un autre absorbeur à air pour la face arrière.

Matériels utilisés:

Une vitre de 0.3 cm d'épaisseur et d'une surface de 0.45 m².

Une tôle en fer galvanisé de 0.1 cm d'épaisseur.

Cornière en aluminium de 0.2 cm et d'un angle de 90°.

Un tube en cuivre de 14mm de diamètre et un autre de 22mm de diamètre.

Laine de verre de 5cm d'épaisseur.

Polyester de 3cm d'épaisseur.

Peinture (noir math).

Pour la réalisation du cadre qui est le composant principal du capteur dont il sert à lever et protéger ses éléments on utilise une cornière d'aluminium.

Cette étape comporte plusieurs démarches. On commence par faire des mesures souhaitées pour notre capteur, en suite

selon ces mesures on coupe la cornière pour obtenir seize cornières chaque quatre entre eux à une longueur de 130cm, 36cm et 16cm. Comme il est représenté sur la figure 1.



Fig .1. Les cornières du cadre.

Et par la suite on assemble ces cornières d'une forme rectangulaire de 130cm de longueur et de 36cm de largeur avec la riveteuse, les deux rectangles qu'on obtient on assemble entre eux avec les bouts de cornière de 16cm, on aura l'ossature du capteur. En suite on coupe trois plaques de tôle fer galvanisé avec les mesures de l'intérieure et du côté de l'ossature qu'on placera par la suite sur celle-ci avec la riveteuse. Par les étapes précédentes on aura le corps du capteur comme il est représenté sur la figure2, avec les dimensions suivantes :

La longueur : 130 cm ; La largeur : 36 cm ;

La hauteur : 16 cm ;



Fig. 2. le cadre du capteur.

L'isolant thermique permet de limiter les déperditions thermiques dans le capteur, il y a plusieurs matériaux qui peuvent être utilisés, pour notre capteur on a choisi la laine de verre et le polyester.

On coupe la laine de verre avec les dimensions de l'intérieur du bas du support, et le polyester avec les dimensions des côtés avec une épaisseur de 3cm, et on les placera dans le cadre comme il est représenté sur la figure 3.



Fig.3.l'isolant thermique.

L'absorbeur emmagasine la chaleur et la transmette vers là où elle doit être consommée à l'aide d'un fluide caloporteur. Dans notre capteur thermique (chauffe-eau/air) on à deux fluides caloporteur l'eau et l'air.

On commence par construire la canalisation de l'eau à l'aide des tubes de cuivre.

On coupe deux tubes de 22mm de diamètre à une longueur de 40 cm, on perce quatre trous de 15mm de diamètre sur ces deux tubes, dont chaque trou et loin de l'autre à une distance de 8 cm, comme il est représenté dans la figure.4.



Fig.4.les tubes de cuivre.

En suite on mettre au bous de chaque trou des deux tubes, d'autre tubes de cuivre mais cette fois de diamètre de 14mm, et une longueur de 120cm en série, on soudera par la suite l'ensemble des tubes à l'aide du chalumeau et des baguettes à souder fabriquer en cuivre. On aura la canalisation représenté sur la figure 5.



Fig. 5. la canalisation de l'eau.

En suite après avoir coupé et bouché une des deux extrémités de chaque tube qui été percé on coupe une tôle et on la placera sur la canalisation, on prenant en considération l'emplacement des tubes de cuivre, et on la peint en noir math comme nous le montre la figure 6.



Fig. 6. L'absorbeur

Après avoir placé la laine de verre au bas du corps du capteur, on met en dessus une tôle de fer galvanisé et on la fixe avec la riveteuse avec des rivets.

Ensuite on place l'absorbeur sur des béquilles qui en été fixé sur le côté du corps intérieur du capteur à une hauteur de 7.5 cm de la tôle interne du bas.

En suite en place une vitre d'une longueur de 128 cm, et une largeur de 34cm et une épaisseur de 0.3cm, dotés d'un revêtement antireflet à base de verre non-ferrugineux qui permet d'améliorer le rendement du système par effet de serre.

On fixe la vitre avec des joints spéciale et une cornière à chaque extrémité d'elle et on fixe ce dernier à l'extérieur du cadre avec la riveteuse.

En suite en ferme la chambre qui est entre la vitre et l'absorbeur, avec une tôle et un isolant (le polyester) sur les deux cotés ouverte, afin d'empêchera la chaleur entré par la vitre de s'échappé, et on laisse la partie au dessous de l'absorbeur ouverte pour assurer l'entré et la sortie de l'air.

La figure7 présente notre capteur thermique hybride (chauffe-eau/air), qui a été réalisé au sein de l'unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables à Ghardaïa.



Fig. 7. capteur hybride (chauffe-eau/air).

On pose le capteur sur le support et on le fixe à l'aide de boulons et d'écrous. Ensuite on raccorde l'entrée du capteur avec une source d'eau, et on contrôle le débit avec un robinet qu'on le place à ce dernier, et on laisse la sortie de l'eau ouverte après la déportés à l'aide d'un tuyau.

III. DESCRIPTION DU BANC D'ESSAI

Le but de notre étude expérimentale en premier lieu est de déterminer la distribution de la température au niveau des deux fluides caloporteurs, qu'ils sont de notre cas l'eau et l'air, et aussi la détermination de l'efficacité du système hybride chauffe-eau/air. Pour cela nous avons placé dans le système huit capteurs, dans le but d'étudier les changements de température. La figure 8 représente l'emplacement du capteur hybride réalisé (chauffe-eau/air) à l'unité de recherche appliquée en énergie renouvelable de Ghardaïa.



Fig. 8. Capteur thermique hybride (chauffe-eau/air).

Pour prendre les mesures nous avons utilisé des thermocouples de type «K», pour mesurer et enlever la température d'entrée et de sortie de l'eau, ainsi la vitre et l'absorbeur et le vitre entre ces deux derniers, et aussi l'entrée et la sortie de l'air, et le bas du capteur (figure 9).

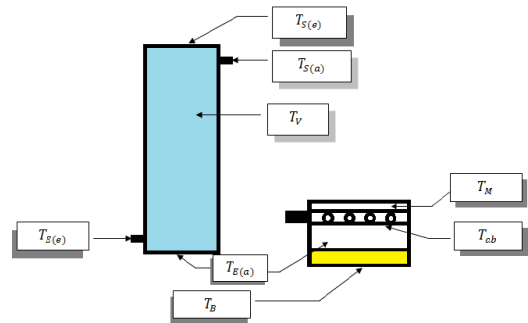


Fig.9. L'emplacement du thermocouple sur le capteur.

$T_{E(e)}$: Température de l'entrée de l'eau.

$T_{S(e)}$: Température de la sortie de l'eau.

$T_{E(a)}$: Température de l'entrée d'air.

$T_{S(a)}$: Température de la sortie d'air.

T_V : Température de la vitre.

T_{ab} : Température de l'absorbeur.

T_M : Température du milieu entre la vitre et l'absorbeur.

T_B : Température du bas du capteur.

Nous avons utilisé pour notre étude plusieurs types des dispositifs de mesure dans le but de mesurer les paramètres du capteur (température, rayonnement globale, ...).

Nous avons relevé la température ambiante, les températures de l'eau et l'air à l'entrée et la sortie, la température de la vitre et l'absorbeur et l'air entre ces deux derniers, et aussi la température du bas du capteur, chaque cinq minutes.

IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Au cours de ces essais nous mesurons les températures de chaque composant de capteur thermique hybride telle que les températures de l'entrée et de sortie d'eau, de la vitre, la température à l'entrée et à la sortie du canal d'air, la température de l'absorbeur, et s'elle du bas du capteur, et aussi la température entre la vitre et l'absorbeur.

Le but de ces essais est de montré le comportement thermique du système hybride chauffe-eau/air, et son rendement thermique.

Des mesures ont été réalisées à l'unité de recherche appliquée en énergies renouvelables à Ghardaïa situé au sud algérien (latitude : 36.62° N; longitude : 4.67E) l'altitude 467 m. Ce site a un climat sèche. Les données sont mesurées et stockés chaque minute au minimum, l'éclairement solaire horizontal global et Diffus en W/m^2 , chaque valeur est mesurée avec un Pyranometer de K&Z CMP21, Pour l'éclairement solaire direct en $W/M2$, mesuré avec le Pырheliometer de K&Z. D'autres paramètres météorologies telle que la température ambiante, l'humidité relative, la vitesse du vent et leur direction sont tous mesurés. Nous avons prend les données du rayonnement solaire horizontal globale, directe, la température et la vitesse du vent, durant

les jours d'essai de l'année 2016. Comme il est représenté respectivement dans les figures (10,11,12) suivantes.

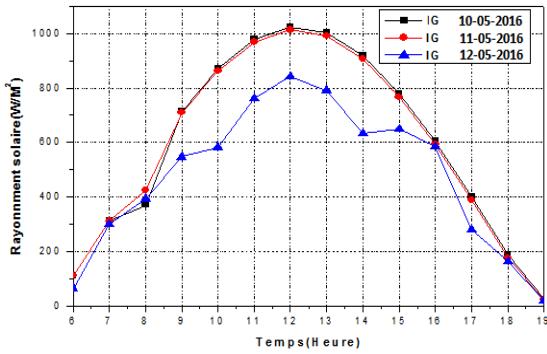


Fig. 10. Rayonnement solaire incident

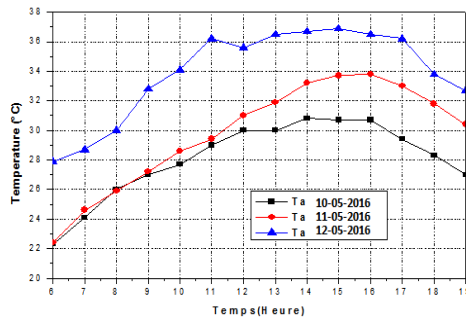


Fig. 11. Evolution de la température ambiante

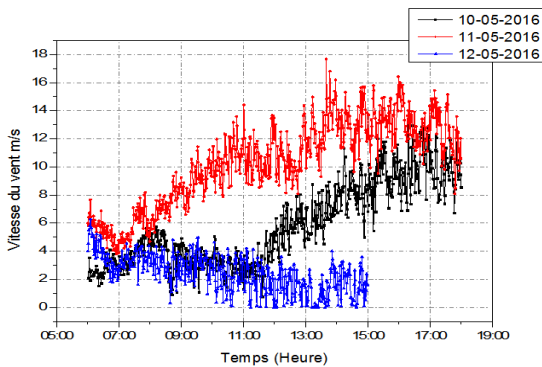


Fig. 12. Vitesse du vent durant les jours d'essais.

On remarque que la journée de test idéale pour notre étude est celle du 10/05/2016. En effet, pour cette journée, on a un éclaircissement global qui avoisine 1000 W/m^2 et une température ambiante de 30°C à midi, mais la vitesse du vent et un peu élevée elle est avoisine de 13 m/s , mais mieux de celle du 11/05/2016 car elle atteinte 18 m/s .

Nous avons montré sur la figure 13 l'évolution des températures pour la journée du 10-05-2016, de l'absorbeur, la vitre, le bas du capteur, et le vide entre la vitre et l'absorbeur. Les composants du capteur thermique hybride (chauffe-eau/air).

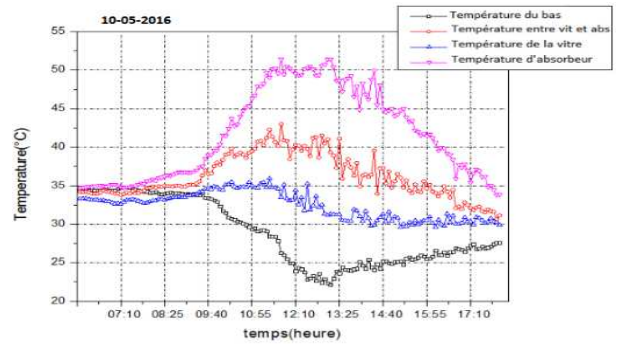


Fig. 13. variation des températures dans le capteur

On remarque qu'au début de la journée du test, les composants en presque la même température jusqu'à $09\text{h}30$, on voit que la température de l'absorbeur commence sa croissance jusqu'à 50°C à 11h , et elle se stabilise à cette température jusqu'à 14h , après elle commence à descendre jusqu'à 35°C à 18h . La température entre la vitre et l'absorbeur montée jusqu'à 42°C à $11\text{h}30$, et elle se stabilise entre 39°C et 41°C jusqu'à $13\text{h}30$, où elle commence à descendre jusqu'à 31°C à 18h . Pour la vitre on remarque qu'il n'y a pas un grand changement de température, elle est entre 30°C et 34°C pendant toute la journée. Au bas du capteur la température commence sa décroissance à 10h et elle atteint 22°C à 13h . Dans la figure 14 nous avons montré l'évolution de la température du fluide caloporteur (l'eau), pour la journée d'essai du 10-05-2016.

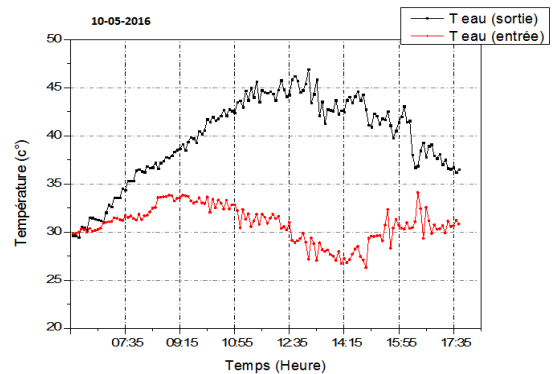


Fig. 14. Evolution de température du fluide caloporteur.

Au début du test les températures d'entrée et de sortie du fluide caloporteur (l'eau), sont égaux à une température de 30°C , à 7h on remarque que la température de sortie commence à monter jusqu'à 45°C à 11h , et elle stabilise entre 45°C et 46°C sa valeur maximale jusqu'à 15h , là où elle commence à descendre jusqu'à une température de 36°C à $17\text{h}30$. Par contre la température d'entrée reste entre 28°C et 33°C pendant toute la journée d'essai.

La figure 15 représente l'évolution de température au niveau d'air notre deuxième fluide caloporteur, à l'entrée et à la sortie du capteur, pour la journée d'essai du 10-05-2016.

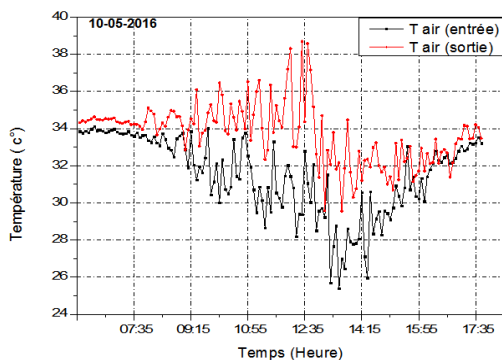


Fig. 15. Evolution de température d'air

On remarque qu'au début de la journée du test, les températures d'entrée et de sortie sont presque égales, à 9h30 la température de sortie commence sa croissance mais à une manière instable et elle atteint sa valeur maximale 39c° à midi 30, après elle descend jusqu'à 34c°. À l'entrée du capteur la température d'air jusqu'à 26c° à 13h après elle monte jusqu'à 33c°.

Pour calculer le rendement de notre capteur thermique on utilise la relation suivante :

$$\eta = \frac{m \cdot c_p (T_s - T_e)}{I_g \cdot A} \quad (IV.1)$$

$$m = \rho v \quad (IV.2)$$

Avec :

η : le rendement.

m : le débit massique [kg/s].

V : le débit volumique [m^3/s].

P : la masse volumique [kg/m^3].

C_p : la chaleur spécifique de l'eau [J kg/c°].

T_s : température de sortie [c°].

T_e : température d'entrée [c°].

I_g : le rayonnement solaire [w/m^2].

A : la surface du capteur [m^2].

La figure 16 représente le rendement du capteur thermique en fonction du temps, après avoir calculé à chaque cinq minute.

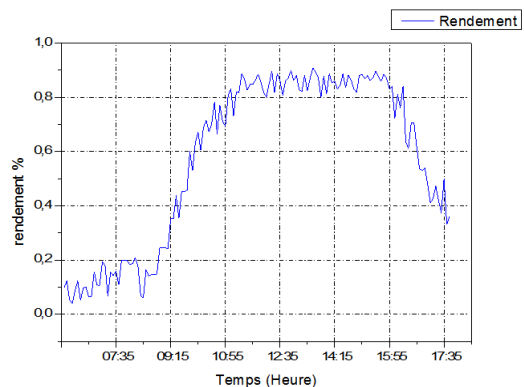


Fig. 16. Rendement du capteur thermique.

On remarque que le rendement est faible au début de la journée du test, il est entre 0.05% et 0.2%, et à 09h il commence à augmenter et il atteint presque 0.9% sa valeur maximale à 11h, et il reste entre 0.8% et 0.9% jusqu'à 16h, là il commence à diminuer jusqu'à 0.4% à 17h30.

V. CONCLUSION

Nous avons mené dans ce travail une étude expérimentale détaillée sur un nouveau capteur hybride thermique eau- air. Les résultats obtenus mettent en évidence que l'augmentation de l'irradiation globale conduit à un accroissement des températures des différents composants du capteur durant les journées d'essaye, et que l'augmentation du rendement instantané du capteur est proportionnelle à l'augmentation du rayonnement solaire. Et que le vent influe sur l'air qui est le deuxième fluide caloporteur.

La température du fluide caloporteur (eau) au niveau de la sortie du capteur, commence à augmenter d'une valeur de 31c° à 7h, avec un ensoleillement de 300w/m² et un rendement du capteur qui ne dépasse pas le 0.2%, jusqu'elle atteint sa valeur maximale qui est 46c°, et elle reste avoisiner de cette température jusqu'à 14h30, cette période correspondante à un rendement de 0.8%, et ce que explique cette augmentation du température et du rendement, c'est l'ensoleillement qui atteint son maximum qui est 1000 w/m². Après 14h30 et avec la décroissance de l'ensoleillement jusqu'à 200w/m², la température du fluide caloporteur diminue jusqu'à 35c° à 18h, et par conséquent le rendement du capteur arrive à 0.3%.

Pour le deuxième fluide caloporteur (air) au niveau de la sortie du capteur, sa température commence à augmenter à 8h, et elle atteint sa valeur maximale qui est 38c° à midi où l'ensoleillement aussi au maximum, mais avec une perturbation à cause de la vitesse du vent (presque 8m/s), car l'extrémité du capteur est ouvert ce qui empêche l'air de chauffé correctement.

On peut dire que ce type de capteur hybride est une bonne alternative aux capteurs thermiques à eau et aux capteurs solaire pour le chauffage d'aire installés séparément.

RÉFÉRENCES

- [1] [1] L. Henrik, Renewable Energy Systems : A smart energy systems approach to the choice and modeling of 100% renewable solutions, Elsevier, second edition, 2014
- [2] [2] N. Hamani, Modelisation du flux solaire incident et de la température de sortie dans un capteur solaire à eau avec effet de concentration du rayonnement solaire incident, Mémoire de Magister, Université de Biskra, (2005)
- [3] [3] L.F. Cabeza, Advances in Thermal Energy Storage Systems : Methods and applications, Elsevier, (2015)
- [4] [4] J.DUFFIE and WA BECKAMAN, « Solar engineering of thermal processes », Wiley inter science publication, New York, (second edition), (1991).
- [5] [5] Jr. E.C Kern. and M. C. Russell, Combined photovoltaic and thermal hybrid collector systems, In Proc. 13th IEEE Photovoltaic Specialists, Washington DC, USA,1153 - 1157.(1978).
- [6] [6] S. D. Hendrie, Evaluation of combined photovoltaic / thermal collectors, In Proc. ISES Int. Congress, Atlanta, USA, Vol. 3, 1865 - 1869. (1979).
- [7] [7] A. K., Bhargava, H. P. Garg and R. K. Agarwal, Study of a hybrid solar system - solar air heater combined with solar cells, Energy Convers. Mgmt 31, 471 - 479. (1991)
- [8] [8] J.Prakash « Transient analysis of a photovoltaic / thermal solar collector for co -generation of electricity and hot air / water ». Energy Convers. Mgmt 35, 967 - 972. (1994)
- [9] [9] K.Sopian, H. T Liu., K. S Yigit, S Kakac and T. N. Veziroglu, An investigation into the performance of a double pass photovoltaic thermal solar collector, In Proc. ASME Int. Mechanical Engineering Congress and Exhibition, San Francisco, USA, AES Vol. 35, 89 -94. (1995)
- [10] [10] T.Bergene and O.M.Lovvik, Model calculations on a flat-plate solar heat collector with integrated solar cells, Solar Energy, Vol. 55, p453-462. (1995)
- [11] [11] B. J Brinkworth., B. M Cross., R. H. Marshall and Hongxing Yang,Thermal regulation of photovoltaic cladding, Solar Energy 61, 169-178. (1997)
- [12] [12] H. P Garg. andR. S. Adhikari, Performance analysis of a hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) collector with integrated CPC troughs, Int. J. Energy Res.23, 1295 - 1304. (1999).