



Etude paramétrique sur le capteur solaire hybride Photovoltaïque Thermique à tubes

K. Touafek¹ et A. khelifa²

Unité de recherche appliquée en énergies renouvelables,
B.P. 88 Garat Ettaam, Ghardaïa, Algérie

¹khaledtouafek@uraer.dz

²khelifa_karim@hotmail.fr

Résumé—Le capteur solaire hybride photovoltaïque thermique (PVT) génère en même temps de l'électricité et de la chaleur. Plusieurs configurations d'absorbeurs ont été utilisées. Parmi elle la configuration en tubes. Cette configuration a l'avantage d'être comparable à celle communément utilisée par les capteurs thermique plans et donc une comparaisons avec ces capteurs est simple. Ce capteur hybride à tubes permet de produire en plus de l'énergie électrique une énergie thermique qui sera utilisé pour le chauffage de l'eau. Dans cet article on va étudier l'effet de la distance entre deux tubes successifs sur le fonctionnement du système hybride photovoltaïque thermique (PVT) ainsi que sa puissance électrique et thermique instantanée.

Mots clés: Hybride – Puissance – Tubes – Absorbteur

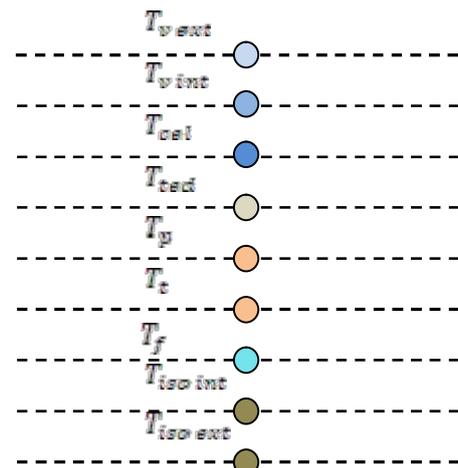
I. INTRODUCTION

Kern et Russell, 1978 [1], donnent les principaux concepts de ces systèmes par l'usage d'eau ou de l'air comme fluide caloporteur. Hendrie, 1979 [2], présente un modèle théorique sur les systèmes PV/T. Bhargava et al, 1991 [3] et Prakash, 1994 [4], présentent les résultats de leurs 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. 1995 et en 1996 [5], Dans les travaux précités, le rendement thermique de ces systèmes PV/T était dans la gamme de 45 à 65 %. Bergene et Lovvik, 1995 [6], ont analysé le transfert de l'énergie entre les différents composants du système hybride PV/T utilisant du liquide comme fluide caloporteur. Une étude paramétrique pour l'habitat a été présentée par Brinkworth et al. 1997 [7], Garg et Adhikari, 1999 [8] ont étudié le système PV/T utilisant de l'air pour le chauffage en simple et en double vitrage. Hauser et Rogash, 2000 [9] ont utilisé ces systèmes dans des immeubles. Le capteur hybride

PV/T avec réservoir d'eau chaude a été proposé par Huang et al. 2001 [10] et une autre conception des systèmes PV/T a été incluse récemment par Zondag et al. 2002 et 2003 [11][12].

Le système étudié se compose essentiellement du panneau photovoltaïque qui a le rôle de transformer le rayonnement solaire en énergie électrique, il se compose de trois couches : la première c'est une couche du verre qui est la face exposée au rayonnement incident, la deuxième couche qui contenant les cellules photovoltaïques et la troisième couche protectrice qui est le Tedlar. Une plaque absorbante de la chaleur a été utilisée à un type de l'Acier galvanisé, un tube ; qui est généralement soudé sur la plaque absorbante pour avoir un bon contact thermique entre les deux composants, le tube une entrée et une sortie où le fluide caloporteur distribué pour évacuer la chaleur emmagasinée par la surface absorbante. Finalement, et pour minimiser les pertes calorifiques du système, il faut isoler ses parois par une ou plusieurs couches d'isolant.

Notre système est un modèle de 9 nœuds. Les différents nœuds du ce capteur solaire hybride sont indiqués sur la figure suivante :





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



L'énergie thermique fournie par le rayonnement solaire est donnée comme suit [13] :

$$Q_{solaire} = A_{verre} G \tau_{verre} \alpha_{cel} \dots \dots \dots (1)$$

A_{verre} : Surface du verre

G : Rayonnement directe totale absorbée par la cellule solaire

τ_{verre} : Transmittivité du verre

α_{cel} : Coefficient d'absorptivité de la cellule solaire

Puisque le verre est opaque par rapport aux rayonnements émis par les cellules, la surface du verre devient une surface émettrice, les pertes thermiques par rayonnement sont exprimées comme suit:

$$Q_{rad v-a} = \sigma \varepsilon_v A_{verre} (T_v^4 - T_{ciel}^4) \dots \dots \dots (2)$$

Avec :

$$T_{ciel} = 0.0552 (T_a)^{1.5} \dots \dots \dots (3)$$

Nous avons exprimé les pertes thermiques par convection par l'équation de transfert de chaleur entre le verre du capteur hybride et le milieu extérieur comme suit:

$$Q_{conv v-a} = h_{c-a} A_v (T_v - T_a) \dots \dots \dots (4)$$

Avec :

T_v : Température du verre du capteur hybride (K)

T_a : Température ambiante (K)

h_{c-a} : Coefficient de transfert convectif qui est fonction de la vitesse du vent en (W/m²K), il est donné par l'expression suivante [14] :

$$h_{c-a} = 2.8 + 3.0 V_{vent} \dots \dots \dots (5)$$

L'énergie utile fournie par le capteur hybride est :

$$Q_{util} = A_c F_R [\tau \alpha^s G - U_{p-a} (T_s - T_a)] \dots \dots \dots (6)$$

Telle que α^s est le facteur d'absorptivité [13] exprimé par:

$$\alpha^s = \alpha - \eta_{pv}$$

Le facteur d'extraction de la chaleur F_R c'est la proportion du gain réel de l'énergie utile du collecteur au maximum du gain utile possible si la surface du collecteur entière était à la température d'entrée du fluide, il peut être calculé comme suit :

$$F_R = \frac{\dot{m} c_f}{A_c U_{p-a}} \left[1 - \exp \left(\frac{-A_c U_{p-a} F}{\dot{m} c_f} \right) \right] \dots \dots \dots (7)$$

Où :

$$F' = \frac{1}{U_{p-a}} \frac{1}{\frac{1}{W [U_{p-a} (D_{ext} + (W - D_{ext}) F)]} + \frac{1}{C_b} + \frac{1}{\pi D_k h_{conv p-f}}} \dots \dots (8)$$

Avec :

$$F = \frac{\tanh \left(m \frac{(W - D_{ext})}{2} \right)}{m \frac{(W - D_{ext})}{2}} \dots \dots \dots (9)$$

Cette équation détermine l'efficacité du secteur à ailette entre les tubes adjacents en tenant compte de l'influence du lancement de tube W et du diamètre extérieur de tube D_{ext} .

Le coefficient global de perte de chaleur U_{p-a} du capteur solaire hybride représente la somme des pertes vers l'avant du capteur U_{top} et extérieur du bord U_b , dans cette équation on l'a supposé que le coefficient de perte vers l'avant U_{top} , pourrait être calculé en utilisant l'équation empirique de Klein comme donné par [15] :

$$U_{top} = \frac{1}{\left\{ \frac{N}{\frac{c}{T_{pm}} \left(\frac{T_{pm} - T_a}{N-f} \right)^2 + h_{conv v-a}} \right\} + \frac{\sigma (T_{pm} + T_a) (T_{pm}^2 - T_a^2)}{1 + \frac{2N+f-1+0.133 \varepsilon_p}{(\varepsilon_p + 0.00591 N h_{conv v-a}) + \frac{1}{\varepsilon_p}} - N} \dots \dots \dots (10)$$

$$c = (520 - 0.000051 \beta^2) \dots \dots \dots (11)$$

$$f = (1 + 0.089 h_{conv v-a} - 0.1166 h_{conv v-a} \varepsilon_p) (1 + 0.07866 N) \dots \dots \dots (12)$$



$$e = 0.430 \left(1 - \frac{100}{T_{pm}} \right) \dots \dots \dots (13)$$

N est le nombre de couvertures ou de couches de verre.

ϵ_v Est l'emittance de la couverture ou de du verre.

ϵ_p Est l'emittance de la plaque absorbante.

$h_{conv-v-a}$ Est le coefficient transfert thermique par convection dû au vent.

$$U_b = \frac{\lambda_{iso}}{\delta_{iso}} \dots \dots \dots (14)$$

Le rendement thermique et électrique du capteur hybride sont déterminés par les deux formules suivantes :

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{A_p G} \dots \dots \dots (15)$$

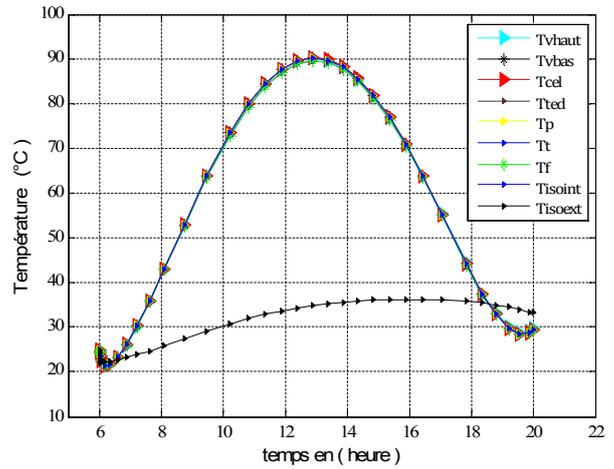
$$\eta_{eis} = \frac{Q_{eis}}{A_p G} \dots \dots \dots (16)$$

II. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATIONS

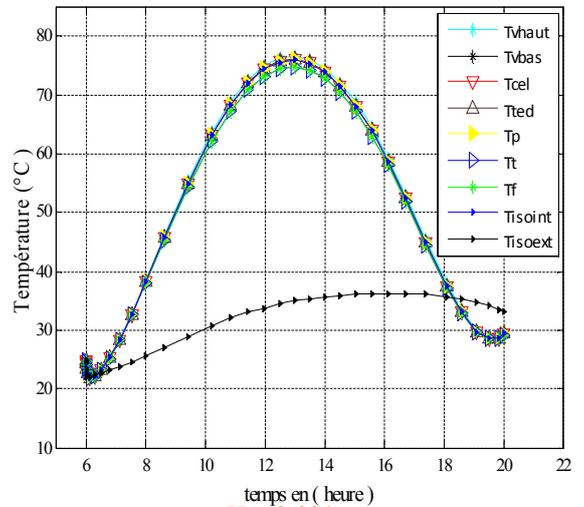
L'étude est menée sur les paramètres internes du capteur qui est la distance entre les tubes.

Pour voir l'influence de la distance entre deux tubes successifs sur les températures du capteur solaire PVT, nous avons donné plusieurs valeurs à ces deux paramètres.

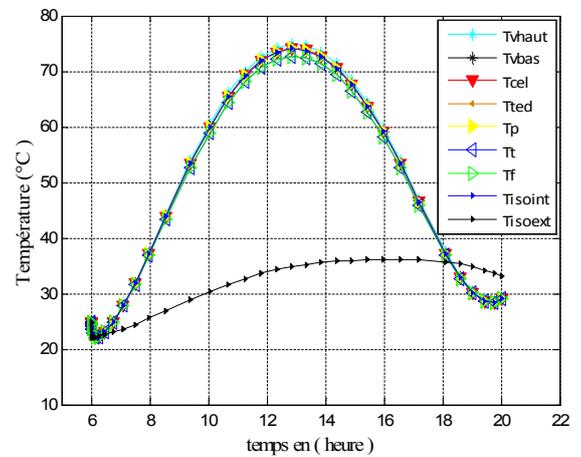
La figure 1 représente l'évolution des températures pour chaque composant du capteur solaire hybride. Pour plusieurs valeurs de distance entre les tubes : débit = 0.025 kg/s et $V_{vent} = 5$ m/s



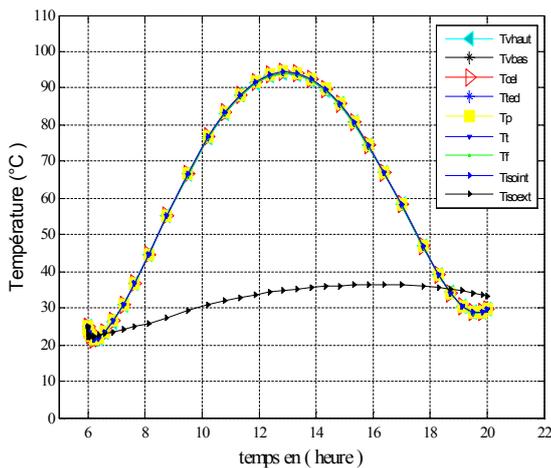
X = 0.007 m



X = 0.021 m



X = 0.023 m



X = 0.005 m

Fig.1. Températures des couches du capteur hybride pour différents distances entre tubes



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



Les figures 2.a et 2.b présentent la variation de l'énergie électrique et de la puissance thermique utile fournie par le capteur solaire hybride PVT en fonction du temps, on observe que ces énergie montent à partir d'une valeur presque nulle à $t = 6^h$ de façon presque parabolique jusqu'à ses valeurs maximales (500 W pour la puissance thermique et presque 44 W pour l'énergie électrique) dans l'intervalle $[12^h, 14^h]$ où le rayonnement solaire est très important.

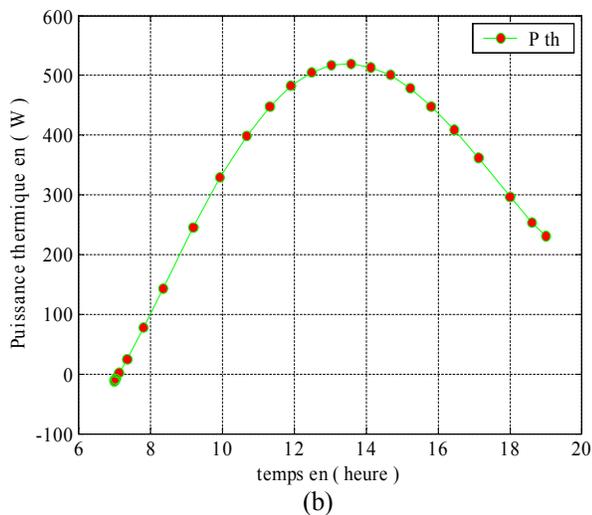
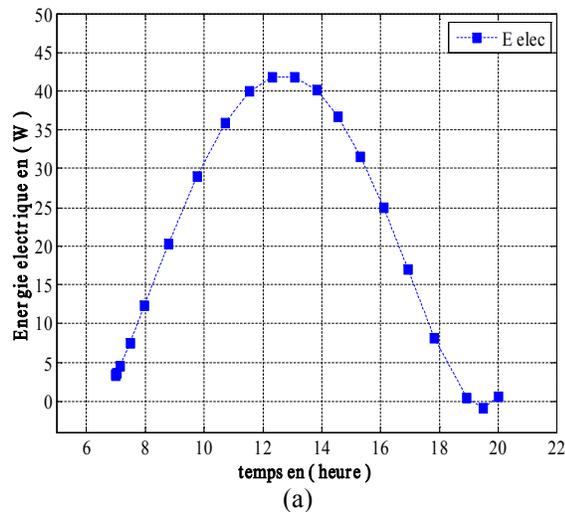


Fig. 2. La production d'énergie électrique et thermique d'un capteur PVT

III. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons effectué une étude paramétrique sur le capteur hybride avec absorbeur en feuille et tube. La distance entre les tubes de l'absorbeur a un grand effet sur la production électrique et thermique du capteur. En effet, en diminuant trop cette distance, la température des cellules augmente ce qui diminuera le rendement électrique. Nous avons calculé l'énergie électrique et thermique produite pendant une journée par le capteur. Cette énergie peut atteindre les 40W électrique et 500 W thermique instantanée.

REFERENCES

- [1] KERN JR. E.C. and RUSSELL M. C., "Combined photovoltaic and thermal hybrid collector systems". In Proc. 13th IEEE Photovoltaic Specialists, Washington DC, USA, 1153 -1157 (1978).
- [2] HENDRIE S.D, "Evaluation of combined photovoltaic /thermal collectors". In Proc. ISES Int. Congress, Atlanta, USA, Vol. 3, 1865-1869 (1979).
- [3] BHARGAVA A. K, GARG H. P. and AGARWAL R. K., " Study of a hybrid solar system-solar air heater combined with solar cells". Energy Convers. Mgmt 31, 471-479 (1991).
- [4] PRAKASH J, "Transient analysis of a photovoltaic / thermal solar collector for co-generation of electricity and hot air / water". Energy Convers. Mgmt 35, 967 - 972 (1994).
- [5] SOPIAN K., LIU H. T., YIGIT K. S., KAKAC S. and VEZIROGLU T. N. "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).
- [6] BERGENE T. and LOVVIK O.M, "Model calculations on a flat-plate solar heat collector with integrated solar cells". Solar Energy, Vol. 55, 453-462 (1995).
- [7] BRINKWORTH B. J, CROSS B. M., MARSHALL R. H. and HONGXING YANG

	<p>Le 2^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables</p> <p>The 2nd International Seminar on New and Renewable Energies</p> <p>Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, Ghardaïa - Algérie 15, 16 et 17 Octobre 2012</p>	
---	--	---

- , "Thermal regulation of photovoltaic cladding".
Solar Energy 61, 169-178 (1997).
- [8] GARG H. P. and ADHIKARI R. S., "Performance analysis of a hybrid photovoltaic/thermal (PV/T) collector with integrated CPC troughs". Int. J. Energy Res. 23, 1295-1304 (1999).
- [9] HAUSER T., ROGASH H., "Latent heat storage on photovoltaics". In Proc. 16th European PV Solar Energy Conf. Glasgow, U.K. Vol III, 2265-2267 (2000).
- [10] HUANG B.J., LIN T.H., HUNG W.C. and SUN F.S. "Performance evaluation of solar photovoltaic / thermal systems". Solar Energy, 70, 443 – 448 (2001).
- [11] ZONDAG H. A., DE VRIES D.W., VAN HELDEN W.G.J., VAN ZOLINGEN R.J.C., VAN STEENHOVEN A.A., "The thermal and electrical yield of a PV-Thermal collector". Solar Energy Vol. 72, N°2, 113-128, (2002).
- [12] ZONDAG H. A., DE VRIES D.W., VAN HELDEN W.G.J., VAN ZOLINGEN R.J.C., VAN STEENHOVEN A.A., "The yield of different combined PV-thermal collector designs". Solar Energy, 74, 235-269 (2003).
- [13] K.TOUAFEK, 'Etude d'un Capteur Solaire Hybride Photovoltaïque Thermique', Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, 2005.
- [14] T.N. Anderson, M. Duke, G.L. Morrison, J.K. Carson, 'performance of a building integrated photovoltaic/thermal (BIPVT) solar collector', solar energy, Volume 83, Issue 4, April 2009, Pages 445–455.
- [15] DUFFIE J. A., BECKMAN W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. New York, Etats-Unis: Wiley-Interscience, 1980.