



Etude d'une nouvelle configuration de capteur solaire hybride

H. Ben cheikh el hocine^{#1}, K. Touafek¹, F. Kerrou², H. Haloui¹

¹Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133 Ghardaïa, Algeria

²Laboratoire de Modélisation de Dispositifs à Energies Renouvelables et nanométrie, (MODERNA), Département d'Electronique, Université de Constantine I

bencheikh_80@yahoo.fr

Résumé— Afin d'améliorer les performances électriques d'un générateur photovoltaïque PV, on a été amené à récupérer la chaleur dissipée lors d'un fonctionnement normal ou en état de 'hot spot'. Ceci nous a conduits à envisager l'utilisation d'un capteur hybride de manière à exploiter une énergie électrique et thermique à la fois pour un même espace occupé.

Notre étude est portée sur le développement d'un nouveau modèle de capteur hybride photovoltaïque Thermique (PVT) qui est formé par la mise en série de deux absorbeurs caractérisés par différentes conceptions; absorbeur en enceinte, et l'autre en tubes verticaux parallèles. Deux configurations sont présentés ; la première configuration est (enceinte - tubes verticaux parallèles), la deuxième est (tubes verticaux parallèles - enceinte). Le profil de température de la paroi absorbante dans la direction de l'écoulement du fluide a été développé en vue de prédire le comportement thermique journalier de la nouvelle configuration.

Mots clés— Energie solaire, capteur, photovoltaïque, thermique, hybride (PV/T)

I. INTRODUCTION

La combinaison de plusieurs sources d'énergies renouvelables permet d'optimiser au maximum les systèmes de production d'électricité, aussi bien du point de vu technique qu'économique. Il existe plusieurs combinaisons de systèmes hybrides, à savoir : éolien-diesel, photovoltaïque-diesel, et éolien-photovoltaïque-diesel. Ces mêmes sources d'énergies peuvent êtres combinées avec d'autres sources telles que l'énergie hydraulique.

La recherche sur les capteurs solaires a débuté dans les années 70 et a été intensifiée dans les années 80. Les capteurs hybrides Photovoltaïques Thermiques utilisant de l'air et de l'eau avec absorbeur ont été évalués expérimentalement [1-3], analytiquement [4-6] et économiquement. Des travaux ont été menés pendant trois ans au Massachusetts Institute of Technology. La conclusion la plus importante de ce travail affirmait que la viabilité du capteur hybride PVT sera décidée par la capacité du système à satisfaire les charges thermiques et électriques demandées. Kern *et al.* 1978 [7], donnent les principaux concepts de ces systèmes par l'usage d'eau ou de

Hendrie, 1979 [8], présente un modèle théorique sur les systèmes PV/T qui utilisent des techniques du capteur plan thermique conventionnel.

Bhargava *et al.* 1991 [9] et Prakash, 1994 [10] 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 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 1996 [11]. Dans les travaux précités, le rendement thermique de ces systèmes PVT était dans la gamme de 45 % à 65 %. On peut considérer pour les capteurs hybrides, un rendement total de conversion qui est la somme du rendement thermique et du rendement électrique.

En 2005, Zondag [12] propose un état de l'art sur les capteurs solaires hybrides PV/T, en se basant sur le rapport du projet européen PV-catapult [13]. Parmi les premières études recensées par Zondag [12], certaines mettent l'accent les méthodes de modélisation.

En 2007, Trip Anagnostopoulos [14] a fait l'étude de capteurs solaires hybride PVT dont le fluide caloporteur est soit de l'air soit de l'eau, et pouvant être intégrés au bâti. L'objectif de ces travaux était de réduire la température de fonctionnement des modules PV, d'accroître la production d'air préchauffé et de réduire les pertes thermiques à travers l'isolant en sous face du composant.

Un modèle mathématique de capteur thermique PVT à air à double passage avec des ailettes proposé par Ibrahim. M et al (2009) [15].

Chow et al. [16] présentent la modélisation et une étude comparative des performances d'un capteur solaire PVT à eau.

R.K. Mishra, G.N. Tiwari (2013) [17] avaient traité deux différentes configurations, le cas où un (capteur partiellement couvert par module PV) et le cas B (capteur entièrement couvert par le module PV). Les résultats sont comparés avec le collecteur classique (FPC). L'effet de la surface de collecteur couvert par module PV sur la performance de capteur hybride PVT à eau a été étudié. Il a été observé que le cas A est plus favorable pour le point d'énergie thermique de vue, tandis que le cas B est approprié pour la production d'électricité.



Touafek et al, (2013), avaient réalisé un prototype de capteur hybride pour le chauffage de l'air l'application de cette nouvelle conception a donné une bonne performance thermique et électrique par rapport aux collecteurs hybrides traditionnels, sa simplicité de mise en œuvre et son intégration facile dans les bâtiments les rendre plus compétitives.

L'étude qu'on a présenté ici vise le développement d'un nouveau modèle de capteur hybride PVT qui est formé par la mise en série de deux collecteur hybride, le premier est un capteur PVT à eau en tubes verticaux parallèles, et le deuxième un capteur PVT en enceinte, deux configurations sont envisagés.

II. DESCRIPTION DE CAPTEUR HYBRIDE PVT ETUDIE

On étudiera le prototype hybride comme étant un ensemble d'éléments pouvant interagir entre eux thermiquement par le biais de coefficients d'échanges. Ces éléments se distinguent comme suit:

La couverture transparente, Le module photovoltaïque, d'un film de Tedlar, 1.29 m de longueur et 0.33 m de largeur un nouvel absorbeur constitué de deux types d'absorbeurs, le premier est en cuve, et le deuxième est en tubes verticaux parallèles ; dans lequel circule le fluide caloporteur. La surface de capteur est 0.42 m².

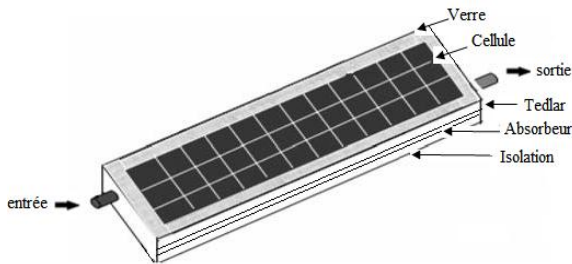


Fig. 1 prototype du capteur hybride PVT

Cet ensemble est soumis à des excitations extérieures qui sont notamment; Le rayonnement solaire, la température de l'air ambiant, la température de source d'eau froide (température d'entrée), la vitesse du vent.

III. PRESENTATION DES DEUX CONFIGURATIONS

A. La 1^{ère} configuration

(Tubes verticaux parallèles – enceinte)

La température de sortie de l'eau à la sortie du collecteur PVT en tubes verticaux parallèles donnée par T_{fo1} devient entrée au modèle de collecteur PVT en cuve donnée par T_{fi2} , $T_{fi2} = T_{fo1}$

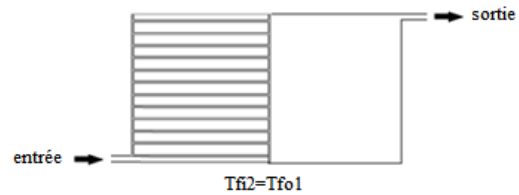


Fig. 2 Première configuration de l'absorbeur (tubes verticaux parallèles-enceinte)

B. La 2^{ème} configuration

(Enceinte – tubes verticaux parallèles)

Ici, La température de sortie de l'eau à la sortie du collecteur PVT en tubes verticaux parallèles devient la température d'entrée au modèle de collecteur PVT en cuve.

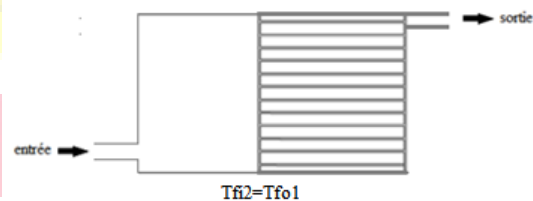


Fig. 3 Deuxième configuration de l'absorbeur (Enceinte-tubes verticaux parallèles)

IV. MODELISATION NUMERIQUE

Le capteur hybride PVT est un système complexe qui fait intervenir un couplage de transfert thermique entre les différents éléments qui le constituent.

On a établi un bilan qui fait apparaître des paramètres qui décrivent la géométrie du système, la nature de l'écoulement de l'eau et de l'air ambiant, les pertes par convection et par rayonnement ; afin de permettre de déterminer le comportement thermique de capteur.

Dépendant du débit de la chaleur massiques, des températures d'entrée et de sortie de l'échangeur, respectivement T_{fo} et T_{fi} , la puissance utile récupérée par le fluide est donnée par :

$$Q_u = \dot{m} C_f (T_{fo} - T_{fi}) \quad (1)$$

Où \dot{m} et C_f sont respectivement, le débit massique et la capacité calorifique du fluide.

A partir de l'Eq.1 on peut déterminer la température à la sortie du 1^{er} collecteur qui peut s'écrire comme suit :

$$T_{fo1} = T_{fi} + \frac{Q_{u,1}}{\dot{m} C_f} \quad (2)$$

Pour l'eau s'écoulant à travers l'échangeur du 1^{er} collecteur, le bilan énergétique de l'eau est donnée par,



$$Q_{u,1} = A_1(S_1 - U_{L1}(T_{abs1} - T_a)) \quad (3)$$

Pour l'énergie utile récupérée par le fluide du 2^{ème} collecteur :

$$Q_{u,2} = A_2(S_2 - U_{L2}(T_{abs2} - T_a)) \quad (4)$$

La quantité d'énergie solaire disponible au niveau du système thermique sera réduite par l'extraction de l'énergie électrique des cellules solaires:

$$S = (\tau\alpha)_{ef} G = \left((\tau_v\alpha_c) - \tau_v\eta_{pv} \frac{A_c}{A} \right) G \quad (5)$$

$(\tau\alpha)$ Coefficient de transmission/absorption, le rapport de la surface de module sur la surface de capteur (A_c/A) est représenté par le facteur de remplissage P de module PV.

A_1 et A_2 sont respectivement les surfaces du 1^{er} et 2^{ème} collecteur, U_{L1} et U_{L2} sont les coefficients de perte globale de chaleur, ils sont calculés en utilisant le concept de bilan thermique par une schématisation électrique des transferts thermiques.

Dans le calcul de coefficient de perte global intervient le coefficient de transfert de chaleur par convection : h qui dépend de nombreux paramètres qui sont fonction de la géométrie de la surface d'échange et des caractéristiques du fluide comme le débit massique qui est un facteur déterminant permet d'estimer les performances thermiques, dans notre étude il est fixé à une valeur égale à 0.025 kg/s [19-20].

T_a la température ambiante, T_{abs1} et T_{abs2} sont respectivement la température de l'absorbeur du 1^{er} et du 2^{ème} collecteur, elles sont calculées par la résolution de système d'équations régissant les transferts thermiques au sein du capteur par le biais d'un bilan thermique qui fait apparaître les échanges thermiques entre les composants du collecteur.

L'énergie utile à la sortie de la combinaison des deux collecteurs est donnée par:

$$Q_{u,1+2} = Q_{u,1} + Q_{u,2} \quad (6)$$

V. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Afin d'analyser le comportement du nouveau collecteur hybride PVT, un certain nombre de grandeurs sont nécessaires, liées aux conditions météorologiques, des grandeurs thermiques, électriques ou encore des débits de fluide. La fig. 4 et fig.5 montre l'évolution temporelle du rayonnement global et de la température ambiante et du ciel, la vitesse du vent est maintenue à 3 m/s.

La résolution du système d'équations régissant les transferts thermiques au sein du capteur hybride nous a permis

de calculer la variation de température de chacun de ses composants afin de pouvoir estimer les performances thermiques et électrique du collecteur.

La température de l'absorbeur en tubes atteint une valeur maximale égale à 53.88°C, et une valeur égale à 54.79°C dans le cas de l'absorbeur en enceinte.

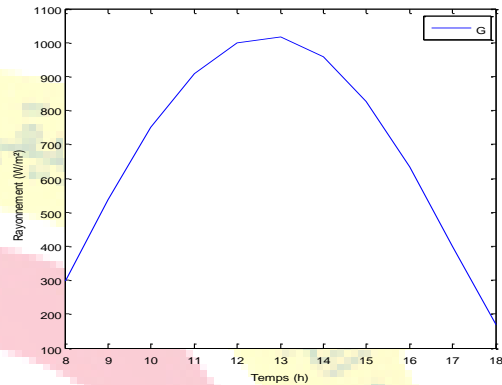


Fig. 4 variation temporelle du rayonnement global

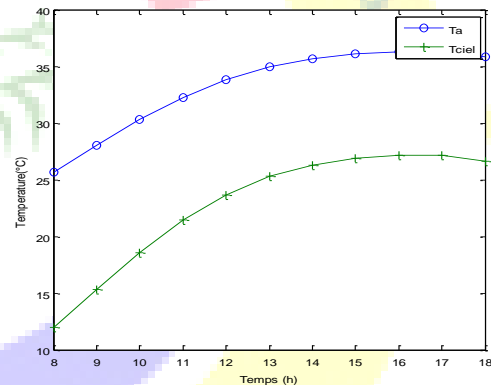


Fig. 5 : variation temporelle de température ambiante et du ciel

Pour 1000 W/m² d'énergie reçue sur le plan collecteur de surface égale à 1m², la puissance thermique utile atteint une valeur égale à 506 W dans le cas de collecteur hybride PVT en tubes comme il est montré sur la figure 6, et atteint une valeur égale à 312.3612 W dans le collecteur hybride PVT en enceinte comme indique la figure. 8

Les figures 7 et 9 montrent la variation temporelle de la température de sortie pour les deux types de collecteurs, dans le cas de collecteur hybride PVT en tubes elle atteint la valeur 29.8421°C et une valeur de 27.9891°C dans le cas de collecteur hybride PVT en enceinte, la température d'entrée est maintenue à 25°C.



La figure 10 présente la variation temporelle de la température de sortie pour la première nouvelle configuration (tubes verticaux parallèles-enceinte), elle atteint une valeur maximale égale à 32.8312°C , et on a trouvé la même valeur pour la 2^{ème} configuration (Enceinte – tubes verticaux parallèles).

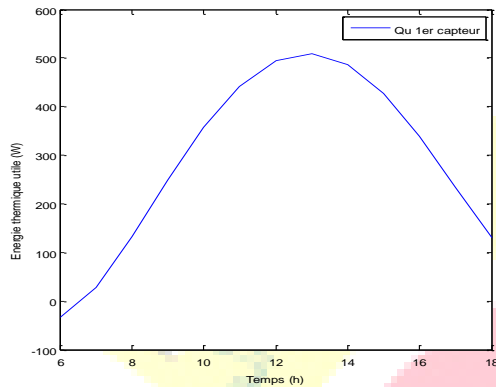


Fig. 6 : variation temporelle de l'énergie thermique utile dans un capteur PVT en tubes

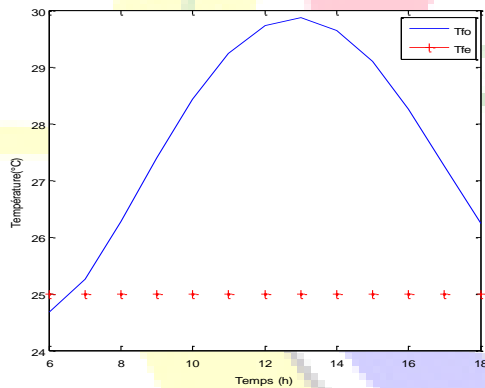


Fig. 7 : variation temporelle de la température de sortie dans un capteur PVT en tubes

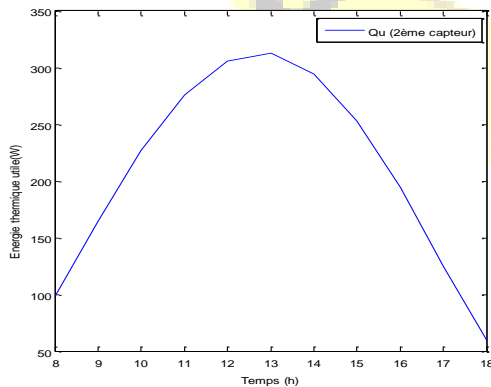


Fig. 8 : variation temporelle de l'énergie thermique utile dans un capteur PVT en enceinte

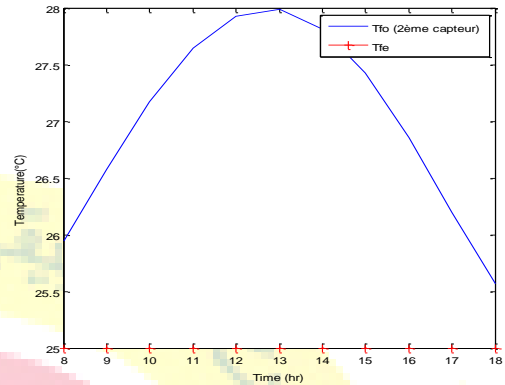


Fig. 9 : variation temporelle de la température de sortie dans un capteur PVT en enceinte

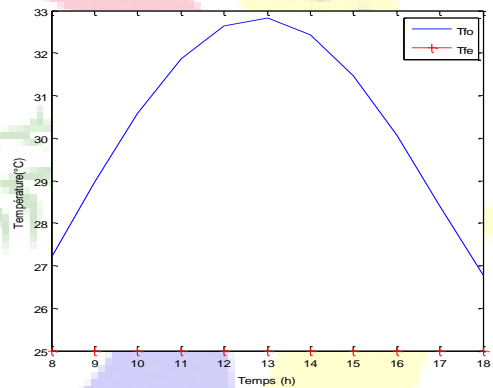


Fig. 10 : variation temporelle de la température de sortie pour les deux nouvelles configurations

V. CONCLUSION

Le capteur hybride PVTH vise à améliorer les performances électriques d'un module photovoltaïque en abaissant sa température de fonctionnement par l'insertion d'un capteur thermique. Ce capteur hybride permet ainsi une production électrique photovoltaïque couplée à un système de production d'eau chaude sanitaire, donc une cogénération d'énergie.

L'étude présentée ici vise le développement d'un nouveau modèle de capteur hybride PVT permettant d'améliorer son comportement thermique.

Les résultats obtenus montrent la faisabilité de cette nouvelle configuration de collecteur hybride.



REFERENCES

- [1] R. Tschamer, H. Curtins, J.P. Häring, R. Schwarz and A.V. Shah, 'Low Temperature Liquid PV/T Collector', Proceedings of the 5th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference, CEC, Athen, pp. 560 - 564, October 1983.
- [2] B. Lalovic, and al., 'The Application of Hybrid a-Si:H PV and Thermal Collectors for Different Usages', Proceedings of the 8th E.C. Photovoltaic Solar Energy Conference, (CEC), pp. 280 - 283, 1988.
- [3] S.V. Sudhakar and M. Sharon, 'Fabrication and Performance Evaluation of a Photovoltaic/Thermal Hybrid System', SESI Journal, Vol. 4, N°1, pp. 1 - 7, 1994.
- [4] L.W. Florschuetz, 'Extension of the Hottel-Whillier Model to the Analysis of Combined Photovoltaic/Thermal Flat Plate Collectors', Solar Energy, Vol. 22, N°4, pp. 361 - 366, 1979
- [5] T. Takashima, 'New Proposal for Photovoltaic/Thermal Solar Energy Utilization Method', Solar Energy, Vol. 52, N°3, pp. 241 - 245, 1994.
- [6] T. Bergene and O.M. Lovvik, 'Model Calculations on a Flat-Plate Solar Heat Collector with Integrated Solar Cells', Solar Energy, Vol. 55, N°6, pp. 453 - 462, 1995.
- [7] J.A. Duffie and W.A. Beckman, 'Solar Energy Thermal Process', Wiley-Interscience, NewYork, 1974.
- [8] ASHRAE Standard 93-86, 'Methods of Testing to Determine the Thermal Performance of Solar Collectors', American Society of Heating, Refrigeration, and Air Conditioning Engineers, Atlanta, USA, 1986.
- [9] SRCC Document RM-1, 'Methodology for Determining the Thermal Performance Rating for Solar Collectors', Solar Rating and Certification Corporation, Florida, 1994.
- [10] K.G.T Hollands, T.E. Unny, G.D. Raithby and L. Konicek, 'Free Convection Heat Transfer Across Inclined Air Layers', Transactions of ASME, Series C, Journal of Heat Transfer, Vol. 98, pp. 189 - 193, 1976.
- [11] Y. Yiqin, K.G.T. Hollands and A.P. Brunger, 'Measured Top Heat Loss Coefficients for Flat Plate Collectors with Inner Teflon Covers', Proceedings of the Biennial Congress of the International Solar Energy Society, Denver, Colorado, USA, August 19-23, pp. 1200 - 1210, 1991.
- [12] H.A Zondag 'Flat plate PV-thermal collectors au systems' Areview. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2005.
- [13] H.A Zondag, M BAKKER, W.G.J. HELDEN Eds,'PV/T Roadmap-a European guide for the development and warket introduction of PV-Thermal technology. Rapport Eu-projet PV-Catapult, 2005, p 87.
- [14] Y.Tripagnostopoulos 'Aspects and improvements of hybrid photovoltaic /thermal solar energy systems' solar energy, 2007, vol 81.n°9,pp 1117-1131.
- [15] M. Ebrahim, Ali Alfegi, Kamaruzzaman Sopian, Mohd Yusof Hj Othman and Baharudin Bin Yatim,' Mathematical Model of Double Pass Photovoltaic Thermal Air Collector with Fins' American Journal of Environmental Sciences 5 (5): 592-598, 2009, ISSN 1553-345X.
- [16] T.T Chow, HE W, JI J, Performance evaluation of photovoltaic-Therosyphon system for subtropical climate application. Solar Energy, (2007) vol.81, pp.123-130.
- [17] R.K. Mishra, G.N. Tiwari, Energy and exergy analysis of hybrid photovoltaic thermal water collector for constant collection temperature mode, Solar Energy 90 (2013) 58-67.
- [18] K.Touafek, M.Haddadi, et A.Malek, Design and modeling of a photovoltaic thermal collector for domestic air heating and electricity production, energy and building 59 (2013) 21-28.
- [19] K. Touafek, A. Khelifa, M. Adouane,' Theoretical and experimental study of sheet and tubes hybrid PVT collector'', Energy Conversion and Management 80 (2014) 71-77
- [20] K. Touafek, M. Haddadi, A. Malek, Design and modeling of a photovoltaic thermal collector for domestic air heating, Energy and Buildings 59 (2013) 21-28.