



Etude du chauffage de l'eau par le capteur solaire hybride

A. Khelifa^{*1}, K. Touafek¹, H. Ben Moussa², M. Adouane¹, I. Tabet¹

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

*khelifa_karim@hotmail.fr

²Université de BATNA, Algeria

Résumé— Cette étude est basée sur une approche qui combine les deux résultats numériques et expérimentaux et qui concerne la faisabilité du chauffage de l'eau par les capteurs solaires hybrides photovoltaïques thermiques. Sur la base de méthodes de transformation et les propriétés des matériaux améliorés, un banc d'essai de système PVT efficace a été conçu et testé. Ce capteur est fait de cellules photovoltaïques connectées à la surface d'un échangeur de chaleur plan, et sur la face arrière par un matériau d'isolation thermique. Le capteur ainsi réalisé est installé dans un système permettant le chauffage de l'eau.

Mot clés — Capteur thermique, Rendement thermique, Efficacité du capteur solaire

I. INTRODUCTION

L'énergie solaire vient de commencer en utilisant avec le temps, de la manière normale, comme dans la croissance des usines, jusqu'aux techniques les plus modernes de l'avantage solaire. Ces techniques sont dans l'évolution constante essayant toujours d'améliorer les rendements et donc le pourcentage solaire de l'énergie tirée va être mieux.

Cette énergie pourrait être une solution à la puissance fournissant aux moyens et à le long terme; afin de faire une idée; l'énergie reçue dans la terre est annuellement équivalente au double de toute l'énergie qui produit d'autres sources non-renouvelables telles que le pétrole, le charbon, l'uranium et le gaz naturel.

L'énergie solaire reçue sur la surface terrestre, inclut de l'infrarouge, moins de puissance et généralement associé aux applications thermiques mais, qui sont dans un certain pourcentage absorbé par les différents gaz atmosphériques, jusqu'à les ultra-violets, qu'il constitue la partie de puissance du spectre électromagnétique qui affecte la surface terrestre, avec une plus grande application dans le domaine photovoltaïque, bien que ce soit le grade de l'évident soit celui dont il tire profit dans une plus grande mesure, en constituant la fraction la plus excellente. C'est pour cette raison l'importance de créer une application capable tiré l'avantage de tous les degrés le spectre.

L'effet photo-électrique, sur lequel la conversion photovoltaïque est basée, est plus efficace n'importe quel plus

grand est l'adaptation entre l'énergie des photons venant de l'irradiation solaire et l'espace du semi-conducteur qui est employé pour cette conversion. Puisque les photons n'ont pas toute la même fréquence et, en conséquence, même énergie, est impossible d'obtenir une adaptation parfait, qui motive des pertes d'énergie et réduit l'efficacité. Cette perte d'énergie est traduite, largement dans la génération de l'énergie thermique, qui produit d'une augmentation de la température due aux différents mécanismes qui les influencent de la température de la manière significative, une forme pour améliorer l'efficacité du dispositif photovoltaïque devrait réduire à ces pertes, diminuant donc l'augmentation de la température, et améliorant le rendement global. D'autre part, si l'énergie thermique dispersée peut être exploité, le rendement commun donc serait amélioré.

Un semi-conducteur est un matériel qui a basé sur des facteurs divers, peut se comporter comme le conducteur ou le isolateur, les semi-conducteurs peut être dopé remplaçant des atomes du même matériel par autre différent en vue d'augmenter le nombre de porteurs libres de charge, obtenant un type extrinsèque n de semi-conducteur ou le type p (avec l'excès des électrons ou des cavités, respectivement). En groupant deux cristaux un type N et un type différent P, ont lieu une diffusion d'électron de la partie N à P, apparaissant une zone des charges régulières (négatives dans la partie P et positive dans la partie N) ce qu'on appelle "ENERGIE DE LA GAP", ces charges produisent aussi bien d'un champ électrique qui est contre à la diffusion arrivant l'équilibre, créant une différence de potentiel entre les deux parties, quand la jonction reçue un rayonnement solaire.

II. OBJECTIFS ET INNOVATION

Les modules photovoltaïques sont connus pour produire l'électricité et les capteurs thermiques qui fournissent les systèmes de chauffages. Les deux systèmes sont indépendants et différents, mais ils ne sont pas absolument incompatibles, pouvant se compléter au moyen d'une conception hybride qui laisse employer les deux techniques, thermique et électrique, dans un processus appelé SYSTEME HYBRIDE PHOTOVOLTAÏQUE THERMIQUE (PV/T).



Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 3rd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014



Essentiellement c'est ce qu'on s'intéresse dans ce travail, relier un panneau photovoltaïque avec un autre système de réfrigération qui est aussi bien employé comme le système thermique, à un fluide de refroidissement pouvant plus tard produire de l'eau chaude au moyen d'un échangeur.

L'incompatibilité existante est donc bien connue entre la température et les systèmes basés sur l'électricité (cellules photovoltaïques) ce qui signifie que selon l'augmentation de l'éclairement solaire et donc l'augmentation de la température ambiante, les cellules deviennent moins efficaces, et pour les stabiliser dans la température de fonctionnement la solution simple et de refroidir la cellule malgré que ce système de réfrigération exige une puissance d'énergie, avec laquelle le rendement global également bas. D'autre part un inconvénient de l'énergie solaire est la nécessité de grande surface pour obtenir des quantités significatives d'énergie, avec ce nouveau système nous pouvons réduire la surface demandée, de plus, un autre aspect qui également doit considérer dans l'utilisation de ces systèmes solaires hybrides, est la prolongation de la durée de la vie de la même, depuis le fonctionnement à la plus petite température ce qui donne un avantage pour les semi-conducteurs que pour les autres composants électroniques, qui forment les cellules et les panneaux photovoltaïques.

Un dernier aspect qui doit considérer en faveur de cette méthode, est la réduction des coûts de production initiaux comme dans les restes produits à la fin de l'installation, puisque beaucoup d'éléments thermiques sont communs dans les panneaux photovoltaïques tel que (l'armature, isolant couvertures, etc.....) n'est pas nécessaire pour reproduire.

Par tous précédemment exposés, nous pouvons dire que notre objectif est d'obtenir une technique plus efficace d'exploitation de source solaire par l'avantage des matériaux et des moyens utilisés (Acier galvanisé, l'eau) qui sont réduisent les coûts et la surface demandée de l'installation. De plus pour la partie photovoltaïque simplement nous obtenons un meilleur rendement du panneau, raison pour lequel son utilisation ne change pas, avec l'évacuation de l'énergie thermique produite qu'ont la utilisée dans des autres différentes applications existent (chauffage d'eau, séchage, climatisation, etc....).

III. MÉTHODOLOGIE DE TRAVAIL

Notre travail, qui consiste une étude d'un capteur solaire hybride Photovoltaïque thermique PVT, se dissocie en plusieurs étapes; il y a d'abord les recherches personnelles, ensuite les prises de décisions sur base de l'étude pratique du problème, faisant souvent l'objet de compromis, puis les essais qui doivent normalement concorder avec les résultats obtenus théoriquement.

IV. ETAT DE L'ART

Diverses études expérimentales et théoriques ont été faites alors, pour le développement de capteur hybride PV/T [1]. La plupart des recherches dans ce domaine dans le but d'évaluer la performance thermique et électrique et d'analyser l'économie des systèmes hybrides à travers l'estimation du taux de couverture solaire fournie. Pour cela, certains auteurs mettent l'accent sur le développement de modèles thermiques analytiques ou mis à la suite d'une analogie électrique. Autre recherche vise à optimiser les performances des composants solaires existants en améliorant les conditions de fonctionnement (pente, l'orientation de la composante ...) ou par des configurations géométriques innovantes proposées. Ainsi, ils sont basés sur le changement dans les dimensions ou les propriétés des matériaux constitutifs (isolation thermique, absorbeur, cellules photovoltaïques ...) ou des fluides caloporteur (air, eau ...). Ces améliorations ont pour but d'augmenter la quantité d'énergie solaire absorbée et que le transfert de chaleur entre le réfrigérant et l'absorbant afin de réduire les pertes de chaleur avec l'extérieur. Les performances du capteur peut être calculé en tenant compte de la distribution de température entre les deux tubes du capteur, et en supposant que le gradient de température dans la direction d'écoulement est négligeable (Duffie et Beckman, 1991).

Les premières études expérimentales portant sur des systèmes PV/T ont été réalisées par la modification d'un panneau photovoltaïque commercial et de modernisation avec un appareil de collecte chaleur [2] et [8]. Modules Photovoltaïques ainsi transformées furent également utilisées par les chercheurs au cours de leurs efforts pour évaluer la viabilité économique de la technologie, puisque les produits commerciaux n'étaient pas disponibles à l'époque [3].

Tous les chercheurs concluent qu'une étude économique en utilisant des produits commerciaux réels est nécessaire pour l'évaluation précise de la faisabilité d'un système PV/T [2]. Quelques études localisées ont été effectuées, mais au niveau expérimental et sans prendre en compte les caractéristiques des produits disponibles dans le commerce, donc leur applicabilité à des applications commerciales sont limitées [4].

En 2005, Zondag [5] propose un état de l'hybride solaire PV/T art basé sur le rapport du projet européen PV Catapult [6]. Parmi les premières études identifiées par Zondag [5], certains se concentrent sur le développement de la géométrie et d'autres composants des méthodes de modélisation. Ainsi, le travail de Wolf [7] en 1976, analyse un capteur solaire ayant un système PV et couplé à chauffer modules de stockage, par la suite, l'étude réalisée par Kern et Russel en 1978 donne les principes de base de capteurs solaires utilisant de l'eau ou de l'air comme fluide de refroidissement. Hendrie de 1982 [8] a développé un modèle théorique de PV/T hybride basé sur des corrélations associées aux capteurs solaires



traditionnels, une analyse thermique a été réalisée, L'étude a porté sur deux les types absorbeurs, caractérisés par des conceptions différentes: un absorbeur un tube de forme serpentin et un absorbeur avec des tubes parallèle. À partir de l'analyse thermique, d'autres configurations électriques ont été simulés afin de définir la meilleure solution pour optimiser au maximum le rendement photovoltaïque, Il remarque à partir des résultats obtenus, que l'absorbeur de forme parallèle est de meilleures performances qu'absorbeur forme serpentine dans toutes les configurations électriques analysés [12], du côté économique y a une étude de deux types de ces système hybride (10,08 m _2,16 m) qui a été réalisée avec deux modèles différent set des configurations d'écoulement qui sont expliqués comme : premièrement deux colonnes intégrés ayant chacun 18 modules PVT en série sont connectés en parallèle et le deuxièmes avec deux colonnes intégrées de 18 modules PVT connecté en série [13].

V. PERFORMANCES DU PVT

Le concept général de base de capteur solaire thermique hybride solaire PV/T a été étudié par Kern et Russell en 1978 [9].

Le module PVT peut capter l'énergie solaire à différents niveaux (longueurs d'onde) et donc conduire à une plus grande efficacité énergétique et exergétique [10].

A. Rendements du panneau PVT

Le facteur de l'absorptivité- transmittivité, d'un panneau solaire hybride est défini par :

$$\tau \cdot \alpha = 1 - \rho \quad (1)$$

Où :

τ c'est le transmittivité de la couche supérieure du panneau.

α c'est le facteur de l'absorption de la couche supérieure du panneau

ρ c'est le facteur de la réflexion pour toute la géométrie du panneau photovoltaïque.

L'efficacité thermique du panneau photovoltaïque/ Thermique est définie comme le quotient entre la chaleur utile rapportée au fluide (q_u) et le rayonnement d'incident sur le panel. It est possible pour être exprimé avec l'expression suivante :

$$\eta_{Th} = \left(\frac{q_u}{A_c G} \right) \times 100 \quad (2)$$

Où G est le rayonnement global d'incident par l'unité de secteur [W/m^2].

Le rendement électrique, comme pour les panneaux photovoltaïques, est défini comme quotient entre le rendement de puissance du panneau et le rayonnement d'incident sur le panneau. Pendant que le rendement de puissance pour un état de travail est donné par le produit de la tension (V) et du (I)

courant correspondant, le rendement électrique est exprimé de la manière suivante :

$$\eta_e = \left(\frac{I \cdot V}{A_c G} \right) \quad (3)$$

$$\eta_e = \left(\frac{q_e}{A_c G} \right) \quad (4)$$

Alors toute l'efficacité du panneau PVT sera la somme de deux précédentes.

$$\eta_{PVT} = \eta_e + \eta_{Th} \quad (5)$$

B- Puissance électrique

Le courant électrique d'un panneau hybride est la puissance qui produit des cellules photovoltaïques sous la forme de DC basée sur le rayonnement capté et pour un capteur solaire hybride; la puissance électrique produite sera égale à [11] :

$$q_e = \frac{\alpha_{cel} \tau_v A_c}{\alpha_{cel}} \eta_{ref} \exp \left[\beta (T_{cel} - T_{ref}) \right]$$

Les températures dans le panneau PVT n'est pas constante dans toute sa surface. Une distribution théorique et expérimentale de ses températures est présentée sur la figure [3].

C- La chaleur utile du panneau Photovoltaïque /Thermique

La chaleur utile qui produit un panneau PVT est la chaleur qui est transmise au fluide thermique qui circule dans les tubes. Cette quantité de la chaleur peut être déterminée a basé sur de débit massique de fluide (\dot{m} [kg/s]), de la capacité de chaleur (C [J/kg °C]), et de ses températures l'entrée (T_e [°C]) et la sortie (T_s [°C]).

$$q_u = \dot{m} C [T_s - T_e] \quad (6)$$

VI. RESULTATS ET DISCUSSIONS

La Fig. 1 montre l'évolution, des trois modes du rayonnement solaire (global, direct et diffus), par un mètre carré de surface, elle présente des allures régulières, on constate que celle-ci augmente à partir de 8h en fonction du temps, passe par un maximum de l'ordre de 1000 W/m^2 à 13h



puis diminue jusqu'à 18h, sauf qu'on note une déformation dû à un passage nuageux.

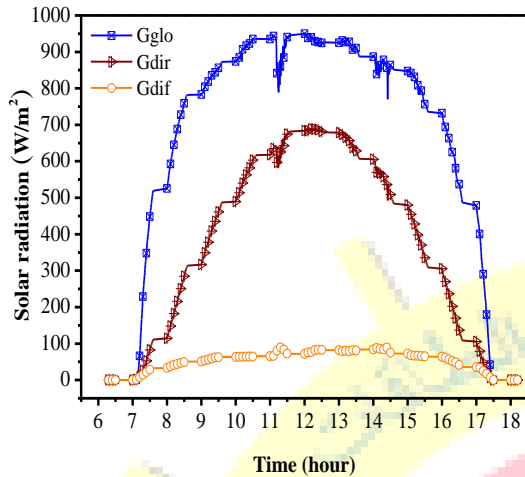


Fig. 1 L'éclairement en fonction du Temps

Cette journée est particulièrement intéressante dans la mesure. La température d'ambiance extérieure maximale est de 36 °C

Les conditions ambiantes telles que l'irradiation incidente par unité de surface et l'évolution de la température ambiante dans l'unité URAER de GHARDAIA est représentée sur les deux figures suivantes :

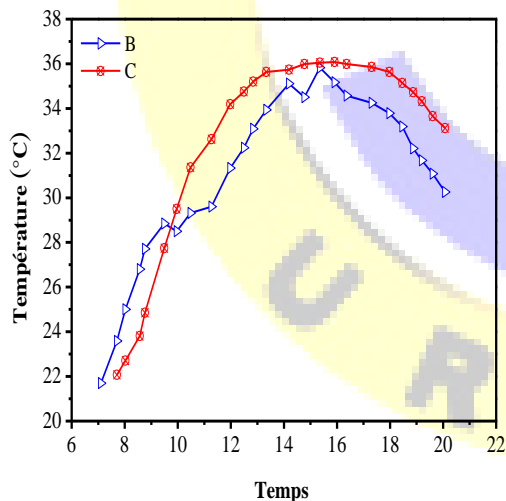


Fig. 2 L'évolution de la température ambiante (calculée et mesurée) en fonction du temps

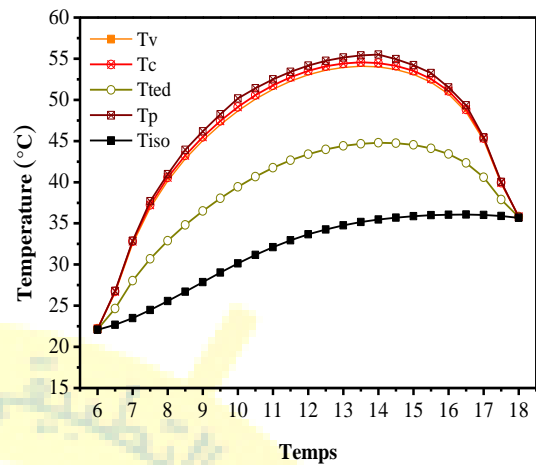


Fig. 3 L'évolution des températures pour chaque couche du PVT

Ces valeurs des températures sont liées à la température d'entrée du fluide caloporteur, et aussi avec le coefficient d'échange par convection entre le tube et le fluide d'une part, et d'autre part avec le coefficient d'échange par convection entre la couche du verre et le milieu extérieur h_{c-a} . Le passage d'eau dans l'échangeur entraîne un refroidissement des cellules photovoltaïques.

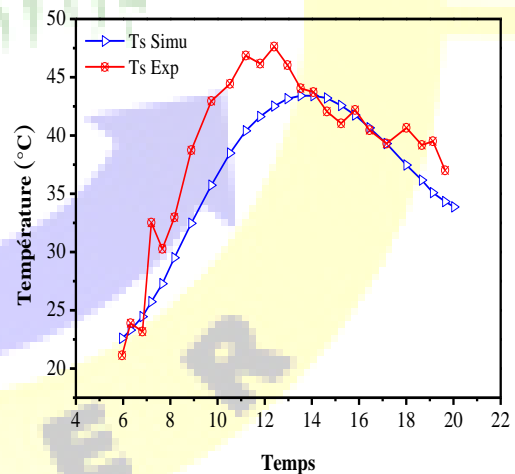


Fig. 4 L'évolution des températures d'entrée et de sortie du PVT

Nous avons tracé dans la figure (4), l'évolution des températures d'entrée et de sortie, afin d'observer le gain de l'énergie thermique et électrique que nous recevons de ce processus, pendant la mesure (voici la Figure 5), ou le débit de



l'eau circulant dans le panneau solaire hybride est de 0.025 kg/s et sa température d'entrée est de 20°C.

La figure suivante présente les variations du rendement thermique du PVT en fonction de la température réduite $T^* = (T_e - T_a) / G$.

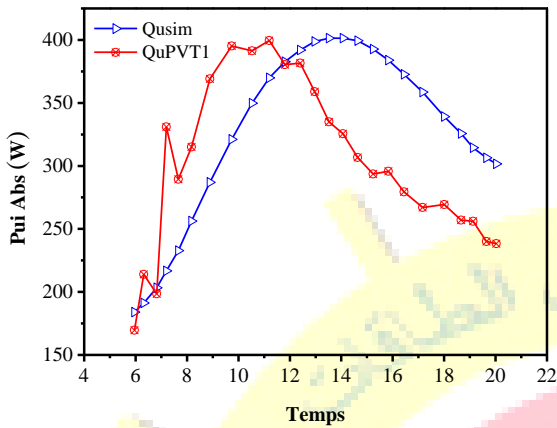


Fig. 5 Variation de la puissance thermique produite par le PVT

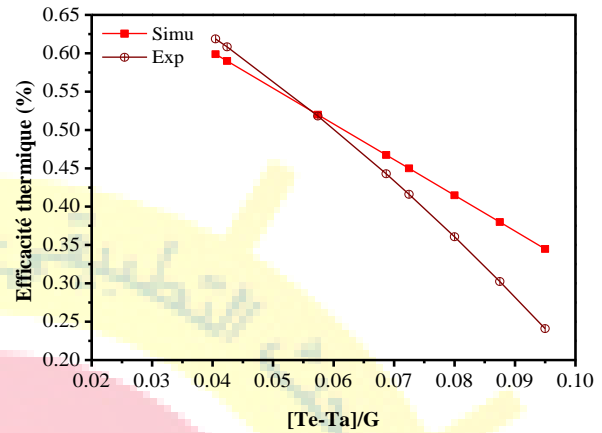


Fig.8 Le rendement thermique en fonction de la Température réduite

Les résultats indiquent que la performance électrique et thermique du PV/T est respectivement 40 et 400 au cours de l'essai, et sont relativement faibles en début de matinée et en fin d'après-midi.

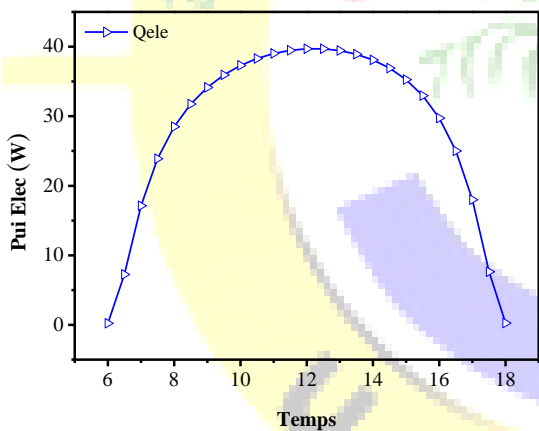


Fig. 6 Variation de l'énergie électrique produite en fonction du temps

La variation de l'efficacité thermique est comprise entre une valeur minimale de 30% et une valeur maximum de 45% pour PVT. Elle augmente d'abord avec l'augmentation de la densité du rayonnement solaire incident pendant le jour sélectionné. Toutefois, la variation de La puissance thermique utile et électrique pour système atteint sa valeur maximale à 400 W et 40 W respectivement, ce qui donne un rendement global de système compris entre 0.5 et 61%.

VII. INSTALLATION DU SYSTEME PVT

L'installation du système solaire hybride à une habitation est semblable à celles qui sont actuellement disponibles et installée à l'intérieur du bâtiment. La seule variation réside dans le capteur, qui dans ce cas est le même pour l'installation photovoltaïque et pour le système thermique. L'absorbeur est intégré dans le panneau solaire elle-même, traversée par un liquide de caloporteur émet de l'énergie dans l'échangeur de chaleur situé à l'intérieur d'un réservoir de stockage. Ce réservoir est alimenté par l'eau froide qu'il va chauffer par le système et transférer pour l'utilisation comme le chauffage, cela permet de réduire considérablement la température dans les cellules du panneau, ce qui augmente son efficacité.

L'électricité produite par le panneau est connecté les différents appareils consommateurs, si cela est conçu pour fonctionner à basse tension en courant continu. Si les appareils

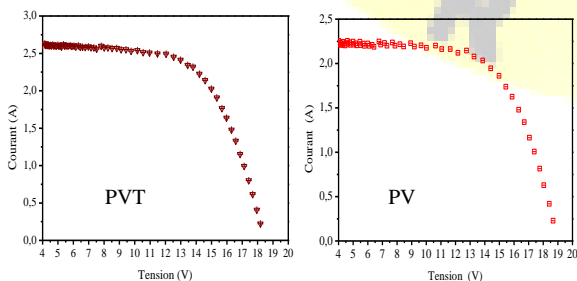


Fig.7 Les caractéristiques I(V) du système PVT et de témoin PV



Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 3rd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014



d'installation des consommateurs sont conçus pour fonctionner sur courant alternatif, il est nécessaire d'insérer un convertisseur DC –AC.

A- Application à une habitation

La récupération de l'énergie solaire s'effectue par conversion thermodynamique à l'aide des capteurs hybrides. Un fluide caloporteur (eau) transfère cette énergie à l'échangeur du réservoir de stockage.

Les profils de charges électrique et thermique estimées pour une habitation en Algérie sont présentés dans les deux tableaux suivants :

TABLEAUX 1
PROFILE DE CHARGE ELECTRIQUE

Type	Puissance	Heure de fonctionnement	Energie journalière
Lampe	18 W	6 h	108 W/h
Réfrigérateur	60 W	24 h	1440 W/h
Télévision	50 W	4 h	200 W/h
Autres	60 W	8 h	480 W/h
			1228 W/h

TABLEAUX 2
PROFILE DE CHARGE THERMIQUE

Type	Puissance	Heure de fonctionnement	Energie journalière
Eau chaude	100 W	4 h	400 h

B- DIMENSIONNEMENT DU GENERATEUR PVT

Calcul du nombre de capteurs nécessaires

Il faut dimensionner une installation en fonction de ses besoins. Nous avons calculé précédemment nos besoins journalier en Wh, il convient donc de calculer la puissance fournit par le panneau en fonction de l'ensoleillement globale journalière multipliant par le nombre d'heures (comme nous avons fait pour le besoin journalière)

$$P_{jPV} = P_{PV} * t$$

Si en considérant que les rayons de soleil tiennent 1000 W/m² alors nous obtenons le nombre équivalent de soleil par jour.

$N_e = P_{Sj} / P_S$ (nombre d'heures d'ensoleillement par jour)

Ensuite nous n'avons plus qu'à faire la formule suivante :

$$PPV_j = P_{PV} * N_e$$

Et nous obtenons la puissance journalière délivrée par un panneau en une journée en Wh. Ainsi avec le calcul ci-dessous, nous obtenons le nombre de panneaux nécessaires.

$N_b \text{ Panneaux} = B_j / P_{pj}$ (le besoins journalier divisé par la puissance journalière d'un panneau)

$$\text{Besoin jour} = 1228 \text{ Wh}$$

$$N_e = 5 \text{ h}$$

$$P_{PV} = 40 \text{ W}$$

$$P_{PVj} = 40 * 5 = 200 \text{ Wh/jour}$$

$$N_b \text{ Panneaux} = 1228 / 200 = 6.14$$

Soit en considérant un panneau = 0,5 m² alors la surface de panneau nécessaire est de 3 m²

VIII. CONCLUSIONS

Les conclusions qui peuvent être tirées de ce qui précède dans ce projet sont :

- Fournir un refroidissement approprié des cellules d'un panneau photovoltaïque peut obtenir des augmentations remarquables de la puissance électrique générée par eux.

- C'est l'installation d'un absorbeur de chaleur dans le panneau solaire photovoltaïque, vous pouvez obtenir de l'eau chaude, avec une efficacité suffisante pour être utilisé dans des différentes applications chauffage, etc...

- Il est possible de réduire l'espace nécessaire à l'installation solaire photovoltaïque et thermique.

- Il est possible de réduire les matériaux nécessaires pour construire les capteurs solaires et donc de réduire les effets négatifs sur l'environnement.

Ce projet a principalement cherché à explorer de nouvelles méthodes pour accroître l'efficacité de l'énergie solaire, parce que, comme mentionné, est maintenant si faible qu'il n'est pas souvent mise en œuvre rentable.

REFERENCES

- [1] Tripanagnostopoulos Y, Titzavellas D, et al. Hybrid PV/T systems with dual heat extraction operation. In: Proceedings of the 17th European PV Solar Energy Conference, 2001, Munich, Allemagne, pp. 2515-2518.
- [2] B.J. Huang, T.H. Lin, W.C. Hung, F.S. Sun, Performance evaluation of solar photovoltaic/ thermal systems, Solar Energy Vol. 70, No. 5, pp. 443-448, 2001
- [3] S.A. Kalogirou, Y. Tripanagnostopoulos, Hybrid PV/T solar systems for domestic hot water and electricity production, Energy Conversion and Management 47 (2006) 3368-3382.



Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 3rd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014



- [4] P. Dupeyrat, C. Menezo, S. Fortuin, Study of the thermal and electrical performances of PVT solar hot water system, Energy and Buildings (2012).
- [5] ZONDAG H. A. Flat-plate PV-Thermal collectors and systems: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2005. Accepted for publication.
- [6] Zondag H. A., Bakker M., Henden W. G. J. Eds. PV/T Roadmap-a European guide for the development and market introduction of PV-Thermal technology. Rapport EU-Project PV - Catapult. 2005, 87 p.
- [7] WOLF M. Performance analyses of combined heating and photovoltaic power systems for residences. Energy Conversion, 1976, vol. 16, n° 1-2, pp.79-90.
- [8] Hendrie S. D. Photovoltaic / thermal collector development program. Rapport final Etats-Unis: Massachusetts Institute of Technology, 1982.
- [9] Kern JREC, Russell MC. Combined photovoltaic and thermal hybrid collector Systems". In: Proceedings of the 13th IEEE PV specialist conference. 1978.
- [10] Zondag HA, Vries DW, W.G.J., Van Steenhoven AA. "Thermal and electrical yield of a combi-panel". ISES. 1999.
- [11] K. Touafek, 'Etude d'un Capteur Solaire Hybride Photovoltaïque Thermique', Mémoire de Magister, Ecole Nationale Polytechnique, Alger, (2005).
- [12] NiccolòAste, Claudio Del Pero, Fabrizio Leonforte, "Optimization of solar thermal fraction in PVT systems", Energy Procedia 30 (2012) 8 – 18
- [13] C.S. Rajoria, Sanjay Agrawal, G.N. Tiwari, "Exergetic and enviro-economic analysis of novel hybrid PVT array" Solar Energy 88 (2013) 110–119
- [14] WaruneeAriyawiryananet all. "Thermal Efficiency of Solar Collector Made from Thermoplastics", Energy Procedia 34 (2013) 500 – 505

