

ETUDE DU RENDEMENT DU SILICIUM MONO-CRISTALLIN EN MILIEU DESERTIQUE

S. HARROUNI* ET A. MAAFI

** Instrumentation Solaire et Modélisation - LINS
Faculté d'Electronique et d'Informatique - USTHB
BP 32 El Ma, 161 II Alger.
E-mail : sharrouni@yahoo.fr*

Résumé

Cet article s'intéresse à l'analyse expérimentale des performances d'un générateur photovoltaïque (PV) fabriqué à partir de cellules à base de silicium mono-cristallin. A cet effet, le rendement du silicium mono-cristallin en milieu désertique a été évalué expérimentalement. Pour cela, une banque de données expérimentale composée de signaux hélio-électriques à un pas de temps de 10 minutes sur une période d'une année a été utilisée. Les résultats obtenus ont montré que le rendement du générateur PV correspond pratiquement à la moitié du rendement donné par le constructeur pour les conditions standards de fonctionnement. Cela est essentiellement dû au milieu désertique dans lequel fonctionne ce générateur PV où plusieurs paramètres influencent son rendement notamment la température ambiante.

Abstract

This article is devoted to the experimental performance analysis of a photovoltaic (PV) generator manufactured from single-crystal silicon cells. For this purpose, the efficiency of the single-crystal silicon in desert environment has been assessed experimentally. To carry out this work, an experimental data bank which contains data relevant to the system recorded during one year with a time step of 10 minutes has been used. The results obtained show that the PV generator efficiency corresponds to the half of the efficiency given by the manufacturer for the standard conditions of working. It is essentially due to the desert environment in which operates this PV generator where several parameters influence its efficiency especially the ambient temperature.

Mots-clés : Silicium mono-cristallin, Photovoltaïque, Rendement, Température

Keywords : Single-crystal silicon, Photovoltaic, Efficiency, Temperature

Introduction

Le silicium mono-cristallin a été utilisé dans la fabrication des modules PV qui ont été utilisés pour diverses applications tel que le pompage par exemple. Le rendement donné par les constructeurs des modules dans les conditions standards est de l'ordre de 14% (Green et al, 1999). Cependant, en pratique ce rendement oscille autour de 10% (Maafi, 1997; Maafi et Delorme, 1996). Ceci est dû à plusieurs facteurs climatiques qui influencent considérablement ce rendement.

Aussi, nous proposons dans cette communication l'étude expérimentale du rendement du silicium mono-cristallin. Pour cela, on a réalisé une campagne de mesures en milieu désertique. L'objectif de cette étude est d'évaluer le rendement de conversion de ce générateur et d'étudier ses variations en fonction de l'environnement climatique, par exemple de la température.

1. Acquisition des données du système PV

Les données utilisées dans cette étude ont été enregistrées par un système d'acquisition de données de type G RAN T . Cette campagne a été conduite à l'aide d'un système photovoltaïque installé dans le village de Tahifet (latitude = 22°53' Nord, longitude = 6° Est et altitude = 1400 m) à proximité de Tamanrasset.

Elle a permis de constituer une banque de données regroupant l'éclairement solaire global (Ecl), la température ambiante (Ta), la température du caisson de la batterie (Te), le courant généré (Ig), le courant utilisé (Iu), la tension de batterie (Vb) et la tension du champ PV (Vc). Ces paramètres ont été enregistrés au cours de l'année 1992. Les données d'éclairement global ont été mesurées au moyen d'une cellule PV, celles de la température sont obtenues grâce à des sondes de platine donnant un signal converti automatiquement par le système d'acquisition de données en degré Celsius.

Pour l'analyse de la performance d'un générateur PV, une étude basée sur le bilan énergétique est nécessaire. Aussi, nous avons procédé à divers traitements des signaux bruts afin de déterminer les irradiances solaires et les énergies générées par le champ PV et ceci à différentes échelles de temps qui sont : 10 minutes, horaire et journalière. Nous avons également déterminé les écarts de température ambiante (température maximale - température minimale) et ceci pour chaque journée étudiée.

2. Caractérisation du site

A partir des données d'éclairements dont nous disposons, nous avons déterminé les irradiances journalières (les énergies incidentes) pour toute l'année étudiée. La **figure 1** représente l'histogramme annuel de l'irradiation journalière par classe de 1 KWh/m² et la **figure 2** la courbe d'évolution annuelle de la moyenne mensuelle de l'irradiation journalière.

La **figure 1** montre que l'irradiation globale présente des fréquences élevées pour les fortes valeurs. Ceci est confirmé par la **figure 2** qui montre que la valeur moyenne de l'irradiation journalière est de 5.8 KWh/m². Ceci nous permet de conclure que le climat du site étudié est caractérisé par un taux d'ensoleillement élevé.

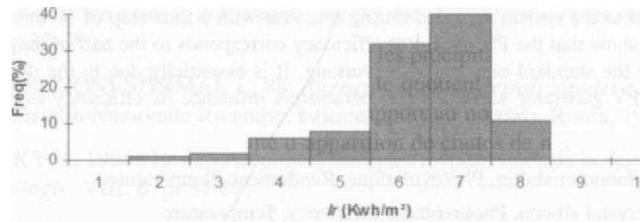


Figure 1 : Histogramme annuel de l'irradiation journalière.

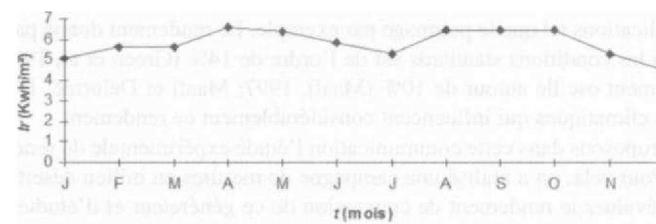


Figure 2 : Evolution annuelle de la moyenne mensuelle de l'irradiation journalière.

Un autre facteur très important caractérisant le climat d'un site est la température ambiante Ta . Aussi, nous avons représenté sur la **figure 3** l'évolution de la moyenne mensuelle de la température ambiante à midi au cours de l'année. La température à midi suit donc une évolution saisonnière puisqu'elle est minimale en hiver et maximale en été. Nous avons aussi représenté sur la **figure 4**

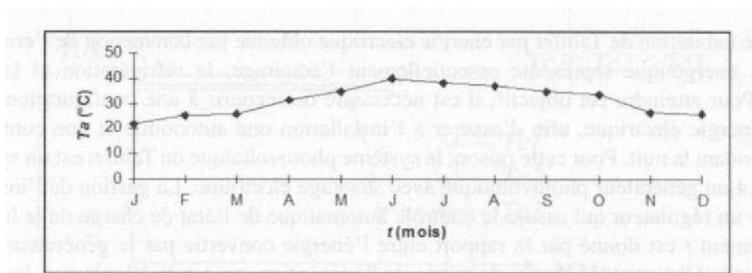


Figure 3 : Evolution annuelle de la moyenne mensuelle de la température à midi.

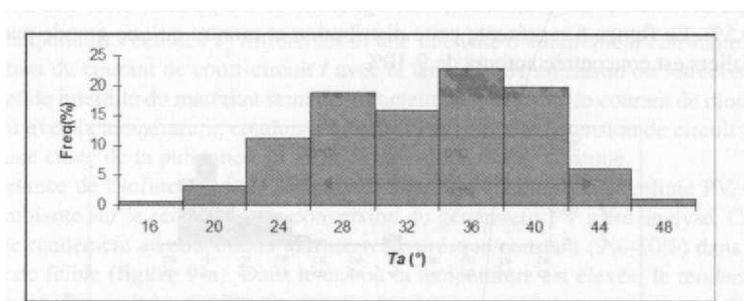


Figure 4 : Histogramme annuel de la température à midi.

l'histogramme annuel de la température à midi. Cet histogramme montre que le climat de Tahifet est relativement chaud pendant la journée puisque les valeurs de la température à midi se concentrent entre 20 °C et 44 °C. Pour avoir une idée sur la température pendant la nuit, nous avons représenté sur la **figure 5** l'évolution de la moyenne mensuelle de l'écart journalier entre la température ambiante maximale et minimale. Nous remarquons que l'écart moyen annuel est approximativement de 22 °C, ce qui nous permet de déduire que le climat de Tahifet est chaud pendant la journée et froid pendant la nuit.

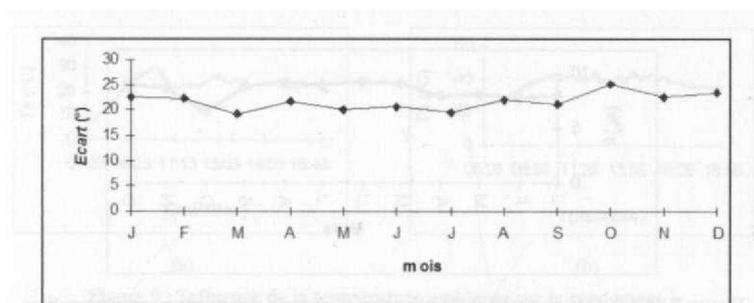


Figure 5 : Evolution de la moyenne mensuelle de l'écart journalier ($T_{max} - T_{min}$), de la température.

3. Analyse du rendement du générateur PV

Le générateur PV du système étudié est d'une puissance de 720 Watts-crête et il a une surface totale de 6m². Il est orienté vers le sud et est incliné d'un angle égal à 10° par rapport au plan horizontal (Harrouni, 2000 ; Sonelgaz ; Maafi and Harrouni, 2000). Ce générateur est prévu pour

alimenter une habitation de Tahifet par énergie électrique obtenue par conversion de l'énergie solaire. La demande énergétique représente essentiellement l'éclairage, la réfrigération et la ventilation (SoneIgaz). Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de recourir à une configuration utilisant un stockage d'énergie électrique, afin d'assurer à l'installation une autonomie et une continuité d'alimentation pendant la nuit. Pour cette raison, le système photovoltaïque de Tahifet est un système autonome utilisant un générateur photovoltaïque avec stockage électrique. La gestion de l'installation est effectuée par un régulateur qui assure le contrôle automatique de l'état de charge de la batterie.

Le rendement (est donné par le rapport entre l'énergie convertie par le générateur et l'énergie solaire incidente. Compte tenu du pas de temps de l'acquisition qui est de 10 minutes, les rendements du générateur ont été évalués à différents pas de temps : 10 minutes, heure, la journée. Pour apprécier la distribution des rendements journaliers, l'histogramme de ces derniers a été établi en utilisant des classes de 0.5%. La **figure 6** représente cette distribution et montre qu'une grande partie des rendements journaliers est concentrée autour de 9-10%.

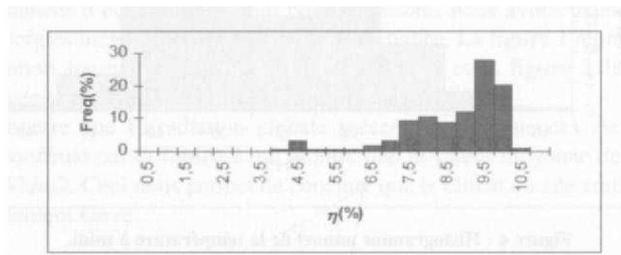


Figure 6 : Histogramme des rendements journaliers du générateur PV.

La **figure 7** quant à elle représente l'évolution annuelle de la moyenne mensuelle du rendement journalier de conversion. Le rendement moyen est de 8.5% (Maafi and Harrouni, 2000). Il correspond pratiquement à la moitié du rendement donné par le constructeur pour les conditions standards de fonctionnement. Cela est essentiellement dû au milieu climatique dans lequel fonctionne ce générateur PV. En effet, les conditions désertiques sont caractérisées par de fortes températures et un fort ensoleillement pendant la journée au cours du printemps et de l'été.

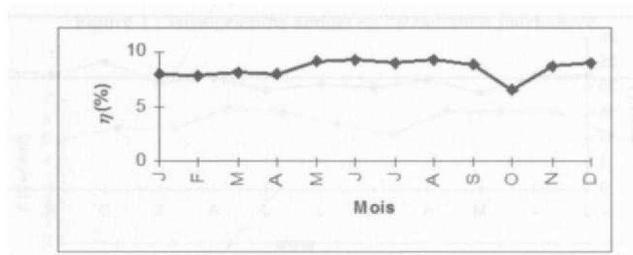


Figure 7 : Evolution annuelle de la moyenne mensuelle des rendements journaliers.

4. Effet de la température sur le rendement du générateur PV

La température ambiante est un paramètre très important pour la cellule solaire. En effet plus de 85 % de l'énergie incidente est dissipée en chaleur. Ceci conduit à une élévation de la température de fonctionnement de la cellule. La **figure 8** illustre l'influence de la température cellule sur la caractéristique courant - tension d'une cellule photovoltaïque.

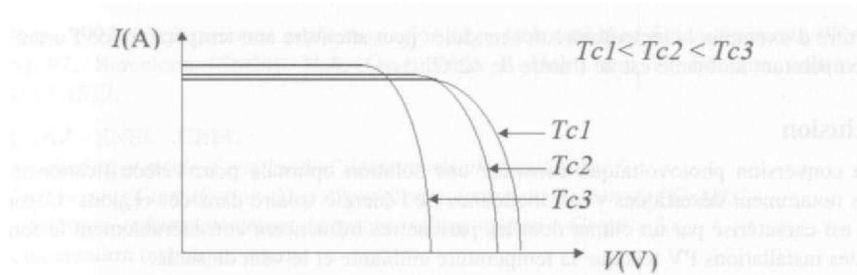


Figure 8 : Effet de la température cellule sur la caractéristique électrique de la cellule PV.

Pour des températures cellules T_c différentes et une intensité d'éclairement constante, on observe une augmentation du courant de court-circuit / avec la température en raison du rétrécissement de la largeur de la bande interdite du matériau semi - conducteur. En revanche le courant de diode augmente très rapidement avec la température, conduisant à une diminution de la tension de circuit ouvert V , ce qui engendre une chute de la puissance de sortie de la cellule photovoltaïque.

Vu l'importance de l'influence de la température sur le rendement de la cellule PV, l'effet de la température ambiante sur le rendement de conversion du générateur PV a été analysé. Cette analyse a montré que le rendement au cours de la journée reste presque constant (9%-10%) dans le cas où la température reste faible (**figure 9-a**). Dans le cas où la température est élevée, le rendement chute à un moment donné (**figure 9-b**). Ce dernier correspond à l'instant où la température ambiante atteint une valeur de 42°C. En effet, cette forte température ambiante influe sur la température T_j des

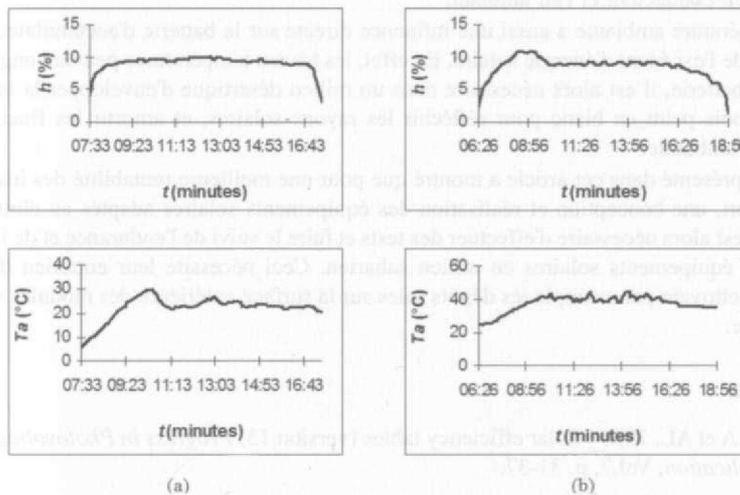


Figure 9 : Influence de la température ambiante sur le rendement.

modules qui conditionne à son tour le rendement des modules. La température T_j peut être calculée à partir du NOCT (Normal Operating Cell Temperature), grandeur intrinsèque du module et qui est donnée par le constructeur :

$$T_j = T_a + \frac{(NOCT - 25^\circ C) \cdot E_{cl}}{E_r}$$

E_r est l'éclairement de référence qui vaut 1000 W/m².

A titre d'exemple, la température des modules peut atteindre une température de l'ordre de 56°C si la température ambiante est de l'ordre de 42°C.

Conclusion

La conversion photovoltaïque constitue une solution optimale pour l'électrification des zones rurales notamment désertiques vue l'abondance de l'énergie solaire dans ces régions. Cependant, le désert est caractérisé par un climat dont les paramètres influencent considérablement le fonctionnement des installations PV tels que la température ambiante et le vent de sable.

Afin de contribuer à la quantification de l'influence du climat du désert sur les installations PV nous avons présenté dans cet article une analyse expérimentale à une échelle de temps fine (10 minutes) du rendement de conversion d'un générateur PV fabriqué à base de cellules de silicium mono-cristallin et ceci en milieu désertique. Cette analyse a montré que le rendement du générateur PV est égal à 8.5%, ceci représente pratiquement la moitié du rendement donné par le constructeur pour les conditions standards de fonctionnement. Cet écart de rendement est dû à l'influence de divers paramètres climatiques qui caractérisent le milieu désertique dans lequel fonctionne le générateur PV étudié notamment la température ambiante. L'influence de cette dernière sur le rendement a été analysée. Cette analyse a montré que les fortes températures ambiantes conduisent à une élévation de la température des modules solaires ce qui fait chuter le rendement du générateur photovoltaïque. Ceci montre que le silicium mono-cristallin est sensible aux fortes températures et au fort ensoleillement ce qui nécessite certaines précautions lors de son utilisation dans un milieu caractérisé par ces paramètres tel que le milieu désertique. Ainsi, il convient d'effectuer une encapsulation des cellules solaires ce qui permet le contrôle de la température des jonctions via un équilibre thermique entre le matériau semi-conducteur et l'air ambiant.

La température ambiante a aussi une influence directe sur la batterie d'accumulateurs qui assure le stockage de l'excédent d'énergie solaire. En effet, les hautes températures peuvent engendrer l'ébullition de la batterie, il est alors nécessaire dans un milieu désertique d'envelopper la batterie par un caisson en bois peint en blanc pour réfléchir les rayons solaires, et amortir les fluctuations de la température ambiante.

L'étude présentée dans cet article a montré que pour une meilleure rentabilité des installations PV dans le désert, une conception et réalisation des équipements solaires adaptés au climat désertique s'impose. Il est alors nécessaire d'effectuer des tests et faire le suivi de l'endurance et de la fiabilité des systèmes et équipements solaires en milieu saharien. Ceci nécessite leur entretien d'une manière continue en nettoyant par exemple les dépôts sales sur la surface antérieure des modules solaires dû au vent de sable.

Références

- GREEN. M. A et A L , 1999 : Solar efficiency tables (version 13) *Progress in Photovoltaics : Research and Application*, Vol.7, p. 31-37.
- H ARR O UN I . S, 2000 : *Traitement de signaux hélio-électriques résultant du monitoring des systèmes photovoltaïques*, Thèse de Magister en Electronique, Option Rayonnement Atmosphérique, soutenue à PUSTHB.
- MAAFI. A and HARROUNI. S, 2000 : Measuring the fractal dimension of solar irradiance in view of PV Systems performance analysis, WREC'2000, Brighton (UK), A A M Sayigh Editer, Vol. 4, p. 2032-2035.
- MAAFI. A et DELORME. C, 1996 : Modélisation à long terme et optimisation du stock d'énergie des installations solaires autonomes, *Journal de Physique III*, France, Vol. 6, n°4, p. 511-527.

MAAFI. A, 1997 : *Experimental evaluation of storage sizing method for autonomous PV systems*, EPSE'97, Barcelona (Spain), H.A. Ossenbrink, P. Helm and H. Ehmann editors, Vol.2, p. 1517-1519.

SONELGAZ - ENEL - CREL :

" Description et mode d'emploi de l'équipement photovoltaïque ".

" Normes pour l'installation du système d'enregistrement de données Grant ".

" Installation et fonctionnement du système a" acquisition « Grant » ".

Documentation technique interne.