

Etude du Comportement Thermique de Modules Photovoltaïques de Technologie Monoverre et Biverre au Silicium Cristallin

K. Agroui

Unité de Développement de la Technologie du Silicium, B.P. 399, 2 Bd Dr Frantz Fanon, Alger

Résumé - La température est un paramètre très important et souvent négligé dans le comportement des cellules solaires. Sachant que sur 100 % d'énergie incidente, une très faible proportion est réfléchiée par la surface du capteur et environ 13 % est extraite sous forme d'énergie électrique. En conséquence c'est plus de 85 % de l'énergie incidente qui devra être dissipée sous forme de chaleur. Ceci conduit, sous rayonnement, à une température de fonctionnement relativement élevée si cette énergie non convertie en électricité n'est pas évacuée. Les performances électriques d'une cellule solaire au silicium sont très sensibles à la température. Dans le présent travail, nous avons étudié le comportement en fonction de la température des principales performances électriques de deux modules photovoltaïques, l'un en technologie monoverre au silicium monocristallin (UDTS50), l'autre en technologie biverre au silicium polycristallin (Photowatt). Une simulation de la dissipation de l'énergie dans une cellule solaire sous l'effet d'un éclairement non uniforme a été examinée.

Abstract - The temperature is a very important parameter and often neglected in the behaviour of the solar cells. Knowing that on 100 % of incident energy, a very small proportion is reflected by the surface of the captor and approximately 13 % is extracted in the form of electric power. Consequently, it is more than 85 % of the incident energy which will have to be dissipated in the form of heat. This led, under radiation, at a relatively high operating temperature if this energy not converted into electricity is not evacuated. The electric performances of a solar cell to silicon are very sensitive to the temperature. In this work, we studied the behaviour according to the temperature of the principal electric performances of two photovoltaic modules, one in technology monoverre with monocrystralline silicon (UDTS50), the other in technology biverre, with polycrystalline silicon (Photowatt). A simulation of the dissipation of energy in a solar cell under the effect of a non uniform illumination was examined

Mots clés: Module PV - Silicium Cristallin - Conditions d'Acceptation - Performances Thermiques.

1. INTRODUCTION

Plusieurs technologies d'encapsulation ont été utilisées durant la dernière décennie [1] :

1.1 Technologie "tout en plastique"

Ce procédé est pratiquement abandonné à cause de la dégradation du matériau plastique sous les effets de la chaleur et du rayonnement solaire.

1.2 Technologie biverre

Le procédé conduit à un produit rigide et compact. Ses inconvénients sont :

1. Le poids élevé du module, se traduisant sur le terrain, lors des installations, par des contraintes de manipulation et des coûts de transport additionnels.
2. Le coefficient de température entre les deux plaques de verre, se traduisant par des craquages spontanés, et donc des frais additionnels de remplacement des modules brisés.
3. Une température nominale de fonctionnement des cellules (NOCT) élevée. Le verre est un excellent isolant, un phénomène de serre force les cellules du circuit à travailler à température élevée, ce qui fait baisser le rendement réel du module en opération.
4. Le coût du verre ainsi que les coûts de manipulation et de fabrication.

1.3 Technologie monoverre

La face arrière du module est remplacée par des composites en plastique sous forme de Triplex TPT (Tedlar-Polyester - Tedlar). Sur le plan technico-économique, ce procédé est le plus utilisé à travers le monde selon le rapport d'expertise de Jet Propulsion Laboratory (organisme certificateur) et Canadian Coast Guard (assurance qualité).

2. TECHNOLOGIE DE FABRICATION DES MODULES PV

Le module solaire UDTS 50 est composé de 36 cellules solaires carrées au silicium monocristallin, de 10 cm de côté, connectées en série. Les cellules de ce module, laminées et dotées d'un revêtement antireflet, sont enrobées dans l'E.V.A. qui permet la dilatation thermique. L'encadrement assure en outre la protection contre l'humidité, la résistance aux UV, de même que l'isolation électrique. La plaque de recouvrement frontale en verre hautement transparent ayant subi une trempe spéciale laisse particulièrement bien passer la lumière et est très robuste. La face arrière en Tedlar est durablement liée à la plaque de recouvrement en verre. Des profils en aluminium anodisés vissés forment le cadre rigide du module dans lequel le laminât est inséré. Le module solaire UDTS 50 dispose ainsi d'une protection contre les influences mécaniques et climatiques. Une destruction possible du module en cas d'occultation partielle est ainsi empêchée grâce aux diodes de protection [2 - 5]. La face arrière du module Photowatt est remplacée par une plaque de verre [6].

3. PERFORMANCES ELECTRIQUES DES MODULES PV

La caractérisation courant-tension des modules PV est réalisée avec le simulateur solaire SPI 240 conformément à la CEI 904-1 et aux conditions standards [7]. La figure 1 illustre le tracé des caractéristiques I-V, et le tableau 1 résume les performances électriques des deux modules PV.

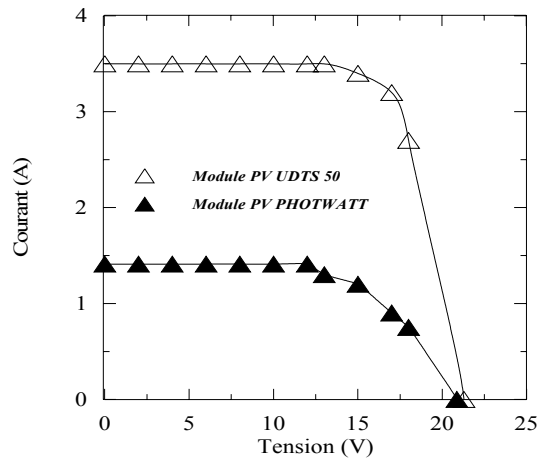


Fig. 1: Caractéristiques I-V des modules PV UDTS 50 et Photowatt

Tableau 1: Performances électriques comparées des modules PV UDTS 50 et Photowatt

	UDTS 50	Photowatt
Isc [A]	3.43	1.38
Voc [V]	21.28	20.86
Imp [A]	3.16	1.20
Vmp [V]	16.65	15.00
Pmax [W]	52.66	18.03
FF [%]	72	63
η_c [%]	14.63	10.20
Rs [Ω]	0.9	3.3
S [m ²]	10 x 10	5 x 10
Ns	36	36

4. INFLUENCE DE LA TEMPERATURE SUR LES PERFORMANCES DES MODULES PV

Pour des applications à faible température, le courant et la tension générés par un module PV sont supposés linéaires [8]. Ceci permet de décrire l'effet de la température sur les performances d'un module PV par des coefficients. Si nous désignons par P un paramètre physique du module à la température T, on définit le coefficient de température correspondant comme suit [9, 10] :

$$\beta_1 = \frac{P(T) - P(T_{ref})}{T - T_{ref}} \tag{1}$$

Le coefficient de température réduit est donné par :

$$\beta_2 = \frac{\beta_1}{P(T_{ref})} \cdot 100\% \tag{2}$$

L'évolution des performances électriques des modules PV UDTS 50 et Photowatt sont illustrées par les figures 2, 3 et 4 sous un éclairage constant de 100 mW/cm².

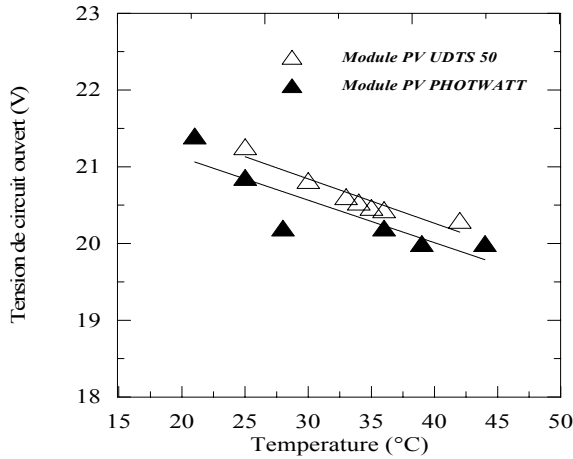


Fig. 2: Influence de la température sur la tension du circuit ouvert des modules PV UDTS 50 et Photowatt

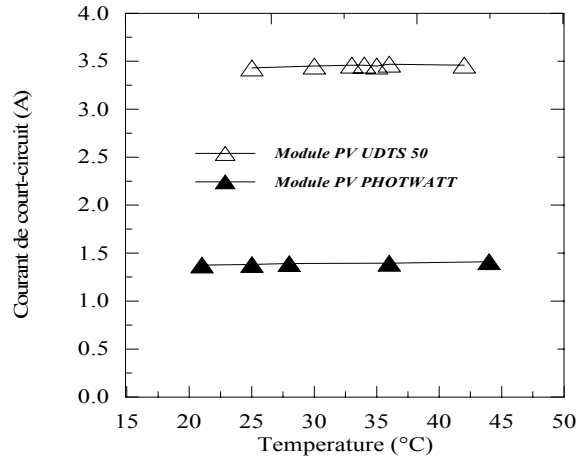


Fig. 3: Influence de la température sur le courant de court circuit des modules PV UDTS 50 et Photowatt

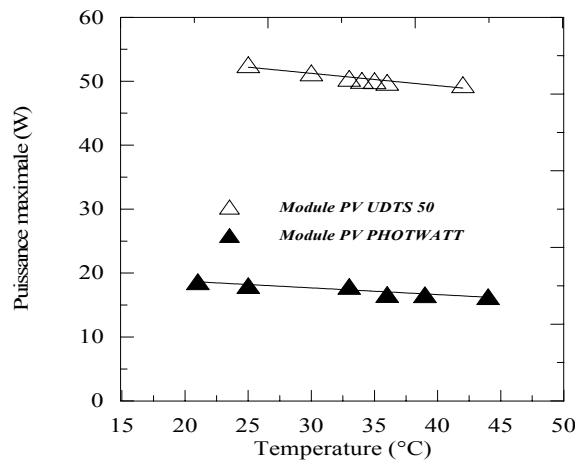


Fig. 4: Influence de la température sur la puissance maximale des modules PV UDTS 50 et Photowatt

Le tableau 2 résume les résultats des tests effectués sur les différents paramètres du module.

Tableau 2: Coefficients de température réduits des modules PV UDTS 50 et Photowatt

	UDTS 50	Photowatt
α (% / °C)	0.10	0.08
β (% / °C)	- 0.28	- 0.30
γ (% / °C)	- 0.36	- 0.51

Il ressort du tableau 2 que les pertes de puissance du module Photowatt sont relativement plus élevées que celles du module UDTS 50 [11].

5. SIMULATION DU COMPORTEMENT THERMIQUE D'UNE CELLULE DANS UN DANS UN MODULE PV

Le fonctionnement d'une cellule solaire sous éclairage est décrit par les équations suivantes [12 – 14] :
Sous polarisation directe (mode générateur)

$$I = I_{sc} - I_0 \left[\exp \left(\frac{e(V + R_s I)}{nKT_c} - 1 \right) \right] - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} \quad (3)$$

Sous polarisation inverse (mode récepteur)

$$I = I_{sc} + \lambda_{inv} \cdot (R_s I + V)^2 \quad (4)$$

La répartition non uniforme de l'éclairage à la surface d'une cellule solaire constitue une occultation de sa surface. Le facteur d'occultation d'une cellule solaire est défini par :

$$F_{oc} = \frac{S_{oc}}{S_t} \quad (5)$$

Les figures 5 et 6 illustrent respectivement la puissance dissipée et la température de la cellule solaire en fonction du taux d'occultation quand le module PV est en court-circuit, aux conditions standards. On notera que la puissance dissipée dans la cellule occultée est maximale pour un taux d'occultation de 40 % pour le module UDTS 50 et 60 % pour le module Photowatt. Les figures 7 et 8 illustrent l'allure de la caractéristique courant-tension des modules UDTS 50 et Photowatt dans les conditions de dissipation maximale [15].

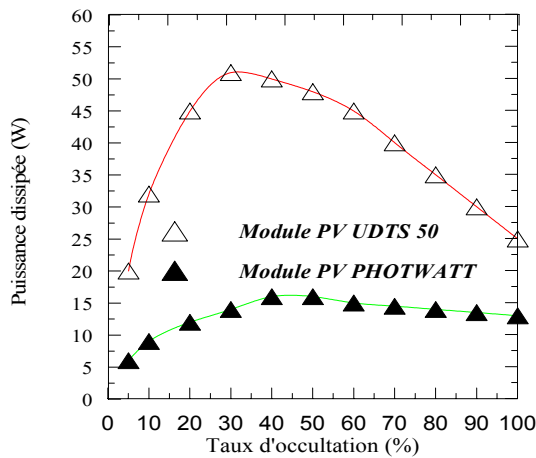


Fig. 5: Puissance dissipée dans une cellule solaire en fonction du taux d'occultation

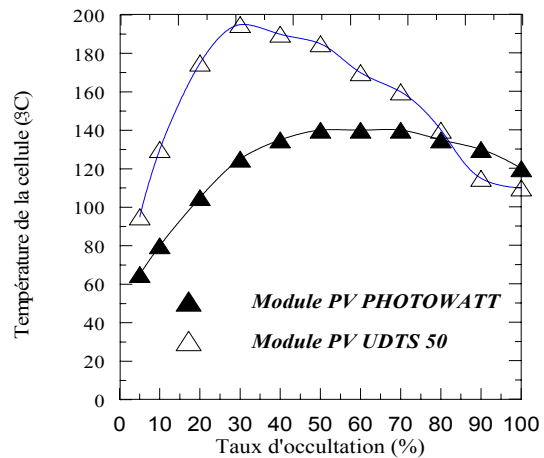


Fig. 6: Température d'une cellule solaire en fonction du taux d'occultation

6. CONCLUSION

Dans cette étude, nous avons montré que les performances d'un module PV sont étroitement liées à la température de fonctionnement des cellules solaires. On notera que les coefficients de température des performances électriques d'un module PV varient généralement selon la technologie de fabrication de la cellule solaire et le type d'encapsulation du module PV. Dans les conditions du court-circuit, on notera que la dissipation thermique maximale de la cellule occultée ne correspond pas à l'occultation totale de la cellule. Ceci est dû au fait que l'impédance de la cellule occultée augmente quand le degré d'occultation diminue, réduisant ainsi le courant généré par les cellules fonctionnant en mode générateur.

NOMENCLATURE

I, V : Courant et tension (respectivement) générés par la cellule	e : charge électrique élémentaire
Isc : courant de court-circuit	k : constante de Boltzmann
Imp : courant optimal	Foc : facteur d'occultation
Voc : tension du circuit ouvert	St : surface totale de la cellule
Vmp : tension optimal	Soc : surface occultée de la cellule
Rs : résistance série	Ns : nombre de cellules en série
Rsh : résistance shunt	λ_{inv} : coefficient de la cellule en mode inverse
Io : courant de saturation	α : coefficient de température réduit du courant
Tc : température de la cellule	β : coefficient de température de la tension
n : facteur d'idéalité	γ : coefficient de température de la puissance

Remerciements: L'auteur remercie le personnel du centre de documentation de l'Institut National de la Normalisation (IANOR) pour leur précieuse coopération. Il tient aussi à exprimer sa reconnaissance à H.A Ossenbrink, W. Zaïman, C. Helmeke (ESTI, Italie) et A. Mermoud (GPA, Suisse) pour les fructueuses et nombreuses discussions lors de la 2^{ème} WCESEC (Vienne de 6-10 Juillet 1998). Ce travail est réalisé sous le contrat NMP/ UDTS N°12 bis./97.

REFERENCES

- [1] Mod Book N°3 Arco-solar 1985.
- [2] SPI-LINE 1000 M. Module Production Facility. Spire Corporation.
- [3] Y. Mesbahi, 'Algerian's Experience with Photovoltaic Module Production', 10th European Photovoltaic Solar Energy Conference. Lisbon (Portugal), 8-12 April 1991.
- [4] K. Agroui, Y. Mesbahi et F. Moussa, 'Etude des Effets de l'Encapsulation sur les Propriétés Physico-chimiques du Copolymère EVA durant le Procédé de Fabrication du Module PV UDTS 50', Colloque National sur l'Elaboration et la Caractérisation des Matériaux, ELACAM'96, Mostaganem, 1-3 Juin 1996.
- [5] K Agroui, 'Module photovoltaïque UDTS 50 : Technologie de Fabrication et Performances Electriques', Rapport interne 1995.
- [6] S. Bouacid et N. Chergui, 'Etude de l'Influence des Facteurs Météorologiques sur les Performances Electriques d'un Module PV de Technologie Biverre au Silicium Polycristallin', Mémoire de fin d'études Ingénieur, USTHB, 1994.
- [7] Spi-Sun Simulator 240 Solar Panel I-V System Operating manual. Spire Corporation
- [8] Wastun PV 5.1. User's Manual and Program Documentation
- [9] H.S. Rauschenbach, 'The Principles and Technology of Photovoltaic Energy Conversion', Solar Cell Array Design Handbook.
- [10] IEC 1215 Crystalline Silicone Terrestrial Photovoltaic Modules Design Qualification and Type Approval.
- [11] G. Freisen, W. Zaïman and J. Bishop, 'Temperature Behaviour of Photovoltaic Parameter', 2nd World Conference and Exhibition on Solar Energy Conversion, Vienna (Austria), 6-10 July 1998.
- [12] J.A Rocher and C. Maguin, 'Photovoltaic Solar Panels – Simulation Including Dynamical Thermal Effect', Solar Energy, Vol. 29, N°3, pp. 245-256, 1982.
- [13] W.B Lawrence and B. Wichert, 'A Versatile PV Module Simulation Model Based on PSI/e', Solar Energy, Vol. 52, N°2, pp. 191-195, 1994.
- [14] A. Mermoud, 'PV SYST.: A User Friendly Software PV Systems Simulation'
- [15] S. Space, J. Bishop and M. Magn, 'Hot-Spot in Solar Cells Test Procedures and Study of Related Phenomena', C.E.C/J.R.C, ISPRA, Establishment.