



Analyse de Deux Modèles Types de la Cellule Photovoltaïque

Z. Layate^{#1}, T. Bahi^{#2}, H. Bouzeria^{*3}, S. Lekhchine^{#4}

#Département d'Electrotechnique, Laboratoire d'Electrotechnique, Université Badji Mokhtar Annaba
BP 12, Annaba 23000, Algérie

¹zakarialayate@gmail.com

²tbahi@hotmail.com

⁴slekhchine@yahoo.fr

*Département d'electrotechnique, Université Hadj Lakhdar Batna
Batna 05000, Algérie

³bhamza23000@gmail.com

Résumé— Ce papier consiste à l'analyse par simulation de deux structures, largement utilisées d'une cellule photovoltaïque. Une étude comparative des comportements de ces structures sous l'effet de différents paramètres météorologiques et structurelles de la cellule est présentée. L'ensemble des cas envisagés sont modélisés et simulés sous l'environnement MatLab/Simulink. Les caractéristiques représentatives obtenues par simulation sont présentées et analysées.

Mots clés— Energie, solaire, photovoltaïque, modélisation, cellule, simulation.

I. NOMENCLATURE

NC_s	Nombre de cellules en série
E_g	Energie de la bande interdite
G_f	Irradiation lors du fonctionnement
G_s	Irradiation standard
I_d	Courant traversant la diode
I_p	Courant de la résistance parallèle
I_{ph}	Courant photoélectrique
I_{cc}	Courant de court circuit sous les conditions standards
I_0	Courant de saturation de la diode
I_{0s}	Courant de saturation de la diode dans les conditions standards
K_B	Constante de Boltzmann
K_{cc}	Coefficient de courant de court circuit en fonction de la température
F	Facteur d'idéalité de la diode
F_1	Facteur d'idéalité de la première diode
F_2	Facteur d'idéalité de la deuxième diode
T_f	Température de fonctionnement de la cellule
T_s	Température standard
U_t	Tension thermique

II. INTRODUCTION

La pollution, le réchauffement climatique, la hausse des prix des carburants fossiles et l'augmentation de la demande d'énergie d'une part et la souffrance des habitants des zones rurales de l'isolement, qui les pénalise de ne pas être alimentés en énergie électrique d'autre part, sont les principaux motifs qui ont forcé les chercheurs à s'investir en vue de trouver une alternative aux sources d'énergie traditionnelles. Ceci en favorisant ce que la nature fournit comme sources d'énergie inépuisables.

En Algérie, le soleil constitue une source d'énergie naturelle et renouvelable offrant un grand potentiel exploitable. En effet, le rayonnement solaire moyen journalier annuel sur un plan horizontal est dans la gamme de 5-7kWh/m²/jour et l'ensoleillement quotidien moyen annuel est dans la gamme de 7-9h [1], alors que cette source d'énergie est utilisée par d'autres pays ayant un niveau mensuel de rayonnement solaire quotidien de l'ordre de 3-6kWh/m² [2].

La production de l'énergie électrique à partir de l'énergie solaire est une technologie basée sur la transformation d'une partie de rayonnement solaire grâce aux cellules photovoltaïques (PV) [3]. Les cellules PV sont fabriquées à partir de matériau semi conducteur formant une jonction PN [4]. Selon la technologie suivie dans la fabrication, les cellules sont réparties en deux modèles principaux. Pour le premier modèle les cellules sont en silicium cristallin et sont les plus utilisées grâce à leur longue durée de vie et l'efficacité qu'atteint un pourcentage entre 10% et 15% pour le monocristallin et entre 9% et 12% pour le multicristallin. Le second modèle concerne les cellules à couches minces [5].

La puissance que produit une cellule photovoltaïque est très faible, de l'ordre de 1 à 3W avec une tension inférieure à 1 volt [6]. Pour produire davantage de puissance, les cellules sont assemblées pour former un module photovoltaïque. Néanmoins, les caractéristiques de sortie d'un générateur photovoltaïque (GPV) dépendent de l'irradiation, de la



température et de la charge [4]. Le GPV étant un élément non linéaire, il est donc impératif de chercher le point de fonctionnement maximum de puissance (PPM) [7],[8].

III. MODÉLISATION

Dans cette partie, on présente l'analyse deux modèles types largement utilisés. Il s'agit de modéliser la cellule photovoltaïque à une et à deux diodes [9]. Pour chaque cas, les modèles représentant les cas idéal et réel sont développés.

A. Modèle de la Cellule à Une Diode

Cas Réel: Le circuit équivalent d'une cellule photovoltaïque réelle est illustré par la Fig. 1.

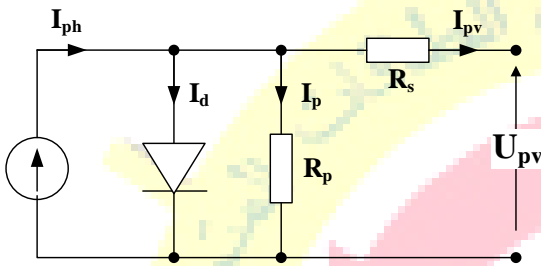


Fig. 1 Modèle réel d'une cellule PV à une diode

Il est principalement constitué d'une source de courant photoélectrique (I_{ph}), une diode (D), une résistance parallèle (R_p) et une résistance série (R_s).

A partir du schéma et en appliquant la loi de Kirchhoff le courant produit par la cellule sera donné par la relation suivante:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_p \quad (1)$$

Où,

$$I_{ph} = (I_{cc} + K_{cc}(T_f - T_s)) \frac{G_f}{G_s} \quad (2)$$

Le courant de court circuit correspond aux conditions de la température et l'irradiation standards: $T=25^\circ\text{C}$ et $G=1000\text{w/m}^2$. Les autres paramètres sont définis dans la nomenclature.

Le courant (I_d) qui traverse la diode est exprimé par la relation suivante [10]:

$$I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{q(U_{pv} + R_s I_{pv})}{F K_B T_f}\right) - 1 \right] \quad (3)$$

Où q est la charge élémentaire égale à $1.602 \cdot 10^{-19}$ Colomb, $K_B = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{J/K}$ est la constante Boltzmann, le courant de

saturation (I_0) de la diode dépend de la température de fonctionnement selon l'équation ci-dessus [11]:

$$I_0(T_f) = I_{0s} \left(\frac{T_f}{T_s}\right)^3 \exp\left(\frac{T_f - T_s}{T_f} \frac{E_g}{U_t}\right) \quad (4)$$

Où, I_{0s} représente le courant de saturation de la diode dans les conditions standards.

La tension thermique (U_t) et le courant à travers la résistance montée en parallèle (I_p) sont définis, respectivement, par les expressions (5) et (6).

$$U_t = \frac{FKT_f}{q} \quad (5)$$

$$I_p = \frac{U_{pv} + R_s I_{pv}}{R_p} \quad (6)$$

Cas Idéal: Le cas idéal est obtenu en considérons que la résistance série est négligeable ($R_s \approx 0$) soit les pertes nulles et que la résistance parallèle est infiniment grande ($R_p = \infty$). En tenant compte de ces considérations la Fig. 2 illustre le modèle idéal d'une cellule PV à une diode.

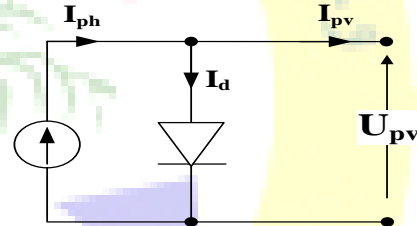


Fig. 2 Modèle idéal d'une cellule PV à une diode

En appliquant la loi de Kirchhoff, on obtient:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d \quad (7)$$

Où, I_{ph} est identique à celle de cas du modèle réel et I_d est exprimé, ainsi:

$$I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{q U_{pv}}{F K_B T_f}\right) - 1 \right] \quad (8)$$

La même relation de la tension thermique (U_t) et la variation du courant de saturation de la diode en fonction de la température ambiante ($I_0(T_f)$), restent identiques au cas précédent.



B. Modèle d'une Cellule à Deux Diodes

Cas Réel: La cellule photovoltaïque à deux diodes, présente une meilleure description. Elle est illustrée par la Fig. 3 [12], [13].

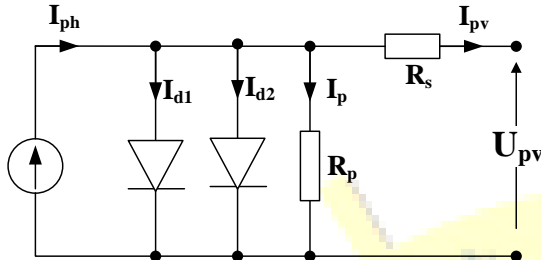


Fig. 3 Modèle réel d'une cellule PV à deux diodes

Selon la loi de Kirchhoff, on a:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} - I_p \quad (9)$$

Où,

$$I_{d1} = I_0 \left[\exp \left(\frac{q(U_{pv} + R_s I_{pv})}{F_1 K_B T_f} \right) - 1 \right] \quad (10)$$

$$I_{d2} = I_0 \left[\exp \left(\frac{q(U_{pv} + R_s I_{pv})}{F_2 K_B T_f} \right) - 1 \right] \quad (11)$$

Les équations utilisées pour la présentation des courant I_{ph} et I_p dans le cas d'une seule diode restent identiques.

Cas Idéale: Concernant le modèle idéal d'une cellule à deux diodes qu'on obtient en considérant les mêmes hypothèses décrites dans la section précédente. Cependant, la Fig. 4 présente le schéma du modèle idéal.

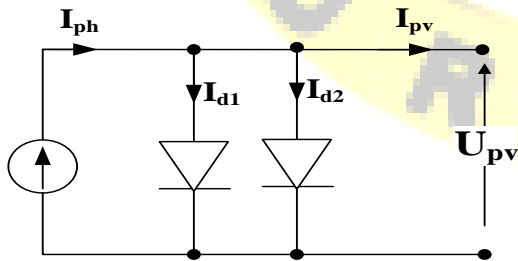


Fig. 4 Modèle idéal d'une cellule PV à deux diodes

De même, les expressions suivantes sont déduites d'une manière analogue au cas précédent.

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{d1} - I_{d2} \quad (12)$$

Où I_{ph} reste toujours identique à celle exprimées dans les sections précédentes et les courants à travers les deux diodes sont :

$$I_{d1} = I_0 \left[\exp \left(\frac{q U_{pv}}{F_1 K_B T_f} \right) - 1 \right] \quad (13)$$

$$I_{d2} = I_0 \left[\exp \left(\frac{q U_{pv}}{F_2 K_B T_f} \right) - 1 \right] \quad (14)$$

Concernant les relations de U_t et $I_0(T_f)$, on les garde comme il a été défini précédemment.

C. Modèle d'un Module Photovoltaïque

Dans cette section, on considère un module photovoltaïque (panneau solaire). Pour cela, le branchement des cellules se fait généralement en série afin d'augmenter la tension. Ainsi le courant (I_{pv}) à la sortie est donné par la relation suivante:

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - \frac{U_{pv} + R_s I_{pv} N C_s}{R_p N C_s} \quad (15)$$

Où, I_{ph} et I_d restent identiques aux précédents.

IV. SIMULATION ET INTERPRETATION

A l'issue des développements des modèles pour une cellule photovoltaïque et du module photovoltaïque, on représente dans cette section les caractéristiques comportementales du cas réel et idéal d'une cellule et celles d'un module composé de trente six (36) cellules que nous considérons tantôt idéales et tantôt réelles. En effet, à travers les Fig. 5 et Fig. 6, les caractéristiques des courants en fonctions de la tension $I=f(V)$ et celles des puissances en fonction de la tension $P=f(V)$ sont respectivement présentées. On remarque que pour des valeurs de tension inférieures à 0.4 volt, le cas idéal et le cas réel sont confondus. Au delà de cette valeur, les deux modèles s'écartent et donc une correction s'impose pour évaluer le maximum de puissance qui visiblement est moindre pour le cas réel que celui idéal.

Les mêmes de caractéristiques sont reconsidérées pour le cas d'un module photovoltaïque. Elles sont représentées par les Fig. 7 et Fig. 8. Puis, sous la variation de l'irradiation et de la température, nous avons tracé les caractéristiques $I=f(V)$ et $P=f(V)$. On remarque que la différence est considérable dans le cas des variations de l'irradiation (voir Fig. 9 et Fig. 10) mais elle reste négligeable lors de la variation de la température comme le montrent les Fig. 11 et Fig.12.

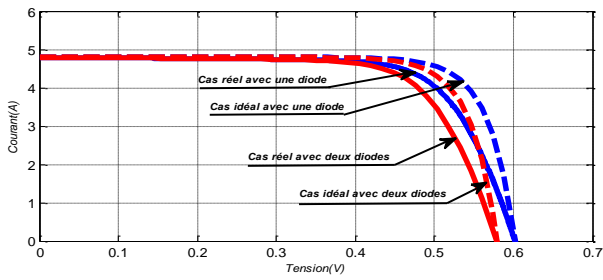


Fig. 5 Caractéristiques I-V

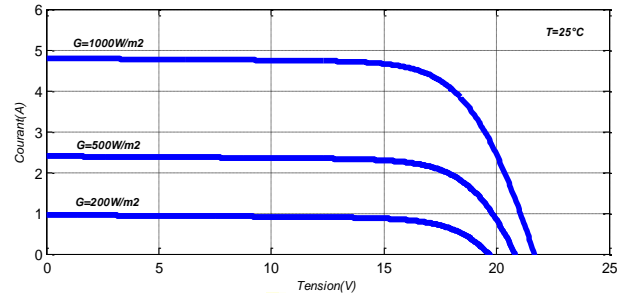


Fig. 9 Caractéristiques I-V d'un module

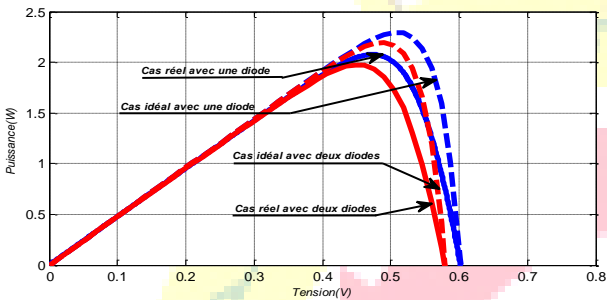


Fig. 6 Caractéristiques P-V

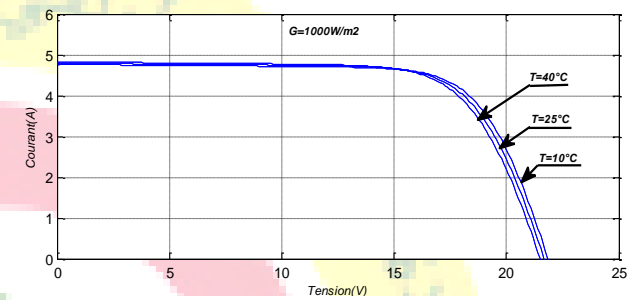


Fig. 10 Caractéristiques I-V d'un module

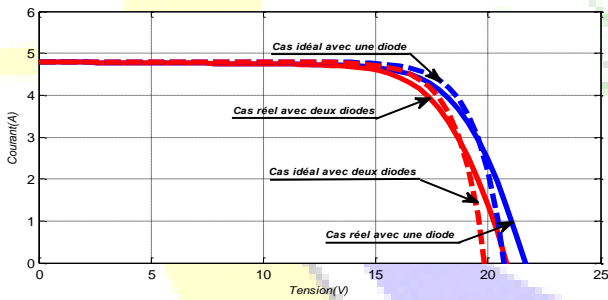


Fig. 7 Caractéristiques I-V des modules

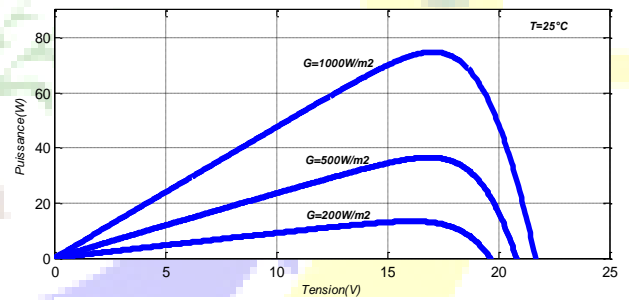


Fig. 11 Caractéristiques P-V d'un module

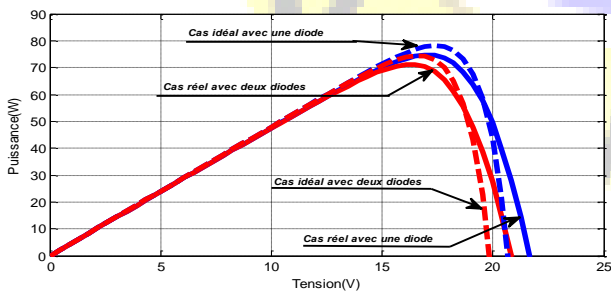


Fig. 8 Caractéristiques P-V des modules

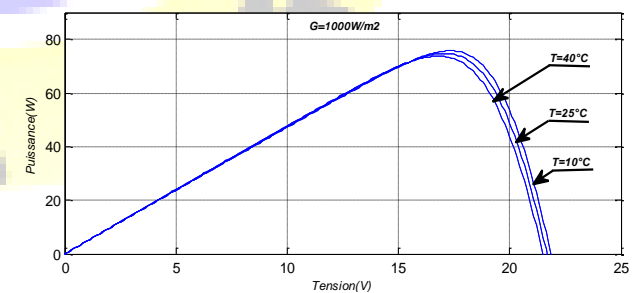


Fig. 12 Caractéristiques P-V d'un module



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



V. CONCLUSION

A l'issue de ce travail, on conclut que les comportements des modules photovoltaïques sont trop proches sous l'effet de la variation de la température. Par contre, pour le cas de la variation de l'irradiation, il est impératif de tenir compte des modèles réels pour plus d'objectivité.

REFERENCES

- [1] L. Suhui, A.H. Timothy, L. Dawen, H. Fei, "Integrating photovoltaic and power converter characteristics for energy extraction study of solar PV systems," *Renewable Energy*, vol. 36, pp. 3238-3245, Dec. 2011.
- [2] Journal officiel de la République Algérienne N°. 82, 31 décembre 2007.
- [3] A. Ould Mohamed Yahya, A. Ould Mahmoud, I. Youm, "Etude et modélisation d'un générateur photovoltaïque," *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 11, pp. 473-483, Sep. 2008.
- [4] Huan-Liang Tsai, Ci-Siang Tu, Yi-Jie Su, "Development of Generalized Photovoltaic Model Using MatLab/Simulink," *Proc. WCECS*, 2008.
- [5] T. Salmi, M. Bouzguenda, A. Gastli, A. Masmoudi, "MatLab/Simulink Based Modelling of Solar Photovoltaic Cell," *International Journal of Renewable Energy Research*, vol. 2, pp. 213-218, Feb. 2012.
- [6] A. Zerga, F. Benyarou, B. Benyoucef, "Optimisation du rendement d'une cellule solaire N⁺P au silicium monocristallin," *Revue des Energies Renouvelables*, pp. 95-100, 1998.
- [7] L. Gao, R. A. Dougal, S. Liu, Albena P. Iotova, "Parallel-Connected Solar PV System to Address Partial and Rapidly Fluctuating Shadow Conditions," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 56, pp. 1548-1556, May. 2009.
- [8] J. C. H. Phang, D. S. H. Chan, J. R. Philips, "Accurate analytical method for the extraction of solar cell model parameters," *Electronics Letters*, vol. 20, pp. 406-408, May 1984.
- [9] B. Alsayid, "Modeling and Simulation of Photovoltaic Cell/Module/Array with Two-Diode Model," *International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering*, vol. 1, pp. 6-11, Jun. 2012.
- [10] K. Tahri, B. Benyoucef, "Etude de Modélisation d'un Générateur photovoltaïque," *10th International Meeting on Energetical physics, SIPE'10*, 2010, vol. 1, pp. 192-197.
- [11] S. Rustemli, F. Dincer, "Modeling of Photovoltaic Panel and Examining Effects of Temperature in MatLab/Simulink," *Electronics and Electrical Engineering*, pp. 35-40, 2011.
- [12] F. Bouchafaaa, I. Hamzaoui, A. Hadjammam, "Fuzzy Logic Control for the tracking of maximum power point of a PV system," *Energy Procedia*, vol. 6, pp. 633-642, 2011.
- [13] R. Kadria, H. Andreib, J. Gaubert, T. Ivanovici, G. Champenois, P. Andrei, "Modeling of the photovoltaic cell circuit parameters for optimum connection model and real-time emulator with partial shadow conditions," *8th World Energy System Conference. WESC, 2010*, vol. 42, pp. 57-67, Jun. 2012.