Revue des Energies Renouvelables Vol. 12 N°4 (2009) 563 – 574
DOI: https://doi.org/10.54966/jreen.v12i4.162

Reconstitution de la caractéristique I – V et détermination de la puissance d'un système photovoltaïque

Abdelouahab Zaatri[1*] et Souad Belhour[2]

[1] Département de Mécanique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie
[2] Département de Physique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Université des Frères Mentouri, Constantine, Algérie

(reçu le 31 Août 2009 – accepté le 25 Décembre 2009)

Résumé - *Dans cet article, le modèle de la cellule solaire à une exponentielle est utilisé pour permettre la reconstitution de la caractéristique I -V et l'estimation de la puissance fournie par un générateur photovoltaïque constitué de cellules solaires au silicium monocristallin. La reconstruction de la caractéristique courant - tension est obtenue par la méthode des trois points (courant de court-circuit, tension en circuit ouvert, puissance maximale) qui sont fournis par le constructeur. L'estimation des paramètres (courant de saturation, résistance série, courant photonique) a été établie en négligeant la résistance parallèle et en considérant le facteur d'idéalité d'une diode idéale. Les expressions de la puissance en fonction du courant et en fonction de la tension ont été établies en négligeant la résistance parallèle. L'expression de la puissance en fonction de la tension a nécessité l'introduction de la fonction W de Lambert. Les courbes caractéristiques I -V et de puissance en fonction du courant et de la tension ont été déduites et graphiquement représentées permettant d'estimer la puissance délivrée par le générateur photovoltaïque dans les conditions de son fonctionnement.*

Abstract - *In this paper, the model of one exponential of the solar cell is used for the reconstitution of the I -V characteristics and the estimation of the power supplied by photovoltaic solar cells made of monocrystalline silicon. The reconstruction of the current-voltage characteristics is obtained by the method of three points (short-circuit current, open circuit voltage, maximum power) which are provided by the manufacturer. The estimation of parameters (saturation current, series resistance, photonic current) was established by neglecting the shunt resistance and considering the ideality factor of an ideal diode. Expressions of power as a function of current and as a function of voltage have been set by neglecting the shunt resistance. The expression of the power as a function of the voltage has required the introduction of the Lambert W function. The I - V characteristics curves and power depending on the current and voltage were derived and graphically represented enabling to estimate the power delivered by the photovoltaic generator under the conditions of its operation.*

Mots clés: Puissance de la cellule photovoltaïque - Caractéristique de la cellule - Paramètres de la cellule - Cellule photovoltaïque.

1. INTRODUCTION

Compte tenu du coût relativement élevé des cellules photovoltaïques, depuis quelques décennies, un effort intense est continuellement accompli afin d'optimiser le rendement des systèmes photovoltaïques.

* azaatri@yahoo.com ; souad_belhour1@yahoo.fr

Dans ce contexte, de nombreuses pistes de recherches sont explorées: amélioration des procédés de fabrication, meilleure valorisation de toutes les longueurs d'onde du spectre solaire, utilisation de concentrateurs à l'aide des miroirs et des lentilles pour focaliser le rayonnement sur la cellule photovoltaïque, améliorer le rendement en associant les siliciums amorphe et cristallin dans une même cellule photovoltaïque, utilisation des composés organiques (matières plastiques) pour réaliser des cellules polymères photovoltaïques [3, 4].

Dans cette étude, on s'intéresse à l'estimation de la puissance fournie par un générateur photovoltaïque constitué de panneaux solaires au silicium monocristallin. Dans ce but, un modèle de la cellule solaire à une exponentielle a été étudié [1, 2].

Les expressions de la puissance ont été déterminées en négligeant la résistance shunt. La fonction de Lambert W a été utilisée pour exprimer la puissance en fonction du courant et de la tension [5]. Les expressions de la puissance en fonction du courant et de la tension sont également présentées en tenant compte de la résistance shunt conformément à quelques références [6, 7].

Les courbes caractéristiques $I-V$ et de puissance en fonction du courant et de la tension ont été reconstituées et graphiquement représentées.

Un programme a été établi pour permettre d'estimer la puissance délivrée par le panneau solaire en fonction de ses caractéristiques, de l'état de l'environnement et de son l'emplacement**.**

2. MODELE DE LA CELLULE SOLAIRE

2.1 Modèle de la cellule photovoltaïque

Il existe deux modèles de la cellule photovoltaïque qui sont communément utilisés: le modèle à une exponentielle et le modèle à deux exponentielles [1, 2]. Dans cette étude, on considérera le modèle à une exponentielle.

La figure 1 présente le schéma électrique équivalent de la cellule solaire photovoltaïque conformément au modèle à une exponentielle [2, 4, 6-8]. Ce modèle comporte:

- Un générateur de courant délivrant un photocourant I_L généré par la lumière dans la cellule. Le photocourant qui est proportionnel à la quantité de lumière et à la surface de la cellule.
- Une diode, représentant la jonction $P-N$ dans le silicium. Cette jonction induit une barrière de potentiel, laquelle absorbe un courant I_D.
- Une résistance parallèle, R_p et une résistance série R_s qui représente les pertes ohmiques dans la cellule.

Le courant I est celui qui est réellement fournit par la cellule solaire pour alimenter une charge R_c sous la tension V.

2.2 Expression de la caractéristique $I-V$

En Appliquant les lois de Kirchoff au schéma équivalent de la figure 1, le courant I débité par la cellule est la somme algébrique de trois courants**:**

$$I = I_L - I_D - I_P \tag{1}$$

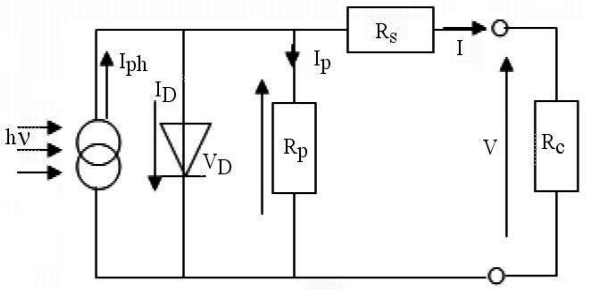

Fig. 1: Schéma équivalent de la cellule solaire

La tension aux bornes de la diode est:

$$V_D = R_p I_p = V + R_s . I \tag{2}$$

où I_p représente le courant traversant la résistance parallèle, R_p

$$I_p = \frac{V_D}{R_p} = \frac{V + R_S . I}{R_p} \tag{3}$$

Le courant de la diode I_D s'écrit donc sous la forme**:**

$$I_D = I_0 . \left(e^{\frac{q V}{n k T}} - 1 \right) \tag{4}$$

En remplaçant dans (1), les expressions des courants (3) et (4), on obtient l'équation de la caractéristique $I - V$ de la cellule photovoltaïque:

$$I = I_L - I_0 . \left(\exp\left[\frac{q(V + R_S . I)}{n k T} \right] - 1 \right) - \frac{V + R_S I}{R_p} \tag{5}$$

n est le facteur d'idéalité de la cellule, qui dépend des mécanismes de recombinaison dans la zone de charge d'espace.

k : **C**onstante de Boltzmann

T : Température

q **:** Charge de l'électron

V : Tension appliquée à la charge utilisatrice R_c .

3. RECONSTITUTION DE LA CARACTERISTIQUE $I - V$

L'expression (5) de la caractéristique $I - V$ est une équation transcendantale et ne peut être résolue que numériquement. Pour représenter la caractéristique, on considère une valeur donnée de V et on détermine le courant I correspondant et vice-versa.

Cependant, pour pouvoir exploiter cette caractéristique, il faut d'abord déterminer les paramètres (n , R_s , R_p , I_0 , I_L) qui sont présents dans l'expression (5). Une technique proposée pour la détermination de ces paramètres est la méthode des trois points [9].

Elle consiste a utiliser trois points situés sur la courbe $I - V$ expérimentale (Fig. 3) qui correspondent au courant de court-circuit I_{cc} , à la tension du circuit ouvert V_{co} et au maximum de puissance P_m qui sont mesurables ou fournis par le constructeur.

3.1 Caractéristiques expérimentales du module solaire

Conformément au constructeur des cellules que nous avons utilisé (Belgosolar), le module solaire (Fig. 2) est constitué de 36 cellules de silicium monocristallin de forme circulaire, de diamètre 10 cm. Les cellules sont disposées en série. Les éléments suivants sont donnés aux conditions standards:

Puissance crête:	$P_c = 33$ Watts
Tension de circuit ouvert:	$V_{co} = 21.0$ Volts
Courant de court-circuit:	$I_{cc} = 2.18$ Ampères
Puissance maximale:	$P_m \{ V_{MPP} = 16.5$ Volts , $I_{MPP} = 2.0$ Ampères $\}$

Fig. 2: Vue du panneau solaire utilisé

On peut en déduire le facteur de forme qui indique le degré d'idéalité de la caractéristique [11], soit le rapport:

$$FF = \frac{P_m}{V_{co} \times I_{cc}} \tag{6}$$

avec $P_m = 33\,W$ et $V_{co} \times I_{cc} = 45\,78$ W , on obtient $FF = 0.72$.

3.2 Détermination des paramètres de la cellule

La méthode de détermination des paramètres intrinsèques (n , R_s , R_p , I_0 , I_L) que nous allons utiliser, exploite les données expérimentales fournies par le constructeur dans la section précédente (I_{cc} , I_{co} et P_m) et un certain nombre d'hypothèses simplificatrices du modèle.

• **Facteur d'idéalité** n

Dans le cas de cellules solaires au silicium monocristallin, on considère l'hypothèse d'une cellule idéale. Le facteur d'idéalité est alors considéré comme égal à l'unité, soit $n = 1$.

• **Courant photonique**

Pour l'estimation du courant photonique I_L, si on considère l'expression (5) en situation de court-circuit ($I = I_{cc}$ et $V = 0$), on a:

$$I_{cc} = I_L - I_0\left[e^{\frac{q R_s I_{cc}}{k t}} - 1 \right] - \frac{R_S . I_{cc}}{R_p} \tag{7}$$

Dans le cas d'une cellule idéale avec $n = 1$ et ($R_S \to 0$ et $R_p \to \infty$, le courant est approximativement égal au courant photonique:

$$I_{cc} = I_L \tag{8}$$

• **Courant de saturation de la diode** I_0

En situation de circuit ouvert, le courant est nul ($I = 0$ et $V = V_{co}$). La tension en circuit ouvert est obtenue à partir de l'équation (5)

$$0 = I_L - I_0 . \left[e^{\frac{q V_{co}}{kT}} - 1 \right] - \frac{V_{co}}{R_p} \tag{9}$$

Dans le cas d'une cellule idéale $\{ R_S \to 0$ et $R_p \to \infty$, $I_L = I_{cc}$ et $n = 1 \}$, on a:

$$V_{co} = \frac{n k T}{q} \times \mathrm{Log}\left[1 + \frac{I_{cc}}{I_0} \right] \tag{10}$$

La détermination de courant I_0, basée sur l'expression (10), donne dans le cas de notre module solaire un courant I_0 qui est très négligeable, de l'ordre de (1.6×10^{-10} A). A cause des approximations utilisées, pour certaines cellules solaires, il arrive d'obtenir des résultats incohérents comme notés par quelques auteurs [9].

• **Résistance série** R_S

L'estimation de la résistance série R_S, après quelques corrections pour faire coïncider la caractéristique théorique au point P_m est de l'ordre de $1.2\ \Omega$. Cette résistance correspond à la mise en série des 36 résistances des cellules photovoltaïques, d'où la résistance d'une cellule est: 0.033 ohm.

3.3 Représentation graphique

Comme les mesures concernent le module solaire, qui est constitué de 36 cellules disposées en série, on introduira le nombre de cellules $M = 36$ dans l'expression de la caractéristique en prenant $R_p \to \infty$, $n = 1$, $I_0 = 1.6 \times 10^{-10}$ A, $R_S = 1.2\ \Omega$ et $I_{cc} = I_L$, l'expression (5) s'exprime comme suit:

$$I = I_L - I_0 . \left(e^{\frac{(V + R_s . I)}{M \times V_T}} - 1 \right) \qquad (11)$$

avec: $V_T = \frac{k\,T}{q}$

Cette expression, obtenue à l'aide des points fournis par le constructeur, permet de reconstituer la caractéristique $I-V$ du module photovoltaïque. Une représentation graphique $I = f(V)$ basée sur l'expression (11) est donnée à la Fig. 3. On voit bien que les points donnés par le constructeur correspondent avec ceux de la caractéristique tracée.

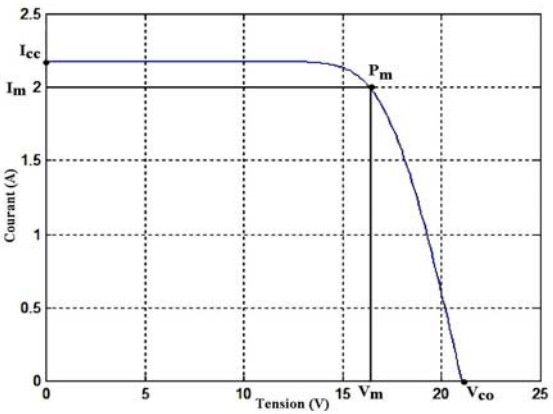

Fig. 3: Caractéristique $I-V$ en conditions standards

La figure 4 représente des courbes caractéristiques du panneau solaire utilisé en variant le courant I_L qui dépend directement de l'éclairement reçu par la cellule et de la température de la cellule.

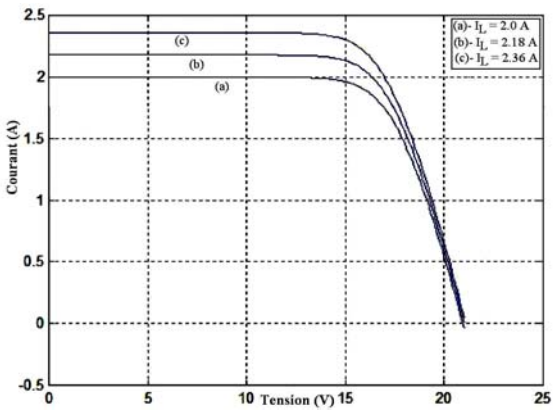

Fig. 4: Caractéristiques $I-V$ paramétrées par I_L

4. EXPRESSIONS DE LA PUISSANCE

4.1 Expression de la puissance en fonction du courant

Si on néglige R_p, de l'expression (11), on peut en déduire l'expression de V en fonction de I. Elle peut s'exprimer explicitement en fonction de I de la sorte:

$$V = V_T\left[\mathrm{Ln}\left(1+\frac{I_L - I}{I_0}\right) - \frac{R_s.I}{V_T}\right] \tag{12}$$

D'où la détermination de la puissance qui s'exprime aussi explicitement en fonction de I:

$$P = V\times I = V_T\left[I\times \mathrm{Ln}\left(1+\frac{I_L - I}{I_0}\right) - \frac{R_s.I^2}{V_T}\right] \tag{13}$$

Une représentation graphique de la puissance P en fonction du courant I paramétrée par le courant photonique I_L est donnée à la figure suivante (Fig. 5).

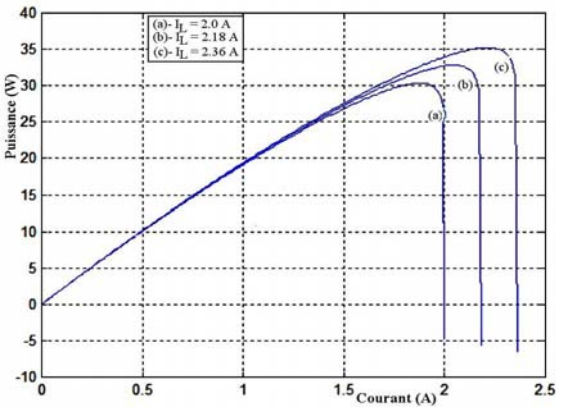

Fig. 5: Puissance en fonction du courant $P = f(I)$ pour diverses valeurs de I_L

A titre indicatif, on donnera l'expression de la tension en fonction du courant sans négliger la résistance parallèle R_p de l'équation (5). En utilisant la fonction W de Lambert, cette expression peut se mettre sous la forme suivante [6-8]:

$$V = I.R_s + \left(-W.\left(\frac{I_0.R_p.e^{\left(\frac{R_p(I+I_L+I_0)}{n\,V_{th}}\right)}}{n\,V_{th}}\right) + \frac{R_p(I+I_L+I_0)}{n\,V_{th}}\right) n\,V_{th} \tag{14}$$

$$P = I^2.R_s + I\times\left(-W.\left(\frac{I_0.R_p.e^{\left(\frac{R_p(I+I_L+I_0)}{n\,V_{th}}\right)}}{n\,V_{th}}\right) + \frac{R_p(I+I_L+I_0)}{n\,V_{th}}\right) n\,V_{th} \tag{15}$$

Cependant, ce modèle ne permet pas de reconstituer la courbe caractéristique au moyen des trois points. La détermination des paramètres nécessite la courbe expérimentale de la caractéristique.

4.2 Expression de la puissance en fonction du courant

La détermination de l'expression de la puissance en fonction du courant peut s'établir de la sorte. En négligeant la résistance parallèle R_p, on peut écrire l'expression (5) sous la forme:

$$e^{(V + R_s.I)/V_T} = 1 + \frac{I_L - I}{I_0} \tag{16}$$

Avec quelques transformations, on peut écrire :

$$\frac{R_S}{V_T}.(I_0 + I_L - I).e^{R_s(I_0 + I_L + I)/V_T} = \frac{R_S.I_0}{V_T}.e^{V/V_T}.e^{R_s(I_0 + I_L)/V_T} \tag{17}$$

En posant:

$$X = \frac{R_S}{V_T}(I_0 + I_L - I) \tag{18}$$

$$A = \frac{R_S.I_0}{V_T}.e^{R_s(I_0 + I_L)/V_T} \tag{19}$$

L'expression (17) peut se mettre sous la forme:

$$X.e^X = A.e^{V/V_T} \tag{20}$$

Le courant s'exprime en fonction de la tension à l'aide de la fonction W de Lambert qui est de la forme:

$$Y.e^Y = a \quad \Rightarrow \quad Y = W(a) \tag{21}$$

D'ou la solution de (20):

$$X = W\left(A.e^{V/V_T}\right) = \frac{R_S}{V_T}(I_0 + I_L - I) \tag{22}$$

L'expression $I = f(V)$ en utilisant la fonction W de Lambert est:

$$I = (I_0 + I_L) - \frac{V_T}{R_S} W\left(A.e^{V/V_T}\right) \tag{23}$$

D'où l'expression de la puissance en fonction de V,

$$P = V \times I = (I_0 + I_L).V - \frac{V_T.V}{R_S} W\left(A.e^{V/V_T}\right) \tag{24}$$

Une représentation graphique de la puissance P en fonction de la tension V paramétrée par le courant I_L est donnée à la figure suivante (Fig. 5).

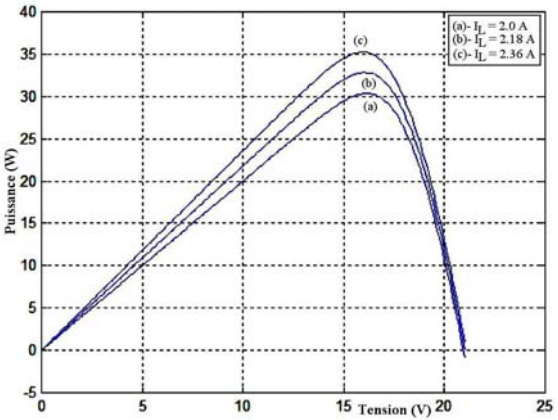

Fig. 6: Puissance en fonction de la tension paramétrée par I_L

Si on ne néglige pas la résistance shunt de l'équation (5), on en déduit une expression du courant en fonction de la tension qui peut se mettre sous la forme [6, 7]:

$$I = \frac{\left(-W.\left(\frac{R_S.I_0.R_p.e^{\left(\frac{R_p\left(R_s I_L + R_s I_0 + V\right)}{n V_{th}\left(R_s + R_p\right)} \right)}}{R_S\, n V_{th} + R_p\, n V_{th}} \right) + \frac{R_p\left(R_s I_L + R_s I_0 + V\right)}{n V_{th}\left(R_s + R_p\right)} \right) n V_{th}}{R_S} \quad (25)$$

où on peut en déduire la puissance en fonction de la tension.

5. ESTIMATION DE LA PUISSANCE

Si le nombre et la configuration des modules photovoltaïques sont donnés, les expressions (13) et (24) permettent fondamentalement d'estimer la puissance délivrée par le système photovoltaïque.

Cependant, cette puissance dépend de l'éclairement reçu par les modules photovoltaïques, de la température ambiante, de la vitesse du vent, de la charge utilisatrice et de l'orientation des modules par rapport au soleil.

Pour une estimation réaliste de la puissance, il faut donc tenir compte de l'influence de ces facteurs dans les expressions (13) et (24).

5.1 Influence de l'éclairement et de la température

Le rendement d'une cellule solaire dépend de l'éclairement et de la température. Le modèle physique de la cellule permet d'exprimer le photocourant en fonction de l'éclairement et de la température [10-14]:

$$I_L = \left(\frac{E}{E_{ref}} \right) \times \left(I_{cc,ref} + K_1 \left(T - T_{ref} \right) \right) \quad (26)$$

I_L est le photocourant, E l'éclairement, E_{ref} l'éclairement dans les conditions standards, $I_{cc,\,ref}$ le courant de court-circuit dans les conditions standards, T la température de la cellule, T_{ref} la température de la cellule dans les conditions standards, K_1 le coefficient de température en court-circuit.

Le courant de saturation inverse I_0 dépend essentiellement de la température de la jonction T et s'exprime pat la relation [10-15]:

$$I_0 = I_{0,ref} \times \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^3 \times e^{\frac{q E_G}{k\left(\frac{1}{T_{ref}} - \frac{1}{T} \right)}} \tag{27}$$

$I_{0,ref}$ est le courant de saturation inverse dans les conditions standards, E_G la bande de valence du semi-conducteur considéré.

La température de la cellule peut s'exprimer de la sorte [15]:

$$T = a_0 + a_1 E + a_2 T_a + a_3 W_s \tag{28}$$

T_a est la température ambiante, W_s est la vitesse du vent, a_0, a_1, a_2, a_3 sont des constantes.

Ainsi donc, l'estimation de la puissance nécessite d'abord l'estimation de la température de la cellule photovoltaïque à partir des mesures de la température T_a, de l'éclairement E, et de la vitesse du vent W_s conformément à l'expression (28).

On détermine ensuite le courant de saturation inverse I_0 à l'aide de (27) et le courant photonique I_L à partir de (26). Des exemples de courbes caractéristiques conduisant à une variation du courant I_L par suite de la variation de l'éclairement sont montrées en figures 4, 5 et 6.

5.2 Influence de la charge d'utilisation

La charge d'utilisation R_c impose le courant et la tension à ses bornes et donc la puissance conformément à la loi d'ohm. Sur la caractéristique, l'expression de la charge s'exprime par une droite:

$$I = C \times V \tag{29}$$

C est la conductance de la charge utilisée ($C = 1/R_c$).

Le point d'intersection de cette droite avec la caractéristique $I - V$ définit la puissance que délivre effectivement le module à la charge utilisatrice (Fig. 7). Cette puissance varie avec la conductance de la charge utilisée comme le montre les points d'intersection des droites a a, b, et c.

On remarque qu'il existe un seul point à la puissance optimale P_m et qu'il correspond à la droite b avec une résistance: $R_{optimal} = V_m / I_m = 8.25$ Ohms, ($C = 0.1212$).

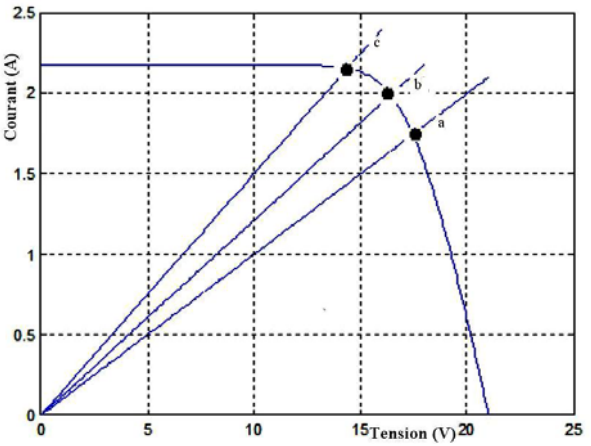

Fig. 7: Variation de la puissance en fonction de la charge.

La puissance optimale varie donc en fonction des conditions extérieures (température, éclairement), mais aussi en fonction de la charge. Aussi, pour bénéficier de la puissance optimale, il faut donc suivre ce point de puissance optimale en adaptant la source photovoltaïque à la charge, d'où la technique du MPPT (Maximum Power Point Tracking) [15].

5.3 Influence de l'orientation du module photovoltaïque

La position du module photovoltaïque par rapport au soleil influence le rendement de ce dernier, d'où l'importance de la poursuite de la trajectoire du soleil permettant de mieux exploiter le système photovoltaïque.

En effet, beaucoup de travaux centrent leur intérêt sur le tracking afin de maximiser l'ensoleillement en gardant la surface active du module solaire perpendiculaire aux radiations solaires durant toute la journée [16].

6. CONCLUSION

Nous avons utilisé le modèle de la cellule photovoltaïque à une exponentielle pour reconstituer la caractéristique I – V à l'aide de la méthode des trois points qui sont fournis par le constructeur et en négligeant la résistance parallèle.

Nous avons exprimé la puissance en fonction du courant, ainsi qu'en fonction de la tension. L'expression de la puissance en fonction de la tension a nécessité l'utilisation de la fonction W de Lambert.

Ces expressions nous ont permis de pouvoir d'estimer la puissance fournie par le module solaire en fonction des conditions de son utilisation à savoir, l'éclairement, la température, la charge utilisatrice et son orientation par rapport au soleil.

REFERENCES

[1] A. Ortiz-Conde, F.J. Garcia Sanchez and J. Muci, '*New Method to Extract the Model Parameters of Solar Cells from the Explicit Analytic Solutions of Their Illuminated I–V Characteristics*', Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 90, N°3, pp. 352 – 361, 2006.

[2] M. Wolf and H. Rauschenbach, '*Series Resistance Effects on Solar Cell Measurements*', Advanced Energy Conversion, Vol. 3, N°2, pp. 455 – 479, 1963.

[3] http://www.vent-de-soleil.com/energie_solaire/accueil_energie_solaire.html

[4] http:// fr.wikipedia.org/wiki/Cellule_photovoltaïque

[5] R.M. Corless, G.H. Gonnet, D.E.G. Hare, D.J. Jeffrey and D.E. Knuth, '*On the Lambert W-Function*', http://www.cs.uwaterloo.ca/research/tr/1993/03/W.pdf

[6] A. Jain and A. Kapoor, '*A New Approach to Study Organic Solar Cells using Lambert W-Functions*', Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 86, N°2, pp. 197 – 205, 2005.

[7] A. Jain, S. Sharma and A. Kapoor, '*Solar Cell Array Parameters using Lambert W-function*', Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 90, N°1, pp. 16 – 23, 2006.

[8] E. Ya. Shvets, S.L. Khrypko and E.I. Zubko, '*Investigation of Methods Used in Calculations of Solar Cell Parameters*', Radioelectronics and Communications Systems, Vol. 52, N°1, pp. 16 – 23, 2009.

[9] N. Mwiinga, '*On the Dynamics of Solar Cell Optoelectronic Device Parameters with the Lambert W-Function*', http://www.geocities.com/chichizm/fsodp.pdf

[10] F.M. Gonzales Lopez, '*Model of Photovoltaic Module in Matlab*', 2do Congreso Iberoamericano De Estudiantes De Ingeniería Eléctrica, Electrónica Y Computación (Ii Cibelec 2005)

[11] T. Skočil and M.P. Donsión, '*Mathematical Modeling and Simulation of Photovoltaic Array*', Proceedings of the International Conference On Renewable Energies And Power Quality, ICREPQ'08,

[12] V. Di Dio, D. La Cascia, R. Miceli and C. Rando, '*A Mathematical Model to Determine the Electrical Energy Production in Photovoltaic Fields under Mismatch Effect*'. http://www.beywatch.eu/docs/ICCEP_mismatch_final%20version%20from%20proceedings_2009.pdf

[13] Huan-Liang Tsai, Ci-Siang Tu and Yi-Jie Su, '*Development of Generalized Photovoltaic Model Using MatLab/Simulink*', Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science, WCECS 2008, San Francisco, USA, October 22 - 24, 2008,

[14] R.K. Nema, S. Nema and G. Agnihotri, '*Computer Simulation Based Study of Photovoltaic Cells/Modules and their Experimental Verification*', International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol. 1, N°3, pp. 151 – 156, 2009.

[15] H.R. Kamath, R.S. Aithal, P.K. Singh Ashis Kumar Sinha and A.R. Danak, '*Modeling of Photovoltaic Array and Maximum Power Point Tracking using ANN*', Vol. 4, N°3, 2008. _ http://journal.esrgroups.org/jes/papers/4_3_4.pdf

[16] H. Mousazadeh, A. Keyhani, A. Javadi, H. Mobli, K. Abriniac and A. Sharifi,, '*Review of Principle and Sun-Tracking Methods for Maximizing Solar Systems Output*', Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13, N°8, pp. 1800 – 1818, 2009.