



Comparaison entre différentes méthodes pour la détermination des paramètres électriques d'un module photovoltaïque

Nouar Aoun^{*1}, Ismail Tabet², Kada Bouchouicha¹, Nahman Boukheit³

¹ Unité de Recherche en Energies Renouvelables en Milieu Saharien, URERMS, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, BP 478, Adrar, Algérie.

² Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133 Ghardaïa, Algérie.

³ Département de Physique, Université Constantine 1, Constantine, Algérie.

*nouar.aoun@gmail.com

Abstract— This paper investigates and compares four different methods, i.e., four parameters, five parameters (two methods) and seven parameters commonly employed in solving photovoltaic nonlinear equation. The accuracy of these models is verified by using three different types of solar panels (mono-crystalline, multi-crystalline, and thin-film). The relative error of the maximum power point, the short-circuit current and the open circuit voltage for the three modules is less than 1%.

Keywords— Methods; parameters; photovoltaic; mono-crystalline; multi-crystalline; and thin-film

I. INTRODUCTION

La description mathématique de la caractéristique électrique de la cellule photovoltaïque est en général représentée par des systèmes d'équations non linéaires.

La plupart des modèles mathématiques développés dans la littérature sont basés sur les relations courant-tension qui résultent de simplifications au modèle de double diode proposé par D. S. H. Chan et al [1]. Le modèle à une diode est supposé suffisant pour décrire les caractéristiques de la cellule photovoltaïque. De nombreuses chercheurs ont développé des méthodes pour résoudre ce modèle [2]. B. Fry [3] a développé une méthode explicite simplifiée en supposant que le courant photoélectrique est égal au courant du court-circuit. W. Zhou et al [4] introduisent le concept du facteur de forme (FF) pour résoudre le point de puissance maximum (P_p). D. L. King [5] a développé un modèle à reproduire la courbe I-V en utilisant trois importants points: court-circuit, circuit ouvert, et le point de puissance maximale sur la courbe I-V. W. Desoto et al [6] décrivent une méthode pour trouver ces paramètres en utilisant seulement les données disponibles dans les fiches techniques du module PV. La fiche technique d'un module photovoltaïque fournit les données nécessaires pour la modélisation dans les conditions de test standard (STC). Ces points sont: le courant de court-circuit, la tension de circuit ouvert, le point de puissance maximale, les coefficients de température du courant de court-circuit et de la tension de circuit ouvert. M. G. Villalva et al [7] définissent explicitement le facteur d'idéalité γ , puis résolvent les autres paramètres itérativement.

Dans ce travail, nous nous intéressons à comparer les méthodes numériques les plus utilisées de point de vue caractérisation des cellules solaires, à savoir : la méthode à quatre paramètres, la méthode à cinq paramètres et la méthode à deux diodes. Les performances de ces méthodes sont effectuées à différents éclaircissements ou/et températures pour trois modules photovoltaïques de différentes technologies (i.e., monocristallin, poly-cristallin et amorphe).

II. LE MODELE A CINQ PARAMETRES PROPOSE

Le modèle photovoltaïque à cinq paramètres contient une source de courant I_{ph} qui représente l'ensoleillement reçu par le soleil et une diode pour la modélisation de la jonction p-n de la cellule, une résistance série R_s et une résistance shunt R_{sh} .

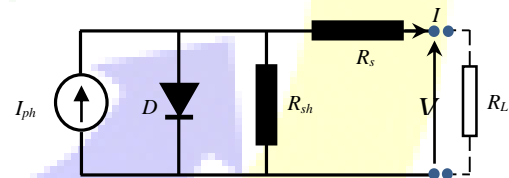


Fig.1 Circuit équivalent du modèle à cinq paramètres.

Fig. 1 présente le circuit équivalent correspondant à ce modèle. Comme il est montré dans Fig.1, le modèle à une seule diode avec une résistance parallèle R_{sh} décrit par l'équation non linéaire et implicite:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V+IR_s)}{\gamma k T_c} \right) - 1 \right] - \left(\frac{V+IR_s}{R_{sh}} \right) \quad (1)$$

Où q la charge électronique, k la constante de Boltzmann, T_c la température de la cellule, γ le facteur d'idéalité, I_{ph} la source de courant, I_0 le courant inverse de saturation de la diode, R_s la résistance série et R_{sh} la résistance shunt.

Les cinq paramètres apparaissant dans Eq. 1 correspondant aux conditions de tests standards sont: γ , I_0 , I_{ph} , R_s , et R_{sh} . En général, ces cinq paramètres dépendent du rayonnement solaire et de la température ambiante.

Trois couples des points de la caractéristique courant-tension sont normalement fournis par le fabricant: le courant de court-



circuit, la tension de circuit ouvert et le courant et la tension au point de puissance maximum. Nous obtenons l'ensemble d'équations suivantes employées pour identifier les paramètres inconnus:

➤ Courant de court-circuit: $I = I_{sc}$, $V = 0$

$$I_{sc} = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qR_s I_{sc}}{\gamma k T_c}\right) - 1 \right] - \left(\frac{R_s I_{sc}}{R_{sh}}\right) \quad (2)$$

➤ Tension de circuit ouvert: $I = 0$, $V = V_{oc}$

$$0 = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qV_{oc}}{\gamma k T_c}\right) - 1 \right] - \left(\frac{V_{oc}}{R_{sh}}\right) \quad (3)$$

➤ Point de puissance maximum: $I = I_p$, $V = V_p$

$$I_p = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V_p + R_s I_p)}{\gamma k T_c}\right) - 1 \right] - \left(\frac{V_p + R_s I_p}{R_{sh}}\right) \quad (4)$$

Dans [8], la méthode de Newton-Raphson a été choisie pour calculer la valeur de la résistance série et également son temps de convergence pour différentes valeurs initiales de la résistance série R_{s0} . B. Mustapha [8] a utilisé les équations suivantes, afin de calculer les cinq paramètres inconnus I_{ph} , I_0 , R_s et R_{sh} et la valeur du facteur d'idéalité γ est supposé constante:

$$I_{ph} = \det^{-1} \cdot (V_{oc} I_{sc} A - V_{oc} I_p B - V_p I_{sc} C) \quad (5)$$

$$I_0 = \det^{-1} \cdot (V_{oc} I_{sc} - V_{oc} I_p - V_p I_{sc}) \quad (6)$$

$$R_{sh}^{-1} = \det^{-1} \cdot [I_{sc} A - I_p B - (I_{sc} - I_p) C] \quad (7)$$

$$A = \exp\left(\frac{q(V_p + R_s I_p)}{\gamma k T}\right) - 1 \quad (8)$$

$$B = \exp\left(\frac{qR_s I_{sc}}{\gamma k T}\right) - 1 \quad (9)$$

$$C = \exp\left(\frac{qV_{oc}}{\gamma k T}\right) - 1 \quad (10)$$

Avec

$$\det = (V_{oc} - R_s I_{sc}) \cdot A + (-V_{oc} + V_p + R_s I_p) \cdot B + (-V_p + R_s [I_{sc} - I_p]) \cdot C \quad (11)$$

Il est évident que la dérivée de la puissance au point de puissance maximum est nulle:

$$\left. \frac{d(IV)}{dV} \right|_p = I_p - V_p \left. \frac{dI}{dV} \right|_p = 0 \quad (12)$$

Avec $dI/dV|_p$ est calculé par la relation suivante:

$$\left. \frac{dI}{dV} \right|_p = \left\{ \frac{-qI_0}{\gamma k T} \exp\left(\frac{q(V_p + I_p R_s)}{\gamma k T}\right) - \frac{1}{R_{sh}} / 1 + \frac{qI_0 R_s}{\gamma k T} \exp\left(\frac{q(V_p + I_p R_s)}{\gamma k T}\right) + \frac{R_s}{R_{sh}} \right\} \quad (13)$$

La dérivée de Eq. 1 par rapport à la tension peut être exprimée par:

$$\frac{dI}{dV} = - \left\{ R_s + \left(\frac{qI_0}{\gamma k T} \exp\left(\frac{q(V + R_s I)}{\gamma k T}\right) + \frac{1}{R_{sh}} \right)^{-1} \right\}^{-1} \quad (14)$$

Les auteurs introduisent Eq. 12 dans Eq. 14, puis ils définissent une fonction f_{R_s} donnée par:

$$f_{R_s} = I_p - (V_p - R_s I_p) \left(\frac{qI_0}{\gamma k T} \exp\left(\frac{q(V_p + R_s I_p)}{\gamma k T}\right) + \frac{1}{R_{sh}} \right) \quad (15)$$

$$V_T = \frac{q}{\gamma k T} \quad (16)$$

Dans ce travail, les auteurs modifient cette méthode pour calculer les quatre paramètres inconnus I_{ph} , I_0 , R_s et R_{sh} à différentes valeurs de facteur d'idéalité γ [9]. Ils changent pour chaque itération la valeur du facteur d'idéalité, pour choisir sa valeur qui donne une erreur relative minimale du point de puissance maximale [9].

Comme I_0 et R_{sh} dépendent de R_s , la fonction f_{R_s} l'est également. Pour calculer la résistance série R_s ; la résolution de l'équation non linéaire Eq. 15 est faite en utilisant la fonction f_{solve} contenue dans la boîte à outils de MatLab® [10]. On suppose que la valeur initiale de la résistance série pour les modules cristallins est donnée par la fonction d'approximation dans Eq. 17 [11].

$$R_{s0} = \frac{V_{oc,ref}}{I_{sc,ref}} \left(\alpha_1 \frac{I_{p,ref} V_{p,ref}}{I_{sc,ref} V_{oc,ref}} + \alpha_2 \frac{V_{p,ref}}{V_{oc,ref}} + \alpha_3 \frac{I_{p,ref}}{I_{sc,ref}} + \alpha_4 \right) \quad (17)$$

Avec: α_i ($i=1, 2, 3$ et 4) constant.

$$\alpha_i = \begin{cases} -5.411 \\ 6.45 \\ 3.417 \\ -4.422 \end{cases} \quad (18)$$

Et pour les autres types des modules, on suppose R_{s0} égale 0. Nous notons que Eq. 18 est indépendante des propriétés des matériaux de la cellule solaire [11].

III. VALIDATION LES RESULTATS DE SIMULATION DU MODELE PROPOSE AU STC

La performance du modèle proposé dans [9] dans des conditions de fonctionnement spécifiques à savoir 25°C et 1000 W/m² a été simulée pour différents types des modules photovoltaïques illustrés dans Tab. 1.

La puissance maximale pour le module PV de type BP MSX-60 et l'erreur relative de la puissance maximale décrit par le modèle proposé dans [9] en fonction du facteur d'idéalité, sont illustrés dans Figs. 2 et 3. Les nuages des points représentés sur Fig. 2 montrent que la valeur de facteur d'idéalité $\gamma = 1.257$ nous donne une puissance maximale à peu près égale à celle du fabricant.



Nous notons que la puissance maximale des modules PV étudiés aux conditions de test standard est calculée à partir du fiche technique par la multiplication du courant et de la tension maximum, c'est-à-dire, $P_p = I_p * V_p$. Le constructeur donne dans les conditions standard ($1000W/m^2$ avec $25^\circ C$) la valeur de la puissance maximale égale $59.85W$, et la simulation nous donne $P_p = 59.818W$. Toutefois, l'erreur relative de la puissance maximale est très faible 0.053% .

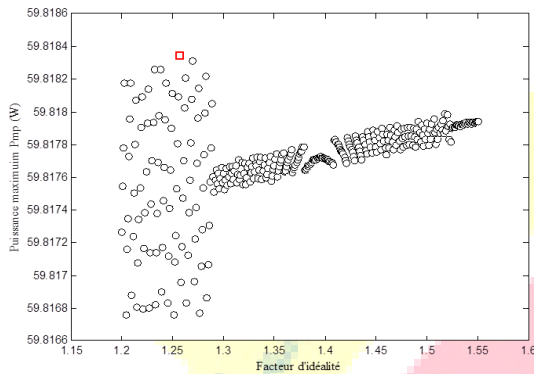


Fig. 2 La puissance maximale calculée pour différentes valeurs données du facteur d'idéalité à STC du module BP MSX-60.

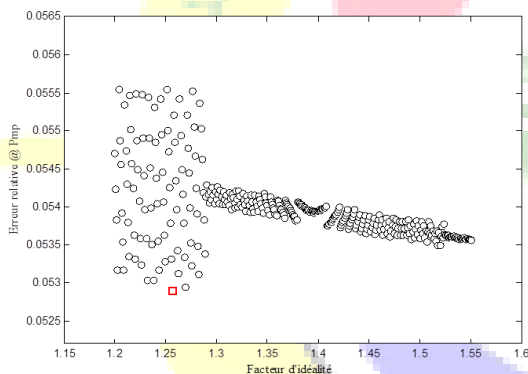


Fig. 3 L'erreur relative du point de puissance maximale à différentes valeurs du facteur d'idéalité γ à STC pour le module BP MSX-60.

Figs. 4 et 5 présentent les courbes $I-V$ et $P-V$, respectivement de toutes les valeurs acceptables (on néglige les négatives valeurs et les points illogiques) du module photovoltaïque BP MSX-60 à STC.

On constate que la majorité des valeurs simulées sont en très bon accord avec les trois points remarquables: courant de court-circuit, point de puissance maximale et tension en circuit ouvert.

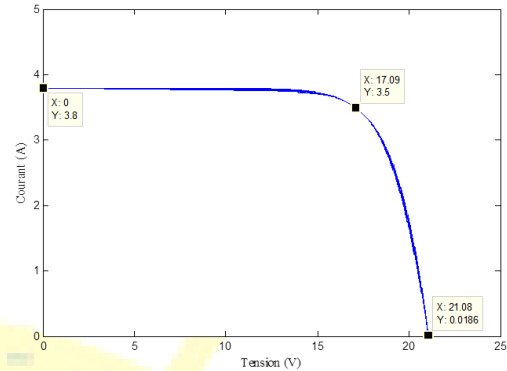


Fig. 4 Courbes courant-tension tracées à différentes valeurs du facteur d'idéalité γ à standard test de condition.

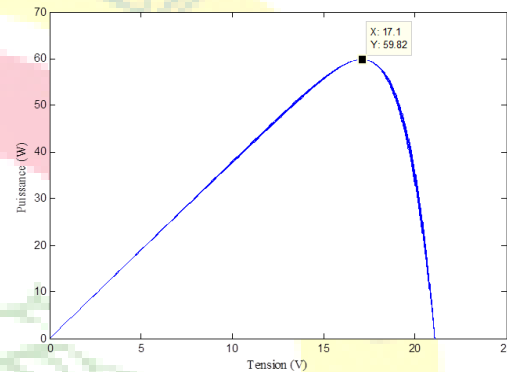


Fig. 5 Courbes puissance-tension tracées à différentes valeurs du facteur d'idéalité γ à standard test de condition.

IV. COMPARAISON DES MODELES PHOTOVOLTAÏQUES AVEC LE MODELE PROPOSE

En vue de vérifier le modèle proposé dans [9], une comparaison est effectuée avec le modèle à quatre paramètres [12], le modèle à cinq paramètres [7] et le modèle à deux diodes [13] en utilisant des mesures expérimentales extraites à partir de la fiche technique des modules photovoltaïques.

A. Le modèle à deux diodes

K. Ishaque et al [13] ont proposé une approche de modélisation pour le modèle à deux diodes et ils ont indiqué qu'une plus grande précision peut être obtenue en utilisant le modèle de sept paramètres, ce qui nécessite de calculer les paramètres: I_{ph} , I_{01} , I_{02} , R_{sh} , R_s , γ_1 et γ_2 . Pour simplifier cette méthode, ils proposent que le courant de saturation de recombinaison soit égal au courant de saturation de diffusion ($I_{01} = I_{02}$) et le facteur d'idéalité $\gamma_1 = 1$. Cependant, le facteur d'idéalité γ_2 peut être tiré à partir de l'équation :

$$\frac{\gamma_1 + \gamma_2}{p} = 1 \quad (19)$$



Où la variable p peut être choisi ≥ 2.2 .

La relation courant-tension du module photovoltaïque à deux diodes pour un éclairement et une température déterminée devient:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V+IR_s)}{kT}\right) + \exp\left(\frac{q(V+IR_s)}{(p-1)kT}\right) + 2 \right] - \frac{(V+IR_s)}{R_{sh}} \quad (20)$$

Pour calculer les deux courants de saturation I_{01} , I_{02} , ils proposent une modification de l'équation de courant de saturation proposée dans [7] et appliquer cette modification au modèle à deux diodes, comme le montre dans Eq. 21:

$$I_{01} = I_{02} = I_0 = \frac{(I_{sc,ref} + \mu I_{sc} \Delta T)}{\exp[q(V_{oc,ref} + \mu V_{oc} \Delta T) / ((\gamma_1 + \gamma_2) / p) \cdot kT] - 1} \quad (21)$$

$$I_{ph} \approx I_{sc} \quad (22)$$

Les deux autres paramètres de Eq. 20, i.e., R_s et R_{sh} sont obtenus par une méthode itération simultanément, où l'expression de R_{sh} peut s'écrire:

$$R_{sh} = \frac{V_p + I_p R_s}{\{I_{ph} - I_0 [\exp(q(V_p + I_p R_s) / kT) + \exp(q(V_p + I_p R_s) / (p-1)kT) + 2] - P_{p,exp} / V_p\}} \quad (23)$$

Selon l'égalité de la puissance maximale calculée et expérimentale, ils calculent de manière itérative et simultanément la valeur de la résistance série R_s et parallèle R_{sh} .

B. Modèle à cinq paramètres

M. G. Villalva et al [7] ont développé un modèle pour prédire les performances électriques des systèmes photovoltaïques sur la base du circuit électrique équivalent à une diode.

Dans leur méthode, pendant le processus d'estimation des paramètres, l'un des cinq paramètres, i.e., Le facteur de qualité γ , est explicitement spécifié et choisi arbitrairement (Généralement $1 \leq \gamma \leq 1.5$). Les autres paramètres sont calculés à l'aide des données de performance du module PV disponibles dans la fiche technique. Le photo-courant I_{ph} et le courant de saturation I_0 sont exprimés par:

$$I_0 = \frac{(I_{sc} + \mu I_{sc} \Delta T)}{\exp(q(V_{oc} + \mu V_{oc} \Delta T) / \gamma kT) - 1} \quad (24)$$

$$I_{ph,ref} = \frac{R_{sh} - R_s}{R_{sh}} I_{sc,ref} \quad (25)$$

Les résistances R_s et R_{sh} sont calculées par une méthode itérative qui assure que la puissance maximale calculée par Eq.

26 est égale à la puissance maximale expérimentale donnée dans la fiche technique.

Au cours du processus itératif, la résistance série R_s doit être incrémenté lentement à partir de $R_s = 0$ et pour chaque itération la valeur de R_{sh} est calculée simultanément par Eq. 27.

$$P_{p,cal} = P_{p,exp} = V_p \left\{ I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V_p + I_p R_s)}{\gamma kT}\right) - 1 \right] - \frac{(V_p + I_p R_s)}{R_{sh}} \right\} \quad (26)$$

$$R_{sh} = \frac{V_p + I_p R_s}{\left\{ I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V_p + I_p R_s)}{\gamma kT}\right) - 1 \right] - \frac{P_{p,exp}}{V_p} \right\}} \quad (27)$$

La valeur initiale de la résistance shunt R_{sh} est donnée par [7]:

$$R_{sh,inf} = \frac{V_p}{I_{sc} - I_p} - \frac{V_{oc} - V_p}{I_p} \quad (28)$$

C. Modèle à quatre paramètres

Le modèle à quatre paramètres est fondé sur l'hypothèse que la résistance shunt est suffisamment élevée et alors considéré comme infinie et négligée, les quatre paramètres inconnus sont: R_s , I_{ph} , I_0 et γ . Pour notre comparaison, nous utilisons le modèle à quatre paramètres proposés par R. Chenni et al [12]. Les chercheurs utilisent, la méthode de bisection pour extraire la valeur de la résistance série R_s puis les trois autres paramètres inconnus.

L'utilisation de la méthode de bisection nécessite une limite inférieure et une limite supérieure. Pour cela, la limite inférieure choisie de la résistance série est égale à zéro ($R_{s,inf}=0$), et la limite supérieur est mesurée par Eq. 29.

$$R_{s,sup} = \frac{1}{I_{p,ref}} \left[V_{oc,ref} - V_{p,ref} + \frac{kT_{c,ref}}{q} \ln \left(1 - \frac{I_{p,ref}}{I_{sc,ref}} \right) \right] \quad (29)$$

Le photo-courant est supposé égal au courant du court-circuit.

$$I_{ph,ref} = I_{sc,ref} \quad (30)$$

Pour les autres paramètres, Eqs. 31 et 32 sont utilisées:

$$\gamma_{inf} = \frac{q(V_{p,ref} - V_{oc,ref})}{kT_{c,ref} \ln \left[1 - \left(\frac{I_{p,ref}}{I_{sc,ref}} \right) \right]} \quad (31)$$

$$I_{0,inf} = I_{sc,ref} \exp \left(\frac{-qV_{oc,ref}}{\gamma_{inf} kT_{c,ref}} \right) \quad (32)$$

La méthode de bisection a utilisé les deux coefficients de la température de tension de circuit ouvert mesurés de façon expérimentale et théorique pour la convergence.

Le coefficient théorique de température de tension de circuit ouvert μ_{VOC} est calculé par :

$$\mu_{VOC} = \frac{\partial V_{oc}}{\partial T} = \frac{\gamma k}{q} \left[\ln \left(\frac{I_{sc}}{I_0} \right) + \frac{\mu I_{sc} T}{I_{sc}} - \left(3 + \frac{qE_g}{\gamma kT} \right) \right] \quad (33)$$



Le 4^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 4th International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 24 - 25 Octobre 2016



Cependant, il faut noter également que ce modèle n'a toujours pas donné des résultats acceptables. Dans certains modules photovoltaïques il donne des valeurs négatives pour la résistance série [14].

Dans cette section, le modèle à cinq paramètres proposés dans [9] est comparé avec les trois autres modèles présentés précédemment (i.e., Le modèle à quatre paramètres, le modèle à cinq paramètres et le modèle à deux diodes).

V. RESULTAT ET DISCUSSION

Tab. 1

Les spécifications photovoltaïques paramètres.

Modules	I_{sc} (A)	V_{oc} (V)	I_p (A)	V_p (V)	a_{isc} (mA/°C)	a_{voc} (mV/°C)	N_s
Shell S70 (Poly)	4.5	21.2	4.12	17	2	-76	36
Shell ST40 (Amorphe)	2.68	23.3	2.41	16.6	0.35	-100	36
Shell SQ150 (Mono)	4.8	43.4	4.4	34	1.4	-128	60

Pour vérifier et comparer les modèles précédents, trois modules photovoltaïques de différentes technologies (i.e., monocristallin, poly-cristallin et amorphe) sont étudiés. Les spécifications paramètres électriques des modules à STC sont résumées dans Tab. 1. Tabs. 2-5 présentent les paramètres électriques calculés par les quatre modèles.

Tab. 2

Les paramètres calculés par le modèle à quatre paramètres.

Module	S70	ST40	SQ150-PC
I_{ph}	4.5	2.68	4.8
γ	1.653	1.614	1.873
R_s	0.102	1.358	0.505
I_0	$4.289e^{-6}$	$4.473e^{-7}$	$1.435e^{-6}$

Tab. 3

Les paramètres calculés par le modèle proposé.

Module	S70	ST40	SQ150-PC
I_{ph}	4.502	2.682	4.808
γ	1.43	1.55	1.5
R_s	0.186	1.395	0.731
R_{sh}	353.49	1659.910	452.736
I_0	$4.889e^{-7}$	$2.348e^{-7}$	$3.350e^{-8}$

Tab. 4

Les paramètres calculés par le modèle à cinq paramètres.

Module	S70	ST40	SQ150-PC
I_{ph}	4.5	2.696	4.815
γ	1.3	1.3	1.3
R_s	0.25	1.51	0.84
R_{sh}	311.81	266.547	276.279
I_0	$9.89e^{-8}$	$1.029e^{-8}$	$1.888e^{-9}$

Tab. 5

Les paramètres calculés par le modèle à deux diodes.

Module	S70	ST40	SQ150-PC
I_{ph}	4.5	2.68	4.8
γ	1.40	1.3	1.3
R_s	0.35	1.71	1.05
R_{sh}	173.168	198.941	210.736
I_{oi}	$4.984e^{-10}$	$3.075e^{-11}$	$2.847e^{-12}$

Figs. 6-8 montrent une comparaison entre les quatre modèles présentés au-dessus et les tests expérimentaux pour trois modules photovoltaïques à différentes technologies de fabrication. Ces modules sont : Shell S70 du type poly-cristallin, SQ150 PC du type monocristallin et Shell ST40 du type amorphe. Les tests sont effectués à différents éclaircissements ou/et températures. Il faut noter que les données expérimentales sont obtenues à partir des fiches de données des modules. Les courbes $I-V$ pour une température et éclaircissement constant présentent une analogie acceptable entre les résultats obtenus par les quatre modèles et les données expérimentales en



particulier pour les modules poly-cristallin et monocristallin, et sur les trois points importants.

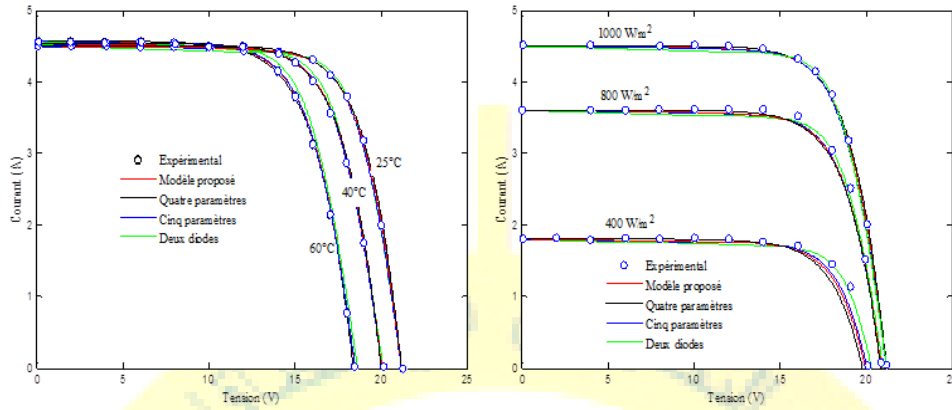


Fig. 6. Caractéristiques *I-V* du module Shell S70 pour différents éclairagements et températures.

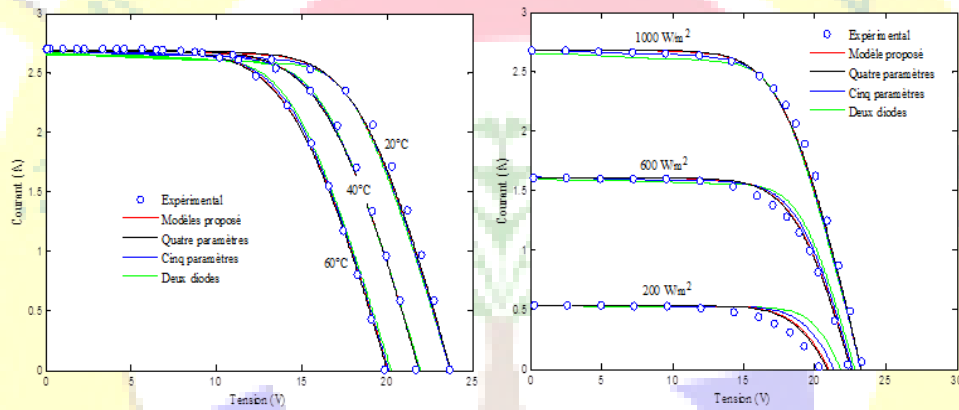


Fig. 7. Caractéristiques *I-V* du module Shell ST40 pour différents éclairagements et températures.

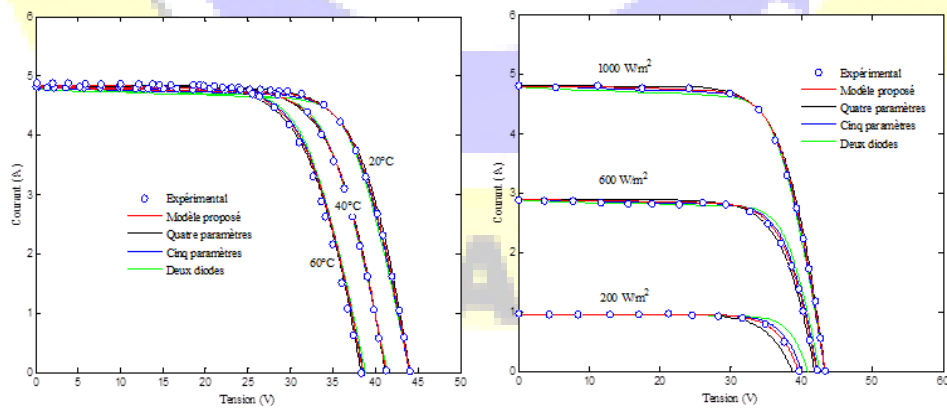


Fig. 8. Caractéristiques *I-V* du module SQ150PC pour différents éclairagements et températures.



Nous remarquons, que le modèle à deux diodes et le modèle à cinq paramètres sont les modèles les moins précis aux trois points remarquables à 40 et à 60°C par rapport aux deux autres modèles. Cette remarque est logique, parce que la valeur du facteur d'idéalité est supposée fixe dans le modèle à cinq paramètres et le modèle à deux diodes d'une part et d'autre part, les valeurs du courant de saturation de recombinaison et de diffusion sont supposées égales dans le modèle à deux diodes. Par conséquent, la valeur de facteur d'idéalité influe sur le point de puissance maximale et la valeur du courant de saturation influe dans la zone de tension et particulièrement sur le point de tension de circuit ouvert. Pour cela on remarque une déviation intéressante suivant ces deux modèles.

Le modèle proposé dans [9] et le modèle à quatre paramètres [12] sont les modèles les plus précis. L'erreur relative du point de puissance maximum, du courant de court-circuit et de la tension de circuit ouvert pour les trois modules est inférieure de 1%.

L'erreur relative du P_p , I_{sc} et V_{oc} à l'éclairement de référence (1000 W/m²) est inférieure de 0.16% pour tous les modules photovoltaïques sauf celle du module S70 qui présente une erreur relative de P_p égale 1.18%.

Cependant, comme l'éclairement est réduit, les quatre modèles donnent un écart significatif de P_p pour les trois technologies, particulièrement pour le module amorphe.

En général, le modèle proposé dans [9] est précis dans le calcul de la puissance maximale pour les modules poly et monocristallin à toutes les valeurs de l'éclairement. Également, l'erreur relative de P_p est inférieure de 2.5 %. Cependant, à éclairement réduit l'erreur est très remarquable et pourrait atteindre plus de 17% pour le module amorphe.

En outre, les quatre modèles sont précises pour calculer le courant de court-circuit pour les différentes techniques en particulier à éclairement de référence, mais à différents éclairements les précisions diminuent, mais restent acceptables et inférieures de 1.3%.

L'erreur relative de V_{oc} est inférieure de 0.15 % à la température de référence 25°C. En outre, à différents éclairements la précision du modèle proposé reste acceptable, elle est inférieure à 0.6%, 0.06% et 3.3% pour les modules S70, SQ150PC et ST40, respectivement.

VI. CONCLUSIONS

Dans ce travail, une approche générale concernant la modélisation des modules photovoltaïques est présentée. Trois types de modules photovoltaïques ont été modélisés et évalués (i.e., monocristallin, poly-cristallin et amorphe). La précision des quatre modèles sont également analysées par la comparaison avec les données expérimentales fournies par le constructeur.

En effet, les paramètres caractéristiques du matériau peuvent influencer fortement sur la courbe $I-V$ de telle sorte qu'une

approximation fixée pour une technologie donnée peut ne pas être adaptée à une autre. Par conséquent, quelques hypothèses sont remarquées :

- ✓ L'hypothèse qui suppose $\gamma_1=1$ et $\gamma_2=2$ dans le modèle à deux diodes comme indiqué dans [13] n'est pas toujours vraie et la précision du modèle va diminuer dans la zone de puissance.
- ✓ En outre, L'hypothèse qui suppose $I_{01}=I_{02}$, serait incorrecte parce que la recherche montre que I_{02} est plus grand de trois à quatre fois que I_{01} [13] et la précision du modèle va diminuer dans la zone de tension.

Par conséquent, il faut calculer tous les paramètres inconnus sans fixer l'un des paramètres.

REFERENCES

- [1] D. S. H. Chan, Jacob. C. H. Phang, "Analytical methods for the extraction of solar-cell single- and double-diode model parameters from I- V characteristics", IEEE Transactions on Electron Devices, Vol. 34, No. 2, pp. 286-293, 1987.
- [2] A. Jain, A. Kapoor, "Exact analytical solutions of the parameters of real solar cells using lambert W-function", Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 81, pp. 269-277, 2004.
- [3] B. Fry, "Simulation of grid-tied building integrated photovoltaic systems," M.S. Thesis, Mechanical Engineering, University of Wisconsin-Madison, 1998.
- [4] W. Zhou, H. Yang, F. Fang, "A novel model for photovoltaic array performance prediction", Applied Energy, Vol. 84, pp. 1187-1198, 2007.
- [5] D. L. King, "Photovoltaic module and array performance characterization methods for all system operating conditions", Aip Conference Proceedings, Vol. 394, 347-368, 1997.
- [6] W. Desoto, S. Klein, W. Beckman, "Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance", Solar Energy, Vol. 80, pp. 78-88, 2006.
- [7] M. G. Villalva, J. R. Gazoli, E. R. Filho, "Modeling and circuit-based simulation of photovoltaic arrays", In: Proceedings of the 10th Brazilian power electronics conference (COBEP), 2009.
- [8] B. Mustapha, "Modélisation et simulation d'un système de pompage photovoltaïque", Thèse de Magistère, Université d'Oran, Algérie, 2006.
- [9] Aoun, N., Chenni, R., Nahman, B. and Bouchouicha, K, "Evaluation and Validation of Equivalent Five-Parameter Model Performance for Photovoltaic Panels Using Only Reference Data", Energy and Power Engineering, Vol. 6, pp. 235-245, 2014.
- [10] A. Quarteroni, F. Saleri, P. Gervasio, "Calcul scientifique cours, exercices corrigés et illustrations en Matlab et Octave", 2nd ed, Springer-Verlag, Italia, 2010.
- [11] A. Wagner, "Peak-power and internal series resistance measurement under natural ambient conditions. Proceedings EuroSun, Copenhagen, pp. 1-7, 19-22 June 2000.
- [12] R. Chenni, M. Makhlof, T. Kerbache, A. Bouzid, "A detailed modeling method for photovoltaic cells", Energy, Vol. 32, pp. 1724-1730, 2007.
- [13] K. Ishaque, Z. Salam, T. Hamed, "Simple, fast and accurate two-diode model for photovoltaic modules," Solar Energy Mater and Solar Cells, Vol. 95, No. 2, pp.586-594, 2011.
- [14] N. Aoun, "Etude et modélisation des différents modèles de la Cellule photovoltaïque établis sur base de valeurs nominales", Thèse de Magistère, université de Constantine, 2010.



Le 4^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et
Renouvelables

The 4th International Seminar on New and Renewable
Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algeria 24 - 25 Octobre 2016

