

Méthode de réduction pour le calcul des paramètres de l'équation caractéristique d'un module photovoltaïque

Abdelhamid M'Raoui *

Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER
B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzareah 16340, Alger, Algeria

(reçu le 15 Novembre 2018 - accepté le 20 Décembre 2018)

Résumé - Il est nécessaire de fournir des outils efficaces pour l'estimation et la prévision de l'énergie électrique produite par les modules photovoltaïques. Le modèle à une diode est le plus utilisé actuellement pour décrire le comportement électrique d'un module photovoltaïque. Dans ce travail, nous proposons une méthode de réduction pour le calcul des paramètres du modèle en utilisant les données fournies par le fabricant. La méthode permet de résoudre un système de deux équations au lieu du système plus important à cinq équations et cinq inconnus. Pour un module qui a déjà fonctionné durant quelques années, les paramètres calculés du modèle ne sont pas fiables. Il est nécessaire de les recalculer selon l'état actuel du module. Nous avons développé une méthode de réduction permettant de le faire. La méthode a donné de bons résultats avec un temps de calcul relativement correct.

Abstract - It is necessary to provide efficient tools for estimating and predicting the electrical energy produced by a photovoltaic module. The single diode model is currently the most used model to describe the electrical curve layout of a photovoltaic module. In this work, we propose a reduced-form of the five parameters model. The method solves a system of two equations instead of the larger system of five equations and five unknown equations, using only the data available from manufacturer datasheet. For a module that has already operated for a few years, the calculated parameters of the model do not describe the experimental data. It is necessary to recalculate them according to the current state of the module. We have developed a reduction method to do this. The method gave good results with a relatively correct calculation time.

Mots clés: Module PV - Estimation - Prévision - Méthode de réducteur - Paramètres du module - Equation caractéristique.

1. INTRODUCTION

Durant les dernières décennies, l'énergie solaire photovoltaïque a connu une assez grande expansion en Algérie. Il est donc nécessaire de fournir des outils efficaces pour l'estimation et la prévision de l'énergie électrique produite par les modules photovoltaïques (PV) dans les conditions climatiques particulières.

Ce travail n'est pas aisé à effectuer, car l'énergie solaire photovoltaïque PV dépend de facteurs météorologiques et environnementaux (température, rayonnement, conditions du ciel, etc.) qui ne sont pas facilement prévisibles. De plus, la technologie et la technique de fabrication du module PV est un autre point à prendre en considération. Dans tous les cas, pour prévoir efficacement l'énergie produite, il est très important d'utiliser un modèle PV adéquat qui donne les sorties courant et tension dans les conditions réels de fonctionnement [1-3].

Parmi tous les modèles adoptés dans la littérature, le modèle à une diode (aussi appelé modèle à cinq (05) paramètres) est le plus utilisé, puisqu'il donne une précision relativement bonne avec une faible complexité [4, 5]. Le succès du modèle à une diode

* a.mraoui@cder.dz

est aussi prouvé par son utilisation dans des logiciels pour l'estimation et la prédiction de la puissance électrique produite des centrales photovoltaïques [6, 7].

L'utilisation du modèle à une diode requière deux principales étapes. La première est l'extraction des cinq paramètres du modèle dans les conditions standard de référence (SRC). La seconde étape est l'utilisation d'équations adéquates pour exprimer la dépendance des paramètres trouvés en fonction des conditions météorologiques et radiométriques, de telles sortes que le modèle puisse décrire correctement la courbe $I-V$ du module PV.

En ce qui concerne l'extraction des cinq paramètres, deux approches sont généralement utilisées, l'une basée sur l'utilisation des données fournies par le fabricant dans la fiche technique du module PV et l'autre est basé sur l'utilisation de mesures de la courbe $I-V$ à différentes conditions.

Le principal avantage de la première méthode est l'utilisation de données librement accessibles sans recourir à une dépense supplémentaire qui augmenterait le coût de l'installation. Les premiers à proposer cette approche sont De Soto *et al.*, [5]. La méthode proposée utilise la résolution de cinq équations aux cinq inconnues du modèle en utilisant une résolution numérique basé sur la méthode de Newton. Il a été démontré que le système est instable et converge parfois vers des solutions n'ayant aucun sens physique; la solution dépend étroitement des hypothèses initiales [8, 9].

Le nombre de travaux effectué dans ce domaine prouve la pertinence du problème et la nécessité de trouver des solutions fiables et physiquement interprétables. Dans Li *et al.*, [9], la comparaison entre plusieurs techniques d'identification du modèle à cinq paramètres est présentée en utilisant les critères de convergence, de stabilité, de vitesse de calcul et d'erreur sur différents types de données $I-V$. Laudani *et al.*, [4] proposent de scinder les inconnues du modèle à cinq paramètres de manière indépendante et dépendante pour obtenir une forme réduite composée de deux paramètres, améliorant ainsi l'efficacité de l'algorithme de résolution.

Le test standard d'un module photovoltaïque fournit la tension de circuit ouverts (V_0), courant de court circuit (I_{sc}), la tension à la puissance maximale (V_{mp}), le courant à la puissance maximale (I_{mp}), aux conditions standard de rayonnement de 1000 W/m^2 et de température de 25°C . D'autres constantes, comme le coefficient de température du courant de court-circuit (α) et le coefficient de température de la tension de circuit ouvert (β) sont fournies dans la fiche technique du module photovoltaïque de l'équation (1).

$$I = I_{lsrc} - I_{0src} \times \left(e^{\left(\frac{(V + R_{Ssrc} \cdot I)}{a_{src}} \right)} - 1 \right) - \frac{(V + R_{Ssrc} \cdot I)}{R_{Shsrc}} \quad (1)$$

avec, I_{lsrc} , I_{0src} , R_{Ssrc} , R_{Shsrc} , a_{src} en utilisant ces seules informations.

Nous avons testé différentes méthodes de calcul des cinq paramètres. Les résultats dépendent en grande partie des conditions initiales et de la robustesse de la méthode de résolution du système. Il a été remarqué que les méthodes proposées par les auteurs sont pratiquement valides pour les cas étudiés (pour les autres cas, les méthodes donnent une déviation plus ou moins importante).

Dans cette étude, nous allons proposer une nouvelle méthode d'extraction des cinq paramètres en utilisant une forme réduite du système d'équation. Nous proposons de fournir une méthode mathématiquement stable dans la majorité des cas. La méthode que nous proposons assurera que les caractéristiques mesurées par le constructeur sont parfaitement décrites par le modèle à une diode. En effet, les méthodes proposées par certains auteurs dévient des données fournies pour garantir la convergence du système ou une interprétation selon les hypothèses de départ.

La formulation du modèle à une diode sera présentée par la dépendance des différents paramètres selon les conditions environnementales, sera exposée. Il est nécessaire de poser cinq (05) équations indépendantes linéairement pour résoudre le problème. Une manipulation mathématique des équations sera entreprise afin de bien formuler le problème.

Par la suite une méthode de réduction des paramètres du système sera proposée. La méthode sera basée sur l'extraction de deux paramètres clé en fonction des autres. La méthode aura pour but de fournir une stabilité au système avec le minimum de variables inconnues.

2. METHODE DE REDUCTION POUR LE CALCUL DES PARAMETRES DU MODULE

L'équation caractéristique d'un module photovoltaïque est

$$I = I_{lsrc} - I_{0src} \times \left(e^{\left(\frac{(V + R_{Ssrc} \cdot I)}{a_{src}} \right)} - 1 \right) - \frac{(V + R_{Ssrc} \cdot I)}{R_{Shsrc}} \quad (1)$$

avec, I est le courant, V est la tension, I_{lsrc} est le photo-courant aux conditions standards (standard rating conditions), I_{0src} est le courant de diode aux conditions standards, R_{Ssrc} est la résistance série aux conditions standards, R_{Shsrc} est la résistance shunt aux conditions standards, a_{src} est le facteur d'idéalité de la diode aux conditions standards.

La résolution de l'équation (1) donne l'équation suivante:

$$I = \frac{1}{R_{Ssrc}} \left(-W \left(-\frac{I_{0src} R_{Ssrc} R_{Shsrc} e^{\frac{R_{Shsrc} (I_{0src} R_{Ssrc} + I_{lsrc} R_{Ssrc} + V)}{a_{src} (R_{Ssrc} + R_{Shsrc})}}}{-R_{Ssrc} a_{src} - a_{src} R_{Shsrc}} \right) + \frac{R_{Shsrc} (I_{0src} R_{Ssrc} + I_{lsrc} R_{Ssrc} + V)}{a_{src} (R_{Ssrc} + R_{Shsrc})} \right) a_{src} - V \quad (2)$$

W est la fonction de Lambert définie par $W(x)e^x = x$.

-Le photo-courant est exprimé par la relation suivante

$$I_l = \frac{G I_{lsrc}}{G_{src}} + \alpha (T - T_{src}) \quad (3)$$

où, G_{src} et T_{src} sont respectivement le rayonnement solaire et la température aux conditions standards, 1000 W/m^2 et $25 \text{ }^\circ\text{C}$; et α le coefficient de température du courant de court-circuit.

-Le courant de diode est exprimé par l'expression suivante,

$$I_0 = \frac{I_{lsrc} T^3 e^{\frac{E_g(T_{src})}{kT_{src}} - \frac{E_g(T)}{kT}}}{T_{src}^3} \quad (4)$$

-La résistance série est la suivante $R_S = R_{Ssrc}$

-Le facteur de diode exprimé comme cela: $a = T_{asrc} / T_{src}$ (5)

-La résistance shunt est la suivante- $R_{Sh} = G_{src} R_{Shsrc} / G$ (6)

$$E_g = E_{gsrc} (1 - 0.00002677T + 0.0002677T_{src}) \quad (7)$$

avec, $E_{gsrc} = 1.121$

-La tension de circuit ouvert- $V_{oc} = V_{ocsrc} + \beta(T - T_{src})$ (8)

avec, β représentant le facteur de la tension de circuit ouvert.

Pour résoudre le problème, il faudrait un ensemble de cinq (05) équations pour retrouver les (05) inconnues, I_{lsrc} , I_{0src} , R_{Ssrc} , R_{Shsrc} et a_{src} .

- La première équation est l'équation (1) de la tension de circuit ouvert, ($I = 0$, $V = V_{oc}$)

$$0 = I_{lsrc} - I_{0src} \left(e^{\frac{V_{ocsrc}}{a_{src}}} - 1 \right) - \frac{V_{ocsrc}}{R_{Shsrc}} \quad (9)$$

- La seconde équation du courant de court-circuit est,

$$I_{ssrc} = I_{lsrc} - I_{0src} \left(e^{\frac{R_{Ssrc} I_{ssrc}}{a_{src}}} - 1 \right) - \frac{R_{Ssrc} I_{ssrc}}{R_{Shsrc}} \quad (10)$$

- La troisième équation est l'équation (1) relative à la tension et du courant au point de puissance maximale.

$$I_{mpsrc} = I_{lsrc} - I_{0src} \left(e^{\frac{R_{Ssrc} I_{mpsrc} + V_{mpsrc}}{a_{src}}} - 1 \right) - \frac{R_{Ssrc} I_{mpsrc} + V_{mpsrc}}{R_{Shsrc}} \quad (11)$$

- La quatrième équation est la condition au point de puissance maximale, la dérivée de la puissance doit être nulle. En posant $F(I, V) =$ équation (1), nous avons-

$$\frac{I_{mpsrc}}{V_{mpsrc}} = - \frac{\frac{\partial F(I_{mpsrc}, V_{mpsrc})}{\partial V_{mpsrc}}}{1 - \frac{\partial F(I_{mpsrc}, V_{mpsrc})}{\partial I_{mpsrc}}} \quad (12)$$

- La cinquième équation est l'hypothèse posée par De Soto *et al.*, [5], où l'influence d'un petit incrément de température n'a aucun effet sur l'équation (1) à la tension de circuit ouvert,

$$0 = I_1(T', G_{src}) - I_0(T') \times \left(e^{\left(\frac{V_{oc}(T')}{a(T')} \right)} - 1 \right) - \frac{V_{oc}(T')}{R_{Shsrc}} \quad (13)$$

Avec, $T' = T_{src} + \Delta T$, où De Soto *et al.*, suggèrent $\Delta T = 5^\circ C$.

➤ L'équation précédente devient alors,

$$0 = \alpha \Delta T + I_{lsrc} - \frac{1}{T_{src}^3} I_{0src} (T_{src} - \Delta T)^3 \times e^{\frac{E_{gsrc}}{k T_{src}} - \frac{E_{gsrc} \times (1 - 0.0002677 \Delta T)}{k (T_{src} - \Delta T)}} \left(e^{\frac{(\beta \Delta T + V_{ocsrc}) T_{src}}{(T_{src} + \Delta T) a_{src}}} - 1 \right) - \frac{\beta \Delta T + V_{ocsrc}}{R_{Shsrc}} \quad (14)$$

2.1 Réduction des équations

En combinant les équations (9), (10) et (11), il est possible d'isoler I_{lsrc} , I_{0src} , R_{Shsrc} en fonction de R_{Ssrc} et a_{src} seulement.

$$I_{0src} = \frac{I_{mpsrc} V_{ocsrc} + I_{Scpsrc} V_{mpsrc} - I_{Scpsrc} V_{ocsrc}}{\left(\begin{array}{l} \frac{V_{ocsrc}}{R_{Ssrc} I_{mpsrc} \cdot e^{\frac{V_{ocsrc}}{a_{src}}} - R_{Ssrc} I_{mpsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{Scsrc}}{a_{src}}} - R_{Ssrc} I_{Scsrc} \cdot e^{\frac{V_{ocsrc}}{a_{src}}} \\ + R_{Ssrc} I_{Scsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{mpsrc} + V_{mpsrc}}{a_{src}}} + V_{mpsrc} \cdot e^{\frac{V_{ocsrc}}{a_{src}}} - V_{mpsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{Scsrc}}{a_{src}}} \\ - V_{ocsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{mpsrc} + V_{mpsrc}}{a_{src}}} + V_{ocsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{Scmpsrc}}{a_{src}}} \end{array} \right)} \quad (15)$$

$$I_{lsrc} = \frac{\left(\begin{array}{l} \frac{R_{Ssrc} I_{Scsrc}}{I_{mpsrc} V_{ocsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{Scsrc}}{a_{src}}} + I_{Scsrc} V_{mpsrc} \cdot e^{\frac{V_{ocsrc}}{a_{src}}} - I_{Scsrc} V_{ocsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{mpsrc} + V_{mpsrc}}{a_{src}}} \\ - I_{mpsrc} V_{ocsrc} - I_{Scsrc} V_{mpsrc} + I_{Scsrc} V_{ocsrc} \end{array} \right)}{\left(\begin{array}{l} \frac{V_{ocsrc}}{R_{Ssrc} I_{mpsrc} \cdot e^{\frac{V_{ocsrc}}{a_{src}}} - R_{Ssrc} I_{mpsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{Scsrc}}{a_{src}}} - R_{Ssrc} I_{Scsrc} \cdot e^{\frac{V_{ocsrc}}{a_{src}}} \\ + R_{Ssrc} I_{Scsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{mpsrc} + V_{mpsrc}}{a_{src}}} + V_{mpsrc} \cdot e^{\frac{V_{ocsrc}}{a_{src}}} - V_{mpsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{Scsrc}}{a_{src}}} \\ - V_{ocsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{mpsrc} + V_{mpsrc}}{a_{src}}} + V_{ocsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{Scmpsrc}}{a_{src}}} \end{array} \right)} \quad (16)$$

$$R_{Shsrc} = - \frac{\begin{pmatrix} R_{Ssrc} I_{mpsrc} \cdot e^{\frac{V_{ocsrc}}{a_{src}}} - R_{Ssrc} I_{mpsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{scsrc}}{a_{src}}} - R_{Ssrc} I_{scsrc} \cdot e^{\frac{V_{ocsrc}}{a_{src}}} \\ + R_{Ssrc} I_{scsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{mpsrc} + V_{mpcsrc}}{a_{src}}} + V_{mpsrc} \cdot e^{\frac{V_{ocsrc}}{a_{src}}} - V_{mpsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{scsrc}}{a_{src}}} \\ - V_{ocsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{mpsrc} + V_{mpcsrc}}{a_{src}}} + V_{ocsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{scsrc}}{a_{src}}} \end{pmatrix}}{I_{mpsrc} \cdot e^{\frac{V_{ocsrc}}{a_{src}}} - I_{mpsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{scsrc}}{a_{src}}} - I_{scsrc} \cdot e^{\frac{V_{ocsrc}}{a_{src}}} + I_{scsrc} \cdot e^{\frac{R_{Ssrc} I_{mpsrc} + V_{mpcsrc}}{a_{src}}}} \quad (17)$$

Nous avons à notre disposition le module photovoltaïque Solara SM-200 dont les caractéristiques fournies par le constructeur sont:

Tableau 1: Caractéristiques du module Solara SM-200

Caractéristique	Valeur
V_{mpsrc}	17.6 V
I_{mpsrc}	3.13 A
V_{ocsrc}	21.3 V
I_{scsrc}	3.4 A
α	$0.25 \cdot 10^{-3} \text{ 1/K}$
β	$-0.37 \cdot 10^{-2} \text{ 1/K}$
γ	$-0.43 \cdot 10^{-2} \text{ 1/K}$

En remplaçant les équations (15), (16) et (17) dans (12) et (13), nous obtenons:

$$\frac{(-1.940057a_{src} - 270.445 + 48.096185R_{Ssrc})e^{\frac{3.130R_{Ssrc} + 17.6}{a_{src}}} - 12.359943a_{src} \cdot e^{\frac{3.4R_{Ssrc}}{a_{src}}} + 14.3a_{src}e^{\frac{21.3}{a_{src}}}}{(-106.5a_{src} - 270.445R_{Ssrc})e^{\frac{3.130R_{Ssrc} + 17.6}{a_{src}}} + 18.5a_{src}e^{\frac{3.4R_{Ssrc}}{a_{src}}} + 88a_{src}e^{\frac{21.3}{a_{src}}}} = 0 \quad (18)$$

$$\frac{\begin{pmatrix} (-0.00425R_{Ssrc} + 0.089525) \cdot e^{\frac{3.130R_{Ssrc} + 17.6}{a_{src}}} + (0.0039125R_{Ssrc} - 0.06253) \cdot e^{\frac{3.4R_{Ssrc}}{a_{src}}} \\ + (0.0003375a_{src} - 54.115995) \cdot e^{\frac{21.3}{a_{src}}} - 69.57793 + 123.66693e^{\frac{20.930494}{a_{src}}} \end{pmatrix}}{(-3.4R_{Ssrc} - 2.3)e^{\frac{3.130R_{Ssrc} + 17.6}{a_{src}}} + (3.13R_{Ssrc} + 3.7) \cdot e^{\frac{3.4R_{Ssrc}}{a_{src}}} + (0.27R_{Ssrc} + 17.6)e^{\frac{21.3}{a_{src}}}} = 0 \quad (19)$$

Il est plus simple de résoudre le système (18), (19) qui ne contient que deux (02) inconnues qu'un système à cinq (05) équations avec cinq (05) inconnues.

La figure 1 illustre les variables R_{Ssrc} et a_{src} dans leur domaine respectif. L'existence de la solution est donc prouvée et son unicité aussi. La solution des deux (02) équations devrait donner une solution unique et physiquement valable.

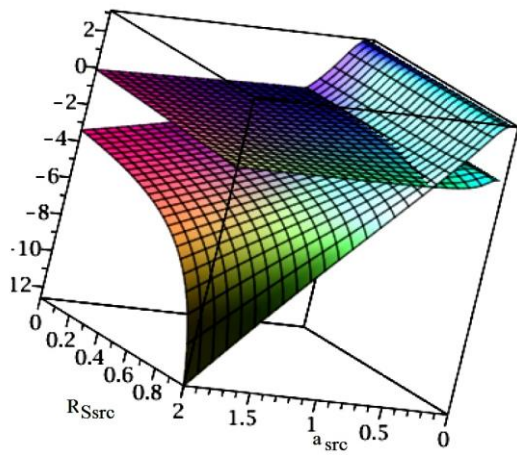


Fig. 1: R_{Ssrc} et a_{src}

La solution des équations (18) et (19) donne $R_{Ssrc}=0.665$ et $a_{src} = 0.447$. En remplaçant les deux (02) valeurs dans les équations (15), (16) et (17), nous obtenons $I_{0src} = 6.509110^{-21}$, $I_{lsrc} = 3.424$ et $R_{shsrc}=94.384$.

Les courbes de la figure 2 montrent la différence entre le modèle et les mesures réelles. Il est nécessaire d'utiliser une autre méthode, basé sur les expérimentations, afin d'estimer les paramètres du modèle à une diode.

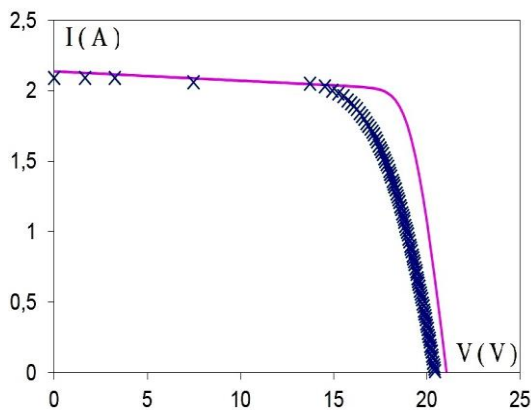


Fig. 2: Courbe théorique obtenue avec le modèle et les résultats expérimentaux à $626W/m^2$ et $T_{pv} = 32^{\circ}C$

**3. CALCUL DES PARAMETRES POUR
LE MODULE Solara SM-200**

Dans les essais que nous avons effectués, le panneau photovoltaïque avait quelques années de fonctionnement. Il est normal de constater une dégradation des performances de ce dernier. Il est admis que le panneau perd environ 0.5 % de puissance par année de fonctionnement. Toutefois le panneau n'a pas beaucoup fonctionné, la majorité du temps il n'était connecté à aucune source.

Pour déterminer les paramètres du panneau, une campagne de mesures a été effectuée. La figure 3 montre quelques courbes obtenues en utilisant un dispositif pour tracer la caractéristique $I-V$ du module. Le dispositif électronique a été conçu au laboratoire, il mesure la caractéristique $I-V$ du module Solara SM-200 à 10 minutes d'intervalle. Le module a été monté à l'extérieur, le rayonnement solaire et la température du panneau sont aussi enregistrés.

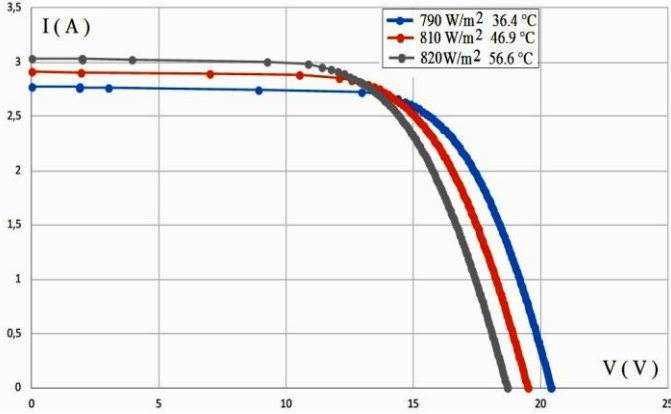


Fig. 3: Courbes expérimentales

Afin de calculer les nouveaux paramètres I_{lsrc} , I_{0src} , R_{Ssrc} , R_{Shsrc} , a_{src} , une méthode de réduction des équations a été élaborée. La méthode est identique aux manipulations précédentes, sauf que pour calculer R_S et a , on utilise la courbe $I-V$ pour chaque température et éclairement. Il s'agit donc de calculer le minimum de la fonction.

$$F(a, R_S) = \sum_{k=0}^n \left(I(k) - \left(I_l - I_0 \cdot \left(e^{\frac{(V(k) + R_S \cdot I_l(k))}{a}} - 1 \right) - \frac{(V(k) + R_S \cdot I_l(k))}{R_{Sh}} \right) \right)^2 \quad (20)$$

Dans cette technique, il s'agit de calculer I_{li} , I_{0i} , R_{Si} , R_{Shi} , a_i pour chaque paire de rayonnement G_i et température T_i . I_{lsrc} , I_{0src} , R_{Ssrc} , R_{Shsrc} , a_{src} , sont obtenus en effectuant une régression en fonction de la température et du rayonnement aux conditions standard. Après calcul, nous avons obtenu $I_{lsrc} = 3.315$, $I_{0src} = 2.21410^{-7}$, $R_{Ssrc} = 0.6822$, $R_{Shsrc} = 29563$ et $a_{src} = 1.2805$.

4. CONCLUSION

Dans ce travail, une méthode de calcul des cinq paramètres du modèle bien connu du module photovoltaïque à une diode a été proposée. La première approche détermine les paramètres à partir des données fournis par le constructeur. La seconde approche est basée sur des expérimentations de caractérisation du module photovoltaïque à différentes conditions externes.

La méthode permet de calculer rapidement et efficacement les paramètres du modèle, toutefois l'algorithme peut diverger pour certains modules où il n'est pas possible d'extraire ces paramètres à partir des données constructeur.

La seconde approche est à privilégier dans ce cas. Les écarts entre les courbes théoriques et expérimentales sont attribués à la performance du modèle à une diode.

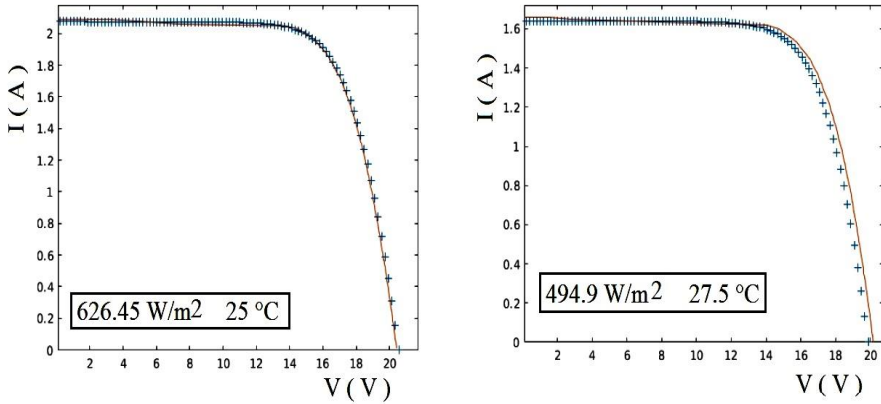


Fig. 4: Courbes expérimentales et modèle à une diode

La méthode que nous proposons est simple par le fait que nous recherchons seulement à résoudre deux (02) équations à deux (02) inconnues au lieu d'un système de cinq équations à cinq (05) inconnus. Il est donc possible, dans notre méthode, de visualiser graphiquement le domaine de recherche de la solution et s'assurer visuellement de sélectionner la bonne solution parmi les différentes solutions disponibles dans tout le domaine de recherche.

Pour la seconde méthode, nous recherchons à minimiser la fonction objective, qui est la somme des écarts entre les points expérimentaux et le modèle, avec seulement deux variables au lieu de travailler avec cinq. Il est aussi possible de visualiser la solution et de s'affranchir des minimums locaux pour sélectionner le minimum global ayant un sens physique au système.

Nous prévoyons de tester l'algorithme que nous avons développé avec une plus large base de données de modules photovoltaïque pour le comparer aux autres algorithmes publiés par différents auteurs. Selon nos tests, nous avons obtenus une convergence assez rapide avec peu d'étapes de calculs. Toutefois il est possible d'optimiser le processus de calcul pour le rendre plus performant. Les méthodes développées dans le cadre de ce travail sont simples, efficaces.

REFERENCES

- [1] P. Zhang, W. Li, S. Li, Y. Wang, and W. Xiao, 'Reliability assessment of photovoltaic power systems: Review of current status and future perspectives', *Applied Energy*, Vol. 104 (C), pp. 822 – 833, 2013.
- [2] G. Velasco-Quesada, F. Guinjoan-Gispert, R. Pique-Lopez, M. Roman-Lumbreras, and A. Conesa-Roca, 'Electrical PV Array Reconfiguration Strategy for Energy Extraction Improvement in Grid-Connected PV Systems', *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 56, N° 11, pp. 4319 – 4331, 2009.
- [3] J. Hernandez, G. Gordillo, and W. Vallejo, 'Predicting the behavior of a grid-connected photovoltaic system from measurements of solar radiation and ambient temperature', *Applied Energy*, Vol. 104, pp. 527 – 537, 2013.

- [4] A. Laudani, F. Riganti Fulginei, and A. Salvini, '*Identification of the one-diode model for photovoltaic modules from datasheet values*', Solar Energy, Vol. 108, pp. 432 – 446, 2014.
- [5] W. De Soto, S.A. Klein, and W.A. Beckman, '*Improvement and validation of a model for photovoltaic array performance*', Solar Energy, Vol. 80, N°1, pp. 78 – 88, 2006.
- [6] A. Mermoud, '*Pvsyst: Software for the study and simulation of photovoltaic systems*', ISE, University of Geneva, www.pvsyst.com, 2012.
- [7] N. Blair et al., '*System advisor model, sam 2014.1. 14: General description*', 2014.
- [8] A.P. Dobos, '*An Improved Coefficient Calculator for the California Energy Commission 6 Parameter Photovoltaic Module Model*', Journal of Energy Engineering, Vol. 134, N°2, pp. 021011 - 021011–6, 2012.
- [9] Y. Li et al., '*Evaluation of methods to extract parameters from current–voltage characteristics of solar cells*', Solar Energy, Vol. 90, pp. 51 – 57, 2013.