

Modeling and Simulation of photovoltaic Module using MATLAB/SIMULINK

Modélisation et Simulation du Module photovoltaïque sous MATLAB/SIMULINK

H. Yatimi¹, E. Aroudam¹ et M. Louzazni¹

¹Université Abdelmalek Essaadi, Faculté des Sciences, Laboratoire de Modélisation et Simulation de Système Mécaniques Tétouan, Maroc

Abstract. The study of photovoltaic system (PV) in an efficient manner requires a precise knowledge of the I-V and P-V characteristics curves of PV module. Therefore, our work presents the modeling and simulation of PV module using the Matlab/Simulink package. The model is developed based on the mathematical model of the PV module, which is based on that of an elementary PV solar cell. A particular PV module is selected for the analysis of developed model. The essential parameters required for modeling the system are taken from datasheets. I-V and P-V characteristics curves highly depend on some climatic factors such as irradiation and temperature, are obtained and discussed by simulation for the selected module.

Keywords. PV Module, Modeling, Simulation, Matlab/Simulink

Résumé. L'étude du système photovoltaïque (PV) d'une manière efficace nécessite une connaissance précise des courbes caractéristiques I-V et P-V des modules PV. Notre travail présente la modélisation et la simulation du module PV en utilisant MATLAB/Simulink. Le modèle a été développé sur la base du modèle mathématique du module PV qui est basé sur celui d'une cellule solaire PV élémentaire. Un module PV particulier a été choisi pour l'analyse du modèle développé. Les paramètres essentiels à la modélisation du système sont pris à partir de la fiche technique. Les courbes caractéristiques I-V et P-V qui dépendent fortement des facteurs climatiques tels que l'irradiation et la température sont obtenues et commentées par simulation pour le module sélectionné.

Mots clés. Module Photovoltaïque, Modélisation, Simulation, Matlab/Simulink.

1 Introduction

Actuellement, les sources d'énergie et l'augmentation néfaste de l'effet de serre sont des problèmes d'actualité. Le danger supplémentaire est qu'une consommation excessive du stock de ressources naturelles réduit les réserves de ce type d'énergie de façon dangereuse pour les générations futures. Ce qui a poussé les scientifiques à avoir recouru à de nouvelles énergies renouvelables, non polluantes, inépuisables, silencieuses et exigent peu d'entretien. Parmi ces énergies, on trouve l'énergie photovoltaïque (PV) dont l'énergie électrique est produite par des panneaux photovoltaïques. Les principales applications des systèmes PV en utilisant ces panneaux sont soit dans des systèmes autonomes tels que le pompage de l'eau, l'éclairage domestique et public, les véhicules électriques, les applications militaires et

spatiales ou configurations connectés au réseau comme les systèmes hybrides et les centrales électriques.

La modélisation et la caractérisation électriques des panneaux actuellement commercialisés sont nécessaires afin d'optimiser le fonctionnement des systèmes photovoltaïques utilisant ces panneaux PV. Ceci peut réduire d'une manière considérable le coût de l'installation PV et augmenter le rendement des générateurs PV.

Le problème majeur de la production d'énergie électrique par cette technique est le fonctionnement optimal des panneaux (modules) PV. Cependant, le développement des systèmes de conversion rentables et économiquement viables, passe nécessairement par la compréhension des différents composants du système à leur tête le module solaire PV. Ce dernier est composé de plusieurs cellules solaires qui nécessitent étude et compréhension.

L'objectif principal de ce document est de fournir au lecteur les connaissances fondamentales sur la modélisation et la simulation des blocs de générateur photovoltaïques basés sur les équations mathématiques en utilisant MATLAB / Simulink. Le principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque ainsi que ses caractéristiques fondamentales sont présentés. Ensuite, le modèle mathématique de la cellule PV idéale et celui de la cellule PV pratique sont décrits. Enfin, le modèle de simulation développé avec MATLAB / Simulink est celui du module MSX60 de solarex [1] en fonction des conditions météorologiques (éclairage, Température), et les résultats obtenus sont présentés et discutés.

2 Fonctionnement et caractéristiques des cellules solaires PV

2.1 Principe de fonctionnement de la cellule solaire PV :

Un réseau de cellules solaires transforme l'énergie solaire en une quantité utilisable de courant continu (DC) de l'électricité. La cellule PV (ou encore photopile) qui est le plus petit élément d'une installation photovoltaïque, se compose de matériaux semi-conducteurs. A l'heure actuelle, fondamentalement, trois types de technologie sont employés dans la production des cellules solaires: silicium monocristallin, polycristallin et amorphe, avec des rendements qui s'étendent de 15%, 13% et 7% respectivement [2]. Elle transforme directement l'énergie lumineuse en énergie électrique, et est basée sur le phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à établir une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. Cette transformation est sans action mécanique, sans bruit, sans pollution et sans combustible. La tension générée peut varier entre 0.3V et 0.7V en fonction du matériau utilisé et de sa disposition ainsi que de la température et du vieillissement de la cellule [3]. Les cellules solaires sont connectées en série pour augmenter la tension de sortie. De même, les cellules en parallèle donneront un courant plus élevé.

2.2 Caractéristiques de la cellule solaire PV

Les caractéristiques non linéaires I-V et P-V de la cellule solaire qui présente comment la cellule photovoltaïque réagit à toutes les charges possibles sous des conditions particulières d'ensoleillement et de température, est montrée sur la figure 1.

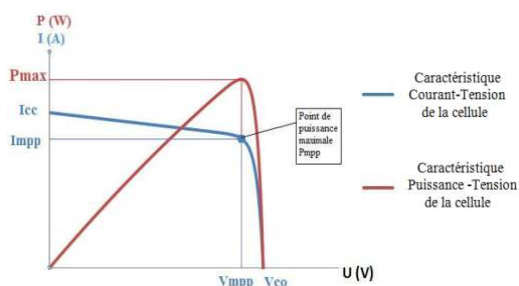


Fig. 1. Caractéristiques de cellule solaire

La caractéristique courant-tension d'un module est aisée à obtenir: il suffit de multiplier la tension d'une cellule par le nombre N_s de cellules en série, et le courant par le nombre N_p de cellules en parallèle.

Les paramètres fondamentaux liés à la cellule solaire sont [4] : la tension en circuit ouvert (V_{co}), le courant de court-circuit (I_{cc}), le facteur de forme (FF) et le rendement de la cellule solaire (η).

2.2.1 La tension en circuit ouvert (V_{co})

C'est la tension aux bornes de la cellule lorsqu'elle n'est pas connectée à une charge ou lorsqu'elle est connectée à une charge de résistance infinie. Sa valeur diminue avec la température et change peu avec l'irradiation. Et elle est obtenue quand le courant de cellule est nul.

$$V(\text{à } I=0) = V_{co} \quad (1)$$

2.2.2 Le courant de court-circuit (I_{cc})

C'est le courant fourni par la cellule solaire à un circuit d'impédance faible ou nul (fil métallique par exemple). C'est le plus grand courant que la cellule peut fournir. Celui-ci est fonction de la surface éclairée, du spectre de rayonnement solaire et de la température. Ce courant augmente linéairement avec l'intensité lumineuse de la cellule. Et il est obtenu quand la tension est nulle.

$$I(\text{à } V=0) = I_{cc} \quad (2)$$

2.2.3 Le facteur de forme (FF)

Le Facteur de forme est essentiellement une mesure de la qualité de la cellule solaire. Il est calculé en comparant la puissance maximale que peut délivrer la cellule (P_{max}) à la puissance théorique (P_t) en multipliant la tension de circuit-ouvert par le courant de court-circuit. Il est défini par la relation :

$$FF = \frac{P_{max}}{V_{co} \cdot I_{cc}} \quad (3)$$

Avec $P_{max} = V_m \cdot I_m$

Où :

V_m, I_m : tension (V) et courant (A) correspondant au maximum de la puissance.

Il représente donc l'écart entre la cellule réelle et une cellule pour laquelle $R_s = 0$ et $R_p = \infty$ (cellule idéale). Le facteur de forme diminue à mesure que la température de la cellule est augmentée. Les Facteurs de forme typiques vont de 0,5 à 0,82, et plus il est proche de 1, plus la cellule est proche de l'idéal.

2.2.4 Le rendement de la cellule (η)

C'est le paramètre principal des cellules photovoltaïques. Il désigne le rendement de conversion en puissance. Et il est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule P_{max} et la puissance de la lumière incidente P_{in} . Il est défini par la relation :

$$\eta = \frac{P_{\max}}{P_{in}} = \frac{FF \cdot I_{cc} \cdot V_{co}}{P_{in}} \quad (4)$$

P_{in} : puissance incidente (puissance de la lumière reçue par la cellule en W), et elle est pris comme étant le produit de l'irradiation solaire de la lumière incidente mesurée en W/m², avec la zone de surface (A_c) de la cellule solaire en m².

$$P_{in} = G \cdot A_c \quad (5)$$

Ce rendement peut être amélioré en augmentant le facteur de forme, le courant de court-circuit et la tension à circuit ouvert.

3 Modèle mathématique de la cellule PV

Comme le Module PV se compose de groupe de cellules, son modèle est basé sur celui d'une cellule solaire photovoltaïque.

3.1. Cellule idéale

Le schéma équivalent le plus simple de la cellule photovoltaïque à jonction PN idéale comprend une source de courant I_{ph} , qui modélise le courant photoélectrique, associée à une diode en parallèle qui modélise la jonction P-N dont la polarisation détermine la tension (figure 2) [4].

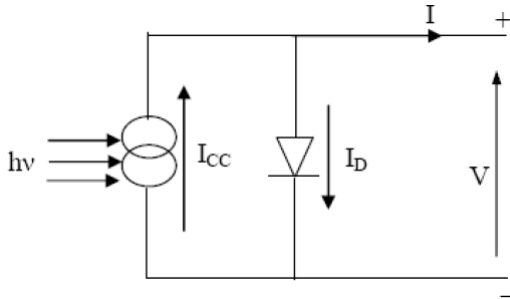


Fig. 2. Cellule solaire idéale

L'équation caractéristique de la cellule idéale est donnée par les équations (6) et (7) :

$$I = I_{cc} - I_D \quad (6)$$

I, V : Courant et tension fournis par la cellule.

I_D : Courant de la diode donnée par :

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{qV}{KT}} - 1 \right) \quad (7)$$

3.2 Cellule réelle (pratique)

Un schéma équivalent plus complet de la cellule solaire photovoltaïque est illustré sur la figure 3. Les résistances série R_s et parallèle R_p qui limitent la performance de la cellule, sont ajoutées au modèle pour tenir compte des phénomènes dissipatifs au niveau de la cellule (les pertes internes) [5].

RS : Résistance série, due essentiellement aux pertes par effets Joule à travers les grilles de collectes et la résistance propre des semi conducteurs, ainsi qu'aux mauvais contacts (Semi conducteur, électrodes).

RP : Résistance parallèle, dite 'Shunt', provient des pertes par recombinaisons dues essentiellement à l'épaisseur, aux effets de surface, ainsi qu'à la non idéalité de la jonction.

R_s et R_p modifient le courant de court-circuit de la cellule en photo- courant I_{ph} , on aura donc le montage électrique équivalent suivant [4]:

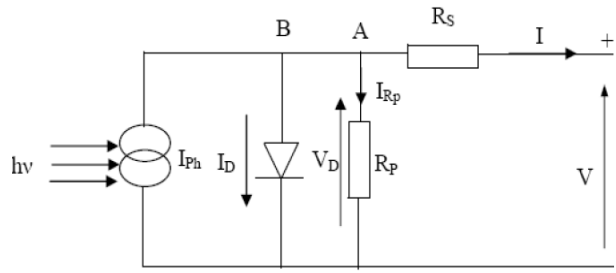


Fig. 3. Schéma équivalent d'une cellule solaire réelle

Appliquons la loi de Kirchoff aux noeuds A, B :

$$I = I_{ph} - I_D - I_{Rp} \quad (8)$$

I_{ph} : Photo courant indépendant de V (ou de R_s), il est proportionnel au flux incident (taux de génération-recombinaison) et aux longueurs de diffusion des porteurs, ainsi il est linéairement dépendant du rayonnement solaire et est également influencée par la température selon l'équation suivante:

$$I_{ph} = \left[I_{SCr} + K_i (T_k - T_{ref}) \right] \frac{G}{1000} \quad (9)$$

K_i : est le coefficient de courant de court-circuit / température, T_k et T_{ref} : sont, respectivement les températures réelle et de référence en K, G : est l'irradiation sur la surface de la cellule, (1000W/m² est l'irradiation nominale), I_{Rp} : Courant traversant R_p , si R_p est très grande, il devient très faible est indépendant de la tension, et il est donné par :

$$I_{Rp} = \frac{V_D}{R_p} = \frac{V + R_s I}{R_p} \quad (10)$$

I_D : Courant diode, il est de même ordre de grandeur que I_{Rp} pour les faibles tensions et il devient très grand au voisinage de V_{co} , il s'écrit sous la forme :

$$I_D = I_0 \left(e^{\frac{qV}{AKT}} - 1 \right) \quad (11)$$

I_0 : Courant de saturation inverse de la diode, et il est donné par :

$$I_0 = I_{rs} \left[\frac{T}{T_r} \right]^3 \exp \left[\left(\frac{q \cdot E_{g0}}{Ak} \right) \left(\frac{1}{T_r} - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (12)$$

I_{rs} : courant de saturation, et il est donné par :

$$I_{rs} = \frac{I_{sc,r}}{\left[\exp \left(\frac{q V_{oc}}{N_s k A T} \right) - 1 \right]} \quad (13)$$

Remplaçons dans l'équation (8) les équations (10) et (11), l'équation caractéristique deviendra :

$$I = I_{ph} - I_0 \left(e^{\frac{qV}{AKT}} - 1 \right) - \left(\frac{V + R_s I}{R_p} \right) \quad (14)$$

Avec :

A : est le facteur d'idéalité de la cellule qui dépend des mécanismes de recombinaison dans la zone de Charge d'espace, q : charge de l'électron ($1.6025 \times 10^{-19}c$), T : température de la cellule (°K), K: constante de Boltzmann ($1.38 \cdot 10^{-23}J/K$).

4 Simulation du module PV

Dans le but de disposer d'un modèle permettant de simuler le fonctionnement de nos cellules associées, nous avons développé un modèle dans l'environnement Matlab associé à l'outil Simulink [6][7], En utilisant les équations données précédemment et le module MSX60 comme module de référence, et nous avons obtenu les courbes caractéristiques suivantes :

4.1. Modèle de référence

Le module MSX60 de solarex est pris comme module de référence pour la simulation et les détails de la fiche technique sont indiqués dans le tableau 1.

Tableau 1 : Caractéristiques électriques du module PV au STC

Paramètres	Variable	valeur
Puissance maximale	Pmax	60W
Tension à Puissance maximale	Vmp	17.1V
Courant à Puissance maximale	Imp	3.5A
Tension circuit ouvert	Voc	21.1V
Courant de court-circuit	Isc	3.8A
Température nominale d'utilisation des cellules	NOCT	49°C

STC : Conditions d'essai Standards(Eclairement $G= 1000W/m^2$, Température $T=25°C$)

4.2. Evolution de la caractéristiques I-V et P-V en fonction de l'irradiation

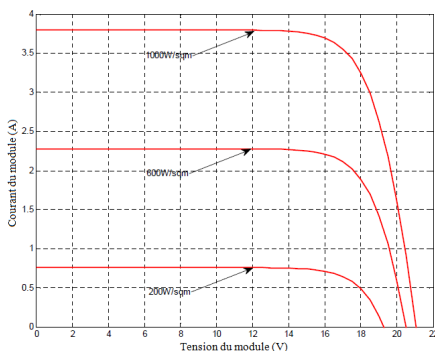


Fig. 4. Courant = f (Tension) à T = 25°C

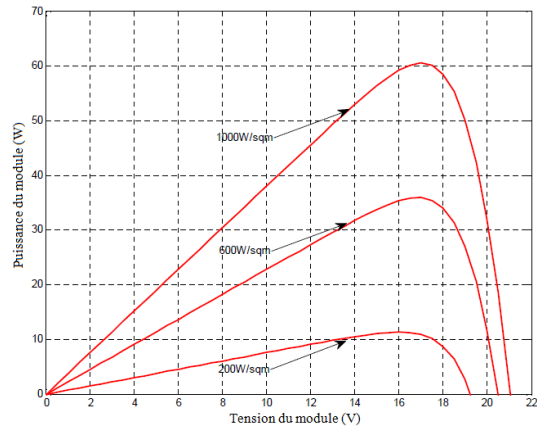


Fig. 5. Puissance = f (Tension) à T = 25°C

4.3. Evolution de la caractéristiques I-V et P-V en fonction de la température

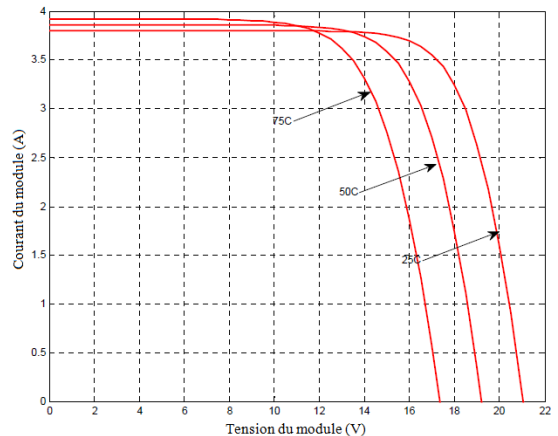


Fig. 6. Courant = f (Tension) à G = 1000W/m²

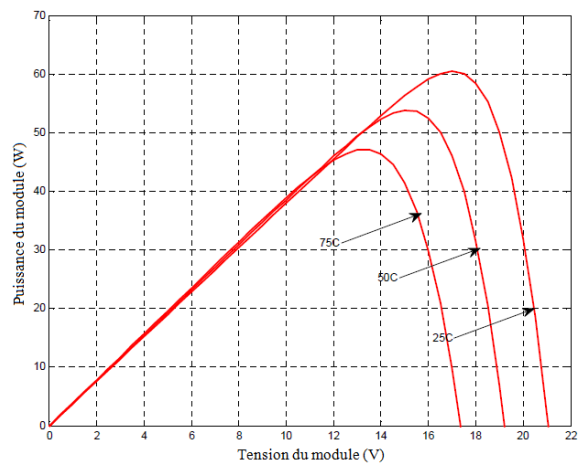


Fig. 7. Puissance = f (Tension) à G = 1000W/m²

4.4. Résultats et discussions

Les caractéristiques du Module PV est directement dépendante de l'éclairement et de la température.

En effet :

Les variations du courant et de la puissance en fonction de la tension pour différents niveaux d'éclairements à température maintenue constante 25°C, montrent un changement considérable, alors que la tension change légèrement avec l'éclairement.

Les variations du courant et de la puissance en fonction de la tension pour différents niveaux température à éclairement maintenue constant 1000W/m², montrent un léger changement, alors que la tension change légèrement avec la température.

5 Conclusion et perspectives

Nous avons présenté dans ce travail, une étude et modélisation du module PV pour bien comprendre son fonctionnement électrique en fonction des facteurs climatiques. La simulation du module basée sur les équations mathématiques en utilisant MATLAB / Simulink a démontré que les courbes caractéristiques Courant-Tension et Puissance-Tension sont fortement influencé par la température et l'irradiation.

La suite de ce travail repose sur l'optimisation du rendement des modules PV en utilisant des commandes et des techniques, afin de minimiser l'influence de ces paramètres météorologiques.

Références

- [1] La fiche technique du module MSX-60. [En line]. Disponible : www.solarex.com.
- [2] M. Arrouf, Optimisation de l'ensemble onduleur, moteur et pompe branché sur un générateur photovoltaïque, Thèse, université Mentouri de Constantine, Décembre (2007).
- [3] M. Angel Cid Pastor, Conception et réalisation de modules photovoltaïques électroniques, Thèse, INSA de Toulouse, Septembre (2006).
- [4] Emilien PARBAILE, Contribution à l'optimisation des techniques de dépôts sous vide de cellules solaires organiques, Thèse, Université de Limoges, (2009).
- [5] Akassewa Tchapo SINGO, Système d'alimentation photovoltaïque avec stockage hybride pour l'habitat énergétiquement autonome, Thèse, Université Henri Poincaré, Nancy-I, (2010).
- [6] N. Pandiarajan et Ranganath Muthu, Mathematical Modeling of Photovoltaic Module with Simulink, International Conference on Electrical Energy Systems (ICEES 2011), TamilNadu, India, 3-5 Jan (2011).
- [7] www.mathworks.com