ElWahat pour les Recherches et les EtudesVol.10 n°1 (2017): 1-19

Revue ElWahat pour les Recherches et les Etudes ISSN : 1112 -7163 http://elwahat.univ-ghardaia.dz



Modélisation et simulation d'un générateur photovoltaïque sous Matlab/Simulink Etude pratique site Oued Nechou à Ghardaïa

A. Bahri

1- University of Ghardaïa, Faculty of Science and Technology, Ghardaïa, Algeria.

E.mail: bahridoc@yahoo.fr

Résumé-

Ce travail présente une modélisation et simulation d'un générateur photovoltaïque par l'environnement Matlab/Simulink où nous avons préparé un schéma bloc standard en utilisant les symboles mathématiques de base existant dans la bibliothèque du Simulink pour simuler tous les cas possibles de raccordement soit en série, en parallèle ou montage mixte des cellules, modules, panneaux ou champs photovoltaïques pour produire une puissance électrique selon notre besoin.

Grâce à ce bloc de simulation, nous avons fait un travail pratique de comparaison entre des résultats de la centrale photovoltaïque de Oued Nechou à Ghardaïa où nous avons comparé les résultats obtenus par les donnée pratiques par ceux présentés par le constructeur de cette centrale PV d'un point de vu influence de la température et l'ensoleillement sur les caractéristiques des panneaux PV tel que nous avons trouvé résultats en accord avec ceux affichés par le constructeur de cette centrale PV ainsi que avec les données enregistré au niveaux du site concerné le 24/04/2016.

Mots clés: générateur photovoltaïque, Matlab/Simulink, température, Ensoleillement.

Modeling and simulation of a photovoltaic generator under Matlab / Simulink Practical study site Oued Nechou in Ghardaïa

Abstract -

This work presents a modeling and simulation of a photovoltaic generator by the Matlab / Simulink environment where we have prepared a standard block diagram using the basic mathematical symbols existing in the Simulink library to simulate all possible connection cases either in Series, parallel or mixed assembly of photovoltaic cells, modules, panels or fields to produce an electrical power according to our need. Thanks to this simulation block, we have done a practical comparison of the results of the photovoltaic plant at Oued Nechou in Ghardaïa where we compared the results obtained by the practical data with those presented by the manufacturer of this PV plant, A point of view influence of the temperature and the sunlight on the characteristics of the PV panels as we found results in agreement with those displayed by the manufacturer of this PV plant as well as with the data recorded at the site level concerned on 24/04/2016.

Key words: Photovoltaic generator, Matlab / Simulink, Temperature, Sunlight

I. INTRODUCTION

Une source d'énergie primaire est une forme d'énergie disponible dans la nature avant toute transformation. Si elle n'est pas utilisable directement, elle doit être transformée en une source d'énergie secondaire pour être utilisable et transformable facilement.

La technologie photovoltaïque est parmi les applications de l'énergie solaire où cette dernière est transformée directement en énergie électrique par le biais d'un élément de base de cette technologie appelée cellule photovoltaïque. L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein des matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou le germanium [1].

Un générateur photovoltaïque est un module photovoltaïque qui fonctionne comme un générateur électrique de courant continu constitué d'un ensemble de cellules photovoltaïques montées entre elles électriquement soit en série ou en parallèles afin d'obtenir des caractéristiques tel que la tension, le courant et la puissance [2].

L'objectif principal de cet article consiste en la modélisation et la simulation mathématique sous forme d'une formule reliant le courant à la tension de sortie et la puissance en fonction de tension du GPV.

L'intensité de l'irradiation solaire sur le territoire algérien indique que l'Algérie possède une forte source de potentiel solaire (figure 1) [3]. Ghardaïa est une ville sèche et aride au sud, caractérisée par un grand ensoleillement (plus de 3000 heures par an) où la moyenne annuelle de

l'irradiation solaire globale mesurée sur le plan horizontal dépasse 20 MJ / m^2 . Ce grand potentiel de l'énergie solaire peut être utilisé pour produire de l'électricité [4].



Fig 1. Moyenne annuelle de l'irradiation solaire reçue sur un plan horizontal.

À la fin de notre travail, nous allons faire une partie expérimentale qui consiste à une comparaison entre les résultats extraits à partir des mesures effectuées au niveau du site PV de oued Nechou à Ghardaïa et l'utilisation de notre schéma bloc de simulation préparé à l'aide de l'environnement Matlab/Simulink en utilisant la technologie monocristalline pour le cas des panneaux fixe et panneaux motorisés.

II. FONCTIONNEMENT D'UNE CELLULE PHOTOVOLTAÏQUE

La cellule PV est réalisée à partir de deux couches de silicium, une dopé P (dopé au bore) et l'autre dopée N (dopée au phosphore) créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charge N) et des trous. Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches [5].

III. MODELISATION DU SYSTEME DE CONVERSION PHOTOVOLTAIAQUE

La littérature offre de nombreux modèle avec différentes configuration dépendant du besoin d'utilisation.

La caractéristique I(V) du générateur PV est basée sur celle d'une cellule élémentaire modélisée par le circuit équivalent bien connu de la fig (2). Ce circuit introduit une source de courant et une diode en parallèle, ainsi que des résistances séries Rs et parallèle (shunt) Rp pour tenir compte des phénomènes dissipatifs au niveau de la cellule [6].



Fig. 2. Schéma équivalent électrique de la cellule PV.

Selon le schéma de la figure (2) on peut écrire :

$$I_{PV} = I_{Ph} - I_0 \left(e^{\frac{(V_{PV} + R_S I_{PV})}{N_S A K T}} - 1 \right) - \frac{V_{PV} + R_S I_{PV}}{R_P}$$
 1

Où I_0 est le courant de saturation, K est la constante de Boltzmann (1,381.10-23 J/K), T est la température effective des cellules en Kelvin(K), q est la charge de l'électron (e=1,6 10-19 C), A est le facteur d'idéalité de la jonction (1< A<3), IPV est le courant fourni par la cellule lorsqu'elle fonctionne en générateur, VPV est la tension aux bornes de cette même cellule, I_{ph} est le photo courant de la cellule dépendant de l'éclairement et de la température ou bien courant de (court-circuit), RP est la résistance shunt caractérisant les courants de fuite de la jonction, RS est la résistance série représentant les diverses résistances de contacts et de connexions [6].

Le module PV est constitué par un regroupement, en série et/on parallèle d'un grand nombre de cellules élémentaire. L'association parallèle de NS cellules en série permet d'augmenter la tension du GPV. Une association parallèle de NP cellules possible afin d'accroitre le courant de GPV.

La relation entre le courant et la tension dans un module PV, constitué de plusieurs cellules connectées en série et en parallèle, est donnée par l'équation suivante.

$$I_{pv} = N_{p}I_{ph} - N_{p}I_{0} \left[\exp\left(\frac{q(\frac{V_{pv}}{N_{s}} + \frac{R_{s}I_{pv}}{N_{p}})}{A.K.T}\right) - 1 \right] - \frac{\frac{N_{pv}}{N_{s}}V_{pv} + R_{s}I_{pv}}{R_{p}}$$
 2

La fig 3 et 4 illustre les caractéristiques I(V) et P(V) d'une cellule en silicium ayant les caractéristiques :

 $V_{co} = 0.6 V$, $I_{cc} = 2.55A$, $P_m = 1,153W$ on peut trouver deux courbes de la cellule *PV* dans les conditions standard ($T = 25^{\circ}C$, $E = 1000W/m^2$) comme suit:



Fig. 3. Caractéristique Ipv(Vpv) d'une cellule PV.



Fig.4. Caractéristique P(Vpv) d'une cellule PV.

IV. INFLUENCE DES PARAMETRES SUR LES COURBES D'UNE CELLULE PV.

Au cours d'une journée, le niveau d'éclairement et la température d'une cellule vont varier entre 0 W/m² et 1000 W/m² ainsi que la variation de la température. Il est donc important de connaître l'évolution des caractéristiques courant-tension en fonction du niveau d'éclairement et en fonction de la température. A l'aide de la caractéristique courant -tension d'une cellule PV, sous éclairement et température bien déterminée, il est possible d'évaluer les performances et le comportement électrique de la cellule photovoltaïque.

A. Effet de la température.

Nous avons effectué une simulation où nous avons maintenu un éclairement constant (E=1000W/m2) pour différentes température (25°C, 50°C, 75°C, 100°C). La courbe des caractéristiques va présenter quatre allures différentes selon la température voir les figures (5) et (6).

Les paramètres de la cellule considérés sont : $Rs = 0.01\Omega$, $Rp = 4 \Omega$, Icc = 2.55 A, Vco = 0.6 V et A = 1.6.



Fig.5. Effet de la température sur la courbe I(V) d'une cellule PV.



Fig.6. Effet de la température sur la courbe P(V) d'une cellule PV.

B. Effet de l'éclairement.

Selon la figure (7) avec une température constante de 25°C, nous pouvons remarquer que des fortes variations du niveau d'éclairement provoquent des variations relativement importantes de l' I_{cc} , alors que les variations relatives de la tension V_{co} restent faibles



Fig.7. Effet de l'éclairement sur courbe Ipv(Vpv) d'une cellule PV.



Fig.8. Effet de l'éclairement sur la courbe $P_{pv}(V_{pv})$ d'une cellule PV.

On remarque aussi que l'éclairement a un effet réductif sur la valeur de puissance ainsi que sur le rendement de la cellule. Ceci implique que la puissance optimale de la cellule Pmax est proportionnelle avec l'éclairement et le point de puissance maximale se situe presque à la même tension.

C. Effet du facteur d'idéalité.

Selon la figure (9) on remarque que la tension de circuit ouvert V_{co} et le courant du court-circuit Icc ne sont pas modifiés avec l'augmentation du facteur d'idéalité, mais la caractéristique se déforme lentement sous l'effet de changement du facteur d'idéalité. L'augmentation du facteur idéalité de la diode influe inversement sur le point de puissance maximale et cela se traduit par une baisse de puissance au niveau de la zone de fonctionnement voir figure (9) et figure (10).







Fig.10 Effet du Facteur d'idéalité sur la caractéristique Ipv(Vpv) d'une cellule

V. SIMULATION ET RESULTATS.

A. Etude théorique.

Pour étudier les caractéristiques d'un panneau solaire composé de Ns cellules en série et Np cellule en parallèle, nous allons utiliser le schéma bloc standard à l'aide du logiciel Matlab-Simulink comme montré à la figure suivant.



Fig.11 Schéma bloc d'un générateur PV sous Matlab/Simulink.

Dans cette partie nous allons baser sur les caractéristiques électriques d'un module données dans le tableau I [7].

Ces spécification électriques sont mesurés sous les conditions standards : Température Tref = 25° C; Eclairement Eref =1000W/m². Pour les paramètres intérieurs nous prenons: Facteur d'idéalité A= 1.6, énergie de gap Eg0 = 1.1; Coefficient de température du courant du court-circuit Ki = 0.0017 A/°C; Constant de Boltzman K= 1.3805x10-23 J/K; La charge d'électron q = 1.6x10-19 C. [7]

Puissance maximale P _{max}	37.08 W
Tension à $P_{max} V_m$	16.56 V
Courant à P _{max}	2.25 A
Tension à circuit ouvert V_{co}	21.24 V
Courant de court-circuit I _{cc}	2.55 A
Nombre de cellule en série N _s	36 ou 18
Nombre de cellule en parallèle	1

TABLEAU II. CARACTERISTIQUES ELECTRIQUE DU MODULE PV [7]

Pour réaliser ce module PV, nous utilisons les données électriques du module indiqués dans le tableau III sur notre modèle en schéma bloc et on discute les résultats de l'effet des différents paramètres sur les deux caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$ et $P_{pv}(V_{pv})$ de notre module PV. On prend deux cas Ns = 18 cellules associée en série et Ns = 36 cellules montée toujours en série avec Np=1.

1) Effet de la température.

Nous varions la température de notre module *PV* en prenant Ns=18, Ns=36 et Np=1 tel que $T=25^{\circ}C$, $T=50^{\circ}C$, $T=75^{\circ}C$ et $T=100^{\circ}C$ et nous allons voir le comportement de notre module *PV* sous un éclairement $E=1000W/m^2$.



Fig.12 Caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$ d'un module Ns=36 et Ns=18 sous différentes T.



Fig.13. Courbes Ppv(Vpv) d'un module Ns=36 et Ns=18 sous différentes T.

Selon les figures 12 et 13 nous pouvons dire que la température du module a une forte influence sur la tension à vide et la puissance du module. Plus la température du module augmente, plus la tension à vide V_{co} et la puissance diminue. Par contre, la température du module influence très peu sur le courant de court-circuit I_{cc} .

2) Effet de l'éclairement.

Sous une température de 25°C, on varie l'éclairement E du module PV avec Ns=18 et pour Ns=36.



Fig.14. Courbes Ipv(Vpv) d'un module PV sous différent E, Ns=36 et Ns=18.



Fig.15. Courbes Ppv(Vpv) d'un module PV sous différents E, Ns=36 et Ns=18.

D'après les figures 14 et figure 15 nous constatons que la variation en éclairement modifie la caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$ de du *GPV* solaire, pas dans sa forme générale mais pour les valeurs I_{cc} , V_{co} , I_m , V_m ainsi que la puissance délivrée par ce module *PV*.

Aussi nous pouvons remarquer que l'éclairement influence sur la puissance maximale ainsi que le rendement du module. Donc on peut dire que la luminosité influence considérablement les performances des cellules ou des modules *PV*.

3) Effet de la résistance série Rs du GPV

La résistance série dépend de, la résistivité du matériau, des résistances de contact des électrodes et, de la résistance de la grille collectrice [8].

Sous un éclairement et température sont constant dans les conditions standars, E=1000W/m2 et T=25°C, nous varions la valeur de la résistance interne Rs. Dans ce cas nous prenons les valeurs de Rs pour Ns= 18 et Ns=36 : Rs=0 Ω , 0.75 Ω , 1.5 Ω et 2.5 Ω .



Fig.16. Influence de Rs sur la courbes Ipv(Vpv) d'un module avec Ns=36 et Ns=18.

Dans la figure 16, nous remarquons que la tension de circuit ouvert (V_{co}) et le courant du court-circuit (I_{cc}) ne sont pas modifiés, mais la caractéristique se déforme très rapidement sous l'effet de *Rs*. Cette influence se traduit par une diminution de la pente de la caractéristique $I_{pv}(V_{pv})$ et va provoquer une diminution du point maximale de puissance P_{max} comme il est montré sur la figure 17.



Fig.17. Influence de Rs sur la courbes Ppv(Vpv) d'un module avec Ns=36 et Ns=18.

B. Essais expérimentaux.

Dans cette partie, nous présenterons les résultats expérimentaux obtenus durant un travail pratique qu'on a effectué au niveau du site PV de SKTM à Oued Nechou à Ghardaia.

Ce travail consiste à extraire les courbes $I_{pv}(V_{pv})$ et $P_{pv}(V_{pv})$ des modules PV fabriqués en technologie monocristalline, l'un est fixe et l'autre est motorisé qui sont installés au niveau du site. Pour cette raison on a utilisé les paramètres internes des modules donnés par le constructeur (*Rs*, *Rp*, *A*, *Ki*, *Icc* et Vco) et les paramètres météorologique réels (éclairement et température) enregistrés le jour du 24/04/2016.

1) Vision sur la centrale de Oued Nechou à Ghardaia. [10], [11].

La centrale *PV* de Oued Nechou représente un champ photovoltaïque comporte 4 sous champs chacun contient une technologie tel que, la monocristalline, la ploycristalline, l'amorphe et la couche mince (CdTe).

Ce champ, est constitué de 4 sous champs ayant une puissance de 1100 KWc répartie comme suit :

452 kWc: Panneaux en silicium monocristallin (un sous champ fixe et l'autre mobile).

452 kWc: Panneaux en silicium polycristallin (un sous champ fixe et l'autre mobile).

100 kWc: Panneaux fixes en silicium amorphe (a-Si).

100 kWc: Panneaux fixes en couches minces (tellurure de cadmium CdTe).

2) Spécifications des modules PV par technologie installés au site PV. [11]-[12]

Afin de maximiser la production de l'énergie électrique du système PV, les modules sont orientés d'une façon optimale afin de capter un maximum du rayonnement solaire avec une orientation plein sud et inclinaison optimale de 30° par rapport à l'horizontale.

Les caractéristiques interne et électrique des deux modules sont extraites à partir les fiches techniques des panneaux PV données par le constructeur de la centrale PV comme le suivant :

Module monocristallin: Model Atersa, A-250M. C.S.T:

 $T = 25^{\circ}C, E = 1000 \text{ w/m} 2 \text{ AM} 1.5.$

Le tableau IVV représente les spécifications techniques internes du module étudié selon la technologie utilisée (Monocristalline). Ces valeurs sont données par le constructeur d'une part.

TABLEAU VI VII.	SPECIFICATIONS DU MOD	ule PV	UTILISES D	ONNEES PAR
	LE CONSTRUCTEUR	[12].		

	Valeurs							
Technologie							E _{ref}	
	Rs	R _p				T _{ref}	W /	
	(Ω)	(Ω)	Ns	Np	Α	°K	m^2	K _i A/°C
							100	
Monocristalline	0.16	300	60	1	1.3	298	0	0.0026

D'autre part on peut obtenir les valeurs enregistrées au niveau du site PV de Oued Nechou à Ghardaïa le 24/04/2016 en prenant les valeurs de l'éclairement *E*, la température *T*, V_m , I_m , P_{max} pour chaque une demi-heure pour des panneaux monocristallin fixe et motorisé et on extrait les courbes obtenues pour voir le comportement des GPV et pour comparer les résultats réels par ceux simulés par notre modèle de simulation sous Matlab/Simulink.

3) Présentation des résultats expérimentaux et commentaires.



Fig. 20. Courbes de puissance maximale expérimentale et simulées.

On remarque selon la figure 20 que :

- L'énergie électrique délivrée par un module fixe est pratiquement faible par rapport que celle d'un module motorisé.

- Dans le cas du module PV fixe notre courbe est loin de courbe réel le matin et le soir, mais les valeurs elles se rapprochent lorsqu' on tend vers midi voir figure 20.

Cette divergence, explique la nécessité d'orienter des panneaux vers le soleil le long du jour pour avoir une puissance maximal pour chaque instant de la journée.

- Dans le cas du même module PV mais cette fois ci il est motorisé, on remarque que les résultats réels et les résultats obtenus par simulation sont en accord, ont le même comportement et sont plus proche durant le jour de l'essai.

Donc, on peut conclure que pour améliorer l'énergie du module PV, on doit utiliser le système de motorisation des panneaux PV.

Les deux courbes ci-dessous donnent la variation du Im et E pendant la journée de l'essai.



Fig.21. Variation de Im pendant la journée du test.



Fig. 22. Variation de E pendant la journée du test.

Selon les deux figures 21 et 22 on remarque que le courant I_m a le même comportement que l'éclairement et le courant suit l'éclairement pendant la journée de test.



Fig. 23. Variation du courant Im en fonction de l'éclairement E.

La figure 23 montre que l'augmentation de l'ensoleillement provoque une augmentation du courant I_m correspondant à la puissance maximale.

Donc selon les deux courbes (22) et (23), on peut dire que l'éclairement a une influence directe sur le courant ainsi que la puissance d'un module PV.



Fig. 24. Variation de tension Vm en fonction de température T.

On constate d'après la figure 24 que la tension Vm va diminuer lorsque la température augmente.

Donc on peut dire que l'augmentation de la température a un effet réductif sur le rendement du GPV.

VI. CONCLUSIONS

Cet article présente les différents modèles de simulation d'une cellule photovoltaïque, un module solaire et un champ photovoltaïque.

Notre étude a été concentrée sur un modèle d'une diode pour simuler le fonctionnement d'une cellule photovoltaïque, un panneau, un module et un champ photovoltaïque soumis aux différentes conditions d'ensoleillement et de température.

Les performances d'un module PV ou cellule PV sont fortement influencées par les conditions climatiques, essentiellement l'éclairement solaire et la température.

D'après les résultats que nous avons obtenus, nous observons que l'augmentation de résistance série et le facteur de qualité se traduit par la déformation des courbes $I_{pv}(V_{pv})$ et $P_{pv}(V_{pv})$ tandis que

Les deux valeurs V_{co} et I_{cc} caractérisant la cellule ou le module restent constants.

Aussi d'après les résultats précédents et en comparant avec les résultats d'une cellule, on peut dire que :

- La valeur du courant (tension) est liée au nombre des cellules ou modules (montés en série ou en parallèle) selon le besoin et le domaine d'utilisation.

- La variation de (T, E, Rs, Rp et A) pour un panneau PV entraîne un comportement similaire à celle d'une cellule PV.

- On peut remarquer que l'augmentation de nombre de cellules (en parallèle ou en série entraîne une amélioration considérable des performances du panneau.

Avant de terminer cet article et pour démontrer la fiabilité de notre travail de simulation, on a fait une partie expérimentale ou on a fait des mesures au niveau du site photovoltaïque qui se trouve à Oued Nechou à Ghardaïa tel qu'on a ramené les mesures des différents valeurs d'un module PV (I_m , V_m , P_{max} , E et T) ayant la technologie monocristalline fixe, et un autre motorisé pour la journée du 24/04/2016. Après comparaison des résultats, on a trouvé une concordance des résultats expérimentaux et ceux de notre simulation.

REFERENCES

[1] Hallali Kamilia, Etude Comparative D'une Cellule Photovoltaïque, Mémoire Magistère, Université Mouloud Maamri Tizi Ouzou, 2012, Algérie.

- [2] Alain Belbao Learetta, Réalisation De commande MPPT Numérique, Rapport de Stage Projet Fin d'Etude au niveau de CNRS, Septembre 2006, France.
- [3] M.R. Yaiche, A. Bouhanik, S.M.A. Bekkouche, A. Malek and T. Benouaz, Revised solar maps of Algeria based on sunshine duration, Energy Conversion and Management, vol. 82, pp. 114–123, 2014.
- [4] K. Gairaa and S. Benkaciali, Analysis of solar radiation measurements at Ghardaïa area, south Algeria, Energy Procedia, vol. 6, pp. 122–129, 2011.
- [5] Mornay Thomas, Vernay Alexis, Volle Marion, les cellule photovoltaïque, Article, Classes préparatoires CPE, Institution des Chartreux, Lyon, 2005, France.
- [6] A. Ould Mohamed Yahya1, A. Ould Mahmoud et I. Youm, Etude Et Modélisation D'un Generateur Photovoltaïque, Article, Revue Des Energies Renouvelables Vol. 11 N°3 (2008) 473 – 483, Université de Nouakchott, Mauritanie, Septembre 2011, Mauritanie.
- [7] Pandiarajan Natarajan, Performance Improvement Of PV Module At Higher Temperature Operation, Article, IRACST – Engineering Science and Technology: An International Journal (ESTIJ), ISSN: 2250-3498, Vol 2, N° 5, Octobre 2012.
- [8] Ren21,Renewables 2014 Global Status Report- page 49, Rapport, 2014, Paris France.
- [9] Pandiarajan Natarajan, Performance Improvement Of PV Module At Higher Temperature Operation, Article, IRACST – Engineering Science and Technology: An International Journal (ESTIJ), ISSN: 2250-3498, Vol 2, N° 5, Octobre 2012.
- [10] Groupement ABB Spa Italie-ABB Algérie, Rapport, Centrale En panneaux Photovoltaïques De Ghardaïa 1100 kWc, 2012, Algérie.
- [11] CHAMKHA Tahar, Modélisation et simulation d'un générateur photovoltaïque, Mémoire master Académique, Université Ghardaïa, 2016, Algérie.
- [12] CDER, Rapport de la commission nationale de développement des énergies renouvelable en Algérie horizon 2030, 2015, Algérie.