

Utilisation des mesures Météorologiques du SIRTA dans le but de modéliser la production électrique d'une installation photovoltaïque équipée de réflecteurs plans

Christine Abdel Nour^{a,d}, Anne Migon-Dubois^a, Jordi Badosa^b, Vincent Bourdin^c, Claude Marchand^a, Tilda Akiki^d

^a GeePs, UMR 8507 CNRS ; CentraleSupélec, UPMC Sorbonne Universités, Université Paris-Sud ; 11 rue Joliot-Curie, Plateau de Moulon, 1192 Gif-sur-Yvette Cedex, France ^b LMD, Institut Pierre-Simon Laplace, École Polytechnique, 91128 Palaiseau Cedex, France. ^c LIMSI, UPR 3251 CNRS, Bâtiment 508, Rue John von Neumann, 91405 Orsay Cedex, France ^d Université Saint Esprit de Kaslik, USEK, Département de génie électrique et électronique, BP446 Jounieh, Liban

Introduction

Le travail présenté s'intéresse aux mesures météorologiques issues de l'observatoire SIRTA dans le but de modéliser une installation photovoltaïque équipée de réflecteurs plans.

Spécifiquement, on s'intéresse aux mesures d'irradiance : GHI (Global Horizontal Irradiance), BHI (Beam Horizontal Irradiance), DHI (Diffuse Horizontal Irradiance) et POA (Plane of Array Irradiance) ainsi qu'aux angles solaires : azimutal et zénithal et à la température. Ces données sont utilisées dans le but de modéliser une installation photovoltaïque équipée de réflecteurs plans permettant une analyse de l'impact d'un sur-éclairage non uniforme affectant ce type d'installation.

La validation de notre étude s'effectue par le biais d'un banc de caractérisation expérimental installé à l'observatoire SIRTA [1].

A travers ces données expérimentales, un modèle MPPT (Maximum Power Point Tracking) innovant a été développé sous MATLAB / SIMULINK basé sur l'algorithme P&O. Le modèle développé prend en compte l'activation des diodes bypass (Fig.5) dans le cas d'un éclairage non homogène au niveau du panneau. Pour la validation expérimentale de notre modèle, nous nous sommes appuyés sur des mesures de production électriques expérimentales issues du banc de caractérisation avec et sans réflecteurs.

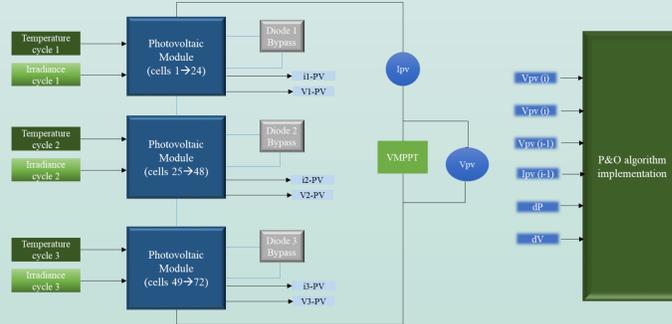


Fig.3- Représentation du modèle photovoltaïque prenant en compte l'éclairage non uniforme du panneau.

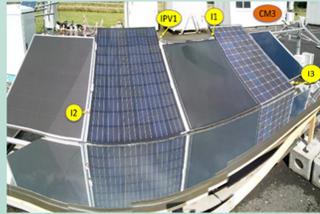


Fig.4- Plateforme équipée de réflecteurs plans

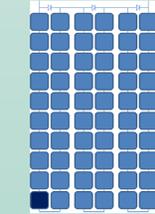


Fig.5- Connexion diodes bypass

Les figures 11 et 12 présentent les résultats pour 2 journées sans réflecteurs pour une journée de ciel clair et une autre journée nuageuse respectivement. La figure 13 présente les résultats en présence des réflecteurs en face de panneaux (fig.4), dans ce cas, les rayons réfléchis par les miroirs ont été considérés, le POA sans miroirs est également modélisé.

La validation de ces résultats a été effectuée en les comparant aux mesures expérimentales de l'irradiance globale dans le plan des panneaux issue de notre plateforme à l'observatoire SIRTA (Fig.4).

C.1- Calcul du POA à partir des données expérimentales

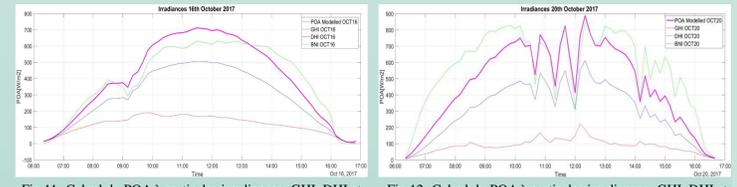


Fig.11- Calcul du POA à partir des irradiances: GHI, DHI et BNI; journée de 16 Octobre 2017 (sans miroirs)

Fig.12- Calcul du POA à partir des irradiances: GHI, DHI et BNI; journée de 20 Octobre 2017 (sans miroirs)

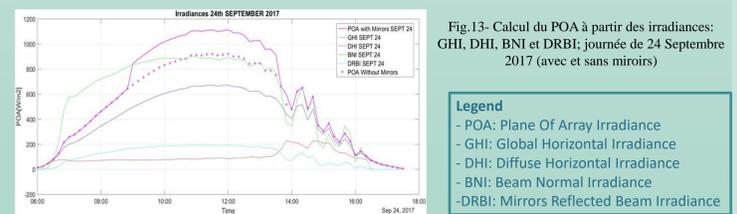


Fig.13- Calcul du POA à partir des irradiances: GHI, DHI, BNI et DRBI; journée de 24 Septembre 2017 (avec et sans miroirs)

Legend
 - POA: Plane Of Array Irradiance
 - GHI: Global Horizontal Irradiance
 - DHI: Diffuse Horizontal Irradiance
 - BNI: Beam Normal Irradiance
 - DRBI: Mirrors Reflected Beam Irradiance

Contexte

- Elaboration d'une installation photovoltaïque avec réflecteurs en vue d'augmenter la production électrique.
- L'installation sera établie avec plusieurs configurations de système PV-miroirs dans l'observatoire SIRTA de l'école polytechnique.
- Utilisation d'une base de donnée existante (insolation, température, vent, nébulosité...) et mesures de production électrique.
- Développement d'un modèle de prédiction de production électrique photovoltaïque.
- Alimentation d'une partie des installations électriques du bâtiment, recharge d'une voiture électrique et un stockage électrochimique.

Résultats

Dans ce qui suit, nous présentons les résultats des mesures expérimentales comparées avec les résultats issus de notre modèle Matlab/Simulink pour les mêmes conditions climatiques. Les figures 6, 7 et 10 montrent la production de puissance au MPP (maximum power point), où figurent les résultats de simulation comparés aux résultats expérimentaux. Pour les journées des figures 6 et 7, présentant des conditions d'irradiance élevées et faibles respectivement. Il n'y avait pas de réflecteurs devant les modules PV, toutes les cellules reçoivent le même flux d'irradiance au cours du temps. La figure 10 représentant une journée de Septembre 2017 représente la production en puissance avec présence de réflecteurs.

B.1- Validation expérimentale sous conditions d'éclairage uniforme



Fig.1- Banc de caractérisation photovoltaïque avec emplacement des capteurs



Fig.6- Comparaison entre la puissance mesurée et la puissance issue de la simulation, journée de 16 Octobre, installation sans réflecteurs



Fig.7- Comparaison entre la puissance mesurée et la puissance issue de la simulation, journée de 27 Janvier, installation sans réflecteurs

C.2- Validation expérimentale sous conditions d'éclairage uniforme et non-uniforme

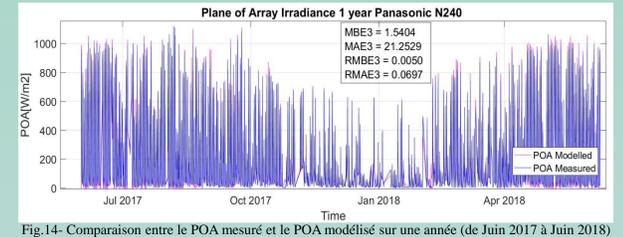


Fig.14- Comparaison entre le POA mesuré et le POA modélisé sur une année (de Juin 2017 à Juin 2018)



Fig.15- Comparaison entre le POA mesuré et le POA modélisé, journée de 20 Octobre 2017 (sans réflecteurs)

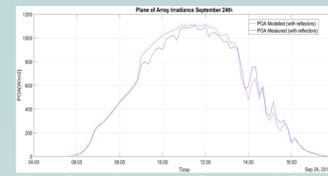


Fig.16- Comparaison entre le POA mesuré et le POA modélisé, 24 Septembre 2017 (avec réflecteurs)

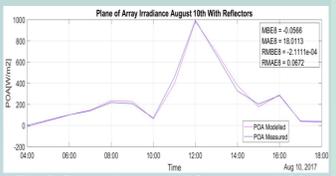


Fig.17- Comparaison entre le POA mesuré et le POA modélisé, 10 Août 2017 (avec réflecteurs)

Méthodologie

A- Algorithme MPPT-P&O

- La tension initiale au niveau du panneau est fixée à 80% de V_{oc} (tension en circuit ouvert).
- Ensuite, la tension augmente légèrement d'un pas constant. Si la puissance de sortie PV augmente, alors l'algorithme continue à augmenter la tension, sinon, la tension diminue.
- La condition de sortie de l'algorithme est atteinte lorsque la variation de puissance d'un pas de tension à un autre est inférieure à un seuil donné.
- L'algorithme MPPT proposé a été optimisé pour des conditions d'éclairage non uniformes puisqu'il vise à simuler une centrale PV équipée de réflecteurs.

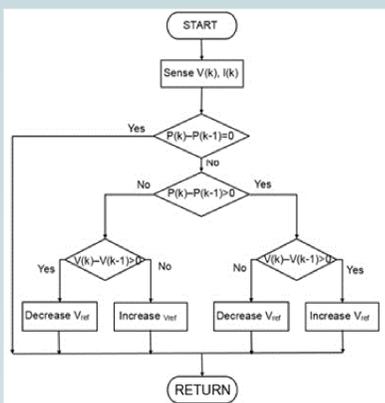


Fig.2- P&O MPPT algorithme

B- Modélisation de la partie Système Photovoltaïque

Le panneau utilisé pour notre étude est de type Panasonic VBHN240SE10, 798 x 1580 mm [4] à base d'une couche mince de silicium monocristallin entourée par une couche ultra-mince de silicium amorphe, et délivrant une puissance nominale de 240W. Ce module est composé de 3 strings en série composée chacune de 24 cellules en série. Afin de simuler l'éclairage non uniforme arrivant sur le module PV, nous la modélisons par 3 strings avec leur diode bypass, comme présenté sur la figure 3.

B.2- Validation expérimentale sous conditions d'éclairage non-uniforme



Fig.8- Illustration d'éclairage non-uniforme. Installation PV au SIRTA avec réflecteurs



Fig.9- Caractéristiques courant-tension issues de la mesure et MPPT simulé pour une installation avec réflecteurs.

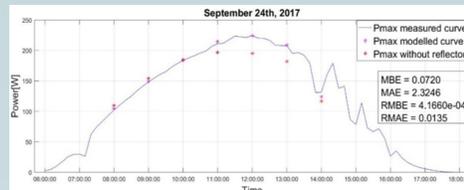


Fig.10- Comparaison entre la puissance mesurée et la puissance issue de la simulation, journée de 24 Septembre, installation avec réflecteurs

C- Calcul du POA (Plane of Array irradiance): dans les cas avec et sans miroirs

Dans cette partie, le travail effectué s'intéresse au calcul de l'irradiance dans le plan du panneau: POA. A ce propos, un modèle (Matlab) a été développé permettant ce calcul à partir des données mesurées des irradiances: Globale et diffuse dans le plan horizontal, spéculaire dans le plan normal et celle réfléchi par les miroirs.

En addition, d'autres paramètres ont été considérés dans ce calcul tel que les angles solaires (azimutal, élévation solaire, d'incidence et zénithal), la position géométrique, l'orientation et le dimensionnement de l'architecture PV-Réflecteurs ainsi que les paramètres de réflexion du sol et des miroirs.

Résultats

Dans ce qui suit, nous présentons les résultats de calcul d'irradiance globale dans le plan des panneaux (POA) issus de notre modèle Matlab/Simulink, ainsi que les mesures expérimentales des irradiances (GHI, DHI, BNI, DRBI et POA) utilisées à ce propos.

Conclusions et discussions

- Dans ce travail, une installation photovoltaïque avec réflecteurs a été élaborée dans le but d'étudier le comportement du système soumis à des conditions de sur-éclairage non-uniforme.
- Un modèle de prédiction de production électrique a été élaboré sous Matlab/Simulink.
- Le développement de ce système s'effectue par le biais d'une base de donnée existante (insolation, température, vent,...) et mesures de production électrique.
- Comme le montre les résultats des figures 6, 7, 9 et 10, notre modèle Matlab/Simulink a bien été validé expérimentalement avec un ordre de précision élevé (pas de simulation: chaque 10mins et chaque 1 min) et un temps de calcul rapide par rapport aux modèles existants.
- La figure 9 montre les courbes I-V à des moments bien déterminées de la journée du 24 Septembre (mesure et simulation); qui était une journée aussi ensoleillée. L'effet du sur-éclairage non-uniforme peut se traduire par l'activation d'une diode by-pass lorsque certains strings (groupe de cellules) du panneau seront soumis à des irradiances plus importantes que d'autres, (fig.8).
- Comme le montre les figures 11, 12 et 13, un modèle de calcul du POA a été développé et validé expérimentalement dans les cas avec et sans réflecteurs; des études plus avancées seront élaborées afin de prendre en compte l'effet d'éclairage non uniforme à une échelle précise.
- D'après les courbes d'irradiance dans le plan des panneaux (fig.14, 15, 16 et 17) le POA modélisé a été comparé au POA mesuré sur une année (fig.14) présentant une plateforme avec et sans réflecteurs, le RMAE a été estimé de 6%. La figure 15 montre le résultat d'une journée sans miroirs alors que grâce aux figures 16 et 17 on a validation expérimentale où les réflecteurs étaient présents.
- Ce modèle sera couplé par la suite à un système de stockage et de distribution de la production électrique.

Références

- [1] Badosa J., et al, "Deployment of a multi-technology photovoltaic module test bench on the SIRTA meteorological and climate observatory", 31st European PV Solar Energy Conference and Exhibition (EuPVSEC), Hamburg (Germany), September 2015.
- [2] National Renewable Energy Laboratory (NREL) System Advisor Model (Jan. 2014)
- [3] <http://www.solems.com/mesure-du-rayonnement-solaire>
- [4] Panasonic Eco Solutions Energy Management Europe, 2012 COPYRIGHT SANYO Component Europe GmbH. <http://www.eu-solar.panasonic.net>