

Implantation et fonctionnement de la première installation photovoltaïque à haute concentration ‘CPV’ au Maroc

Tarik Mrabti^{1,2}, Khalid Loudiyi^{1*}, Hassane Darhmaoui¹,
Khalil Kassmi², Abdelhaquim El Moussaoui³, Sadia Mansouri³,
Miguel Angel Vazquez⁴ et Vicente Diaz⁴

¹ School of Science and Engineering, Al Akhawayn University in Ifrane
P.O. Box 104, Hassan II Avenue, Ifrane, Morocco

² Université Mohamed Premier, Faculté des Sciences
Département de Physique, Laboratoire LETAS, Oujda, Maroc

³ Office National de l'Electricité, B.P. 13498, Casablanca, Maroc

⁴ ISOFOTON S.A., Calle Severo Ochoa, 50, Parque
Tecnologico de Andalucia, Malaga, Spain

(reçu le 07 Novembre 2011 – accepté le 28 Juin 2012)

Résumé - *Le travail présenté dans cet article concerne l'implantation et le fonctionnement de la première installation prototype photovoltaïque à haute concentration (CPV) au Maroc, réalisée par la société Isofoton. Cette installation, d'une puissance nominale de 30 kilowatts, est implantée à l'Université Al Akhawayn, Ifrane, située à une altitude de 1650 m dans la région du moyen Atlas. Elle est composée de trois suiveurs du soleil à deux axes connectés au réseau électrique national (ONE). Après la description de l'installation et de ses équipements, nous présentons les premiers résultats expérimentaux concernant le fonctionnement électrique de cette centrale, ainsi que sa production énergétique journalière en fonction des conditions météorologiques.*

Abstract - *The work presented in this article concerns the implementation and operation of the first prototype installation in high concentration photovoltaic (CPV) in Morocco, carried out by the company Isofoton. This facility, with a rated output of 30 kilowatts, is located at Al Akhawayn University, Ifrane, located at an altitude of 1650 m in the region of the Middle Atlas. It consists of three followers of the sun on two axes connected to the national grid (ONE). After the description of the facility and its equipment, we will present the first experimental results on the electrical operation of the plant and its energy production based on daily weather conditions.*

Mots clés: Panneau photovoltaïque de concentration (CPV) - Cellules multi jonction - Suiveurs solaires - Puissance nominale - Homologation des CPV - Conditions météorologiques.

1. INTRODUCTION

A l'heure actuelle, le développement croissant des énergies renouvelables soulève à nouveau un intérêt pour cette technologie. Les promoteurs affirment que le photovoltaïque à concentration ‘CPV’ peut être compétitif puisque le rendement des cellules réalisées, de la troisième génération, pourrait atteindre 50 % d'ici 2015.

Ce qui contribuera largement à la réduction, d'environ 62 %, du coût de réalisation des cellules PV des systèmes solaires complets.

* k.Loudiyi@aui.ma

Le fonctionnement des systèmes photovoltaïques de concentration 'CPV' à haute efficacité est basé sur l'utilisation des cellules solaires multi jonction à haute efficacité qui sont réalisées par les matériaux semi-conducteurs des groupes III-V comme l'arséniure de gallium AsGa [1-5].

La technologie de ces systèmes devient, de plus en plus, la plus performante pour la production de l'énergie électrique à base de semi-conducteur à grande échelle. Le rendement des cellules est amélioré par l'utilisation de dispositifs concentrateurs (lentilles) entre le soleil et la cellule. Ces derniers améliorent la focalisation des rayons solaires sur une petite surface de la cellule d'un facteur de 500 à 2000 fois [6, 7].

Dans ce contexte, la compagnie Spectrolab, 'USA, filiale de Boeing', a fabriqué, en août 2009, une cellule solaire triple jonction à base de la structure GaInP/GaInAs/Ge qui présente un rendement de conversion maximal de l'ordre de 41.6 % sous une concentration de 364 soleils [8].

La barre des 41 % a été franchie en janvier 2009 par l'ISE Fraunhofer de Freiburg, 'Allemagne' [9]. Les chercheurs appartenant à cet institut 'ISE', ont présenté une structure métamorphique à base de GaInP/GaInAs/Ge exposé à 454 soleils [10]. Le rendement obtenu est de l'ordre de 41.1 %.

Un autre type de cellules multi jonction inversées a été conçu, fabriqué et caractérisé, en août 2008 par des chercheurs américains du National Renewable Energy Laboratory 'NREL', avec un taux de conversion de 40.8 % sous une concentration de 326 soleils [11].

Par ailleurs, plusieurs installations ont été réalisées dans le domaine photovoltaïque de haute concentration 'HCPV', comme par exemple la société espagnole Sol3 qui a conclu une installation de 800 kW à Tarragona (Espagne) [12].

En 2008, l'ISFOC 'Instituto de Sistemas Fotovoltaicos de Concentración', qui a installé des systèmes HCPV d'une puissance totale de 1.4 MW appartient aux sociétés Isofoton, Solfocus et Concentrix, telles que: 500 kW d'Isfoton installée à Puertollano et 500 kW de Solfocus installée à Puertollano et Almoguera [13].

Dans cet article, nous décrivons l'implantation d'une installation HCPV, réalisée récemment par Isfoton à Ifrane (Maroc) situé à une altitude de 1650 m dans la région du Moyen Atlas [14]. Une telle élévation est importante pour la production de la puissance nominale, grâce à l'existence du spectre solaire bleu.

Cette station expérimentale, d'une puissance nominale de 30 kW, est première du genre dans la région. Elle est composée de trois suiveurs du soleil à deux axes. Les HCPV sont à base de cellules tri-jonction à haute efficacité, d'un rendement de conversion autour de 39 %.

Elles portent une technologie de concentration de type TIR-R (Total Internal Reflection and Secondary Refractive) avec un facteur de concentration géométrique de l'ordre de 1000 soleils. La station est connectée au réseau national de l'électricité 'ONE'.

L'objectif est d'étudier le fonctionnement des cellules installées dans la région d'Ifrane, à haute altitude, et en parallèle évaluer l'effet de l'injection de l'énergie électrique produite dans le réseau national d'électricité (ONE).

2. RESULTATS ET DISCUSSIONS

L'installation photovoltaïque à haute concentration 'CPV' réalisée à l'Université Al Akhawayn, qui a fait l'objet de notre étude, est représentée sur la figure 1. Son schéma global (Fig. 2), montre:

- trois (03) suiveurs et de six (06) inverseurs 'DC-AC'. Chaque suiveur a été installé avec 288 modules CPV et deux inverseurs; chacun de 5 kW. Un demi-suiveur (soit 144 Modules CPV) est connecté à un seul inverseur.
- la distribution de courant continu DC (des modules de CPV à l'inverseur) et de courant alternatif AC (de l'inverseur au réseau).



Fig. 1: Panneaux photovoltaïques de concentration 'CPV' installés à l'université Al Akhawayn 'Ifrane'

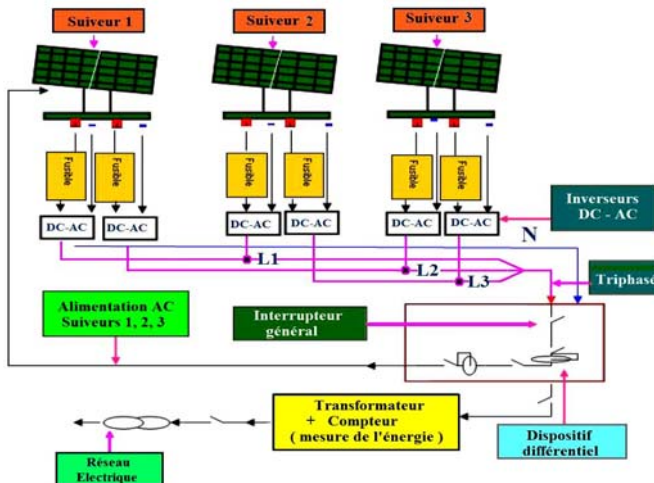


Fig. 2: Schéma général du système à haute concentration 'CPV'

La puissance nominale moyenne de chaque module, sous un ensoleillement de 850 W/m^2 , est de l'ordre de 33 W_c . Chaque suiveur de 9.5 kW_c , soit une puissance nominale totale des trois suiveurs de l'ordre de 28.5 kW_c .

Une station météorologique implantée avec la centrale solaire réalisée à l'Université Al Akhawayn (Fig. 3). Cette station, pilotée par un ordinateur de surveillance à travers la GEONICA et une boîte de communication, permet de déterminer les différentes données des grandeurs météorologiques (température, radiation solaire globale, humidité, etc...).

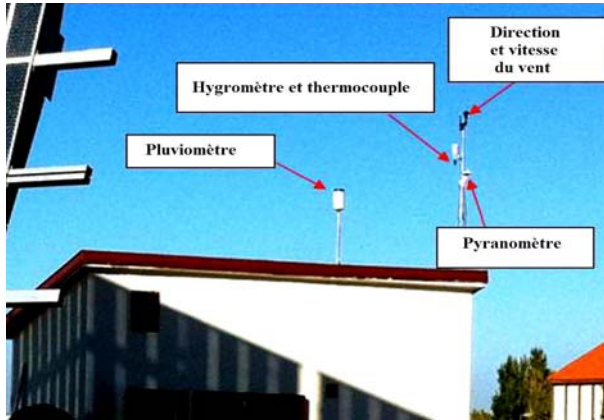


Fig. 3: Station météorologique implanté à Université Al Akhawayn

Les résultats typiques, relatifs à la radiation solaire globale et directe et la puissance totale 'AC', obtenus au cours de ce travail durant une journée ensoleillée, sont représentés sur les figures 4 et 5.

Il apparaît que:

- La radiation solaire directe normale est importante par rapport à la radiation solaire globale (Fig. 4). Ce comportement est observé durant toute la journée. Pour les faibles éclaircissements (inférieur à 200 W/m^2), la tendance s'inverse. Ceci n'a pas d'influence sur le fonctionnement de la station photovoltaïque puisque la puissance fournie est pratiquement négligeable (Fig. 5).

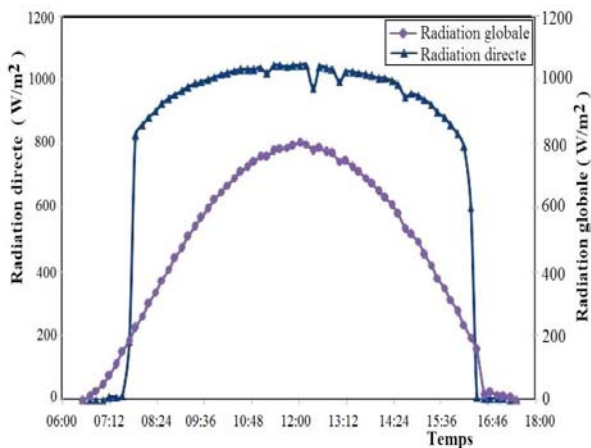


Fig. 4: Radiation solaire direct et global durant une journée ensoleillée

- Lorsque la radiation solaire directe normale atteint la valeur de 1000 W/m^2 (Fig. 4), la puissance 'AC' totale à la sortie des inverseurs atteint 30 kW . Cette puissance est parfaitement conforme au cahier de charge de fonctionnement des panneaux photovoltaïques à haute concentration 'CPV', parce que les systèmes travaillent dans des conditions d'exposition qui sont toujours plus pires que les conditions nominales. Ce résultat nous montre un rapport de fonctionnement (performance ratio) d'environ 0.89 .

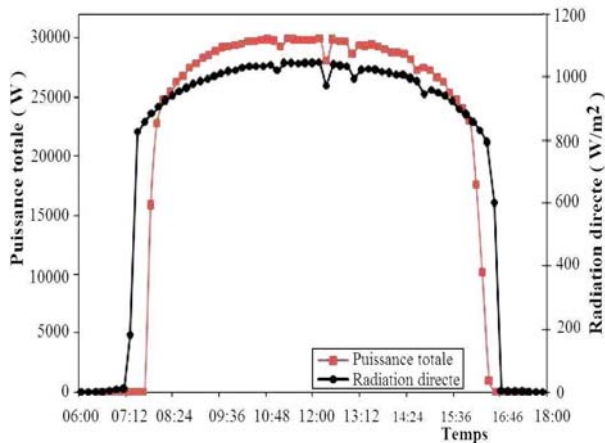


Fig. 5: Puissance AC et radiation solaire directe du système photovoltaïque au cours d'une journée

L'ensemble des résultats obtenus dans ce travail (puissance de 30 kW , radiation de 1000 W/m^2) montre le bon fonctionnement de la station photovoltaïque à haute concentration 'CPV' installée à Ifrane.

3. CONCLUSION

Dans cet article, nous avons décrit l'installation et le fonctionnement de la station photovoltaïque à haute concentration implantée à l'Université Al Akhawayn. Nous avons montré que la puissance AC fournie par la station peut atteindre la valeur 30 kW sous une radiation directe de 1000 W/m^2 .

Ceci montre le bon fonctionnement des panneaux photovoltaïque de concentration dans la région du Moyen Atlas, et en conséquence son utilisation pour la production d'énergie électrique à grande dimension.

REMERCIEMENTS

Ce travail rentre dans le cadre du projet NACIR (New Applications for CPV's: a fast way to improve reliability and technology progress) créée par l'Union Européenne en collaboration avec les pays méditerranéennes et en coordination avec l'Université Polytechnique de Madrid 'UPM' [15].

Nous remercions également Isofoton pour sa collaboration afin d'obtenir des mesures sur leurs appareils.

REFERENCES

- [1] T. Takamoto, E. Ikeda, H. Kurita, M. Ohmori and M. Yamaguchi, '*Two-terminal Monolithic In_{0.5}Ga_{0.5}P/GaAs Tandem Solar Cells with a High Conversion Efficiency of Over 30 %*', Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 36, N°10, pp. 6215 - 6220, 1997.
- [2] M.R. Brown, L.J. Goldhammer, G.S. Goodelle, C.U. Lortz, J.N. Perron, J.S. Powe, J.A. Schwartz, B.T. Cavicchi, M.S. Gillanders and D.D. Krut, '*Characterization Testing of Dual GaInP₂/GaAs/Ge Solar Cell Assemblies*', In: Proceedings of the 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Anaheim, N.Y., USA. pp. 805 – 810, 1997.
- [3] M. Yamaguchi, T. Takamoto, K. Araki and N. Ekins-Daukes, '*Multi-Junction III–V Solar Cells: Current Status and Future Potential*', Solar Energy, Vol. 79, N°1, pp. 78 – 85, 2005.
- [4] K. Xiong, S. Lu, J. Dong, T. Zhou, D. Jiang, R. Wang and H. Yang, '*Light-Splitting Photovoltaic System Utilizing Two Dual-Junction Solar Cells*', Solar Energy, Vol. 84, N°12, pp. 1975 -1978, 2010
- [5] M. Stan, D. Aiken, B. Cho, A. Cornfeld, V. Ley, P. Patel, P. Sharps and T. Varghese, '*High Efficiency Quadruple Junction Solar Cells Using OMVPE With Inverted Metamorphic Device Structures*', Journal of Crystal Growth, Vol. 312, N°8, pp. 1370 - 1374, 2010.
- [6] G. Zubi, J.L. Bernal-Agustin and Gian Vincenzo Fracastoro, '*High Concentration Photovoltaic Systems Applying III–V Cells*', Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13, N°9, pp. 2645 – 2652, 2009.
- [7] Photon International, '*Market Survey on Concentrating PV*', November 2008, p. 146.
- [8] R.R. King, A. Boca, W. Hong, X-Q. Liu, D. Bhusari, D. Larrabee, K.M. Edmondson, D.C. Law, C.M. Fetzer, S. Mesropian and N.H. Karam, '*Band-Gap-Engineered Architectures for High-Efficiency Multijunction Concentrator Solar Cells*', 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 21-25 September 2009, Hamburg, Germany, 1AO.5.2, pp. 55 – 61, 2009.
- [9] Technical Report, Fraunhofer ISE, '*World Record: 41.1% Efficiency Reached for Multi-Junction Solar Cells at Fraunhofer ISE*', Press release, January 2009.
- [10] W. Guter, J. Schone, S.P. Phillips, M. Steiner, G. Siefer, A. Wekkeli, E. Welser, E. Oliva, A.W. Bett and F. Dimroth, '*Current-Matched Triple-Junction Solar Cell Reaching 41.1% Conversion Efficiency Under Concentrated Sunlight*', Applied Physics Letters, Vol. 94, N°22, 223504, 2009
- [11] Technical Report, '*NREL Solar Cell Sets World Efficiency Record at 40.8 Percent*', NREL News Release NR-2708, Aug. 13, 2008.
- [12] Sol3-www.Sol3g.com
- [13] ISFOC, Instituto de Sistemas Fotovoltaicos de Concentracion. Homepage -www.isfoc.es.
- [14] M.A. Vázquez, V. Diaz, J. Cabrera, K. Loudiyi, T. Mrabti and A. El Moussaoui, '*First CPV Installation in Morocco: Made By Isofoton*', 7th International Conference on Concentrating Photovoltaic Systems, CPV-7, 4-6 April 2011, Las Vegas, USA, AIP Conference Proceedings, Vol. 1407, pp. 349 – 353, 2011.
- [15] G. Sala, D. Pachón, J. Leloux, M. Victoria, A.W. Bett, P. Banda, A. Gombert, V. Diaz, M.A. Vazquez, A. El Moussaoui and F.A. Abulfotuh, '*Nacir: An European Initiative Dedicated to Cooperation with Mediterranean Partner Countries in the Field of Photovoltaic Concentration*', 24th European Photovoltaic Solar Energy Conference, 21-25 September 2009, Hamburg, Germany, pp. 819 – 822, 2009.