

# Changement de configuration des connexions d'un champ photovoltaïque

Fatima Zohra ZERHOUNI, M. ZEGRAR, M.H. ZERHOUNI,  
M.T. BENMESSAOUD and B.A. STAMBOULI

**Résumé** - Dans un système champ photovoltaïque-charge (GPV-charge) couplé directement, il est important de faire correspondre la charge au GPV autrement la puissance fournie à la charge pourrait être nettement inférieure à la puissance maximale disponible dans le GPV. Cette perte de puissance résultant de cet écart se traduirait par une diminution de rendement du système global. Pour surmonter ce problème, différentes méthodes ont été proposées.

La méthode présentée dans le présent travail est basée sur une recherche continue de la meilleure configuration du champ photovoltaïque en changeant les différentes connexions des modules photovoltaïques afin de minimiser les pertes engendrées dans le système. La méthode proposée ici est fondée sur la sélection, en temps réel de la configuration optimale du GPV pour une charge quelconque compte tenu des conditions de travail. Cette méthode est particulièrement pratique pour tout couplage direct entre un générateur photovoltaïque et une charge.

On ne fait donc pas recours à la simulation à chaque changement de charge et / ou de conditions climatiques.

**Mots clés** - Champ photovoltaïque / charge/commutation/configuration parallèle/configuration série/puissance

**Abstract** - In GPV system coupled directly to a load, it is important to have a good matching between them otherwise the power supplied to the load could be less than the maximum power available in the GPV. This loss of power resulting from this difference would result in a decrease in overall system performance. To overcome this problem, various methods have been proposed.

The method presented in this work is based on a continuous search for the best configuration of solar array by changing connections of different modules in order to minimize losses. The method proposed here is based on the selection, in real-time of the optimal configuration of the GPV for any load conditions, and climatic conditions. This method is especially useful for any direct coupling between a photovoltaic generator and a load.

In this case, we did not use the simulation at each load and/or climatic conditions changes.

**Key words** - Array field / load / switching / parallel configuration / series configuration / power.

## 1. INTRODUCTION

Dans le cas d'une connexion directe GPV-charge, le point de fonctionnement du GPV dépend de l'impédance de la charge à laquelle il est connecté. Ce choix est principalement lié à la simplicité, la fiabilité et le faible coût de l'opération. Cependant, cette configuration n'offre aucun type de limitation et/ou de réglage de puissance de la charge. Ce qui la restreint à des applications données. Le GPV présente une caractéristique électrique non linéaire, tributaire de l'ensoleillement et de la température [1-2]. Il présente une puissante crête pour des conditions de travail données.

## 2. ETAT DEL'ART

Le GPV peut être mal exploité et ne fournit pas toujours la puissance maximale potentielle à la charge, la différence étant perdue sous forme de chaleur dissipée dans le générateur.

Des recherches sur des solutions novatrices optimisant mieux la production d'énergie photovoltaïque (PV) ont vu le jour pour amener l'énergie PV à un degré de fiabilité comparable à une source d'énergie traditionnelle [3-7].

Dans [8-9], les auteurs présentent une technique pour trouver les niveaux d'ensoleillement pour permettre le changement de configuration du GPV. On reconfigure le GPV en parallèle à un faible niveau d'ensoleillement et en série à un haut niveau d'ensoleillement. Cette méthode est limitée pour l'ensoleillement et les changements du facteur température ne sont pas pris en compte. D'une autre part, l'étude est pour une charge spécifique et ne peut être applicable s'il y'a des changements de charge. Dans ce cas, il est nécessaire de recourir à la simulation à chaque variation de charge pour décider du moment de commutation. La méthode présentée dans le présent travail est basée sur une recherche continue de la meilleure configuration du GPV en changeant les différentes connexions des modules afin de minimiser les pertes engendrées dans un système GPV-charge couplé directement [10].

### 3. TECHNIQUE UTILISANT LES PUISSANCES

Pour illustrer ce principe, à titre d'exemple on dispose d'une charge résistive  $R=15\Omega$  alimentée par deux modules photovoltaïques soit en parallèle (configuration 1:  $N_{p1} \times N_{s1} = 2 \times 1$ ) soit en série (configuration 2:  $N_{p2} \times N_{s2} = 1 \times 2$ ) avec  $N_s$ : nombre de modules en série dans une branche et  $N_p$ : nombre de branches en parallèle.

En Fig 1, la configuration parallèle s'obtient en fermant les relais  $R_{elp}$  et  $R_{elp}'$ . La configuration série est obtenue en fermant l'interrupteur  $R_{els}$ . Les diodes sont pour la protection du champ photovoltaïque.

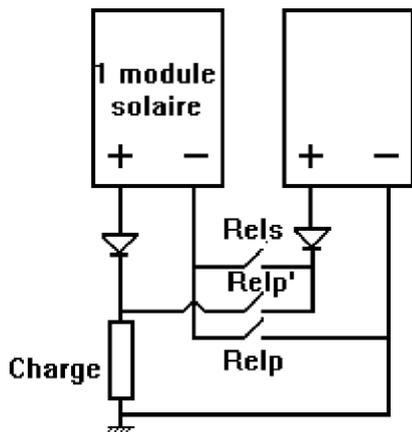


Fig. 1. Différentes connexions établis pour 2 modules photovoltaïques.

Pour une température maintenue constante  $T=25^\circ\text{C}$ , à chaque ensoleillement, on calcule les points d'intersection (puissance de fonctionnement) de la charge  $R=15\Omega$  avec la caractéristique P-V (puissance-tension) du GPV pour la première configuration puis pour la deuxième. On représente les puissances de fonctionnement  $P_{fct1}$  et  $P_{fct2}$  selon les conditions considérées (ici variations d'ensoleillement  $E_s$ ). Ces deux puissances se croisent en un point d'iso puissance. Ainsi, en Fig. 2, on a repris la puissance de fonctionnement  $P_{fct1}$  du GPV-R pour la configuration 1 et  $P_{fct2}$  pour la configuration 2.

Ces deux courbes présentent une même puissance de fonctionnement pour  $E_s=40\%$ . Comme visible en Fig. 2, la puissance  $P_{fct1}$  est supérieure à  $P_{fct2}$  pour

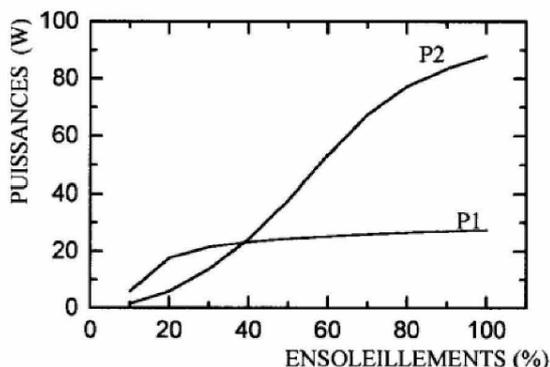


Fig. 2. Puissances de fonctionnement de cette charge avec les configurations adoptées vis-à-vis de  $E_s$ .

$E_s < 40\%$ . Par contre, pour  $E_s > 40\%$ , ceci s'inverse.

Si on tolère un changement de configuration, en adoptant la configuration 1 pour tout  $E_s < 40\%$  et la configuration 2 pour tout  $E_s > 40\%$ , l'apport en puissance sera meilleur pour notre charge et l'exploitation de notre GPV sera bonne.

### 4. AUTRE TECHNIQUE

On suppose avoir deux configurations  $N_{p1} \times N_{s1}$  (configuration 1) et  $N_{p2} \times N_{s2}$  (configuration 2).

Le principe consiste au calcul pour chaque ensoleillement (la température étant gardée constante) des points d'intersection  $P_{com}$  définis par les coordonnées  $(I_{com}, V_{com})$  (courant commutation-tension de commutation) des caractéristiques I-V (courant-tension) de la configuration 1 et de la configuration 2 adoptées. Ces points d'intersection sont les points propices à la commutation d'une configuration à une autre.

Ils introduisent la résistance de commutation  $R_{com}$  définie par:

$$R_{com} = \frac{V_{com}}{I_{com}} \quad (1)$$

Cette résistance  $R_{com}$  aiguillera le moment de changement de configuration. En effet, quelle que soit la résistance  $R$ , par simple aperçu de sa valeur par rapport à  $R_{com}$ , on dira que telle configuration sied à  $R$  au lieu d'une autre pour telles conditions de travail parce qu'elle lui procurera plus de puissance.

En se reportant à la Fig. 3.a, après calcul de  $R_{com}$ , pour des conditions climatiques spécifiques, on dira que toute charge  $R$  de valeur inférieure à  $R_{com}$  doit lui être établie la configuration 1 (cas de  $R1$ ). Par contre, si  $R$  est supérieure à  $R_{com}$ , la configuration 2 lui sera attribuée (cas de  $R2$ ). Ceci s'affirme par la Fig. 3.b des relevés de puissance. Pour la résistance  $R1$ , si la configuration 1 est choisie,  $R1$  fonctionnera avec la puissance  $P_{fcta}$ .

Néanmoins, si elle est alimentée par le GPV assemblé en configuration 2, la puissance extraite serait  $P_{fcta}'$  qui est inférieure à  $P_{fcta}$  d'où nécessité d'adopter la configuration 1. En ce qui concerne la charge  $R2$ , si la configuration optée est la configuration 1, le GPV y débitera  $P_{fctb}$ . Par contre, si l'assemblage adopté est la configuration 2, la puissance recueillie aux bornes de  $R2$  serait  $P_{fctb}' > P_{fctb}$  d'où la configuration 2 est la configuration la plus adéquate à  $R2$ .

L'exemple en Fig. 3.a représente la caractéristique I-V du GPV à  $E_s=100\%$ ,  $T=25^\circ\text{C}$ , pour les configurations choisies : configuration 1 ( $N_{p1} \times N_{s1} = 2 \times 1$ ) et la configuration 2 ( $N_{p2} \times N_{s2} = 1 \times 2$ ). La valeur de  $R_{com}$  pour ce cas est égale à  $6.08\Omega$ .

En choisissant par exemple  $R1 = 1\Omega < R_{com}$ , d'après la Fig. 3.a et 3.b, la puissance qui lui est fournie notée  $P_{fcta}$  par l'assemblage 1 est de  $40.76\text{W}$  excédant celle du série  $P_{fcta}' = 10.19\text{W}$ . Tandis que pour  $R2 = 60\Omega > R_{com}$ , la configuration série lui procure une

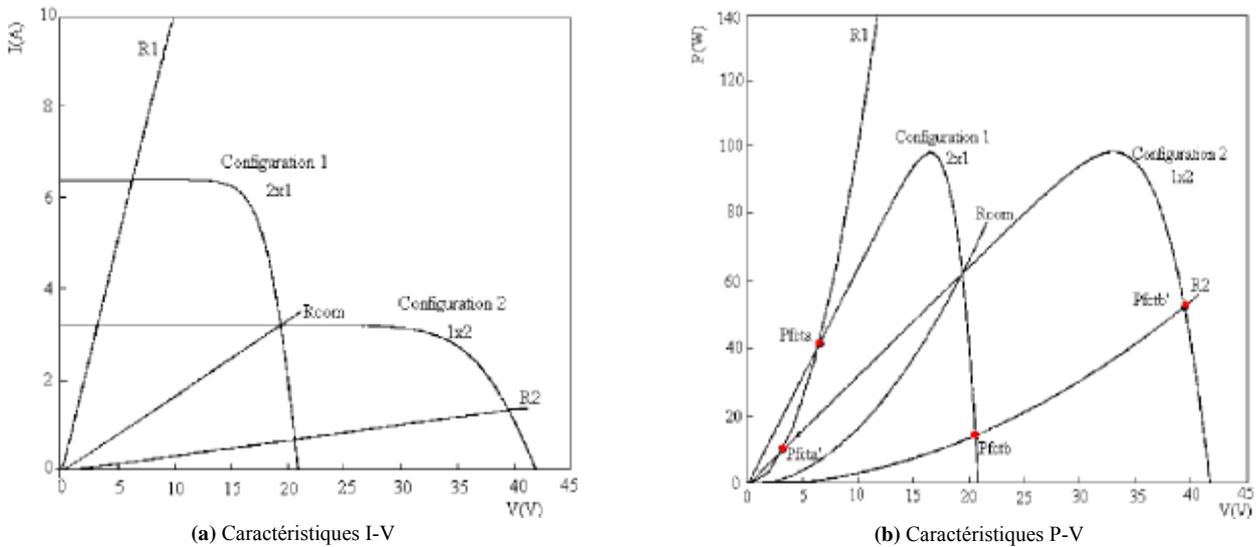


Fig. 3. Caractéristiques de couplage direct GPV-R pour les configurations  $N_p \times N_s = 2 \times 1, 1 \times 2, T = 25^\circ C, E_s = 100\%$ .

puissance de  $P_{fitb} = 27.55W$  dépassant celle de la configuration 1 égale à  $7.18W$  notée  $P_{fitb}$ .

$R_{com}$  étant fonction de  $V_{com}$  et  $I_{com}$  est spécifique à des conditions d'ensoleillement et de température et des configurations considérées.

On a représenté en Fig. 4.a pour deux modules configurés en configuration 1 ( $N_{p1} \times N_{s1} = 2 \times 1$ ) et en configuration 2 ( $N_{p2} \times N_{s2} = 1 \times 2$ ),  $R_{com}$  en fonction de l'ensoleillement pour  $T = 25^\circ C$ . On voit la tendance de  $R_{com}$  à décroître suivant l'ensoleillement.  $R_{com}$  étant définie par l'équation (1) suit essentiellement l'accroissement de  $I_{com}$  vis à vis de l'ensoleillement.

La Fig. (4.b) illustre la variation de  $R_{com}$  à l'égard de la température pour  $E_s = 10\%, 50\%, 100\%$ . Pour un ensoleillement fixé, d'une température à une autre, on remarque que  $R_{com}$  décroît suivant l'augmentation en température. Ceci s'explique par le fait que  $R_{com}$  suit  $V_{com}$  étant donné que  $I_{com}$  est presque insensible à l'évolution de la température comme on le verra.

L'apport de cette technique par rapport à celle traitant avec les puissances [8-10] est que cette manière

d'adopter une configuration pour un équipement résistif R, en le comparant à  $R_{com}$  pour certaines conditions climatiques s'applique pour n'importe quelle valeur de R. Par contre, celle [8-10] doit calculer les puissances de fonctionnement relatives aux différentes configurations choisies à chaque changement de R en supposant des conditions de travail fixes. Notre technique proposée ne nécessite que le calcul de  $R_{com}$  pour des conditions spécifiques d'opération. Elle voit ensuite la position de n'importe quelle R par rapport à  $R_{com}$  puisque le calcul de  $R_{com}$  est indépendant de la charge.

5. CONCLUSION

La méthode proposée ici est fondée sur la sélection, en temps réel de la configuration optimale du GPV pour une charge quelconque compte tenu des conditions de travail. Cette méthode est particulièrement pratique pour tout couplage direct entre un générateur photovoltaïque et une charge. La

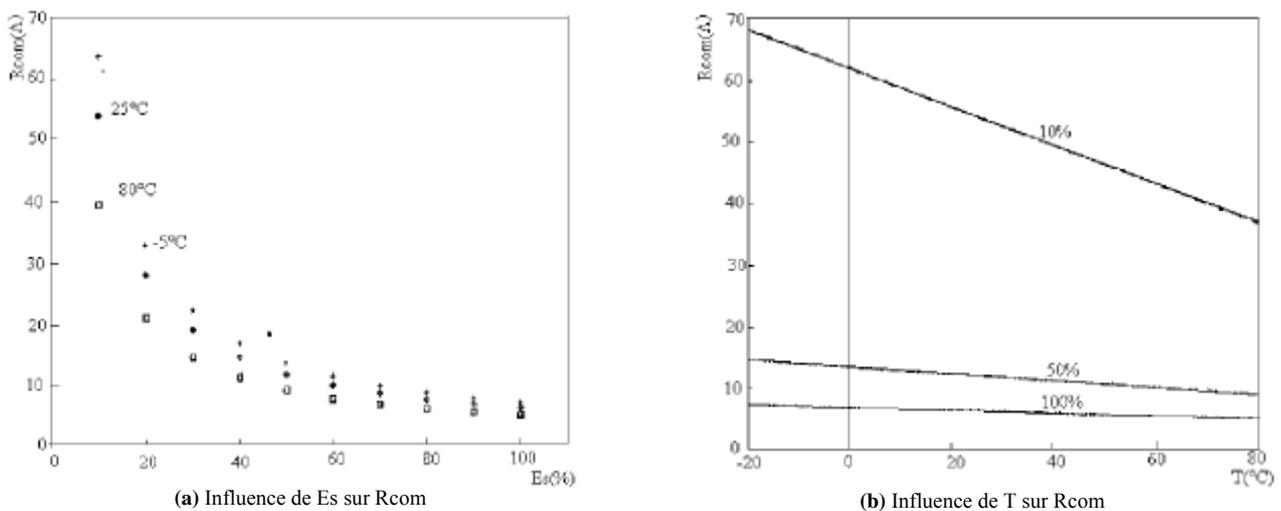


Fig. 4. Variation de  $R_{com}$  selon les conditions d'ensoleillement et de température.

méthode de mise en œuvre est assez simple en utilisant un système analogique ou numérique comme un système de contrôle de connexion des différents modules du GPV.

## NOMENCLATURE

Es: ensoleillement (%)  
 I: courant (A)  
 Icom: courant de commutation (A)  
 Ns: nombre de modules en série dans une branche  
 Np: nombre de branches en parallèle  
 R: charge ( $\Omega$ )  
 Pcom: puissance de commutation (W)  
 Pfct: puissance de fonctionnement (W)  
 Rcom: résistance de commutation ( $\Omega$ )  
 T: température ( $^{\circ}\text{C}$ )  
 V: tension (V)  
 Vcom: tension de commutation (V)

## REFERENCES

1. E. Durán, J.M. Andújar, J. Galán, M. Sidrach-de-Cardona Methodology and experimental system for measuring and displaying I-V characteristic curves of PV facilities Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Volume 17, Issue 8, (2009), 574-586.
2. F.Z. ZERHOUNI, Etude de l'influence de différents agents sur les caractéristiques d'un générateur photovoltaïque REVUE TECHNOLOGIQUE ET SCIENTIFIQUE COST, ENSET, ORAN, N<sup>o</sup>4, (2006) 39-44.
3. H. Mekki, A. Mellit, S.A. Kalogirou, A. Messai, G. Furlan FPGA-based implementation of a real time photovoltaic module simulator Progress in Photovoltaics: Research and Applications Volume 18, Issue 2, (2010), 115-127.
4. N. Femia, G. Petrone, G. Spagnuolo, M. Vitelli A new analog MPPT technique: TEODI, Progress in Photovoltaics: Research and Applications Volume 18, Issue 1, (2010), 28-41.
5. F.Z. Zerhouni, M. Zegrar, M.T. Benmessaoud, A. Boudghene Stambouli, A. Midoun A novel method to optimize photovoltaic generator operation, International Journal of Energy Research, Volume 32, Issue 15, (2008), 1444-1453.
6. Pablo Sanchis, Jesús López, Alfredo Ursúa, Eugenio Gubía, Luis Marroyo On the testing, characterization, and evaluation of PV inverters and dynamic MPPT performance under real varying operating conditions, Progress in Photovoltaics: Research and Applications Volume 15, Issue 6, (2007), 541-556.
7. F.Z. ZERHOUNI, M. ZEGRAR, A. MIDOUN, Optimisation du fonctionnement d'un générateur photovoltaïque alimentant un hacheur Bulletin De L' enset D'oran N<sup>o</sup>5- Avril, (1998).
8. Salameh Z.M., Chaozi L. Optimum switching points for array reconfiguration controller 21st , IEEE photovoltaic conference; 2 (1990) 971-976.
9. Salameh Z.M., Mulpur A.K., Dagher F., Two stage electrical array reconfiguration CONTROLLER. PHOTOVOLTAIC ENERGY (1990) 44:51-55.
10. F.Z. Zerhouni Développement et optimisation d'un générateur énergétique hybride propre a base de Pv-Pac. Thèse de doctorat, département d'électronique, USTO (2009).

**Fatima Zohra ZERHOUNI**  
 Maître de conférences  
 Département d'électronique  
 Faculté du Génie Electrique USTO  
 BP 1505 Oran El M'naouer  
 ALGERIE  
*E-mail:* zerhouni\_fz@yahoo.fr

**Mansour ZEGRAR**  
 Enseignant chercheur  
 Département d'électronique  
 Faculté du Génie Electrique USTO  
 BP 1505 Oran El M'naouer  
 ALGERIE  
*E-mail:* zegrar2@yahoo.fr

**M'hamed Houari ZERHOUNI**  
 Enseignant chercheur  
 Département d'électronique  
 Faculté du Génie Electrique USTO  
 BP 1505 Oran El M'naouer  
 ALGERIE  
*E-mail:* zer\_mh@yahoo.fr

**Mohamed Tarik BENMESSAOUD**  
 Enseignant chercheur  
 Département d'électronique  
 Faculté du Génie Electrique USTO  
 BP 1505 Oran El M'naouer  
 ALGERIE  
*E-mail:* tariktemps@yahoo.fr

**Bouydhene Amine STAMBOULI**  
 PROFESSEUR  
 Département d'électronique  
 Faculté du Génie Electrique USTO  
 BP 1505 Oran El M'naouer  
 ALGERIE  
*E-mail:* aboudghenes@yahoo.com