



# Modélisation et Simulation des Convertisseurs DC/DC en Différentes Topologies pour Améliorer le Rendement Dédiées au Système Photovoltaïque

Birane Mouhoub<sup>1</sup>, Larbes Cherif<sup>2</sup>, Cheknane Ali<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire de semi-conducteurs et des matériaux fonctionnels. Université de Amar Telidji LAGHOUAT, Algeria.

<sup>2</sup> Laboratoire des Dispositifs de Communication et de Conversion Photovoltaïque

Département d'Électronique, École Nationale Polytechnique

10, Avenue Hassen Badi, El Harrach, 16200, Alger, Algérie

E-mail : birane\_mou2007@yahoo.fr

**Résumé** — Dans cet article, nous présentons différentes topologies pour améliorer les performances de la photovoltaïque (PV) et l'efficacité de la conversion de l'énergie en utilisant différentes configurations de convertisseurs de puissance. A cet effet, une étude comparative entre les différentes configurations est effectuée concerne une topologie distribuée. Pour ce dernier, nous utilisons un certain nombre de chaînes photovoltaïques avec des convertisseurs de faible puissance attachés en série, en parallèle ou selon une combinaison de série et en parallèle. Il est évident que la topologie de chaîne présente certains avantages. Chaque convertisseur de puissance peut commander la conversion de puissance de chaque module individuellement, ce qui entraîne une augmentation de la conversion de l'énergie globale de l'ensemble du système. Le système de contrôle MPPT dans ce cas peut réagir efficacement aux variations atmosphériques, à effet d'ombrage et à l'évolution de la charge. Le système PV fonctionne toujours, même en cas de panne sur l'un des convertisseurs de puissance dans une chaîne. Nous avons simulé et comparé les différentes configurations de conversion afin de trouver le meilleur en termes d'efficacité et de l'énergie produite. Les résultats obtenus sont très intéressants et peuvent conduire à dimensionnement et la sélection de la meilleure topologie de PV optimale pour une application donnée.

**Mots clés**—Systèmes Photovoltaïques, MPPT, le rendement, Performances, convertisseur DC-DC.

## I. INTRODUCTION

Les sources renouvelables d'acquérir de l'importance croissante en raison de son énorme consommation et l'épuisement des combustibles fossiles. L'énergie solaire pourrait être l'une des sources importantes comme une énergie alternative pour l'avenir. En ce qui concerne l'importance de l'énergie solaire sans fin, il convient de dire que l'énergie photovoltaïque est une meilleure solution prospective pour la crise de l'énergie [1].

L'architecture distribuée est une vision utilisée depuis de nombreuses années dans le domaine informatique et on assiste depuis longtemps déjà à une opposition entre deux types d'architectures: celle dite centralisée et celle dite distribuée [2]. Les deux types d'architecture ont chacune des propriétés propres intéressantes qui les destinent à des applications différentes.

La question qui se pose aujourd'hui c'est jusqu'à quel point doit-on discrétiser ce système de gestion? Qu'y gagne-t-on en terme énergétique? Combien cela coûte-t-il? Nous avons souhaité repousser les limites au plus petit nombre de cellules possible pour savoir si le gain apporté en terme énergétique restait valable à ces échelles de faibles puissances.

Ainsi, nous souhaitons optimiser l'énergie photovoltaïque au maximum de ses capacités. Mais de nombreux verrous technologiques sont à résoudre avant d'arriver à une discrétisation aussi fine de la chaîne de conversion électrique.

De nos jours, si on considère le critère rendement  $\eta_{conv}$  des convertisseurs de puissance, des rendements de conversion supérieurs à 95% sont aisément obtenus sans trop de difficulté lorsque la puissance à transférer est supérieure à 50W. Ceci permet de considérer cet étage comme transparent et de négliger son influence vis à vis du reste de la chaîne de conversion. Mais, dès lors que l'on descend sous des puissances de 10 W, on se heurte à deux difficultés: la première est d'arriver à conserver des rendements aussi élevés et la deuxième, liée à la taille et l'encombrement importants de tous ces étages compte tenu de la multiplication de ces derniers, sans compter le prix [3].

## II. CARACTÉRISTIQUES ÉLECTRIQUES D'UN GÉNÉRATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

Pour étudier les caractéristiques courant-tension de PV tableau et l'emplacement du point de puissance maximale pour certains la variation des paramètres, l'MSX60 Solarex, un 60W typiques Module PV, a été choisi pour la modélisation. Le module a  $N_s = 36$  connectés en série des cellules poly cristallines. Le circuit diagramme pour la cellule solaire est montré à la Fig.1 [4]. La sortie de la source de courant est directement proportionnelle à la lumière tombant sur la cellule qui est connu comme photo courant.

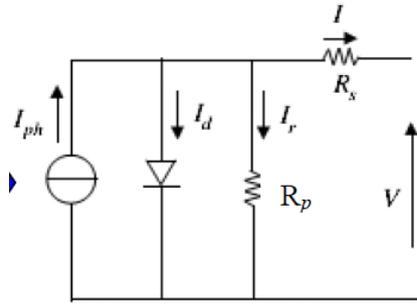


Fig.1. Schéma du circuit équivalent simplifié d'une cellule photovoltaïque.

L'équation qui représente les caractéristiques I(V) de P(V) peut être dérivée comme suit :

$$I = I_{ph} - I_{0d} \cdot \left( e^{\frac{q(U+R_s \cdot I)}{K \cdot T}} - 1 \right) - \frac{U + R_s \cdot I}{R_{sh}} \quad (1)$$

Avec:

$$I_d = I_{0d} \cdot \left( e^{\frac{q \cdot (U + R_s \cdot I)}{K \cdot T}} - 1 \right) \quad (2)$$

Avec:

$I_{ph}$  : photo courant, ou courant généré par l'éclairement (A)

$I_{0d}$  : courant de saturation de la diode (A)

$R_s$  : résistance série ( $\Omega$ )

$R_{sh}$  : résistance shunt ( $\Omega$ )

$k$  : constante de Boltzmann ( $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ )

$q$  : charge de l'électron ( $q = 1,602 \cdot 10^{-19}$  C)

$T$  : température de la cellule ( $^{\circ}K$ )

Enfin, les deux résistances modélisent les pertes internes :

Résistance série  $R_s$  : modélise les pertes ohmiques du matériau. Résistance shunt  $R_{sh}$  : modélise les courants parasites qui traversent la cellule.

### III. ANALYSE DE CONVERTISSEUR DC / DC :

Le schéma classique d'un convertisseur DC / DC est montré dans la fig. 2.

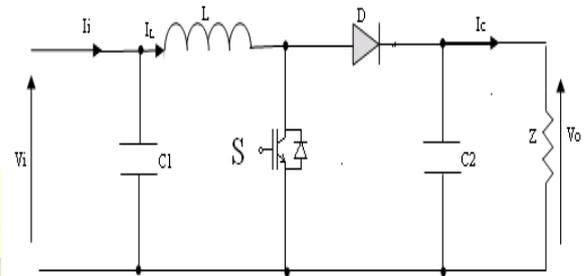


Fig.2. topologie de convertisseur élévateur DC / DC.

L'analyse de la élévateur DC / DC est base sur le circuit équivalent du convertisseur DC / DC en tenant compte des pertes est indiqué dans Fig.3.

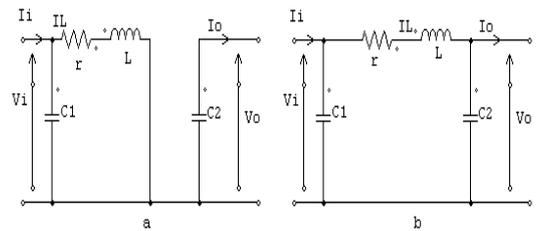


Fig. 3. Circuit équivalente de convertisseur DC / DC élévateur de tension S fermé en (a), S ouvert en (b).

La pente de courant  $I_L$  et des tensions  $V_{C1}$  et  $V_{C2}$  pendant la première période de fonctionnement est donnée par :

$$\begin{cases} \frac{di_L}{dt} \approx \frac{v_L}{L} = \frac{V_i - r_L I_L}{L} \\ \frac{dv_{C1}}{dt} \approx \frac{i_{C1}}{C_1} = \frac{I_i - I_L}{C_1} \\ \frac{dv_{C2}}{dt} \approx \frac{i_{C2}}{C_2} = \frac{-I_0}{C_2} \end{cases} \quad (3)$$

Les valeurs crête à crête des courants et des tensions sont :



$$\begin{cases} I_{Lcc} = 2\Delta I_L = \frac{V_i - r_L I_L}{L} \alpha T_s \\ V_{icc} = 2\Delta V_i = \frac{I_i - I_L}{C_1} \alpha T_s \\ V_{\alpha c} = 2\Delta V_O = \frac{-I_O}{C_2} \alpha T_s \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{Où } \eta = \frac{1}{1 + \frac{r_L}{(1-\alpha)^2 Z}}$$

Les valeurs des composants à choisir pour des ondulations données sont :

$$\begin{cases} L = \frac{V_i - r_L I_L}{2\Delta I_L} \alpha T_s \\ C_1 = \frac{I_i - I_L}{2\Delta V_i} \alpha T_s \\ C_2 = \frac{-I_O}{2\Delta V_O} \alpha T_s \end{cases} \quad (5)$$

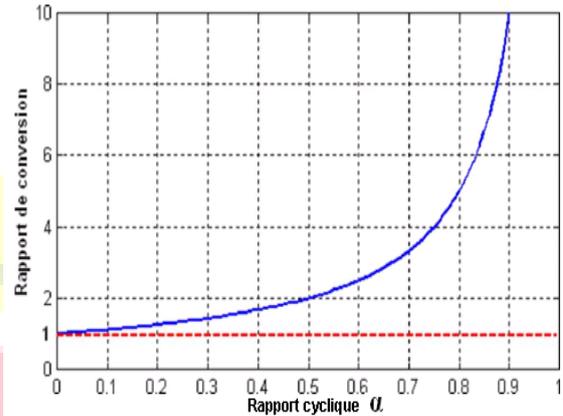


Fig. 4. Allure du rapport de conversion en fonction du rapport cyclique  $\alpha$ .

#### A. Étude en régime continu

En remplaçant les dérivées des signaux par des zéros, on peut remplacer les signaux du convertisseur par leurs grandeurs moyennes, cela simplifiera ainsi le système d'équations:

$$\begin{cases} I_L = I_i \\ I_O = (1-\alpha)I_L \\ V_i = (1-\alpha)V_O + r_L I_L \end{cases} \quad (6)$$

#### B. Rapport de conversion et rendement :

En utilisant les relations (6), on peut calculer le rapport de conversion  $\frac{V_O}{V_i}$

$$\begin{aligned} M(\alpha) &= \frac{V_O}{V_i} = \frac{1}{(1-\alpha) + \frac{r_L I_L}{V_O}} = \frac{1}{1 + \frac{r_L I_O}{(1-\alpha)^2 V_O}} \frac{1}{1-\alpha} \\ &= \frac{1}{1 + \frac{r_L}{(1-\alpha)^2 Z}} \frac{1}{1-\alpha} = \eta \frac{1}{1-\alpha} \end{aligned} \quad (7)$$

On remarque que le rendement  $\eta$  ne dépend pas seulement de la charge complexe  $Z$  du convertisseur et des résistances parasites des composants, mais il dépend aussi du rapport cyclique  $\alpha$ . Ainsi il est recommandé, pour que le Boost fournisse un bon rendement, de ne pas dépasser des rapports cycliques  $\alpha$  supérieurs à une certaine valeur, fixée par la qualité de l'inductance et la charge utilisée.

#### IV. LA STRUCTURE DE CHAMPS ETUDIEE :

La recherche bibliographique effectuée a révélé le grand intérêt de la mise en série ou en parallèle de convertisseurs DC/DC entre les modules PV et l'onduleur pour diminuer les impacts de l'ombrage et ainsi maximiser l'énergie produite. Le convertisseur Boost [5] a montré un grand intérêt au sein de cette structure. En effet, son élévation de tension, son bon rendement, sa fiabilité, la possibilité d'effectuer un Maximum Power Point Tracking (MPPT) et son coût faible sont des avantages déterminants.

Il existe principalement des architectures de convertisseurs donnant de bonnes solutions techniques : Le convertisseur central, les convertisseurs strings et les convertisseurs intégrés aux panneaux.

Dans notre étude on a simulé la topologie de convertisseurs strings selon deux associations série et parallèle de convertisseurs.



A. Association de modules

L'association de modules en parallèle augmente le courant du GPV alors que L'association de modules en série augmente la tension .La courbe caractéristique du GPV a la même forme que celle d'un module, À condition que les modules soient strictement identiques et qu'ils opèrent dans les mêmes conditions (comme l'éclairément, la température, l'inclinaison).

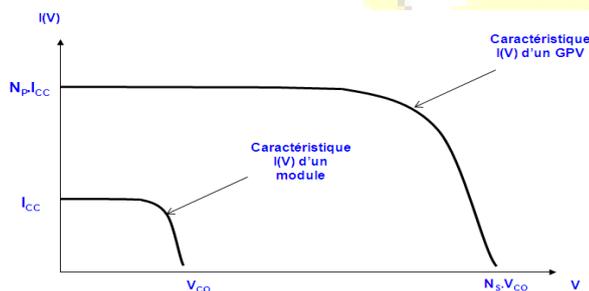


Fig.5. Augmentation de la puissance d'un GPV par association de modules [6]

Phénomène d'ombrage

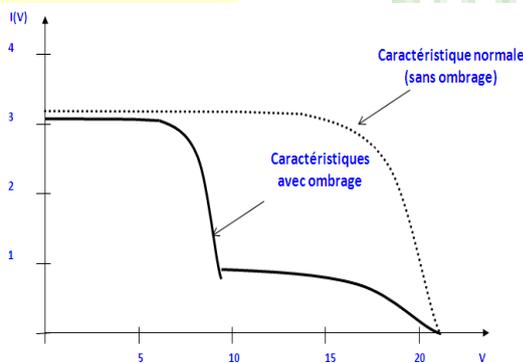


Fig .6. Influence de l'effet d'ombrage sur un générateur PV

Par exemple lorsqu'un module est ombragé, la courbe caractéristique de tout le GPV change, avec une baisse notable de la puissance maximale Il est aussi important de remarquer que le risque d'ombrage augmente avec la taille du générateur.

B .Les convertisseurs strings

Le champ PV est, ici aussi constitué de strings (Chaînes). Chaque string est toutefois relié à un onduleur (Fig.2.). Chaque string peut ainsi fonctionner à son PPM.

Cette technologie réduit considérablement le risque de problèmes d'adaptation ainsi que les pertes dues aux effets d'ombrage, tout en éliminant celles occasionnées par les diodes anti-retour et un câblage prolongé vers le générateur DC. Ces propriétés techniques avantageuses accroissent la fiabilité de l'installation ainsi que sa production énergétique. Mais il faut prendre en compte l'augmentation du nombre de convertisseur de moyenne puissance disposant de rendement compris entre 92% et 96% nécessaires pour calculer le surcoût d'une telle architecture [7].

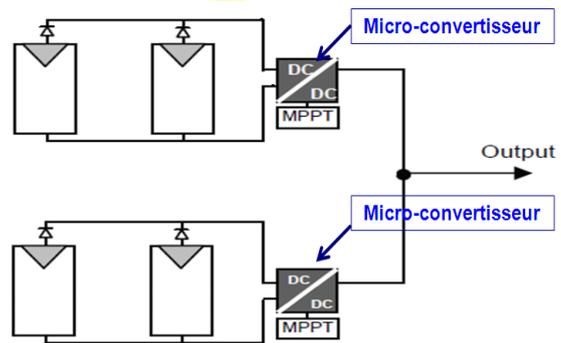


Fig .7. les convertisseurs strings [6].

La solution est de mettre en œuvre une autre topologie, où le générateur central est remplacé par des générateurs de plus petites tailles, avec pour chaque générateur un micro-convertisseur auquel il est associé.

Des modèles électriques simples des deux différents panneaux donc été développés grâce au logiciel de simulation électrique PSIM. Nous avons ainsi étudié, par simulation, l'associabilité de ces deux panneaux photovoltaïques dans différentes configurations possible, bien avant que le module optimal.

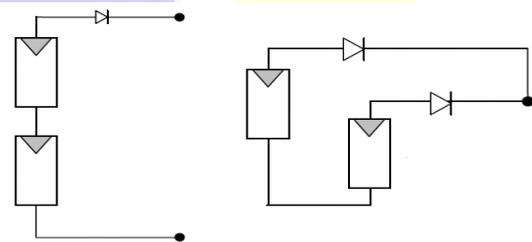


Figure .8. Proposition d'association en parallèle et série des modules PV avec diodes anti-retour.

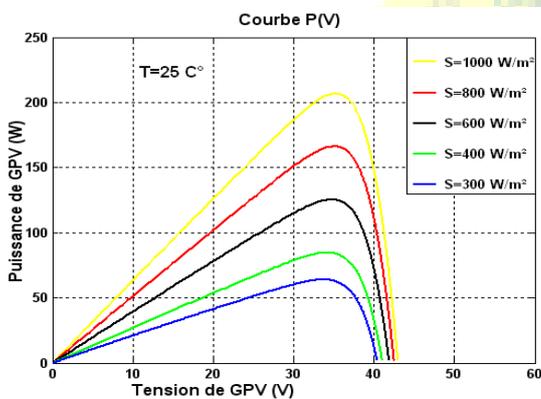
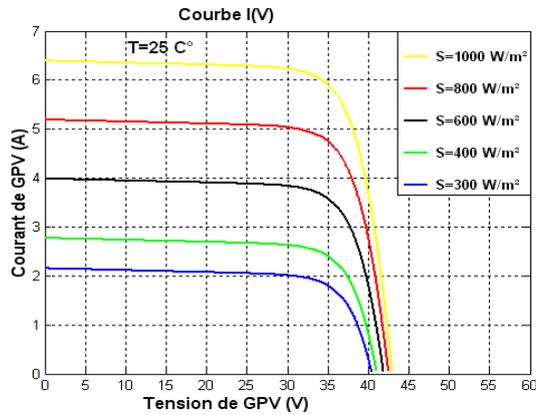


Fig .9. Résultats de simulation des caractéristiques I(V) ;P(V) de deux module montés en parallèle, chacune formée par deux modules associés en série en fonction de différentes irradiances à T=25°C.

La dernière architecture envisagée, afin d'optimiser la puissance à transférer, est d'utiliser un étage d'adaptation DC/DC avec commande MPPT Cette architecture de gestion correspond à une architecture discrétisée. En fait, chaque champ donné possèdera son propre étage d'adaptation permettant d'exploiter la puissance disponible aux bornes du PV. Ainsi, en se rapprochant au plus près de la source de production, on peut espérer produire le maximum de puissance. Le schéma de la (Fig.10.) présente donc le principe de gestion de puissance.

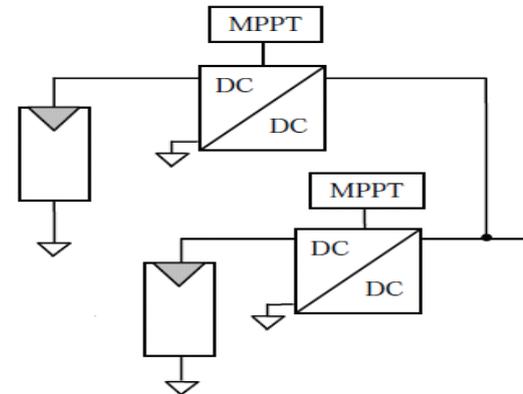


Fig .10.Principe de gestion de puissance de système PV.

Par conséquent, un panneau mal adapté ou encore un ombrage partiel porte préjudice à une exploitation optimale de chaque chaîne PV et entraîne une réduction du rendement énergétique. Le convertisseur central possède de plus en plus souvent au moins un système de contrôle MPPT lui permettant de fonctionner à son PPM. Cela marche parfaitement tant que les panneaux sont identiques et qu'ils fonctionnent sous un ensoleillement homogène. Mais lorsque les caractéristiques électriques entre les panneaux diffèrent, dues à des ombrages, des salissures, au vieillissement ou au stress, la commande MPPT devient incertaine et le champ photovoltaïque ne produit pas autant qu'il le pourrait. En outre, la fiabilité de l'installation est limitée parce qu'elle dépend d'un seul convertisseur. Ainsi, lorsqu'une panne de le convertisseur central se produit, elle entraîne l'arrêt complet de l'installation et donc de la production [6].

#### V. POURSUITE DU POINT DE PUISSANCE MAXIMALE

##### Système de conditionnement de la puissance

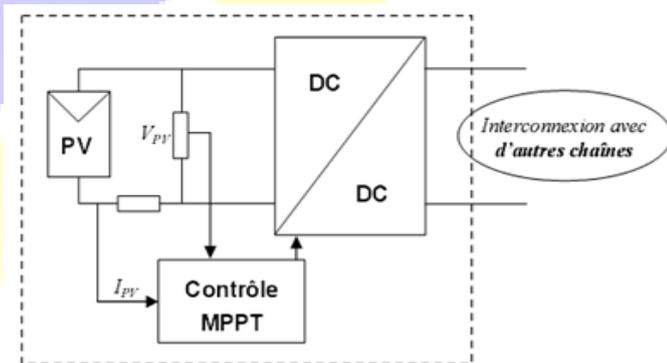


Fig .11. Exemple de convertisseur DC-DC utilisé comme adaptateur charge et source.

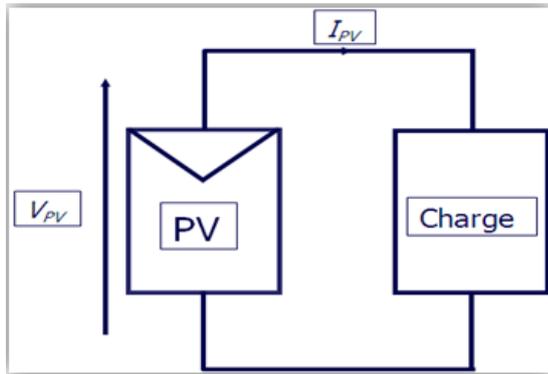


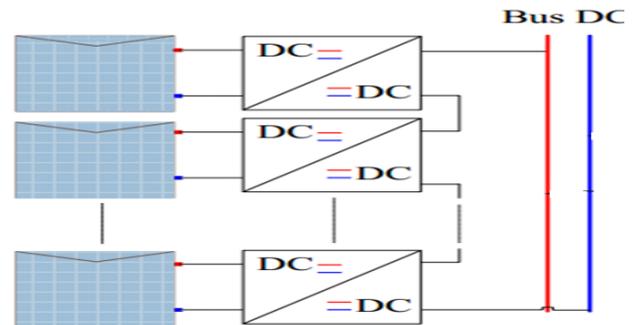
Fig. 12. Connexion électrique direct Entre le générateur PV et la charge.

La tension nécessaire à la charge est très élevée par rapport à celle délivrée par un panneau.

- ✓ Les formes des tensions et des courants délivrés par le générateur ne sont pas compatibles avec la charge.
- ✓ La tension et/ou le courant de la charge doivent être contrôlés.
- ✓ La production de la puissance du générateur PV doit être maximisée par l'intermédiaire d'une loi de commande de type MPPT [7].

Tandis que la modélisation du hacheur BOOST est assurée par PSIM

A. Simulation de deux convertisseurs en série

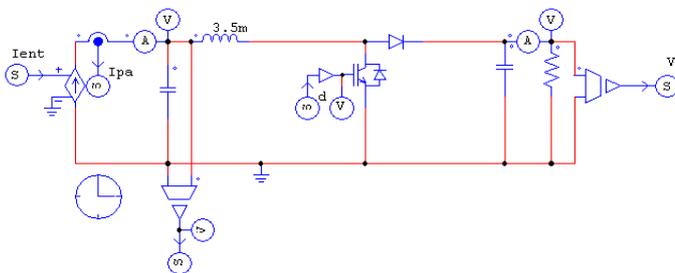


Le modèle de chaque convertisseur est identique à celui de convertisseur central. Les micro-convertisseurs sont montés en cascades.

VI. RESULTAT DE SIMULATION :

Dans notre simulation, on va s'intéresser à l'hacheur « BOOST » et Selon les études réalisées théoriquement, le convertisseur Boost est le plus intéressant, car il a une structure simple, et un gain en tension plus élevé que les autres pour un rapport cyclique donné.

Simulation de deux convertisseurs distribués



$L = 3.5 \text{ mH.}$

$C_1 = C_2 = 5.6 \text{ mF.}$

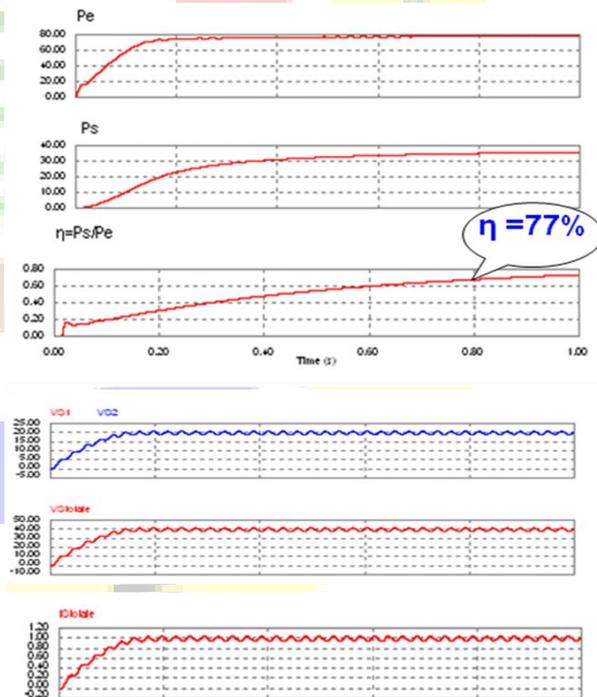


Fig.13. Courbes représentatives des grandeurs électriques associées à deux convertisseurs montés en série.

$V_{S1} = V_{S2} = 20 \text{ V, } V_{S \text{ TOTALE}} = 40 \text{ V, } I_S = 1 \text{ A}$



# Le 4<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

## The 4<sup>th</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa - Algérie 24 - 25 Octobre 2016



Lorsque on simule une panne sur un convertisseur, on remarque que le second continue d'opérer mais avec une réduction notable de son rendement.

### B. Simulation de deux convertisseurs en parallèle

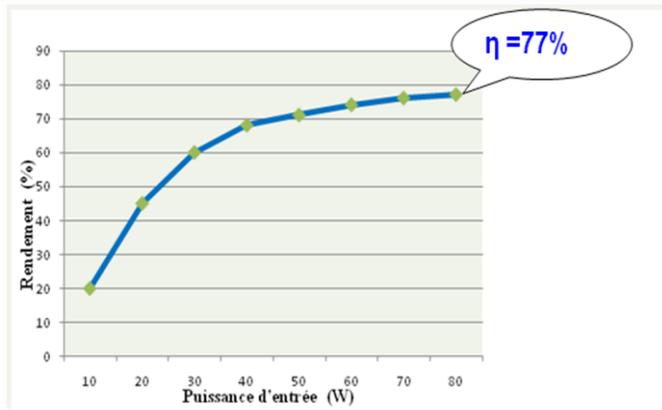
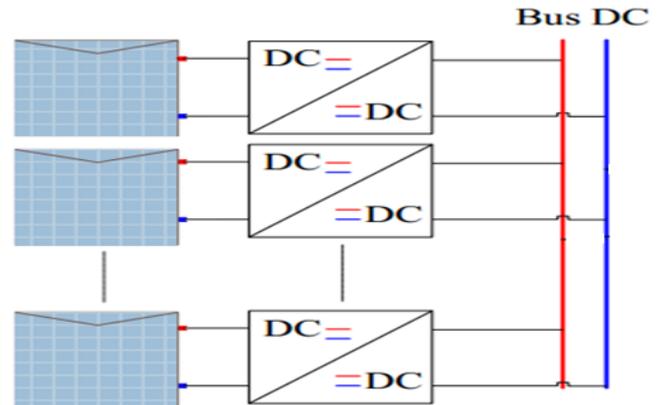


Fig.14. Évolution du Rendement ( $\eta$ ) en fonction de la puissance d'entrée  $P_e$ .



*S'il y a une panne sur un seul convertisseur*

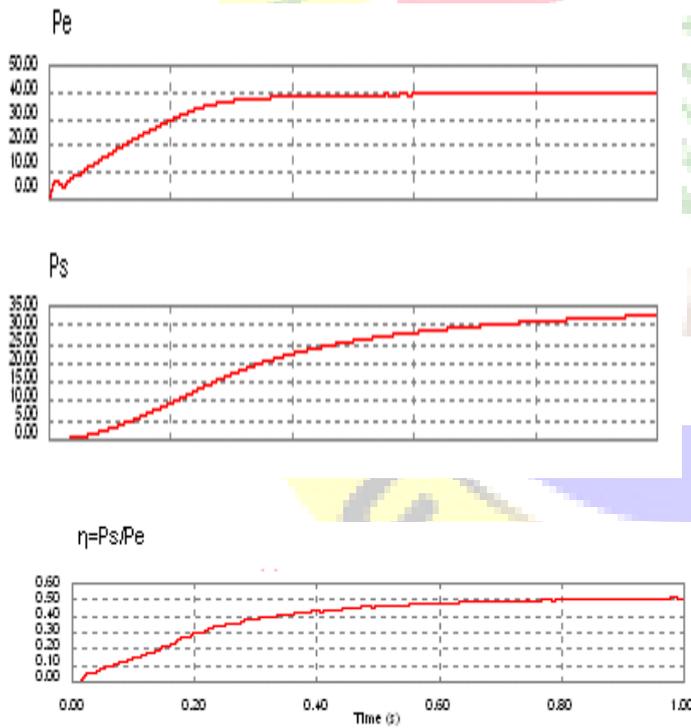
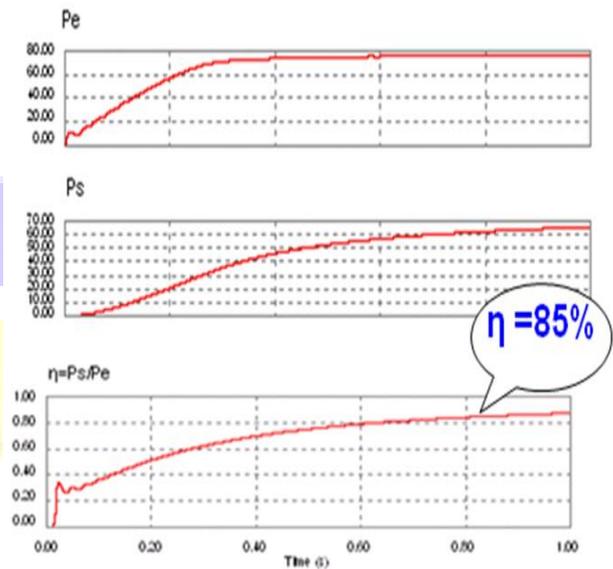


Fig.15. Influence d'une panne d'un convertisseur sur la puissance d'entrée, la puissance de sortie et le rendement du micro-convertisseur.

Le modèle de chaque convertisseur est identique à celui du convertisseur central. Les micro-convertisseurs sont montés en parallèle.



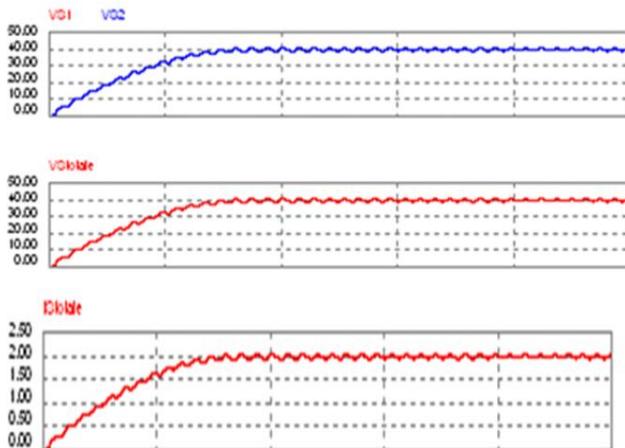


Fig.16. Courbes représentatives des grandeurs électriques associées à deux convertisseurs montés en parallèle.

$$V_{S1} = V_{S2} = 40 \text{ V}, V_{S \text{ TOTALE}} = 40 \text{ V}, I_s = 2 \text{ A}$$

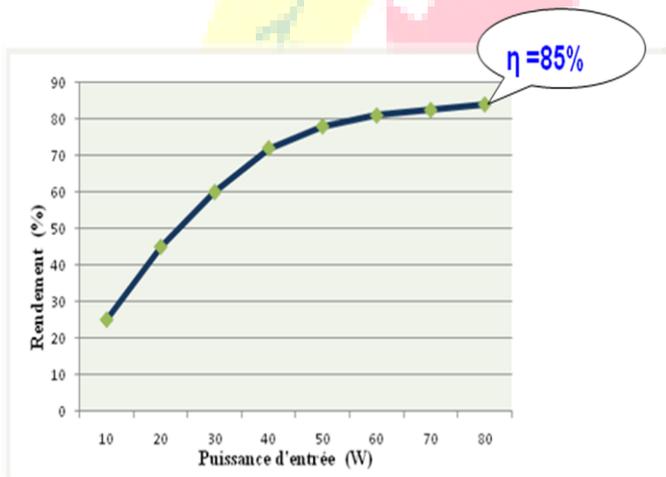


Fig.17. Évolution du Rendement  $\eta$  en fonction de la puissance d'entrée  $P_e$ .

*S'il y a une panne sur un seul convertisseur*

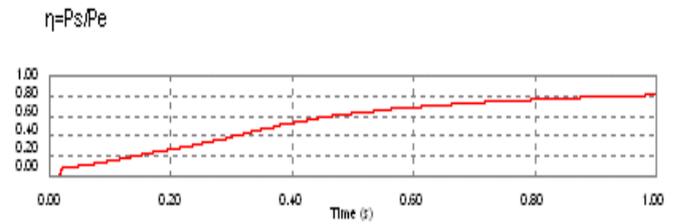
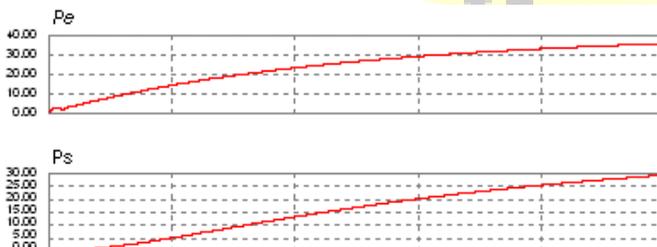


Fig.19. Influence d'une panne d'un convertisseur sur la puissance d'entrée, la puissance de sortie et le rendement du micro-convertisseur

Lorsque on simule une panne sur un convertisseur, on remarque que le second continue d'opérer mais avec une réduction notable de son rendement

## VII. CONCLUSION

Nous avons présenté dans ce travail différentes topologies de convertisseurs DC/DC (Boost) pour améliorer les performances de la photovoltaïque (PV) par l'utilisation d'une différente association des convertisseurs pour chaque module séparément. Au lieu d'utiliser un seul convertisseur de plus grande puissance pour tout le générateur PV (système PV classique). A l'évidence cette nouvelle topologie présente les avantages suivants :

- ❖ Le système PV continue de fonctionner même en cas de panne sur l'un des micro-convertisseurs.
- ❖ Chaque micro-convertisseur peut contrôler la conversion d'énergie de chaque module séparément ce qui engendre une amélioration de la conversion d'énergie globale de tout le système.
- ❖ Ce système s'adapte aussi efficacement aux variations de la charge.
- ❖ La simplification du câblage apporte une économie de matière et une plus grande fiabilité.
- ❖ Gestion du système (de l'énergie) est améliorée avec ces systèmes.
- ❖ Optimisation du rendement de conversion énergétique pour chaque module donc du système global.



## Le 4<sup>ème</sup> Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

### The 4<sup>th</sup> International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,  
Ghardaïa – Algérie 24 - 25 Octobre 2016



#### REFERENCES

- [1] Mboumboue, E. and Donatien N. "Mathematical Modeling and Digital Simulation of PV Solar Panel using MATLAB Software " International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering (ISSN 2250-2459, ISO 9001:2008 Certified Journal, Volume 3, Issue 9, September 2013).
- [2] Di Santo, M., Vaccaro, A., Villacci, D., Zimeo, E., «A distributed architecture for online power systems security analysis »; IEEE Transactions Volume 51, Dec. 2004 Page(s):1238 -1248 Digital Object Identifier 10.1109/TIE.2004.837862.
- [3] Kobayashi, K.; Takano, I.; Sawada, Y.; « A study on a two stage maximum power point tracking control of a photovoltaic system under partially shaded insolation conditions », Power Engineering Society General Meeting, 2003, IEEE Volume 4, 13-17 July 2003 Page(s): Digital Object Identifier 10.1109/PES.2003.1271058.
- [4] Y. Yusof, S.H. Sayuti, M. A. Latif et M. Zamri, «Modélisation et simulation de la puissance maximale Tracker point de systèmes photovoltaïques », Power Conférence de l'énergie, la PEC, pp 88-93, 2004.
- [5] Geoffrey R. Walker and Paul C. Sernia – Cascaded DC–DC Converter Connection of Photovoltaic Modules IEEE transactions on power electronics, vol. 19, no. 4, July 2004.
- [6] Frede Blaabjerg, Remus Teodorescu, "Power Converters and Control of Renewable Energy Systems", Zhe Chen Aalborg University, Institute of Energy Technology, Denmark.
- [7] Pavan, A.M.; Castellán, S.; Quaiá, S.; Roitti, S.; Sulligoi, G.; « Power Electronic Conditioning Systems for Industrial Photovoltaic Fields: Centralized or String Inverters? » Clean Electrical Power, 2007. ICCEP '07. International Conference on 21-23 May 2007 Page(s):208 – 214.