

Revue des Sciences, de Technologies et de l'Environnement

<u>Sous – thème 2 :</u>

# Énergie



# Contrôleur de backstepping d'optimisation d'essaims de particules pour un système PV connecté au réseau

P. Botoronono<sup>1</sup>, L. F. Rafanotsimiva<sup>1,2</sup>, A. J. C. Rakotoarisoa<sup>3</sup>, N. J. Razafinjaka<sup>3</sup>

<sup>1</sup>EDT Energies Renouvelables et Environnement, Université d'Antsiranana <sup>2</sup>Ecole du Génie Industriel, Institut Supérieur de Technologie d'Antsiranana <sup>3</sup>Ecole Supérieure Polytechnique, Université d'Antsiranana *Correspondant* : <u>parfaitchu@gmail.com</u>

#### Résumé :

Dans cet article, nous étudions le contrôleur de backstepping en utilisant l'optimisation de l'essaim de particules pour le système photovoltaïque qui est une source d'énergie renouvelable propre et inépuisable avec la production silencieuse. Les principaux avantages de ce travail sont la simplification de la technique de modélisation PV et la mise en œuvre du système MPPT afin de suivre efficacement la puissance maximale. Le système testé a été connecté au réseau par un onduleur triphasé mis en service pour traiter le courant en fonction des paramètres du réseau et toujours livrer sa puissance réactive à zéro. Le contrôle du backstepping est un processus itératif qui utilise la fonction de Lyapunov qui peut assurer la stabilité du système. La meilleure sélection de valeurs de gains de la fonction de Lyapunov devrait donner un bon résultat. Le principal point mis en évidence dans cet article est la proposition d'une optimisation en utilisant une méthode puissante communément appelée optimisation de l'essaim de particules, capable de calculer les valeurs de gains en fonction des paramètres de la grille en minimisant un critère sélectionné. Les résultats de la simulation montrent que le contrôleur de backstepping à l'optimisation de l'essaim de particules donne de bons résultats dans le courant injecté avec une petite distorsion harmonique malgré le changement climatique de l'irradiation, ce qui montre également la robustesse du contrôle appliqué.

**Mots-clés :** réseau d'énergie électrique, énergie renouvelable solaire photovoltaïque, contrôleur de backstepping, optimisation de l'essaim de particules, Matlab / Simulink.

#### ABSTRACT

In this article, we study the backstepping controller using particle swarm optimization for the photovoltaic system which is a clean and inexhaustible source of renewable energy with silent production. The main benefits of this work are the simplification of the PV modeling technique and the implementation of the MPPT system in order to effectively monitor the maximum power. The system tested was connected to the network by a three-phase inverter commissioned to process the current according to the network parameters and always deliver its reactive power to zero. Backstage control is an iterative process that uses the Lyapunov function that can ensure the stability of the system. The best selection of gain values of the Lyapunov function should give a good result. The main point highlighted in this article is the proposal of an optimization using a powerful method commonly called particle swarm optimization, able to calculate the gain values according to the parameters of the grid by minimizing a selected criterion. The results of the simulation show that the backstepping controller for the particle swarm optimization gives good results in the current injected with a small harmonic distortion despite the climatic change of the irradiation, which also shows the robustness of the control applied.

**Keywords:** electrical power grid, photovoltaic solar renewable energy, backstepping controller, particle load optimization, Matlab / Simulink.

#### 1. Introduction

La consommation mondiale d'énergie augmente, posant des problèmes critiques sur le problème du réchauffement climatique causé par les émissions de gaz et l'épuisement des ressources fossiles, d'autre part. Suite à cette prise de conscience, le développement d'un environnement économique et durable est absolument nécessaire. De nouvelles sources d'énergie appelées "énergies renouvelables" ont le potentiel de produire de l'électricité et dépendra probablement davantage des fluctuations naturelles. Ces énergies renouvelables incluent : photovoltaïque, éolien, biomasse et géothermique, elles sont disponibles dans les besoins énergétiques actuels de l'humanité.

Les sources d'énergie renouvelables n'augmentent pas la quantité de gaz à effet de serre de l'atmosphère au cours de leur exploitation. Ils représentent également une opportunité pour un accès isolé aux régions électriques. Les sources d'énergie renouvelable autonomes ne peuvent pas répondre à la demande instantanée d'énergie, en raison du manque de source d'énergie ou de sa variabilité temporelle.

Par conséquent, l'injection de cette source d'énergie renouvelable dans le réseau électrique peut constituer une bonne alternative pour le développement écologique et économique. Dans ce cas, un système solaire peut être très intéressant lorsque les conditions locales sont favorables du point de vue du soleil.

La principale difficulté liée à la source d'énergie décentralisée est qu'elle ne participe généralement pas à l'ajustement de ce système (contrôle de la tension, fréquence, possibilité de fonctionnement en îlotage, etc.). Cela est particulièrement vrai pour cette source d'énergie renouvelable dont la production est très imprévisible et fluctuante. L'intégration de l'unité de cette production distribuée dans le réseau pose plusieurs problèmes:

Production aléatoire et imprévisible;

Absence de contrôle de fréquence de charge;

Absence de réglage de la tension;

Sensibilité aux creux de tension;

Au cours de ces années, de nombreux chercheurs ont étudié plusieurs méthodes de contrôleur pour l'utilisation de sources d'énergie renouvelables connectées au réseau. La régulation du courant ou de la tension est assurée par des régulateurs spéciaux tels que les différents types tels que P, PI ou PID présentés dans [1]. Cependant, les régulateurs sont conçus en utilisant des techniques de contrôle pour des modèles parfaitement linéaires. Ces méthodes classiques présentent des inconvénients tels que des difficultés de performances et une instabilité de fonctionnement. Pour surmonter ces inconvénients, de nouvelles méthodes telles que l'artificiel ont été appliquées dans les travaux de recherche [2].

Dans ce travail [3], une approche de contrôle de la puissance active et réactive "PQ" a été présentée pour l'onduleur connecté au réseau via un système photovoltaïque; cette méthode peut fournir un courant avec une forme d'onde sinusoïdale et assurer un facteur de puissance élevé. Le modèle a été validé par plusieurs expériences effectuées sur une centrale de 2,5 kW.

Cet article étudie le système à source d'énergie photovoltaïque et applique le PSO à un contrôleur de recul servant à régler le courant et à ajuster la tension et la fréquence avec des variables de réseau. L'application de cette méthode de contrôleur dans ce domaine devrait être si facile à utiliser et présente également une grande efficacité avec le changement des paramètres du système.

Le contrôleur de sauvegarde dépend du système sous forme de matrice. Sa conception consiste à sélectionner de manière récursive certaines variables d'état appropriées en tant qu'entrées virtuelles. En bref, cette méthode basée sur la fonction de Lyapunov choisie, qui signifie moins de zéro, «stabilise le système». Il a changé les bases de la lecture du choix de ces constantes importantes dans la stabilité du système et trois aspects sont abordés:

Le choix de la configuration la plus appropriée;

Maximiser l'utilisation de cette ressource renouvelable;

Enfin, déterminez la taille optimale qui dépend principalement des données climatiques du site pour déterminer le nombre de générateurs photovoltaïques et la capacité de la batterie correspondant à ce système fonctionnant correctement à un coût minimal;

PSO a proposé d'ajuster les paramètres de la fonction de Lyapunov; c'est une technique qui évolutive utilise une "population" de solutions candidates pour développer une solution optimale du problème. Le degré d'optimalité est mesuré par une fonction de fitness définie par l'utilisateur. Elle diffère des autres méthodes de calcul évolutif en ce sens que des membres du public appelés «particules» sont dispersés dans l'espace du problème [4].

Le présent document présente la description de la configuration du système hybride avant la modélisation mathématique de système photovoltaïque, du convertisseur CC-CC et de l'algorithme de contrôle. La simulation des résultats a également été discutée.

2. Description du système solaire photovoltaïque

Le système à source d'énergie renouvelable solaire photovoltaïque est utilisé comme source d'énergie principale. Le système étudié ici est composé d'un générateur photovoltaïque de 5,4 kW. Le schéma général du système peut être représenté par la Fig. 1.



**Fig.1** Configuration et puissance de contrôle d'un système photovoltaïque connecté au réseau Le système est constitué d'une chaînes de conversion d'un générateur photovoltaïque, un convertisseur de puissance continu-continu pour adapter le générateur à la charge, un convertisseur continu-alternatif pour une tension alternative;

#### 2.1 Modélisation mathématique de PV

Parmi les modèles existants dans la littérature, un modèle développé considère une diode caractérisée par sa simplicité. L'avantage de ce modèle est qu'il permet d'utiliser directement les données fournies par le fabricant dans la fiche technique du panneau.

Un dispositif photovoltaïque peut être modélisé comme source de courant idéale (constante) avec une diode dans différents travaux de recherche [5]:



Fig. 2 Circuit de la cellule solaire

L'équation décrivant le point de fonctionnement d'une cellule solaire peut être exprimée en utilisant la première loi de Kirchhoff comme suit (équation 1):

$$I = I_{PV} - I_0 \quad . \left[ \exp\left(\frac{q \cdot (V_{PV} + I_{\cdot R_S})}{n \cdot K \cdot T}\right) - \mathbf{1} \right] - \frac{V_{PV} + R_S \cdot I}{R_{sh}} \tag{1}$$

2.1.1 Analyse paramétrique du système PV

Les paramètres externes qui influencent le comportement d'un panneau photovoltaïque sont la température de la cellule et le niveau de rayonnement solaire reçu.

#### 2.1.1.1 Influence de l'irradiation

La figure 5 donne les caractéristiques P-V et I-V d'un module PV en fonction de l'irradiation incidente et à la température ambiante.





Fig.3 Courbes I-V, P-V en fonction de l'irradiation

On peut noter que l'évolution du courant de court-circuit est proportionnelle au flux d'irradiation (Equation 2). Cette influence se traduit par une augmentation de la puissance disponible dans les modules PV lorsque l'irradiation augmente et que chacune des valeurs d'irradiation est une puissance électrique maximale pouvant fournir un module PV.

$$I_{cc} = I_{cc}^{*} \ \frac{G}{G^{*}} + \alpha_{1} . (T - T^{*})$$
(2)

#### 2.1.1.2 Influence de la température

La figure 3 montre les caractéristiques P-V et I-V pour une irradiation constante et pour les différentes valeurs de température.





**Fig.4** Courbes P-V, I-V en fonction de la température Sur la base des chiffres ci-dessus, on peut constater que l'actuel court-circuit Icc varie peu avec la température. Par contre, l'augmentation de la température entraîne une réduction de la tension en circuit ouvert et entraîne également une réduction de la puissance maximale disponible dans les modules PV. La tension de circuit ouvert d'un module PV basée sur la température et l'irradiation est donnée par la relation suivante (équation 3):

$$V_{co} = V_{co}^* + \alpha_2 \cdot \Delta T - \alpha_2 \cdot \Delta I_{CC} \cdot R_S$$
(3)

Avec :  $\Delta T = (T - T^*)$  et  $\Delta I_{cc} = (I_{cc} - I_{cc}^*)$ 

 $V_{co}^*$ ,  $I_{cc}^*$  représentent respectivement la tension de circuit ouvert et le courant de court-circuit à T = 25 ° C et G = 1kW / m<sup>2</sup>.

α1, α2: coefficient obtenu empiriquement (A/C °), (V/° C).

- G \*: référence d'irradiation 1kW / m2
- T \*: température ambiante égale à 25  $^\circ$  C

# **3.** Convertisseur DC-DC et algorithme de contrôle

Afin de tirer le meilleur parti de cette source d'énergie PV, il devrait être nécessaire de fonctionner au point de puissance maximale. Ceci est réalisé en incorporant un convertisseur CC / CC pour ajuster la tension entre les panneaux qui correspond au point de fonctionnement optimal.

Le but de ce contrôle est de contrôler la tension du GPV; par conséquent, la puissance maximale est capturée par la source.

L'équation d'état qui décrit le convertisseur élévateur de tension continu-continu pour le GPV est donnée par (équation 4) [6]:

$$\begin{cases} C_{PV} \cdot \frac{dV_{PV}}{dt} = i_{PV} - i_L \\ L \cdot \frac{di_l}{dt} = -(1 - u_c) \cdot V_{bus} - V_J \\ C_{bus} \cdot \frac{dV}{dt} = -(1 - u_c) \cdot i_L - \frac{V_{bus}}{R} \end{cases}$$

$$(4)$$

 $V_j = V_{PV}$ ,  $V_j$  est la tension GPV ou la tension du redresseur.

De nombreuses méthodes de suivi du suivi du point de puissance maximale (MPPT) ont été développées afin de permettre au système d'extraire le maximum de puissance du générateur photovoltaïque. Le graphique de la commande P & O est présenté à la Fig .7 [7].



**Fig.5** Organigramme de la méthode P & O pour un suivi maximal des points de puissance

## 4. Modélisation du système hybride triphasé connecté au réseau

#### 4.1 Puissance active et réactive dans le cadre dq

La figure 8 montre la représentation vectorielle du système triphasé et ses vecteurs équivalents pour le marqueur de retournement dq.



#### Fig.6 Définition du référentiel tournant

Le modèle d'espace d'états d'un système solaire photovoltaïque triphasé connecté à un réseau, illustré à la figure 1, peut être obtenu à l'aide de l'équation décrite ci-dessous (équation 5) [20]:

$$\begin{cases} L_f \cdot \frac{di_a}{dt} = -R_f \cdot i_a + V_{a-inv} - V_a \\ L_f \cdot \frac{di_b}{dt} = -R_f \cdot i_b + V_{b-inv} - V_b \\ L_f \cdot \frac{di_c}{dt} = -R_f \cdot i_c + V_{c-inv} - V_c \end{cases}$$
(5)

Où  $V_{i-inv}$  (i = a, b, c) est une simple tension de sortie de l'onduleur donnée par (équation 6):

$$\begin{bmatrix} V_{a-inv} \\ V_{b-inv} \\ V_{c-inv} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} V_{bus} \begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ f_3 \end{bmatrix}$$
(6)

 $f_i$ , i = 1, ... 3: fonction de commutation.  $V_i$  (i = a, b, c) est la tension du réseau

Comme la tension sinusoïdale triphasée est variable dans le temps dans le modèle mathématique du système de coordonnées abc triphasé, on peut utiliser la matrice (équation. 7).

$$Q_{abc/dq0} = \frac{2}{3}$$

$$\begin{bmatrix} cos \omega_f t & cos (\omega_f t - 120^\circ) & cos (\omega_f t - 240^\circ) \\ sin \omega_f t & sin (\omega_f t - 120^\circ) & sin (\omega_f t - 240^\circ) \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$(7)$$

Transformer le système d'équations en référentiel synchrone en utilisant les matrices de transformation de park données par (équation 8):

$$\begin{cases} L_{f} \cdot \frac{di_{d}}{dt} = -R_{f} \cdot i_{d} - \omega_{f} \cdot L_{f} \cdot i_{q} + V_{d-inv} - V_{d} \\ L_{f} \cdot \frac{di_{q}}{dt} = -R_{f} \cdot i_{q} - \omega_{f} \cdot L_{f} \cdot i_{d} + V_{q-inv} - V_{q} \end{cases}$$

$$(8)$$

La pulsation  $\omega f = 2\pi f$ , f: la fréquence en hertz. La puissance apparente instantanée S injectée dans le réseau, donnée par (Eq. 9):

$$S = P + j \cdot Q$$
(9)

Où P (la puissance active) et Q (la puissance réactive) sont donnés par (équation 10):

$$\begin{cases} P = \frac{3}{2} (V_d \cdot i_d + V_q \cdot i_q) \\ Q = \frac{3}{2} (V_q \cdot i_d + V_d \cdot i_q) \end{cases}$$
(10)

Le cadre d'orientation rotatif permet d'obtenir un contrôle séparé (découplé) de la puissance active et réactive. Comme on le voit sur la figure 9, Vq = V et Vd = 0, de sorte que l'équation de la puissance active et réactive puisse être simplifiée dans le cadre en rotation de la manière suivante (équation 11):

$$P = \frac{3}{2}V \cdot i_q$$
$$Q = \frac{3}{2}V \cdot i_d$$

La puissance active peut être contrôlée par  $i_q$  et la puissance réactive par  $i_d$ .s

(11)

### 5. Le contrôle PSO Backstepping

### Page 101 / 447

#### 5.1 Contrôleur de Backstepping

L'idée de base d'approche Backstepping est de stabiliser le système du premier sous-système en stabilisant la fonction connue via une fonction de Lyapunov sélectionnée, puis en l'ajoutant à son intégrateur d'entrée. La même procédure est appliquée pour le prochain système sous-augmenté, et ainsi de suite pour les sous-systèmes successifs, afin d'atteindre une fonction globale de Lyapunov donnant une loi de commande globale stabilisant le système.

La technique de Backstepping est relativement une nouvelle méthode de contrôle des systèmes non linéaires. Il permet séquentiellement et systématiquement, en choisissant une fonction de Lyapunov, de déterminer la loi de contrôle du système [8]. Le but de la commande est de parvenir à une convergence vers zéro erreur, ce qui permet d'obtenir la stabilité et l'équilibre du système, ce qui permet à la sortie de suivre une référence. Considérez les tensions de couplage suivantes (Equation 12):

$$\begin{cases} \boldsymbol{e_d} = L_f \cdot \omega_f \cdot i_d \\ \boldsymbol{e_q} = -L_f \cdot \omega_f \cdot i_q \\ \boldsymbol{V_{df}} = V_d - V_{d-inv} - \boldsymbol{e_q} \\ \boldsymbol{V_{qf}} = V_q - V_{q-inv} - \boldsymbol{e_d} \end{cases}$$
(12)

Les équations différentielles (Equation 8) peuvent être simplifiées à (Equation 13):

$$\begin{cases} L_f \cdot \frac{di_d}{dt} = -R_f \cdot i_d + V_{df} \\ L_f \cdot \frac{di_q}{dt} = -R_f \cdot i_q + V_{qf} \end{cases}$$
(13)

Nous définissons les erreurs e1 et e2 représentant les erreurs entre les courants réels et les courants de référence (Eq. 14):

$$\begin{cases} e_1 = i_{d\_ref} - i_d \\ e_2 = i_{q\_ref} - i_q \end{cases}$$
(14)

Et leur dynamique est donnée par (équation 15):

$$\begin{cases} \dot{e_1} = \iota_{d\_ref}^{\cdot} - \dot{\iota_d} = \iota_{d\_ref}^{\cdot} + \frac{1}{L_f} (R_f \cdot \dot{\iota_d} - V_{df}) \\ \dot{e_2} = \iota_{q\_ref}^{\cdot} - \dot{\iota_q} = \iota_{q\_ref}^{\cdot} + \frac{1}{L_f} (R_f \cdot \dot{\iota_q} - V_{qf}) \end{cases}$$
(15)

La fonction de Lyapunov est choisie telle que (équation 16):

$$\upsilon = \frac{1}{2} (e_1^2 + e_2^2)$$
(16)

Sa dérivée est (équation 17):

$$\dot{\upsilon} = \dot{e}_{1}e_{1} + \dot{e}_{2}e_{2}$$
  
$$\dot{\upsilon} = e_{1}(\iota_{dref}^{+} + \frac{1}{L_{f}}(R_{f} \cdot i_{d} - V_{df})) + e_{2}(\iota_{qref}^{+} + \frac{1}{L_{f}}(R_{f} \cdot i_{q} - V_{qf}))$$
(17)

La réalisation des objectifs est réalisée ( $\dot{v} < 0$ ) en sélectionnant les références des composants des tensions qui représentent la fonction de stabilisation de la manière suivante (équation 18):

$$\begin{cases} V_{df\_inv\_ref} = L_f(K_1e_1 + \iota_d\_ref) + R_fi_d \\ V_{qf\_inv\_ref} = L_f(K_2e_2 + \iota_q\_ref) + R_fi_q \\ \end{cases}$$
(18)

De (Equation 12)) peut faire (Equation 19):

$$\begin{cases} V_{d\_inv\_ref} = V_d - V_{df\_ref} - e_q \\ V_{q\_inv\_ref} = V_q - V_{qf\_ref} - e_d \end{cases}$$
(19)

Où  $K_{1,2}$  sont des constantes positives. Le contrôle de stabilité est obtenu si et seulement si la matrice est hurwitzienne (racines avec parties réelles négatives) ce qui est vérifié par une bonne sélection de gains ( $K_{1,2} >> 0$ ) [9]. Ce choix est heuristique, pour ceux-ci nous proposons l'algorithme PSO pour calculer K1, 2 dans la section suivante.

#### 5.2 PSO et algorithme d'apprentissage

PSO est introduit pour la première fois par Kennedy et Eberhart en 1995 [10]. PSO se caractérise par une structure simple, facile à mettre en œuvre, efficace sur le plan du calcul et de la convergence rapide par rapport aux autres méthodes stochastiques telles que les algorithmes génétiques "GAs".

PSO utilise des particules qui représentent des solutions potentielles du problème. Chaque particule vole dans l'espace de recherche à une certaine vitesse qui peut être ajustée à la lumière des expériences de vol en cours. La position projetée de la particule de l'essaim xi et la vitesse de cette particule vi sur (i + 1)<sup>ème</sup> itération sont définies comme les deux équations suivantes (équation 20) dans cette étude [11]:

$$\begin{cases} v_{iD}^{t+1} = w \cdot v_{iD}^{t} + c_1 \cdot r_1 (p_{iD}^t - x_{iD}^t) + c_2 \cdot r_2 (g_i^t - x_{iD}^t) \\ x_{iD}^{t+1} = v_{iD}^{t+1} + x_{iD}^t \end{cases}$$
(20) Pow

où, i = 1, ..., n et n est la taille de l'essaim,

D est la dimension de l'espace du problème, w est la quantité de mouvement ou l'inertie, c1 et c2 sont des constantes positives, r1 et r2 sont des nombres aléatoires qui sont uniformément répartis dans [0, 1], t détermine le nombre d'itérations, pi représente la meilleure position précédente (la position donnant la meilleure valeur de fitness) de la particule  $i^{eme}$ , g représente la meilleure particule parmi toutes les particules de l'essaim. PSO peut être décrit comme suit [10, 11]:

 Initialiser une population de particules avec des positions et vitesses aléatoires sur les dimensions D dans l'espace à problèmes,

• Evaluer la fonction d'optimisation souhaitée dans les variables D pour chaque particule,

• Comparez l'évaluation de la condition physique de la particule avec sa meilleure position antérieure. Si la valeur actuelle est meilleure, définissez la meilleure position précédente égale à la valeur actuelle et p! est égal à l'emplacement actuel xi dans l'espace D-dimensionnel,

 Identifier la particule du quartier ayant la meilleure forme physique jusqu'à présent et attribuer son indice à la variable g,

Modifier la position de la particule en fonction de (équation (20)),

• Boucle à l'étape 2 jusqu'à ce qu'un critère soit rempli ou à la fin des itérations.

• À la fin des itérations, la meilleure position de l'essaim sera la solution du problème. Il n'est pas toujours possible d'obtenir un résultat optimal du problème, mais la solution obtenue sera certainement optimale.

Pour accélérer la convergence des systèmes PSO, il a été proposé de trouver une meilleure solution en termes de temps de calcul et de précision. Nous calculons la meilleure solution pour minimiser un certain critère (fonction objectif), tel que l'erreur quadratique moyenne (EQM), qui peut être calculé à l'aide de l'équation suivante (équation 21):

$$EQM = \frac{1}{NT} \sum_{i=1}^{N} (e_1^2 + e_2^2)$$
(26)

Où:

N: est le nombre total d'échantillons,

T: le temps d'échantillonnage.

Le diagramme montre la stratégie calculée K1, 2 présentée à la Fig.9:



#### 6. Résultats et discussion

Afin d'étudier les performances du contrôleur de courant proposées, le schéma fonctionnel présenté à la figure 1 est simulé à l'aide d'un bloc de système d'alimentation défini dans Matlab / Simulink. Les résultats de la simulation sont considérés comme une variation de l'irradiation, présenté à la Fig. 8,. L'amplitude de tension de phase de la source de voltage équilibrée en trois phases est de 800 V, l'amortissement d'injection est de 5, le condensateur est de 2200 $\mu$ F. Les meilleurs K<sub>1</sub> = 103 et K<sub>2</sub> = 105 sont calculés par PSO pour une tension équilibrée de 800V. Où les paramètres de réglage suivants ont été utilisés dans l'algorithme PSO:

Taille de l'essaim: 100

Nombre maximal d'itérations: tmax = 200

Facteur d'inertie: w = 0.90

Taux d'apprentissage cognitif: c1 = 0.25

Taux d'apprentissage social: c2 = 1,25

Nous fixons la puissance réactive souhaitée à zéro; les formes d'onde actuelles de la sortie de l'onduleur sont illustrées à la Fig. 9.Les formes d'onde permettant de comparer la puissance active et la puissance réactive de la sortie de l'onduleur à la valeur attendue, qui, dans les conditions de la Fig. 9, sont illustrées à la Fig. 10, nous pouvons voir que le temps de transition du système est très court et les résultats de suivi sont plus précis. La figure 14 illustre également les courants injectés vers le réseau, où la distorsion harmonique est faible, comme l'exigent les normes d'une connexion réseau.



Fig.8 Variation d'irradiation



Fig.9 Les courants de phase de sortie de l'onduleur





Fig.10 Comparaison de la puissance active et réactive

Fig.11 Courants injectés dans le réseau

#### 7. Conclusion

L'étude actuelle a montré que le contrôleur PSO Backstepping était assez simple. D'autant plus le PSO a relativement des paramètres de Backstepping ajustables pour les gains de fonction de Lyapunov, et l'effet de contrôle était meilleur. A cet effet le PSO Backstepping peut améliorer le processus système des caractéristiques statiques et dynamiques, tandis que la puissance réactive peut atteindre celle souhaitée. Le backstrap PSO appliqué au système solaire photovoltaïque connecté au réseau peut être mis en œuvre facilement lorsque sa conception est simple.

### REFERENCES

[1]. N. A.Rahim, K. Chaniago, and J. Selvaraj, Single-Phase SevenLevel Grid-Connected Inverter for Photovoltaic System, IEEE Trans. Ind. Electron, Vol.58, No.06, pp.0278-0046, June. 2011.

[2] N. Ammasai Gounden, S. Ann Peter, H. Nallandula, S. Krithiga, Fuzzy logic controller with MPPT using line-commutated inverter for threephase grid-connected photovoltaic systems, Renewable

Energy, Vol. 34, pp.909-915, 2009.

[3]N. Hamrouni, M. Jraidi, A. Chérif, New control strategy for 2-stage grid-connected photovoltaic power system, Renewable Energy, Vol.33, pp.2212– 2221, 2008

[4] J.H. Chen, H.T. Yau, T.H. Hung, Design and implementation of FPGA-based Taguchi-chaos-PSO suntracking systems, Mechatronics, Vol.25, pp.55–64, 2015.

[5] S. Li, A MPPT control strategy with variable weather parameter and no DC/DC converter for photovoltaic systems, Solar Energy, Vol.108, pp.117-125, 2014.

[6] B. Bendib, F. Krim, H. Belmili, M. F. Almi, S. Boulouma, Advanced Fuzzy MPPT Controller for a stand-alone PV system, Energy Procedia, Vol.50, pp.383 – 392, 2014.

[7] P. Mohanty, G.Bhuvaneswari, R. Balasubramanian, N.K. Dhaliwa,MATLAB based modeling to study the performance of different MPPT techniques used for solar PV system under various operating conditions, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.38, pp.581–593, 2014.

[8] S. Chaouch, M.S. Nait-Said, A. Makouf and L. Cherifi, Backstepping Control based on Lyapunov Theory for Sensorless Induction Motor with Sliding Mode Observer, ARISER, Vol. 4, pp. 19-27, No.01, 2008.

[9] R. Trabelsi, A. Khdedhder, M. Faouzi Mimouni and F. M'salhi, An adptative Backstepping observer for on-line rotor resistance adaptation, International Journal of Sciences and techniques of Automatic Control & Computer engineering.IJ-STA, Vol.4, No.01, pp. 1246-1267, July 2010. [10] J. Kennedy, R. Eberhart, Particle swarm optimization, In: Proc.IEEE Int. Conf. Neural Networks (ICNN'95), Vol. IV, Perth, Australia, p p. 1942–1948, 1995.

[11] T. Zhou and W. Sun, MPPT Control Method of PV System with PSO Algorithm Based on Minimal Particle Angles, In: Proc. Of the International Conference on Information Technology and Software Engineering, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, pp.755-763, 2013.