

Commande MPPT et Contrôle d'un Système Photovoltaïque par la Logique Floue

Z. Ayache, A. Bendaoud, H. Slimani, B. Benazza, H. Miloudi, A. Bentaallah

¹Laboratoire IRECOM, Université Djilali Liabès
Sidi Bel Abbès 22000, Algeria

Z.ayache@hotmail.com , babdelber22@yahoo.fr

Résumé - Ce travail présente le principe de la commande MPPT. Les techniques de commande les plus utilisées dans le contrôle MPPT sont revues et étudiées, tels que : observation et perturbation (O&P) et incrémentation de la conductance (IC). L'objectif de cette étude est l'association de la commande par logique floue à la commande MPPT et d'analyser ainsi que comparer son comportement par rapport aux autres techniques (O&P, IC) utilisées dans le contrôle des systèmes photovoltaïque.

Mots clés : Commande MPPT, observation et perturbation, logique floue, générateur photovoltaïque,

I. INTRODUCTION

La demande sur l'énergie électrique ne cesse d'augmenter ces dernières années ainsi que les contraintes liées à sa production, tels que l'effet de pollution et de réchauffement climatique global, conduisent les recherche vers le développement des sources d'énergie renouvelables. Dans ce contexte, les systèmes photovoltaïques (PV) offrent une solution très concurrentielle. Pour surmonter le problème de rendement des panneaux solaires et obtenir un rendement maximum, il est nécessaire d'optimiser la conception de toutes les parties du système PV. En outre, il est nécessaire d'optimiser les convertisseurs (continu/continu) DC/DC employés comme interface entre le générateur PV et la charge afin d'extraire le maximum de puissance et ainsi faire fonctionner le générateur GPV à son point de puissance maximum (MPP) à l'aide d'un contrôleur MPPT (maximum power point tracking), par conséquence, obtenir un courant électrique maximum sous la variation de la charge et des conditions atmosphériques (luminosité et température).

Un nombre important de technique de commande MPPT ont été élaboré depuis les années 70, commençant par des techniques simples comme les contrôleurs MPPT basés sur le retour d'état de la tension et du courant [1], aux contrôleurs plus performant utilisant des algorithmes pour

calculer MPP du GPV, parmi les techniques les plus utilisées :

- Perturbation et Observation (P&O).
- Incrémentation de la Conductance (IC).

Ces dernières années des techniques de commandes plus robuste ont été associées à la commande MPPT telle que la logique floue afin d'augmenter le rendement des panneaux solaires. Dans cette perspective, nous allons présenter les différentes parties d'un système PV, la commande O&P et IC seront étudiés et comparés à une commande MPPT utilisant un contrôleur flou.

II. GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

Le générateur photovoltaïque GPV est modélisé par les équations suivant [4] :

$$I = n_p \left[I_L - I_s \left(e^{q \left(\frac{V}{V_s} + \frac{I R_s}{n_p} \right) / A K T} - 1 \right) - \frac{\frac{V}{n_s} + \frac{I R_s}{n_p}}{R_p} \right] \quad (1)$$

$$P = I \cdot V \quad (2)$$

$$I = n_p V \left[I_L - I_s \left(e^{q \left(\frac{V}{V_s} + \frac{P R_s}{V n_p} \right) / A K T} - 1 \right) - \frac{\frac{V}{n_s} + \frac{P R_s}{n_p}}{R_p} \right] \quad (3)$$

Le courant du panneau solaire I est en fonction de courant I_L courant photonique généré par l'irradiation solaire, I_s étant le courant de saturation donné par le fabricant, n_s et n_p sont respectivement le nombre de cellules en série et en parallèle, à facteur idéal de la jonction PN,

K est le coefficient de Boltzmann = $1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$,

T est la température, la tension aux bornes du panneau solaire est V . La puissance délivrée par le panneau P est exprimée par l'équation 3.

Le GPV est fortement influencé par la variation de la luminosité et la température. En effet, à la fig.1 le GPV est soumis à des variations de luminosité où il apparaît clairement la diminution de la puissance et le changement du point maximum de puissance MPP.

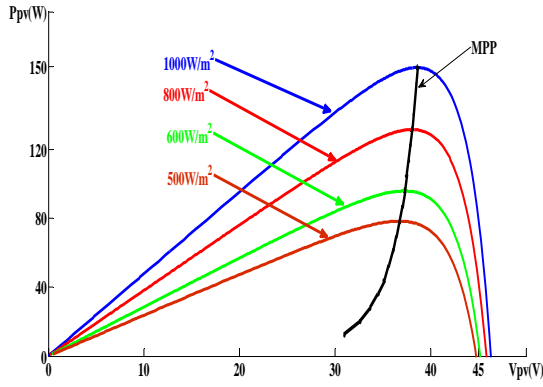


Fig.1. Changement du MPP en fonction de la luminosité

Dans la fig.2 le générateur photovoltaïque GPV est soumis à des variations de température sous une luminosité constante ; là aussi le point de puissance maximum MPP change.

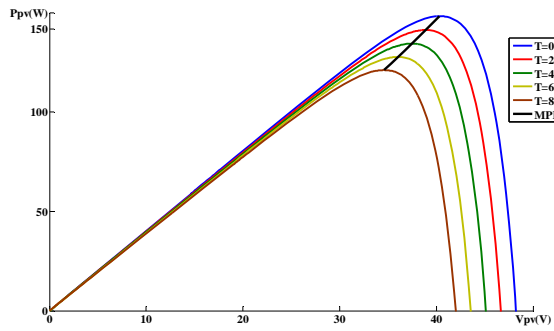


Fig.2. Influence de la température sur MMP

Il faut donc concilier ces comportements avec la charge. Lors de la connexion source-charge, il est donc primordial de tenir compte de la nature variable de la puissance délivrée par le générateur PV, mais aussi de la caractéristique de la charge pour qu'un point de fonctionnement soit possible. Le point de fonctionnement correspond à l'intersection de ces deux caractéristiques (Fig.3)

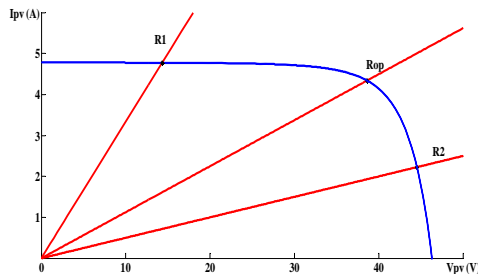


Fig.3. Influence de la charge sur le point de fonctionnement

Le fonctionnement du générateur dépend fortement des caractéristiques de la charge avec laquelle il est connecté. En outre, pour différentes valeurs de R , l'adaptation optimale se produit pour un seul point de fonctionnement (R_{op}) nommé point de puissance maximal (maximum point power) MPP.

En conséquence, pour que le générateur fonctionne le plus souvent à son point maximum, la solution communément utilisée est d'introduire un convertisseur DC/DC qui joue le rôle d'adaptateur source charge (Fig.4), dans ce cas, le générateur délivre une puissance maximale.

III. SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE

Le système photovoltaïque est contrôlé par la commande MPPT, il est présenté à la Fig.4.

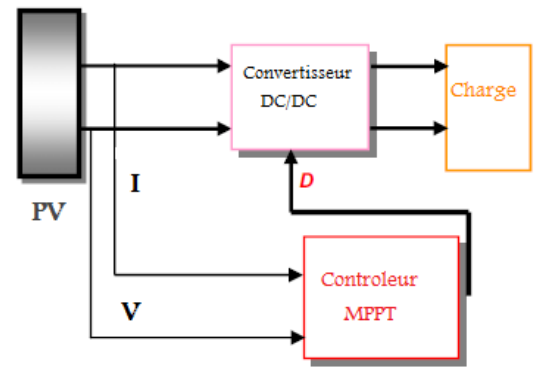


Fig.4. Système photovoltaïque

Le convertisseur statique continu/continu (DC/DC) utilisé, est le plus fréquemment utilisé comme convertisseur élévateur (Boost) (Fig.5).

Ce convertisseur est régi par les équations suivantes :

$$v_o = \frac{1}{1-D} v_i \quad (4)$$

$$i_i = \frac{1}{1-D} i_o \quad (5)$$

$$i_L = i_i - C_1 \frac{dv_i}{dt} \quad (6)$$

$$i_o = (1-D) i_L - C_2 \frac{dv_o}{dt} \quad (7)$$

$$v_i = (1-D) v_o + R_L i_L + L \frac{di_L}{dt} \quad (8)$$

Où D est le rapport cyclique du convertisseur Boost

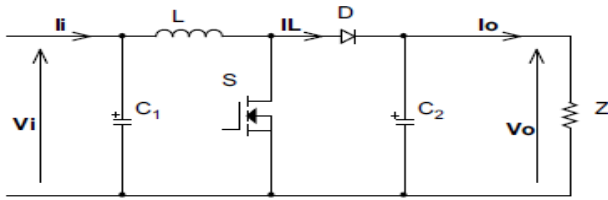


Fig.5. Montage Boost

La commande MPPT Indépendamment des paramètres d'entrées utilise certains algorithmes afin de faire «monter» le point de fonctionnement du GPV le long de la caractéristique P(V) jusqu'à atteindre le MPP. (Fig.6).

Dans ce type de méthodes, nous pouvons distinguer les méthodes basées sur la perturbation et l'observation P&O (Perturb & Observe), ainsi que celle qui font appel aux méthodes de l'incrément de la conductance.

IV. COMMANDE PERTURBATION ET OBSERVATION

Le principe de cette commande est de générer des perturbations en réduisant ou en augmentant le rapport cyclique D et d'observer l'effet sur la puissance délivrée par le GPV (Fig.6) [6].

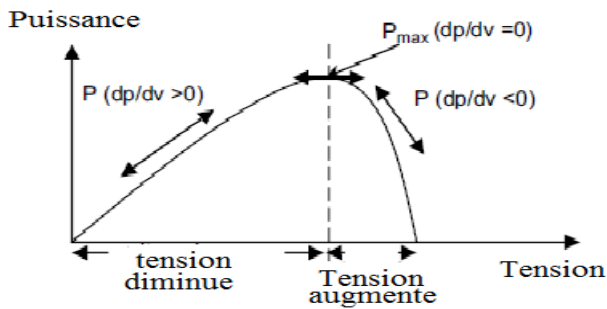


Fig.6. Caractéristique de la puissance du générateur PV

L'algorithme de cette commande est présenté à la Fig.7.

- Si $dpv/dVpv > 0$, la tension est augmentée, cela induit une augmentation du rapport cyclique $D(k) = D(k-1) + C$. C étant une constante d'accrémentation
- Si $dpv/dVpv < 0$, la tension est réduite cela se traduit par une diminution du rapport cyclique $D(k) = D(k-1) - C$

Les résultats de la simulation du système PV utilisant l'algorithme de perturbation et d'observation sont présentés à la Fig.8 et Fig.9.

Dans un premier temps, nous avons soumis le système à une variation de luminosité de 800 à 1000 W/m² à l'instant t=4s. Par conséquent, nous constatons dans la Fig.8, une augmentation de la tension qui induit une diminution de la puissance, le point de fonctionnement du système s'éloigne

du MPP, après 0.7s. La commande remonte le point de fonctionnement est le stabilise au tour du MPP avec une certaine oscillation qui est causée par l'algorithme de commande.

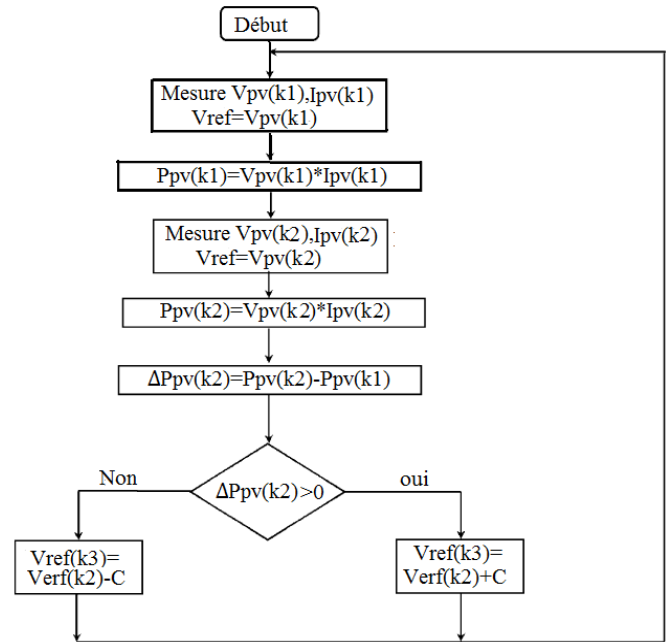


Fig.7. Algorithme de la Perturbation et Observation (P&O)

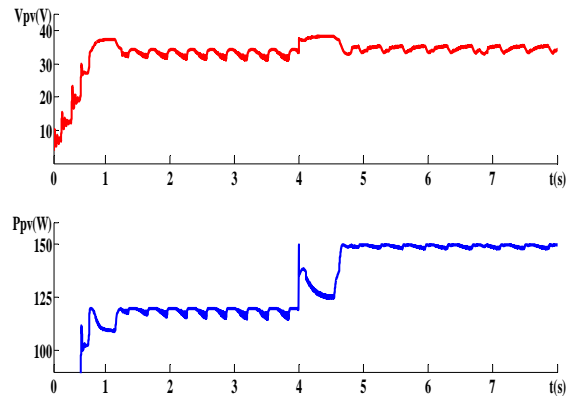


Fig.8 Allure de la tension et de la puissance face à une variation de luminosité

Dans un deuxième temps, afin de vérifier le comportement du système face à une variation de charge nous augmentons cette dernière de 10 Ω à 15 Ω et nous gardons la luminosité constante (1000 W/m²) à l'instant t=4s, les résultats de la simulation sont montrés à la Fig.9

L'augmentation de la charge provoque la diminution de la tension et de la puissance (Fig.9), le point de fonctionnement (MPP) s'éloigne et se déplace dans la partie gauche de la caractéristique de puissance (Fig.7). Après 0.2s

le système converge vers MPP malgré la présence de la perturbation.

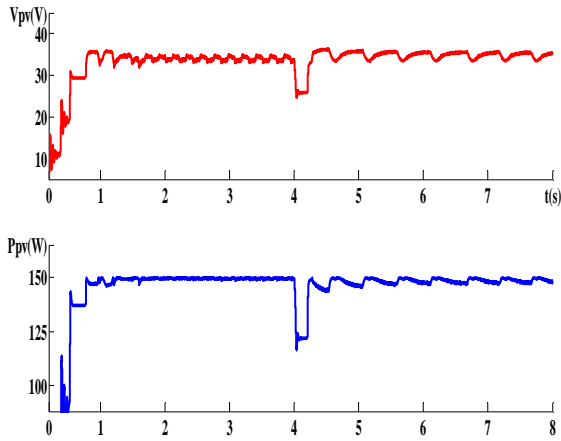


Fig.9. Allure de la tension et de la puissance face à une variation de charge

V. COMMANDE A INCREMENTATION DE LA CONDUCTANCE

Une autre alternative à la commande P&O, est la commande à incrémentation de conductance qui se base sur la dérivée de la conductance du GPV ($dG = dI_{pv}/dV_{pv}$) pour connaître la position relative du MPP pour appliquer une action de contrôle adéquate poursuivant le MPP (Fig.10) [1]

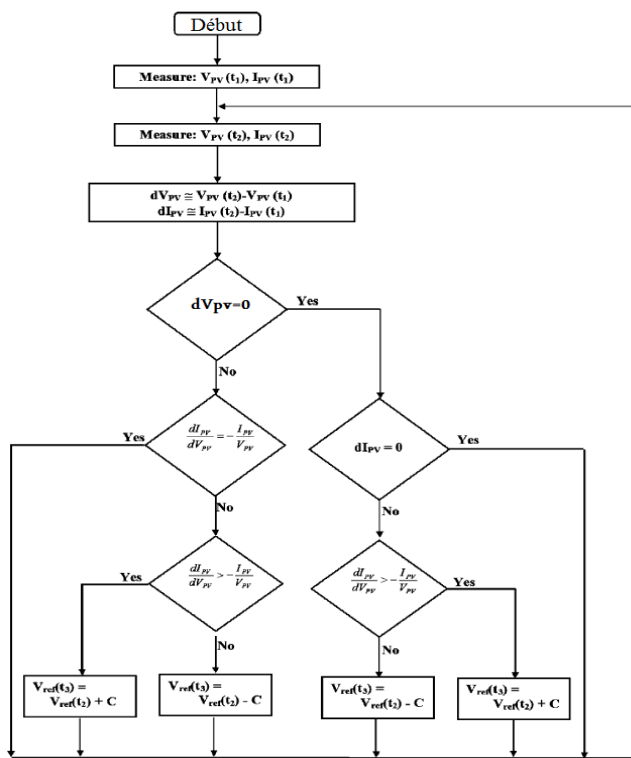


Fig.10. Algorithme incrémentation de la conductance

Après introduction de l'algorithme à incrémentation de la conductance dans notre système et en gardant les mêmes conditions de simulation appliquées au système P&O, les résultats de simulation sont exposés à la Fig.11 et la Fig. 12.

Nous constatons que l'algorithme offre un bon suivi face aux variations de luminosité et de la charge, néanmoins, l'ondulation de la tension est importante dans le deuxième cas (Fig.12), car la constante de temps du filtre de sortie du convertisseur Boost a changé de valeur, alors que la recherche du MPP du système est plus rapide.

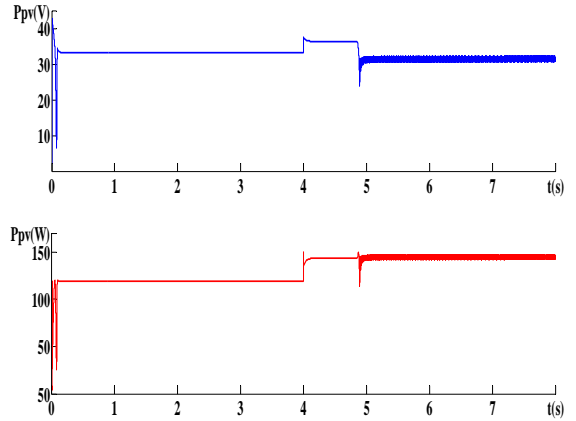


Fig.11. Allure de la tension et de la puissance face à une variation de luminosité

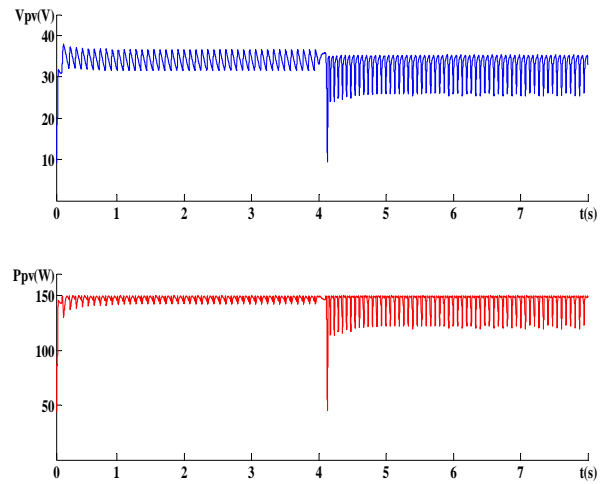


Fig.12 Allure de la tension et de la puissance face à une variation de charge

VI. LA COMMANDE MPPT FLOU

Récemment, la commande par logique floue a été utilisée dans les systèmes de poursuite du point maximum de puissance MPPT, cette commande offre l'avantage d'être une commande robuste et relativement simple à élaborer et elle ne nécessite pas la connaissance exacte du modèle à réguler. La mise en place d'un contrôleur flou se réalise en trois étapes, qui sont : la fuzzification, l'inférence et la défuzzification (Fig.13) [2].

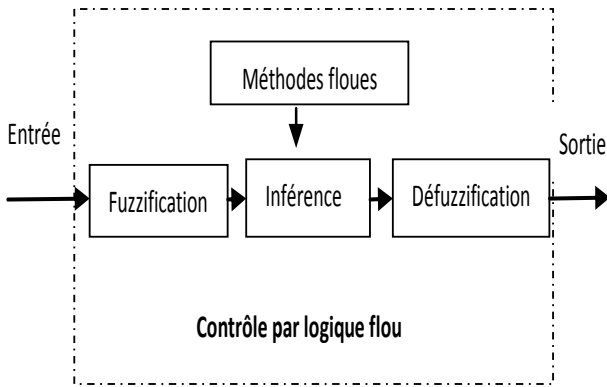


Fig. 13. Principe de la commande à logique floue

La fuzzification permet de rendre flou les variables d'entrée. Une étape préliminaire consiste à définir un intervalle de variation maximale autorisée pour les variables d'entrées. Le but de la fuzzification est de transformer les variables d'entrée en variables linguistiques ou variables floues. Dans notre cas, on a deux variables d'entrées qui sont l'erreur $E(k)$ et la variation d'erreur CE à l'instant k qui sont définis comme suit :

$$E(k) = \frac{P_{pv}(k) - P_{pv}(k-1)}{V_{pv}(k) - P_{pv}(k-1)} \quad (9)$$

$$CE(k) = E(k) - E(k-1) \quad (10)$$

Ainsi ses variables seront qualifiées Négatif Grand (NG), Négatif Petit (NP), Erreur nul ou bien zéro (EZ), Positif Petit (PP) et Positif Grant (PG) (Fig. 14)

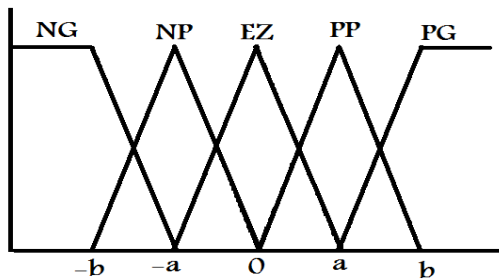


Fig. 14. Degré d'appartenance des variables

L'inférence est une étape qui consiste à définir un rapport logique entre les entrées et la sortie. En effet, des règles d'appartenance vont être définies pour la sortie comme ça était fait pour les entrées, grâce à ces règles un tableau d'inférence peut être dressé (Tableau 1) [1,2].

Il est évident qu'une bonne connaissance du système est requise pour le développement d'un tel régulateur. En effet, en règle générale, une valeur d'entrée est définie par deux fonctions floues avec des degrés différents, ainsi la sortie sera elle aussi définie par plusieurs fonctions, la question

étant de savoir avec quels degrés d'appartenance. Plusieurs méthodes peuvent répondre à cette question. De notre part, nous avons utilisé la méthode MAX-MIN.

Enfin, il nous faut réaliser l'opération inverse de la fuzzification, ici nous devons calculer une valeur numérique compréhensible par l'environnement extérieur à partir d'une définition floue est c'est le but de la défuzzification.

E\CE	NG	NP	EZ	PP	PG
NG	EZ	EZ	NG	NG	NG
NP	EZ	EZ	NP	NP	NP
EZ	NP	EZ	EZ	EZ	PP
PP	PP	PP	PP	EZ	EZ
PG	PG	PG	PG	EZ	EZ

Tableau.1. Tableau d'inférence.

Après simulation du système avec la commande MPPT floue, pour les mêmes conditions de variation de luminosité et de charge appliquées aux précédentes commandes. Les Fig. 15 et Fig. 16 présentent les résultats de la simulation du système MPPT floue.

Dans le cas d'une perturbation causée par la variation de luminosité, le système converge vers MPP et reste stable avec un taux d'ondulation minimale par rapport aux autres types de commande, mais avec un temps de convergence plus important de l'ordre de 1.3s (Fig. 15). En revanche, lors d'une perturbation due à la charge, le système est insensible à la perturbation, la puissance reste stable et ne subit pas de fluctuation importante (Fig. 16).

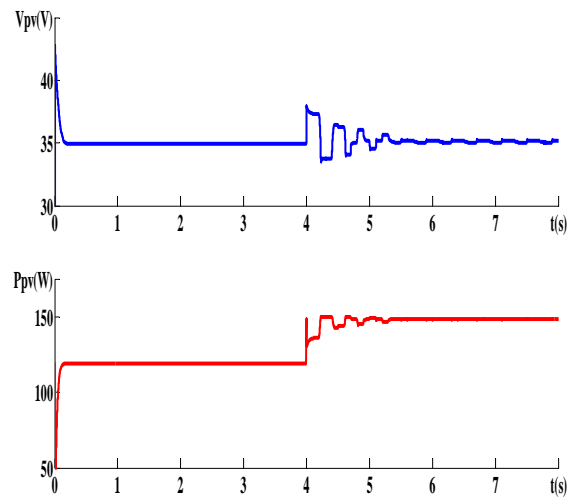


Fig. 15. Allure de la tension et de la puissance face à une variation de luminosité

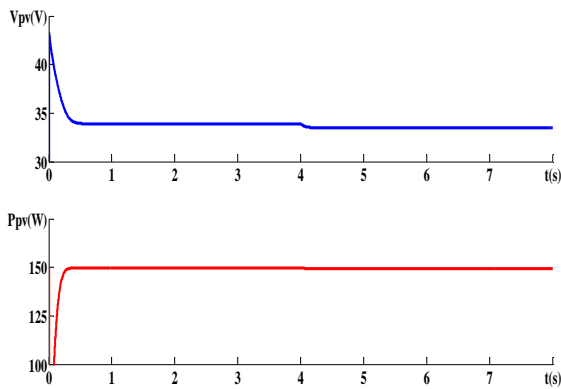


Fig.16. Allure de la tension et de la puissance face à une variation de charge

VII. CONCLUSION

Afin d'améliorer l'efficacité des systèmes photovoltaïques, différents algorithmes de commandes intelligentes ont été étudiés pour la poursuite du point maximum de puissance dans ce travail.

Nous avons commencé par la présentation de la conception et de la simulation d'un contrôleur basé sur des techniques populaires tel que la perturbation et l'observation et puis la commande à incrémentation de la conductance. qui offre un meilleur comportement que la P&O.

La logique floue MPPT a été comparé au contrôleur de P&O et CI. Il a amélioré le régime transitoire et a réduit les fluctuations à l'état statique.

La poursuite du point maximum est bien accomplie avec un taux d'ondulation de la tension et de la puissance minime. Face aux différentes variations, les pertes de puissance sont moindres ; ce qui implique une amélioration du rendement du système par conséquence.

VIII. REFERENCE

- [1] Salas V, Olias E, Barrado A, Lazaro A. *Review of the maximum power point tracking algorithms for stand-alone photovoltaic systems*. Solar Energy Materials & Solar Cells 2006;90:1555–78.
- [2] C. Larbes, S.M. Aït Cheikh*, T. Obeidi, A. Zerguerras. *Genetic algorithms optimized fuzzy logic control for the maximum power point tracking in photovoltaic system*. Renewable Energy 34 (2009) 2093–2100
- [3] Trishan Esum, Patrick L. Chapman, *Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques*. IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, VOL. 22, NO. 2, JUNE 2007
- [4] J.M. Enrique, E. Dura'n a, M. Sidrach-de-Cardona b,1, J.M. Andu' jar a. *Theoretical assessment of the maximum power point tracking efficiency of photovoltaic facilities with different converter topologies*. August 2006
- [5] Nabil A. Ahmed, Masafumi Miyatake b. *A novel maximum power point tracking for photovoltaic applications under partially shaded insolation conditions*. September 2007
- [6] Thanh Phu Nguyen, *solar panel maximum power point tracker*. Undergraduate Thesis The University of Queensland Department of Computer Science & Electrical Engineering, 19 October 2001