

Modeling and simulation of a solar power source at 3kW for a clean energy without pollution

Modélisation et simulation d'une source d'énergie solaire à 3kW pour une énergie propre sans pollution

M. LOUZAZNI¹, E. AROUDAM¹ H. YATIMI¹

¹Université Abdelmalek Essaadi, Faculté des Sciences, Laboratoire de Modélisation et Simulation de Système Mécaniques, Tétouan, Maroc

Abstract: The air pollution was much worse, and it became necessary to replace the fossil energy sources by the renewable energies. The causes are related to reserves that can be exhausted, to pollution and their impacts on the environment. Production of toxic gases from the combustion of coal for the effect of increasing the temperature of the earth. Solar energy is a clean and inexhaustible excellent alternative. We propose a modeling and simulation of a solar system consists of a photovoltaic generator (PVG), a boost chopper, to supply a telecommunications relay station (BTS), According to the load characteristics ($I = 60A$, $V = 48V$) DC (3 kW). A stage adaptation composed of this chopper controlled by a PWM controller (Pulse Width Modulation) is used to control the optimal operating point (MPPT) and optimize system performance using Matlab / Simulink.

Keywords. Fossil Energy, PV Generator, chopper, MPPT, MLI

Résumé. La pollution de l'air était beaucoup plus grave, et il est devenu nécessaire de remplacer les sources d'énergies fossiles par les énergies renouvelables. Les causes sont liées aux réserves qui peuvent s'épuiser et aux pollutions et leurs impacts sur l'environnement. La production des gaz toxiques par la combustion du charbon pour effet d'augmenter la température de la terre. L'énergie solaire est une excellente alternative non polluante et inépuisable. Dans ce travail nous proposons une modélisation et une simulation d'un système solaire composé d'un générateur photovoltaïque (GPV), un hacheur survolteur, pour alimenter une station relais de télécommunication (BTS). Selon les caractéristiques côté charge ($I=60A$, $V=48V$) à courant continu (3 kW). Un étage d'adaptation composé de ce hacheur commandé par une commande MLI (Modulation de Largeur d'Impulsion), sera utilisé pour contrôler le point optimal de fonctionnement (MPPT) et pour optimiser le rendement du système sous Matlab/Simulink.

Mots clés. Energies fossiles, Générateur Photovoltaïque, Hacheur, MPPT, MLI.

1 Introduction

Depuis deux siècles, le monde a exploité son énergie pratiquement et exclusivement de la combustion du charbon, du pétrole et du gaz qui représentent dès aujourd'hui 80 % de la consommation d'énergie mondiale commercialisée. Mais le charbon, pétrole et gaz sont des énergies fossiles qui ne se renouvellent pas. Cette énergie qui est la cause principale du réchauffement climatique, constitue désormais un problème environnemental et économique majeur qui affecte les perspectives du développement durable. L'utilisation d'énergie solaire pour produire de l'électricité grâce à un panneau photovoltaïque ne nécessite pas de combustible.

Il n'y a donc aucune émission ou production des gaz toxiques par la combustion du charbon qui a pour effet d'augmenter la température de la terre par effet de serre. L'énergie solaire est une excellente alternative non polluante et inépuisable. De plus, il n'y a pas de déchet issu de cette technique de production d'énergie et ne rejette pas des substances polluantes et toxiques dans les sols.

Dans cette étude, nous modélisons et optimisons un système comprenant un générateur photovoltaïque relié à un convertisseur survolteur permettant le meilleur transfert de toute la puissance soutirée du soleil et converti en électricité à une BTS sans combustion du charbon.

2 Modélisation du système

Le système étudié est l'association d'un ensemble de sous-systèmes interconnectés qui sont: le GPV, ce modèle représente le module solaire comme source de courant en parallèle avec une diode, une résistance montée en série représente la résistance des contacts, une autre en parallèle dite la résistance en dérivation ou shunt, représente les courants de fuites, un quadripôle d'adaptation, qui est un convertisseur d'énergie DC-DC. Le convertisseur DC-DC est commandé par un signal à modulation de largeur d'impulsion avec une stratégie de recherche du point de puissance maximale MPPT. La commande MPPT suivre le point de puissance maximale à chaque instant. Ce contrôle, agit directement sur le rapport cyclique du convertisseur.

2.1 Modélisation d'une cellule photovoltaïque

Dans le cas idéal une cellule photovoltaïque (PV) peut être schématisé par une source idéale de courant qui produit un courant I_{ph} proportionnel à la puissance lumineuse incidente, en parallèle avec une diode. Si l'on connecte une charge résistive aux bornes du GPV, ce dernier y débite une part de courant I et le reste le courant I_d , dans la diode. Pour un GPV idéal, la tension aux bornes de la résistance est égale à celle aux bornes de la diode : $V=V_d$ Et la caractéristique I-V d'une diode non linéaire est donnée par la relation :

$$I_d = I_s \left[e^{\frac{V_d}{nV_T}} - 1 \right] \quad (1)$$

Avec : I_s , courant de saturation inverse de la diode ; $V_T = kT/q$, potentiel thermique; q , la charge de l'électron (1.6 10⁻¹⁹C) ; k , la constante de Boltzmann (1.38 10⁻²³J/K) ; n , facteur d'idéalité de la diode, compris entre 1 à 2; T , la température de la jonction en K ; I_d , le courant circulant dans la diode ; I , le courant de sortie, et V la tension de polarisation.

Le courant débité serait à :

$$I = I_{ph} - I_d = I_{ph} - I_s \left(e^{\frac{V_d}{nV_T}} - 1 \right) \quad (2)$$

Dans le cas réel en modélise la perte de tension et le courant de fuite par deux résistance en parallèle R_p et en série R_s . Le modèle de la cellule et représenté dans la figure 1 :

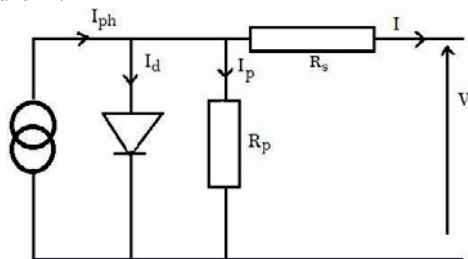


Fig.1 . Modèle de la cellule PV avec prise en compte de perte en tension et courant de fuite

D'après la loi de Kirchhoff, On a :

$$I = I_{ph} - I_d - I_p \quad (3)$$

$$I_p = \frac{V_d}{R_p} = \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (4)$$

$$I = I_{ph} - I_s \left(e^{\left(\frac{V + IR_s}{nV_T} \right)} - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_p} \quad (5)$$

Dans le cas idéal, on a R_s tend vers 0 et R_p à l'infini. Et dans le cas réel, ces résistances donnent une évaluation des imperfections de la diode ; on considère que la résistance R_s présente une faible valeur. A l'aide d'une méthode numérique (la méthode de Newton-Raphson par exemple) et sous illumination, les pentes de la caractéristiques I-V sont calculé en circuit ouvert $I=0$ et à court circuit $V=0$ et donnent respectivement les valeurs inverses des résistances séries et shunt.

2.2 Influence de l'éclairement et de la température sur la caractéristique I (V)

La réponse d'une cellule PV à différents niveau d'énergie lumineux figure (2). Montre que l'irradiation a un effet important sur le courant du circuit-ouvert. C'est-à-dire que la courbe de la caractéristique I-V et relativement horizontal, tandis que l'effet sur la tension en circuit-ouvert, c'est-à-dire la pente de la courbe I-V et relativement vertical, qui est assez faible. En ce qui concerne la puissance maximale d'une cellule photovoltaïque, lorsque l'éclairement est plus élevé, la cellule génère plus de puissance. La température a un effet très important sur la tension de circuit ouvert et un effet non remarquable sur le courant de court circuit de la cellule figure (3).

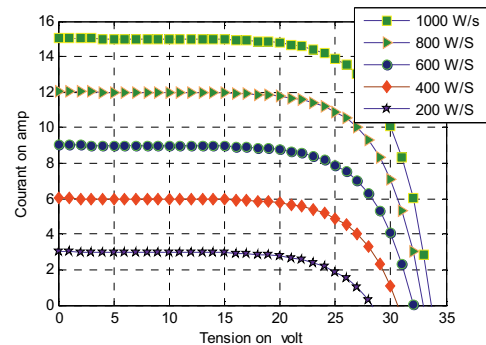


Fig.2 . Caractéristique courant-tension pour différentes valeurs du rayonnement

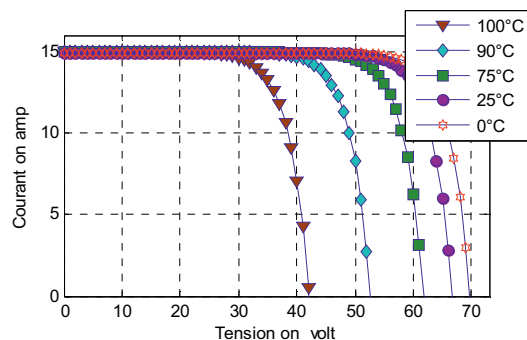


Fig. 3. Caractéristique courant-tension pour différentes de la température

2.3 Modélisation du générateur photovoltaïque

A cause de sa faible épaisseur, une cellule photovoltaïque produit une très faible puissance électrique de l'ordre 1 à 3 W. Ainsi pour accroître la puissance, on assemble ces cellules soit en série, soit en parallèle pour former un module photovoltaïque et atteindre la puissance désirée pour alimenter une BTS. Une association de cellules en série permet d'augmenter la tension du GPV, tandis que les connexions de N_s en parallèle permettent d'augmenter le courant de sortie du générateur. Le schéma équivalent du générateur photovoltaïque devient :

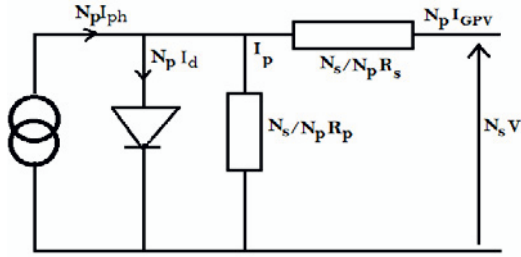


Fig. 4. Modèle du générateur photovoltaïque

L'équation de la borne pour le courant et la tension du réseau est la suivante :

$$I_{GPV} = N_p I_{ph} - N_p I_s \left(e^{\left(\frac{N_p V_{GPV} + N_s R_s I_{GPV}}{N_s N_p V_T} \right)} - 1 \right) - \frac{N_p V_{GPV} + N_s R_s I_{GPV}}{N_s R_p} \quad (6)$$

En fait, le rendement photovoltaïque est sensible à une faible variation de la résistance R_s , mais insensible à la variation de R_p , pour un module PV ou un générateur, la résistance série est apparemment importante et la résistance parallèle tend vers l'infini est remplacée par un circuit ouvert [6]. L'équation mathématique du modèle généralisé peut être écrite comme :

$$I_{GPV} = N_p I_{ph} - N_p I_s \left(e^{\left(\frac{N_p V_{GPV} + N_s R_s I_{GPV}}{N_s N_p V_T} \right)} - 1 \right) \quad (7)$$

D'où :

$$V_{GPV} = N_s n V_T \ln \left(1 + \frac{N_p I_{ph} - I_{GPV}}{N_p I_s} \right) - \frac{N_s R_s I_{GPV}}{N_p} \quad (8)$$

En introduisant cette équation dans Matlab/Simulink pour réaliser le modèle du GPV.

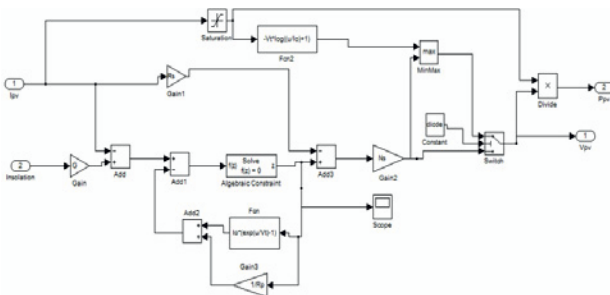


Fig. 5. Modèle Simulink du générateur photovoltaïque

2.4 Modélisation du hacheur survolteur

Un convertisseur continu/continu est un hacheur à transistor de type parallèle survolteur de tension utilisé pour augmenter la tension de sortie par rapport à la source, dont le schéma de principe est représenté dans la figure (6).

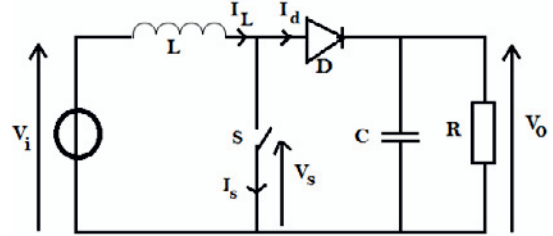


Fig. 6. Modèle d'un hacheur DC/DC

Il est dimensionné pour une puissance de 3 kW qui correspond aux valeurs nominales $I = 170$ A, $V = 17,64$ V, côté générateur, et $V_s = 50$ V, $I_s = 60$ A, côté charge. Son rapport de transformation est le rapport cyclique (rapport du temps pendant lequel le transistor est fermé, à la période de hachage tel que $\alpha \ll 1$) : et $\frac{V_s}{V} = \frac{1}{1-\alpha}$.

Le hacheur oblige le GPV à fonctionner à puissance maximale quel que soit l'éclairement, et de le transférer à la charge pour un rapport cyclique bien défini. Ce hacheur comporte 4 composants : Une inductance L, une diode, une capacité C et un interrupteur qui prend deux états, $S=1$ et $S=0$. Lorsque l'interrupteur S est fermé, la diode D est polarisée en inverse la charge est donc isolée. La source fournie de l'énergie à l'inductance. Si l'interrupteur S est ouvert, l'étage de sortie reçoit de l'énergie de la source et de l'inductance d'où une augmentation de la tension de sortie.

Dans les conditions idéales, tous les composants sont idéaux, le hacheur survolteur peut être modélisé en utilisant les équations différentielles ordinaires suivantes :

$$C \frac{dV_c}{dt} = (1-s) i_L - \frac{V_c}{R} - i_0 \quad (9)$$

$$L \frac{di_L}{dt} = V_i - (1-s) V_c \quad (10)$$

$$\text{Et } V_0 = R \cdot i$$

On ajoute au modèle précédent une résistance R_L interne à l'inductance et une résistance R_c interne à la capacité, donc les équations (11) et (12) deviennent :

$$C \frac{dV_c}{dt} = (1-s) i_L - \frac{V_0}{R} - i_0 \quad (11)$$

$$L \frac{di_L}{dt} = V_i - (1-s) V_0 - R_L i_L \quad (12)$$

$$V_0 = V_c + R_c \cdot C \cdot \frac{dV_c}{dt} \quad (13)$$

En insérant 13 dans 11 :

L'expression de V_0 dans l'équation 13 devient :

$$V_0 = V_c + \frac{RR_c}{R+R_c}(1-s)i_L - \frac{R_c}{R+R_c}V_c - \frac{RR_c}{R+R_c}i_0 \quad (14)$$

En développant l'expression de V_0 dans l'équation 15 devient :

$$V_0 = V_c + \frac{RR_c}{R+R_c}(1-s)i_L - \frac{R_c}{R+R_c}V_c - \frac{RR_c}{R+R_c}i_0 \quad (15)$$

En développant l'expression de V_0 on obtient :

$$V_0 = \frac{R}{R+R_c}V_c + \frac{RR_c}{R+R_c}[(1-s)i_L - i_0] \quad (16)$$

L'expression 11 devient :

$$i_L = \frac{1}{L} \int [V_i - (1-s)V_0 - RL i_L] dt \quad (17)$$

A l'aide des deux équations 16 et 17, on définit le modèle du hacheur survolteur (Boost) DC-DC réel, figure 7.

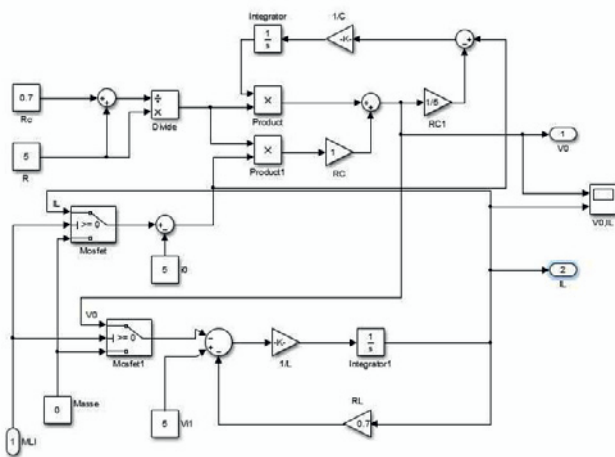


Fig.7. Modèle Simulink du Hacheur Boost réel

3 Modélisation des commandes

3. 1. Algorithme de commande « perturbation & observation » simple

Le comportement d'un GPV est non linéaire car son puissance dépend de la température et de l'éclairement. Dans le cas où le GPV alimente un réseau, il travail au point de puissance maximale MPPT afin de maximiser le rendement. Ce MPPT varie toujours en fonction de l'irradiation, de la température,...On doit donc utiliser un algorithme dite Perturbation & Observation permettant de retrouver ce point en temps réel [6]. C'est l'algorithme basé sur la perturbation du système par l'augmentation ou la diminution de V_i où en agissant directement sur le rapport cyclique du convertisseur DC-DC, puis l'observation de l'effet sur la puissance de sortie du

panneau. Si la valeur de la puissance actuelle $P(k)$ du panneau est supérieure à la valeur précédente $P(k-1)$ alors on garde la même direction de perturbation précédente sinon on inverse la perturbation du cycle précédent. Sont modèle sous Simulink est donner par la figure 8.

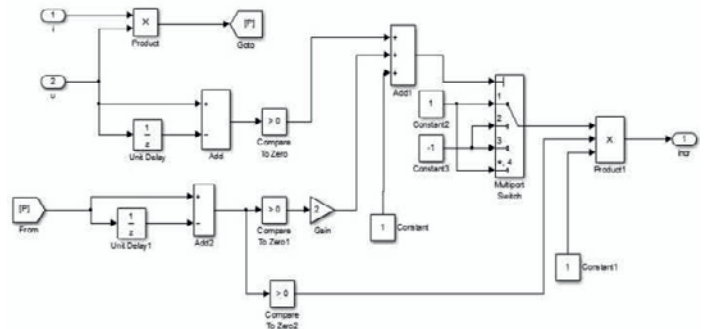


Fig. 8. Modèle Simulink de l'algorithme P&O

3.2 Commande par modulation de largeur d'impulsions (MLI)

La commande par MLI consiste à découper la tension de sortie générée par le convertisseur en une série de motifs élémentaires de période très faible, et de rapport cyclique variable dans le temps. L'évolution temporelle du rapport cyclique de chaque interrupteur est alors déterminée par un signal modulant que l'on choisit en général sinusoïdal. Les ordres de commande de chaque cellule sont générés par l'intersection entre une porteuse triangulaire et le signal modulant. Selon la stratégie adoptée, ce dernier peut être échantillonné en synchronisme avec la porteuse triangulaire, ou comparé directement à celle-ci. Chaque interrupteur commute à une fréquence imposée par celle de la porteuse [12].

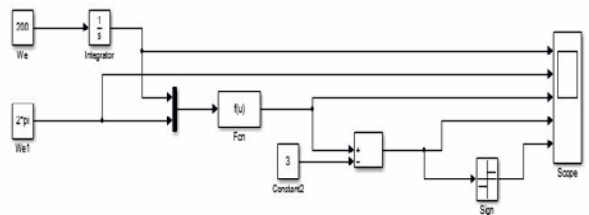


Fig. 9. Modèle Simulink de la commande MLI

4 Résultats

Pour réaliser la simulation en considérant la BTS comme une charge résistive. La figure (10) montre l'évolution du point de fonctionnement sur la caractéristique Puissance-Tension pour différents niveaux d'ensoleillement, et la figure (11) la caractéristique Puissance-Tension pour différentes températures.

Pour un rapport cyclique de 0.5, on à une puissance maximale, et la figure (12) montre la relation entre la puissance de sortie du convertisseur et son rapport cyclique. La figure (13) montre que la puissance de sortie du convertisseur est égale à la charge de la BTS.

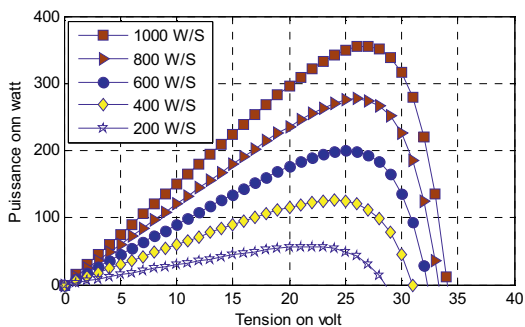


Fig.10. Caractéristique Puissance-tension pour différents niveaux d'ensoleillement

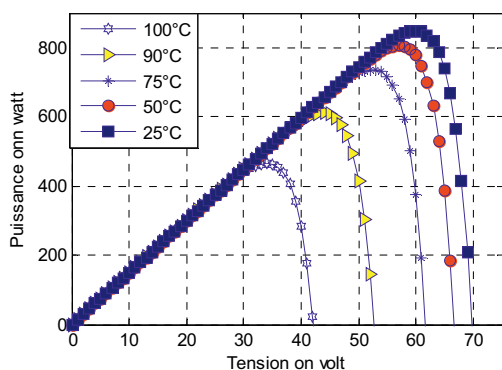


Fig.11. Caractéristique Puissance- tension pour différentes températures

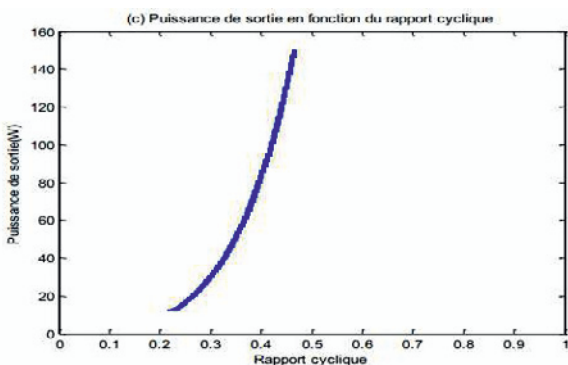


Fig.12. Courbe de Puissance en fonction du rapport

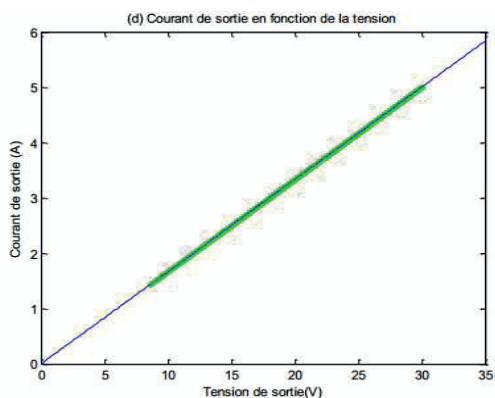


Fig. 13. Caractéristique I-V à la sortie du convertisseur

5. Conclusion

La consommation d'énergies fossiles est une des principales sources de la dégradation de l'environnement. Le photovoltaïque peut être utilisé dans diverses applications. Ce genre d'application peut être posé en toiture de maisons privées (en moyenne 3 kW). On trouve aussi des systèmes de taille plus élevée, pouvant atteindre plusieurs mégawatts. Et pour avoir le meilleur transfert de puissance entre le générateur photovoltaïque GPV et la charge, nous avons modélisé l'ensemble de la chaîne de conversion sous Matlab et l'algorithme de recherche du point de puissance maximale (MPPT) a été conçu puis simulé. Il force le générateur PV à travailler à son Maximum Power Point (MPPT), induisant une amélioration globale du rendement du système de conversion électrique. Bien que satisfaisante par rapport à une connexion directe GPV-BTS, une amélioration de l'algorithme P&O peut s'avérer nécessaire dans le cas de changements brusques de température et d'ensoleillements.

References

- [1] D.Saheb-Koussa, M.Haddadi, Modélisation d'un générateur photovoltaïque dans l'environnement, 4th International Conference on Computer Integrated Manufacturing CIP, 03-04 (2007).
- [2] R. Chenni, L. Zarour, E. Matagne T. Kerbache, Optimisation d'un système de pompage photovoltaïque, Sciences & Technologie B – N°26, décembre (2007)
- [3] A. Meflah T. Allaoui, Commande d'une chaîne de pompage photovoltaïque au fil du soleil, Revue des Energies Renouvelables Vol. 15 N°3 (2012)
- [4] R. Chenni, M. Makhlof, T. Kerbache, A. Bouzid, A detailed modeling method for photovoltaic cells Energy, Vol. 32 ,pp1724 – 1730, (2007).
- [5] Soltane BELAKEHAL, Conception & commande des machines à aimants permanents dédié aux énergies renouvelables, Thèse, Faculté des sciences de Constantine, (2010).
- [6] C. Boisvineau, M. Nougaret et J. Perard, optimisation du fonctionnement d'un générateur photovoltaïque : Asservissement extrémal de la puissance, Revue Phys. Appl.Vol. 17 pp329-336, (1982).
- [7] Thi Minh Chau LE, Couplage Onduleurs Photovoltaïques et Réseau, aspects contrôle/commande et rejet de perturbations, Thèse, université De Groneble, (2012).
- [8] M.Hatti, IEEE Member, Contrôleur Flou pour la Poursuite du Point de Puissance Maximum d'un Système Photovoltaïque, JCGE'08 LYON, 16 et 17 décembre (2008).
- [9] MartinAIMÉ, Évaluation et optimisation de la bande passante des convertisseurs statiques Application aux nouvelles structures multicellulaires, Thèse Ecole Centrale de Lille, (2003).