

## Une nouvelle stratégie pour la poursuite du point optimal de fonctionnement dans un système photovoltaïque

M. Amarouayache <sup>1\*</sup>, A. Bouzid <sup>2†</sup> et S. Bouchakour <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Division Energie Solaire Photovoltaïque  
Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER  
B.P. 62, Route de l'Observatoire, Bouzaréah, Alger, Algérie

<sup>2</sup> Laboratoire d'Electrotechnique de Constantine, 'LEC'  
Département d'Electrotechnique, Université des Frères Mentouri  
Route Ain El Bey, Constantine, Algérie

(reçu le 24 Avril 2012 - accepté le 30 Juin 2012)

**Résumé** - Ce papier propose une nouvelle stratégie de fonctionnement et de suivi du point de puissance maximum 'MPPT' pour un système photovoltaïque. Elle prend en considération l'interaction entre le module solaire, le hacheur survolteur, le contrôle MPPT et le rayonnement solaire. Basée sur le tracé de la droite asymptotique de la caractéristique I-V, cette nouvelle méthode a l'avantage de simplifier la détermination de la tension optimale  $V_{opt}$ , le courant optimal  $I_{opt}$  et le point de puissance max ( $P_{max}$ ) produit par le panneau photovoltaïque sans recourir à des algorithmes complexes (P&O, Incrémental Conductance, etc...).

**Abstract** - This paper describes a novel method strategy to realize a maximum power for a photovoltaic system. The proposed method takes in consideration the interaction between solar panels, DC/DC inverter, Load, Maximum Power Point Tracking 'MPPT' control and the solar irradiance over solar panel. Based on the plotting of the right wing asymptote of I-V curve, the new method has the advantage to provide a new simple way to approximate the optimal voltage ( $V_{opt}$ ), the optimal or rated current ( $I_{opt}$ ) and maximum power rating ( $P_{max}$ ) produced by a solar panel without using complicate algorithms (P&O, Incremental Conductance, etc...).

**Mots clés:** Système photovoltaïque - Contrôle du point de puissance maximum 'MPPT', Hacheur survolteur (Boost).

### 1. INTRODUCTION

Les modèles dynamiques utilisés pour décrire un système photovoltaïque sont compliqués et non linéaires, ce qui rend ardu l'identification du point de fonctionnement optimal {Maximum Power Point 'MPP'} du module solaire.

Plusieurs méthodes ont été développées pour identifier et suivre le point de puissance maximum. On peut citer Perturbe & Observe [1], Incremental - Conductance [2], Ripple-Based [3], etc...

La plupart des méthodes effectuent le calcul sur la base de la caractéristique I-V ou P-V. Ils limiteraient la courbe autour du point optimum et en utilisant des correcteurs classiques, tels que PI, PID. Ces derniers ont une influence sur la stabilité

---

\* [amarouayachemohamed@yahoo.fr](mailto:amarouayachemohamed@yahoo.fr) - [salim.bouchakour@cderr.dz](mailto:salim.bouchakour@cderr.dz)

† [you.bouzid@yahoo.fr](mailto:you.bouzid@yahoo.fr)

et la précision du système, ainsi les résultats se diffèrent lors des régimes statique ou dynamique du système.

Dans cet article, on présente un modèle de recherche du point optimum basé sur la droite asymptotique de la courbe (I, V). L'intérêt de ce choix repose sur l'extraction d'une loi de commande linéaire et stable pour faire fonctionner le module à son point de puissance optimum d'une façon directe et sans faire appel à un calcul des correcteurs (P, PI, PID).

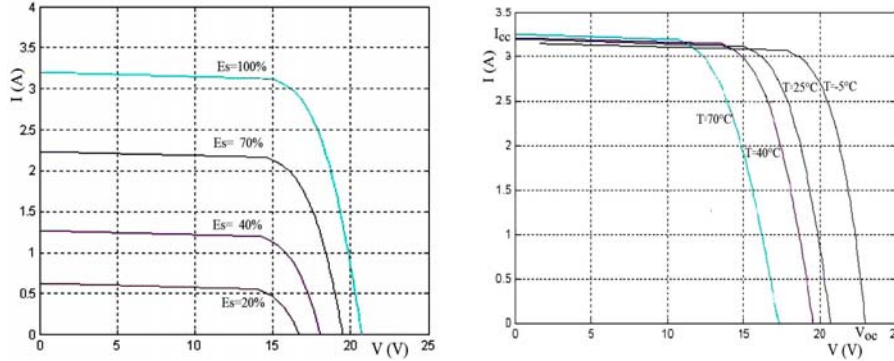


Fig. 1: Changement de la caractéristique du module en fonction de la température et l'éclairement

**2. DROITES ASYMPTOTIQUES DE LA COURBE (I, V)**

La caractéristique (I, V) admet, à chaque point de fonctionnement, une asymptote dont la fonction est donnée par l'équation (1) (Fig. 2). Aussi, il est à souligner que la diode installée sur le circuit équivalent du module a été remplacée par une résistance dynamique  $R_d$  [6]:

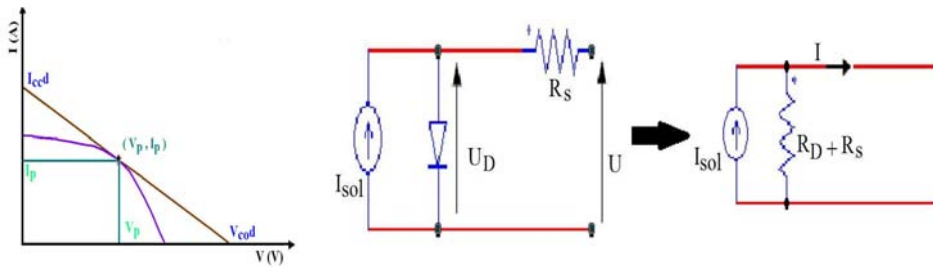


Fig. 2: Droite asymptotique de la courbe caractéristique (I, V)

$$I = \left[ \frac{dI}{dV} \right]_p \times V - \left[ \frac{dI}{dV} \right]_p \times V_p + I_p \tag{1}$$

où,  $I_p$ , représente le courant optimal (MPP current);  $V_p$ , la tension optimale (MPP voltage) et  $\left[ dI/dV \right]_p$ , la dérivée au point de puissance maximal (MPP point).

En définitive,  $V_{cod}$ , est le point d'intersection de cette droite avec l'axe X (V) et  $I_{ccd}$ , le point d'intersection de cette droite avec l'axe Y (I).

$$I_{ccd} = -\left[\frac{dI}{dV}\right]_p \times V_p + I_p \quad (2)$$

$$V_{cod} = V_p - \left[\frac{dV}{dI}\right]_p \times I_p \quad (3)$$

On note l'équation de la droite

$$I = a \times V + b \quad (4)$$

avec,  $a = -I_{ccd}/V_{cod}$  et  $b = I_{ccd}$ .

Au point de fonctionnement optimal (MPP), on a la condition suivante:

$$\frac{dI}{dV} = -\frac{I}{V} \quad (5)$$

On obtient les relations au point de fonctionnement max (MPP):

$$I = -\left[\frac{I}{V}\right] \times V + 2 \times I_p \quad (6)$$

$$I_{ccd} = 2 \times I_p \quad \text{et} \quad V_{cod} = 2 \times V_{pp} \quad (7)$$

$$V_{cod} \times I_{ccd} - 4 \times V_p \times I_p = 0 \quad (8)$$

L'équation (8) donne la condition du point de puissance maximal.

L'approche consiste à réaliser et à tracer la droite asymptotique de la caractéristique (I, V), correspondant à des conditions données (température, éclairage,...).

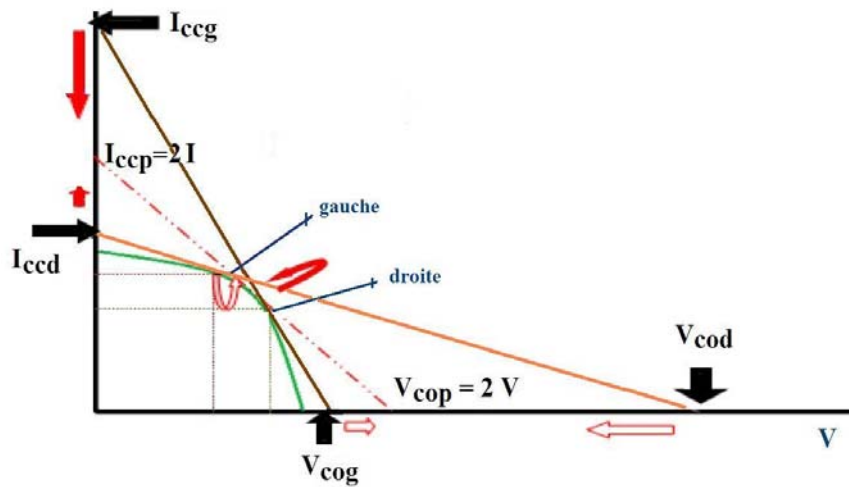


Fig. 3: Variation des droites asymptotiques en fonction du point de fonctionnement

Dans notre approche, le point MPP est déterminé donc à partir du tracé de l'asymptote de la caractéristique  $(I, V)$ . La droite est tracée par les deux points  $I_{ccd}$  et  $V_{cod}$ , et où le point MPP se trouverait à l'intersection de la caractéristique  $(I, V)$  et de la droite asymptotique à cette caractéristique. Le croisement entre la courbe caractéristique  $(I, V)$  et les droites asymptotiques correspondantes est traduite par la condition (8).

### 3. ALGORITHME DU POINT DE PUISSANCE MAXIMUM, 'MPPT'

L'adaptateur réalisé consiste en un convertisseur statique (hacheur) commandé par une MLI 'Modulation de Largeur d'Impulsion', donne un rapport cyclique  $\alpha$ . Ce rapport varie par le 'MPPT' en question, en fonction des changements des points de fonctionnement. Il a été fait le choix de l'amplitude du signal triangulaire  $V_m = 1$  pour que  $V_{com} = \alpha$ .

L'algorithme ci-après donne la procédure de la recherche du point maximal. Donc le contrôle du point maximum se fait sur la droite asymptotique de la caractéristique  $(I, V)$ , et le système 'MPPT', assurera à chaque instant que  $V = V_{cod}/2$  et  $I = I_{ccd}/2$ . L'erreur  $\{ \xi(t) = 0 \text{ et } \Delta\alpha = 0 \}$ .

L'équation (8) donne:

$$\xi(t) = -4a(t) \times V(t)^2 - 4b(t) \times V(t) - \frac{b(t)^2}{a(t)} \quad (9)$$

$$\xi(t)|_p \cong 0 \quad \Rightarrow \quad V_p = \frac{V_{co}}{2}$$

Si

$$\xi(t) \neq 0$$

$$V_{mpp} = \frac{V_{cod}}{2} \pm \sqrt{\frac{-\xi(t)}{4a}} \quad (10)$$

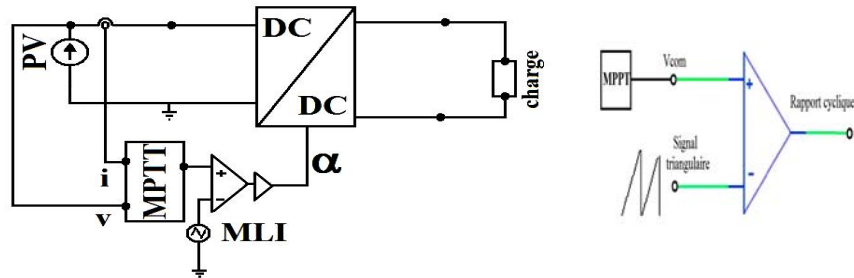


Fig. 4: Circuit module + convertisseur + commande MLI

Les équations (9) et (10) donne le comportement du système, lorsque le point de fonctionnement varie. Le système complet (Fig. 4) fonctionne en boucle fermée, donc en régime établi, on a  $\{ \xi(t) = 0, V_{ppm} = V_{cod}/2 \}$ .

Le sens d'une incrémentation de  $\alpha$  sera détecté par la comparaison entre la valeur de  $V_p$  et  $V_{cod}/2$  (Fig. 3).

A tout instant (t), le système de commande détecte l'erreur de la puissance par rapport à la puissance maximale du module, et que l'équation (10) force le système de fonctionner au point maximum.

Donc, l'algorithme de poursuite du point de puissance optimum donne directement la valeur de la tension qui correspond au point de puissance maximum, à partir d'un calcul direct de la valeur de la tension qui correspond au point maximum (Eq. 8), sans l'utilisation d'un correcteur (P, PI, PID).

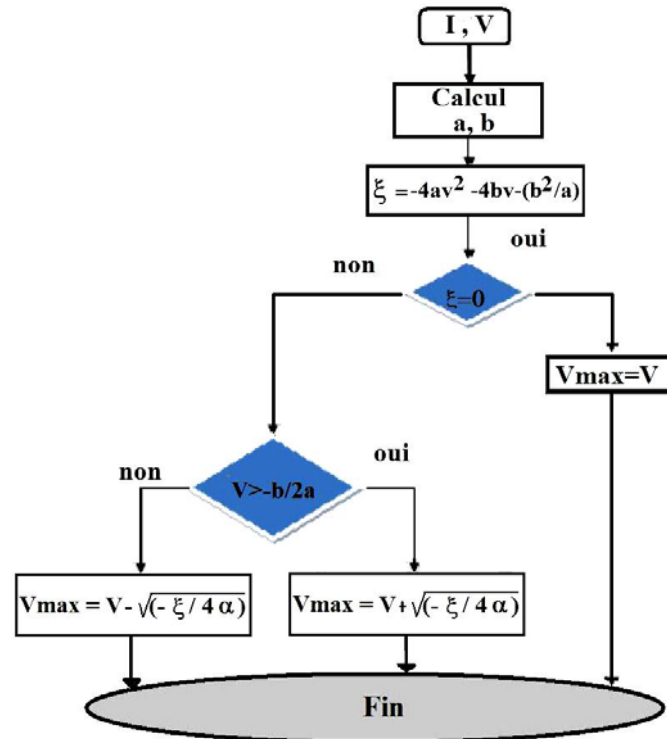


Fig. 5: Algorithme de MPPT asymptotique

#### 4. MISE EN ŒUVRE ET RESULTATS DE SIMULATION

Dans notre cas, on a appliqué notre approche de poursuite du point de puissance maximal, 'MPPT' sur un hacheur boost, qui alimente une batterie de 48 V. Les éléments de hacheur sont dimensionnés pour que la condition continue soit arrangé {  $L=10$  mH;  $C_{in}=300$   $\mu$ F;  $C_{out}=150$   $\mu$ F;  $f_h=10$  kHz}.

Les résultats de simulation sont obtenus en appliquant un changement d'éclairement et de température pour différents temps de transition.

[{ 1-- l'éclairement passe de 800 W/m<sup>2</sup> à 1000 W/m<sup>2</sup> et la température passe de 25°C à 30 °C pendant 1 seconde } ; { 2-- l'éclairement passe de 1000 W/m<sup>2</sup> à 700 W/m<sup>2</sup> et la température passe de 30 °C à 22 °C pendant une demi seconde }].

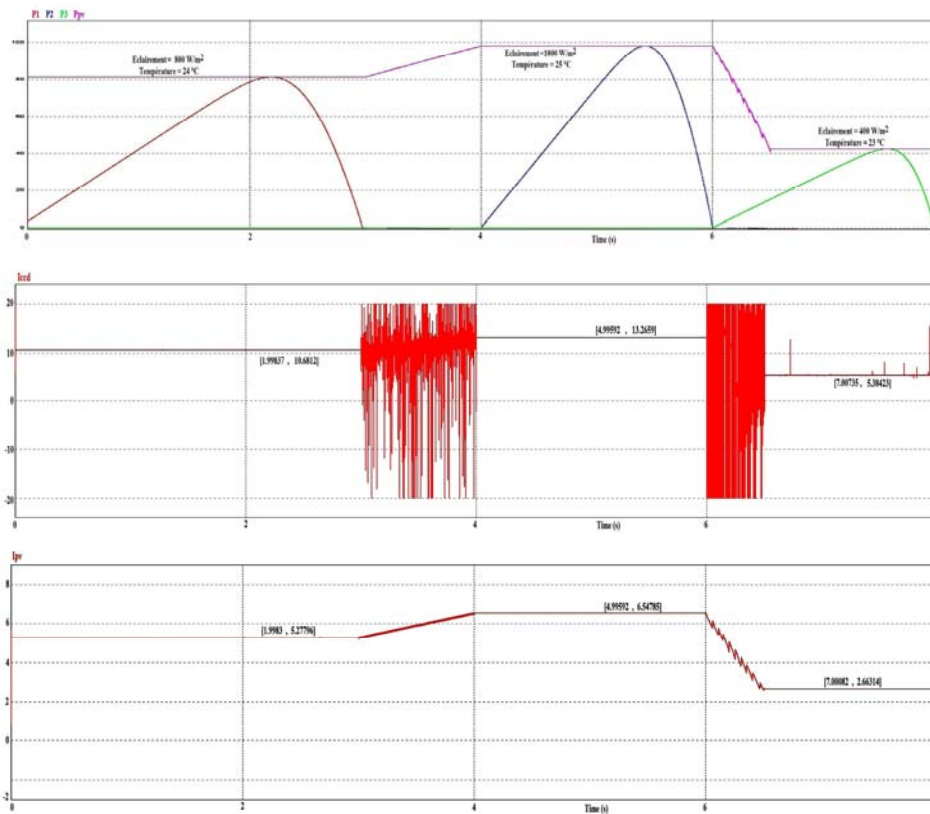
Les résultats obtenus par le logiciel PSIM sont montrés dans le **Tableau 1** ci-après.

**Tableau 1:** Valeurs mesurées et théoriques des puissances, des courants et des tensions du panneau, lorsque les conditions radiométriques varient

	Valeur mesurée			Valeur théorique		
	800W/m <sup>2</sup> 25°C	1000W/m <sup>2</sup> 30°C	700W/m <sup>2</sup> 22°C	800W/m <sup>2</sup> 25°C	1000W/m <sup>2</sup> 30°C	700W/m <sup>2</sup> 22°C
<b>Puissance max</b>	358.16	387.74	337.03	358.19	387.75	336.70
<b>Courant max</b>	26.01	29.39	23.62	25.89	30.34	23.21
<b>Tension max</b>	13.76	13.18	14.25	13.84	13.14	14.29
<b>V<sub>cod</sub></b>	27.85	25.50	29.80	27.68	26.28	28.58
<b>I<sub>ccd</sub></b>	51.43	60.70	45.25	51.78	60.68	46.42

On remarque que notre approche est vérifiée, { $\text{éq. (6)- (7)- (8)-}$ }, donc, ( $I_{\max} = I_{\text{ccd}} / 2$ ;  $V_{\max} = V_{\text{cod}} / 2$ ) dans les deux cas (saut d'éclairement et température négative et positive) avec une erreur maximal de 0.2 %.

En fait, la simulation pour les deux (02) temps de transition pour l'éclairement et la température pour voir la réponse du système MPPT (temps de réponse 0.01 s), Les formes d'ondes en fonction du temps sont données par les figures suivantes.



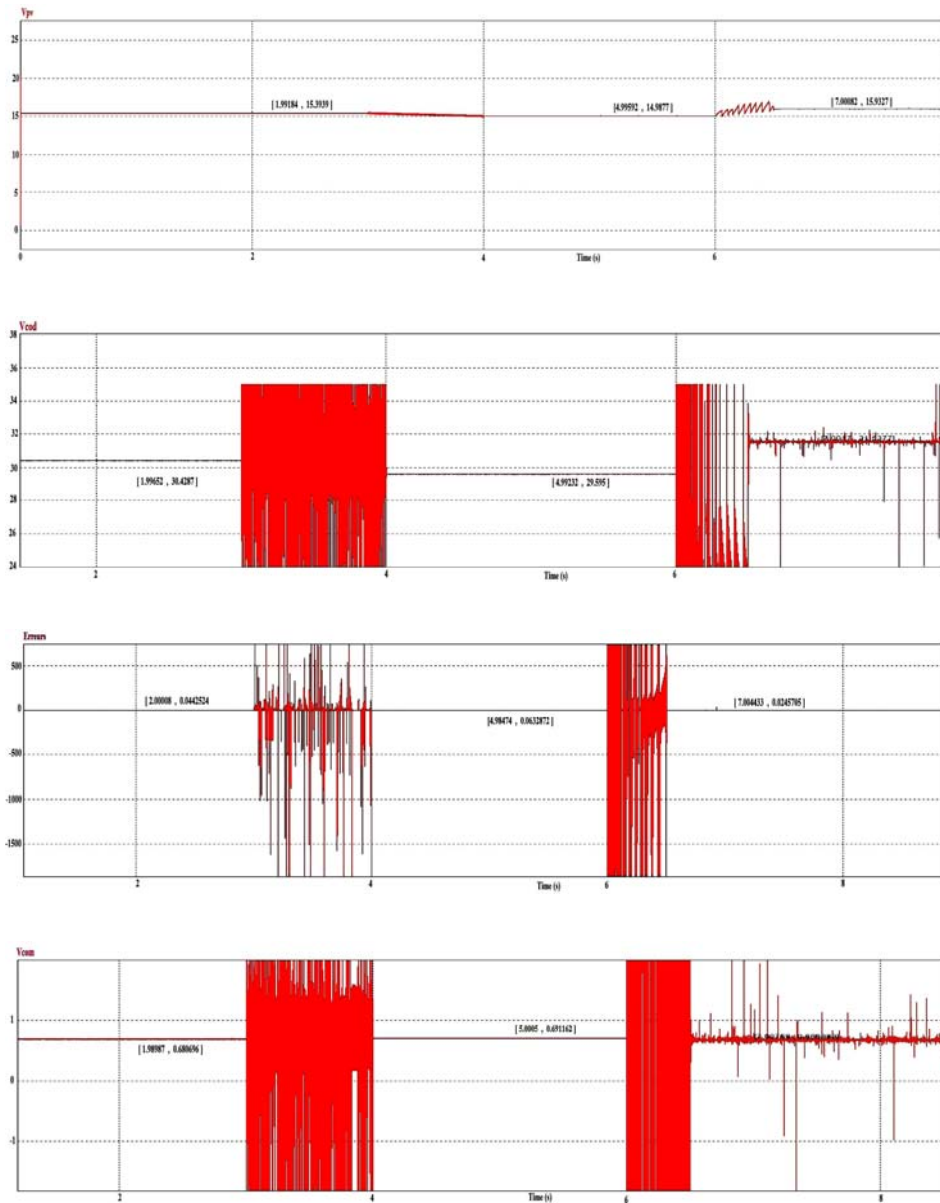


Fig. 6: Forme d'onde de puissance, courant, tension,  $I_{cod}$ ,  $V_{cod}$  et l'écart de puissance  $\xi(t)$  dans les différents changements de l'éclaircement

## 5. DISCUSSIONS ET INTERPRETATIONS DES RESULTATS

On remarque d'après les résultats de simulation que les valeurs correspondantes à l'approche de la poursuite du point de puissance maximale, ont atteint le point maximal, lorsque les équations {*éq. (6)- (7)- (8)-*} sont vérifiées. L'action du MPPT est de faire

annuler l'erreur ( $\xi$ ), à chaque changement des conditions de fonctionnement du module, (l'éq. (9)- (10)).

Dans le cas d'augmentation de l'éclairement et la température, on remarque que les valeurs de ( $\alpha$ ) passe de 0.680 à 0.691 et que  $V_{cod} = 29.96 \approx 2V_{pv}$  et l'erreur de puissance  $\xi(t) \approx 0$ .

Même cas, pour une diminution de l'éclairement et la température, les valeurs de ( $\alpha$ ) passe de 0.691 à 0.668 et que  $V_{cod} = 31.96 \approx 2V_{pv}$  et l'erreur de puissance  $\xi(t) \approx 0$ .

On remarque une erreur de l'ordre de 0.2 % dans nos résultats et cela est du à la perturbation de la commande par le signal d'erreur ajouté à chaque instant et le dimensionnement des dérivateurs qui calculent les valeurs de  $I_{ccd}$ ,  $V_{cod}$ .

Le choix de la constante de temps des dérivateurs est important pour qu'on puisse calculé d'une manière exacte, la valeur de  $I_{ccd}$  et  $V_{cod}$ , les deux points clés de notre MPPT (dans le schéma de simulation, on a fait un choix de telle sorte que le pas de calcul soit égal à la constante de temps de dérivation).

## 6. CONCLUSION

Dans ce travail, on a présenté une nouvelle approche pour la poursuite du point maximum de fonctionnement des modules photovoltaïques. Cette approche est basée sur une linéarisation polynomiale de la commande des hacheurs à travers les droites asymptotiques des points de fonctionnement de la caractéristique ( $I-V$ ).

L'algorithme du point de puissance maximum 'MPPT' est facile à l'implantation numérique ou analogique. En perspective, on compte implanter cette technique 'MPPT' avec des circuits logiques simples et bon marché et améliorer la précision du calcul.

## REFERENCES

- [1] B.K. Bose, P.M. Szezesny and R.L. Steigerwald, 'Microcontroller Control of Residential Photovoltaic Power Conditioning System', IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA-21, N°5, pp. 1182 - 1191, 1985.
- [2] K.H. Hussein, I. Muta, T. Hoshina and M. Osakada, 'Maximum Photovoltaic Power Tracking: An Algorithm for Rapidly Changing Atmosphere Conditions', in IEE Proceedings, Generation, Transmission and Distribution, Vol. 142, N°1, pp. 59 - 64, 1995.
- [3] M. Calais and H. Hinz, 'A Ripple Based Maximum Power Tracking Algorithm for Single Phase Grid Connected System', Solar Energy, Vol. 63, N°55, pp. 277 - 282, 1998.
- [4] S. Jain and V. Agarwal, 'A New Algorithm for Rapid Tracking of Approximate Maximum Power Point in Photovoltaic System', IEEE Power Electronics Letters, Vol. 2, N°1, pp. 16 - 19, 2004.
- [5] K.K. Tse, B.M.T. Ho, H.S-H Chung and S.Y.R. Hui, 'A Comparative Study of Maximum-Power Point Trackers for Photovoltaic Panels Using Switching-Frequency Modulation Scheme', IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 51, N°2, pp. 410 - 418, 2004.
- [6] M. Amarouayache, 'Système de Poursuite du Point Optimum de Fonctionnement de Modules Photovoltaïques', Mémoire de Magistère, Université Mentouri, Constantine, 2006.