

# Etude d'un système photovoltaïque

H.othmani<sup>#1</sup>, D.Mezghani<sup>#2</sup>, A.Mami<sup>#3</sup>

# Laboratoire d'analyse et de commande des systèmes, ENIT  
BP 37, Le Belvedere, Tunis 1002, Tunisie

<sup>1</sup> hiochem1@gmail.com, <sup>2</sup> dhafer.mezghanni@gmail.com, <sup>3</sup> abdelkader.mami@gmail.com

**Résumé**— Ce document présente la conception et la simulation du fonctionnement électrique d'un système photovoltaïque adapté par une commande assurant la poursuite de la puissance maximale fournie par le générateur PV. Deux techniques de commande parmi les techniques les plus utilisées dans le contrôle MPPT (Maximum Power Point Tracking) sont choisies et étudiées afin de revoir leurs performances.

**Keywords**— GPV, MPPT, Perturbe\_Observe, Incrémentation de la conductance, Système photovoltaïque, Optimisation.

## I. INTRODUCTION

L'une des principales causes de guerre dans le monde est la maîtrise des sources d'énergie fossile. Bien que ces énergies provoquent la pollution et le réchauffement climatique global. En revanche les sources d'énergie renouvelable présentent

une solution judicieuse pour fournir les besoins du monde entier sans nuire à notre environnement.

Dans ce contexte, s'installe l'énergie photovoltaïque qui est l'une des énergies prometteuses. Pour surmonter les problèmes liés aux rendements des panneaux solaires et obtenir le maximum d'énergie, il est primordial de trouver des solutions d'optimisation des systèmes photovoltaïque. En outre, il faut optimiser les circuits d'adaptation de ces sources à leurs charges. Un contrôleur MPPT (maximum power point tracking), est un dispositif qui permet d'extraire le maximum d'énergie possible en tenant compte des variations climatiques (luminosité et température).

Depuis 1968 (année de la première publication de la première loi de commande en mode MPPT [1]), les chercheurs ont élaborés plusieurs de techniques d'optimisation. Les méthodes analogiques sont souvent simples à réaliser et à bas prix. Parmi ces dernières, nous rappelons la technique d'asservissement de la tension de sortie de générateur, la recherche « aveugle » de la puissance maximale par incrémentation du rapport cyclique du hacheur connu sous l'appellation gradient de puissance et la modulation par détection synchrone.

Les commandes MPPT à implantation numérique ne font intervenir que des composants digitaux, la pièce principale de ces commandes est un micro-contrôleur. L'algorithme implanté est plus ou moins lourd selon la précision du système, la robustesse et la rapidité de la boucle de commande. Ces

nouvelles MPPTs numérique [9], [10] se basent sur des algorithmes de contrôle adaptatifs permettant de maintenir le système à son point de fonctionnement de puissance maximale. Dans ce qui suit, nous allons présenter les différentes parties d'un système photovoltaïque. Ensuite nous allons étudier technique Perturbe & observe et la technique d'incrémentation de la conductance.

Nous terminons ce travail par une comparaison des deux techniques.

## II. GENERATEUR PHOTOVOLTAÏQUE

Un Panneau photovoltaïque GPV est modélisé mathématiquement par les équations suivantes :

$$I_{pv} = I_{ph} - I_d - I_{sh} \quad (1)$$

$$I_d = I_s \left( \exp \left( \frac{(V_{pv} + R_s I_{pv})}{n C V_t} \right) - 1 \right) \quad (2)$$

$$I_{sh} = \left( \frac{V_{pv} + R_s I_{pv}}{R_p} \right) \quad (3)$$

$$I_{ph} = I_{rr} (I_{sc} + K_i (T - T_{ref})) \quad (4)$$

$$I_s = I_{rs} (T - T_{ref}) \exp \left( \frac{E_g}{K.n} \left( \frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right) \quad (5)$$

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\exp \left( \frac{q.V_{oc}}{n.KCT} \right)} \quad (6)$$

$$V_t = \frac{K.T}{q} \quad (7)$$

Nous désignons par  $R_s$  et  $R_p$  respectivement les résistances série et shunt en  $\Omega$ ,  $T_{ref}$  est la température ambiante de référence (25°C),  $I_{rr}$  est l'éclairement solaire,  $n$  est le facteur d'idéalité d'une diode  $T$  est la température de cellule,  $K$  est la constante de Boltzman et  $E_g$  est l'énergie de gap en Joules,  $C$

est le nombre de cellule (en série) par module (panneau),  $V_{oc}$  est la tension du circuit ouvert du module,  $I_{sc}$  est le courant de court circuit du module,  $K_t$  est le coefficient de la température et  $q$  est la charge élémentaire en Coulomb.

Une cellule photovoltaïque est un générateur élémentaire, à très basse tension, a une très faible puissance au regard des besoins de la majorité des applications industrielles. Les générateurs photovoltaïques sont par conséquent réalisés par association d'un nombre de cellules élémentaires.

Les modules (ou panneau) photovoltaïques se composent généralement d'un certain nombre de cellules photovoltaïques, de caractéristiques identiques, monté en série pour élever la tension. Ces modules sont ensuite regroupés en réseau série-parallèle de façon à obtenir la tension et le courant désirés pour former un champ photovoltaïque. Cette association doit être réalisée en respectant des critères précis en raison des déséquilibres apparaissant dans un réseau de cellules photovoltaïques en fonctionnement.

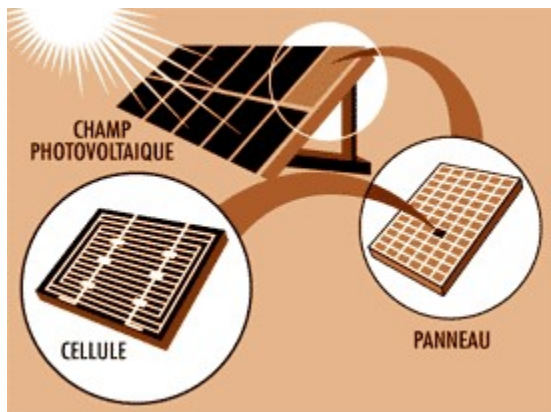


Fig. 1 Constitution d'un champ photovoltaïque

Nous allons continuer ce travail avec le module photovoltaïque KaneKa K60. Fig. 2 illustre une association des panneaux solaires KaneKa K60. Voici les caractéristiques de ce panneau :

TABLE I  
PARAMÈTRES D'UN MODULE KANEKA K60

Paramètres	Valeur
Puissance Nominale	60W(+10/-5%)
Tension à puissance maximale	67V
Courant à Puissance maximale	0.9A
Tension à vide	92V
Courant de court circuit	1.19A

La variation des conditions climatiques (luminosité la température) influe directement le GPV (générateur photovoltaïque). En effet, lors d'une diminution de la luminosité la puissance diminue (fig. 3). De même une diminution de la température provoque une augmentation de la puissance (fig. 4). Il faut donc mettre en harmonie ces comportements avec la charge. Lors de la connexion source-charge, il est donc indispensable de tenir compte de ces variations de la puissance délivrée par le générateur PV, sans

oublier de mettre en évidence la caractéristique de la charge pour qu'un point de fonctionnement soit possible.



Fig. 2 champs photovoltaïque

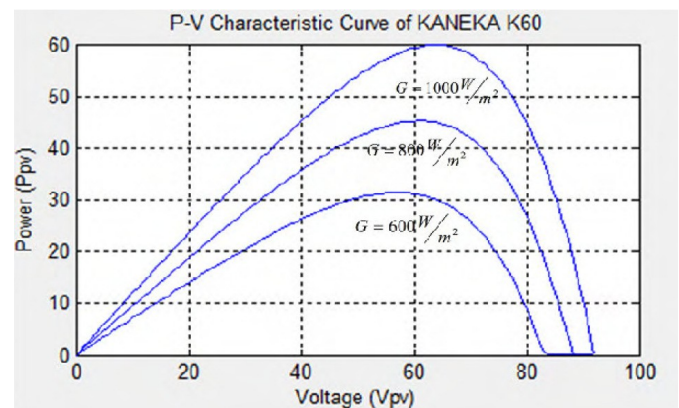


Fig. 3 Changement du point de puissance maximale en fonction de la luminosité

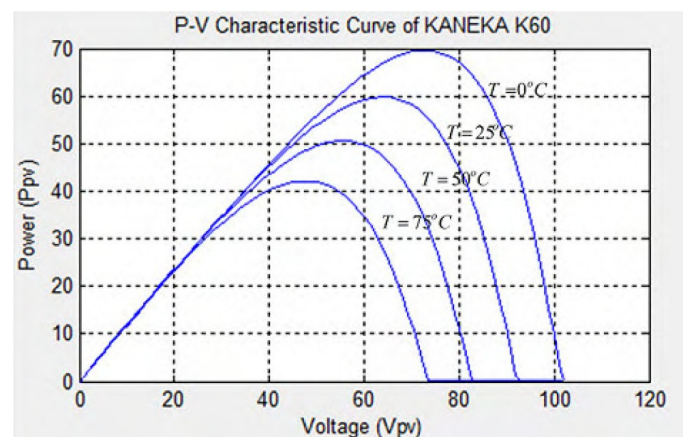


Fig. 4 Changement du du point de puissance maximale en fonction de la Température

### III. SYSTEME PHOTOVOLTAÏQUE

Le système photovoltaïque est contrôlé par la commande MPPT, il est présenté par la Fig.5.

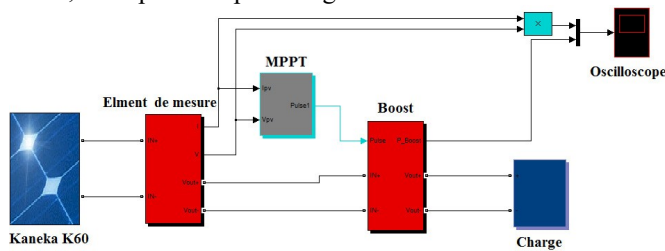


Fig. 5 Système photovoltaïque

Le convertisseur statique (DC/DC) utilisé, est le plus fréquemment utilisé comme convertisseur élévateur, connu aussi sous le nom de « boost » ou hacheur parallèle ; son schéma de principe de base est celui de (Fig.6).

Un Boost est un convertisseur qui convertit une tension continue en une autre tension continue de valeur supérieure. Nous avons donc deux séquences de fonctionnement selon l'état de l'interrupteur  $T$ , que nous pouvons représenter chacune par une équation différentielle.

Lorsque S conduit

$$V_0 = \frac{L di}{dt} \tag{8}$$

$$C \frac{dV_{bus}}{dt} + i_{chrg} = 0$$

Lorsque S ouvert

$$V_0 = \frac{L di_l}{dt} + V_{Bus} \tag{9}$$

$$C \frac{dV_{bus}}{dt} + i_{chrg} = 0$$

En posant  $\alpha = 1$  lorsque l'interrupteur S est fermé et  $\alpha = 0$  pour S ouvert, nous pouvons représenter le convertisseur par un système d'équations uniques, que nous qualifions de modèle instantané. Nous considérons ici les interrupteurs parfaits.

$$V_0 = L \frac{di_L}{dt} + V_{Bus} (1 - \alpha) \tag{10}$$

$$C \frac{dV_{Bus}}{dt} + i_{chrg} = i_L (1 - \alpha) \tag{11}$$

Le modèle instantané fait apparaître un comportement non linéaire du convertisseur pour la simulation. Donc nous passons au modèle moyen il convient de signaler que  $\alpha' = T_{on}/T_d$  et  $T_d$  est la période de découplage.

$$\frac{di_L}{dt} = \frac{V_0 - (1 - \alpha')V_{Bus}}{L}$$

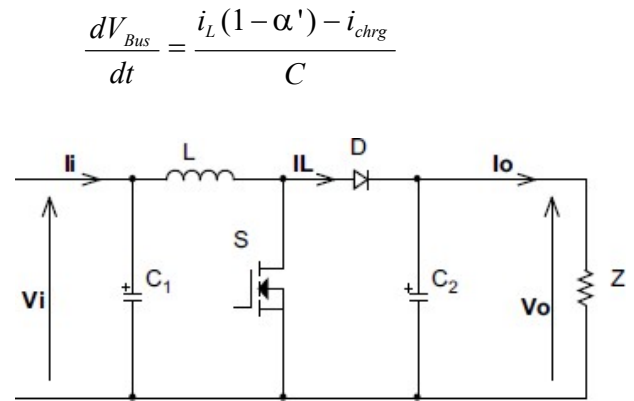


Fig. 6 Montage Boost

#### IV. OPTIMISATION D'ENERGIE

L'optimisation d'énergie issue du GPV consiste à amener le GPV vers sa puissance optimale dans les différentes variations en commandant le rapport cyclique du hacheur et en tenant compte de la charge.

##### A. Technique de Perturbation et Observation

Le principe de cette technique consiste à perturber (diminuer ou augmenter) la tension  $V_{PV}$  d'une faible amplitude autour de sa valeur initiale et d'analyser le comportement de la variation de puissance  $P_{PV}$  qui en résulte.

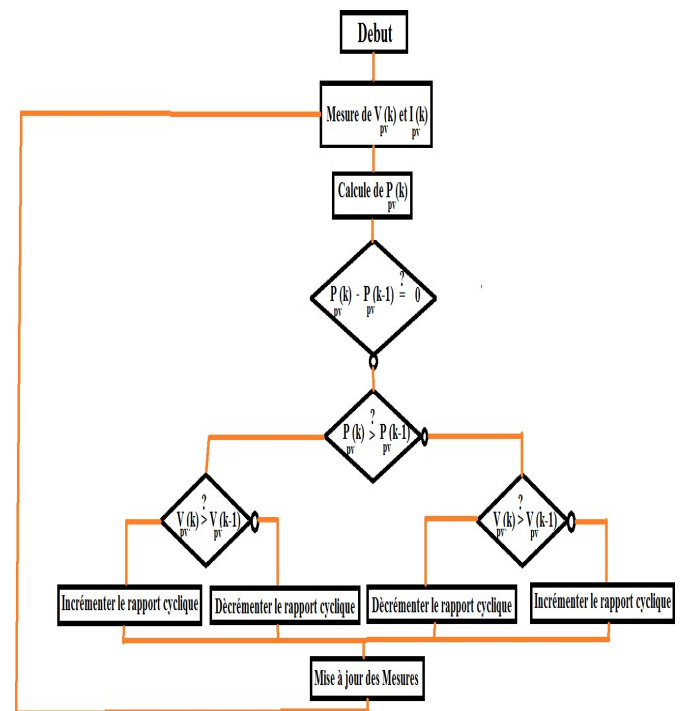


Fig. 7 Algorithme de la Perturbation et Observation (P&O)

Ainsi, comme l'illustre (fig.7), nous pouvons déduire que si une incrémentation positive de la tension  $V_{PV}$  engendre un accroissement de la puissance  $P_{PV}$ , cela signifie que le point

de fonctionnement se trouve à gauche du point de puissance maximale. Si au contraire, la puissance décroît, cela implique que le système a dépassé le point de puissance maximale.

Un raisonnement similaire peut être effectué lorsque la tension décroît.

A partir de ces diverses analyses sur les conséquences d'une variation de tension sur la caractéristique  $P_{PV} = f(V_{PV})$ , il est alors facile de situer le point de fonctionnement par rapport au point de puissance maximale, et de le faire converger vers le maximum de puissance.

Pour la simulation, nous avons soumis le système à une variation de luminosité de [600,1000,800] W/m<sup>2</sup> aux instants [0,4,7]s.

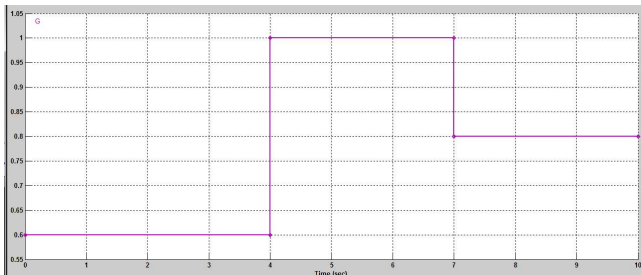


Fig. 8 Variation de la luminosité au cours du temps

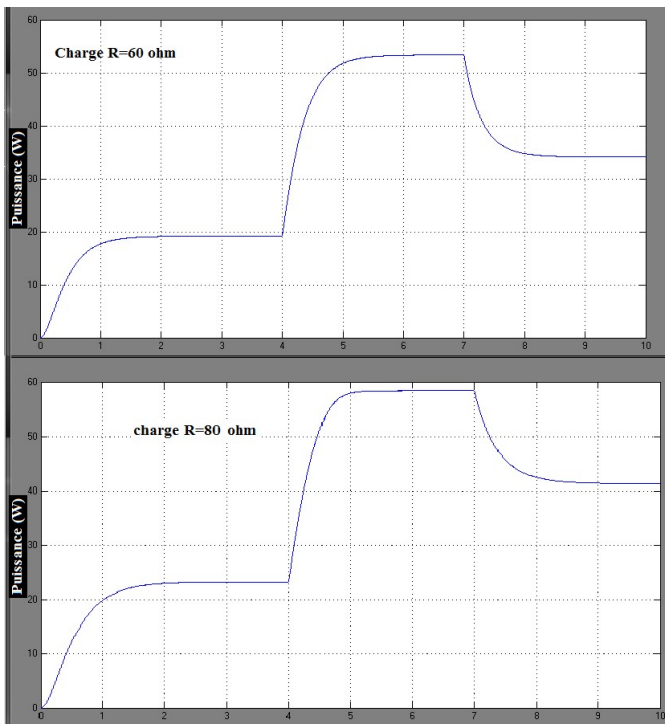


Fig. 9 Allure de la puissance face à une variation de température pour différentes valeurs de la charge

D'après les résultats de simulations, nous constatons que cette technique suit la variation de luminosité avec une rapidité assez convainquant en tenant compte de la charge.

*B. Technique d'optimisation par incrémentation de la conductance [2]*

Cette technique consiste à différencier la puissance PV par rapport à la tension et placer le résultat à zéro.

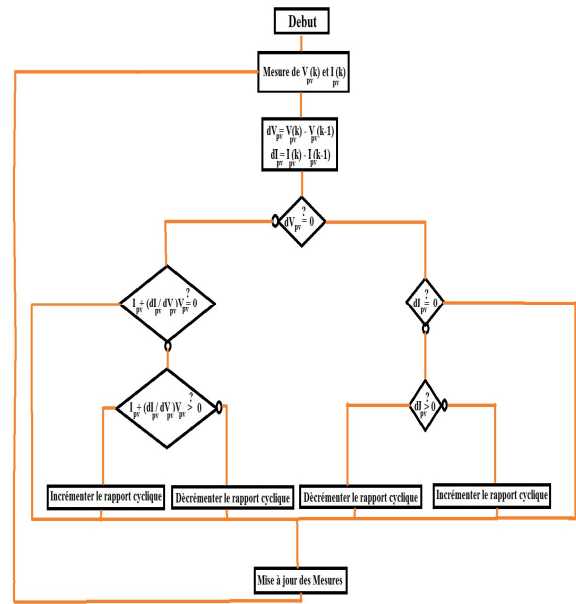


Fig. 10 Algorithme incrémentation de la conductance

$$\frac{dP}{dV} = I \frac{dV}{dV} + V \frac{dI}{dV} = I + V \frac{dI}{dV} = 0 \tag{12}$$

$$-\frac{I}{V} = \frac{dI}{dV} \tag{13}$$

Le terme (-I/V) de l'équation (13) représente l'opposé de la conductance instantanée ( $G = I_{PV}/G_{PV}$ ), alors que le terme (dI/dV) de l'équation représente sa conductance par incrémentation.

D'autre part, la variation par incrémentation  $dV_{PV}$  et  $dI_{PV}$  peut être rapprochée par les incréments des deux paramètres,  $\Delta V_{PV}$  et  $\Delta I_{PV}$  dans le but de mesurer la valeur réelle  $V_{PV}$  et  $I_{PV}$  avec les valeurs mesurées en instant précédent, ceci est expliqué par les expressions (2.5) et (2.6), respectivement.

$$dV_{PV}(k) \approx \Delta V_{PV}(k-1) = V_{PV}(k) - V_{PV}(k-1) \tag{14}$$

$$dI_{PV}(k) \approx \Delta I_{PV}(k-1) = I_{PV}(k) - I_{PV}(k-1) \tag{15}$$

Par conséquent, l'analyse du dérivé peut examiner si le générateur PV fonctionne à son MPP ou loin de ça, voir les équations (16), (17) et (18).

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} > 0 \text{ pour } V_{PV} < V_{MPP} \tag{16}$$

$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} < 0 \text{ pour } V_{PV} > V_{MPP} \tag{17}$$



$$\frac{dP_{PV}}{dV_{PV}} < 0 \quad \text{pour } V_{PV} > V_{MPP} \quad (18)$$

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.

Nous constatons que l'algorithme offre un bon suivi face aux variations de luminosité et de la charge, néanmoins, le système avec P&O est plus performant en terme de puissance.

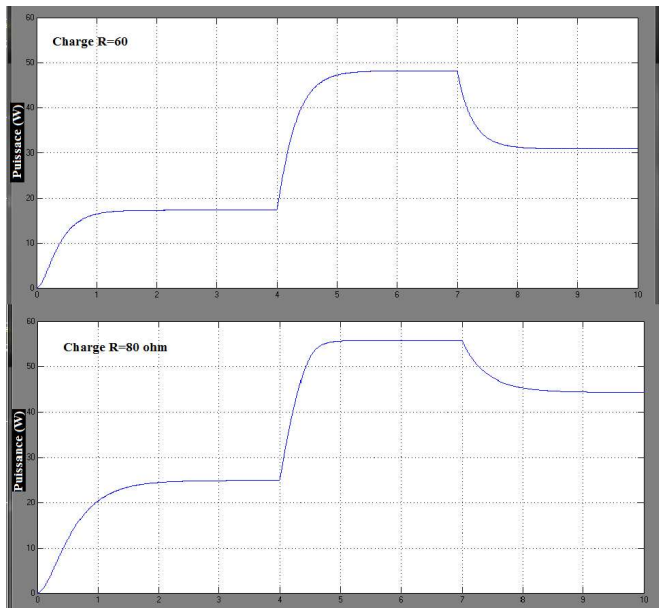


Fig. 10 Allure de la puissance face à une variation de luminosité pour différentes valeurs de la charge

## V. CONCLUSION

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

Nous avons commencé par l'élaboration d'un modèle du module photovoltaïque Kaneka K60. Nous avons démontré les différentes étapes pour élaborer un générateur photovoltaïque adéquat à la charge. Ensuite nous avons conçu un contrôleur basé sur deux techniques populaires tel que la perturbation et l'observation et puis la commande à incrémentation de la conductance. La poursuite du point de puissance maximal est bien accomplie avec un taux d'ondulation de la tension et de puissance minime. Face aux différentes variations, les pertes de puissance sont moindres ; ce qui implique par conséquent une amélioration du rendement du système.

## REFERENCE

- [1] [Boehinger, 68] Boehinger A-F, self adaptative DC converter for solar spacecraft power supply, IEEE Trans on Aerospace and electronic systems, vol 4, pp. 102-111, 1968

- [2] D.Rekioua and SAissou#, "Photovoltaic Panels Characteristics Methods", Ceit Tunisia, Mars 2013.
- [3] Hussein .K.H., « Maximum photovoltaic power tracking: an algorithm for rapidly changing atmospheric conditions», IEE Proc.Generation Transmission Distrib.1995
- [4] C. Lui, B.Wu, and R.Cheung, "Advanced Algorithme for MPPT of photovoltaic systems," Canadian Solar Buildings Conference Monreal, August 20-24, 2004
- [5] K. Kassmi, M. Hamdaoui et F. Olivié "Conception et modélisation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT analogique," Revue des Energies Renouvelables Vol. 10 N°4 (2007) 451 – 462
- [6] Dhafer Mezghani, « Etude d'une installation photovoltaïque de pompage par une approche Bond Graph », thèse de doctorat de l'Ecole National D'ingénieur de Tunis, Tunisie, 2009.
- [7] L. Protin et S. Astier, « Convertisseurs Photovoltaïques, Techniques de l'Ingénieur » - Energie, D3360.
- [8] T. Ešram, P. L. Chapman, "Comparaison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques". IEEE Transactions on energy conversion, vol. 22, no. 2, June 2007
- [9] Shraif M-F, Optimisation et mesure de chaîne de conversion d'énergie PV en énergie électrique, Thèse de doctorat de l'Univ Paul Sabatier de Toulouse, 2002
- [10] Matsui M, Kitano T et Yang Z, a new maximum photovoltaic power tracking control system based on power equilibrium at DC link, IEEE Trans on Industrial Applications, 1999
- [11] A.Trouvé et D.Martinon, Mc Solar Boost Project, IUT ,2007