

---



---

Soumis le : 04 Novembre 2012

Forme révisée acceptée le : 04 Juillet 2013

Email de l'auteur correspondant :

khkassmi@yahoo.fr

---



---

# Conception, réalisation et caractérisation d'un système photovoltaïque menu des commandes de contrôle et d'acquisition numériques

Mohammed Faysal Yaden, Rajae Gaamouche, Kamal Hirech, Mustapha Melhaoui, El Hadi Baghaz, Khalil Kassmi\*

*\*Université Mohamed Premier, Faculté des Sciences, dépt de Physique, laboratoire LETAS, Oujda, Maroc.*

---

## Résumé

Dans ce papier, nous présentons les résultats concernant la conception, la réalisation et la caractérisation d'un système photovoltaïque (PV), de moyenne puissance (100 W), muni d'une commande MPPT, d'un régulateur charge/décharge des batteries, d'un système de poursuite de soleil et d'un système d'acquisition et de supervision, à base d'un microcontrôleur. L'expérimentation de chaque bloc montre que : (1) la commande MPPT numérique converge instantanément le point de fonctionnement des panneaux PV autour du point de puissance maximale, indépendamment aux brusques variations de l'éclairement et de la charge. (2) la régulation de la charge/décharge des batteries s'effectue suivant un algorithme incluant les spécificités de l'installation PV, (3) la nécessité d'utiliser un suiveur du soleil pour augmenter la puissance fournie par les panneaux PV. L'ensemble des résultats obtenus montre la fiabilisation d'un système PV complet et un fonctionnement exploitant le maximum de l'énergie solaire.

*Mots clés:* Energie Photovoltaïques; Système de control et de supervision numériques; commande MPPT; charge/décharge des batteries solaires; suiveur du soleil; pertes d'énergie; optimisation de l'énergie photovoltaïque.

## Abstract

In this paper, we present the results concerning the design, the realization and the characterization of a photovoltaic system (PV), medium power (100 W), equipped with a MPPT control, a controller battery, a system for tracking the sun and a system for the acquisition and supervision, based on a microcontroller. The experiment of each block, show that: (1) The digital MPPT control convergence instantly operating point of the PV panels around the maximum power point, independently of rapid changes in the illumination and the load, (2) Regulating the charging and discharging of batteries is carried using an algorithm including the specificities of the PV system, (3) The need for a sun tracker to increase the power supplied by the PV panels. All the results show the reliability of a complete PV system and an operation exploiting the maximum of solar energy.

*Keywords:* Photovoltaic Energy; digital control and supervision system; MPPT commands; charge / discharge of the solar batteries; the follower of the sun; the energy losses; optimization of the photovoltaic energy.

## 1. Introduction

La révolution des énergies renouvelables est avancée comme un dénouement à tous nos problèmes de production d'énergie électrique, notamment l'énergie photovoltaïque (PV), basée sur la conversion du rayonnement solaire en électricité à partir des cellules PV [1]. Actuellement, beaucoup de recherche sont effectuées sur les cellules (ou panneaux) et les systèmes PV qui exploitent cette énergie [2-4]. Concernant les systèmes PV, les problèmes qui se posent sont l'optimisation de la puissance fournie par les panneaux PV, sa transfert vers la charge (Batteries,...) et le bon control de la

charge/décharge des batteries et le suivi du soleil par les panneaux PV [2-4]. En plus, ces blocs de régulation et de control proposés ne sont pas fiables et induisent : des pertes de puissances fournie par les panneaux PV [2-3], divergence du système PV [2-3], mauvais contrôles de la charge/décharge des batteries [5] et de la captation de l'éclairement [6,7].

Dans ce cadre, nous menons des recherches sur les systèmes PV et particulièrement sur les blocs de contrôle et de régulation [8]. L'objectif essentiel est d'implémenter plusieurs systèmes intégrés dans le même boîtier :

- système d'acquisition et de supervision qui permet la capture des différentes grandeurs électriques du système (courants, tensions, puissances,

rendements,...), la supervision et le suivi du fonctionnement sur l'écran d'un ordinateur.

- commande MPPT numérique dont l'algorithme proposé tient compte de la divergence du système suites aux changements brusques de l'éclairement ou de la charge.
- régulation charge/décharge des batteries assurant la charge optimale et le bon control de l'état des batteries.
- poursuite du soleil suivant plusieurs techniques pour que les panneaux PV reçoivent le maximum d'énergie solaire à chaque instant de la journée.

Dans ce papier, nous présentons la description du système conçu et les premiers résultats obtenus, simulés et expérimentaux, des différents blocs du système.

## 2. Schéma synoptique du système

Le schéma synoptique du système global conçu au cours de ce travail est représenté sur la figure 1. Il comprend quatre principaux blocs :

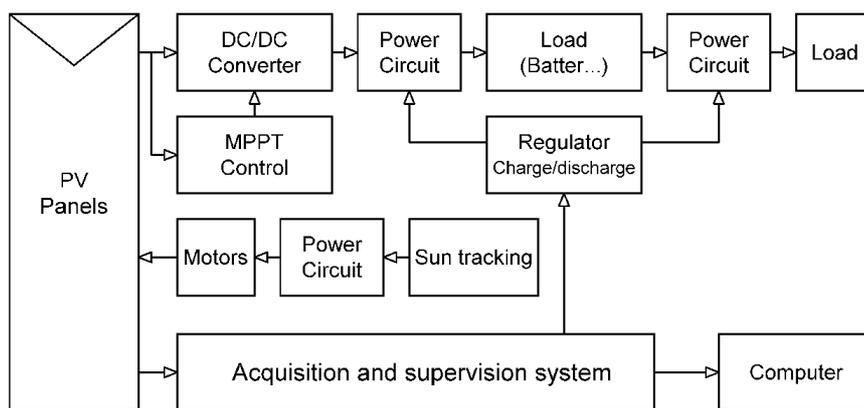


Fig.1 : Schéma synoptique du système photovoltaïque.

## 3. Système d'acquisition et de supervision

La supervision des différentes taches des blocs du système PV et l'acquisition des différentes grandeurs électriques s'effectuent avec des capteurs de courant et de tension, un microcontrôleur pour le traitement et une liaison série pour la communication avec l'ordinateur (Figure 2). Les étapes de réalisation des différentes fonctions sont:

- L'acquisition de la tension et du courant à l'entrée et à la sortie du convertisseur DC/DC ( $V_{pv}, I_{pv}, V_s, I_s$ ) par les entrées analogiques du microcontrôleur.

- Système d'acquisition et de supervision qui a pour rôle de communiquer avec les différents blocs du système et de transférer les différentes grandeurs électriques sur un ordinateur,
- Commande MPPT numérique qui permet de converger instantanément le point de fonctionnement des panneaux PV vers le point de puissance maximale (PPM) [2,3],
- Système de régulation charge/décharge des batteries. Il a pour rôle la gestion du processus de charge/décharge et le control de l'état des batteries.
- Suiveur du soleil qui a pour rôle d'exposer, suivant des algorithmes et techniques fixés par le système de supervision, les panneaux PV au maximum d'intention de l'irradiation à chaque instant de la journée.

- La conversion des valeurs numériques en chaînes de caractères codées en ASCII.
- L'envoi des chaînes de caractères stockés, caractère par caractère séparé par des indicateurs.
- La supervision et le traitement des données sur ordinateur (Figure 3). Ceci nécessite l'utilisation d'une application informatique capable de lire les informations présent sur le port série RS232 de l'ordinateur et les traiter par la suite. L'interface réalisée pour cet objectif comprend deux modules, le premier permet une visualisation numérique et graphique des données, et le deuxième permet l'archivage de données pour des traitements ultérieurs.

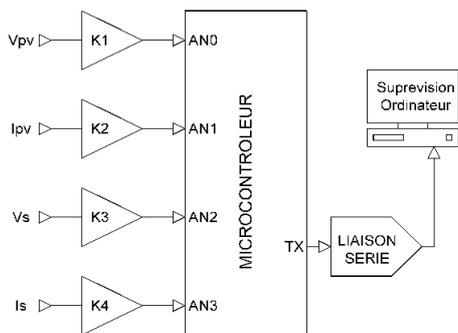


Fig. 2: Schéma synoptique du système d'acquisition.

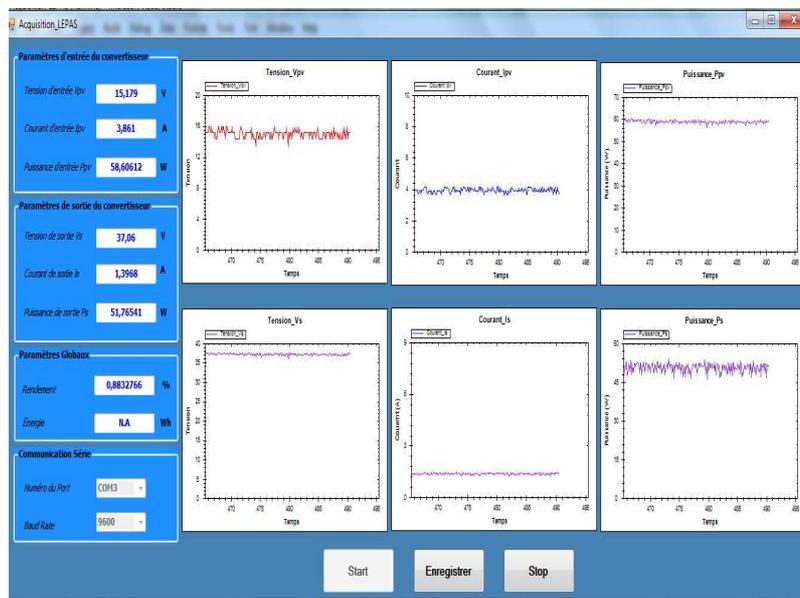


Fig. 3: Interface informatique du système de supervision.

#### 4. Conception des blocs de régulation du système PV

##### 4.1. Commande MPPT numérique

Le système PV menu de la commande MPPT est représenté sur la figure 4. Ce bloc permet de commander l'interrupteur du convertisseur DC-DC par génération d'un signal PWM dont le rapport cyclique est fixé par le microcontrôleur en fonction de l'éclairement et de la charge [2-4]. Ce bloc est formé par :

- Un diviseur de tension (R1, R2) permettant l'acquisition de la tension du générateur PV.
- Une résistance Shunt (Rsh) permettant de prélever l'image du courant d'entrée du générateur PV, amplifié par un amplificateur inverseur.
- Un microcontrôleur qui a pour rôle la génération d'un signal PWM, amplifié par un amplificateur.
- Un Driver qui améliore la forme du signal fourni par l'amplificateur afin d'avoir un signal PWM pratiquement rectangulaire.

La régulation de la puissance fournie par les panneaux PV est effectuée par l'algorithme de la figure 5. Après le calcul de la dérivée de la puissance qui détermine son signe, on exécute la structure conditionnelle suivante :

- Si la dérivée de puissance est positive, on teste la valeur de la variable alpha (l'état précédent du rapport cyclique), incrémentation du rapport cyclique si alpha=1, et décrémentation de ce dernier si alpha=0.

- Si la dérivée de puissance est négative, on teste la valeur de la variable H (l'état de la temporisation), basculement de la variable alpha si H=1 puis l'initialisation de la variable H à la valeur 0. Si non, aucune opération n'est exécutée (NOP). Après, on teste la valeur de la variable alpha et le programme effectue une incrémentation du rapport cyclique si alpha = 1, sinon il effectue une décrémentation du rapport cyclique.

Sur la figure 6 nous avons représenté la caractéristique puissance-tension d'un générateur PV et les résultats typiques de simulations dans ISIS du signal PWM, généré par le PIC, lorsque le point de fonctionnement des générateurs PV converge vers le PPM dans les situations suivantes :

- la puissance des générateurs PV et le rapport cyclique  $\alpha$  du signal PWM augmentent ( $dP_{pv}/d\alpha > 0$ ) (évolution de A et B),
- la puissance des panneaux PV augmente et le rapport cyclique  $\alpha$  du signal PWM diminue ( $dP_{pv}/d\alpha < 0$ ) (évolution C et D).

Ces résultats montrent bien la bonne évolution et la convergence du système PV muni de la commande MPPT (Figure 4) vers le PPM suivant l'algorithme de la figure 5. Dans le paragraphe 5, nous analysons la validation de l'ensemble de ces résultats à partir du système PV conçu et réalisé au cours de ce travail.

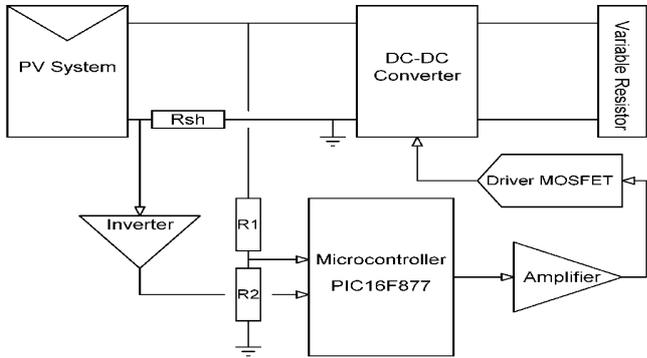


Fig. 4 : Schéma synoptique de la commande MPPT numérique.

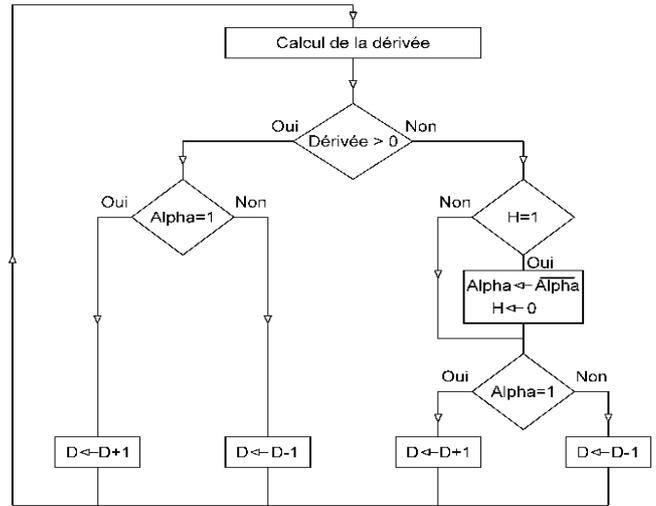


Fig. 5 : Algorithme MPPT.

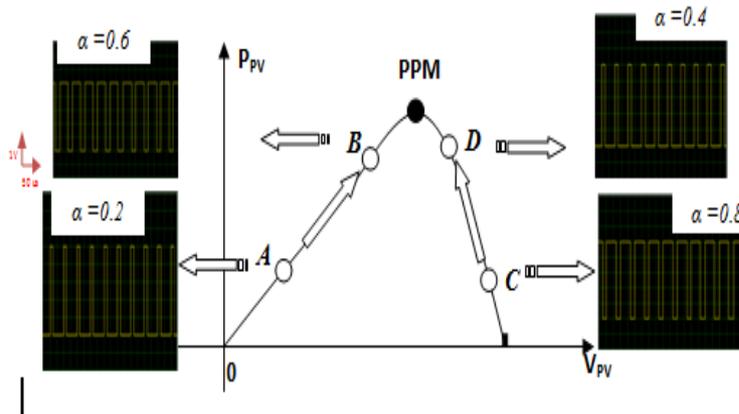


Fig. 6 : Comportement du signal PWM lors de la convergence du point de fonctionnement des panneaux PV (o) vers le PPM (\*).

4.2. Système de régulation de la charge/décharge des batteries

Le prototype de notre réalisation (Figure 1) effectue la régulation charge/décharge des batteries en présence de la commande MPPT. Afin, d'analyser uniquement les techniques de régulation [9-10], dans ce papier, nous étudions le processus charge/décharge lorsque les panneaux PV sont connectés directement aux batteries (Figure 7) suivant deux phases de control (Figure 8) [11] : courant constant (CC) et tension constante (CV). Les différents blocs du système de régulation sont (Figure 7) :

- Bloc de commande et d'acquisition qui est constitué principalement d'un microcontrôleur pour traiter les données et commander l'état de charge,

- Blocs de puissance : c'est l'intermédiaire entre le générateur PV et la batterie, la batterie et la charge. Ils sont commandés par le bloc de commande.

Le processus de contrôle de la charge/décharge est effectué suivant l'algorithme présenté sur la figure 9. Il consiste à faire des acquisitions des échantillons (courant-tension), et calculer leurs valeurs moyennes. Ces valeurs, affichées sur un afficheur LCD ou ordinateur, sont comparées à des consignes (courant-tension) qui conditionnent la charge et la décharge des batteries en agissant sur les blocs de puissances. Pour connaître l'état de charge de la batterie, nous avons utilisé la technique de tension à circuit ouvert ( $V_{oc}$ ), qui consiste à laisser la batterie au repos jusqu'à la stabilisation de la tension  $V_{bat}$ , et faire une comparaison avec des tableaux indiquant l'état de la charge (ou décharge) en fonction de  $V_{oc}$  (Table 1) [12]. L'état de charge SOC et la profondeur

de décharge (DOD) sont déterminés à partir de la valeur de  $V_{oc}$  par la relation [12] :

$$V_{oc} = n \cdot (2.116 - DOD \cdot (2.116 - 1.95)) \quad (1)$$

$$SOC = 1 - DOD \quad (2)$$

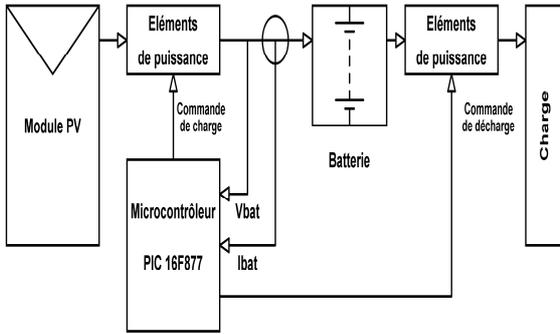


Fig.7 : Schéma synoptique du système de régulation

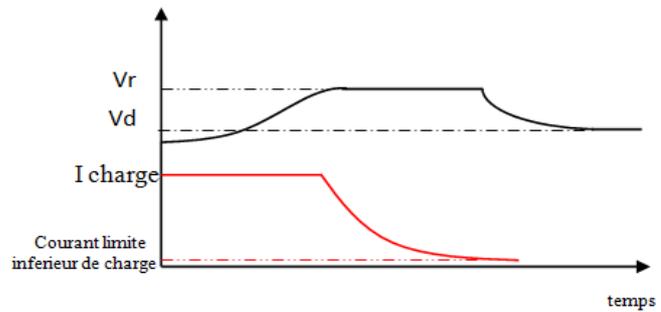


Fig.8 : Contrôle charge/décharge à deux phase (CC/CV).

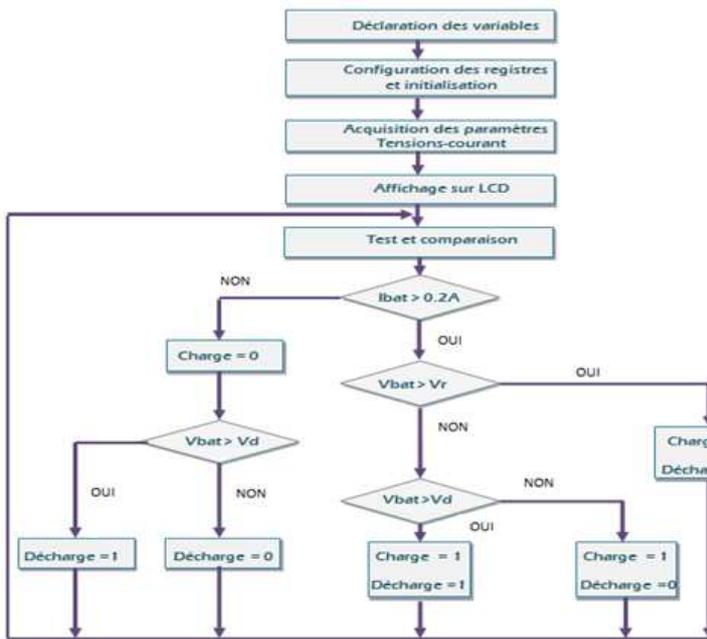


Fig .9: Algorithme de régulation de la charge/décharge des batteries.

Le relevé typique de la tension ( $V_{bat}$ ) et du courant ( $I_{bat}$ ) de la batterie au cours d'un cycle de charge/décharge est représenté sur la figure 10. Il apparaît un fonctionnement dépendant du temps ( $t$ ):

- Lorsque  $t_0 < t < t_2$  : la tension de la batterie est comprise entre  $V_d=11.8$  et  $V_r =14.4$  V. La simulation dans ISIS (Figure 11) montre que, lorsque  $t < t_1$ , le PIC génère deux signaux : un signal à l'état bas (0) pour

avec :  $n$ : nombre de cellules dans la batterie (dans notre cas 6).

Afin de s'assurer du bon fonctionnement du processus de la charge/décharge des batteries, nous avons simulé le fonctionnement du système de la figure 7, en tenant de l'algorithme de la figure 8, dans le logiciel PROTUES ISIS [13].

Table 1

Pourcentage de charge (SOC) et décharge (DOD), niveau de la tension ( $V_{oc}$ ) des batteries (2V ,12V, 24V) [12].

pourcentage de charge SOC	DOD %	Tension 2V (n=1)	Tension 12 V (n=6)	Tension 24 V (n=12)
100	0	2.116	12,70	25,40
50	50	2.033	12,20	24,40
0	100	1.950	11,7	23,4

assurer la charge des batteries, et un autre à l'état haut (1) pour bloquer la décharge lorsque  $V_{bat}$  avoisine  $V_d$  ou à l'état '0' pour autoriser la décharge lorsque  $V_{bat}$  est supérieure à  $V_d$  (Figure 11.A). Cette phase est caractérisée par l'augmentation de la tension  $V_{bat}$ , et la batterie se charge avec le maximum de courant fourni (figure 10) jusqu'au  $V_{bat}=V_r$ . A la fin du processus ( $t=t_1$ ), la batterie est chargée à plus de 80%. Pour améliorer la charge de la batterie et protéger la

batterie contre la surcharge lorsque  $t > t_1$  (figure 10), la tension de la batterie  $V_{bat}$  est régulé autour de  $V_r$  par des courants pulsés (figure 11.B) durant des intervalles de temps croissants. Ceci montre que le courant de charge global diminue [9] et la charge de la batterie est supérieure à 90% (Fin de la charge).

– Lorsque  $t_2 < t < t_3$ : cette phase correspond à la décharge de la batterie ( $V_d < V_{bat} \leq V_r$ ) et le PIC génère un signal pour autoriser la décharge  $V_{bat} > V_d$  (figure 11.B). La tension  $V_{bat}$  diminue progressivement jusqu'au  $V_{bat} = V_d$  qui correspond à un état de décharge de 80%.

- Lorsque  $t_3 < t < t_4$ : la tension  $V_{bat}$  est légèrement inférieure à  $V_d$ , le PIC génère un signal pour bloquer la décharge et protéger la batterie contre la décharge profonde, et un autre signal pour charger la batterie (figure 11.C).
- Lorsque  $t > t_4$ : un autre cycle de la charge/décharge se reproduit.

L'ensemble des résultats obtenus dans ISIS montre le bon fonctionnement du régulateur charge/décharge et en particulier l'algorithme de la figure 9.

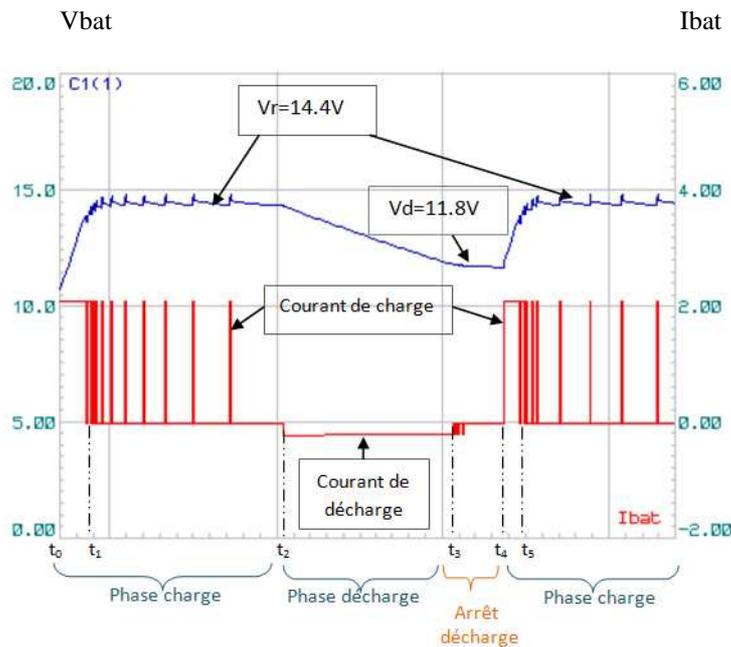


Fig .10: Tension ( $V_{bat}$ ) et courant ( $I_{bat}$ ) de charge/décharge des batteries.

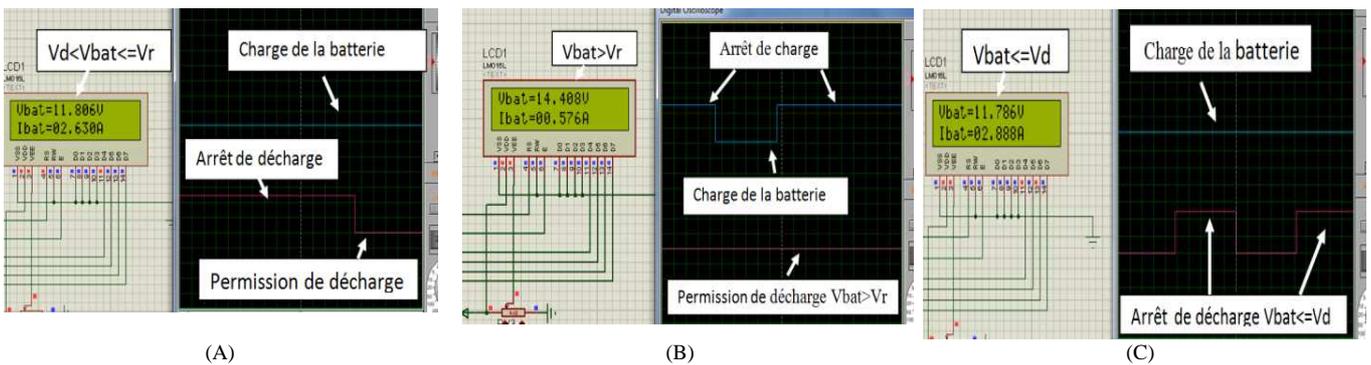


Fig .11: signaux générés par le Pic :  
 A)  $V_d < V_{bat} \leq V_r$ , B)  $V_{bat} > V_r$ , C)  $V_{bat} \leq V_d$ .

### 4.3. Système de poursuite de soleil

Afin de proposer un suiveur du soleil performant et capter le maximum de l'intensité de l'irradiation [14,15] durant toute l'année, nous avons conçu un système qui positionne les panneaux PV en fonction de la position du soleil par rapport à notre installation et l'utilisation des capteurs (LDR). Le schéma synoptique du système complet, tenant compte des deux techniques précédentes, est représenté sur la figure 12. Ce système est formé par :

- Bloc de contrôle, traitement des signaux et acquisition. Cette tâche est réalisée par un microcontrôleur,
- Bloc de positionnement suivant la localisation du soleil. Il a pour rôle de positionner les panneaux perpendiculairement au soleil suivant les coordonnées et angles calculés par le microcontrôleur le long de la journée. L'orientation du module PV est assurée par la programmation de la trajectoire du soleil à partir du Microcontrôleur.
- Bloc de positionnement suivant quatre capteurs LDR (Light Dependent Resistor). Cette technique effectue la poursuite indépendamment du positionnement du système PV. Le principe de cette technique repose sur l'exploitation du déséquilibre créé entre les quatre photorésistances LDR. En fonction de la valeur du déséquilibre le sens du moteur du vérin est actionné. La gestion du sens de rotation des moteurs est la même que la technique précédente.

La poursuite du soleil, tenant des deux techniques, s'effectue suivant l'organigramme de la figure 13. Les résultats de simulation typiques obtenus à partir du logiciel ISIS sont représentés sur la figure 14. Il apparaît que le microcontrôleur fournit quatre signaux (deux pour actionner les deux moteurs M1 et M2, deux autres fixent le sens de rotation (sens1 ou sens2)) pour déplacer les panneaux soit vers les positions et angles calculés (Technique 1), soit suivant l'intensité de l'éclairement capté (Technique 2). Dans le cas de la deuxième technique, les photorésistances envoient des signaux électriques (U1, U2, U3 et U4) aux ports analogiques du PIC (RA0,RA1,RA2 et RA3) en fonction des l'intensité de l'éclairement reçu. Le PIC lit, compare et envoie un signal, à travers les pins du PORT B, au circuit de puissance :

- pour se déplacer suivant le sens1 ou le sens2,
- pour actionner les moteurs (M1 et M2) vers la position optimale du panneau PV.

Les simulations typiques de la figure 14 montrent les situations :

- cas A : actionner le moteur M1 vers l'avant,
- cas B : actionner le moteur M2 vers l'arrière,
- cas C : arrêt des moteurs M1 et M2 lorsque l'orientation du panneau est optimale ou pendant la nuit.

L'ensemble de ces résultats, et notamment des résultats similaires obtenus à partir de la technique 1, montre le bon fonctionnement des deux techniques et en particulier la communication du microcontrôleur avec le positionnement optimal des panneaux PV.

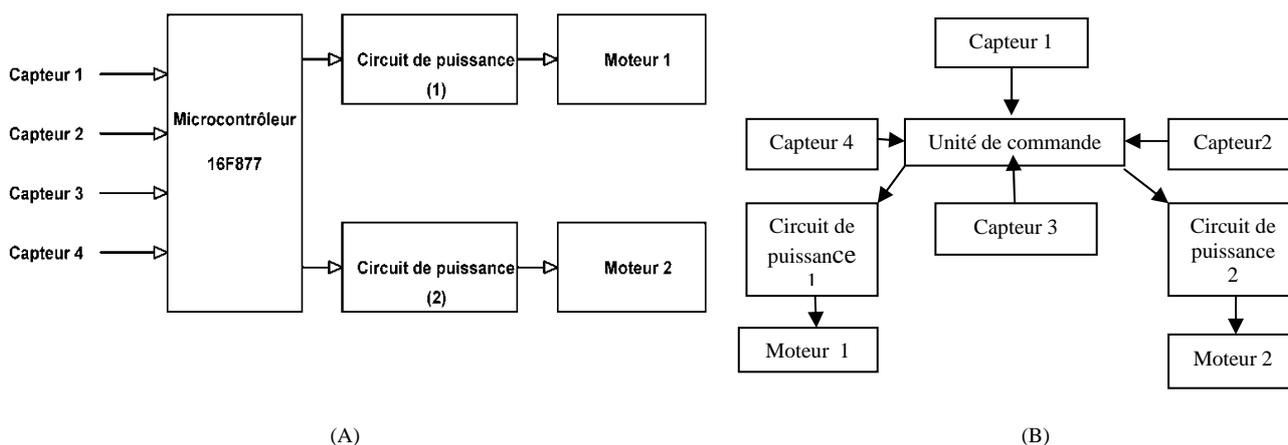


Fig.12: Synoptique du suiveur du soleil.  
 A) programmation des coordonnées du soleil,  
 B) utilisation des capteurs LDR.

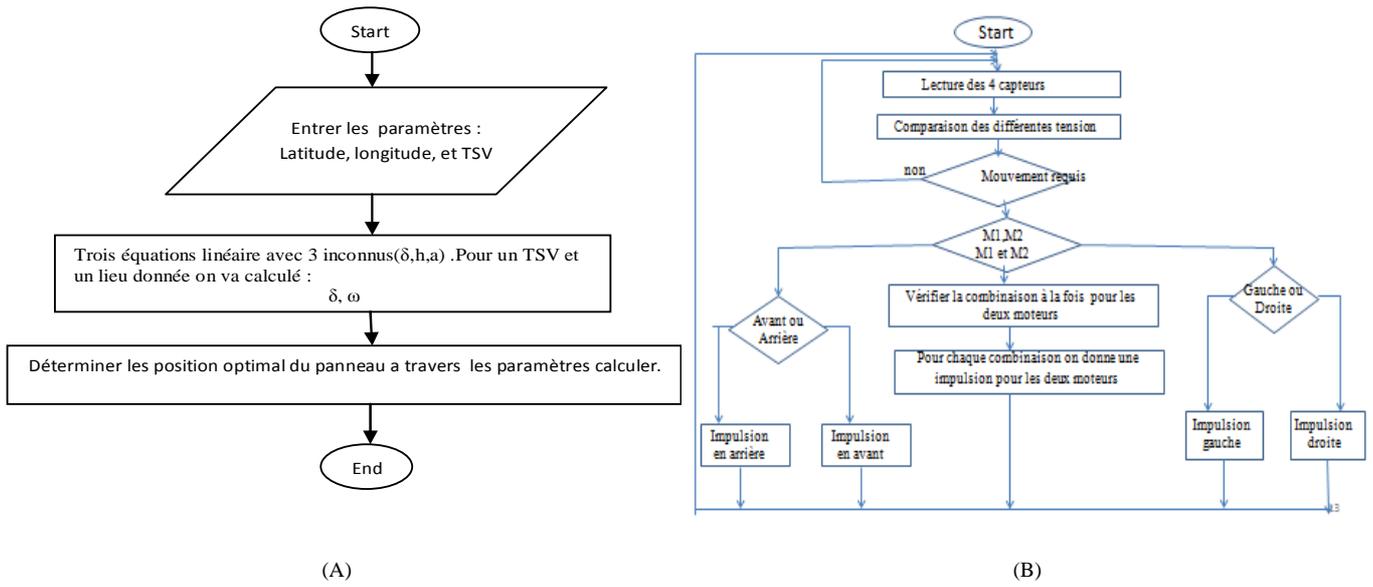


Fig.13 : Algorithme du suiveur du soleil.  
A) positionnement du soleil, B) capteurs LDR.

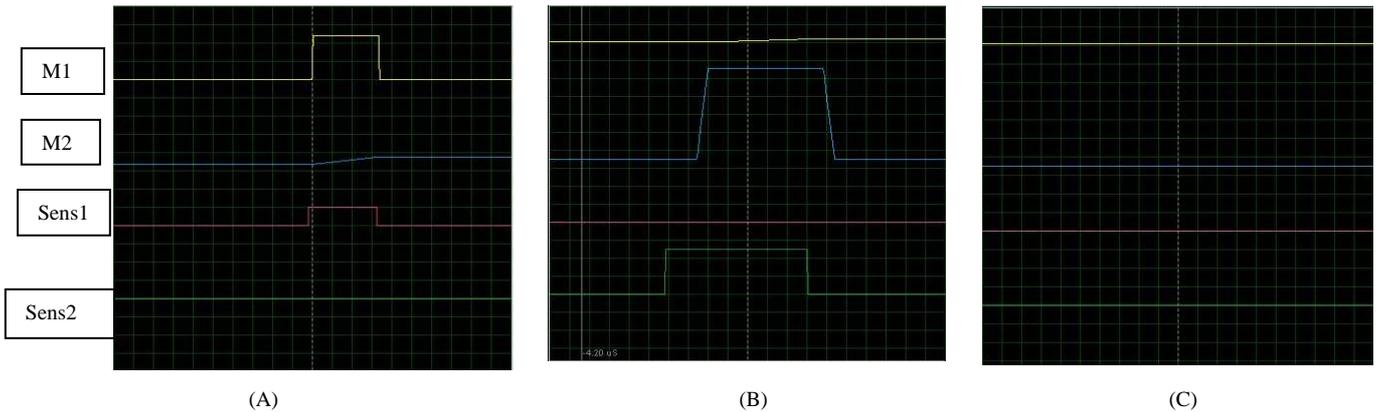


Fig.14 : Signaux typiques générés par le pic dans ISIS dans les cas :  
A)  $U1$  et  $U3 > U2$  et  $U3$ , B)  $U1$  et  $U3 < U2$  et  $U4$ , C)  $U1$  et  $U2 = U2$  et  $U4$

### 5. Résultats expérimentaux

Afin de valider le fonctionnement, obtenu dans le logiciel ISIS, des différents blocs du système PV de la figure 1, nous avons réalisé (figure 15) les sous systèmes Figures 1. La caractérisation de ces blocs pendant des journées entières, nous ont permis de déduire (Figures 16 à 20) :

La commande MPPT (Figure 15-A) régle le point de fonctionnement des panneaux PV, indépendamment des conditions météorologiques et de la charge, autour du

PPM. Les résultats obtenus sont en très bon accord à ceux obtenus dans le simulateur Ppsice [2,3]. Nous avons expérimenté le sous système en fonction du nombre de panneaux PV, la nature du convertisseur DC/DC (Boost ou Buck) [2,3], la valeur de la charge et l'intensité de l'éclairément. Dans chaque cas, nous avons déduit des résultats similaires que ceux de la figure 16 et une parfaite stabilisation du système PV. Aucune divergence n'a été observée. L'ensemble de ces résultats montre le bon fonctionnement et la fiabilisation du sous système conçu et réalisé au cours de ce travail.

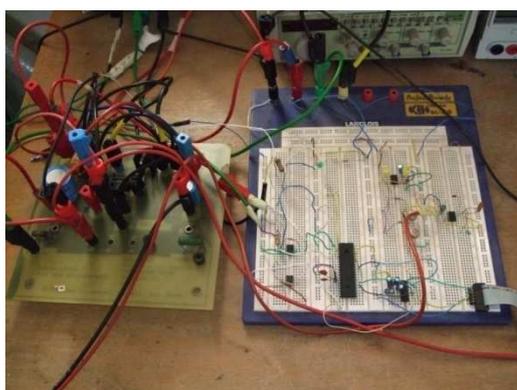
L'expérimentation typique du régulateur de charge-décharge (Figure 15-B) pendant des journées entières, où le courant de charge ne dépasse pas 3 A, nous a permis de

relever la tension et le courant de charge (Figure 17) ainsi que l'état de charge de la batterie (Figure 18). Il apparaît qu'au début de la charge (temps inférieur 900 mn), la tension  $V_{bat}$  augmente et le courant de charge est pratiquement constant ( $I_{bat} = 3 \text{ A}$ ). Dès que la tension  $V_{bat}$  atteint  $V_r = 14.4 \text{ V}$ , la tension  $V_{bat}$  est constante et le courant de charge diminue progressivement. Les fluctuations du courant et de la tension, ou les diminutions du courant durant l'intervalle de temps 600 mn et 900 mn, sont dues aux variations brusques de l'éclairage durant la journée. A partir de la mesure de la tension  $V_{bat} = V_{oc}$  au repos, nous avons estimé le taux de charge de la batterie à partir de la Table 1. Comme le montre la figure 18, lorsque qu'on atteint la tension  $V_r = 14.4 \text{ V}$ , la batterie est chargée à 80%, et après l'application des impulsions de courant la charge atteint 92 %. L'ensemble de ces résultats montre le bon fonctionnement de la phase de la charge et plus particulièrement le control par le Microcontrôleur.

Il est à noter qu'au cours de ce processus de charge, les panneaux sont connectés directement à la batterie (Figure 15). Le relevé de la puissance des panneaux ainsi que les pertes de puissance des panneaux (Figure 19), par rapport à leurs PPM, montre des pertes qui peuvent atteindre 30 % dans la première phase de charge (charge à

courant constant). Afin d'exploiter le maximum de puissance des panneaux et réduire le temps de charge des batteries, nous avons associé au système de charge/décharge la régulation de la puissance par la commande MPPT. Les résultats obtenus seront présentés dans d'autres travaux.

Pour mettre en évidence l'efficacité de notre système de poursuite du soleil et de l'influence, en particulier, de la variation de l'élévation sur le rendement du panneau PV, nous avons expérimenté dans un premier temps un suiveur du soleil à un seul axe avec un convertisseur DC/DC (Boost) [2,3]. Les résultats typiques obtenus durant le mois de Septembre vers 12 h, sont représentés sur la figure 20. Il apparaît que la tension du panneaux dépend très peu de l'inclinaison, par contre, le courant et la puissance fournis par le panneaux PV sont maximaux pour un angle de l'ordre de  $23^\circ$ . Actuellement, dans les installations PV, les panneaux sont positionnés à  $42^\circ$ . Les résultats expérimentaux montrent qu'à cette position ( $42^\circ$ ) les pertes de puissance peuvent atteindre 30 %, en conséquence, le développement d'un suiveur est indispensable pour exploiter le maximum de puissance fournie par les panneaux. Pour ce faire, et pour la validation des résultats de simulations par les deux techniques, des travaux sont en cours.



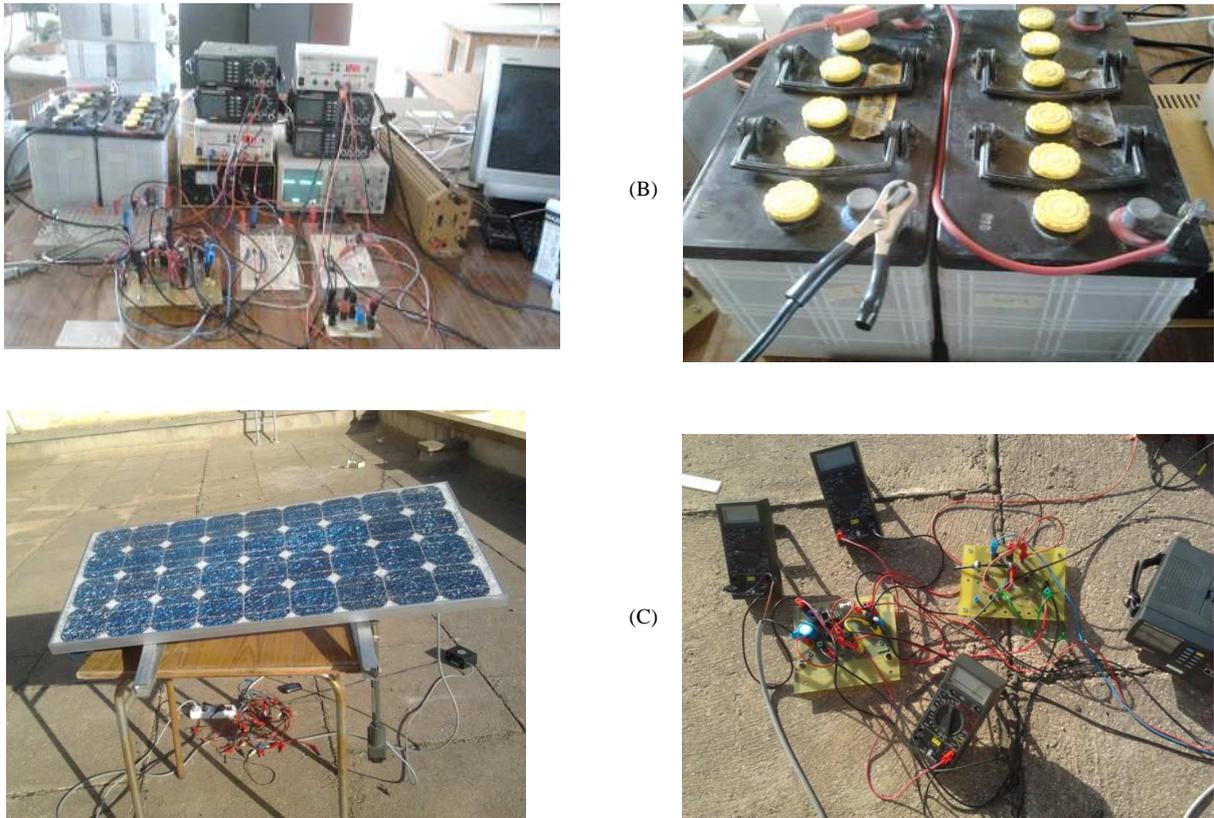


Figure 15: Procédure expérimentale :  
 A) commande MPPT, B) charge/décharge, C) suiveur du soleil.

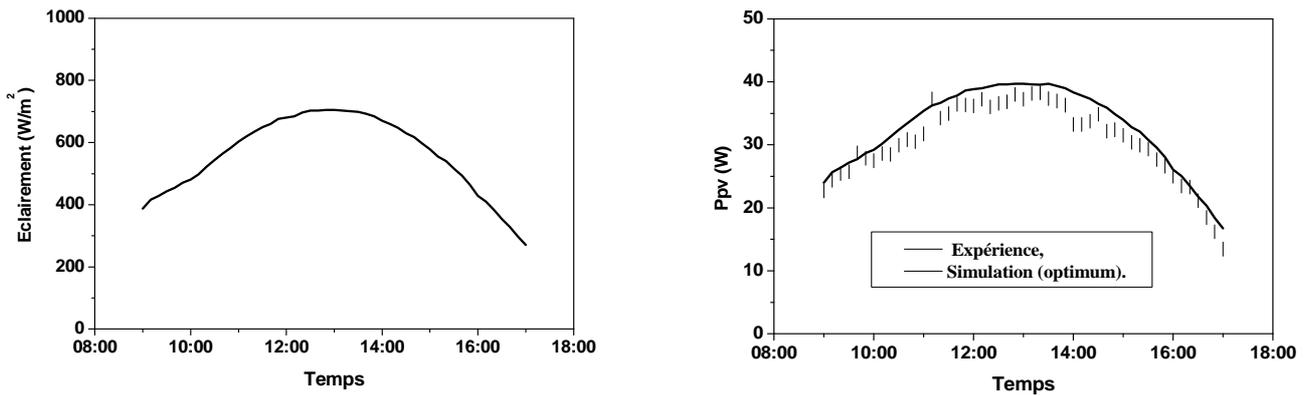


Fig. 16 : Eclairage et puissance fournie par un panneau PV (expérimentale et simulée(Optimum)) durant une journée (Mois de Septembre).

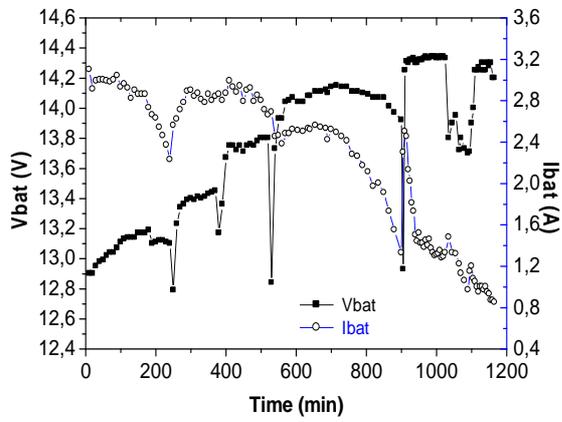


Fig. 17: Courant et tension de charge d'une batterie de 12V et capacité de 115 Ah.

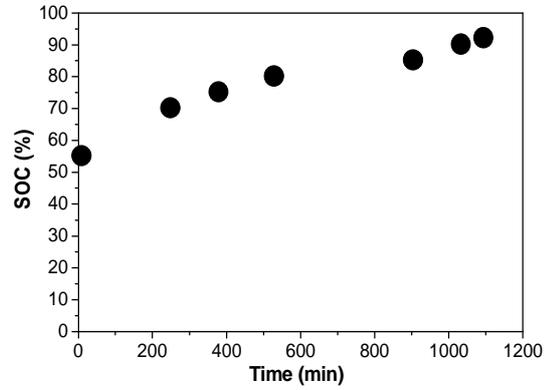


Fig. 18: Taux de charge de la batterie

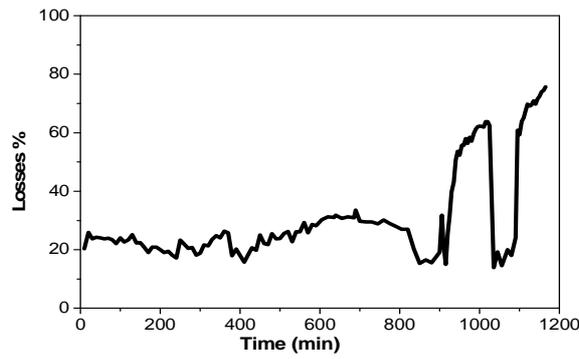


Fig. 19: Pertes de la puissance du panneau PV au cours de la charge de la batterie

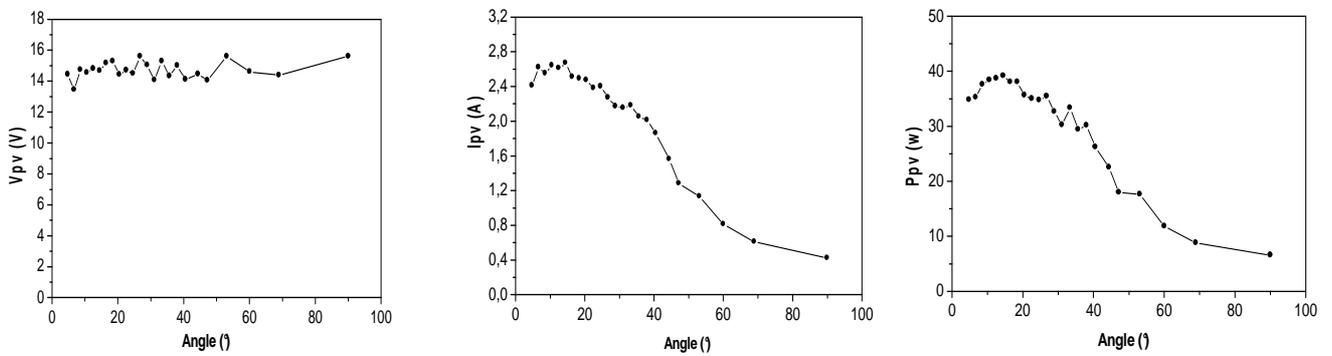


Figure 20: Grandeurs électriques optimales (tension, courant et puissance) en fonction de l'inclinaison des panneaux PV.  $I_e = 900 \text{ W/m}^2$ ,  $T=28 \text{ }^\circ\text{C}$ .

## 6. Conclusion

Dans ce papier, nous avons étudié la conception, la réalisation et le fonctionnement d'un système photovoltaïque effectuant les fonctions : acquisition et supervision, commande MPPT, régulation charge/décharge des batteries et poursuite du soleil. Les résultats obtenus, simulés et expérimentaux, nous ont permis de conclure :

- le bon fonctionnement de la commande MPPT indépendamment de la variation de l'éclairement de la charge.
- le régulateur charge/décharge effectue un fonctionnement assurant le control du processus charge/décharge et de l'état des batteries.
- la puissance fournie par les panneaux PV dépend fortement de leurs inclinaisons par rapport à l'horizontal. En comparant avec l'inclinaison actuelle des panneaux (42°) nous avons déduit des pertes qui peuvent atteindre 30 % en absence du système de poursuite du soleil.

Ces travaux seront poursuivis, en analysant le fonctionnement approfondi du suiveur du soleil et celui de l'ensemble des blocs (MPPT, régulateur et suiveur) intégrés dans un seul système.

## Remerciements

Ce travail rentre dans le cadre :

- Agence de développement Belge au Maroc CTB Projet MIP 010/012.
- Programme des Nations Unis au Développement PNUD Art Gold Maroc, 2008 2 ENV OO.
- Coopération Maroc-Belge « Commission Universitaire Institutionnelle », CUI-Oujda 2008-2012 (Activité Eau et Environnement / sous-activité Energies Renouvelables).
- Coopération Maroc-Tunisienne Recherche Scientifique et Technologie, projet (11/MT/38).

## Références

- [1] P. Stéphane, A. Corinne, E. Bruno « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques ».
- [2] M.F. Yaden, M. El Ouariachi, T. Mrabti, Ka. Kassmi, EL. Chadli, and K. Kassmi, « Design and Realization of a Photovoltaic System Equipped with a Digital MPPT Control » The 2nd International Conference on Multimedia Computing and Systems ICMCS'11 April 07-09, 2011 OUARZAZATE, MOROCCO, IEEE Catalog Number: CFP731-3-CDR, ISBN: 978-1-61284-731-3-(2011)
- [3] Mrabti, T., El Ouariachi, M., Malek, R., Kassmi, Ka., Bagui, F., Olivie, F., Kassmi, K. "Design, realization and optimization of a photovoltaic system equipped with analog maximum power point tracking (MPPT) command and detection circuit of the dysfunction and convergence the system (CDCS)", International Journal of Physical Sciences 6 (35), pp. 7865-7888, 2011.
- [4] F. Nicola, G. Petrone, " Optimization of Perturb and Observe Maximum Power Point Tracking Method ", IEEE. Vol.20, N°4, pp.963-973, 2005.» s.d.
- [5] Fathia KAROUI, thèse « Optimisation de stratégies de gestion des batteries au plomb utilisées dans les systèmes photovoltaïques » INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE GRENOBLE Soutenue le 26 octobre 2007.
- [6] Hossein Mousazadeh , Alireza Keyhani , Arzhang Javadi, Hossein Mobli, Karen Abrinia, Ahmad Sharifi 'A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output' Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 1800–1818.
- [7] Laurentiu ALBOTEANU, Gheorghe MANOLEA, Florin RAVIGAN ' POSITIONING SYSTEMS FOR SOLAR PANELS PLACED IN ISOLATED AREAS ' Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering series, No. 30, 2006.
- [8] M. El Ouariachi, T. Mrabti, M. F. Yaden, Ka. Kassmi, El. Chadli, F. Bagui, K. Kassmi, Design and realization of a photovoltaic system equipped with the analogical and digital MPPT command for better exploitation of solar energy, J. Mater. Environ.Sci, 2 (S1) (2011) 538-543, ISSN: 2028-2508
- [9] <http://www.nicd.net/accusphp/theorie/plomb/charge.php>
- [10] <http://www.cipesp.com>
- [11] Emmanuel Patrick FEUDJIO VOULO « Production de l'énergie photovoltaïque à la société Nova Diffusion » Université de NGAOUNDERE - Maitrise en Electronique Electrotechnique Automatique 2008
- [12] James Larminie Oxford Brookes University, Oxford, UK . John Lowry Acenti Designs Ltd., UK "Electric Vehicle Technology Explained" John Wiley & sons Ltd (pages: 33, 52)
- [13] <http://www.labcenter.com/index.cfm>
- [14] Laurentiu ALBOTEANU, Gheorghe MANOLEA, Florin RAVIGAN ' POSITIONING SYSTEMS FOR SOLAR PANELS PLACED IN ISOLATED AREAS ' Annals of the University of Craiova, Electrical Engineering series, No.30, 2006.
- [15] Hossein Mousazadeh , Alireza Keyhani , Arzhang Javadi , Hossein Mobli , Karen Abrinia , Ahmad Sharifi "A review of principle and sun-tracking methods for maximizing solar systems output " Renewable and Sustainable Energy Reviews 13 (2009) 1800–1818.