

Commande automatique d'un système de poursuite solaire à deux axes à base d'un microcontrôleur PIC16F84A

Toufik Bendib^{1*}, Belkacem Barkat², Fayçal Djeflal¹,
Nadir Hamia³ et Abdelmalek Nidhal³

¹ Laboratoire d'Electronique Avancée, 'LEA', Département d'Electronique,
Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Hadj Lakhdar,
1, Rue Chahid Bouhklouf M^d El-Hadi, Batna, Algérie

² Laboratoire de Recherche en Productique, 'L.R.P'
Laboratoire des Systèmes Energétique Industriels, 'LESEI'
Département de mécanique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Hadj Lakhdar
1, Rue Chahid Bouhklouf M^d El-Hadi, Batna, Algérie

³ Département d'Electronique, Faculté des Sciences de l'Ingénieur, Université Hadj Lakhdar,
1, Rue Chahid Bouhklouf M^d El-Hadi, Batna, Algérie

(reçu le 30 Novembre 2007 – accepté le 25 Novembre 2008)

Résumé - Dans cet article, on s'intéresse au développement d'une commande à base de microcontrôleur PIC 16F84A pour le contrôle du système de poursuite solaire à deux axes dit 'AureSolar'. En premier lieu, nous présentons la partie mécanique du système où nous donnons les choix mécaniques adoptés pour l'entraînement à faible puissance des deux axes en vue d'une autonomie énergétique du système. Dans la deuxième partie, nous présentons une approche de commande basée sur une méthode de programmation à boucle fermée utilisant un circuit programmable PIC. On utilise également un nouveau capteur optique à coût réduit construit à l'aide de photodiodes placées en parallèle en forme croisée. Enfin, nous donnons les résultats d'expérimentation in-situ en deux modes de fonctionnement: le mode fixe orienté vers le sud avec une inclinaison de 45° et le mode de poursuite suivant l'élévation et l'azimut avec deux mouvements découplés. Les résultats trouvés présentent un gain en terme d'énergie solaire collectée mesurée de l'ordre de 50 %.

Abstract - This article focuses on the development of an order based on PIC microcontroller 16F84A to control the solar system for dual-axis called 'AureSolar'. First, we present the mechanical system where we give the mechanism choice for training in low power of the two axes for a system of energy self-sufficiency. In the second section, we present a command approach based on a program using a closed circuit programmable PIC. It also uses a new optical sensor cost reduced built with photodiodes placed in parallel shaped cross. Finally, we give the results of testing in-situ in two modes: fixed mode oriented south with an inclination of 45 degrees and the mode of pursuit following the elevation and azimuth movements with two decoupled. The results show a gain in terms of solar energy collected measured about 50%.

Mots clés: Commande automatique - Système de poursuite - Energie solaire - PIC - Microcontrôleur.

1. INTRODUCTION

La puissance électrique produite par un système solaire photovoltaïque dépend de l'intensité du flux lumineux selon la position du soleil qui varie le long de la journée.

* bendib05.t@gmail.com _ barkatbel@yahoo.fr _ faycaldzdz@hotmail.com
nadir_hammia@yahoo.fr - amnidhal@hotmail.fr

Afin de collecter le maximum d'énergie, on utilise des dispositifs dits systèmes de poursuite solaire '*sun tracking systems*'. Le système de poursuite solaire doit être ajusté de sorte qu'il soit toujours visé avec précision face au soleil. Les systèmes de poursuite solaire à un seul axe sont moins coûteux et leur commande est facile à mettre en œuvre, par contre leur efficacité est inférieure à celle des systèmes de poursuite solaire à deux axes [1].

Ces derniers nécessitent une commande appropriée des deux mouvements découplés et sont utilisés dans les centrales thermiques à concentration pour le guidage des héliostats [2], ainsi que pour les installations photovoltaïques pour augmenter leur efficacité qui peut atteindre des valeurs de 30 % par rapport aux systèmes fixes [3].

Peu d'études théoriques et expérimentales sont citées dans la littérature, qui étudie divers types de systèmes de poursuite solaire. S. Abdallah et S. Nijmeh, 2002 [4], ont réalisé une étude expérimentale qui montre l'effet de l'utilisation du système de poursuite à deux axes sur l'énergie solaire collectée. Ils ont utilisé une méthode de programmation avec un système de boucle ouverte où un contrôleur logique programmable PLC est utilisé pour contrôler l'orientation du système suivant la position du soleil. Ils ont atteint à un rendement de 41.43 % par rapport au système fixe.

S. Abdallah, A. El-Qadan et V. Hamudeh, 2004 [5], ont conçu un système de poursuite solaire à deux axes. Pour la commande, ils ont utilisé une méthode de programmation à base d'un circuit intégré programmable PIC 16F877. Ils ont constaté que la puissance délivrée par le système à deux axes augmente jusqu'à 37.24 % par rapport au système fixe.

G.C. Bakos, 2005 [6], a présenté une étude comparative de l'énergie solaire collectée entre un système de poursuite à deux axes et celui d'un système fixe où la poursuite solaire a été réalisée en se basant sur la comparaison des valeurs des résistances de deux photo résistances. Dans ce travail, il a été montré que l'énergie solaire collectée par le système à deux axes augmente jusqu'à 46.46 % par rapport au système fixe.

Dans notre étude, nous présentons un système de poursuite solaire à deux axes dit 'AureSolar' conçu par l'équipe mécanique et robotique du Laboratoire de Recherche en Productique (LRP), où la partie mécanique a été minutieusement calculée et vérifiée pour assurer une transmission d'une faible puissance motrice via des mécanismes de réduction appropriés.

Pour contrôler les deux mouvements du système en cohérence avec le mouvement du soleil le long de la journée, nous avons utilisé une commande à boucle fermée utilisant un circuit intégré programmable PIC 16F84A. Pour valider notre commande, une étude expérimentale a été réalisée pour identifier le comportement de notre dispositif mécanique avec ce type de commande et calculer le gain en terme d'énergie collectée par le système par rapport à un système fixe et incliné de 45° et sa comparaison par rapport à ceux cités dans la littérature la plus récente.

2. DESCRIPTION MECANIQUE DU SYSTEME 'AURESOLAR'

Depuis 1996, nous avons travaillé sur la mise en place d'un prototype d'un système de poursuite solaire à deux axes, dont l'étude et la réalisation a été accomplie dans le cadre des Projets de Recherche CNEPRU sous les codes: J-0501-03-96 et J-05101-02-99 [7-9]. Le système dit 'AureSolar' est composé de trois parties essentielles, une

structure porteuse en matériaux légers, très résistante supportant 10 modules solaires de 50 Watts de marque PWX500 de Photowatt (Total Energie), double vitrage, d'une charge totale de 150 kg. Le guidage altazimutal du système est assuré par deux dispositifs mécaniques de réduction découplés.

Le premier mécanisme est un réducteur mécanique pour l'entraînement vertical, comportant deux étages d'engrenage à dentures hélicoïdales combinées avec un mécanisme à vis écrou et bielle à longueur variable. Ce mécanisme possède un rapport de réduction de 1/400 et il est placé en bas du système (Fig. 1 et 2), l'actionneur utilisé est un moteur 12 volts à courant continu.

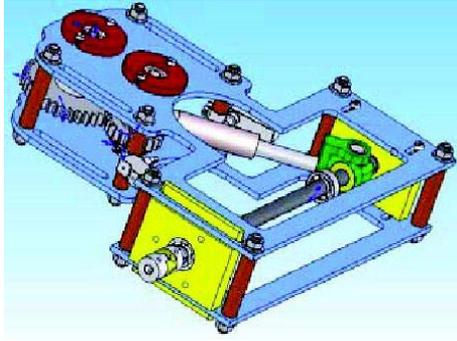


Fig. 1: Mécanisme de réduction du mouvement vertical

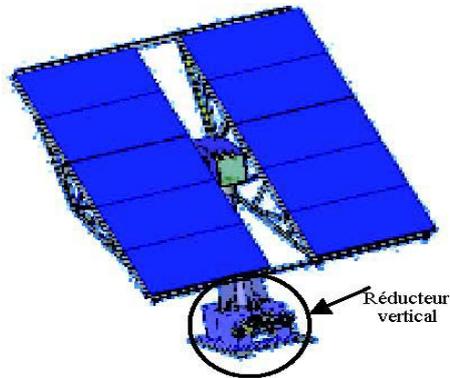


Fig. 2: Structure porteuse - vue de face avant et placement du réducteur

Le deuxième mécanisme utilisé pour l'entraînement en élévation est un vérin mécanique à base de vis écrou et buté double effet et combiné avec un mécanisme à biellettes articulées. Chaque biellette est liée à l'aide de rotules du côté vérin et du boîtier central (Fig. 3 et 4). L'actionneur utilisé est un moteur 12 volts courant continu.



Fig. 3: Mécanisme du mouvement horizontal



Fig. 4: Structure porteuse - vue arrière et emplacement du vérin

Le dispositif est installé sur un site expérimental au sein du campus de l'université de Batna dans un lieu dégagé permettant une expérimentation plein soleil, pouvant aller jusqu'à 14 heures d'ensoleillement par jour, (Fig. 5).



Fig. 5: Vue du dispositif de poursuite sur le site avec positionnement du capteur optique et des pyranomètres

3. DESCRIPTION DE LA COMMANDE AUTOMATIQUE DU SYSTEME ‘AURESOLAR’

La commande automatique du système de poursuite solaire ‘AureSolar’ comprend les parties suivantes:

- L’unité de traitement des signaux des capteurs;
- L’unité de contrôle et décision;
- L’interface d’adaptation (circuit de puissance);
- La partie software.

3.1 Unité de traitement des signaux des capteurs

L’unité de traitement comprend le capteur optique et le circuit de conditionnement.

Le capteur optique: Ce capteur est composé de quatre blocs. Chaque bloc est constitué de quatre photodiodes (BPW34) placées en parallèle C4 (5), C2 (6), C1 (7) et C3 (8) (Fig. 6) logées dans un boîtier parallélépipédique, dont les parois sont couvertes d’une couche noire mate (2), le coté supérieur de ce boîtier est recouvert d’une plaque de verre transparent (1) (Fig. 7).

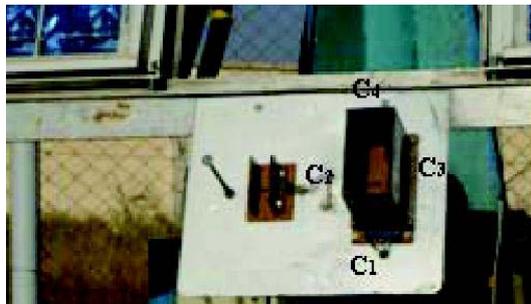


Fig. 6: Position des photodiodes par rapport au système

Le capteur est montré dans la partie inférieure de la structure porteuse du système (Fig. 5). Les dimensions du boîtier d , D , et H sont choisies d'une façon que le capteur soit sensible à la position du soleil. La distance d doit être supérieure à la distance D , du fait que l'angle de suivi du mouvement vertical est supérieur de l'angle de suivi du mouvement horizontal.

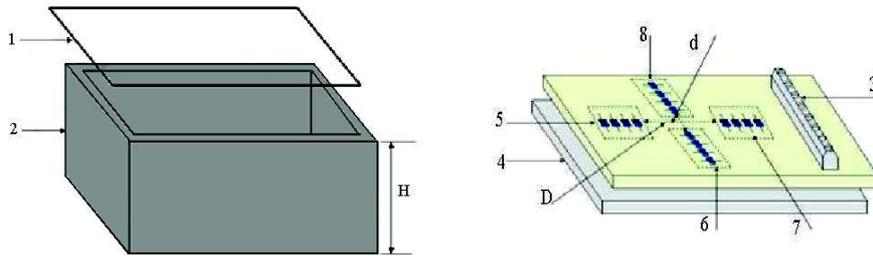


Fig. 7: Conception du capteur optique

Les photodiodes sont en mode photovoltaïque (aucune source de polarisation externe n'est associée). Le courant qui les parcourt est pratiquement égal au courant d'origine photoélectrique, c'est le courant de court-circuit des photodiodes qui est proportionnel au flux incident.

Dans le cas d'un éclairage total, les photodiodes fournissent le même courant pour chaque bloc. Si l'une des rangées de photodiodes est partiellement éclairée ou non éclairée à cause de l'ombre du boîtier, le courant fourni par cette rangée va diminuer ou s'annuler. De ce principe, on peut déterminer le sens d'orientation du système qui se fait automatiquement suivant l'angle d'incidence du flux lumineux.

Si par exemple, on prend le cas de la figure 6, où l'ombre du boîtier couvre une partie du bloc C4, ce dernier va fournir un courant faible par rapport au courant fourni par le bloc opposé C1 (éclairé), le système doit être orienté vers le haut de telle manière à réduire l'angle d'inclinaison α du dispositif, cette orientation est assurée par le mécanisme d'entraînement horizontal.

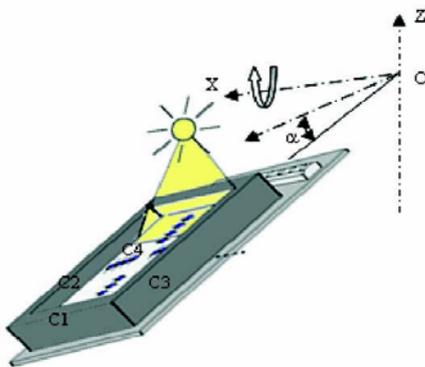


Fig. 8: Principe de fonctionnement du capteur pour le mouvement horizontal

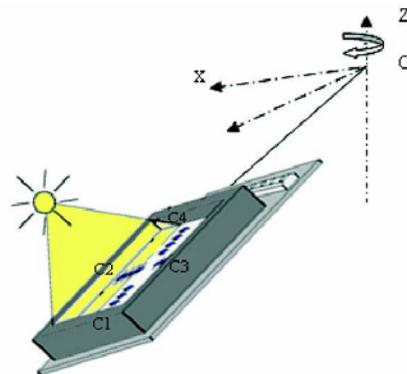


Fig. 9: Principe de fonctionnement du capteur pour le mouvement vertical

Dans le cas où l'ombre du boîtier couvre une partie du bloc C2, ce dernier va fournir un courant faible par rapport au courant fourni par le bloc opposé C3 (éclairé), la commande génère le mouvement vertical autour de l'axe OZ, qui va orienter le dispositif vers la gauche, (Fig. 9).

En effet, selon la position du soleil, on aura quatre possibilités d'orientation du système pour assurer une incidence perpendiculaire des rayons solaires sur le capteur optique.

La carte de conditionnement: La carte de conditionnement joue le rôle d'une interface entre le capteur solaire et le microcontrôleur. L'information du capteur (courant délivré), après le conditionnement, est transmise au microcontrôleur qui fonctionne avec le changement du niveau de tension (0V, 5V).

La carte de conditionnement se compose de trois étages: l'étage de conversion courant/tension, l'étage d'amplification et l'étage de comparaison avec une tension de seuil. La figure 10 présente le schéma électrique du conditionnement d'un seul bloc de photodiodes.

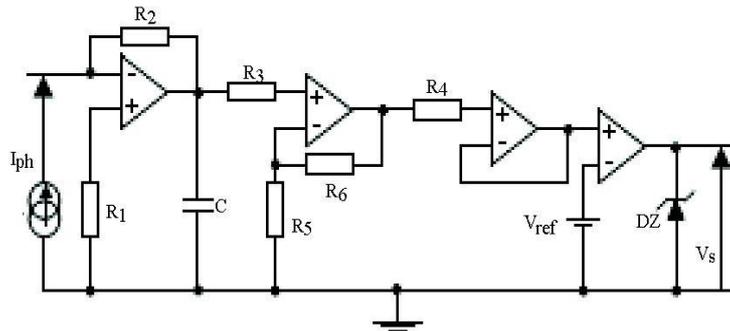


Fig. 10: Circuit de conditionnement

3.2 Unité de contrôle et décision

La commande du système 'AureSolar' est basée sur le microcontrôleur PIC16F84A, qui reçoit les informations du capteur issues de la carte de conditionnement via un multiplexeur M74HC151 et les informations issues des quatre fins de course. Ces informations sont traitées par le microcontrôleur afin de connaître la position du soleil. Il prend une décision et transmet des commandes aux deux moteurs (horizontal et vertical).

Le microcontrôleur PIC a une mémoire programmable dans laquelle sont enregistrées des instructions qui mettent en application les diverses fonctions employées pour le contrôle de la mise en fonctionnement de la poursuite automatique du système suivant la position du soleil. Le schéma synoptique de la carte réalisée est représenté sur la figure 11.

3.3 Carte de puissance

La carte de puissance se compose de deux circuits, qui assurent le pilotage des deux moteurs. Le premier comprend quatre transistors de puissance (Darlington) montés en pont, qui nécessite une source de tension 12V / CC. Le deuxième est un circuit à photo coupleurs, assurant l'isolation du circuit de commande à celui de puissance.

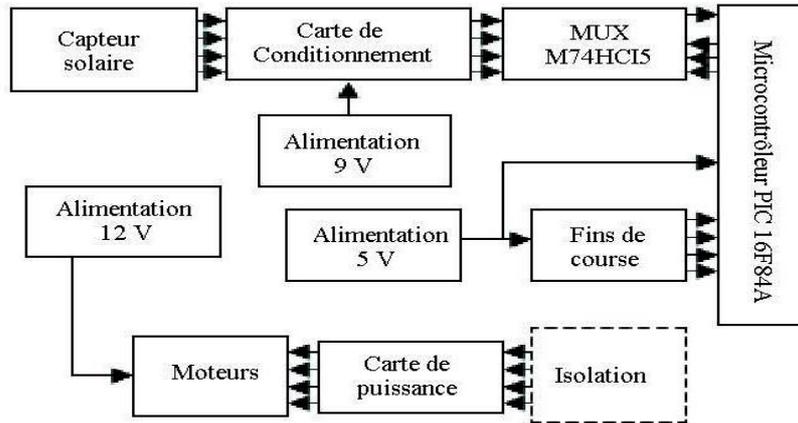


Fig. 11: Schéma synoptique de la carte de commande

3.4 Carte software

Le logiciel de commande gérant le microcontrôleur est écrit en langage assembleur à l'aide d'un éditeur (Bigonoff), simulé par un émulateur (MPLAB) qui permet d'avoir un code hexadécimal à charger dans l'Eeprom du microcontrôleur PIC.

4. RESULTATS EXPERIMENTAUX ET DISCUSSIONS

Les séries de test ont été effectuées sur le site expérimental du projet 'AureSolar' sur le Campus de l'université. Afin d'évaluer l'efficacité du système à deux axes, une étude comparative de l'énergie solaire collectée, entre ce dernier et un système fixe orienté vers le sud et incliné de 45° par rapport à l'horizontale a été réalisée. Pour les mesures, l'énergie solaire collectée en terme d'éclairement, deux pyranomètres ont été utilisés. Ils sont placés sur les deux systèmes de telle sorte qu'ils soient parallèles à la surface des panneaux solaires pour chacun, (Fig. 12).



Fig. 12: Emplacement des pyranomètres

Les résultats expérimentaux sont obtenus par un enregistreur digital 'Data Acquisition Recorder BD300 Kipp & Zonen' connecté avec un PC afin d'enregistrer les

valeurs d'éclairement obtenues le long de la journée, trois séries de test ont été réalisées sous des conditions atmosphériques normales:

- La première série de tests a été effectuée le 10 juin 2007 à partir de 08h à 18h. (Ciel clair avec peu de nuages dans l'après-midi, la température était de 25 °C, et l'humidité moyenne de 4 %). Les résultats sont montrés sur la figure 13.
- La deuxième série de test a été effectuée le 12 juin 2007 à partir de 07h à 18h. (Ciel clair avec peu de nuages dans l'après-midi, la température était de 23 °C, et l'humidité moyenne de 4 %). Les résultats sont montrés dans la figure 14.
- La troisième série de test a été effectuée le 14 juin 2007, de 06h à 19h. (Ciel clair avec un peu de poussières dans le ciel due au vent du sud, la température était de 28 °C, et l'humidité moyenne de 4 %). Les résultats sont montrés dans la figure 15.

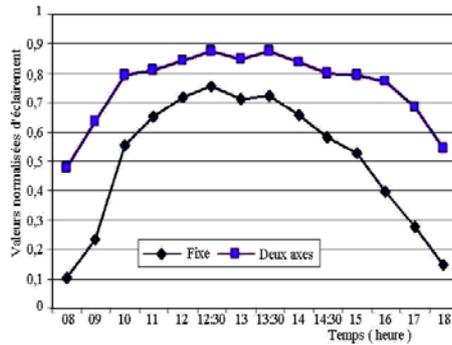


Fig. 13: Eclairement en fonction du temps (10/06/07)

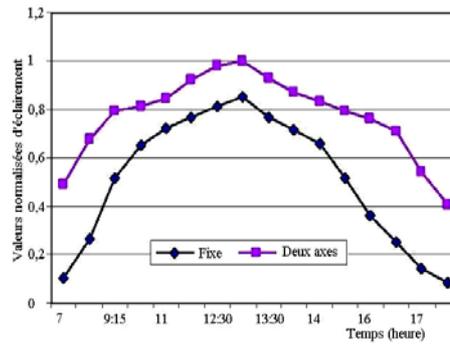


Fig. 14: Eclairement en fonction du temps (12/06/07)

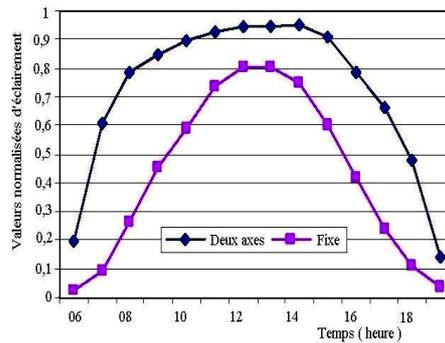


Fig. 15: Eclairement en fonction du temps (14/06/07)

La valeur de l'énergie solaire collectée par le système fixe se rapproche de celle du système "AureSolar" à deux axes entre 11h et 14h, lorsque le soleil passe par le zénith, c'est le cas évident pour le système fixe, par contre elle s'éloigne pendant les heures du levé de soleil et les heures de la fin de l'après midi.

L'ensoleillement maximum noté pendant les expériences était de 1037 W/m², ce dernier a été mesuré le 14 juin 2007 entre 12h et 14h.

Sur le **tableau 1**, on trouve l'évaluation de la moyenne journalière de l'énergie solaire mesurée par les pyranomètres pour chaque système, ainsi que le gain obtenu par le système 'AureSolar' par rapport au système fixe.

Tableau 1: Energie moyenne journalière mesurée

Date	Système 'AureSolar' à deux axes (MJ/cm ²)	Système fixe incliné à 45° Sud (MJ/cm ²)	Gain (%)
10/06/07	33.11	22.01	50.43
12/06/07	33.86	22.38	51.29
14/06/07	39.07	25.53	53.04
Moyenne	35.34	23.30	50.58

5. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans ce travail, nous avons présenté l'aspect mécanique d'un système de poursuite solaire, où l'accent a été mis sur les choix mécaniques d'entraînement à faible puissance, ce qui permet une éventuelle autonomie énergétique du système.

Ensuite, nous avons développé une commande automatique à base de microcontrôleur PIC 16F84A. La mise en place de cette commande a permis de tester sa cohérence avec le dispositif mécanique et de valider son efficacité. L'expérimentation a donnée des gains énergétiques très significatifs de l'ordre de 50 % par rapport à ceux trouvés dans la littérature la plus récente.

Les perspectives de ce travail sont l'expérimentation du dispositif 'AureSolar' pour le pompage solaire et la détermination du gain de terme de quantité d'eau pompée par jour par rapport à un système fixe équivalent en nombre de panneaux photovoltaïques, et cela pour évaluer l'apport de la poursuite solaire dans l'amortissement de l'investissement d'une installation de pompage photovoltaïque.

Remerciements: Les auteurs remercient le Directeur du Département de sport et le Directeur de l'Unité de Recherche de l'Université Hadj-Lakhdar de Batna pour le soutien et l'aide qu'ils ont apporté au projet en terme de facilités et de mise à disposition d'instruments de mesures.

REFERENCES

- [1] S. Abdallah and S. Nijmeh, 'Design, Construction and Operation of One Axis Sun Tracking System with PLC Control', Jordan Journal Applied Science University, pp. 45 – 53, 2002.
- [2] Abdul-Jabbar N. Khalifa and Al-Mutawalli S. Salman, 'Effect of Two-Axis Sun-Tracking on the Performance of Compound Parabolic Concentrators', Energy Conversion and Management, Vol. 39, N°10, pp. 1073 - 1079, 1998.
- [3] J. Bione, O.C. Vilela and N. Fraidenraich, 'Comparison of the Performance of PV Water Pumping Systems Driven by Fixed, Tracking and V-Trough Generators', Solar Energy, Vol. 76, N°3, pp. 703 – 711, 2004.
- [4] S. Abdallah and S. Nijmeh, 'Two Axes Sun Tracking System with PLC Control', Energy Conversion and Management, Vol. 45, N°11-12, pp. 1931 – 1939, 2004.

- [5] S. Abdallah, A. El-Qadan and V. Hamudeh, 'Two Axes Sun Tracking System with Feedback Control on the Basis of PIC Microcontrollers', Jordan Journal Applied Science University, Amman 11931 Jordan, 2004.
- [6] G.C. Bakos, 'Design and Construction of a Two-Axis Sun Tracking System for Parabolic Trough Collector (PTC) Efficiency Improvement', Renewable Energy, Vol. 31, N°15, pp. 2411 – 2421, 2006.
- [7] B. Mohammedi, B. Barkat, H. Rehab and N. Nait Said, 'Mechanical Design and Command of the Azimut Movement of the Sun Tracking System Auresolar', Sharjah Solar Energy Conference, University of Sharjah, UAE, 19-22 February 2001.
- [8] B. Barkat, B. Azoui, K. Chara, M. Djarallah and C. Hamouda, 'Experimentation of Sun Tracking System AureSolar: Energetically Identification in Pumping System Application', WREC 2002, Cologne, Germany, 29 Jun - 5 July 2002.
- [9] B. Barkat, B. Mohammedi et B. Azoui, 'Le Projet 'AureSolar': Résultats et Perspectives', JEES'05 Bejaia, Mars 2005.