



Commande électronique et évaluation énergétique d'un Convertisseur Photovoltaïque Associé à un Suiveur Solaire

T. Zarede¹, M. Fethi²

Unité de développement des équipements solaires UDES/EPST - CDER.
toufik.zarede@gmail.com

Résumé — Ce travail présente une réalisation d'une commande électronique pour un système de poursuite solaire à deux axes de rotation et une analyse des performances d'un système de conversion photovoltaïque associé à un suiveur solaire, en le comparant du point de vue énergétique avec un convertisseur photovoltaïque fixe. Le principe d'orientation du suiveur solaire est basé sur la détection de la position relative du soleil, grâce à un capteur optique constitué de quatre photocellules placées en forme croisée, qui reçoivent les rayonnements solaires et génèrent ainsi les signaux photoélectriques de commande des deux moteurs pas à pas électriques élévation et azimut à travers une carte de commande électronique dont le noyau est un microcontrôleur PIC16F877, permettant constamment de pointer le suiveur solaire vers la direction du soleil. Il est important de souligner que le suiveur solaire a été construit à l'échelle réduite, pour permettre d'effectuer les tests. Les circuits de conditionnement et de commande sont testés et simulés grâce à la routine ISIS du logiciel PROTEUS, après l'implantation d'un programme software au niveau du microcontrôleur PIC16F877, il est prévu des drivers L297 et L298 dans le circuit d'interface, qui permettent de piloter les moteurs pas à pas d'actionnement.

Dans notre article nous nous proposons d'élaborer une commande numérique programmée d'orientation d'un miniature héliostat à deux axes de rotation, qui est une monture mobile à l'échelle réduite, permettant d'effectuer la poursuite de la course du soleil, grâce d'une part au mouvement azimut (est-ouest) de balayage d'un horizon de parcourt angulaire horizontal, et d'autre part à l'aide du mouvement site (nord-sud) qui ajuste l'angle d'élévation de l'héliostat selon la hauteur du soleil, sur un horizon de parcourt vertical ; Nous décrirons par la suite le principe de fonctionnement du système de poursuite adopté et nous mettrons en évidence l'efficacité de chaque algorithme adapté à la poursuite.

Le schéma de principe du prototype de poursuite du soleil, à deux degrés de liberté en rotation est illustré à la figure 1. Cette structure porte une cellule photovoltaïque de 10 cm² de surface, ce qui permet de capter le maximum d'énergie solaire, en recevant des rayonnements perpendiculaires à la surface de captation.

Mot clés – performance, suiveur solaire, capteur optique, microcontrôleur, moteur pas à pas.

I. INTRODUCTION

L'héliostat est un dispositif d'orientation du panneau solaire, soit du module photovoltaïque ou du miroir de réflexion plan ou cylindro parabolique vers le soleil. La position et la trajectoire du soleil dans le ciel varie avec la saison et l'heure de la journée, comme l'efficacité des modules photovoltaïques et miroirs de réflexion est liées à la quantité de lumière reçu, donc le système de poursuite solaire peut augmenter l'efficacité énergétique d'un tel système de conversion.

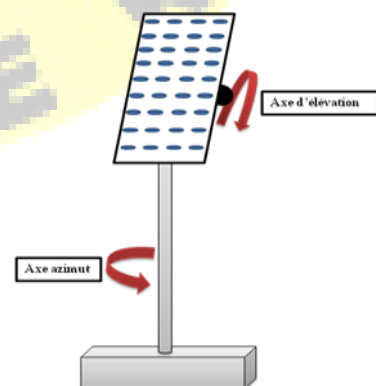


Fig. 1 Schéma de principe de la Poursuite à deux axes



Le positionnement à réaliser sera fait sur deux axes; Le premier axe correspond à l'azimut et le second correspond à l'élévation. L'actionneur permettant le positionnement de l'azimut et de l'élévation sera assuré par deux moteurs pas à pas bipolaires (EM 463 et EM 462) à travers une carte de commande à base de PIC16F877 et un dispositif optique composé de 04 photocellules ; la figure 02 montre le principe générale de fonctionnement.

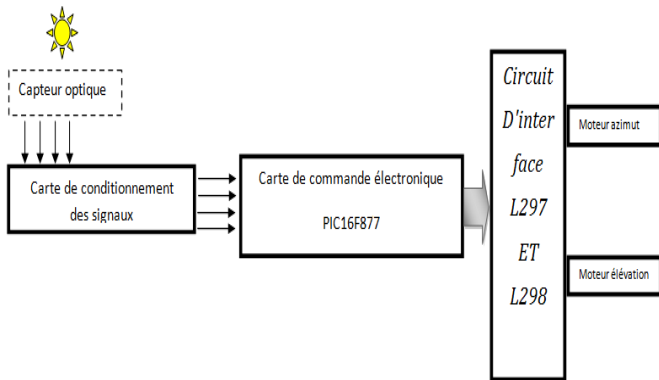


Fig. 2 Principe de fonctionnement de la poursuite du soleil

II. CAPTEUR OPTIQUE

Le capteur optique est composé de 04 quadrants [2], chaque quadrant englobe une photodiode de type BPW34 ; la tension de circuit ouvert de la photodiode est égale 0.475volts, le Courant de court circuit est de 1.86mA et sa taille est de 1/8".



Fig. 3 Photodiode BPW34

La photocellule BPW 34 est une diode: passante dans le sens direct, presque bloquée dans le sens inverse ; Le courant inverse d'une diode dépend des porteurs minoritaires. En général, ils sont très peu nombreux. Des photons d'énergie suffisante peuvent créer des paires électrons - trous. Le courant créé alors dépend du nombre de photons ayant une énergie supérieure à l'énergie de gap du semi-conducteur.

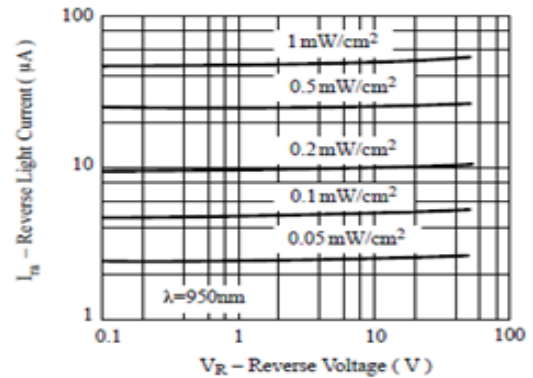


Fig. 4 Abaque du courant inverse en fonction de la tension inverse du BPW34. [3]

Le principe que nous avons adopté consiste à comparer l'éclairement entre deux paires de photocellules (EST-OUEST) et (NORD-SUD).

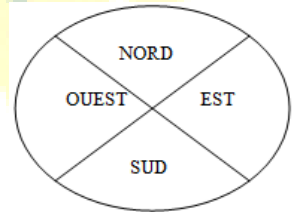
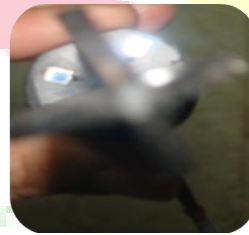


Fig. 5 Vue de haut et de face du capteur optique

Chaque photocellule délivre une tension de l'ordre 0.475volts sous un éclairment de un (01) soleil. Cette tension est amplifiée avec un gain d'amplification de 10 en utilisant l'amplificateur opérationnelle LM324, ci-dessous :

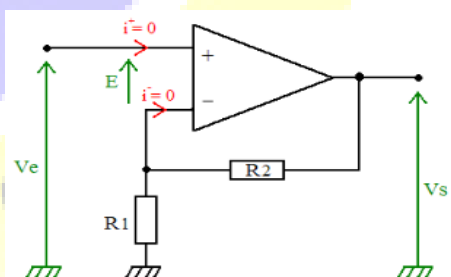


Fig. 6 Schéma de base de l'amplificateur de tension non inverseur

La relation électrique entre la tension de sortie V_s et V_e est donnée par la formule suivante :

$$V_s = V_e * (1 + R_2/R_1)$$

Le gain d'amplification : $G = 1 + R_2/R_1$; pour un gain de 10 et une résistance $R_2 = 10K\Omega$ on a $R_1 = 1.11K\Omega$.

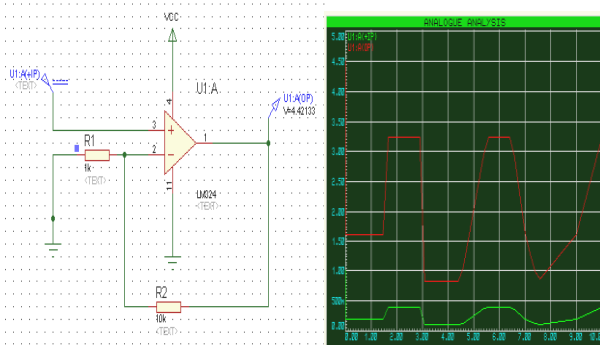


Fig. 7 Simulation de l'étage d'amplification de tension

A la sortie de l'amplificateur on trouve des tensions qui varient entre 0 et 4.7volts~5volts selon l'éclairement de la photodiode. On utilise un comparateur à hystérésis non inverseur des deux tensions délivrées par les deux couples (photodiode EST/OUEST et NORD/SUD) avant d'attaquer le port de PIC16F877A.

III. CARTE DE COMMANDE

Le noyau de la carte de commande qui est le PIC16F877A est un microcontrôleur de MICROCHIP qui fait partie intégrante de la famille de Mid-Range (16) dont la mémoire est de type FLASH (F). Qui est capable d'accepter une fréquence d'horloge maximale de 20MHZ. Le PIC16F877 possède:

- ✓ 05 ports, ce qui augmente d'autant le nombre d'entrées/sortie disponible.
- ✓ 03 timers.
- ✓ Convertisseur analogique/numérique de 10 bits.
- ✓ De nouvelles fonctionnalités, comme la gestion de ports série.
- ✓ convertisseur A/D à plusieurs canaux d'une résolution de 10 bits.

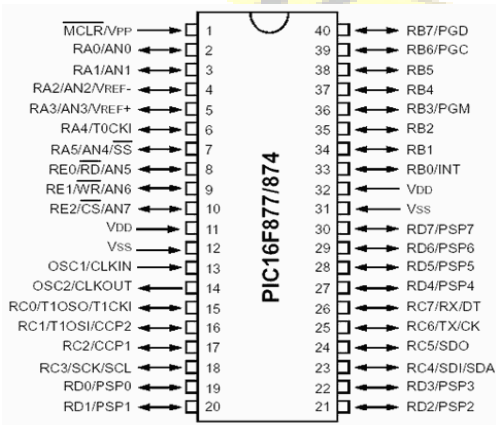


Fig. 8 Brochage de PIC16F877

- ❖ Le port A (RA0, RA1, RA2, RA3) est configuré en entrée, qui reçoit les signaux délivrés par le capteur optique après conditionnement.
- ❖ Le port B (RB0, RB1, RB2, RB3, RB4, RB5, RB6) est configuré en sortie, pour générer les signaux de commandes des deux moteurs pas à pas par le travers le circuit d'interface PIC/Moteur.

IV. CARTE D'INTERFACE PIC/MOTEUR

Le L297 permet l'excitation de «deux phase actives » Ce circuit contient des hacheurs à modulation de largeur d'impulsion destinés à régler le courant dans l'étage de puissance ; Le L297 simplifie la commande du moteur pas à pas.

Ce circuit est composé d'un bloc appelé translateur commandé par deux entrées logiques : le sens de rotation (CW/CCW) et le mode fonctionnement en demi-pas ou en pas normal (HALF/FULL).

Une troisième broche est l'entrée CLK qui permet l'avance d'un pas. Le translateur contient un compteur à 3 bits et quelques circuits logiques qui permettent de générer une séquence basique à 8 pas

Le circuit L297 contient tout le circuit de commande et de contrôle du moteur pas à pas bipolaire ; Utilisé conjointement avec un driver double pont tel que le L298. L'ensemble forme une interface idéale pour le contrôle d'un moteur pas à pas bipolaire par microcontrôleur. Le circuit L297 reçoit des signaux de contrôle en provenance du PIC16F877 et génère tous les signaux nécessaires pour l'étage de puissance.

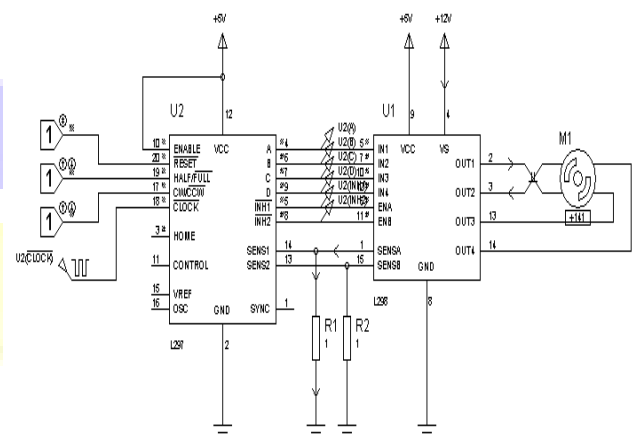


Fig. 9 Simulation sous Isis du circuit d'interface PIC/Stepper moteur

Le moteur pas à pas est commandé pour une rotation angulaire de 15° qui est égale à un (01) pas, et nous avons, au total 24 pas à commander pour faire le 360°.

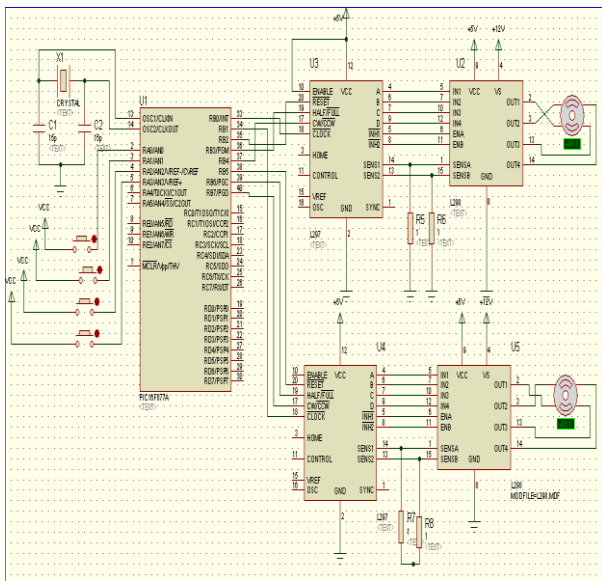


Fig. 10 Circuit de commande

La simulation en actionnant le moteur azimut et élévation.

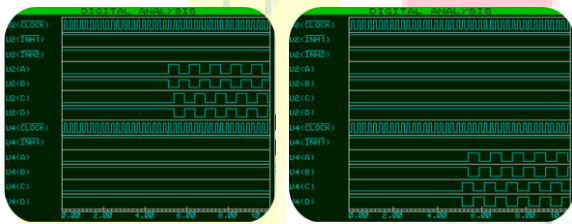


Fig. 11 Résultat de la simulation en actionnant les moteurs azimutale et d'élévation

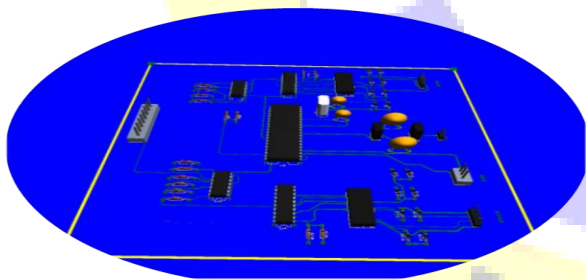


Fig. 12 Carte de commande en 3D

V. REALISATION PROTOTYPE

Le mécanisme mécanique de notre prototype a été construit de plaque métallique fine d'épaisseur environ 0.2mm; et des pignons en PCV rigide, ayant un axe d'azimut et un axe d'élévation adapté pour assuré une poursuite dynamique de la trajectoire de soleil.

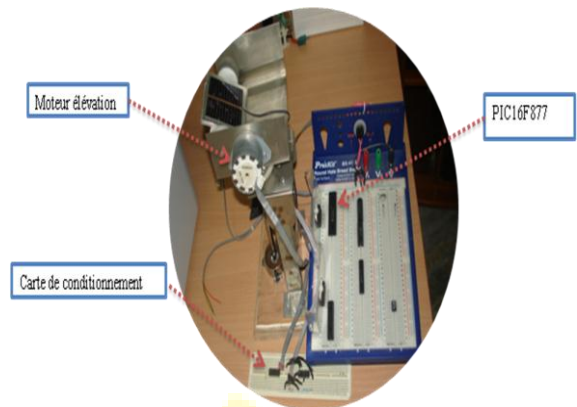


Fig. 13 Prototype à l'échelle réduit

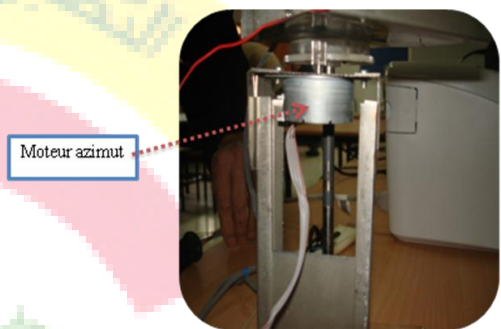


Fig. 14 Moteur azimut

Le programme de commande et de gestion des deux moteurs pas à pas, qui assure la poursuite de trajectoire du soleil est écrit en langage mikroc selon l'organigramme suivant :

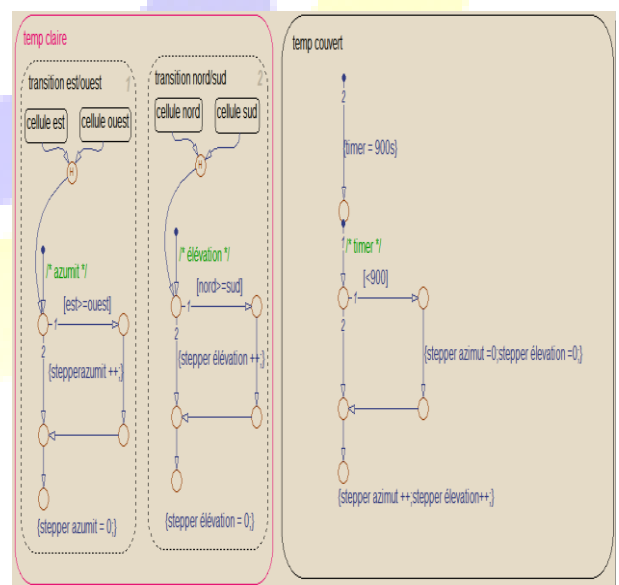


Fig. 15 Organigramme de l'algorithme de commande de la poursuite du soleil



Le programme de commande va détecter la position du soleil soit en utilisant le capteur optique (sensible) ou dans le cas contraire (aveugle).

Le programme de gestion est transféré au microcontrôleur 16F877A par le biais d'une carte de développeur de pic easypic6.

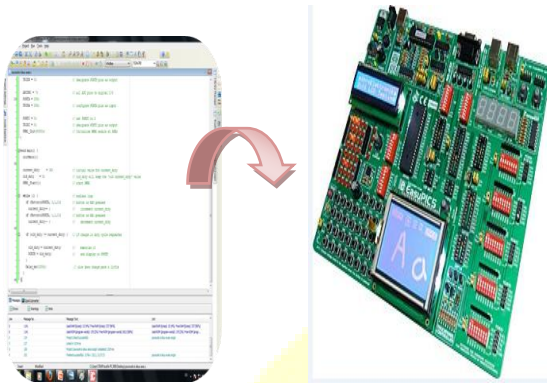


Fig. 16 transfert du programme au PIC16f877

VI. EXPERIMENTATION ET TESTS

L'intensité du courant inverse délivré par la photocellule dépend de l'intensité lumineuse qu'elle reçoit (figure 16); et la tension V aux bornes de la résistance varie avec l'éclairement capté par la photocellule BPW34, plus précisément avec le photo-courant délivré par la photocellule,

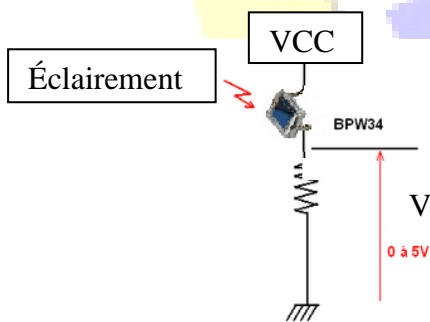


Fig. 17 Conversion éclairement/tension

Les tests à été effectué pour deux jours temps claires consécutifs, la première pour le système fixe (inclinaison 36° orientation sud), et la deuxième pour le système avec traqueur, on utilisant le montage ci-dessous .

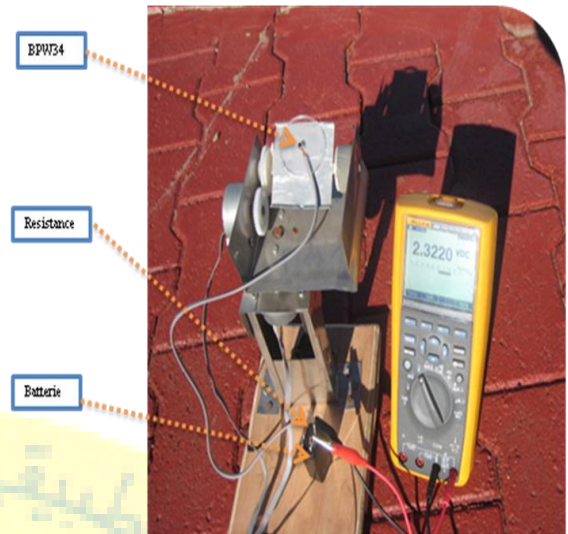


Fig. 18 test et mesure

Les tests à été effectué pour deux jours temps claires consécutifs, la première pour le système fixe (inclinaison 36° orientation sud), et la deuxième pour le système avec traqueur.

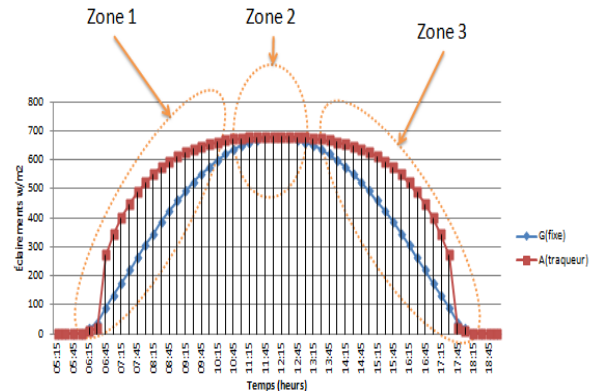


Fig. 19 Eclairement mesuré (fixe et traqueur)

- ❖ **Zone 1 :** performance d'un système avec traqueur > système fixe.
- ❖ **Zone 2 :** dans cette période de la journée les deux systèmes elles sont la même performance.
- ❖ **Zone 3 :** performance du système avec suiveur > à celle du système fixe.

Par cette analyse il est clair que le système de poursuite solaire (traqueur) contribue considérables à l'augmentation



Le 3^{ème} Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables

The 3rd International Seminar on New and Renewable Energies

Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables,
Ghardaïa - Algérie 13 et 14 Octobre 2014



des performances des convertisseurs photovoltaïque.

VII. Conclusion

L'intégration des mécanismes de suivi de la course du soleil à des convertisseurs photovoltaïque apporte des avantages énergétiques très considérables par rapport aux systèmes de conversion photovoltaïques fixes.

Référence :

[1] T.bendib. « Commande automatique d'un système de poursuite solaire à deux axes à base d'un microcontrôleur PIC16F84A »; revue des énergies renouvelables vol.11N°4 (2008)

[2]Pr.M haddadi « étude d'une commande automatique de pointage pour héliostat »; laboratoire des dispositifs de communication et de conversion photovoltaïque; ENP el Harrach ALGER.

[3] <http://www.vishay.com/docs/81521/bpw34.pdf>.