République démocratique populaire algérienne
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Yahia Fares de Médéa

Faculté de Technologie
Département du Génie d'électrique

Mémoire de fin d'études de Master

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electronique

Spécialité : Instrumentation

Thème :

Conception d'un système de poursuite solaire pour des générateurs photovoltaïques

Présenté par:

Djellabi chaimaa **Salmi khadidja**

M^r Skander mohamed redha	**Président**
M^r Naoui Yahia	**Encadreur**
M^r Madjber Ahmad	**Examinateur**

Année universitaire :

2022/2023

Remerciement

Nous tenons à remercier en premier lieu ALLAH, le tout puissant, qui nous a donné le courage et la volonté pour bien mener ce modeste travail.
Ainsi, nous remercions nous promoteurs monsieur NAOUI YAHIA et GUEDMANI MOHAMED pour leurs soins exceptionnel et conseils judicieux.
Nous remercions Tous les enseignants du notre département, qui ont assurés notre formation durant tout cycle d'étude.
Enfin, nous remercions tous ceux qui nous ont aidé à accomplir notre travail, de près comme de loin.

Dédicaces

Pour le propriétaire d'une biographie parfumée et d'une pensée éclairée ; Le principal crédit de ma longue vie était dans l'enseignement supérieur (Abd el kader). A celui qui m'a mis sur le chemin de la vie et m'a calmé, tu as pris soin de moi jusqu'à ce que je grandisse (ma chère mère) Dieu bénisse son âme. Pour mes frères, cela a eu un grand impact sur de nombreux obstacles et difficultés. A tous mes chers professeurs ; Celui qui n'hésite pas à me contacter, je lui dédie mes recherches .

Chaimaa

Dédicaces

Qui est-ce que je préfère à moi-même et pourquoi pas ? Tu t'es sacrifié pour moi Tu n'épargnes toujours aucun effort pour me rendre heureux (Chère mère). Nous marchons sur les chemins de la vie, et celui qui contrôle nos esprits reste sur chaque chemin que nous empruntons. Le propriétaire d'un bon visage et de bonnes actions. Il ne m'a pas gardé toute sa vie (Mon cher père). À mes amis et à tous ceux qui m'ont soutenu et aidé dans tout ce qu'ils ont et de tant de façons Je vous présente cette recherche, et j'espère qu'elle vous satisfera…

Khadidja

الملخص:

في هذا العمل نقترح محاكاة متتبعا تلقائية ألي للوحدات الشمسية الكهروضوئية. الهدف هو زيادة اكتساب الطاقة للنظام الكهروضوئي على عكس الأنظمة التي تستخدم المولدات الكهروضوئية الثابتة. الجهاز المستخدم يرتكز علي هيكل ميكانيكي ذو محركان لتيار الكهربائي الثابت مع دوائر التحكم الخاصة بهم. المحاكاة أوضحت لنا أن الجهاز يمكن له القدرة على تتبع موقع الشمس بأمانة والتأكد دائمًا من أن المصدر متوافق مع الحمولة في نقطة التشغيل بالطاقة القصوى.

الكلمات المفتاحية : الألواح الشمسية،المتتبع الشمسي،المستشعر الضوئي،محرك التيار المستمر.

Résumé :

Dans ce travail, nous présentons la simulation d'un système de poursuite automatique destiné pour les modules solaires photovoltaïques. L'objectif visé est l'amélioration du gain en énergie électrique des systèmes photovoltaïque par rapport au système utilisant un générateur photovoltaïque fixe. Notre dispositif d'instrument a été fixé sur une structure mécanique que nous avons réalisée à base de deux moteurs à courant continue avec leurs circuits de commande à base d'un microcontrôleur (PIC). La simulation du circuit suiveur solaire nous a montré que le système modélisé est capable de suivre fidèlement la position du soleil et il assure à chaque instant une adaptation entre la source et la charge au point de fonctionnement de la puissance maximale.

Mots clés : photovoltaïque, Suiveur solaire, LDR, PIC , MCC.

Abstract :

In this work, we present the simulation of an automatic tracking system intended for photovoltaic solar modules. The objective is to improve the electrical energy gain of photovoltaic systems compared to the system using a fixed photovoltaic generator. Our instrument device was fixed on a mechanical structure that we made based on two DC motors with their control circuits based on a microcontroller (PIC). The simulation of the solar tracking circuit has shown us that the modeled system is able to faithfully follow the position of the sun and it ensures at all times an adaptation between the source and the load at the point of operation of the maximum power.

Keywords: photovoltaic, solar tracker, LDR, PIC, MCC.

Sommaire

Introduction générale 1

Chapitre I :Généralité sur les photovoltaïque et les systèmes suiveurs de solaire

1.Introduction 3

2. Le soleil : 3

2.1. Le Rayonnement solaire 3

2.2 Concept préliminaire sur le rayonnement solaire : 3

2.2.1 Rayonnement direct : 4

2.2.2. Diffusion : 4

2.2.3. Rayonnement réfléchi : 4

2.2.4. Rayonnement global : 4

3.Photovoltaïque Opérations et technologie 4

3.1. Principe de fonctionnement : 5

3. 2.Historique de l'énergie solaire PV : 5

3. 3.Caractéristiques électriques d'une cellule PV : 6

3.3.1 Courant de court-circuit Icc : 6

3.3.2Tension de circuit ouvert Vco : 6

3.3.3Facteur de forme FF : 6

3.3.4 Rendement de conversion η : 7

3. 4.Les types de cellules PV : 8

A.Cellules au silicium monocristallin : 8

B. Cellules au silicium poly cristallin (ou multi cristallin) : 8

C. Cellules au silicium amorphe : 9

3.5. Avantage et inconvénient de l'énergie PV : 9

3.6. Présentation et modélisation du panneau solaire : 10

3.6.1Equations de la cellule PV 11

4. Système de poursuit solaire : 11

4.1. État de l'art des suiveurs solaires : 11

4.2. Principes fondamentaux des suiveurs solaires : 12

4. 3.Les types de suiveurs solaires 12

4. 3.1.Suiveurs solaire passif : 13
4. 3.2.Suiveur solaire actif : 13
A. suiveur solaire mono-axe 13
B.Suiveur solaire double axe : 14
5. Méthodes et techniques de poursuites : 14
5.1. La méthode des capteurs de lumière 14
5.2. La méthode astronomique 15
5.3. Les étapes de fonctionnement 17
6. Conclusion 17
Chapitre 2 :Description du système de poursuite solaire
1.Introduction 18
2.Les systèmes suiveurs de trajectoire solaire 18
3.Description du système de poursuite 19
4. Description des composants électroniques 20
4.1. Le microcontrôleur : 20
4.1.1.LaFamille de PICs : 21
4.1.2. Avantages des microcontrôleurs PIC : 21
4.1.3. Identification d'un PIC 21
4.2. Le choix d'un PIC 22
4.2.1. Caractéristiques de PIC 16F877A 22
4.2.2. Brochage externe 23
4.2.3. Architecture Interne 25
4.3.Les capteurs LDR : 26
4.3.1. Principe de fonctionnement : 26
4.4 CIRCUITE DE PUISSENCE 27
4.4.1. Caractéristiques et spécifications du L298 : 28
4.4.2. Configuration et description des broches L298 : 28
4.4.3. Fonctionnement de L298 : 29
4.5. Les moteurs à courant continu: 29
4.5.1. Le principe de fonctionnement des moteurs à courant continu: 29
4.6.Description des composant mécanique utilisés 30
5. Conclusion : 30

Chapitre 3 : Simulation du système de suiveur solaire

1.Introduction……31

2. Editeur du programme……31

2.1. Etapes à suivre pour écrire un programme sous mikroC for pic ……32

2.1.1. Création d'un nouveaux Project……32

2.1.2. Ecriture du programme…… ….34

2.1.3. Le principe d'exécution de programme :…… 35

2.2 Organigramme de programme principal :…… 36

2.3. compilation d'un programme :…… 36

2.4. La conception sur ordinateur : …… 36

2.5.1. schéma électrique avec « Proteus »…… 37

2.5.2. La simulation : …… 37

2.6. Résulta de simulation par Proteus : …… 38

2.6.1. Etats de simulation :…… 38

A. Le premier cas:…… 38

B. Le deuxième cas : …… 39

C. Le troisième cas :…… 39

E. Le Cinquième cas…… 40

3.Conclusion…… ……41

Conclusion Générale

Annexe-A ……**Erreur ! Signet non défini.**

Annexe-B……44

Annexe-C……45

Bibliographie …… 46

Bibliographie …… 47

Liste des figures

Figure1.1 .Les composants du rayonnement solaire…….. 4
Figure1.2 .Structure d'une cellule photovoltaïque……. 5
Figure 1.3 .Le principe de la Cellule photovoltaïques……... 5
Figure 1.4. Caractéristiques I(V) et P(V) d'une cellule solaire…….. 7
Figure 1.5.Cellule photovoltaïque monocristalline…… 8
Figure 1.6. Cellule photovoltaïque poly cristalline. …….. ……... 8
Figure 1.7.Cellule photovoltaïque amorphe…….. …… 9
Figure 1.8. Le système photovoltaïque. …….. …… 10
Figure 1.9. Modèle général d'un panneau photovoltaïque. …….. .. 11
Figure 1.10 .Types de suiveurs solaires. …….. 12
Figure 1.11. Suiveur solaire passif. ……... 13
Figure 1.12. Panneaux solaires avec système de poursuite mono-axiale…….. 14
Figure 1.13. Panneau solaire avec système de poursuite bi-axiale…… 14
Figure 1.14.Suiveur basé sur des capteurs de lumière. …….. …….. 15
Figure1.15 .Organigramme de programme la méthode astronomique. …… 16
Figure 2.1 .Schéma bloc du système de poursuite solaire…….. 19
Figure 2.2. Schéma électronique du système de poursuite solaire……. 20
Figure 2.3. PIC 16F877A. …….. …… 22
Figure 2.4. Brochage du PIC16F877A. ……. 24
Figure 2.5. Architecture Interne du PIC16F877A. …… 25
Figure 2.6. Les ports de PIC16F877A. …….. 25
Figure 2.7 .Capteur LDR. …….. …….. 26
Figure 2.8 .Circuit équivalent du capteur LDR utilisé. …….. ……. 27
Figure 2.9. Variation de sens du moteur par pont en H. …….. …… 28
Figure 2.10 .Double drivé à pont complet. …….. …….. 29
Figure 2.11.Représentation schématique d'une machine à courant continu bipolaire 29
Figure 2.12 partie mécanique de position de LDR ……..... 30
Figure 3.1 .Interface de Mikro CPRO for PIC. ……..... 31
Figure 3.2. Page d'accueil. …….. …… 32
Figure 3.3. Création de projet étape 2. …….. …… 32
Figure 3.4.Création de projet étape 3. …….. ……. 33
Figure 3.5.Création de projet étape 4. …….. …… 33
Figure 3.6.Création de projet étape 5 . …….. ……. 33
Figure 3.7.page de programmation principale. …… 34
Figure 3.8. Schéma synoptique de système suiveur solaire……... 35
Figure 3.9 Organigramme de programme. …….. …… 36
Figure 3.10. L'interface du « Proteus Design Suite ». …….. 37
Figure 3.11. Schéma électronique du système suiveur solaire. …… 37
Figure 3.12. Schéma de simulation de circuit suiveur solaire le moteur arrêt…… 38
Figure 3.13. Schéma de simulation du circuit du suiveur solaire, avec le moteur en marche et l'éclairage de la LED (D1) à gauche. …….. …….. 39
Figure 3.14. Schéma de principe du circuit suiveur solaire simulation du moteur en marche et de l'éclairage de la LED (D2) droit. …….. ……. 39
Figure 3.15. Schéma de simulation du circuit du suiveur solaire, avec le moteur en marche et l'éclairage de la LED (D3) à haut. …….. …… 40
Figure 3.16. Schéma de simulation du circuit du suiveur solaire, avec le moteur en marche et l'éclairage de la LED (D4) à bas. …….. …… 40

Liste des tableaux

Chapitre 01

Tableaux 1.1.Historique de l'énergie solaire PV . ……6

Tableau 1.2 .Les avantages et les inconvénients des technologies de cellules photovoltaïques……. ……9

Chapitre 02

Tableau 2.1 .Caractéristiques de PIC 16F877A ……23

Annexes

Tableau A.1. Des composants électroniques qu'utilise dans la simulation. P54…….43

Tableux A.2 Caractéristiques électriques d'un L289. ……..44

NOTATIONS & SYMBOLES

PV : Photovoltaïque.

Icc : Le courant de court-circuit.

Vco : La tension en circuit ouvert

Ƞ: Rendement

δ : Déclinaison

ω : Angle horaire

h : Hauteur solaire

a : Azimute de capteure

B : Angle d'inclinaison

LDR: Light-dependent resistor

Mcc : Moteur à courant Continu

Val _gauche : Capteur gauche

Val_ droit : Capteur droit

Val _hot : Capteur hot

Val_ bas : capteur bas

delta ver : moteur 1

delta_hor : moteur 2.

Introduction générale

Introduction générale

Actuellement, la production de l'énergie dans l'industrie est basée, en grande partie, sur une ressource limitée : le pétrole, Les sources du pétrole deviennent de plus en plus rares, pendant que les demandes énergétiques du monde s'élèvent continuellement.

Etant donné que cette forme d'énergie couvre une grosse partie de la production énergétique actuelle, il s'avère nécessaire de trouver une autre solution pour prendre le relais, la contrainte imposée est d'utiliser une source d'énergie économique et peu polluante car la protection de l'environnement est devenue un point important.

La recherche des ressources d'énergie alternatives est devenue donc une question cruciale de nos jours. Beaucoup de recherches scientifiques ont été menées, non seulement, dans le domaine de la production d'énergie nucléaire, mais également dans le secteur des sources d'énergie renouvelables, telles que la production d'électricité par le vent et la transformation d'énergie solaire. Dans ce dernier cas, la conception, l'optimisation et la réalisation des systèmes photovoltaïques sont des problèmes d'actualité puisqu'ils conduisent surement à une meilleure exploitation de l'énergie solaire. Pour une installation photovoltaïque, la variation de 50 % de l'éclairement ou de la charge induit une dégradation de la puissance fournie par le générateur PV de l'ordre de 50 %; en plus le générateur PV ne fonctionne plus dans les conditions optimums.[1]

Les modules PV travaillent avec la conversion directe de la lumière à une énergie électrique. La lumière du soleil est un ingrédient nécessaire et efficace. Ils travaillent avec le maximum d'efficacité quant la lumière incidente est perpendiculaire a leurs cellules. Donc, l'efficacité énergétique de ces systèmes dépend du degré d'utilisation et de la conversion du rayonnement solaire. Il y a deux manières pour maximiser le taux d'énergie utile:

En optimisant la conversion et le degré d'absorption, et en augmentant le taux de rayonnement d'incidence en employant les systèmes d'orientation mécanique. Ces systèmes appelés suiveurs solaires ou traqueurs solaires. Les traqueurs solaires sont conçus et construits pour optimiser le rendement de puissance des modules de PV en s'assurant qu'ils sont inclinent vers le soleil à tout moment pendant la journée.

Introduction générale

Les multi systèmes de suiveurs solaires ont été utilisées pour une large application incluant : des cellules solaires photovoltaïques, des concentrateurs solaires et des télescopes.

Dans notre étude nous somme intéresses à la conception et réalisation d'un système de poursuite solaire pour des générateurs photovoltaïques, , Alors nous avons divisé le présent mémoire trois chapitres :

le chapitre 1, nous rappelons les généralités sur l'énergie solaire photovoltaïque ainsi que les principales caractéristiques de fonctionnement d'un système suiveur de soleil.

Le deuxième chapitre sera consacré à la conception d'un système de poursuite solaire et à la modélisation de chaque élément qui constitue le système à savoir le microcontrôleur, les capteurs LDR ,le circuit de puissance L298 et les moteurs à courant continu.

Le chapitre 3, est consacréà la simulation du système suiveur solaire pour mettre en évidence sont bon fonctionnement.

On termine ce travail par une conclusion générale.

Chapitre 1 :

Généralité sur les photovoltaïque et les systèmes suiveurs solaire

1. Introduction :

L'une des solutions partielles à la crise du réchauffement climatique est Réduction des gaz provenant de la combustion d'énergie fossile (combustibles) et utilisation de quantités croissantes d'énergie renouvelable. Connaître la position du soleil dans le ciel à tout moment et en tout lieu dans le cas de l'énergie solaire est nécessaire pour étudier l'énergie interceptée. Les heures de la journée au lever et au coucher du soleil et la trajectoire du soleil dans le ciel permettent d'évaluer certaines grandeurs comme la durée maximale d'ensoleillement, l'irradiante globale. Dans cette partie, nous définirons certaines énergies solaires qui nous aideront à mieux comprendre la problématique de notre sujet.

2. Le soleil :

Le soleil est une étoile gazeuse composée presque d'hydrogène. Elle a un diamètre de 1391 000 km (100 fois le diamètre de la Terre) et une masse d'environ 2,1027 tonnes [2]. Cette source d'énergie, ce sont les réactions thermonucléaires, qui convertissent 564,106 tonnes d'hydrogène en 560,106 tonnes d'hélium parseconde, soit une différencede 4 millionsdetonnes, pour une énergietotalede 36,1022 kWh/m2. L'énergie reçueest d'environ 1,8.1014 kWh/m² [2].

2.1. Le Rayonnement solaire

Rayonnement solaire Le rayonnement émis par le soleil est constitué d'ondes électromagnétiques dont une partie atteint constamment la limite supérieure de l'atmosphère terrestre. Ce rayonnement électromagnétique se situe dans la gamme de longueurs d'onde de la lumière visible (entre 0,4 et 0,75 μm) et du proche infrarouge (au-delà de 0,75 à 4 μm) [3].

Le rayonnement électromagnétique est constitué de "particules" lumineuses appelées photons .L'énergie de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde. L'énergie délivrée par ce rayonnement correspond à un éclairement de 340 W/m². Le bilan énergétique montre que sur cette quantité d'éclairement, environ 100 W/m² sont réfléchis vers l'espace et le reste est absorbé, un tiers par l'atmosphère et les deux tiers par la surface de la Terre [4]

2.2 .Concept préliminaire sur le rayonnement solaire :

Le rayonnement solaire est constitué de photons dont les longueurs d'onde vont de l'ultraviolet (0,2 μm) à l'infrarouge lointain (2,5 μm). Nous utilisons le concept de MA pour représenter la masse d'air afin de caractériser le spectre solaire en termes d'énergie émise. Compte tenu de la distance parcourue par les rayons lumineux, Il est nécessaire d'introduire le concept de masse d'air (MA), qui correspond à la longueur relative du trajet du rayonnement solaire direct à

travers l'atmosphère terrestre. Au sol, le rayonnement global reçu par un avion de toute inclinaison est composé de trois composantes principales [5] :

2.2.1 Rayonnement direct :

Le flux solaire sous forme de rayons parallèles du disque solaire qui n'est pas diffusé par l'atmosphère [5].

2.2.2. Diffusion :

C'est la fraction du rayonnement solaire qui subit de multiples réflexions (dispersion) dans l'atmosphère [5].

2.2.3. Rayonnement réfléchi :

C'est la partie des rayons solaires réfléchie par le sol, ce rayonnement dépend directement de la nature du sol (nuages, sable...). Il est caractérisé par un coefficient de lien de propriété spécifique appelé albédo ( ) 0 1 [5].

2.2.4. Rayonnement global :

Le plan reçoit le rayonnement global du sol, qui est le résultat de la superposition de trois composantes directe, diffuse et réfléchissante [5].

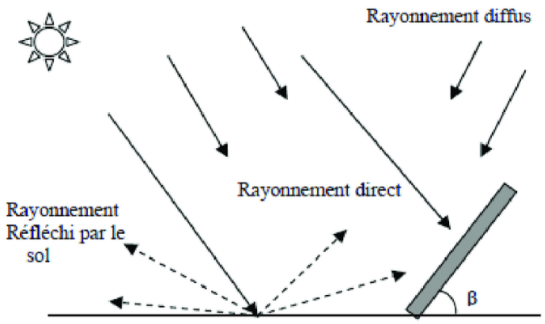


Figure1.1 Les composants du rayonnement solaire.

3. Photovoltaïque Opérations et technologie

Le terme "photovoltaïque" faitréférence au processusphysiquedeconversionde l'énergie lumineuseenélectricitéen transférant l'énergie des photons aux électrons dansunmatériau. Leprincipedu photovoltaïque a étédécouvertparlephysicienfrançais Becquerel en 1839 etexpliquépar Einstein en 1905 (ilaremportéleprix Nobel dephysiquepoursonexplicationen 1921). Le préfixe photo vient du mot grec « phos », qui signifie lumière. "Volt" vient dunomdefamille d'Alessandro Volta (1745-1827), unphysicienquiacontribuéà l'étude de l'électricité. Par conséquent, photovoltaïque (PV) signifie littéralement photovoltaïque [6].

3.1. Principe de fonctionnement :

Des cellules photovoltaïques Une cellule photovoltaïque est une boussole photoélectrique qui convertit l'énergie solaire enélectricité. La structurelaplussimpledudispositifestcomparableàdes photodiodes àbasedematériaux semi-conducteurs, etelleutilise l'effet photovoltaïque, phénomènephysiquepropreà ces matériaux, pourlaconversion d'énergie. LaFigure 1.2montrelastructure d'une cellule photovoltaïque [7].

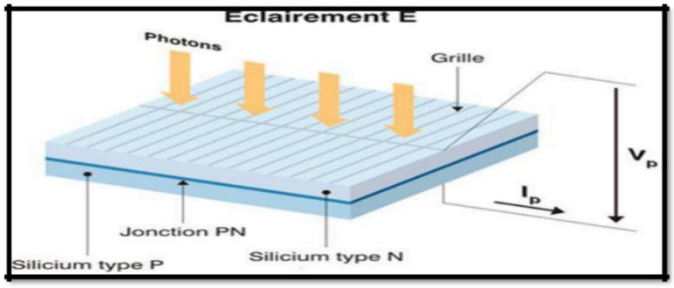


Figure1.2 Structure d'une cellule photovoltaïque

Lorsqu'un matériau semi-conducteur est exposé à la lumière du soleil, les atomes exposés au rayonnement sont "excitée" par les photons constituants la lumière, sous l'action de cette excitation, les électrons des couches électroniques supérieures (appelés électrons des couches de Valence) ont tendance à être "arrachés"[7].

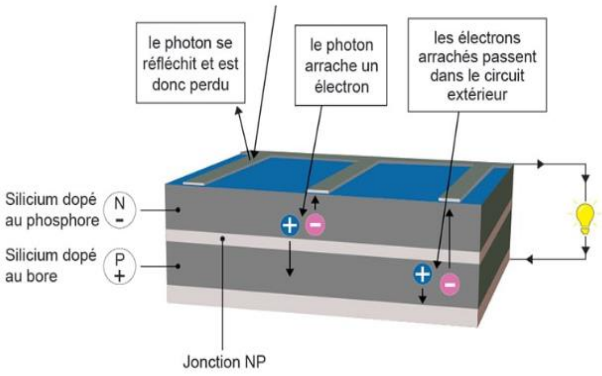


Figure 1.3 Le principe de la Cellule photovoltaïques.

3.2. Historique de l'énergie solaire PV :

Quelques dates importantes dans l'énergie photovoltaïque sont:[8]

date	L'événement principal
1839	Le physicien français Edmond Beckerel découvre l'effet photovoltaïque.
1875	Werner Von Siemens expose devant l'académie des sciences de Berlin un article sur l'effet photovoltaïque dans les semi-conducteurs.
1954	Trois chercheurs américains Chapin, Peason et Prince fabriquent une cellule Photovoltaïque.
1958	Une cellule avec un rendement de 9 % ; les premiers satellites alimentés par des cellules solaires sont envoyés dans l'espace.
1973	La première maison alimentée par des cellules photovoltaïques est construite à L'université de Delaware.
1983	La première voiture alimentée en énergie photovoltaïque parcourt une distance de 4000 Km en Australie.

Tableaux 1.1 Historique de l'énergie solaire PV .

3. 3.Caractéristiques électriques d'une cellule PV :

Les grandeurs caractéristiques principales des cellules solaires sont :[9]

- Le courant de court-circuit **Icc**
- La tension en circuit ouvert **Vco**
- Le facteur de forme **FF**
- Le rendement de conversion d'énergie

3.3.1 Courant de court-circuit Icc :

Ce courant est obtenu en court-circuitant les bornes de la cellule, il croît linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et dépend de la surface éclairée, de la longueur d'onde du rayonnement et de la température.[9]

3.3.2Tension de circuit ouvert Vco :

La tension de circuit ouvert est obtenue quand le courant qui traverse la cellule est nul.[9]

3.3.3Facteur de forme FF :

La puissance fournie au circuit extérieur par une cellule photovoltaïque sous éclairement dépend de la résistance de charge (résistance externe placée aux bornes de a cellule). Cette puissance est maximale (notée **Pm**) pour un point de fonctionnement **Pm** (**Im ,Vm**) de la courbe courant-tension . Le facteur de forme est défini par la relation suivante :[9]

$$FF = \frac{Pm}{Vco.Icc} = \frac{Vm.Im}{Vco.Icc}. \qquad (1.1)$$

3.3.4. Rendement de conversion η :

Le rendement **η**, des cellules solaires désigne le rendement de conversion en puissance. Il est défini comme étant le rapport entre la puissance maximale délivrée par la cellule et la puissance lumineuse incidente **Pin**

$$\eta = \frac{Pm}{Pin} = \frac{FF.Vco.Icc}{Pin}. \qquad (1.2)$$

Pin : la puissance incidente est égale à la puissance solaire **P** solaire (**P** solaire= 100 mW/cm^2).

Ce rendement peut être amélioré en augmentant le facteur de forme, le courant de court-circuit et la tension en circuit ouvert.

A température et éclairage constants, le rendement d'une cellule solaire dépend de la charge dans le circuit électrique. En circuit ouvert (Rc = ∞, I = 0, V = Vco) ou en court-circuit (Rc = 0, I = Icc,V= 0), aucune énergie n'est transmise à l'extérieur. Entre ces deux extrêmes, il existe une valeur optimale **Ropt** de la résistance de charge **Rc** pour laquelle la puissance fournie par la cellule solaire à la résistance de charge est maximale notée **Pm** .[9]

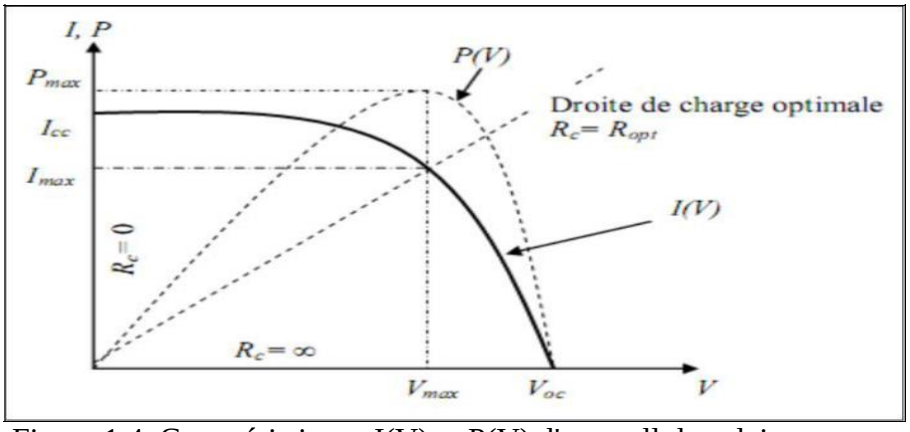


Figure 1.4. Caractéristiques I(V) et P(V) d'une cellule solaire.

3. 4.Les types de cellules PV :

La cellule photovoltaïque est composée d'un matériau semi-conducteur qui absorbe l'énergie lumineuse et la transforme directement en courant électrique. La production des cellules photovoltaïques nécessite de l'énergie, et on estime qu'une cellule photovoltaïque doit fonctionner environ 2 à 3 ans suivant sa technologie pour produire l'énergie qui a été nécessaire à sa fabrication [10].

A. Cellules au silicium monocristallin :

Les cellules au silicium monocristallin illustré sur la figure I.13 offrent le meilleur rendement parmi les panneaux solaires disponibles dans le commerce : entre 16 à 19%.Il faudra donc moins de cellules pour atteindre la puissance désirée, mais comme le silicium monocristallin est aussi le plus cher, son seul avantage est finalement d'utiliser une surface réduite on obtient une puissance de 120 à 190 Wc /m².[7]

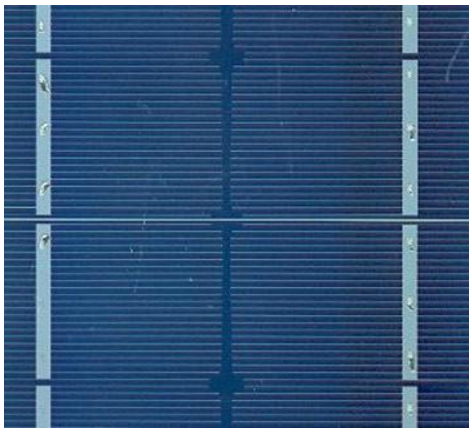


Figure 1.5.Cellule photovoltaïque monocristalline

B. Cellules au silicium poly cristallin (ou multi cristallin) :

Il est constitué de petits grains de silicium cristallin. Les cellules à base de silicium poly cristallin sont moins efficaces que les cellules à bas de silicium monocristallin. Les joints de grains dans le poly silicium peuvent entraver le flux d'électrons et réduire la puissance de sortie de la cellule. Les modelés commerciaux de cellules en poly silicium ont des rendements de conversion photovoltaïques compris entre 11% et 15%.[7]

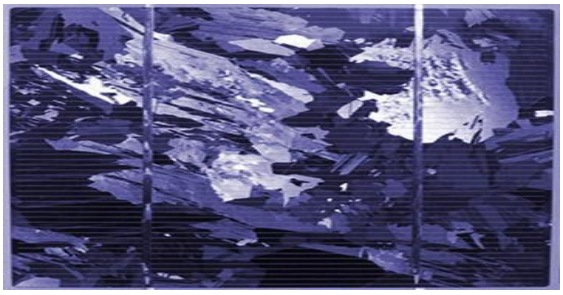


Figure 1.6. Cellule photovoltaïque poly cristalline.

C. Cellules au silicium amorphe :

La cellule photovoltaïque amorphe est fabriquée à l'aide de gaz de silicium. Ce gaz peut ensuite être projeté sur divers supports, tels que des plaques de verre, des plastiques souples ou encore des métaux, par un procédé d'évaporation sous vide. Les cellules sont gris foncé.

Il s'agit d'une batterie peu coûteuse que l'on trouve dans la plupart des objets du quotidien alimentés par l'énergie solaire, tels que les calculatrices et les montres à énergie solaire. Cette technique est pratique car elle peut être utilisée sur de nombreux supports et fonctionne par faible ensoleillement. Cependant, le rendement de ces cellules est limité (environ 5 à 7 %, soit environ 15 m² pour obtenir 1 kWc).[7].

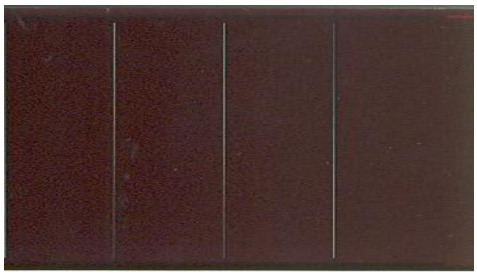


Figure 1.7.Cellule photovoltaïque amorphe

3.5. Avantage et inconvénient de l'énergie PV :

Le tableau (1.2) énumère les avantages et les inconvénients des technologies de cellules photovoltaïques les plus couramment utilisées [10].

Type	**Silicium_mono cristallin**	**Silicium poly cristallin**	**Amorphe**
Durée de vie	35 ans	35 ans	<10 ans
Avantage	• Bon rendement en soleil direct.	• Bon rendement en soleil direct (moins que le monocristallin mais plus que l'amorphe).	• Souplesse. Prix moins élevé que le cristallin • Bon rendement en diffus.
Inconvénient	• Mauvais rendement En soleil diffus(temps nuageux…). • Prix élevé	•Mauvais rendement en soleil diffus (temps nuageux..) • Prix élevé	• Mauvais rendement Pleine soleil

Tableau .1.2. Les avantages et les inconvénients des technologies de cellules photovoltaïques.

3.6. Présentation et modélisation du panneau solaire :

Un module PV se compose d'un certain nombre de cellules solaires connectées en série et en parallèle pour obtenir les niveaux de tension et de courant désirés. Une cellule de panneau solaire est essentiellement une jonction de semi-conducteur P-N. Lorsqu'il est exposé à la lumière, un courant continu est généré.

Pour simplifier, le modèle à une seule diode figure 1.8 est utilisé dans ce document. Ce modèle offre un bon compromis entre simplicité et précision avec la structure de base. Le circuit équivalent du modèle général se compose d'un photo-courant(Iph), d'une diode, d'une résistance parallèle (Rp) exprimant un courant de fuite et d'une résistance série (Rs) due aux contacts entre les semi-conducteurs et les parties métalliques. [11]

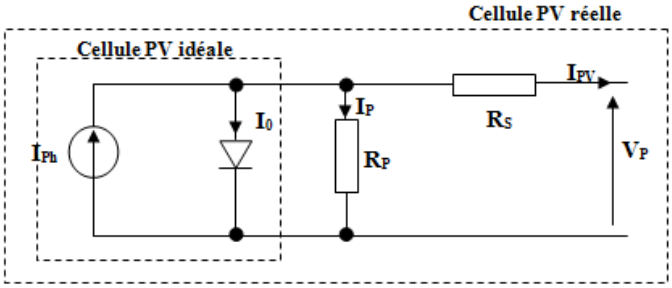


Figure 1.8. Modèle équivalent d'une cellule PV

3.6.1. Equations de la cellule PV

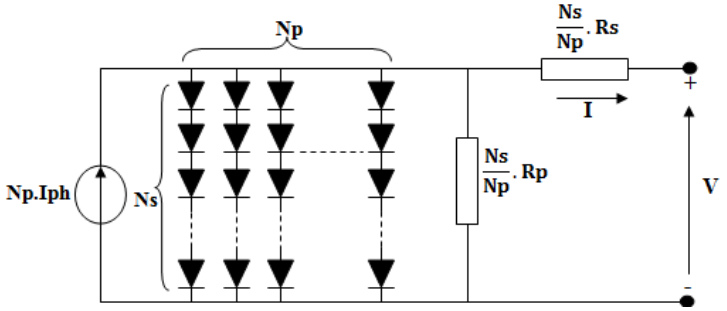


Figure 1.9. Modèle général d'un panneau photovoltaïque.

L'équation terminale pour le courant et la tension d'un module PV devient la suivante :[11]

$$I = Np.Iph - Np.Is\left[e^{\frac{q(\frac{v}{Ns}+\frac{IRs}{Rp}}{K.Tc.A}} - 1\right] - \frac{\frac{Np.v}{Ns}+IRs}{Rp}. \qquad (1.3)$$

4. Système de poursuit solaire :

4.1. État de l'art des suiveurs solaires :

Les premières applications des suiveurs solaires remontent aux années 1750, lorsque le principe reposait sur l'utilisation d'héliostats. La rotation de l'héliostat est assurée par un méca-

nisme d'horlogerie. La première mention du système se trouve dans une publication de 1742 du physicien néerlandais Willem Jacobs Gravesande.

Les champs d'héliostats orientent le mouvement du soleil en faisant converger les rayons lumineux vers le même point, concentrant ainsi la lumière entrante tout au long de la journée grâce à l'utilisation de réflecteurs. Ce principe se retrouve dans toutes sortes d'installations utilisant l'énergie solaire, en particulier les centrales solaires à concentration appelées champs d'héliostats. Un exemple en France est la centrale solaire Thémis qui fait l'objet de nouvelles expérimentations depuis 2007 après avoir fonctionné de 1983 à 1986.[12]

4.2. Principes fondamentaux des suiveurs solaires :

Un suiveur solaire est un dispositif qui est utilisé pour aligner un panneau PV avec le soleil. L'efficacité est en particulier améliorée dans les heures de matin et d'après-midi où un panneau fixe fera face loin des rayons du soleil. Les dépenses initiales d'un système de suiveur solaire dépendront du type et de la taille du tracker qui doit être employé. Un système bien conçu qui utilise un traqueur aura besoin de moins de panneaux pour augmenter l'efficacité, ayant pour résultat une réduction de coûts initiaux d'installation [13].

4. 3.Les types de suiveurs solaires

On distingue principalement deux grandes familles de suiveurs solaires : les passifs et les actifs qui comportent les suiveurs mono-axe et double axe.[13]

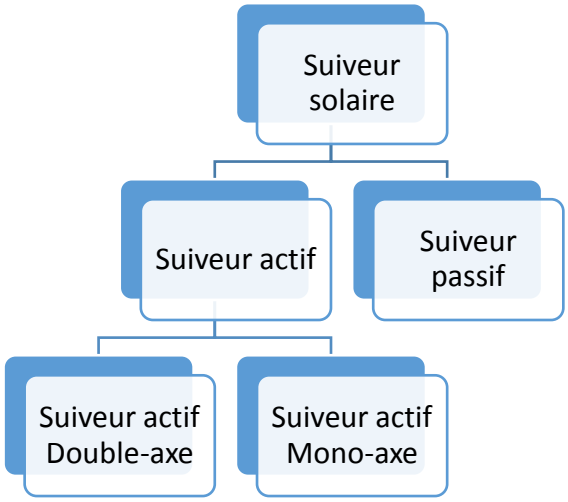


Figure 1.10 Types de suiveurs solaires

4.3.1. Suiveurs solaire passif :

Un suiveur solaire passif est constitué dans son architecture de deux tubes en cuivre montés sur les côtés Est et Ouest du capteur. Le tube de matière cuivre (figure1.12) est rempli de

fluides chimiques capables de se vaporiser à basse température. En effet, lorsque l'exposition au rayonnement solaire augmente, la température d'un côté du panneau augmente et le composé dans le tube en cuivre se vaporise.

La partie gazeuse du composé occupe un plus grand volume interne, et sa partie liquide est décalée vers le côté ombragé. Cette opération de transfert de masse ajuste l'équilibre du capteur en le faisant tourner vers la source des rayons solaires. Ce type de suiveur ne consomme aucune énergie pour le repositionnement du panneau [14]

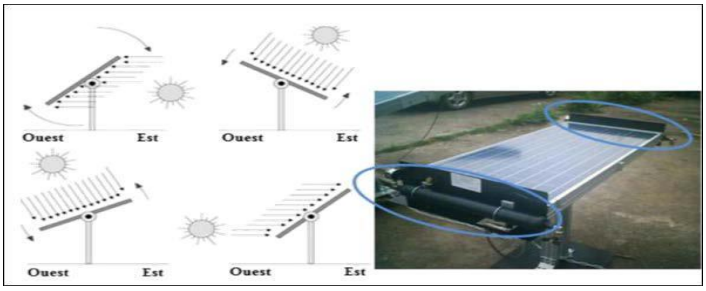


Figure 1.11. Suiveur solaire passif.

4.3.2. Suiveur solaire actif :

Les suiveurs solaires actifs utilisent le principe de la détection de lumière, suivant la trajectoire solaire en cherchant à optimiser au maximum l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur leur surface. Il existe deux types dans cette famille : les suiveurs mono-axe et double axe. L'avantage de ces derniers par rapports aux suiveurs passifs c'est qu'ils représentent une meilleure précision de suivi et ne nécessitent aucune intervention manuelle pour les ajuster.[15]

A. Suiveur solaire mono-axe

Comme son nom l'indique, le suiveur solaire tourne autour d'un axe simple. Le trajet suivi par cet axe est souvent en azimut, c'est-à-dire d'Est en Ouest au fil de la journée. L'angle d'inclinaison du panneau est fixe, il est placé selon l'angle le plus propice à recevoir le maximum de rayons du soleil durant toute l'année. Il est placé selon la latitude du lieu où est disposé le capteur. Ainsi, l'angle d'inclinaison du panneau reste constant mais son azimut varie au cours de la journée. Le système de poursuite mono-axial est la solution la plus simple et la plus utilisée.

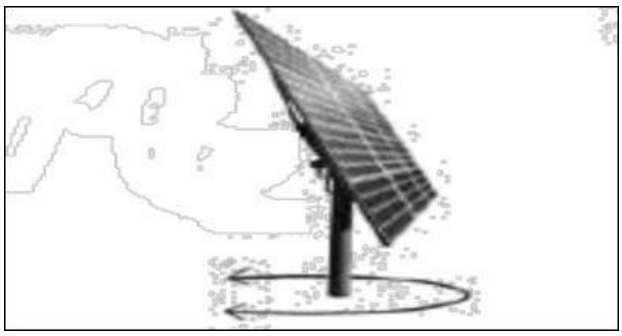


Figure 1.12. Panneaux solaires avec système de poursuite mono-axiale.

B. Suiveur solaire double axe :

Contrairement au précédent, ce suiveur solaire possède deux axes ce qui lui permet de suivre les mouvements en azimut et en inclinaison au cours de la journée. Ainsi, le capteur reste constamment orienté vers le soleil. Ce types de suiveur est très imposant et fournit de meilleures performances par rapport au suiveur mono-axe.[16]



Figure 1.13. Panneau solaire avec système de poursuite bi-axiale

5. Méthodes et techniques de poursuites :

La technologie des systèmes de poursuites actuels sont différentes d'un concepteur à un autre.[14]

Il existe deux grandes méthodes pour assurer le suivi:

5.1. La méthode des capteurs de lumière

Cette méthode est basée sur des capteurs de lumière ou photorésistances pour déterminer la position du soleil à tout moment, permettant ainsi un suivi instantané et notamment une orientation optimale du panneau.

Dans ce type de techniques, la poursuite s'effectue indépendamment de la zone dans laquelle le système sera situé. [14]

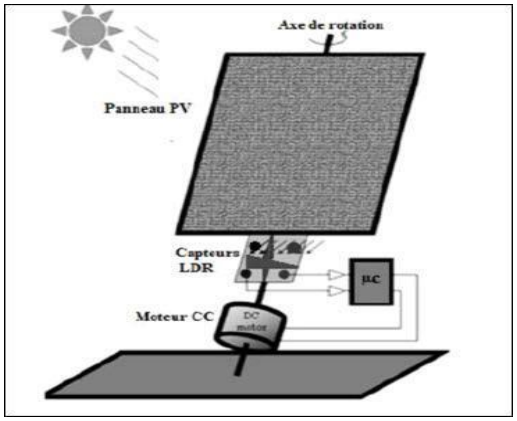


Figure 1.14.Suiveur basé sur des capteurs de lumière.

5.2. La méthode astronomique :

L'énergie solaire reçue par des surfaces extérieures à l'atmosphère est entièrement régie par les lois de l'astronomie et de la géométrie. Ce dernier concerne la latitude du lieu, la déclinaison solaire, l'heure de la journée et l'orientation de la surface réceptrice. La position du soleil dépend de l'heure solaire et du jour de l'année. il se manifeste sous différents angles.

Le système nécessite comme entrées, lors de l'installation, la latitude et la longitude du site, la date du jour et l'heure.[14].

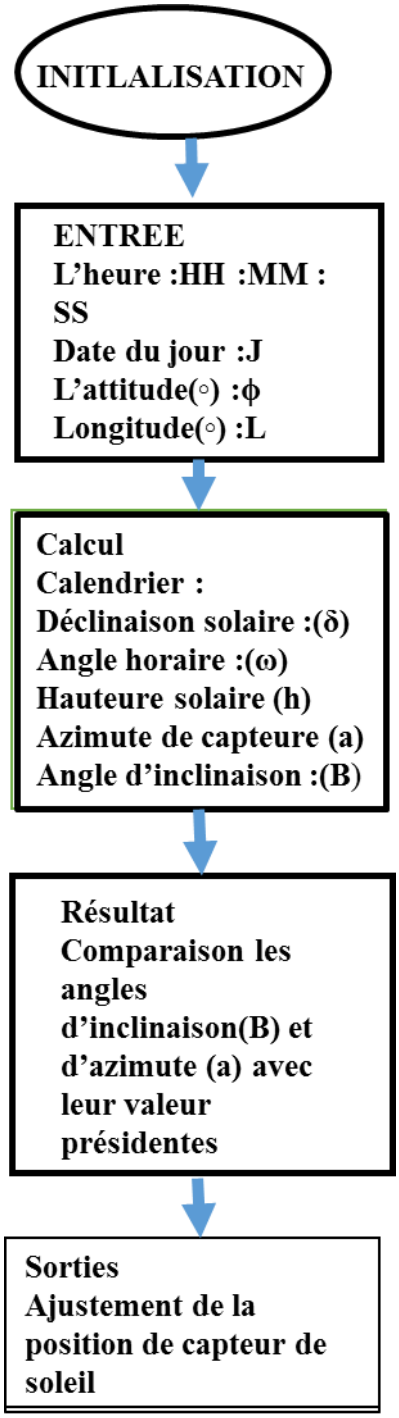


Figure 1.15 Organigramme de programme La méthode astronomique .

5.3. Les étapes de fonctionnement

- La première étape : Il faut saisir l'heure, la date du jour, la latitude et la longitude du lieu considéré.
- La deuxième étape : On calcule d'abord le calendrier (temps solaire vrai, temps du lever et du coucher du Soleil et numéro du jour). Puis, à partir du calendrier nous calculons touts les angles géométriques : l'angle d'inclinaison du panneau par rapport au plan horizontal qui permet d'assurer le mouvement vertical du panneau et l'angle d'orientation horizontale du panneau par rapport au sud (ou l'azimut)).
- La troisième étape : le système fait la comparaison des deux derniers angles avec leurs valeurs précédentes pour ajuster la nouvelle position du moteur horizontal (angle d'azimut) et du moteur vertical (angle d'inclinaison).[14]

6. Conclusion :

Le photovoltaïque s'avère prometteur en raison de ses qualités intrinsèques, ses frais de fonctionnement sont très réduits, ses exigences d'entretien sont limitées, il est fiable, silencieux et relativement facile à installer. De plus, dans certaines applications autonomes, le photovoltaïque est très pratique compare à d'autres sources d'énergie, en particulier dans les endroits difficiles d'accès et peu rentables pour l'installation de lignes électriques traditionnelles.

Chapitre 2 :

Description du système de poursuite solaire

1. Introduction :

Les systèmes d'énergie photovoltaïque connaissent aujourd'hui un essor fulgurant. Introduit il y a un peu plus de 30 ans pour l'alimentation électrique de petites charges dans des sites isolés, les systèmes photovoltaïques côtoient maintenant les centrales électriques dans les villes et les cités. Des installations du kW à quelques MW sont maintenant couramment utilisées.

Mais dans la grande majorité des cas, le générateur photovoltaïque est fixe. L'énergie solaire incidente sur les modules n'est donc pas optimale en fonction de la variation du temps dans la journée et par rapport aux chargements des saisons.

Des études théoriques montrent que la quantité d'énergie fournie par une cellule photovoltaïque en mode suiveur de soleil (trackers) est de 30 % à 40 % supérieure à celle qui est fixe (orientée plein Sud et inclinée d'un angle égal à la latitude).

C'est pourquoi, il faut exploiter le maximum de puissance qu'ils peuvent générer en réduisant au maximum les pertes énergétiques reçues du soleil.

Des études ont prouvé que le rendement optimal s'obtient si les cellules sont placées perpendiculairement par apport au rayon solaire incident. Ainsi et pour garder cette Perpendicularité aussi longtemps que possible, nous avons opté pour un système suiveur solaire.[16]

2. Les systèmes suiveurs de trajectoire solaire :

Il y a deux manières pour maximiser le taux d'énergie utile en optimisant la conversion et le degré d'absorption, et en augmentant le taux de rayonnement d'incidence en employant les systèmes d'orientation mécanique. Ces systèmes appelés suiveurs solaires aussi « trackers » permettent d'orienter les modules tout au long de la journée.

Parmi les technologies mobilisables utilisées pour résoudre le problème de la poursuite de la trajectoire solaire, deux types de solutions existent :

- Les traqueurs programmables, nécessitant des calculs prévisionnels de la trajectoire solaire, pour les réaliser il faut avoir un matériel sophistiqué (micro ordinateur, carte d'acquisition de données ……etc.)
- Les traqueurs à base des capteurs, nécessitant la détection en temps réel de la position solaire

Le fonctionnement du suiveur à capteur ne demande:

- Aucun programme, aucun calcul de trajectoire, aucune donnée informatique ;

- Aucune liaison avec un ordinateur gourmand en énergie, ni mise en réseau ;
- Aucun potentiomètre de mesure d'angle du panneau.

Le but de notre projet est de concevoir et de réaliser un suiveur solaire dédié au photovoltaïque basé sur une analyse comparative des tensions captées aux bornes de photorésistances, LDR (Light Dependent Resistor), une commande via un microcontrôleur permettra d'actionner les moteurs qui effectueront la rotation nécessaire pour le maintien du panneau solaire perpendiculairement aux rayons lumineux.[16]

3. Description du système de poursuite

Le système de poursuite que nous utilisons se compose d'un microcontrôleur(PIC) pour le traitement des données et d'un capteur d'intensité lumineuse(LDR) qui commande les moteurs (MCC) pour effectueront la rotation nécessaire pour le maintien du panneau solaire perpendiculairement aux rayons lumineux. Le circuit de puissance est la partie intermédiaire qui relie les moteurs et le microcontrôleur.

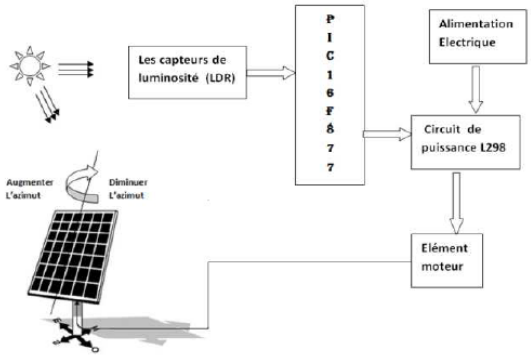


Figure 2.1 .Schéma bloc du système de poursuite solaire.

4. Description des composants électroniques :

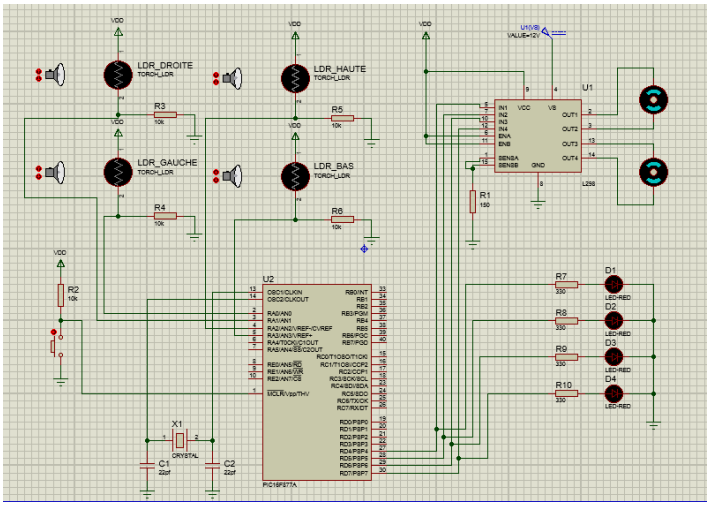


Figure 2.2 Schéma électronique du système de poursuite solaire

4.1. Le microcontrôleur :

Un microcontrôleur est une unité de traitement de données de type microprocesseur contenant tous les composants d'un système informatique, comme le microprocesseur, les mémoires et les périphériques (ports, Temporisateurs, CAN……etc).

Chaque fabricant a sa (ou ses) famille(s) de microcontrôleur. Une famille se caractérise par un noyau commun le microprocesseur et son jeu d'instruction [17]

Il existe plusieurs familles des microcontrôleurs parmi eût on peut cités :

- Atmel : AT; familles AT89Sxxxx, AT90xxxx, …
- Motorolla : famille 68HCxxx, …
- Microship : PIC ; familles 12Cxxx, 16Cxxx, 16Fxxx, 18Fxxx, …
- Intel : famille 80C186XX
- STMicroelectronics : famille STX
- AnalogDevices : famille ADuC

Dans notre travail nous nous concentrerons sur la famille Microchip PIC [18]

- Le Microcontrôleurs PIC (contrôleurs d'interface programmables) est un circuit électronique qui peut être programmé pour effectuer un large éventail de tâches.

- Le PIC est un composant RISC (réduction de l'instruction jeu de construction), ou des composants avec un jeu d'instructions réduire.

- Les microcontrôleurs PIC sont apparus en 1993.[19]

4.1.1.La Famille de PICs :

La famille de processeurs PIC 8 bits est actuellement divisée en 3 grandes catégories

➢Base-Line : Ils utilisent des mots d'instructions de 12 bits (ex : PIC 12F509).

➢Mid-Range : Ils utilisent des mots d'instructions de 14 bits (ex : PIC 16F84, pic 16F877).

➢High-End: Ils utilisent des mots d'instructions de 16 bits (ex : PIC 18F4410).).[19]

4.1.2. Avantages des microcontrôleurs PIC :

L'utilisation de microcontrôleurs présente plusieurs avantages :

- Un PIC est un microcontrôleur qui intègre plusieurs composants dans un seul boîtier, réduisant ainsi la taille du matériel et des circuits imprimés.

- L'un des résultats de cette intégration est que l'agencement du circuit imprimé est simplifié, car il n'est plus nécessaire de transporter l'adresse et le bus de données d'un autre composant (comme la mémoire).
- L'utilisation de microcontrôleurs réduit les coûts à plusieurs niveaux :

➢ Plus économique que les autres circuits qui le remplacent.
➢ Minimiser et réduire les coûts de main-d'œuvre.
➢ Des applications qui ne peuvent pas être créées avec d'autres composants peuvent être créées.
➢ Augmentation de la vitesse de traitement des informations et donc augmentation du temps d'exécution [20].

4.1.3. Identification d'un PIC

Pour identifier un PIC, nous utilisons simplement son numéro. 2 premiers chiffres Indique la catégorie ICP et 16 indique ICP de milieu de gamme.

Puis parfois une lettre (L)apparaît : cela indique que le PIC peut être utilisé avec une plage de tension plus tolérante. Ensuite on trouve :

- Lalettre(c)indique que la mémoire programme est EPROM ou plus rarement EEPROM.
- Les lettres(CR)indique une mémoire de type ROM.
- La lettre(F) signifie mémoire de type FLASH.[21]

4.2. Le choix d'un PIC

Le choix d'un PIC est directement lié à l'application envisagée. Il faut dans un premier temps déterminer le nombre d'entrées/sorties nécessaires pour l'application. Ce nombre d'entrées/sorties nous donne une première famille de PIC.
Il faut ensuite déterminer si l'application nécessite un convertisseur Analogique/Numérique ce qui va centrer un peu plus vers le choix d'une famille de PIC.
La taille de la RAM interne et la présence ou nom d'une EEPROM pour mémoriser des données est également important pour l'application souhaitée.
La longueur de programme de l'application détermine la taille de la mémoire programme du PIC recherché.
Pour notre projet nous avons choisi le PIC 16F877A pour les avantages suivants :

- Le 16F877A est un microcontrôleur puissant qui peut faire beaucoup en raison de sa capacité de mémoire de programmation suffisamment grande (grande en termes de projets de détection et de contrôle) 8k mots et 368 octets de RAM. C'est suffisant pour de nombreux projets différents.
- Le microcontrôleur pic 16f877a 40 broches ce qui facilite l'utilisation des périphériques car les fonctions sont réparties sur les broches. Il y a suffisamment de broches pour faire le travail, il est plus facile de décider quels périphériques externes connecter sans trop s'en soucier [22] .
- Le PIC 16F877A est un microcontrôleur de Microchip qui appartient à la gamme de (16) a une mémoire de programme en Flash de type 877 (F) et est capable de accepte une fréquence d'horloge maximale de 20 MHz [19].



Figure 2.3. PIC 16F877A

Le rôle du PIC 16F877A dans le système suiveur solaire est de convertir le signal analogique (tension) des LDR en un signal numérique. Par la suite Il va comparer la tension capté avec une tension de référence et ensuite il envoie la commande du sens de rotation aux moteurs.
Egalement, il assure d'autres fonctions, dont :
Le contrôle des mouvements mécaniques du système en limitant les angles de rotation (0° à 200° sur l'horizontal et 0° à 90° sur la verticale) .
L'orientation du panneau en fin de journée vers la position de départ ou de démarrage du système.

4.2.1. Caractéristiques de PIC 16F877A

Ci-dessous un tableau récapitulatif des principales caractéristiques du 16F877A.

Caractéristiques	16F877A
Broches	40
E/S max	33
Flash	8 KO
E²PROM	256 KO
CAN	7
PWM	2-10 BITS
TIMER	3
Comparateurs	2
Interruption	13
Oscillateur	20 MHz MAX
Port série	USART/SS

Tableurs 2.1 .Caractéristiques de PIC 16F877A.

4.2.2. Brochage externe

La figure ci-dessous montre l'architecture externe du PIC16F877A.

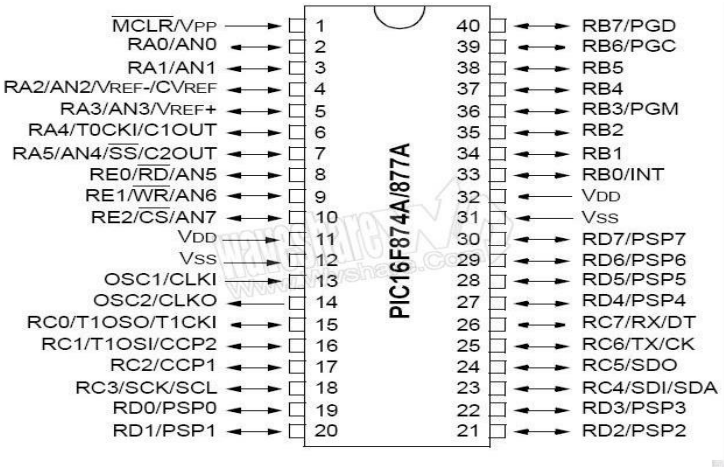


Figure 2.4. Brochage du PIC16F877A

- Le boîtier du PIC 16F877 représenté sur la Figure (2.4) comprend 40 broches : 33 broches E/S, 4 broches d'alimentation, 2 broches d'oscillateur et une broche de réinitialisation (MCLR).

- La broche MCLR est utilisée pour initialiser le PIC à la mise sous tension, réinitialiser externe, chien de garde et en cas de chute de tension d'alimentation.

- Les broches VDD et VSS sont utilisées pour alimenter le PIC. Nous remarquons que nous avons 2 connexions : "VDD" et 2 connexions "VSS". La présence de ces 2 Les broches sont expliquées pour une raison, qui inclut la prévention de la dissipation de la chaleur. ce Le courant délivré dans le PIC est loin d'être négligeable car il y a beaucoup Les E/S sont disponibles [23]

4.2.3. Architecture Interne

La figure (2.5) présente l'architecture interne de PIC16F877A

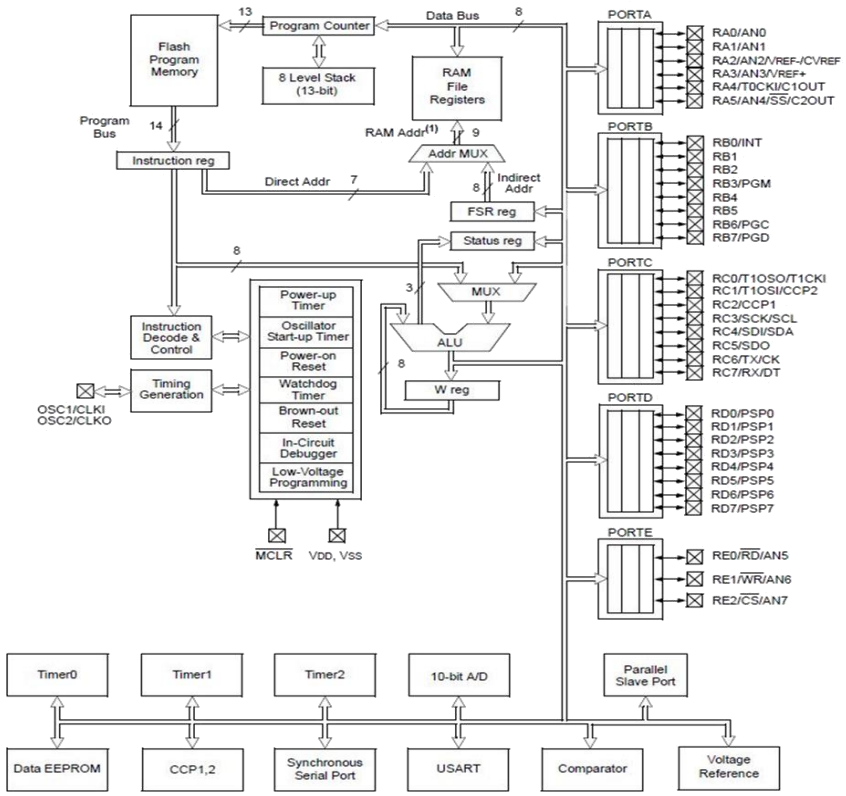


Figure 2.5. Architecture Interne du PIC16F877A

Le PIC 16F877A possède Cinque ports d'entrée/sortie figure (6) :

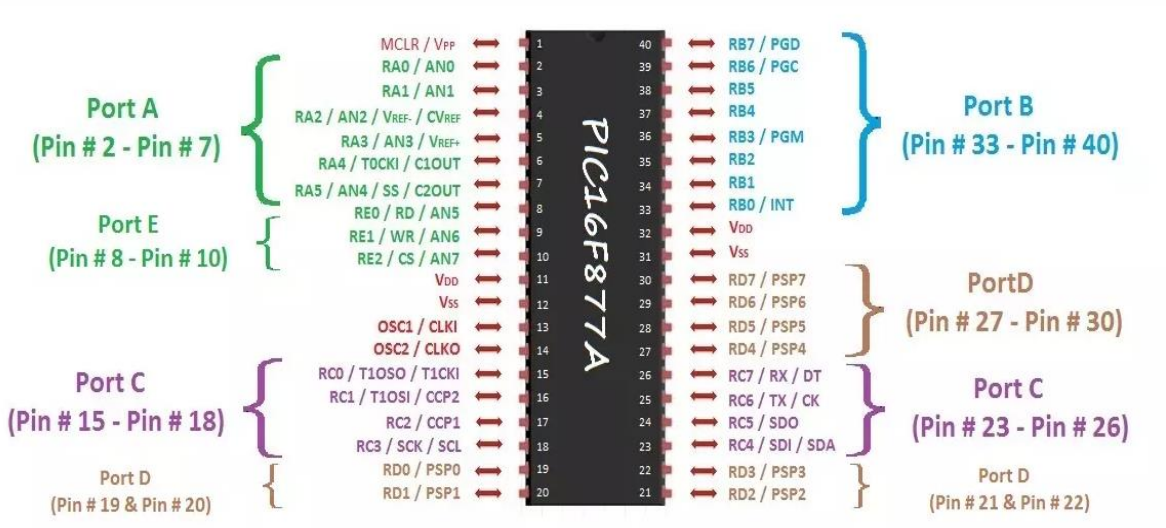


Figure 2.6. Les ports de PIC16F877A

La structure interne d'un microcontrôleur comprend généralement :

- Unité de calcul et de contrôle (CPU).
- Mémoire de données (RAM, EEPROM).
- Mémoire programme (ROM, PROM, EPROM, EEPROM,FLASH).
- Compteur/timer (timer) pour générer ou mesurer des signaux avec une grande précision temporelle.
- Interface parallèle pour connecter l'entrée/la sortie.
- Interface série (synchrone et asynchrone) pour communiquer avec d'autres unités. Il peut également avoir :
- Chien de garde pour les programmes de surveillance.
- Sortie PWM (Pulse Width Modulation) pour la modulation d'impulsions.
- Convertisseurs analogique-numérique et numérique-analogique (ADC/DAC) pour le traitement du signal analogique[24].

4.3.Les capteurs LDR :

Une photorésistance est un composant dont la valeur ohmique dépend de la lumière à laquelle il est exposé. Il est également connu sous le nom de LDR (Light Dependent Resistor). Le but principal des photorésistances est de mesurer l'intensité lumineuse (photographie, systèmes de détection, de comptage et d'alarme, etc.). Elle est forte Concurrente de la photodiode, nous l'avons choisie dans notre projet en raison de son temps de réponse beaucoup plus court. Les matériaux utilisés sont généralement des sulfures ou du séléniure de cadmium, qui se comportent comme des semi- conducteurs.[25]

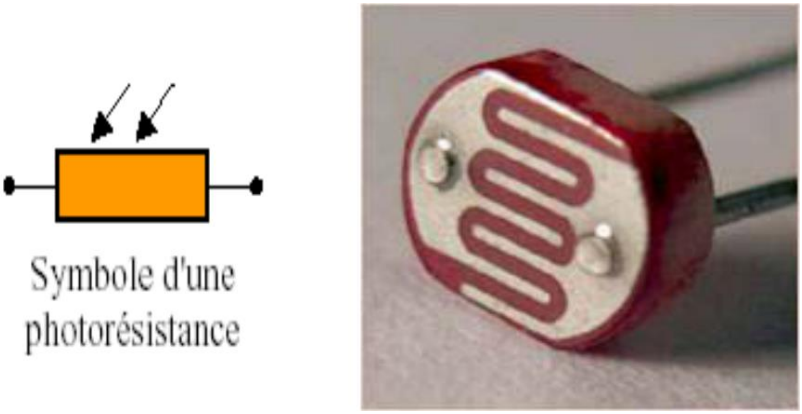


Figure 2.7 Capteur LDR.

4.3.1. Principe de fonctionnement :

Un cristal à semi-conducteur à basse température contient peu d'électrons libres. La conductivité du cristal est très faible, proche de celle d'un isolant. Lorsque la température du cristal augmente. De plus en plus d'électrons qui étaient immobiles dans les liaisons covalentes s'échappent et peuvent participer à la conduction.

A température ambiante si le même cristal semi-conducteur est soumis à une radiation lumineuse, l'énergie apportée par les photons peut suffire à libérer certains électrons utilisés dans les liaisons covalentes entre atomes du cristal. Plus le flux lumineux sera intense, plus le nombre d'électrons libres pour assurer la conduction sera grand, ainsi la résistance de la LDR est inversement proportionnelle à la lumière reçue. La sensibilité dépend de la fréquence de la radiation lumineuse. Pour convertir cette variation de la lumière en une tension en utilise le circuit diviseur de tension.

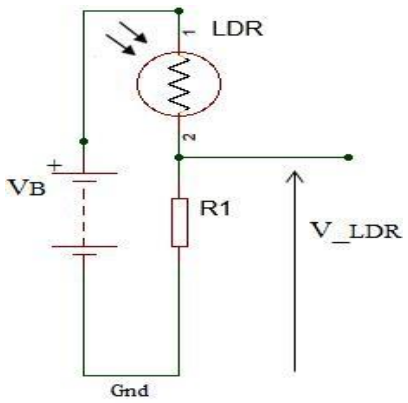


Figure 2.8.Circuit équivalent du capteur LDR utilisé.

Tension délivrée par le capteur est donnée par la relation :

$$Vldr = Vb\frac{R1}{R1+Rldr} \quad (2.1)$$

Où :

VB : tension batterie (V).

R-LDR : résistance de la LDR (Ω).

Dans notre application, le principe utilisé pour la poursuite du soleil à deux axes (l'un verticale et l'autre horizontale) repose sur l'exploitation du déséquilibre créé entre quatre LDR dans une lunette disposée en croix et optiquement isolées entre elles de manière à ce que leur éclairement ne soit identique que si la lunette est pointée vers le soleil. Afin de traiter ce signal on a utilisé un diviseur de tension pour chaque LDR comme la montre la figure (2.9)Circuit équivalent du capteur LDR utilisé.

En fonction de la valeur du déséquilibre et de son sens les moteurs son actionné pour orienté les panneaux photovoltaïques verticalement ou horizontalement.

4.4. Circuit de puissance L298 :

Le circuit de puissance est la partie intermédiaire qui relie le moteur et le microcontrôleur. Le PIC génère en sortie 4 signaux. Pour piloter les deux moteurs à courant continu du suiveur solaire dans les deux sens et varier leur vitesse, nous avons eu recours à un circuit de puissance L298 possédant un double pont en H.Chaque pont prend en charge un enroulement du moteur

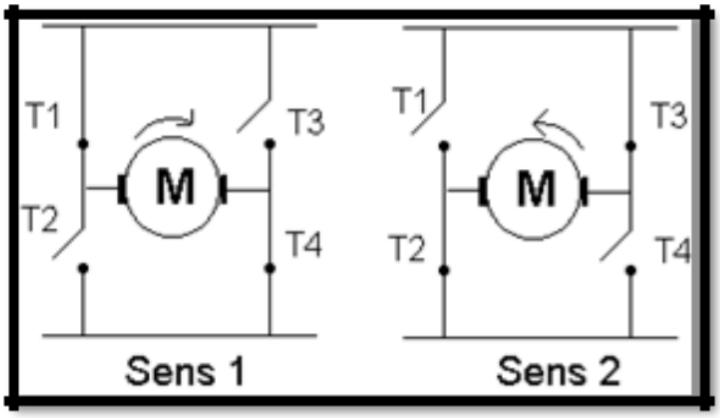


Figure 2.9. Variation de sens du moteur par pont en H.

4.4.1. Caractéristiques et spécifications du L298 :

- La tension d'alimentation de fonctionnement est jusqu'à 46 V (plage de + 5 V à + 46 V)
- Le courant continu total est jusqu'à 4 A (2 A par canal)
- La tension d'entrée logique est jusqu'à 1,5 V
- Haute immunité au bruit
- Entrées contrôlées TTL
- La dissipation de puissance est de 25W
- Basse tension de saturation
- Protection contre la surchauffe
- La température de fonctionnement varie de -23°c à – 130°c.
- La température de stockage varie de -40°c à 150°c.[26]

4.4.2. Configuration et description des broches L298 :

Le circuit intégré L298 est un circuit intégré à 15 broches. La configuration des broches et l'image réelle du L298 IC sont illustrées dans la figure ci-dessous :

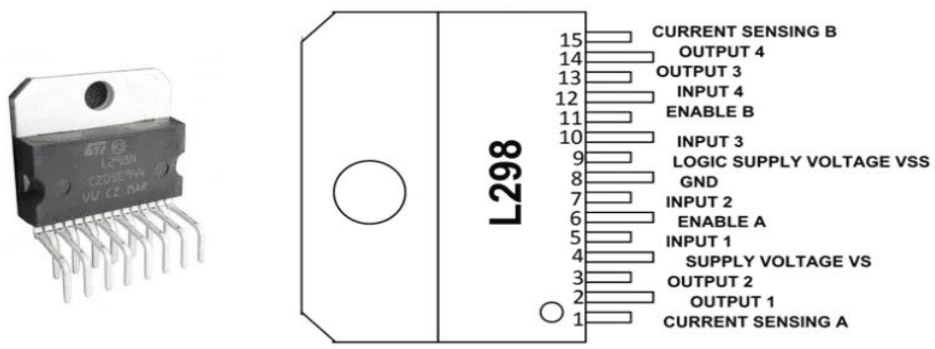


Figure 2.10double driver à pont complet .

Ce circuit intégré comprend des ponts doubles tels que le pont en H A et le pont en H B.

4.3.3. Fonctionnement de L298 :

Le circuit intégré de commande de moteur à double pont en H L298 a de multiples applications. Il est généralement utilisé pour contrôler la direction du moteur ainsi que la vitesse du moteur. Il est applicable dans différents domaines tels que la robotique, l'embarqué, etc.

- Il est utilisé dans les applications où un pilote de moteur haute puissance est requis. Étant donné que les microcontrôleurs fonctionnent avec très peu de tension et de

courant, le circuit intégré moteur L293 est préféré pour les applications haute tension et courant.

- Il est essentiellement utilisé dans les applications où le pont en H est utilisé. c'est-à-dire dans les applications basées sur un pont en H.

4.5. Les moteurs à courant continu:

Dans notre projet, nous avons utilisés deux moteurs à courant continu de faible puissance afin de limiter la consommation. Un pour la position horizontal et l'autre pour la position verticale. Les deux moteurs sont pilotés par le circuit de puissance L298.

4.5.1. Le principe de fonctionnement des moteurs à courant continu:

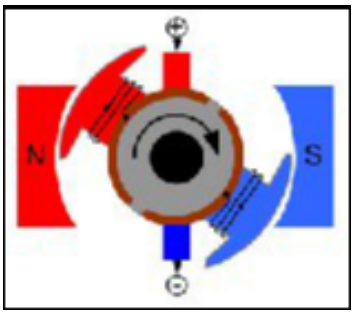


Figure 2.11. Représentation schématique d'une machine à courant continu bipolaire

L'inducteur (le stator) crée un champ magnétique fixe B. Ce stator peut être un aimants permanents où un électro-aimant.

L'induit (ou rotor) porte un bobinage parcourus par un courant continu (alimentation du moteur), les spires de bobinage, soumises à des forces (forces de Laplace), entraînent la rotation du rotor.

Cette rotation engendre une variation du flux du champ magnétique à travers chaque spire, ce qui crée une f.é.m. qui sera redressée par l'ensemble {collecteur + balais}.

La valeur moyenne E de cette f.é.m. est proportionnelle à la vitesse angulaire de rotation Ω du rotor.

$$E = K.\phi.\Omega. \qquad (2.2)$$

K : la constant de la machine.

Φ : le flux du champ magnétique créé par l'inducteur à travers une spire.

ϕ= B*S Wb (weber).

Ω : est la vitesse angulaire de rotation rad.[27]

4.6 Description des composants mécaniques utilisés

Panneaux photovoltaïques Comme le montre la figure (2.12), quatre capteurs LDR entourés de noir sont placés, ainsi qu'une base qui contient les composants mentionnés ci-dessus.

De plus, l'axe horizontal tourne d'est en ouest, ce qui permet au jour de suivre le soleil, du lever au coucher du soleil. Par contre, l'axe vertical tient compte de la variation de la hauteur du soleil au cours de l'année.



Figure 2.12 : partie mécanique de position de LDR

5. Conclusion :

Dans cette partie nous présentons les différents éléments constitutifs du dispositif que nous souhaitons réaliser, qui permet d'optimiser les performances d'un panneau photovoltaïque classique et en s'assurant que les rayons du soleil lui sont perpendiculaires.

Dans le chapitre suivant, nous détaillerons les étapes de simulation du tracker

Chapitre 3 :
Simulation du système de Poursuite solaire

1. Introduction :

Comme nous l'avons mentionné dans le chapitre précédent, un pic est un microcontrôleur à puce programmable qui peut être programmé plusieurs fois. La programmation de pic se fait en langage assembleur ou langage c, l'utilisation de l'éditeur de code peut être gratuite comme "MPlab" en assembleur ou payante comme "mikroC pour pic", "pic c" en "c".
Ces éditeurs de programme nous génèrent un fichier "name.hex" après compilation
Le langage machine que nous voulons copier dans la mémoire pic Programmeur, par exemple (Data Man, Pick kit 1, 2 ou 3).
Dans ce chapitre, nous expliquerons les différentes étapes pour programmer le pic

2. Editeur de programme :

Pour la programmation de notre pic on va utiliser « **mikroC for pic »** version 7.0.1



Figure 3.1 Interface de mikroC PRO for PIC.

Ce programme nous donne la possibilité d'écrire le code source en langage "c" et de bénéficier d'un environnement de programmation avancé IDE (Integrated Développent Environnement) et d'un grand nombre de bibliothèques, il contient également une documentation complète et plusieurs exemples.
Le compilateur mikroCfoor PIC bénéficie d'outils tels que le mode simulateur, le terminal de communication Ethernet, le terminal de communication USB, le gestionnaire d'affichage 7 segments, l'analyseur statistique, le correcteur d'erreurs, le navigateur de code, le mode débogage ICD. ...compatible avec la plupart des périphériques.

Industriels tels que Bus I2C™, 1Wire™, SPI™, RS485, Bus CAN™, USB, gestion de cartes Compact Flash et SD™/MMMC™, génération de signaux PWM, afficheurs LCD alphanumériques et graphiques et afficheurs LED 7 segments.

La version que nous utilisons est la version PRO (Professional), qui est une version améliorée avec des cycles de compilation plus rapides, un code machine généré plus compact (jusqu'à 40% selon les situations), le support des nouveaux PIC, un environnement de développement plus ergonomique, et Il existe de nouveaux exemples d'application. [28]

2.1. Etapes à suivre pour écrire un programme sous mikroC for pic :

2.1.1. Création d'un nouveaux Project :

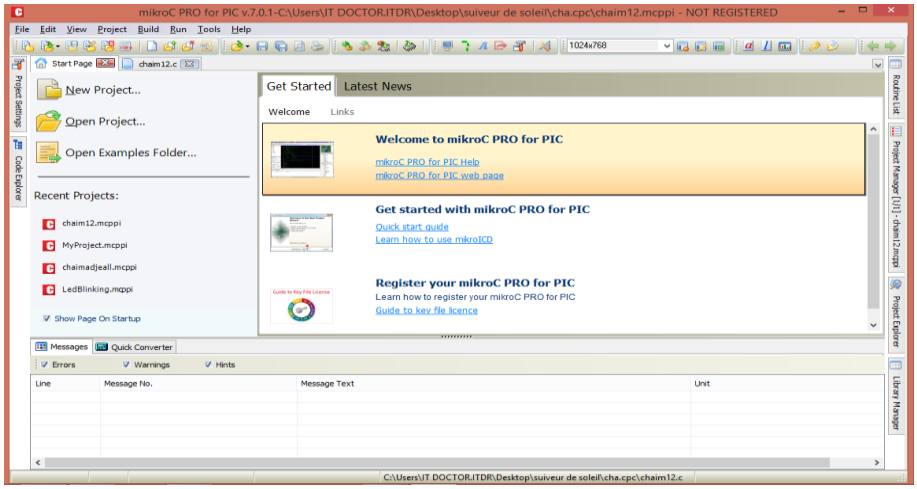


Figure 3.2. Page d'accueil.

Pour crée un nouveau projet on clique sur « New Project ».

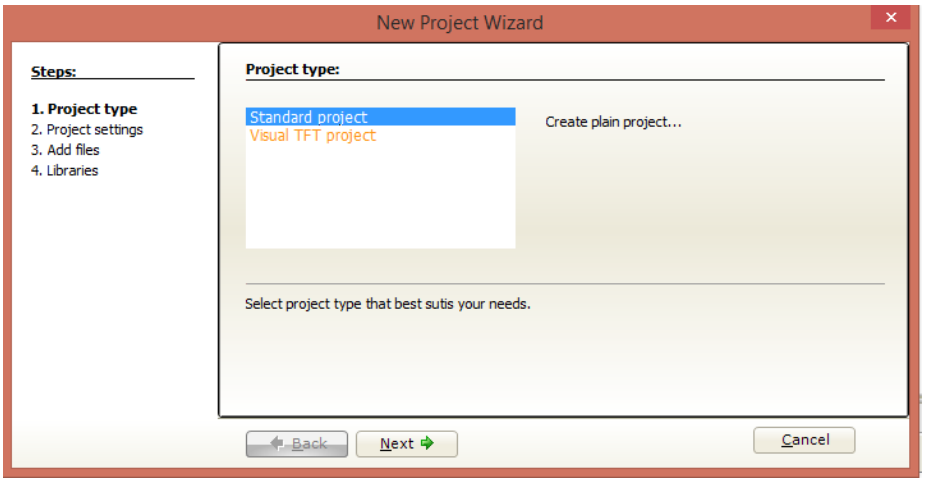


Figure 3.3. Création de projet étape 2.

On clique sur « Next ».

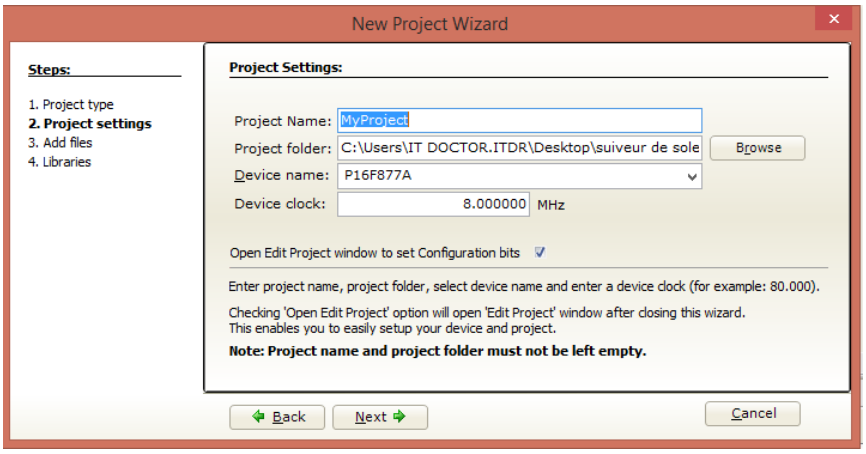


Figure 3.4.Création de projet étape 3.

Dans cette fenêtre, nous allons renseigner les cases suivantes :

Nom du projet, emplacement de sauvegarde, référence de pic, fréquence de travail

Ensuite, nous cliquons sur « nexte ».

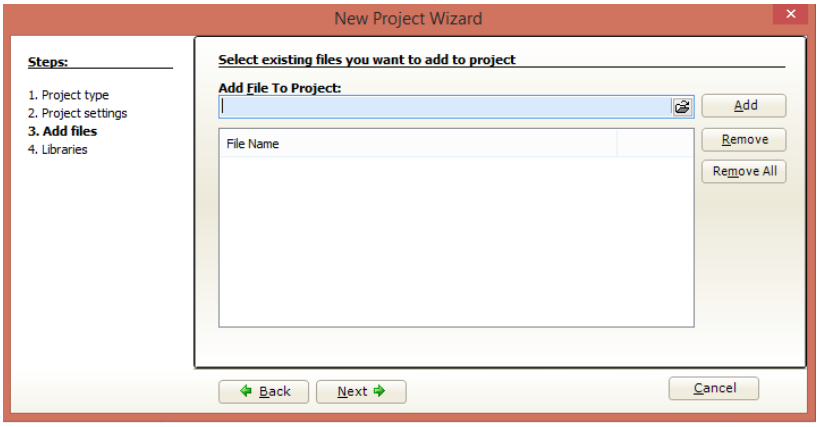


Figure 3.5.Création de projet étape 4.

Nous cliquons sur « nexte »

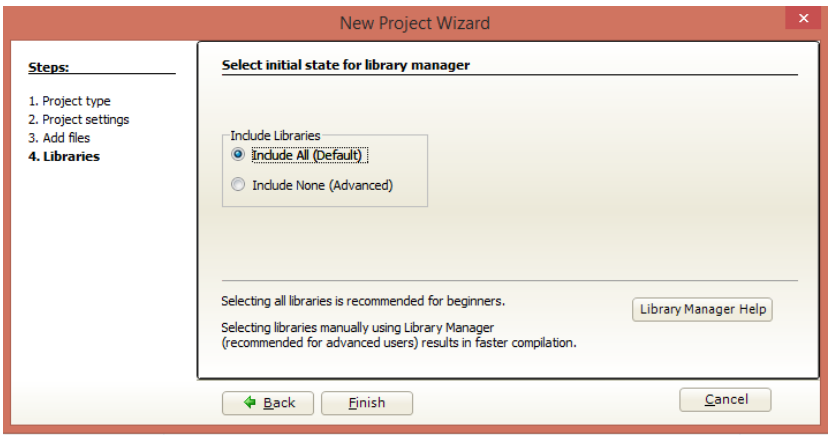


Figure 3.6.Création de projet étape 5 .

On clique sur « finish » et on arrive à la page principale où on va écrire et compiler notre programme.

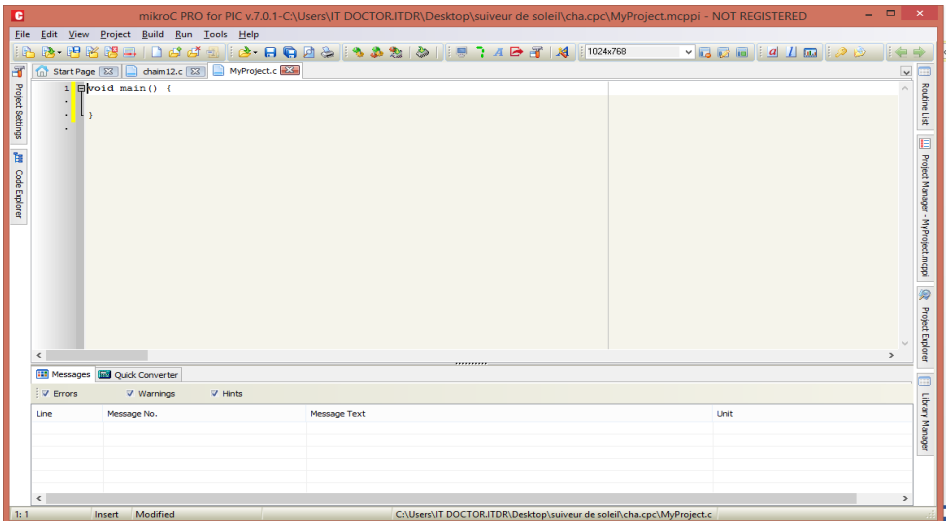


Figure 3.7.page de programmation principale.

Sur cette page on trouve :
A : la barre des menus.
B : la barre des outils.
C : la zone ou on va écrire notre programme.
D : la barre des outils latérrale.
F : la fenêtre des erreurs.

2.1.2. Ecriture du programme

Le programme que nous avons écris est répartir en D zones : « La barre des outils latérale. ».

- Ce code est écrit en langage C et est destiné à contrôler le mouvement d'un robot en fonction des lectures de quatre capteurs analogiques. Les capteurs sont connectés aux entrées ADC (convertisseur analogique-numérique) du microcontrôleur et leurs valeurs sont converties en pourcentage de la valeur maximale (1023).

- Le code calcule alors la différence entre les valeurs des capteurs gauche et droit (delta_ver) et des capteurs haut et bas (delta_hor). Si l'une de ces différences est supérieure à 3 %, il définit la direction du mouvement selon que delta_ver ou delta_hor est positif ou négatif. Si les deux différences sont inférieures ou égales à 3 %, il arrête le mouvement du robot.

- De plus, si l'un des quatre boutons connectés au port B est enfoncé, il définit la direction du mouvement en conséquence.

- Le code s'exécute dans une boucle infinie, lisant en permanence les valeurs des capteurs et mettant à jour la direction du mouvement du robot

2.1.3. Le principe d'exécution de programme :

Pour une production d'énergie photovoltaïque maximale, l'angle d'incidence directement du soleil doit être égal à 90°. Scores Un panneau est donc optimal lorsque la normale au plan du panneau pointe vers le soleil en son centre.

Capteur LDR :

- Le capteur LDR est une photorésistance qui détecte la présence de lumière et le microcontrôleur va ensuite utiliser ces données pour gérer le système.
- Nous utiliserons quatre capteurs LDR, chacun avec des fonctions précises et indépendantes.
- Détection du lever du soleil (veille et réveil)
- Créer des interruptions qui seront comptées par le microcontrôleur.

Les moteurs

- Les deux moteurs utilisés sont des moteurs à courant continu bidirectionnels, l'un pour le mouvement vertical et l'autre pour le mouvement horizontal.
- Les moteurs sont réglables, ce qui signifie qu'ils sont contrôlés par le programme du microcontrôleur après comparaison des tensions.
- Ce dernier contrôlera (PIC) les capteurs verticales, effectuera un mouvement horizontal, trouvera la position avec le plus grand rayonnement et s'assurera que le point maximum est suivi. Une fois ce point atteint, le moteur s'arrête.

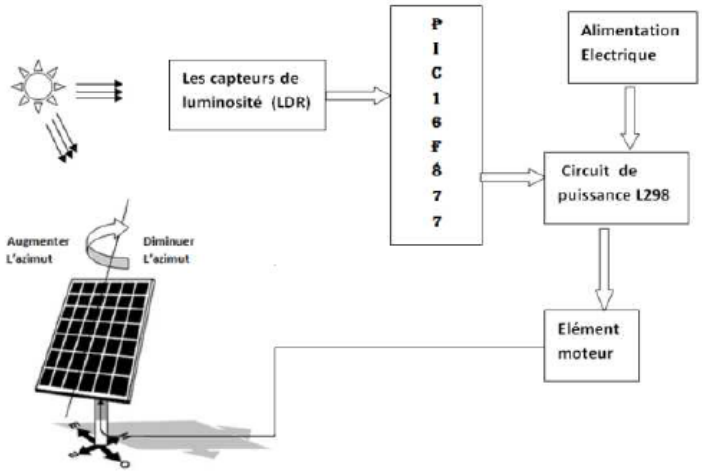


Figure 3.8. Schéma synoptique de système suiveur solaire**.**

2.2 Organigramme de programme principal :

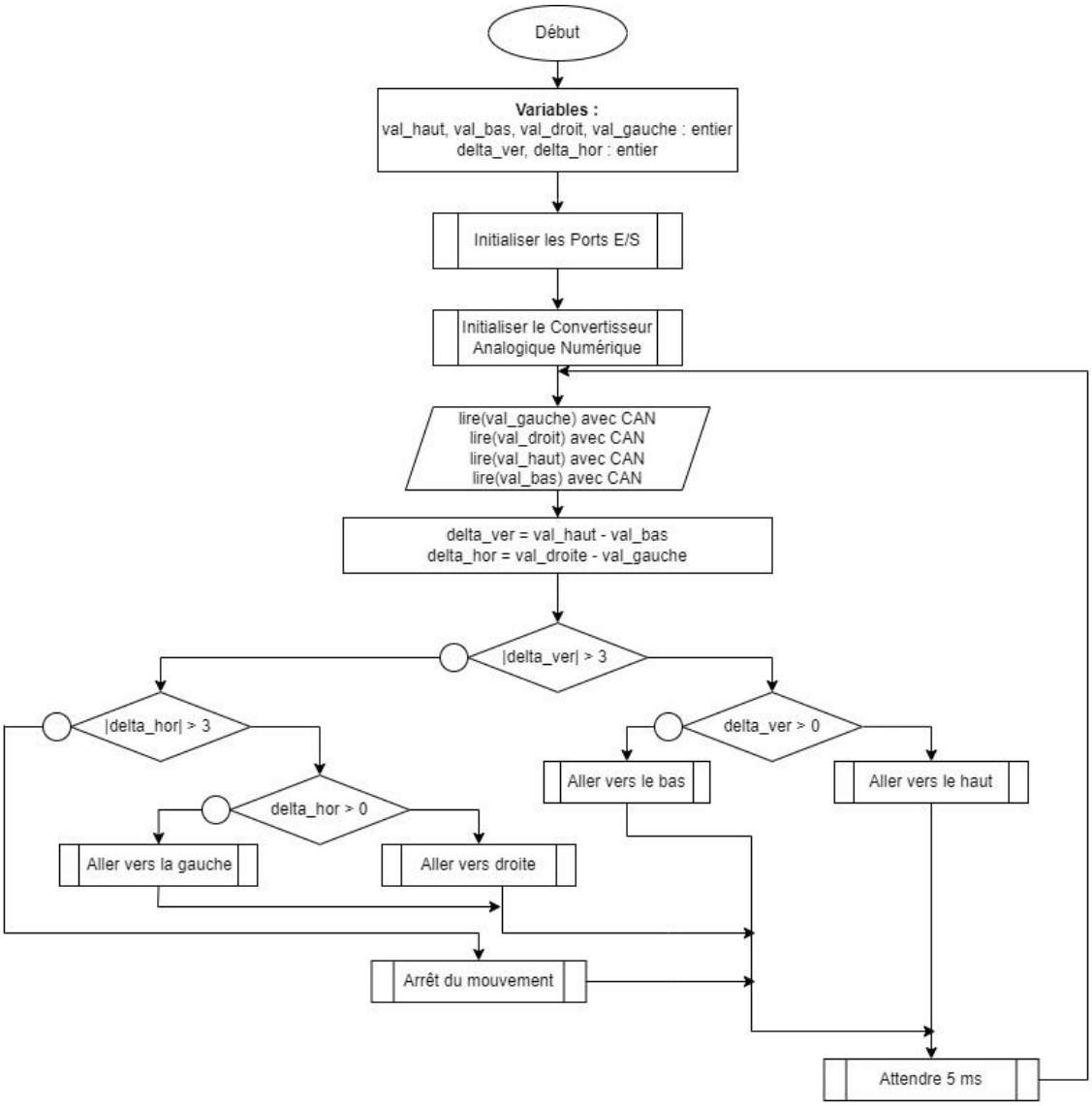


Figure 3.9 Organigramme de programme

2.3. Ecriture et compilation d'un programme :

Après avoir écrit un programme en zone "C ", il faut le compiler pour produire nom de fichier.hex. La compilation se fait en cliquant sur build " " dans la barre d'outils Ou nous cliquons sur "Ctrl + F11".

Si la syntaxe du programme est correcte, le nom de fichier.hex sera créé dans L'emplacement du fichier de projet que nous avons déclaré précédemment.

Il faut note que lors de la programmation de pics à l'aide de "MikroC for pic", le programme peut détecter les erreurs de syntaxe mais pas les erreurs de raisonnement, ce qui signifie que si nous faisons une erreur dans un coefficient ou un calcul, le compilateur le couvrira (pas d'erreurs).

Même si nous écrivons un programme exempt d'erreurs de syntaxe, il est nécessaire d'avoir un test pratique pour détecter les erreurs dans notre raisonnement, ce qui peut être fait par simulation dans un programme de simulation sur un ordinateur ou une carte électronique. .

2.4. La conception sur ordinateur :

PROTEUS est une suite logicielle destinée à l'électronique développée par la société L'absenter Electroniques. Les logicielles incluent dans Proteus permettent la CAO dans le domaine électronique, deux logiciels principaux composent cette suite logicielle : ISIS et ARES.

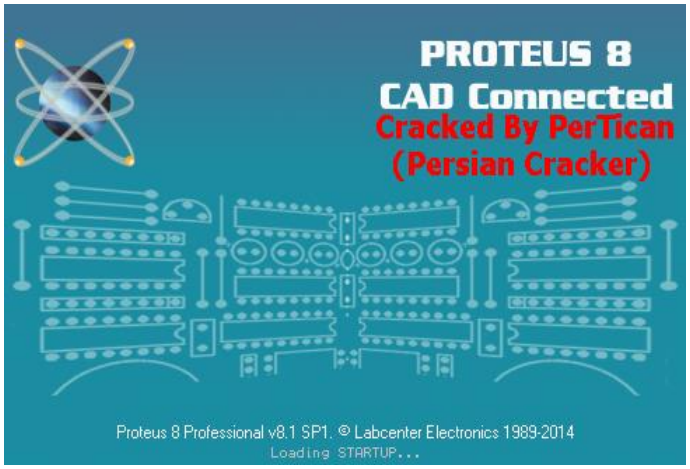


Figure 3.10. L'interface du « Proteus Design Suite ».

2.5.1. Réalisation du schéma électrique avec « Proteus »

La première étape est la conception du circuit de la carte avec la riche bibliothèque des composants que possède Proteus. Les simulations numériques des différents blocs et différentes fonctions de notre circuit électrique.
nous allouons simuler le circuit "conception d'un système de poursuite solaire pour générateurs photovoltaïques «exposerons les étapes nécessaires à la mise en œuvre de notre Objectifs et Image de base commune du microcontrôleur 16f877A » et outils de programmation (MIkRO C et PROTEUS)

2.5.2. La simulation :

Dans la figure(3.11) , nous montrons les composants suivant les différentes parties du système mentionnées ci-dessus Schéma électronique général.

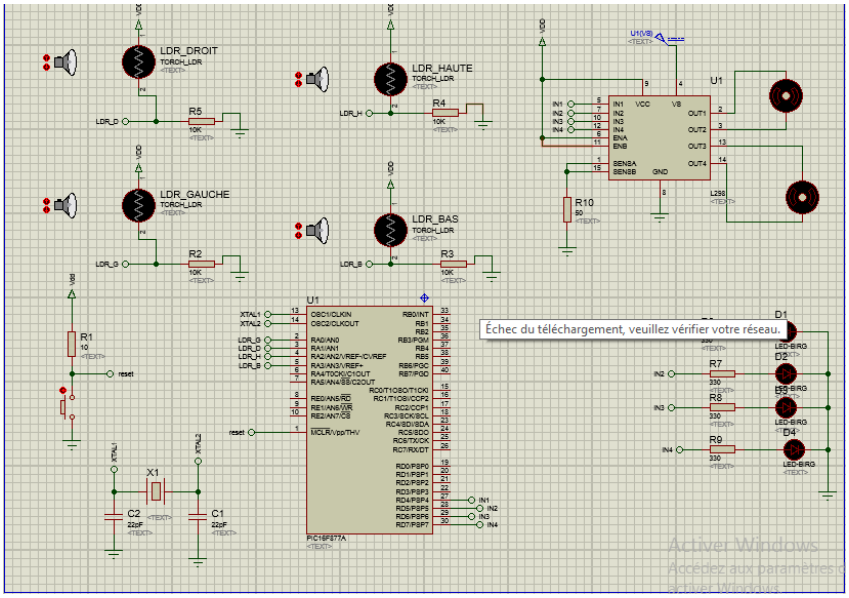


Figure 3.11. Schéma électronique du système suiveur solaire.

2.6. Résulta de simulation par Proteus :

2.6.1. Etats de simulation :

Représente le capteur de suivi du soleil pour tester le côté du panneau solaire (droite, gauche, haut, bas) le servomoteur tourne et la LED rouge s'allume plus le soleil est proche de LDR, le servomoteur(1) tourne et le voyant rouge s'allume lorsque le soleil est à droite ou à gauche du panneau solaire et se déplace vers le côté où les rayons sont beaucoup plus

Le moteur(2) tourne et la LED rouge s'allume lorsque le soleil est au-dessus ou en dessous du panneau solaire et se déplace du côté où les rayons sont beaucoup plus.

2.6.2. Le premier cas:

Les deux résistances LDR ne sont pas soumis à la lumière donc il n'y a pas de création de courant électrique. Donc, il n'existe pas une tension qui oriente le moteur et le panneau reste fixe.

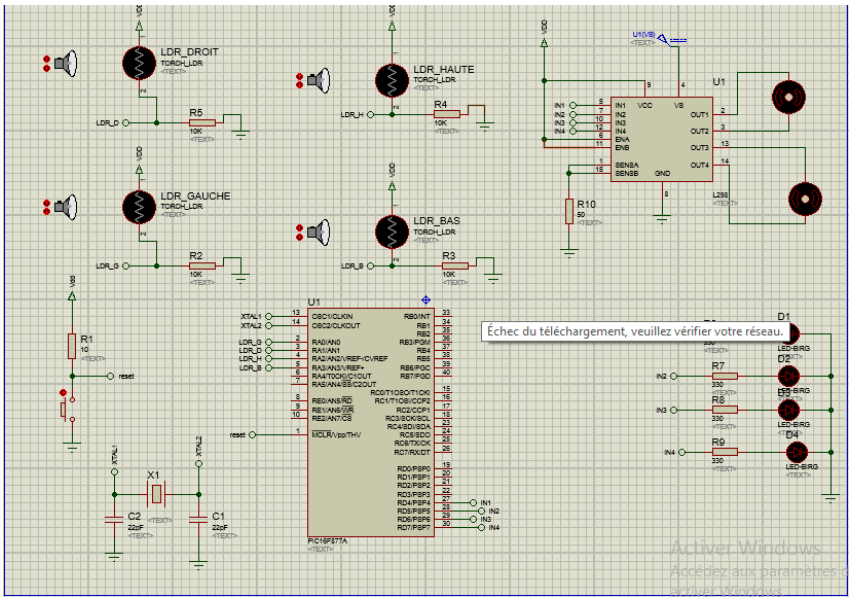


Figure 3.12. Schéma de simulation de circuit suiveur solaire le moteur arrêt.

2.6.3. Le deuxième cas :

Le de LDR gauche est lumineux, le LDR de droit et le LDR de haut et bas sont sombres. La première résistance crée un courant électrique tandis que la deuxième, la troisième et la quatrième résistance restent dans leur état initial. Donc il y a une tension qui dirige le moteur pour que le moteur tourne vers la gauche. Quatrième résistance restent dans leur état initial. Donc il y a une tension qui dirige le moteur pour que le moteur tourne vers la gauche.

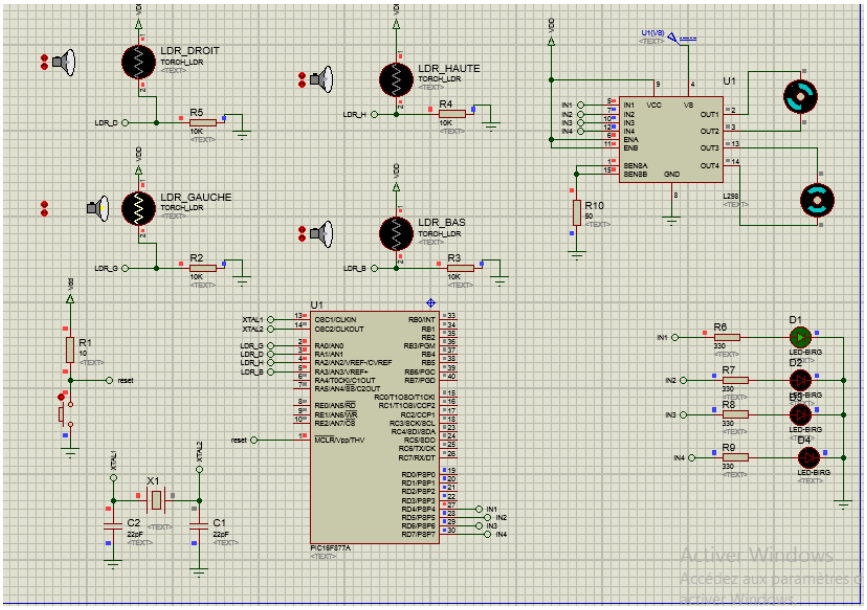


Figure 3.13. Schéma de simulation du circuit du suiveur solaire, avec le moteur en marche et l'éclairage de la LED (D1) à gauche.

2.6.4. Le troisième cas :

Le LDR droit est lumineux, le LDR de gauche, de haut et bas sombres. La deuxième résistance crée un courant électrique tandis que la première, la troisième et la quatrième résistance restent dans leur état initial. Il y a donc une tension qui va diriger le moteur pour que le moteur tourne vers le droit.

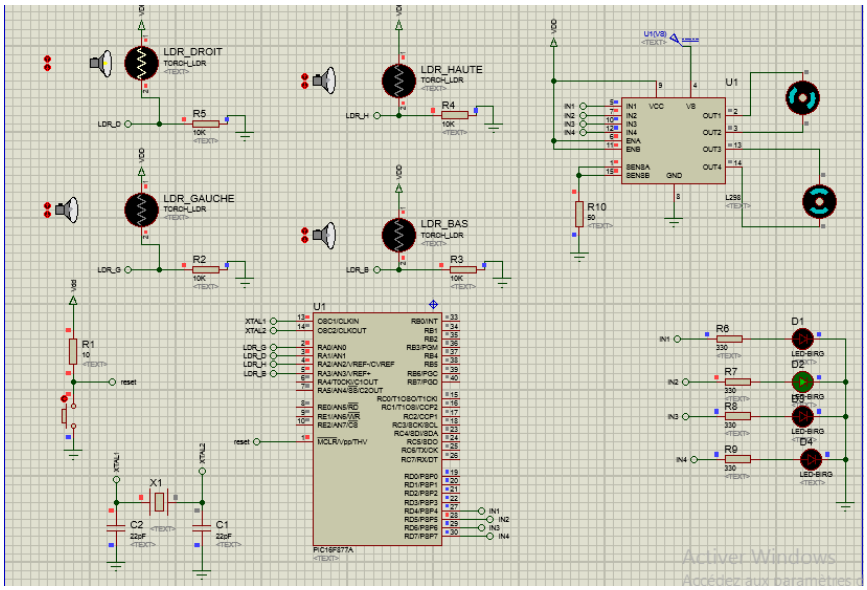


Figure 3.14. Schéma de principe du circuit suiveur solaire simulation du moteur en marche et de l'éclairage de la LED (D2) droit.

2.6.5. Le quatrième cas :

Le LDR haut est lumineux, le LDR gauche, de droit et de bas sombres. La troisième résistance crée un courant électrique tandis que la première, la deuxième et la quatrième résistance restent dans leur état. Il y a donc une tension qui va diriger le moteur pour que le moteur tourne vers le haut.

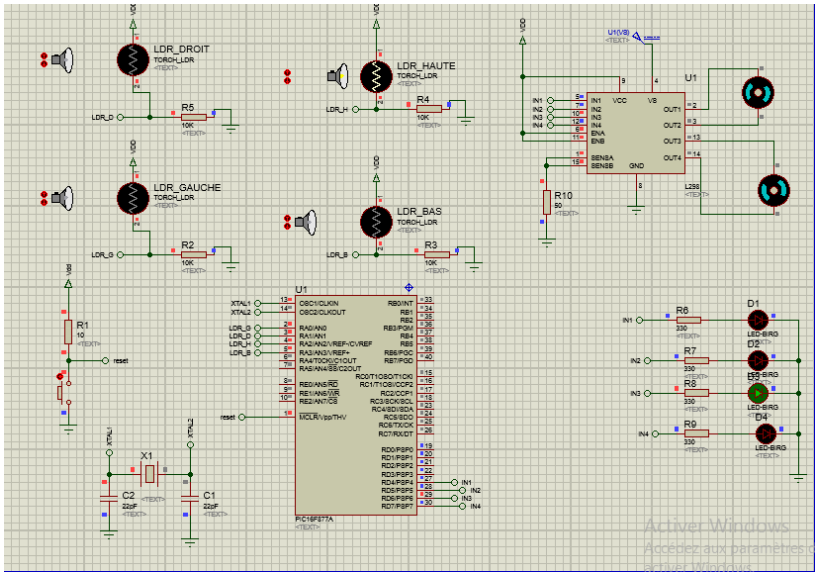


Figure 3.15. Schéma de simulation du circuit du suiveur solaire, avec le moteur en marche et l'éclairage de la LED (D3) à haut.

2.6.6. Le Cinquième cas

Le LDR inférieur est clair, le LDR gauche, de droit et de haut sont sombres. La quatrième résistance crée un courant électrique tandis que la première, la deuxième et la troisième résistance restent dans leur état initial. Donc il y a une tension qui dirige le moteur pour que le moteur tourne vers le bas.

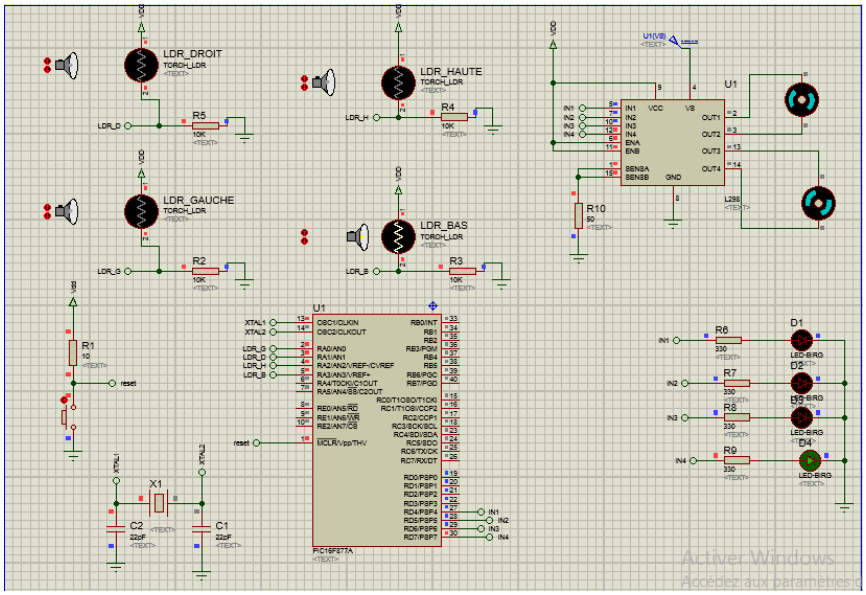


Figure 3.16. Schéma de simulation du circuit du suiveur solaire, avec le moteur en marche et l'éclairage de la LED (D4) à bas.

3. Conclusion

La simulation du circuit suiveur solaire nous a montré théoriquement sont bon fonctionnement et nous a permis d'atteindre les résultats de simulation souhaités. Il nous reste à réaliser pratiquement ce circuit pour valider et confirmer ces résultats.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Dans ce mémoire, une étude de modélisation et simulation d'un système de poursuite solaire pour des générateurs photovoltaïquesa été présentée. L'objectif était de proposer et de développer un modèle permettant d'améliorer le rendement de puissance des modules de PV en s'assurant qu'ils sont inclines vers le soleil à tout moment pendant la journée.

Afin de valider et de tester les performances de ce modèle, un simulateur de poursuite solaire a été développé.

Les résultats de simulation à l'aide du logiciel PROTEUSdu circuit suiveur solaire nous a montré théoriquement sont bon fonctionnement et nous a permis d'atteindre les résultats de simulation souhaités. Comme perspectives, il nous reste à réaliser pratiquement ce circuit pour valider et confirmer ces résultats.

Annexes

Annexe -A :

La nomenclature des composantes utilisées :

Référence	Type	Valeur	Emballer	Quantité
D1 ,D2,D3,D4	LED -BIRG	LED -BIRG		4
CAPACITE	022013A220JAT2A	22pF	CAPC0603X33	2
LDR	TORCH_LDR	TORCH_LDR	LDR	4
RESISTENCE	10WATT0R1	10<R<10K	RES 180	10
U1(L298)	L298	L298	MULTIWATT15v	1
X1	CRYSTAL		XTAL18	2
U1(pic16F877A)	pic16F877A	pic16F877A	DIL40	1

Tableau A.1. Les composants électroniques utilisés dans la simulation.

Annexe -B :

Caractéristiques électriques du circuit de puissance l289 :

VS = 42V ; VSS = 5V, Tj = 25°C ; sauf indication contraire

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_S	Supply Voltage (pin 4)	Operative Condition	V_{IH} +2.5		46	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage (pin 9)		4.5	5	7	V
I_S	Quiescent Supply Current (pin 4)	V_{en} = H; I_L = 0 V_i = L V_i = H		13 50	22 70	mA mA
		V_{en} = L V_i = X			4	mA
I_{SS}	Quiescent Current from V_{SS} (pin 9)	V_{en} = H; I_L = 0 V_i = L V_i = H		24 7	36 12	mA mA
		V_{en} = L V_i = X			6	mA
V_{iL}	Input Low Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		–0.3		1.5	V
V_{iH}	Input High Voltage (pins 5, 7, 10, 12)		2.3		VSS	V
I_{iL}	Low Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	V_i = L			–10	µA
I_{iH}	High Voltage Input Current (pins 5, 7, 10, 12)	Vi = H ≤ V_{SS} –0.6V		30	100	µA
V_{en} = L	Enable Low Voltage (pins 6, 11)		–0.3		1.5	V
V_{en} = H	Enable High Voltage (pins 6, 11)		2.3		V_{SS}	V
I_{en} = L	Low Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V_{en} = L			–10	µA
I_{en} = H	High Voltage Enable Current (pins 6, 11)	V_{en} = H ≤ V_{SS} –0.6V		30	100	µA
$V_{CEsat(H)}$	Source Saturation Voltage	I_L = 1A I_L = 2A	0.95	1.35 2	1.7 2.7	V V
$V_{CEsat(L)}$	Sink Saturation Voltage	I_L = 1A (5) I_L = 2A (5)	0.85	1.2 1.7	1.6 2.3	V V
V_{CEsat}	Total Drop	I_L = 1A (5) I_L = 2A (5)	1.80		3.2 4.9	V V
V_{sens}	Sensing Voltage (pins 1, 15)		–1 (1)		2	V

Tableaux A.2 Caractéristiques électriques de circuit de puissance l289

Annexe -C :

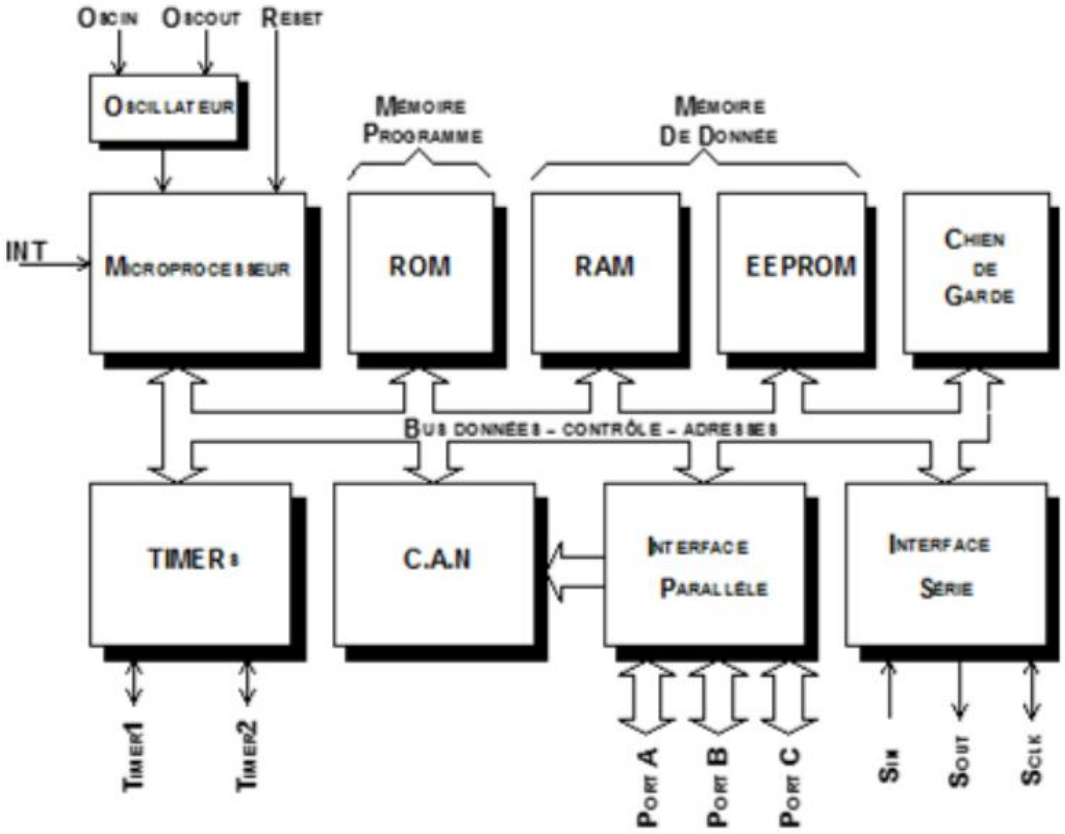


Figure A.1 Brochage Interne du PIC16F877A.

Bibliographie

Bibliographie

[1] L.V. Breakers «Document d'application technique n°10 Installations photovoltaïques » ABB, 2010.

[2]CHERIFI Younes Mémoire de Master. «Etude et réalisation d'un suiveur de soleil a base d'un microcontrôleur » (2015).

[3]H. Kamelia, "Modélisation D'une Cellule PV : Etude Comparative", Mémoire De Magister, Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou,2012

[4]B. Tarek, B. AMAR Radhia, Mémoire de Master. «Étude D'un Système D'énergie Renouvelable Avec Système De Stockage » (2014).

[5] H. FATIHA, R. AICHA, Mémoire de Master. «Modélisation et simulation d'un système photovoltaïque »(2014).

[6]M. Belhadj**,** «Modélisation d'un système de captage photovoltaïque autonome », Mémoire de Magister, Centre Universitaire de Bechar, 2007-2008.

[7]NECIR Abdellatif Mémoire de Master. «Conception et Réalisation d'un Suiveur du Soleil Commandé par une Carte Arduino» (2018).

[8] D. Arabiya,Z. Karima, Mémoire de Master. «Etude et réalisation d'un suiveur solaire photovoltaïque» (2016).

[9] Kateb mohamed Nadjib, Mokrani zakaria, "Conception et simulation électrique d'une cellule solaire en Si par le logiciel Tcad-Silvaco", mémoire de master, université Biskra, 2011.

[10] http://www.ecosources.info/dossiers/Types_de_cellules_photovoltaiques.

[11] Hassan Essakhi : modalisation et simulation d'un module photovoltaïque. Université Ibn Zohra-ESTA agadir.

[12] HADJ BELKACEMI Mohammed Mémoire de Master. « Modélisation et EtudeExpérimentation d'un Capteur Solaire non Vitré et Perforé » (2011)

[13] Thomas B. Greenslade, Jr., « Heliostats », Jules-Célestin Jamin — « Cours de physique de l'École polytechnique. Tome 3 - Fasc. 2 » Gauthier-Villars et fils (Paris) - 1885-1906.

[14] Mr Arafa Kaddouri, « Conception et réalisation d'un suiveur solaire à deux axes ». Projet de fin d'étude, Université sidi Mohammed ben Abdallah, Fès, Maroc 2015.

[15] Sukhraj Singh Cheema, «Simulation Studies on Dual Axis Solar Photovoltaic Panel Tracking System ».Thapar University Patiala 2012.

[16] Mr Bouziane Rabeh, Dokkar Ayoub, « Conception et Réalisation d'un Suiveur Solaire Bi-axial à Base De capteurs de lumière » Projet de fin d'étude, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA, 2016.

[17] I. Laib, Y. Elgouni, S. Boukhnous, A. Hamidat : Etude et réalisation d'un système de poursuit solaire pour générateur photovoltaïque ; BP.32, Bab-Ezzouar, 16111, Alger ; Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 16340, Bouzaréah – Alger, Algérie

[18] www.microchip.com

[19]Iset Nabeul Cours microcontrôleurs Y.RKHISSI KAMMOUN CHAPITRE 2 MICROCONTROLEUR PIC 16F87

[20] Cours: Microcontrôleur Chargé de cours : Dr. Noureddine MAAMAR r Département d'informatique / FMI Niveau : 1 ère Année Master GI Module : Microcontrôleur

[21] http://energie28.blogspot.com/2016/11/les-avantages-dun-microcontroleur-pic.html

[22] Amara Mostefa Boussaha Rida Mémoire de Master. «Etude et réalisation d'un fréquencemètre numérique BF/HF à base de PIC16F877A avec extension en Périodemètr/impulsiomètre»(2022)

[23] https://www.3shop.ma/product/microcontroleur-pic-16f877a/

[24] TabouiMouna. Mémoire de Master «Conception et réalisation d'une carte d'éclairage publique. ISET de Béja.Tunisie»(2008)

[25] https://magoe.fr/chapitre_2.php?idChapitre=479

[26] Optoelectronic detectors, Dr.HeinerRyssel, Indian Institute of Technology, Madras 9th INDO –German Winter Academy 2010.

[27] https://how2electronics.com/l298

[28] Bekkouche Sidi Mohammed El Amine « Modélisation du Comportement Thermique de Quelques Dispositifs Solaires ». Thèse de doctorat en Physique, Université de Abou Bekr Belkaid Tlemcen, (2009).

[29] V. TOURTCHINE (mémoire MASTER) ‘’Programmation en mikroC. Application pour les microcontrôleurs de la famille PIC ‘’-2012.