

**Université Abderrahmane Mira de Bejaia  
Faculté de Technologie  
Département de Génie électrique**



## **Mémoire de fin de cycle**

**En vue de l'obtention du diplôme de master en Electrotechnique**

**Option : Automatisme Industriel**

### *Thème*

**Conception et réalisation d'un suiveur solaire à  
base d'un microcontrôleur**

***Réalisé par :***

GANOUN Djahid

MEZGHICHE Lamia

***Promoteur :***

Mr. TAIB Nabil

**Année Universitaire: 2016/2017**

## **Remerciements**

*Nous tenons à remercier en premier lieu ALLAH, le tout puissant, qui nous a  
Donné la santé et la volonté pour bien mener ce modeste travail.*

*Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à notre promoteur  
Mr TAIB Nabil d'avoir accepté et de diriger ce travail. Nous le remercions  
également pour ses conseils, son attention, sa rigueur.*

*Nos vifs remerciements aussi aux membres de jury, pour l'honneur qu'ils  
nous ont fait d'avoir acceptés de lire et d'évaluer ce modeste travail.*

## Dédicaces

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui sont la source de mon  
Inspiration et mon courage.*

*A ma très chère mère, qui ma donnée toujours l'espoir de vivre  
Et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.*

*A mon très cher père, pour son sacrifice afin que rien n'entrave  
Pour ses encouragements et son soutien.*

*A mes chers frères*

*A ma sœur*

*A tous mes amis*

# Dédicaces

Je dédie ce modeste travail

➤ *A Mes très chers parents*

Mon père (Hamanou), Ma mère (Rachida) pour votre amour, sacrifices, pensées et soutiens tout au long de mes années d'études et d'apprentissage. Que ce travail soit le témoignage de vos prières, vos encouragements et vos précieux conseils.

Aucune dédicace ne serait exprimer mon profond amour et l'admiration que je vous porte.

➤ **A mes frères et sœur « Wahiba Farid Omar Mahmoud »**

➤ **A mon mari « Amir »**

➤ **A mes chouchous « Amer Yasser Zahra »**

➤ **A mon beau-frère « Nabil »**

➤ **A mes belles sœurs « Zoulikha Noura »**

➤ **A mes beaux-parents « Hocine et Zouina »**

➤ **A toute ma famille et mes amis**

*Qu'ALLAH vous garde et vous procure la santé et la longue vie*

Lamia

### Abréviations et Nomenclatures

**ADC** : Convertisseur Analogique/Numérique.

**CC** : Courant Continue.

**d** : distance.

**RG** : Rayonnement Global.

**H** : Hauteur.

**i** : angle d'incidence des rayons.

**N** : Négative.

**P** : Positive.

**PEP** : Puissance Electrique Produite.

**PIC** : Programmable Integrated Circuit.

**Pn** : Puissance nominale.

**PSR** : La Puissance Solaire Reçue.

**PV** : Panneau photovoltaïque.

**Re** : Le Rendement.

**VB** : Tension Batterie.

**$\epsilon$**  : L'angle seuil de déclenchement.

**$\beta$**  : L'angle optimal.

**$\Omega$  Moy** : La vitesse angulaire moyenne.

**R\_LDR** : Résistance de la Light-Dépendent-Résistor

**V-LDR** : La tension délivrée par le capteur.

**E/S** : Entrée/Sortie.

**$\mu$ C** : Microcontrôleur.



# **Introduction générale**

## Introduction générale

Face aux prévisions d'épuisement inévitable des ressources mondiales en énergies fossiles (pétrole, gaz, charbon...etc.), en énergie d'origine thermonucléaire (uranium, plutonium...etc.), aux multiples crises pétrolières, économiques, au changement climatique dû à l'effet de serre....etc. La science s'est tout naturellement intéressée aux ressources dites « renouvelables ». Elles sont des énergies qui se renouvèlent assez rapidement pour être considérées comme inépuisable à l'échelle humaine. On distingue l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie marine.

Le soleil est une source d'énergie 100% propre, renouvelable, moins aléatoire et plus facile à capter que l'énergie éolienne, disponible partout à la surface du globe. Deux grandes filières permettent d'exploiter l'énergie solaire : le solaire thermique et le solaire photovoltaïque.

C'est en 1839 que le phénomène photovoltaïque fut découvert par le physicien français **Alexandre Edmond Becquerel** [1]. Il est le premier à transformer l'énergie solaire en électricité, démontrant ainsi que certains matériaux exposés à la lumière naturelle produisent de petites quantités d'électricité, le principe photovoltaïque est alors né. Mais les efforts sont longtemps restés vains car la production d'énergie photovoltaïque restait trop faible et n'intéressait plus que les laboratoires. Malgré toutes les recherches consacrées, il faudra attendre près de 100 ans pour que le phénomène photovoltaïque soit véritablement approfondi. Ce sont trois chercheurs américains, Pearson, Prince et Chapin, qui, en 1954, mettent au point la première vraie cellule photovoltaïque [2].

Avec la révolution technologique, les premières centrales solaires sont construites, et les premières applications individuelles apparaissent.

Un problème s'impose par rapport au panneau photovoltaïque (PV) fixe, c'est que son rendement énergétique n'est pas constant au cours de la journée(en début et en fin de journée), le mauvais angle d'éclairement du panneau diminue son rendement. Ce dernier n'est maximal que pendant 2 à 3 heures dans la journée (approximativement entre 11h et 14h) [3].

Notre objectif est de construire un instrument pouvant poursuivre le mouvement du soleil au cours de la journée, afin d'améliorer le rendement des panneaux photovoltaïques.

Pour mener à bien ce travail, la démarche méthodologique que nous avons adoptée s'articule autour de trois chapitres et plus d'une introduction et d'une conclusion générale. Le premier chapitre, intitulé « l'énergie solaire, le photovoltaïque », présente le gisement solaire en Algérie, le principe de fonctionnement d'un panneau PV. Le deuxième chapitre, intitulé « Étude, dimensionnement », est consacré à l'étude et à la description des différents blocs constituant notre suiveur solaire. Enfin, le troisième chapitre est réservé à la conception matérielle de notre suiveur.

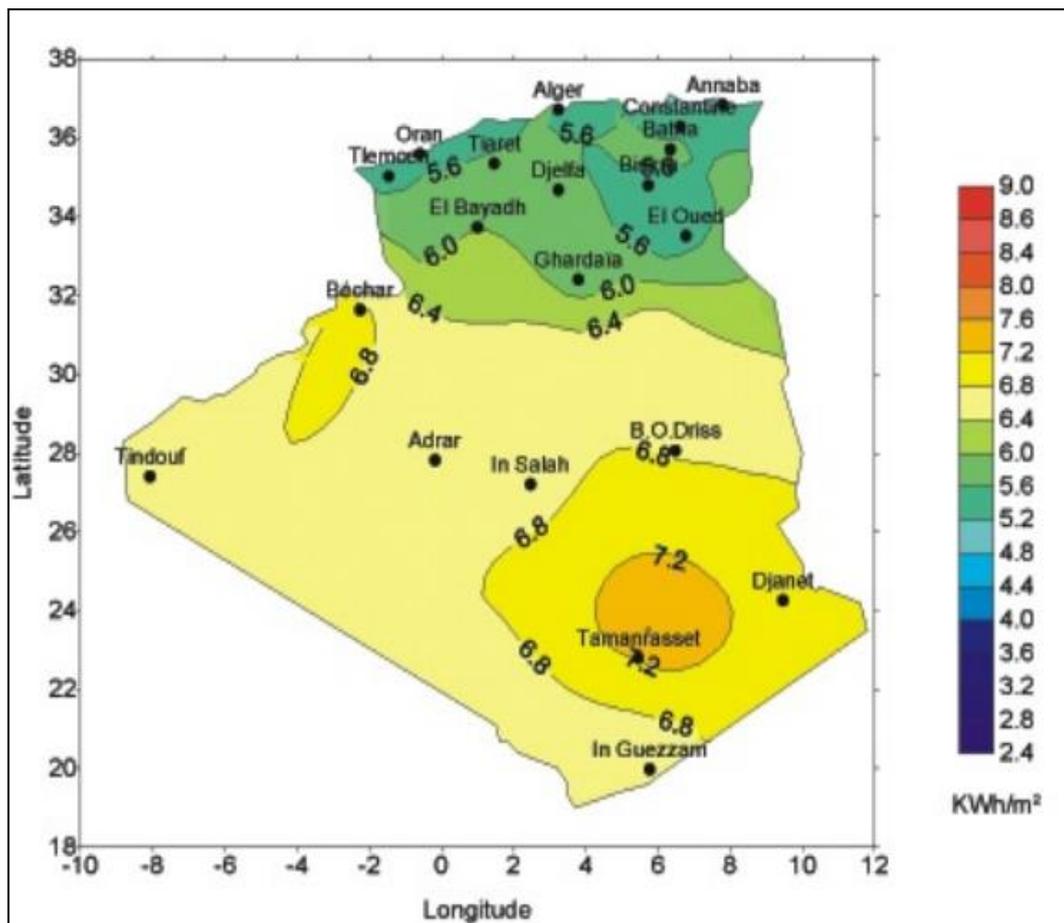
**Chapitre 1:**  
**L'énergie solaire, Le photovoltaïque**

## Chapitre1 :L'énergie solaire, Le photovoltaïque

L'objectif de ce chapitre est de présenter quelques notions sur l'énergie solaire. Dans un premier temps nous allons parler sur le gisement solaire en Algérie, quant à la deuxième partie du chapitre, ou nous allons parler sur le panneau PV (description et principe), l'intérêt des suiveurs solaires, et on finalise par la description des différentes méthodes de poursuites solaires.

### 1 Le gisement solaire en Algérie

L'Algérie possède l'un des gisements solaires les plus élevés au monde, avec une durée d'ensoleillement sur la totalité du territoire national pouvant atteindre les 3900 heures par année (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de  $1\text{m}^2$  est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de  $1700\text{KWh}/\text{m}^2/\text{an}$  au Nord et  $2263\text{ kWh}/\text{m}^2/\text{an}$  au Sud du pays [4].



Carte 1.1 : Irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné [5].

## 2 Le rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est un rayonnement thermique qui se propage sous forme d'ondes électromagnétiques. En dehors de l'atmosphère terrestre, il donne un éclairement énergétique à peu près constant et égale à  $1367\text{W/m}^2$ , appelé de ce fait constante solaire [6].

### 2.1 Types de rayonnements

Il existe trois types de rayonnements

#### 2.1.1 Rayonnement direct

Le rayonnement solaire direct se définit comme étant le rayonnement provenant du seul disque solaire. Il est donc nul lorsque le soleil est occulté par les nuages [7].

#### 2.1.2 Rayonnement diffus

Dans sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé par les molécules de l'air et les particules en suspension. Le rayonnement solaire diffus n'est donc nul que la nuit.

#### 2.1.3 Rayonnement réfléchis :

Lorsque le rayonnement solaire atteint une la surface de la terre, il est en partie réfléchi par le sol.

#### 2.1.3 Rayonnement global

Le rayonnement global (RG) est tout simplement la somme de ces diverses contributions [8], comme le montre la figure1.1.

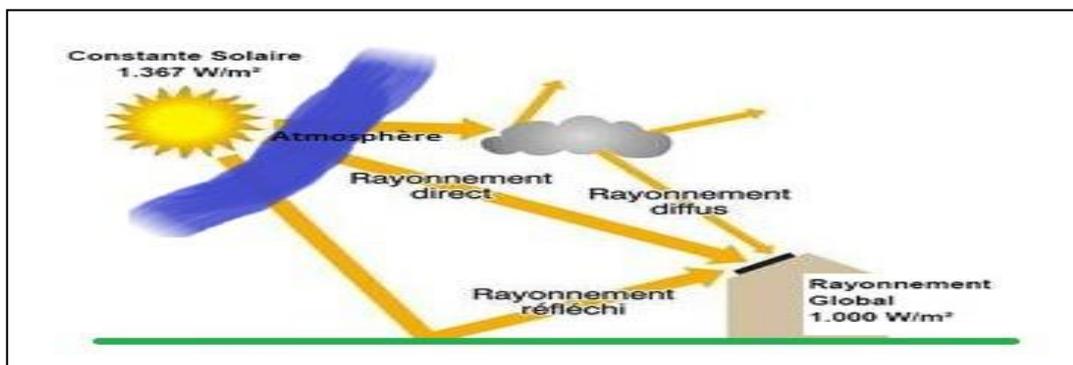


Figure 1.1: Types de rayonnement solaire.

## 2.2 Mouvement du soleil

Le soleil fait un parcours quotidien de l'est à l'ouest, variant à chaque instant son altitude tandis que sa longitude change en fonction des mois car c'est une petite variation qui se fait jour après jour durant l'année.

La position du soleil est déterminé à tout instant par deux coordonnées :

- L'azimut : c'est l'angle quotidien mesuré par rapport au sud sur le plan horizontal.
- L'élévation : c'est l'angle mesuré par rapport à l'horizontal sur le plan vertical.

La figure 1.2 représente l'azimut et l'élévation du soleil par rapport au sol :

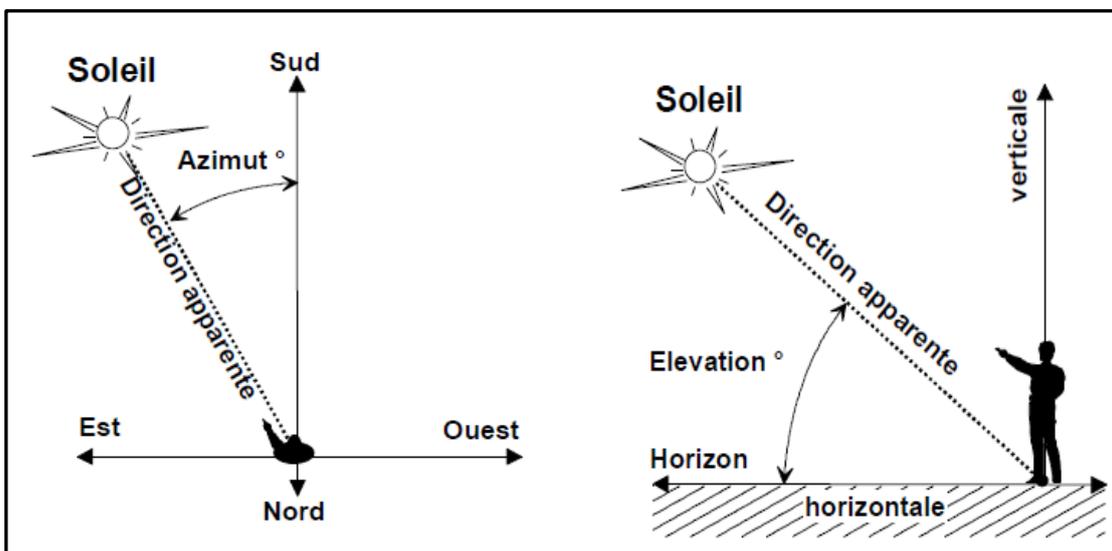


Figure 1.2 :L'azimut et l'élévation du soleil par rapport à la surface au sol.

## 3 La cellule photovoltaïque(PV)

### 3.1 Définition

Les panneaux solaires photovoltaïques, parfois appelés photoélectriques, transforment l'énergie solaire en électricité. Ils sont tout simplement un assemblage de petites cellules photovoltaïques, chacune d'elles délivrant une tension de 0,5V à 0,6V. Elles sont donc assemblées pour créer des modules photovoltaïques de tension normalisée comme 12V [9].

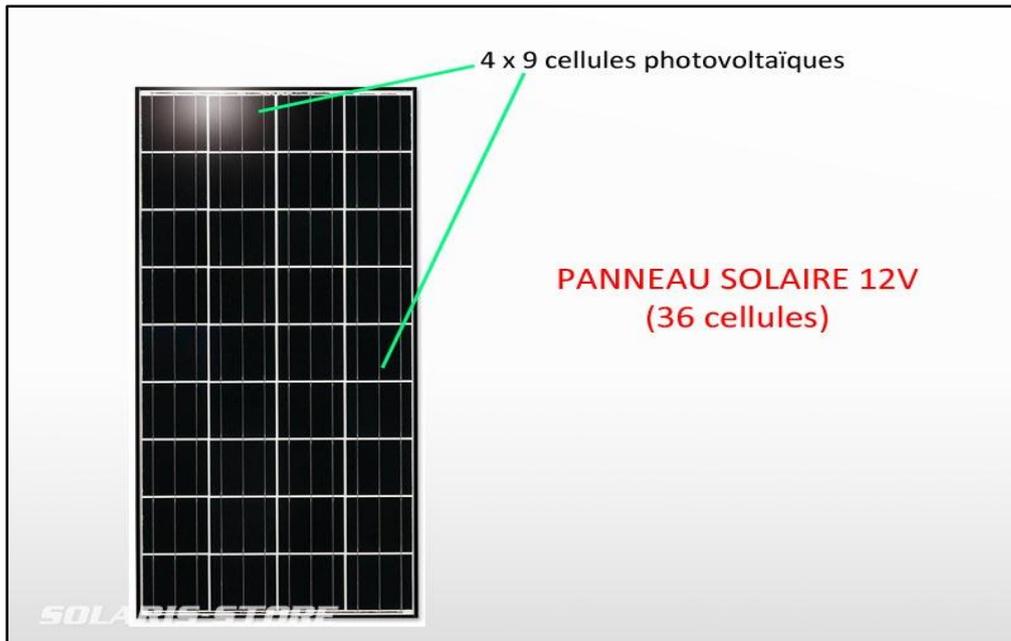


Figure 1.3: Photo d'un panneau PV de 12V [10].

### 3.2 Principe d'un panneau PV

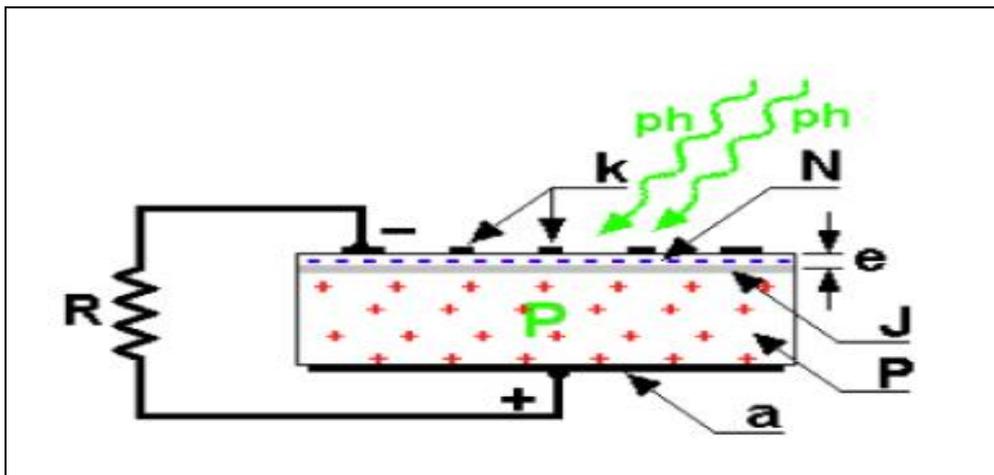
La conversion directe de l'énergie solaire en électricité se fait par l'intermédiaire d'un matériau semi-conducteur généralement le silicium que l'on trouve en abondance dans le sable.

Les matériaux semi-conducteurs sont des corps dont la résistivité est intermédiaire entre celle des conducteurs et celles des isolants. Les quatre électrons de valence du silicium permettent de former quatre liaisons covalentes avec un atome voisin, dans ce cas tous les électrons sont utilisés et aucun n'est disponible pour créer un courant électrique.

Lorsqu'un matériau semi-conducteur est exposé au rayonnement solaire, les électrons de valence s'agitent dans tous les sens, mais pour obtenir du courant électrique, ces électrons doivent circuler dans un sens bien précis, d'une borne négative (N) vers une borne positive (P), en d'autres mots, d'un excès d'électrons vers un déficit d'électrons. Pour satisfaire ces conditions on y introduit des éléments perturbateurs. Ce procédé est appelé le dopage [11]. Il suffit de rajouter des impuretés dans le silicium, (le Bore par exemple,) qui possède moins d'électrons que le Silicium, une couche est donc formée, dopée positivement (P), et du Phosphore qui possède plus d'électrons que le Silicium, une autre couche est dopée négativement (N). Une jonction (PN) qui est l'accolement d'une couche dopée P et d'une couche dopée (N), apparaît.

Lorsque la première couche est mise en contact avec la seconde, les électrons en excès dans la zone (N) diffusent dans la zone (p).

Une fois la borne négative et positive est créée, il faut ensuite les relier avec un fil conducteur et placer un appareil électrique, par exemple une ampoule. Dès que les photons percutent le panneau (PV), les électrons du silicium se mettent à circuler de la borne négative vers la borne positive, en alimentant au passage l'appareil électrique. Les panneaux photovoltaïques se mettent à produire du courant électrique. La figure 1.4 illustre le processus:



**Figure 1.4: La composition interne de la cellule solaire [11].**

Les lettres sur la figure ci-dessus représentent respectivement :

**N** : Couche dopée négativement.

**P** : Couche dopée positivement

**J** : Jonction entre les zones N et P.

**K**: La zone N est couverte par une grille métallique qui sert de cathode (électrode de sortie du courant).

**a**: Plaque métallique recouvrant la face du cristal (qui appartient aux cristaux: variété de verre pur, limpide et très résistant. Ici, le silicium), qui sert d'anode (électrode d'entrée du courant).

**e**: Epaisseur de N (égale à quelques millièmes de mm).

**R** : Charge électrique.

### 3.3 Le rendement d'un panneau PV

Le rendement d'un panneau solaire photovoltaïque dépend des technologies utilisées lors de sa fabrication, de la température, de l'inclinaison et de l'incidence avec d'autres facteurs.

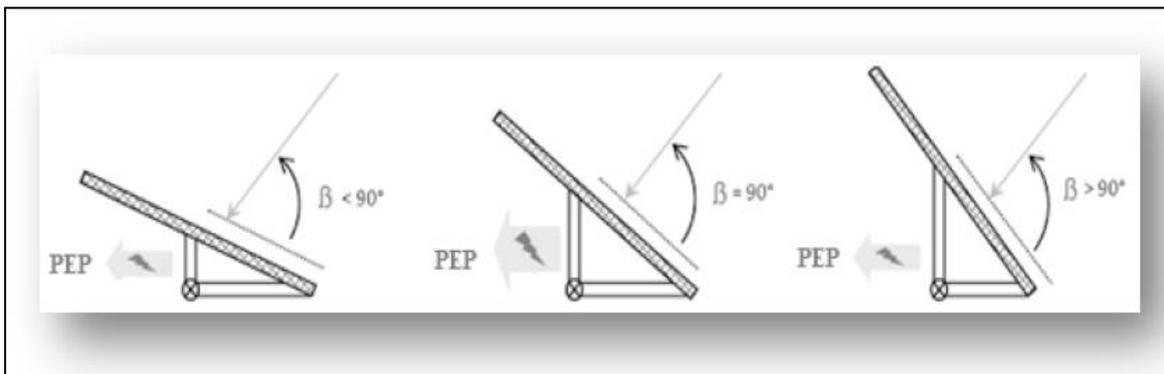
Il existe plusieurs types de panneau PV dont les plus connus sont à base de cellules en Silicium poly cristallin, Silicium monocristallin, Silicium amorphe, les cellules multi-jonctions, etc. Chacune de ces technologies présente des avantages et des inconvénients [12].

Pour un panneau PV, le rendement ( $Re$ ) exprimé en pourcent (%) est défini par le rapport de la puissance électrique produite par le panneau PV (PEP) sur la puissance solaire reçue (PSR).

$$Re = PEP \div PSR \quad (1.1)$$

#### 3.3.1 Positionnement

L'énergie produite par le panneau PV dépend fortement de la quantité d'éclairement solaire absorbée par ce dernier. Cette quantité dépend de l'orientation du panneau par rapport au soleil. Pour collecter le maximum d'énergie, le panneau PV doit être constamment orienté perpendiculairement aux rayons solaires.



**Figure 1.5 : Dépendance des performances d'un panneau PV de l'angle  $\beta$  [13].**

Avec :  $\beta$  l'angle formé entre le plan du panneau et les rayons lumineux incidents.

## 4 Les suiveurs solaires

### 4.1 Intérêt des panneaux solaires photovoltaïques mobiles

Les modules photovoltaïques placés sur des suiveurs solaires ont un rendement énergétique qui s'augmente de manière appréciable par rapport aux modules fixes.

Lorsqu'un système suiveur oriente le panneau solaire en le faisant pivoter en direction du soleil et en maintenant en permanence un angle d'incidence «  $i$  », des rayons, idéal voisin de  $90^\circ$ , la production électrique par  $m^2$  du panneau atteint alors son maximum

Le diagramme comparatif de production électrique (figure 1.6) montre pour une journée ensoleillée d'été, le gain de production électrique obtenu en passant d'une installation fixe à une installation équipée d'un suiveur de trajectoire solaire.

La figure 1.6 représente l'intérêt d'une installation à suiveur en terme énergétique :

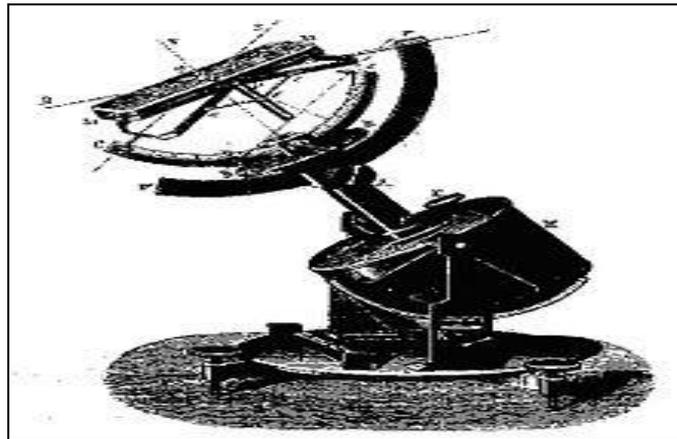


**Figure1.6:Diagramme comparatif de production électrique de deux installations (fixe et mobile) [14].**

## 4.2 Les premières utilisations

Les premières applications des suiveurs solaires remontent vers les années 1750 où le principe repose sur l'utilisation de l'héliostat (figure 1.7). La rotation du miroir de l'héliostat est assurée par un mécanisme d'horlogerie dont la plus ancienne mention du système se trouve dans des publications datant de 1742 du physicien néerlandais Willem Jacob 's Gravesande [13].

Un champ d'héliostat repère le mouvement du soleil en convergeant les rayons lumineux vers un même point, concentrant ainsi la lumière incidente en employant des miroirs de réflexion, tout au long de la journée. Ce dernier se rencontre dans diverses installations utilisant l'énergie solaire, notamment les centrales solaires à concentration appelés champs d'héliostats. Un exemple en France de la centrale solaire Thémis qui, après avoir fonctionné de 1983 à 1986, fait l'objet d'une nouvelle expérimentation depuis 2007[15].



**Figure 1.7: Modèle d'un héliostat en (1742) [15].**

### 4.3 Les types de suiveurs solaires

On distingue principalement deux grandes familles de suiveur solaire :

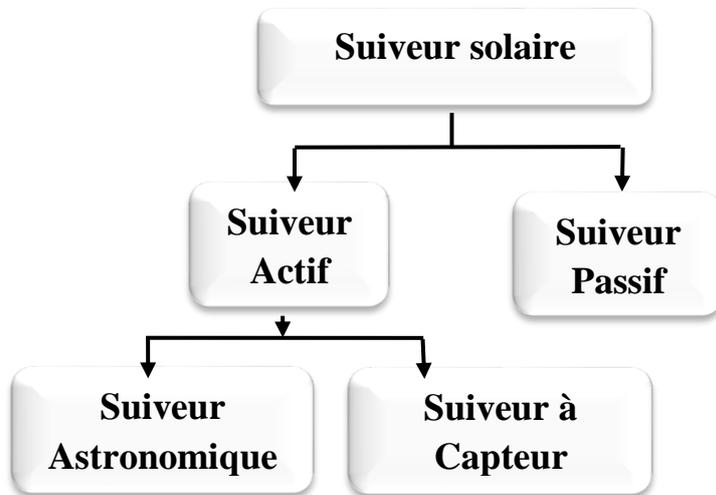


Figure 1.8 : Les types de suiveurs solaires.

#### 4.3.1 Le suiveur passif

Ce type de suiveur est constitué dans son architecture de deux tubes en cuivre montés sur les côtés Est et Ouest du panneau PV. Le tube de matière cuivre est rempli de fluides chimiques capable de se vaporiser à basse température. En effet, l'exposition au rayonnement solaire augmente la température des côtés du panneau, le fluide dans le tube en cuivre alors se vaporise [15]. Ce type de suiveurs est très classique vue qu'il utilise un fluide vaporisons, et moins précis.

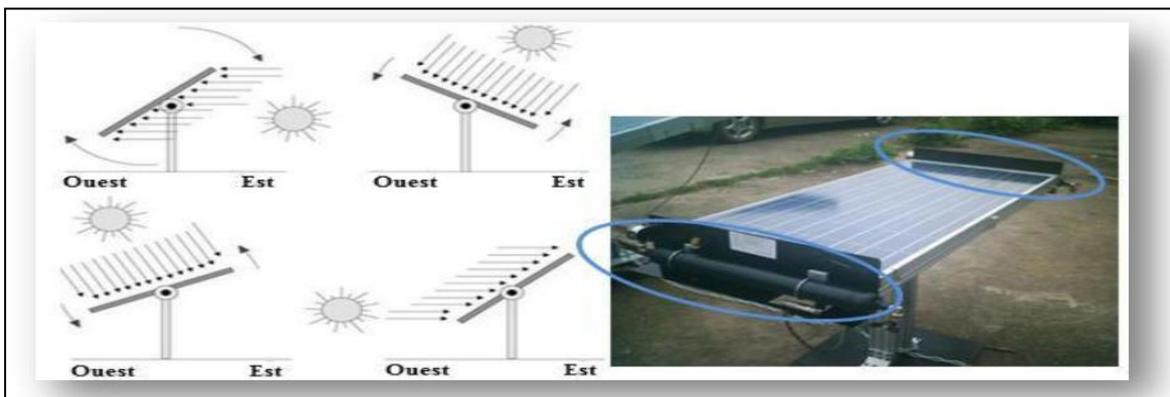


Figure 1.9 : Exemple d'un suiveur passif [15].

### 4.3.2 Le suiveur actif

La mise en mouvement est assurée par des mécanismes électromécaniques nécessitant une énergie électrique. Cette famille de suiveur se décompose en deux sous familles :

- **Les suiveurs astronomiques:** nécessitant des calculs de prévision de la trajectoire solaire.
- **Les suiveurs à capteur :** nécessitant la détection en temps réel de la position du soleil.

### Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons commencé par donner un aperçu général sur le gisement solaire, puis nous avons décrit le principe de fonctionnement et les facteurs influant sur le rendement d'un panneau photovoltaïque et enfin, nous avons terminé le chapitre par une petite description sur les suiveurs solaires et montrer leurs avantages en terme de production énergétique.

Dans le chapitre qui suit, nous allons faire l'étude aux différentes parties qui constituent notre suiveur, afin de faire un bon choix matériel.

# **Chapitre 2 :**

## **Etude, Dimensionnement**

## Chapitre 2 : Etude, Dimensionnement

Dans ce chapitre nous allons faire l'étude aux différentes parties qui constituent notre suiveur, afin de faire un bon choix matériel.

Le système de poursuite solaire que nous avons réalisé se compose de deux parties essentielles, partie mécanique, qui sert à supporter le panneau et les moteurs, une partie électronique qui est la carte de commande.

### 1 Principe de poursuite solaire

Le principe de poursuite que nous avons adopté est illustré dans le schéma synoptique général représenté dans la figure 2.1. La technique utilisée repose sur la différence d'éclairement incident sur les capteurs de lumière, LDR (Light-Dépendent-Résistor), séparés par des parois opaques et placés sur le panneau PV figure 2.5. Le circuit de commande assure la fonction de comparaison des signaux émis par les capteurs en calculant leurs différences, puis génère des signaux de commande au moteur pour repositionner le panneau perpendiculairement aux rayons solaires.

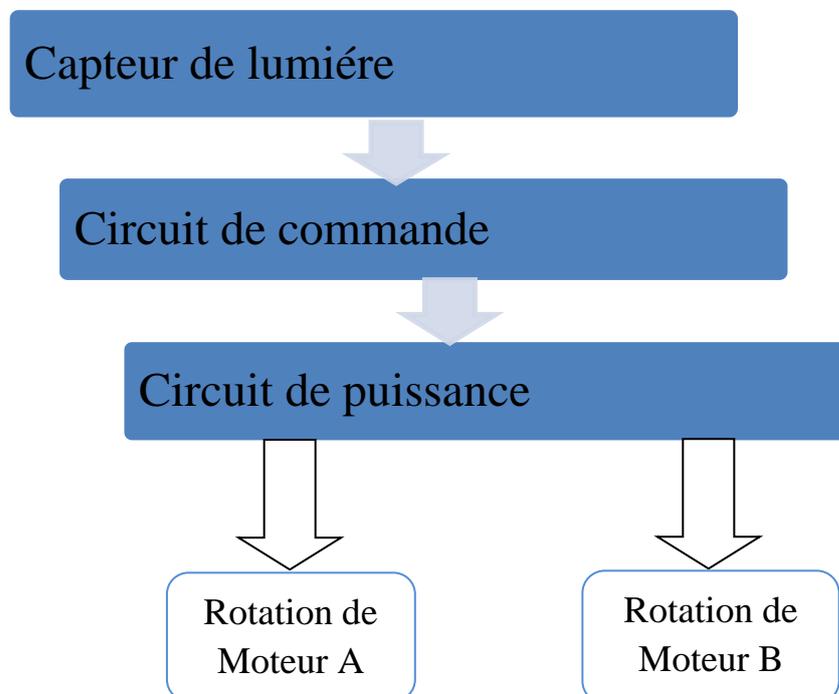


Figure 2.1 : Le schéma synoptique de notre suiveur solaire.

## 2 Etude des différents blocs

Dans cette partie nous allons faire l'étude aux différents blocs constituant notre suiveur.

### 2.1 Partie électronique

La partie électronique est constituée de capteurs de lumière et de la carte de commande.

#### 2.1.1 Capteur de lumière (photorésistance)

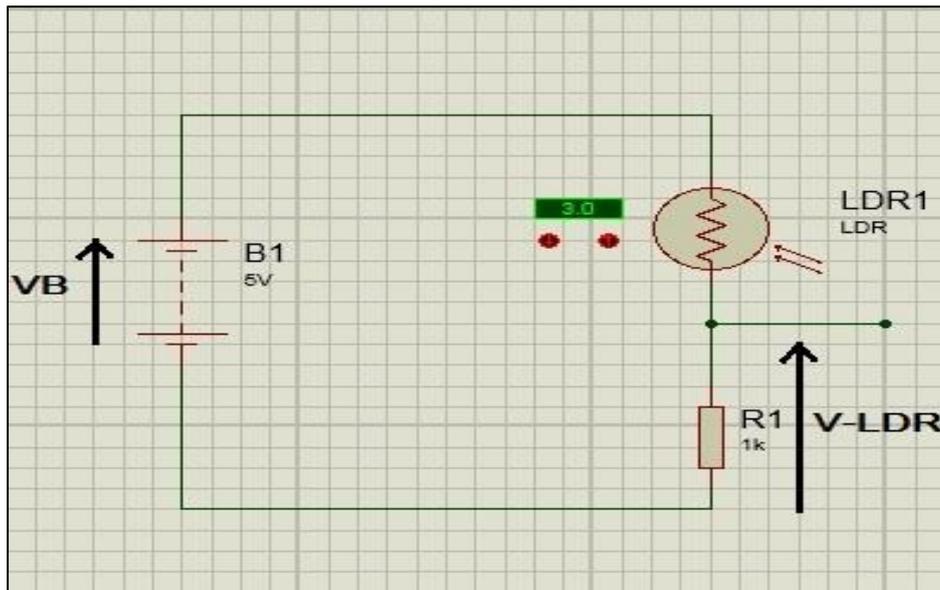
Une photorésistance est un composant électronique, comme son nom l'indique est une résistance dont la valeur en Ohms dépend de l'intensité de la lumière à laquelle elle est exposée. On la désigne aussi par **LDR** (**L**ight **D**épendent **R**ésistor) ou (résistance dépendante de la lumière).

Nous avons choisi ce capteur pour les avantages qu'il présente et son adaptation pour notre application. Citons quelques un :

- Faible coût
- Facilité de mise en œuvre
- Sensibilité élevée
- Temps de réponse très court (comparant à la photo diode).
- Disponible sur le marché.

##### 2.1.1.1 Adaptations d'impédance

Comme nous l'avons mentionné dans le paragraphe précédent, à la sortie d'une photorésistance on obtient une résistance en fonction de la lumière. On ne peut pas exploiter directement cette résistance avec notre circuit de commande (microcontrôleur), que nous allons décrire prochainement, nous sommes alors obligé de l'adapter en une tension qui est l'image de cette résistance. La figure ci-dessus représente le circuit d'adaptation d'impédance.



**Figure 2.2: Circuit d'adaptation des capteurs utilisés.**

La tension délivrée par le capteur est donnée par la relation:

$$V\_LDR = VB \times R1 \div (R\_LDR + R1) \quad (2.1)$$

Où :

VB : tension batterie (V).

R\_LDR: résistance de la LDR ( $\Omega$ ).

### 2.1.1.2 Etalonnage des capteurs

Un problème se rencontre avec les composants électroniques, c'est que deux composants identiques, sortant du même processus, n'ont pas les mêmes caractéristiques. Un étalonnage est nécessaire afin de choisir quatre capteurs pour notre application, dont les courbes caractéristiques (résistance/éclairage) sont les plus proches.

La procédure que nous avons suivie est illustrée dans la figure 2.3. Une torche est isolée par un tube creux en PVC, alimentée par un variateur de lumière gradué. un multimètre est nécessaire pour mesurer la tension, qui est l'image de la résistance des capteurs à étalonner, aux bornes du circuit d'étalonnage réalisé. À la fin nous obtenons les courbes caractéristiques (tension/éclairage), des quatre capteurs choisis parmi trente, représentés dans la figure 2.4 :

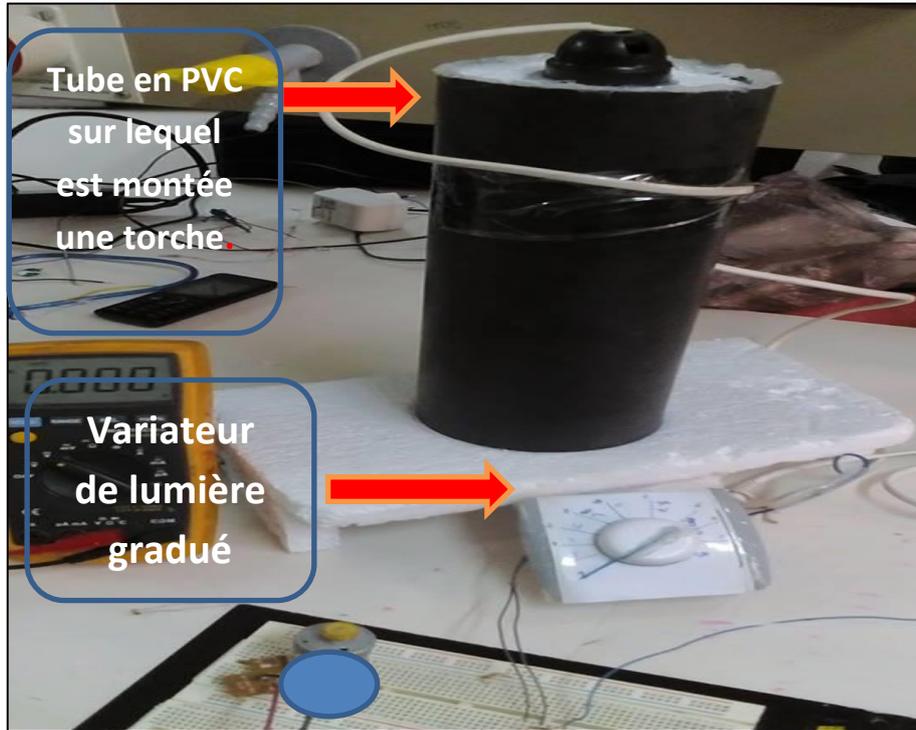


Figure 2.3 : Étalonnage des LDR.

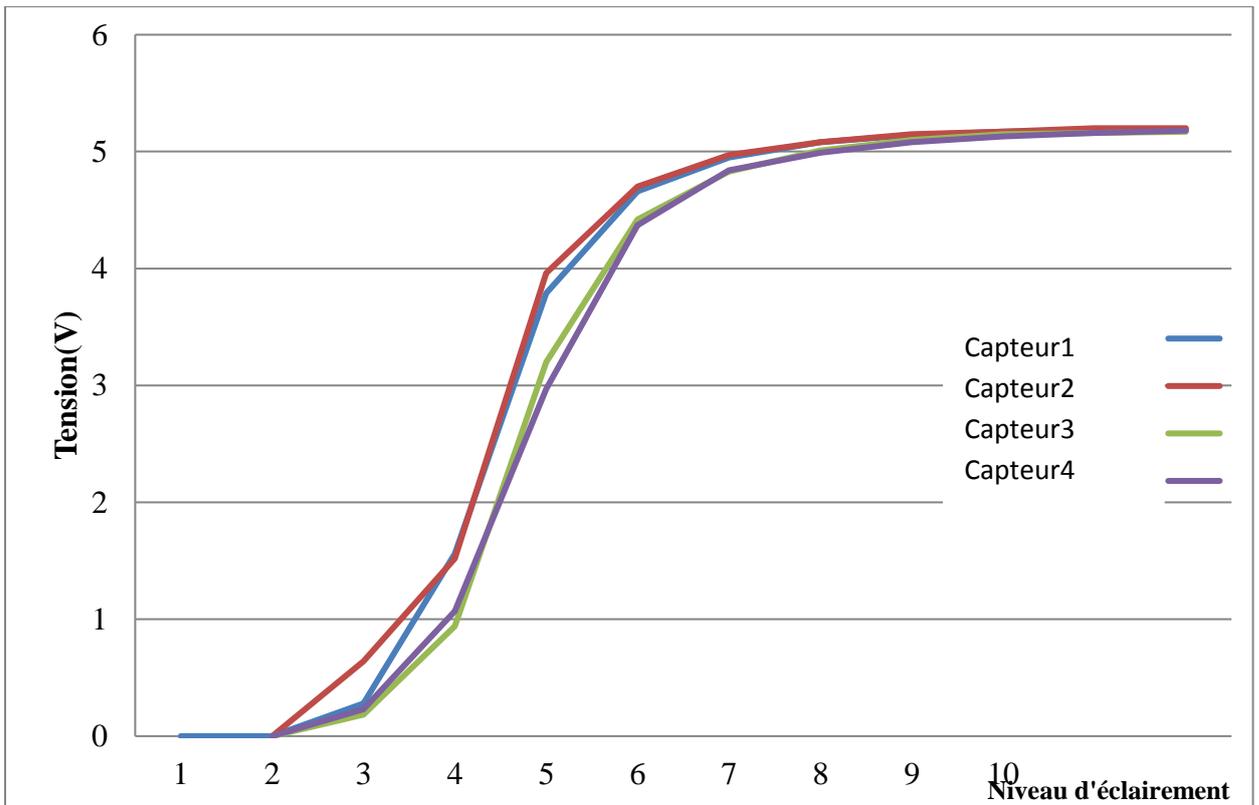


Figure 2.4 : Les courbes caractéristique (tension/éclairage) des quatre capteurs choisis.

### 2.1.1.3 Disposition des capteurs

Il est indispensable de prendre en considération trois paramètres lors de la disposition des capteurs LDR. L'angle « $\varepsilon$ » de l'ombre solaire qui est en fonction de la hauteur « $H$ » de la paroi, et la distance « $d$ » qui la sépare du capteur comme c'est représenté sur la figure (2.5) ; en effet « $\varepsilon$ » est l'angle seuil de déclenchement ou seuil de l'ombre solaire.

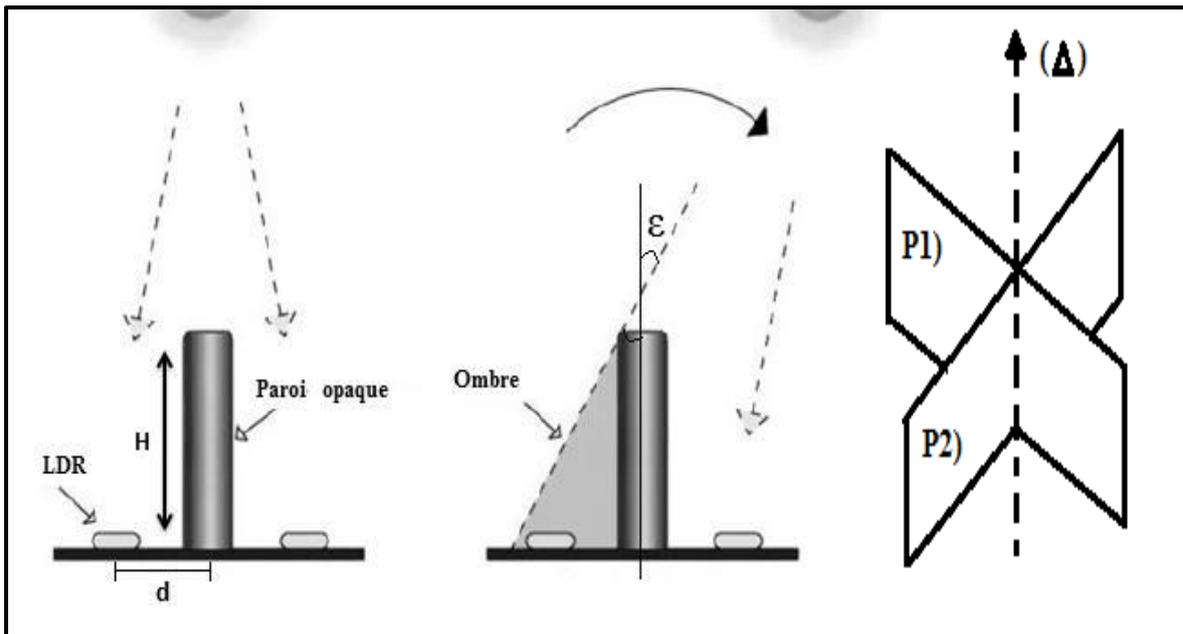


Figure 2.5 :Représentation des plans 1 et 2 séparant les LDR.

### 2.1.1.4 Calcul de la vitesse de rotation moyenne du panneau PV

La vitesse de rotation moyenne du panneau étant la vitesse à laquelle la terre tourne sur elle-même (1 tour par 24h), c'est-à-dire :

$$\Omega_{\text{Moy}} = 360 \div 24 \quad (2.2)$$

$$\Omega_{\text{Moy}} = 15 \text{ degré/h} \quad (2.3)$$

En effet, cette valeur rejoint les calculs astronomiques où le mouvement relatif du soleil est un déplacement de 1 degré toutes les 4 minutes (15 degrés/h). Ainsi à partir des calculs obtenus nous pouvons fixer la valeur du seuil de l'angle de l'ombre solaire  $\varepsilon$ , et la hauteur  $H$  de la paroi qui déterminent la précision du système de poursuite.

Pour un seuil de déclenchement de  $\varepsilon = 4^\circ$  qui est équivalent à un changement de position toute les 16 minutes. On trouve :

$$H = d \div \tan(\epsilon) = 0.5 \div \tan(4) \quad (2.4)$$

$$H = 7.1 \text{ cm}$$

### 2.1.2 Le Circuit de commande

Le circuit de commande utilisé pour notre application est un microcontrôleur (pic18f2550), destinés au traitement des informations émises par les capteurs de lumières. Les ordres résultants sont ensuite transmis aux moteurs avec l'intermédiaire du circuit de puissance composé d'un ULN2004A et des relais électromécanique, que nous allons décrire prochainement.

#### 2.1.2.1 Description du microcontrôleur

Un microcontrôleur (en notation abrégée  $\mu\text{C}$ , ou encore MCU en anglais) est un circuit intégré qui rassemble les éléments essentiels d'un ordinateur : processeur, mémoire (mémoire morte et mémoire vive), unités périphériques et interfaces d'entrées-sorties. Les microcontrôleurs se caractérisent par un plus haut degré d'intégration, une plus faible consommation électrique, une vitesse de fonctionnement plus faible (de quelques mégahertz jusqu'à plus d'un gigahertz) et un coût réduit par rapport aux microprocesseurs polyvalents utilisés dans les ordinateurs personnels.

Ils sont très utilisés dans les systèmes embarqués : véhicule-électroménager les téléphones, les contrôleurs des moteurs automobiles ...etc.

Il existe plusieurs familles des  $\mu\text{C}$  telle que :

- MSP de Texas instrument.
- ATxx de ATMEL.
- PIC de Microship.
- 68 HCxx de frescale
- 8051 de Intel.
- Z80 de Zilog.
- SAB-C de siemens/Infineon.

### 2.1.2.2 Le Choix du microcontrôleur

Nous avons choisis un microcontrôleur de la firme Microchip, de la famille « PIC18F2550 » pour les raisons suivantes :

- Le nombre d'entrées/sorties (22 pin E/S) suffisant pour l'application.
- Doté d'un convertisseur Analogique/Numérique (ADC port) qui est nécessaire pour la lecture des informations analogiques émises par les capteurs (LDR).
- La rapidité d'exécution qui peut aller jusqu'à 48 MHz (48 million instructions par seconde).
- Mémoire de type flache d'une capacité de 32KBytes. Qui est largement suffisante pour notre programme.
- Doté d'un port USB. Cela nous permet une communication avec l'ordinateur (pour une application dans le futur).
- Disponible dans le marché.
- Son prix raisonnable.

### 2.1.2.3 Identification du PIC18F2550

- **18** : Famille du composant.
- **F** : Indique une mémoire de type FLASH.
- **25** : Identificateur du PIC.
- **50** : Indiquant la fréquence d'horloge maximale que le PIC peut recevoir (Vitesse Maximum du quartz).

### 2.1.3 Le circuit de puissance

Le circuit de puissance est la partie intermédiaire entre le circuit de commande et les actionneurs, il sert, comme son nom l'indique, à acheminer la puissance vers les récepteurs électrique (les moteurs dans notre cas).

Les composants électroniques qui constituent le circuit de puissance de notre carte de commande sont : les relais électromécaniques et le circuit intégré « ULN2004A ».

### 2.1.3.1 Le relais électromécanique

Un relais électromécanique est un organe électrique permettant d'isoler la partie commande de la partie puissance: il permet l'ouverture et la fermeture d'un circuit électrique par un second circuit (circuit de commande) complètement isolé (isolation galvanique).

Le relais électromécanique est constitué, comme son nom l'indique, d'une partie électrique (bobine) et d'une partie mécanique (lame mobile). lorsque la bobine est traversée par courant électrique elle induit un champ magnétique qui va attirer la lame mobile ce qui provoque la fermeture du contact de puissance a son tour. la figure 2.6 illustre la constitution interne d'un relais électromécanique.

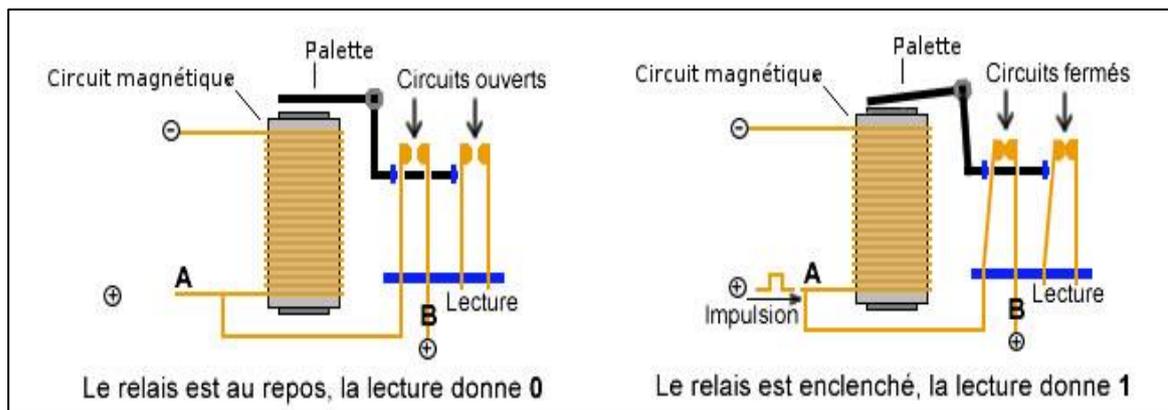


Figure 2.6: Constitution interne d'un relais électromécanique.

### 2.1.3.2 Le circuit intégré « ULN2004A »

L'ULN2004A est un ensemble de sept transistors NPN Darlington qui supportent 500 mA, 50 V en sortie. Il dispose de diodes de retour à cathode communes pour la commutation de charges inductives. L'utilisation typique de l'ULN2004A se fait dans les circuits de puissance pour les relais (dans notre cas), les lampes et les écrans LED, les moteurs pas à pas, les tampons logiques [16].

Nous avons utilisé ULN2004A dans notre circuit, pour le but d'amplifier le signal de commande, sortant du microcontrôleur, responsable de l'ouverture et la fermeture des relais.

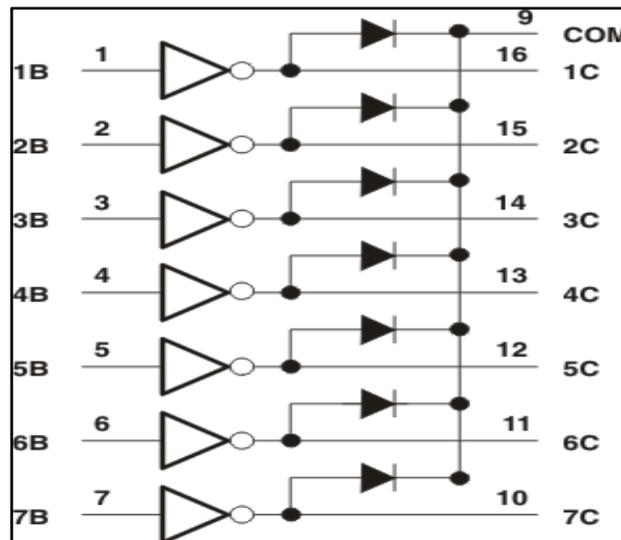


Figure 2.7 :Schéma simplifié de l' ULN2004A [16].

## 2.2 Les dimensions des moteurs utilisés

Les deux mouvements, horizontale et verticale, de notre suiveur sont assurés par deux moteurs linéaires (vérins électriques), à courant continu à aimant permanent.

Notre cahier des charges nous impose, une vitesse de rotation (moteur + réducteur) très réduite mais aussi supérieure à une rotation de 12degré/h (vitesse angulaire du soleil), un couple important afin d'entraîner la charge du panneau et la structure mécanique (30Kg au total), un moteur qui fonctionne sous 24V (tension des batteries).

Nous avons trouvé dans le magasin des moteurs à courant continu et a aimant permanent qui répondent à notre cahier des charges. Le tableau suivant représente les caractéristiques des moteurs utilisés [17] :

Tableaux 2.1 : La plaque signalétique des moteurs utilisés.

puissance maximale	70 w
puissance à vide	5 w
Tension d'alimentation	24-36 DC
Courant nominal	0.7A
Courant maximal	2.2A
Charge dynamique	136Kg

Vitesse linéaire	6.62mm/s
Course	30.5cm

### 2.3 Commande d'un moteur DC dans les deux sens

Le pont en H est une structure électronique servant à contrôler la polarité aux bornes d'un dipôle. Il est composé de quatre éléments de commutation généralement disposés schématiquement en une forme de H d'où le nom. Les commutateurs peuvent être des relais, des transistors, ou autres éléments de commutation en fonction de l'application visée [21].

Cette structure se retrouve dans plusieurs applications de l'électronique de puissance incluant le contrôle des moteurs, les convertisseurs, hacheurs, ainsi que les onduleurs [21]. Il se présente sous différentes formes passant par les circuits intégrés pour les applications de faibles et moyennes puissances, les circuits discrets ainsi que les modules intégrés pour les moyennes et hautes puissances.

Le pont en H permet de réaliser 2 fonctions qui sont d'inverser le sens de rotation du moteur en inversant le courant aux bornes du moteur et la variation de la vitesse du moteur en modulant la tension aux bornes du moteur.

De plus, le pont en H permet d'effectuer un freinage magnétique s'il est capable d'en dissiper la puissance générée. Cette opération s'effectue en actionnant soit les deux commutateurs supérieurs ou inférieurs en même temps, ce qui court-circuite les bornes du moteur, et le fait par conséquent freiner.

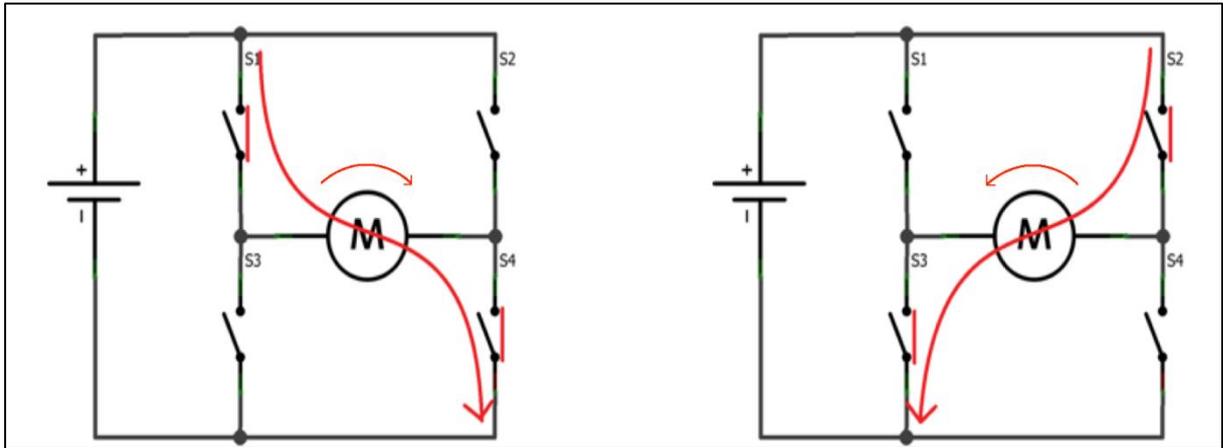


Figure2.8 schémas de commande du sens de rotation d'un moteur DC à pont H [21].

### Conclusion

Selon l'étude que nous avons apportée dans ce chapitre, sur les différentes parties constituantes notre projet, nous nous sommes aboutis au choix matériel des différents composants nécessaires pour un bon fonctionnement de notre suiveur solaire.

**Chapitre 3 :**  
**Conception matérielle**

---

## Chapitre 3 : Conception matérielle

Nous nous sommes abouti, dans le chapitre 2, selon l'étude que nous avons apportée au choix matériel des différents composants nécessaires pour notre projet. Alors dans ce chapitre nous allons décrire les étapes suivies pour la réalisation matérielle de notre suiveur solaire.

La démarche suivie pour la réalisation du dispositif se divise en cinq étapes :

**Etape 1 :** faire l'organigramme qui représente l'algorithme suivi.

**Etape 2 :** traduire l'algorithme conçu en un langage de programmation, compréhensible par le microcontrôleur, avec un logiciel approprié.

**Etape 3 :** simulation du schéma électrique et tester le bon fonctionnement du programme.

**Etape 4 :** réalisation de la carte électronique.

**Etape 5 :** faire l'assemblage des différents blocs, qui constituent notre projet : câblage, assemblage de la structure mécanique, fixation des moteurs etc...

## 1 Description des étapes suivies

### 1.1 L'organigramme

L'algorithme, de notre suiveur solaire, adopté est représenté par l'organigramme suivant :

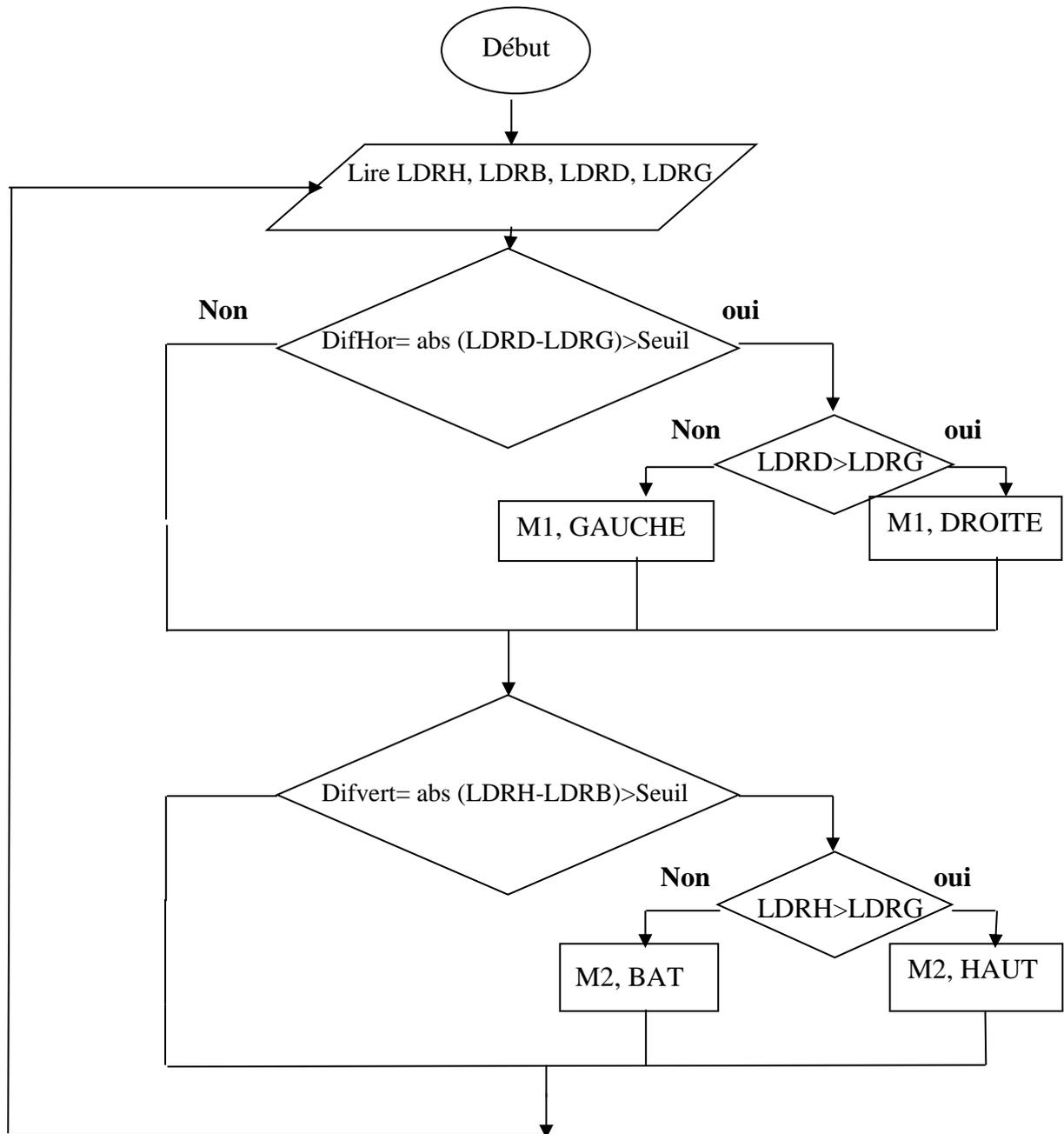


Figure 3.1 : L'organigramme de notre suiveur solaire.

La liste suivante représente les notations utilisées dans l'organigramme :

**LDRH** : Capteur haut.

**LDRB** : Capteur bas.

**LDRD** : Capteur droite.

**LDRG** : Capteur gauche.

**M1** : Moteur d'élévation.

**M2** : Moteur d'azimut.

## 1.2 programmation du microcontrôleur

Pour la programmation du microcontrôleur (pic18f2550) nous avons utilisé le logiciel MikroC for pic, qui nous permettra la génération du fichier, sous l'extension « .hex » à implémenter dans le  $\mu\text{C}$ .

### 1.2.1 MikroC Pro For PIC

Le mikroC Pro For PIC est un puissant outil de développement riche en fonctionnalités pour les microcontrôleurs PIC. Il est conçu pour fournir au programmeur la solution la plus simple possible pour développer des applications pour les systèmes embarqués, sans compromettre les performances ni le contrôle.

MikroC PRO For PIC fournit une correspondance réussie avec un IDE hautement avancé, un compilateur compatible ANSI, un large ensemble de bibliothèques matérielles, une documentation complète. [18].

La figure ci-contre montre une partie du programme, implémenté dans le  $\mu\text{C}$ , développé sous l'environnement MikroC.

```

int LDRH, LDRB, LDRD, LDRG, DifHor, difVer, seuil; // declaration des variables

void main() {
DifHor= (LDRH-LDRB);
DifVer= (LDRD-LDRG);
seuil=10;
LDRH=LDRB=LDRD=LDRG; //initialisation
DifHor=DifVer=0;
CMCON = 0x07; // Disactivation Du Comparateur
ADCON1 =9; // configuration du PORT ADC
ADCON0=3; // choix des pin en ADC
TRISB=0;
ADC_Init(); //initialisation de l'ADC

while(1) {

LDRH=ADC_READ(0);
LDRB=ADC_READ(2);
LDRD=ADC_READ(3);
LDRG=ADC_READ(4);
}

```

Line	Message No.	Message Text
0	127	All files Compiled in 62 ms
0	1144	Used RAM (bytes): 60 (3%) Free RAM (bytes): 1959 (97%)
n	1144	Used ROM (bytes): 538 (2%) Free ROM (bytes): 22230 (98%)

Figure 3.2 : Une partie du programme implémenté dans le «  $\mu$ C ».

### 1.3 Test et simulation sous ISIS\_PROTEUS

Il est important de vérifier le bon fonctionnement de n'importe quel circuit électronique, sous un logiciel de simulation, avant de passer à la réalisation matérielle. Dans notre cas nous avons utilisé ISIS\_PROTEUS.

#### 1.3.1 Présentation du logiciel «PROTEUS »

**Proteus** est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société **Labcenter Electronics**, les logiciels incluent dans Proteus permettent la CAO dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle: ISIS, ARES, PROSPICE et VSM.

## 1. ISIS

Le logiciel ISIS de Proteus est principalement connu pour éditer des schémas électriques. Par ailleurs, le logiciel permet également de simuler ces schémas ce qui permet de déceler certaines erreurs dès l'étape de conception. Indirectement, les circuits électriques

conçus grâce à ce logiciel peuvent être utilisés dans des documentations car le logiciel permet de contrôler la majorité de l'aspect graphique des circuits.

## 2. ARES

Le logiciel ARES est un outil d'édition et de routage qui complète parfaitement ISIS. Un schéma électrique réalisé sur ISIS peut alors être importé facilement sur ARES pour réaliser le PCB de la carte électronique. Bien que l'édition d'un circuit imprimé soit plus efficace lorsqu'elle est réalisée manuellement, ce logiciel permet de placer automatiquement les composants et de réaliser le routage automatiquement [19].

Cette suite logicielle est très connue dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation (incluant lycée et université) utilisent cette suite logicielle. Outre la popularité de l'outil, Proteus possède d'autres avantages :

- Pack contenant des logiciels faciles et rapides à comprendre et utiliser.
- Le support technique est performant.
- L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériels et logiciels lors de la conception d'un projet.

### 1.3.2 Schéma du montage sous ISIS

La figure ci-dessous représente le schéma électrique réalisé sous ISIS.

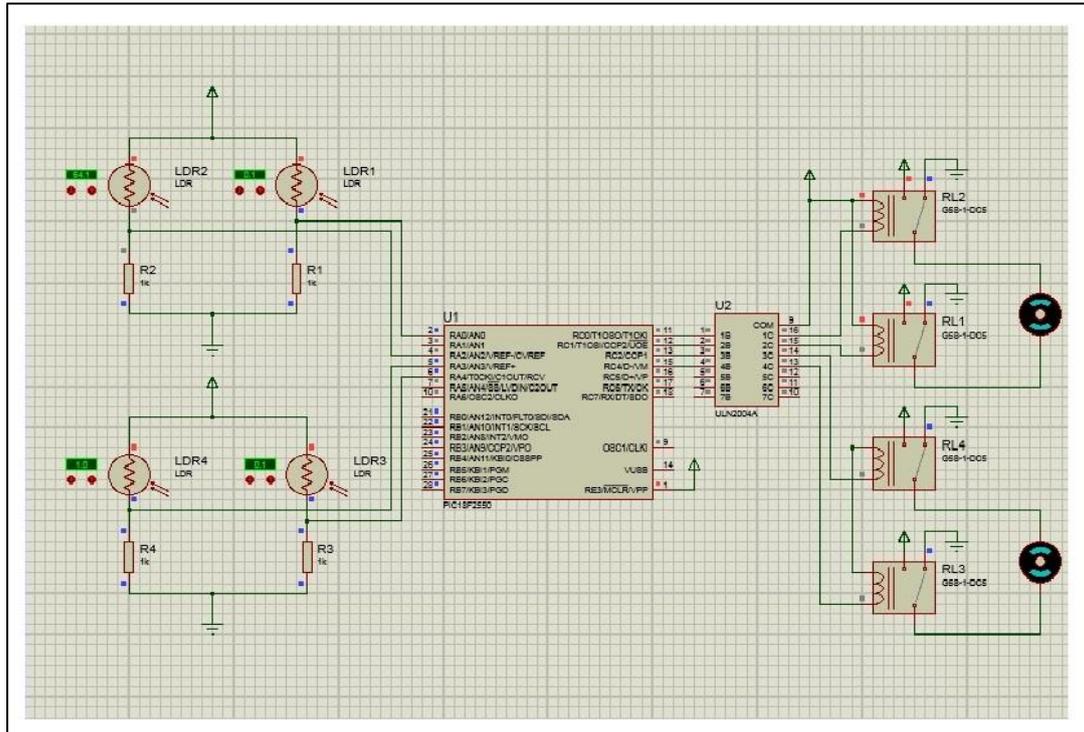


Figure3.3 : Schéma de simulation sous ISIS.

## 1.4 Réalisation de la carte électronique

Une fois que les tests sont effectués, et les résultats de la simulation sont satisfaisants, nous passons à la réalisation du circuit électronique de la carte de commande.

### 1.4.1 Routage sous ARES

Comme nous avons décrit dans le paragraphe précédent, ARES nous permet le routage des circuits électroniques. la figure 3.4 représente le résultat du routage de notre carte de commande.

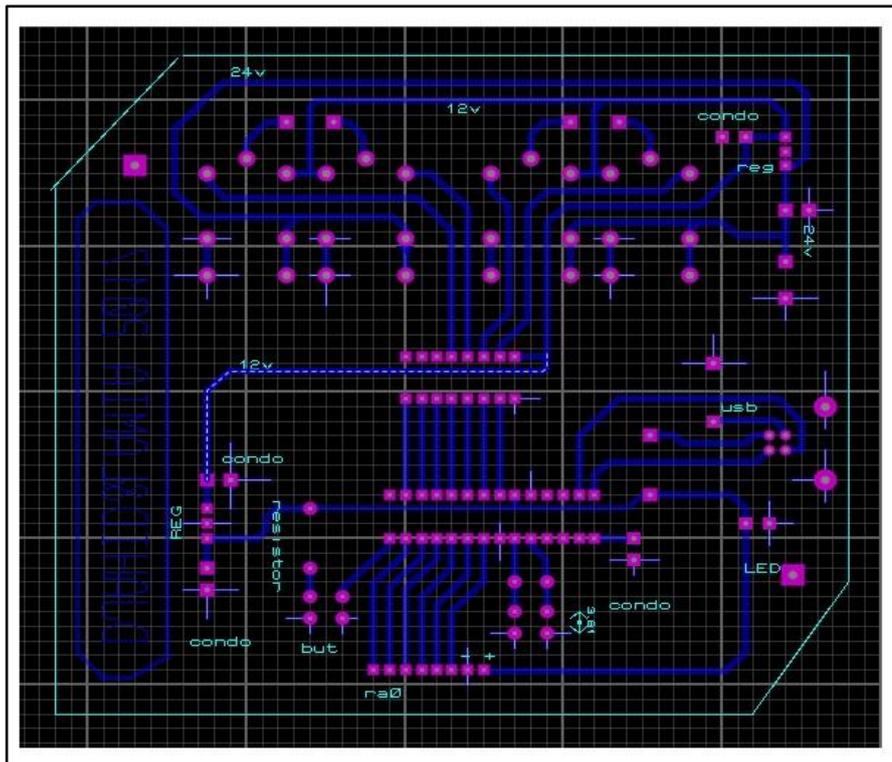


Figure3.4 : Routage du circuit électronique de la carte de commande.

### 1.3.4 Impression du typon

La figure 3.5 représente le typon du circuit électronique imprimé sur un papier  
Glace :

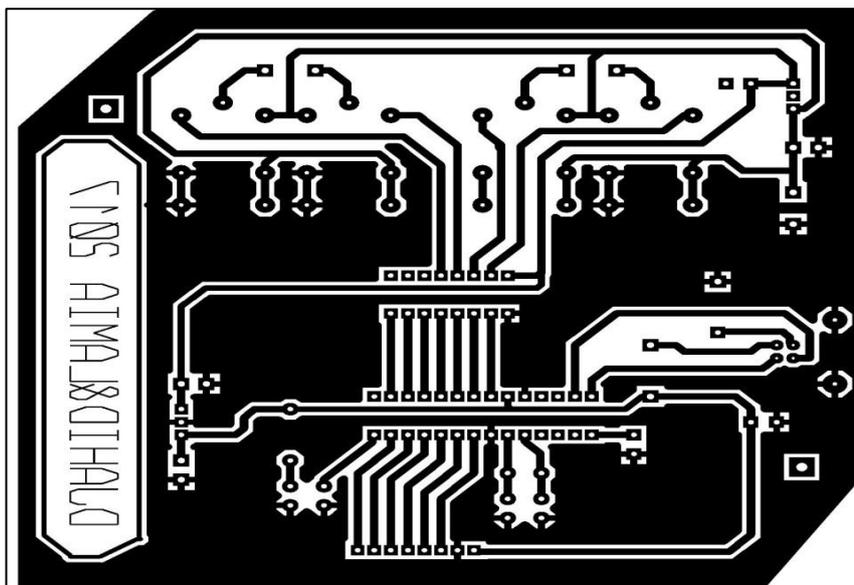
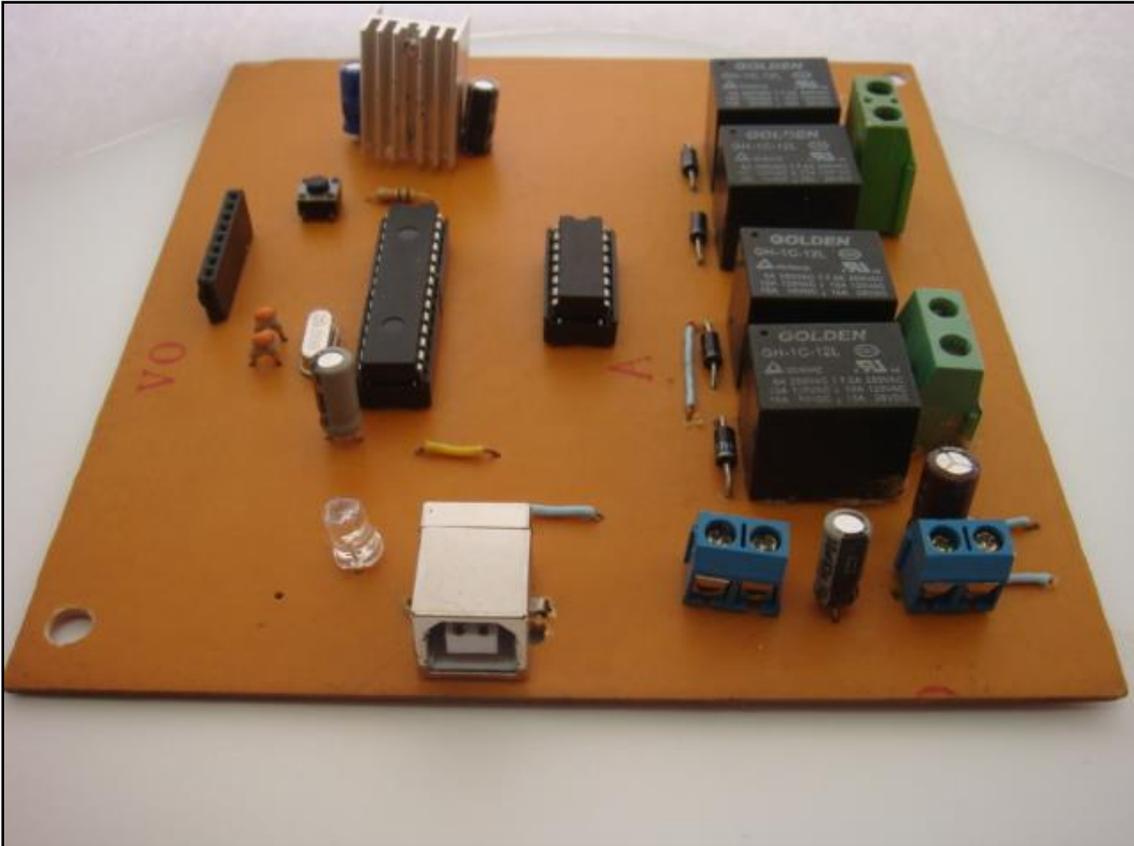


Figure3.5 : Le typon de la carte électronique.

Une fois nous avons imprimé le typon, nous passons à la gravure du circuit sur la bakélite en passant d'abord par l'insolable ensuite nous plongeons la bakélite dans les produits chimiques (révélateur et perchlorure). la figure 3.6 représente le résultat final de la carte de commande après avoir soudé tous les composants électroniques dessus.



**Photo 3.6 : Carte de commande après soudage.**

### **1.5 L'assemblage des différents blocs**

La figure ci-dessous représente la structure finale de notre suiveur solaire, après l'assemblage des différentes parties, carte de commande, les capteurs, les moteurs électriques et la structure mécanique.



**Photo 3.7 : Structure finale de notre suiveur solaire.**

### **Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons décrit les différentes étapes suivies pour la conception matérielle de notre suiveur solaire. Nous avons tout d'abord testés le bon fonctionnement du programme sous ISIS, ensuite nous avons réalisé la carte de commande, selon les démarches déjà décrites, ainsi la structure mécanique et enfin nous avons terminé par l'assemblage des différentes parties, carte de commande, structure mécanique, les moteurs et les capteurs.



## **Conclusion générale**

## Conclusion générale

Dans le but d'améliorer le rendement des panneaux photovoltaïques, nous nous sommes intéressés à la conception d'un instrument de poursuite du mouvement du soleil au cours de la journée.

Pour ce faire, nous avons procédé à l'étude et à la description des différentes parties et éléments constituant un suiveur solaire, à savoir : les caractéristiques du rayonnement solaire incident sur les panneaux photovoltaïques, le principe de poursuite, les éléments nécessaires pour cette poursuite. Ceci, nous a permis d'effectuer un choix matériel et logiciels pour la réalisation de notre dispositif.

La technique de poursuite à capteurs de lumière est choisie vu sa possibilité d'être installée, sans aucune modification, dans une large zone géographique. Contrairement à la technique astronomique nécessitant les données géographiques (longitude, latitude et l'altitude) du lieu d'installation. Le fonctionnement de cette famille de suiveurs ne requiert:

- aucun calcul de trajectoire, aucune donnée informatique.
- aucun potentiomètre de mesure d'angle du panneau.

Ce qui simplifie leur conception et réduit leur consommation énergétique.

Après l'ensemble des tests effectués sur notre dispositif, les résultats obtenus sont encourageants et satisfaisants.

En perspective, nous comptons apporter des améliorations telles que :

- Apporter quelques modifications sur la structure mécanique, afin d'avoir un espace de pivotement plus grand.
- Remplacer les LDR par des capteurs photo-cellulaires pour une meilleure précision.
- Réalisation d'un calculateur de puissance (produite par les panneaux PV et consommée par les moteurs) avec des capteurs à effet hall, et faire une acquisition de donnée via le port USB de la carte de commande qui est prévu pour cette application.
- Ajouter un anémomètre afin de protéger le suiveur en cas de vent fort.





**Référence bibliographiques**

## Référence bibliographiques

- [1] MICHEL. Tissot : « **Le guide de l'énergie solaire thermique et photovoltaïque** », Eyrolles :Les guides de l'habitat durable, 26/06/2008, p86.
- [2] <http://www.guide-panneaux-photovoltaïques.be/historique>. Consulté le 20/05/2017,13h47.
- [3] [http://www.gecif.net/articles/genie\\_electrique/sujets\\_bac/Bac2008](http://www.gecif.net/articles/genie_electrique/sujets_bac/Bac2008). Consulté le 20/05/2017, 14h25.
- [4] AMARDJIA-ADNANI. Hania, « **Algérie énergie solaire et hydrogéné** », Offices des publications universitaire, 2007, p113.
- [5] « **Bulletin des énergies renouvelables** », Publication du Centre de Développement des Energies Renouvelables ISSN 1112-3850, N° 1 juin 2002, p11.
- [6] R.BERNARD, G. MENGUY, M.SCHWARTZ : « **Le rayonnement solaire, conversion thermique et application** ». Technique et Documentation, Paris, 1979.
- [7] A.A. SFEIR, G. GUARRACINO : « **Ingénierie des Systèmes solaires** », Technique et Documentation, Paris, 1981.
- [8] A.LABOURET , V.MICHEL : « **Energie solaire photovoltaïque** », Dunod : le moniteur, technique, 3ème édition, 07/10/2009, p25-26.
- [9] BERNARD Jacques, « **Energie solaire calculs et optimisation** », Ellipses, 2011, p209-210.
- [10] <https://www.solaris-store.com/content/42-principe>. Consulté le 20/05/2017,20h25.
- [11] <http://f5zv.pagesperso-orange.fr/RADIO/RM/RM23/RM23e/RM23e03>. Consulté le 22/05/2017,15h10.
- [12] EMMANUEL. Riolet, « **L'énergie solaire et photovoltaïque pour le particulier** », Eyrolles, Octobre 2007, p18-19.
- [13] R.BOUZIANE, A.DOKKAR : « **Conception et Réalisation d'un Suiveur Solaire Bi-axial à Base Des capteurs de lumière** », Mémoire de master professionnel, Université: KASDI MERBAH OUARGLA, 2016.
- [14] OUAFI Abed elkrim, « **Commande de panneau solaire à l'aide d'une carte à pic** », mémoire de master, juin 2010.

- [15] BENMOHAMMADI. Zahra : « **Étude, conception et réalisation d'une commande d'un suiveur solaire** », Mémoire de projet de fin d'étude, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès, juin 2014.
- [16] Texas, Instruments. "ULN2003A Datasheet", (PDF).
- [17] Catalogue du vérin Web.
- [18] [https://download.mikroe.com/documents/compilers/mikroc/pic/help/introduction\\_to\\_mikroc\\_pro\\_for\\_pic.htm](https://download.mikroe.com/documents/compilers/mikroc/pic/help/introduction_to_mikroc_pro_for_pic.htm). Consulté le 5/06/2017,15h19.
- [19] <http://www.elektronique.fr/logiciels/proteus.php>. Consulté le 5/06/2017,18h20.
- [20] [www.microchip.com](http://www.microchip.com). Consulté le 6 /06/2017, 17h00.
- [21] <http://www.technologuepro.com/montages-electroniques/Pont-H-10A100V-20.html>. Consulté le 9/06/2017, 13h13.

## **Annexes**

# Annexe A

Architecture interne du PIC18F2550 [20].

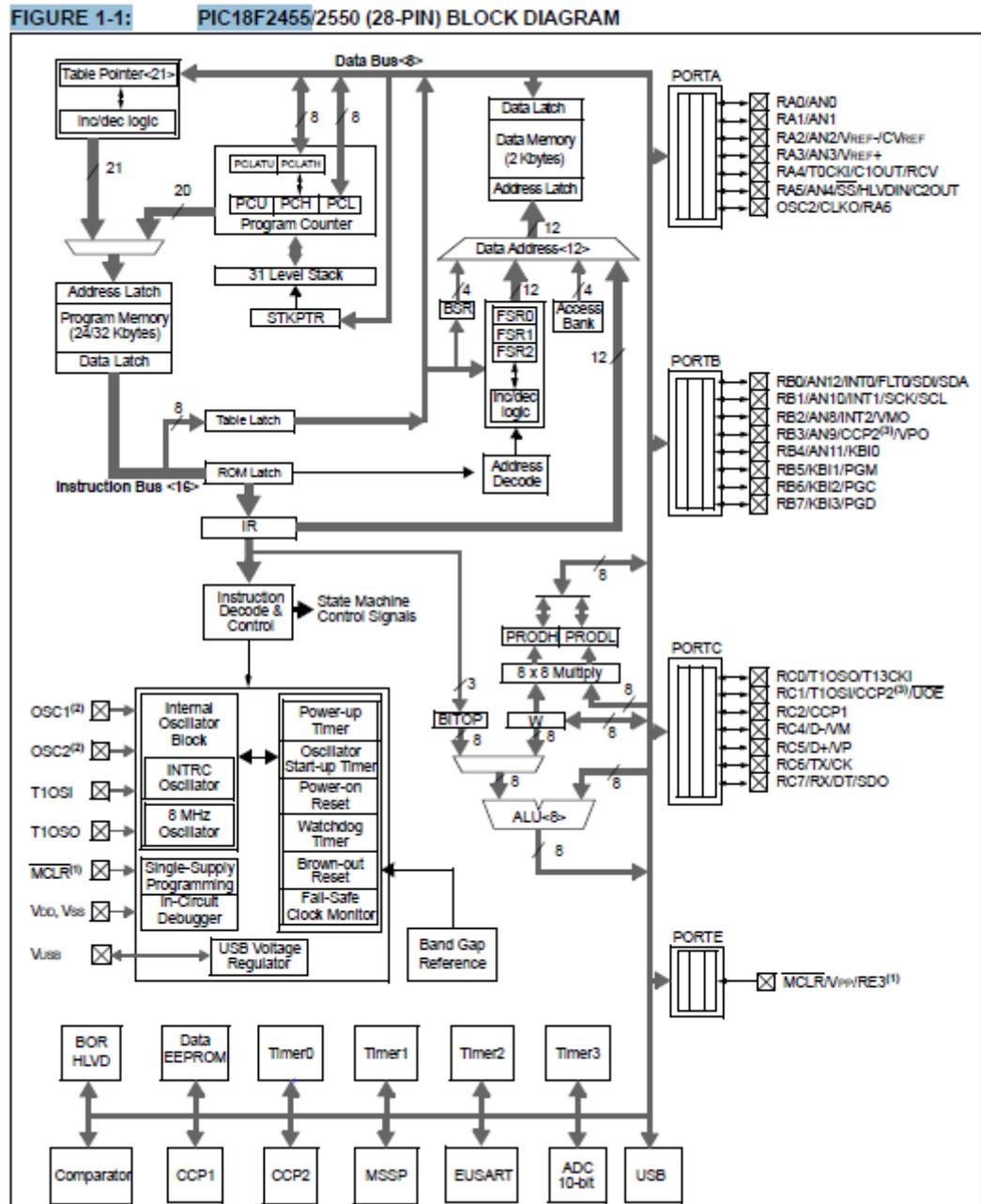


Figure A .1 : La structure interne du PIC 18F2550.

## Résumé

Notre but de réaliser un instrument qui est un suiveur solaire pouvant poursuivre le mouvement du soleil au cours de la journée, afin d'améliorer le rendement des panneaux photovoltaïques. La conception et la réalisation de notre système est basée sur des capteurs de lumière (LDR), un microcontrôleur (pic 18F2550) pour faire la commande, un circuit de puissance (ULN2004A et les relais électromécaniques) et un support mécanique

**Mots clés :** Panneaux photovoltaïques PV, Suiveur solaire, LDR, PIC18f2550.

## Abstract

Our aim is to realize an instrument allowing a daily continuous solar tracker, in order to improve the efficiency of photovoltaic panels. The design and implementation of our system is based on light sensors (LDR), a microcontroller (PIC 18F2550), a power circuit (ULN2004A and electromechanical relays) and a mechanical structure

**Key words:** Photovoltaic panels PV, Solar tracker, LDR, PIC 18F2550.

## المخلص

لقد صممنا هذا المشروع من اجل تحسين أداء الطاقة الشمسية وذلك باستخدام نظام ملاحقة شمسية لتضمن إنتاج كمية اكبر من الطاقة الكهربائية للخلايا الشمسية المتحركة مقارنة بالثابتة وذلك بسبب بقاء مصفوفة الخلايا الشمسية على محاذاة من أشعة الشمس طوال فترة سطوعها يتركز هذا العنصر على هيكل يتحرك بواسطة محركين من نوع التيار المستمر مع دائرة تحكم تعتمد على الميكرو كونترولر و لقد استعملنا أيضا أربع لواقظ ضوئية تقوم هذه الحساسات بتسجيل التوترات و ذلك على حسب شدة أشعة الشمس و هيكل ميكانيكي لتحريك الألواح الشمسية

**الكلمات المفتاحية** الألواح الشمسية ، الميكرو كونترولر ، اللواقظ الشمسية