

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE MOULOUD MAMMARI DE TIZI-OUZOU



FACULTE DE GENIE ELECTRIQUE ET D'INFORMATIQUE
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

**Mémoire de Fin d'Etude
de MASTER PROFESSIONNEL**
Domaine : **Science et Technologies**
Filière : **Génie électrique**
Spécialité : **Electronique Industrielle**

Présenté par
Dahmane BOURSILIA
Mouhamed SAYAD

Thème

**Etude et réalisation d'un suiveur de
soleil à base d'une carte ARDUINO MEGA**

Mémoire soutenu le 27/09/ 2015 devant le jury composé de :

Mr. LAZRI M	maitre de conférences A	UMMTO	Président
Mr. LAGHROUCHE M	professeur	UMMTO	Encadreur
Mr. SEHAD M	maitre de conférences B	UMMTO	Examineur
Mr. ALLOUACHE D	maitre-assistant A	UMMTO	Examineur

REMERCIEMENTS

*Nous remercions le DIEU le tout puissant de nous
avoir procuré la volonté, le courage et la force
nécessaires pour mener à terme ce travail.*

*Nous remercions tous les gens qui nous ont aidé à
faire ce travail, en particulier notre promoteur
Mr laghrouche*

DEDICACES

Je dédie ce travail :

A ma famille.

A mes amis.

A tous ceux qui me sont cher(e)s.

DAHMANE

Ce travail modeste est dédié :

À ma chère mère et mon père.

À tous mes sœurs et mes frères.

Et à tous mes chers amis.

*À mes collègues de l' Université Mouloud Mammeri de
Tizi-Ouzou.*

MOHAMED

TABLE DES MATIERES

Chapitre I : Le gisement solaire

Introduction générale.....	1
I.1. Introduction.....	2
I.2. Le soleil.....	3
I.3. Le mouvement de la terre.....	5
I.4. Grandeurs géographiques et astronomiques.....	6
I.4.1-Grandeurs pour le repérage du soleil.....	6
I. 4.1.1-Repère de coordonnées équatoriales.....	6
I.4.1.2-Repère de coordonnées horizontales.....	8
I.4.2-Grandeurs pour le repérage d'un site à la surface terrestre.....	9
I.4.3-Orientation d'un plan.....	9
I.4.4-Angle d'incidence sur un plan.....	10
I.5. Le rayonnement solaire.....	10
I.5.1-Le rayonnement solaire hors atmosphère.....	11
I. 5.2-Le rayonnement solaire reçu au niveau du sol.....	12
I.6. Le gisement solaire en Algérie.....	14

Chapitre 2 : La technologie photovoltaïque

II.1.Introduction	17
II.1.4. Le futur du photovoltaïque.....	18
II.1.5. La conversion photovoltaïque.....	18
II.2.Energie photovoltaïque.....	18
II.2.1- La cellule solaire.....	19
II.2.1-1-Principe de fonctionnement.....	19

II.2.1-2- Caractéristique $I = f(V)$ d'une cellule photovoltaïque.....	22
II.3. Modules photovoltaïques et champs de modules.....	24
II.3-1. Module et groupement de cellules en série.....	24
II.3.2- Groupement de cellules ou modules en parallèle.....	25
II.4. Panneaux solaire photovoltaïque.....	27
II.4-1- Intérêt des panneaux solaire photovoltaïques mobiles par rapport aux panneaux fixe.....	27
II.4.2- Les différents montages.....	27
II.4.2-1- Le montage fixe.....	28
II.4.2-2- Le montage orientable.....	29
II.4.2.3-Présentation comparées pour un système de 1KWP fixe et avec suiveur.....	30
II.4.3- Les différents types des suiveurs ou traqueurs.....	30
II.4.3- 1- Traqueur mono-axial.....	31
II.4.3-2- Traqueur bi-axial.....	31
II.5. Conclusion.....	32

Chapitre III: Conception Matériel Et Logiciel

III.1. Introduction.....	33
III.2. Structure du système.....	34
III.2.1- Principe de fonctionnement du système.....	34
III.2.2-Structure de la partie électrique 'commande'	35
III.2.2.1-La carte Arduino mega.....	37
III.2.2.1.1- Présentation de la carte Arduino Mega.....	37
III.2.2.1.2-Alimentation de carte arduino Mega	39
III.2.2.1.3- Mémoire	41
III.2.2.1.4-Entrées et sorties numériques	41
III.2.2.1.4-Broches analogiques.....	42

III.2.2.1.5-Communications.....	42
III.2.2.1.-Protection du port USB contre la surcharge en intensité.....	43
III .2.2.2-Les photorésistances.....	43
III .2.2.21-Raccordement d'une LDR avec Arduino	44
III.2.2.3-Le moteur pas à pas.....	45
III.2.2.3.1-Caractéristiques Techniques de moteur pas à pas unipolaire 48pas 12v.....	45
III.2.2.3.2-Câblage des moteurs	46
III.2.3-Structure mécanique "porteuse"	48
III.3-Conception logiciel.....	50
III.3.1-Choix de langage.....	50
III.3.2-Le choix d'IDE.....	50
III.3.3-L'organigramme de système global.....	52
III.4-Emplacement des différents éléments de la partie électrique sur la structure mécanique.....	53
III.5-Conclusion.....	54
III.6-Conclusion générale.....	55
III.7-Liste des abréviations	56
III.8-Bibliographie.....	57
Annexe 1.....	61
Annexe 2.....	70

INTRODUCTION GENERALE

Les énergies renouvelables sont des énergies qui se renouvèlent assez rapidement pour être considérées comme inépuisable à l'échelle humaine du temps. Face aux prévisions d'épuisement inévitable des ressources mondiales en énergie fossile (pétrole, gaz, charbon...), en énergie d'origine thermonucléaire (uranium, plutonium...), face aux multiples crises pétrolières, économiques, aux changements climatiques dus à l'effet de serre, la science s'est tout naturellement intéressée aux ressources dites " renouvelables " et notamment vers la plus ancienne, le soleil, qui déverse chaque jour l'équivalent de 100 000 milliards de TEP (tonnes équivalent pétrole). Cette valeur est à comparer aux 9,58 milliards de TEP que représente la consommation annuelle mondiale en énergie primaire (1998).

Considéré dans l'Antiquité comme un dieu, le soleil est aujourd'hui réduit au statut d'énergie, une énergie qu'il nous faut la capter, la transformer, la stocker.... Capturer cette énergie et la transformer directement en électricité par effet photovoltaïque, provient de la conversion de la lumière du soleil en électricité au sein de matériaux semi-conducteurs comme le silicium ou ceux qui sont recouvert d'une mince couche métallique. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer leurs électrons sous l'influence d'une énergie extérieure. C'est l'effet photovoltaïque. L'énergie est apportée par les photons, (composants de la lumière) qui heurtent les électrons et les libèrent, induisant un courant électrique. Ce courant continu de micro puissance calculé en watt crête (Wc) peut être transformé en courant alternatif.

Dans ce contexte, notre motivation dans ce travail développé en chapitres est d'optimiser l'énergie fournie par les panneaux photovoltaïques dans le but de maximiser la quantité d'éclairement absorbé par les panneaux photovoltaïques en suivant le mouvement du soleil pendant la journée.

Chapitre 1 :
LE GISEMENT
SOLAIRE

I.1.Introduction

Issue de la nature, l'énergie se présente sous deux formes :

- Les énergies conventionnelles ou *les énergies non renouvelables*, elles sont d'origine fossile, dont les plus connues sont : le pétrole, le charbon, le gaz et l'uranium.
- *Les énergies renouvelables* ou les énergies non conventionnelles, dont les plus importantes sont : *le solaire* ; l'éolien, la géothermie et la biomasse.

Elles ont pour origines des sources d'énergie inépuisables grâce aux cycles naturels telles que, *le rayonnement solaire*, le vent, le flux de chaleur interne de la terre, et le cycle du carbone dans la biosphère.

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est l'une des plus facilement exploitables. Comme la plus part des énergies douces, elle donne à l'usager la possibilité de subvenir sans intermédiaire à une partir de ses besoins.

La connaissance de la position du soleil dans le ciel à tout instant et en tout lieu est nécessaire pour l'étude de l'énergie interceptée. Les heures du lever et du coucher ainsi que la trajectoire du soleil dans le ciel au cours d'une journée permettent d'évaluer certaines grandeurs telles que la durée maximale d'insolation, l'irradiation globale.

Dans cette partie nous allons définir certaines grandeurs solaires à savoir :

- Les grandeurs astronomiques.
- Les grandeurs géographiques.
- Le rayonnement solaire hors atmosphère.
- Le rayonnement direct, diffus et global.

I.2. Le soleil

Le soleil est l'origine principale de toute forme d'énergie sur terre. Ceci étant vrai autant pour les énergies conventionnelles d'origine fossile, comme les hydrocarbures qui sont la conséquence de la photosynthèse ; que pour les énergies non conventionnelles dites renouvelables, comme l'énergie solaire, l'énergie éolienne, la biomasse, et l'énergie géothermique.

L'astre soleil est de constitution gazeuse, de forme sphérique de 14×10^5 km de diamètre, sa masse est de l'ordre de 2×10^{30} kg. Il est constitué principalement de 80% d'hydrogène, de 19% d'hélium, le 1% restant est un mélange de plus de 100 éléments.

Il est situé à une distance de la terre égale à environ 150 millions de km. Sa luminosité totale, c'est-à-dire la puissance qu'il émet sous forme de photons, est à peu près égale à 10.4^{26} w. Seule une partie est interceptée par la terre, elle est de l'ordre de $1,7 \times 10^{17}$, Elle nous parvient essentiellement sous forme d'ondes électromagnétiques ; 30% de cette puissance est réfléchiée vers l'espace, 47% est absorbée et 23% est utilisée comme source d'énergie pour le cycle d'évaporation-précipitation de l'atmosphère. Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans le tableau ci-dessous

Diamètre (km)	14×10^5
Masse (kg)	2×10^{30}
Surface (km ²)	6.09×10^{12}
Volume (km ³)	1.41×10^{18}
Masse volumique moyenne (kg/m ³)	1408
Vitesse (km/s)	217
Distance du centre de la voie lactée (km)	2.5×10^{17}

Tableau 1: Caractéristiques principales du soleil

Le soleil n'est pas une sphère homogène, on peut y distinguer trois régions principales :

a/ L'intérieur, contient 40% de la masse du soleil, c'est là où se crée l'énergie par réaction thermonucléaire, cette région s'étend sur une épaisseur de 25×10^4 km. Cette couche est divisée en trois zones, le noyau, la zone radiative et la zone convective. Le rayonnement émis dans cette partie est totalement absorbé par les couches supérieures. La température atteint plusieurs millions de degrés, et la pression un milliard d'atmosphères.

b/ La photosphère est une couche opaque, très mince, son épaisseur est d'environ 300 km, elle est responsable de la presque totalité du rayonnement qui nous parvient, c'est la partie visible du soleil. L'ordre de grandeur de la température n'y est plus que de quelques millions de degrés, décroissant très rapidement dans l'épaisseur de la couche jusqu'à une température dite de surface de l'ordre de 4500° .

c/ La chromosphère et la couronne solaire, sont des régions à faible densité où la matière est très diluée, elles constituent l'atmosphère du soleil. Cette couche est caractérisée par un rayonnement émis très faible, bien que la température y est très élevée (un million de degrés),

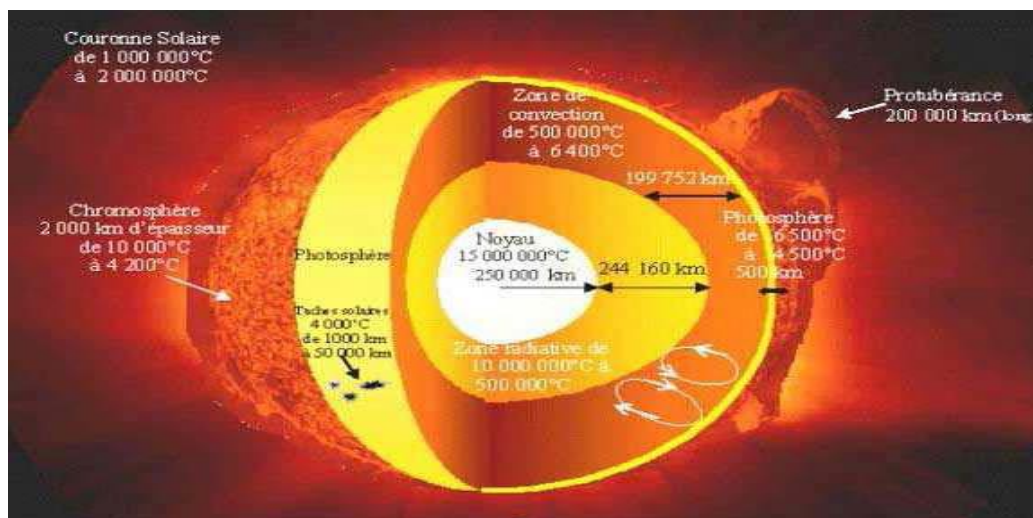


Figure (I.1) : Structure du soleil

I.3. Le mouvement de la terre

Dans son mouvement autour du soleil, la terre décrit une ellipse dont le soleil est l'un de ses foyers, la révolution complète s'effectue en une période de 365,25 jours. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique. C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est la plus éloignée du soleil : 152 millions de km. Au 22 juin la distance terre-soleil vaut 147 millions de km, c'est le jour où la terre est la plus proche, c'est le solstice d'été. Le 21 mars et le 21 septembre sont appelés respectivement équinoxes de printemps et équinoxe d'automne. Aux équinoxes le jour et la nuit sont égaux.

En plus de sa rotation autour du soleil, la terre tourne également sur elle-même autour d'un axe appelé l'axe des pôles. Cette rotation s'effectue en une journée. Le plan perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la terre est appelé l'équateur.

L'axe des pôles n'est pas perpendiculaire à l'écliptique, ils font entre eux un angle appelé inclinaison égale à $23^{\circ}27'$.

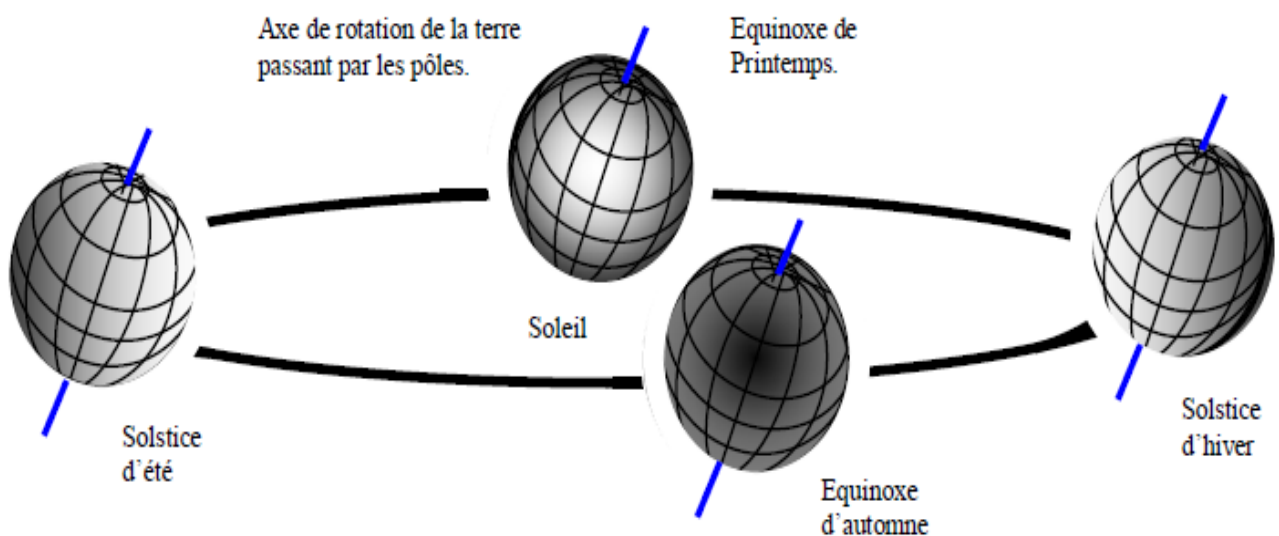


Figure (I.2) : Variation saisonnière du rayonnement solaire

I.4. Grandeurs géographiques et astronomiques

I.4.1. Grandeurs pour le repérage du soleil

La position du soleil dans le ciel n'est pas fixe, elle change à travers le jour et la saison. Ce changement de position est engendré par la rotation de la terre sur elle-même (autour de son axe), et de son mouvement autour du soleil (dans son orbite).

Afin de déterminer cette position il est d'usage d'utiliser deux repères : le repère équatorial ou horaire et le repère horizontal ou azimutal.

I.4.1.1. Repère de coordonnées équatoriales

Dans ce repère la position du soleil dans le ciel est déterminée par deux grandeurs:

- *La déclinaison (δ)* : C'est l'angle entre la direction soleil-terre et le plan de l'équateur terrestre. Elle est nulle aux équinoxes et maximale aux solstices, elle varie de $-23,27^\circ$ au solstice d'hiver à $+23,27^\circ$ au solstice d'été. Elle peut être évaluée en première approximation par la relation suivante :

$$\delta = 23,27 \sin [360 / 365(j + 284)] \quad (\text{I.1})$$

δ est exprimée en degrés.

j est le numéro du jour de l'année à partir du premier janvier

- *Angle horaire (ω)* : C'est l'angle compris entre le méridien origine passant par le sud et la projection du soleil sur le plan équatorial, il mesure la course du soleil dans le ciel. Il est donné par la relation suivante :

$$\omega = 15 (\text{TSV} - 12) \quad (\text{I.2})$$

TSV : temps solaire vrai.

Il vaut 0° à midi solaire, ensuite chaque heure correspond à une variation de 15° , car la période de la terre dans sa rotation sur elle-même est égale à 24h. Compté négativement le matin lorsque le soleil est vers l'est et positivement le soir. Le temps solaire vrai est égal au temps légal corrigé par un décalage dû à l'écart entre la longitude du lieu et la longitude référence.

$$\text{TSV} = \text{TU} + 4 (\text{LSt} - \text{Lg}) + \text{ET} \quad (\text{I.3})$$

TU : temps universel standard (mn)

LSt : méridien standard du lieu ($^\circ$)

Lg : méridien local du lieu ($^\circ$)

ET : correction de l'équation du temps, donnée par la relation suivante :

$$\text{ET} = 9,87 \sin (2\text{JD}) - 7,35 \cos (\text{JD}) - 1,5 (\text{JD}) \quad (\text{I.4})$$

Avec $\text{JD} = (\text{J} - 81) \times (360/365)$

Et **J** : nombre de jours à partir du premier janvier.

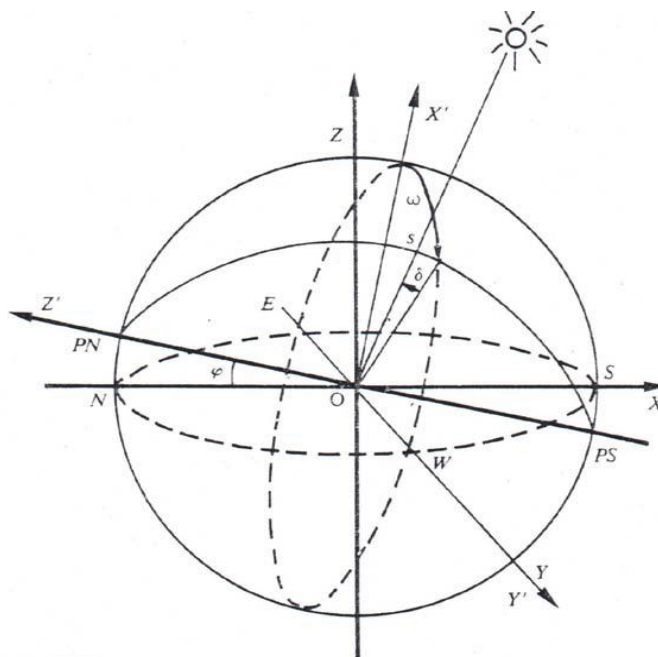


Figure (I.3) : Repère de coordonnées horaires

I.4.1.2. Repère de coordonnées horizontales

Le repère horizontal est formé par le plan de l'horizon astronomique et la verticale du lieu. Dans ce repère les coordonnées du soleil sont :

- *La hauteur du soleil (h) :*

C'est l'angle formé par la direction du soleil et sa projection sur le plan horizontal. Il est donné par la relation suivante :

$$\sin(h) = \sin(\Phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\Phi) \cdot \cos(\delta) \quad (I.5)$$

Φ : latitude du lieu.

- *Azimut du soleil (a) :*

C'est l'angle compris entre la projection de la direction du soleil sur le plan horizontal et le sud. L'azimut est compté positivement vers l'ouest et négativement vers l'est. Il est donné par la relation suivante :

$$\sin(a) = (\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)) / \cos(h) \quad (I.6)$$

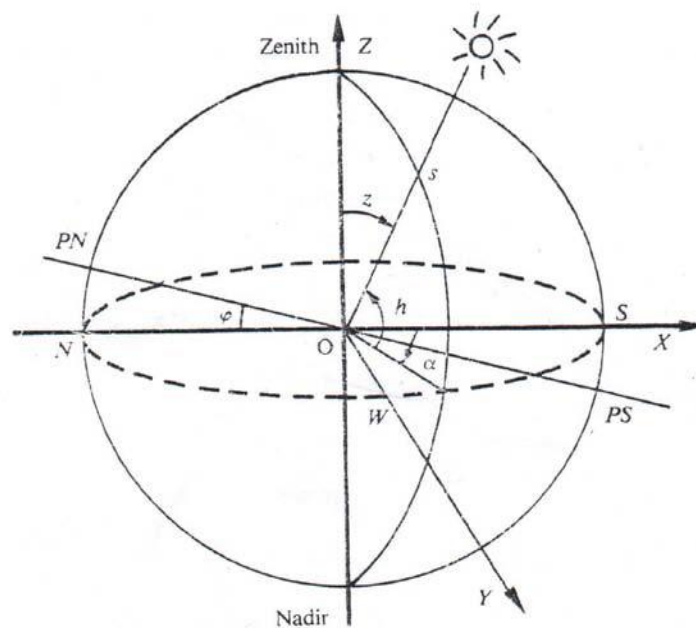


Figure (I.4) : Repère de coordonnées azimutales

I.4.2. Grandeurs pour le repérage d'un site à la surface terrestre

Un point quelconque d'un lieu donné du globe peut être défini par les coordonnées suivantes :

- **Latitude (Φ)** : correspond à l'angle entre le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu et le plan équatorial. Elle varie de -90° à $+90^\circ$, elle est positive vers le nord.

- **Longitude (Le)** : représente l'angle entre le plan méridien passant par ce lieu et le plan méridien origine (Greenwich).

L'altitude est la distance verticale entre ce point et une surface théorique de référence (surface de la mer).

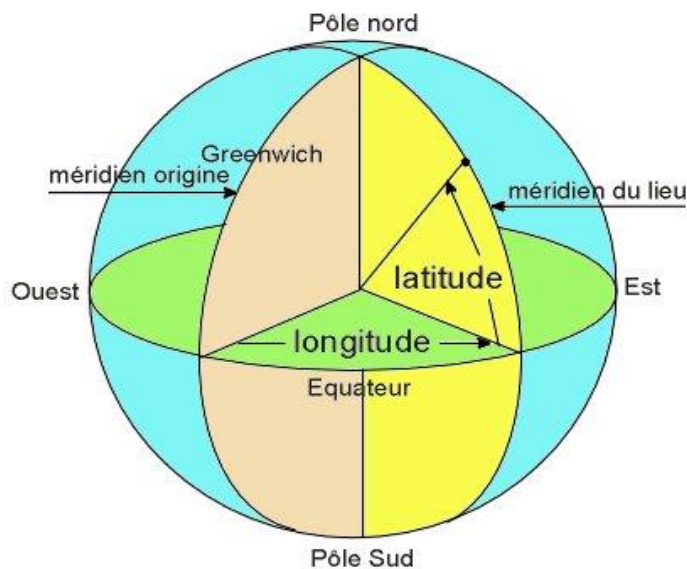


Figure (I.5) : Repérage d'un site sur la surface terrestre

I.4.3. Orientation d'un plan

L'orientation d'un plan quelconque est définie par deux angles (α , γ):

α : azimut du plan, c'est l'angle que fait la projection de la normale sur le plan horizontal et la direction du sud.

γ : hauteur du plan, c'est l'angle que fait la normale du plan et sa projection sur le plan horizontal. L'inclinaison β du plan par rapport au plan horizontal est donnée par :

$$\beta = 90 - \gamma \quad (\text{I.7})$$

I.4.4. Angle d'incidence sur un plan

L'angle d'incidence i est l'angle que fait la direction des rayons solaires incidents avec la normal au plan de la surface réceptrice.

Il est donné par la relation suivante:

$$\cos(i) = \cos(\alpha - a) \cdot \cos(\gamma) \cdot \cos(h) + \sin(\gamma) \cdot \sin(h) \quad (\text{I.8})$$

I.5. Le rayonnement solaire

Le rayonnement électromagnétique émis par le soleil est la manifestation externe des interactions nucléaires qui se produisent au cœur du soleil et de l'ensemble des interactions secondaires qu'elles génèrent dans son enveloppe.

Il constitue la quasi-totalité de l'énergie expulsée par le soleil.

Le rayonnement solaire est caractérisé par différentes caractéristiques dont la plus importante est la constante solaire, qui est une donnée fondamentale indépendante des conditions météorologiques.

La deuxième caractéristique du rayonnement solaire est sa répartition spectrale, qui est à peu près celle d'un corps noir à 5800°k. Le rayonnement solaire est une superposition d'ondes dont les longueurs vont de 0,25 micromètres à 4 micromètres. La figure (I.6) donne l'allure du spectre solaire.

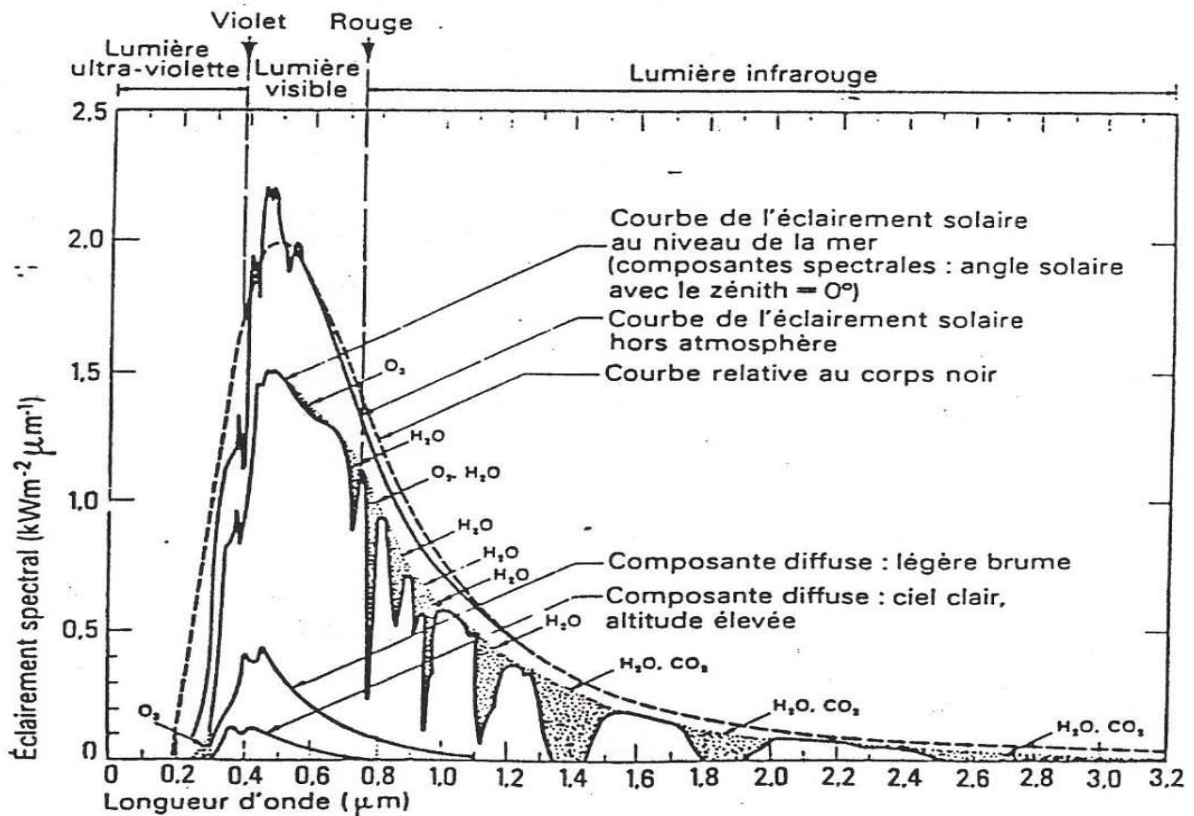


Figure (I.6) : Le spectre solaire

I.5.1. Le rayonnement solaire hors atmosphère

Le rayonnement solaire hors atmosphère ne dépend que des paramètres astronomiques, il est caractérisé par une donnée fondamentale appelée constante solaire.

La constante solaire :

La constante solaire E_0 est le flux énergétique reçu par une surface unité, normale aux rayons solaires, située en dehors de l'atmosphère à une distance moyenne terre-soleil. La mesure de la constante solaire a fait l'objet de nombreuses expériences. Dans notre cas nous adopterons la valeur de 1353 w/m^2 ($\pm 1,5\%$). Ce flux, dit constante solaire varie cependant légèrement au cours de l'année, suivant les variations de la distance terre-soleil.

En première approximation, on peut calculer la valeur de E en fonction du numéro du jour de l'année j par la relation suivante :

$$E = E_0 [1 + 0,033 \cos (0,984 j)] \quad (I.9)$$

L'évolution annuelle est représentée par la figure 1.7 suivante :

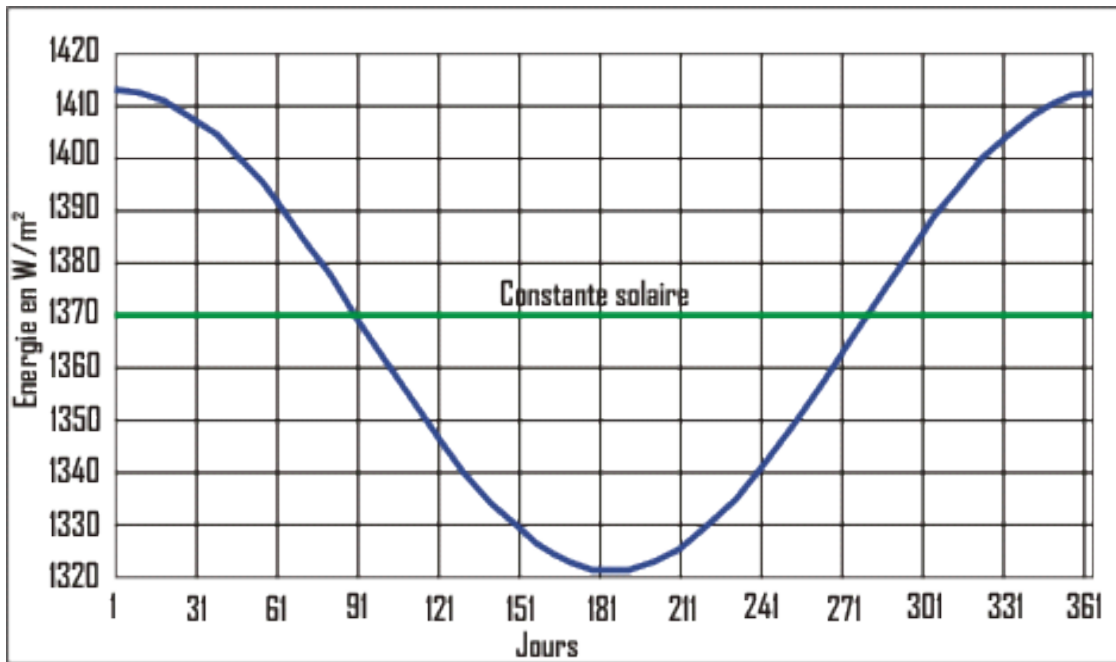


Figure (I.7) : Evolution annuelle de la constante solaire

On remarque que le maximum est obtenu au mois de janvier avec la valeur 1413w/m², le minimum au début de juillet avec la valeur 1320w/m².

I.5.2. Le rayonnement solaire reçu au niveau du sol

L'atmosphère terrestre perturbe grandement et par des processus variés le flux de photons issu du soleil. Donc, après sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire peut être considéré comme la somme de deux composantes.

- **Le rayonnement direct** : est celui qui traverse l'atmosphère sans subir de modifications, il provient du disque solaire seulement à l'exclusion de tout rayonnement diffusé, réfléchi ou réfracté par l'atmosphère

- **Le rayonnement diffus** : est la part du rayonnement solaire provenant de toute la voûte céleste, à l'exception du disque solaire, et diffusé par les particules solides ou liquides en suspension dans l'atmosphère. Il n'a pas de direction privilégiée.

Le rayonnement global est le rayonnement reçu sur une surface horizontale provenant du soleil et de la totalité de la voûte céleste. Il est la somme du rayonnement direct et du rayonnement diffus. La figure 1.8 illustre les différents composants du rayonnement solaire au niveau du sol.

Les trois quantités, le rayonnement direct noté I, le rayonnement diffus D, et le rayonnement global G, sont reliés par la relation suivante :

$$G = I \cdot \sin(h) + D \quad (I.10)$$

Où **h** est la hauteur du soleil.

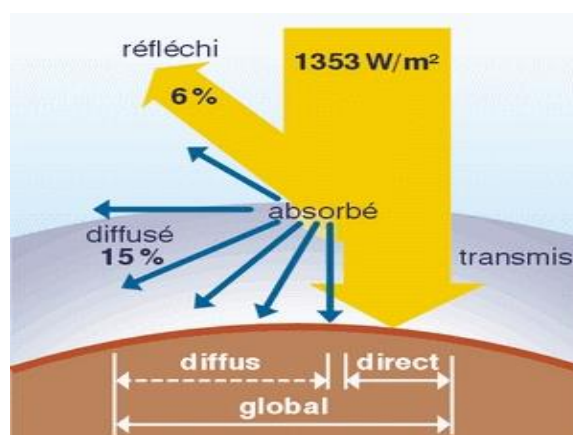


Figure (I.8) : Rayonnement direct, diffus et global

I.6. Le gisement solaire en Algérie

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire. La qualité du rayonnement solaire algérien permet à l'Algérie de se classer parmi les trois pays qui disposent des meilleurs gisements solaires dans le monde Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel.

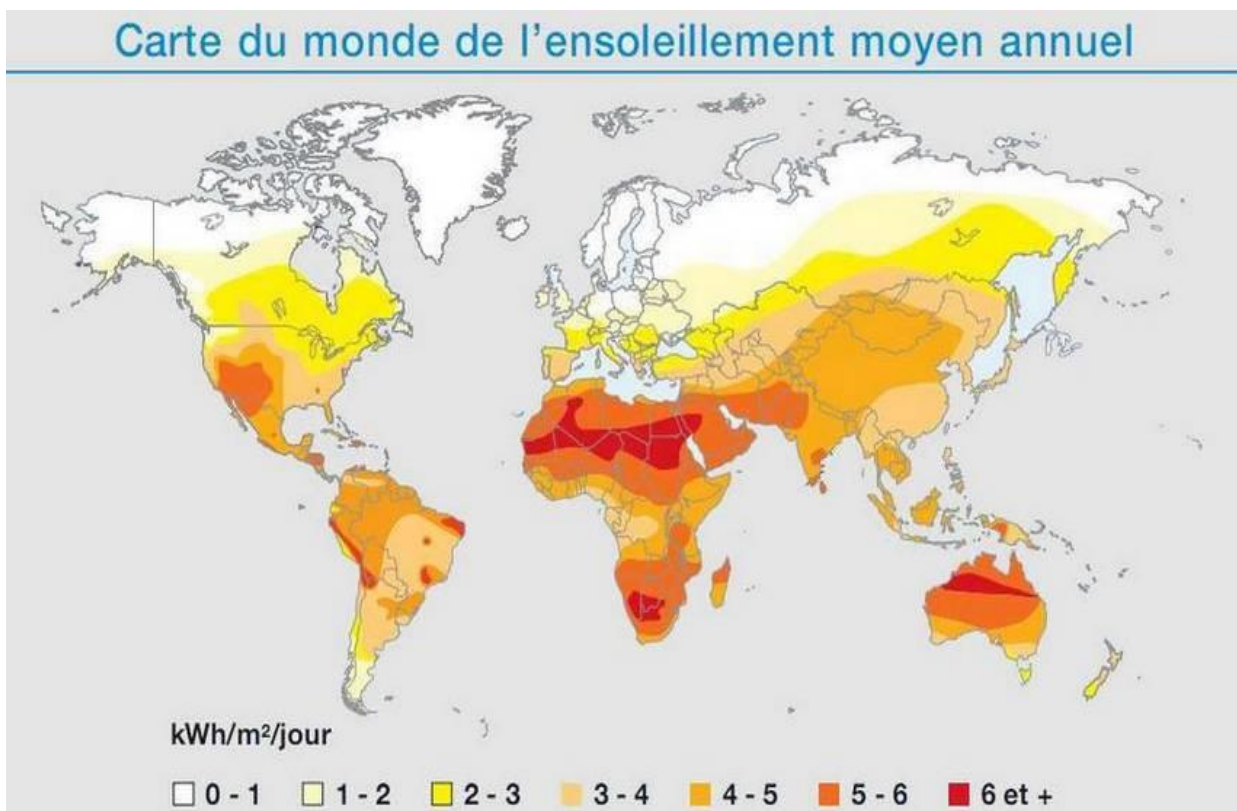


Figure (I.9) : Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel

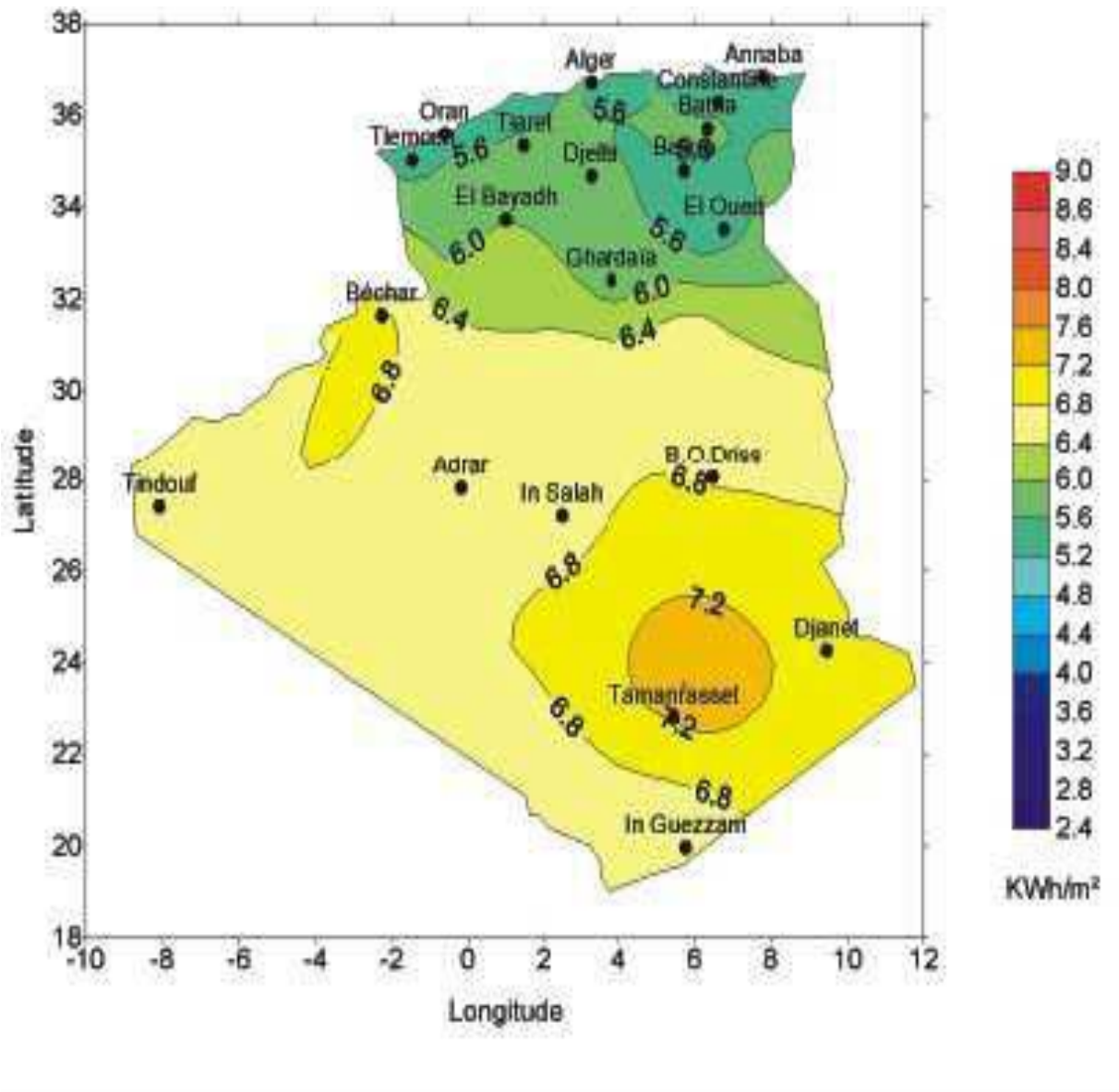
La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau 1.2 selon l'ensoleillement reçu annuellement:

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moy. d'ensoleillement (h/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (kWh/m ² /an)	1700	1900	26500

Tableau 1.2 : Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques

La durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de 3500h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8h/j et peut arriver jusqu'à 12h/j pendant l'été à l'exception de l'extrême sud où elle baisse jusqu'à 6h/j en période estivale.

La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de Toute l'Algérie (figure 1.10).



Figure(I.10) : Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné à la latitude du lieu

Chapitre 2 :
TECHNOLOGIE
PHOTOVOLTAÏQUE

II.1. Introduction

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la conversion directe de l'énergie provenant des photons, compris dans le rayonnement solaire, en énergie électrique, par le biais de capteurs fabriqués avec des matériaux sensibles aux longueurs d'ondes du visible (cellules Photovoltaïque **PV**). L'association de plusieurs cellules PV en série et /ou parallèle donne lieu à un générateur photovoltaïque (GPV). Ce GPV a une caractéristique statique courant-tension $I(V)$ non linéaire et présentant un point de puissance maximale (PPM). Cette caractéristique dépend du niveau d'éclairement et de la température de la cellule ainsi que du vieillissement de l'ensemble. Le point de fonctionnement du générateur PV peut donc varier entre les points extrêmes correspondant au courant de court-circuit ICS et la tension en circuit ouvert VCO. La détermination du point de fonctionnement du GPV (Générateur Photovoltaïque) dépend directement de la charge à laquelle il est connecté. Ce point de fonctionnement est plus ou moins éloigné du PPM qui est caractérisé par le courant et la tension optimaux. Dans ce chapitre, nous commencerons par un rappel sur le principe de l'effet photovoltaïque et nous détaillerons les principales caractéristiques de la source PV. Enfin, nous étudierons le fonctionnement optimal du générateur PV.

II.1.2. Historique

La conversion de la lumière en électricité, appelée effet photo voltaïque, a été découverte par E. Becquerel en 1839, mais il faudra attendre près d'un siècle pour que les scientifiques approfondissent et exploitent ce phénomène de la physique. L'utilisation des cellules solaires débute dans les années quarante dans le domaine spatial. Les recherches d'après-guerre ont permis d'améliorer leurs Performances et leur taille mais il faudra attendre la crise énergétique des années septante pour que les gouvernements et les industriels investissent dans la technologie photovoltaïque et ses applications terrestres.

II.1.4. Le futur du photovoltaïque

L'énergie PV, s'inscrit parfaitement dans le cadre de la politique écologique actuelle des gouvernements des pays industrialisés formalisée par les accords de Kyoto. Cette politique écologique, définie dans le « Livre Blanc », se traduit par un engagement des pays de l'Union à produire, en 2012, 12% de leur énergie à partir des sources renouvelable et réduire de fait le taux d'émission de gaz à effet de serre. Une analyse du conseil consultatif de la recherche sur la technologie PV (photovoltaic Technology Research Council. PV-TRAC) constitué en décembre 2003 montre que le photovoltaïque est capable de fournir de l'électricité à grande échelle à un coût à un coût compétitif. En 2030, il pourrait générer 40% de l'électricité produite dans le monde, et considère donc 2030 comme une étape, très importante ans laquelle le PV continuera à se croître régulièrement et bien au-delà.

II.1.5. La conversion photovoltaïque

Ce ci établi, voyons comment se produit cette conversion d'énergie. Elle met en jeu trois phénomènes physiques, intimement liés et simultanés :

- ◆ L'absorption de la lumière dans le matériau.
- ◆ Le transfert d'énergie des photons aux charges électrique.
- ◆ La collecte des charges.

Il est donc clair qu'un matériau doit avoir des propriétés optiques et électriques spécifiques pour permettre la conversion photovoltaïque.

II.2.Energie photovoltaïque

Un système photovoltaïque (PV) est destiné à satisfaire un besoin d'énergie électrique selon des conditions spécifiques d'exploitation. Il est généralement constitué d'un générateur photovoltaïque, d'un système de stockage, de source auxiliaire d'appoint (groupe diesel, aérogénérateur, réseau, etc.....), des

systèmes d'interface (convertisseurs, réseau, etc..) d'un système de control et de commande (système de surveillance, armoires électriques, cartes électroniques..) et d'une utilisation courant un usage déterminé. Cet usage (éclairage, réfrigération, pompage, communication,...) est exploité dans divers secteurs (santé, éducation, agriculture, énergie...).

La topologie d'un système PV est déterminée selon d'une part la nature de l'utilisation (nombre de récepteurs, contrainte d'exploitation, sécurité énergétique,..) et d'autre part des considérations technico-économiques prenant en compte aussi bien le rendement énergétique que la taille de l'investissement. La partie principale dans ces installations est le générateur photovoltaïque. Il est composé de divers modules formés par une association série_ parallèles de cellules élémentaires convertissant l'énergie solaire (sous formes de rayonnement) en une énergie électrique. Une cellule peut produire 1.5w pour un ensoleillement de 100W/m² avec une tension de 0.6V. Un module de 36 cellules produit une puissance moyenne de 40 à 50W et occupe une surface de 0.5m² environ. Le rendement énergétique moyen est de l'ordre de 12 à 15% est a atteint pour une phase de recherche 30%. La durée de vie d'un tel générateur est estimée à plus de 20 ans.

II.2.1. La cellule solaire

II.2.1.1. Principe de fonctionnement

L'absorption d'un photon par un semi-conducteur donne naissance à une paire d'électron trou lorsque son énergie est supérieure à celle de la largeur de la bande interdite du matériau. Le champ électrique interne à la jonction, entraîne alors le trou vers la région P et l'électron vers la région N.

Par tapage du semi-conducteur de région de type P et de type N , la cellule solaire est donc une jonction P-N avec des diverses parties représentées sur le schéma de la figure suivante :

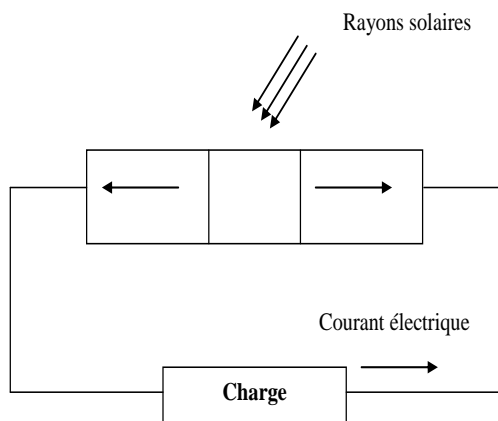


Figure (II. 1) : Cellule solaire

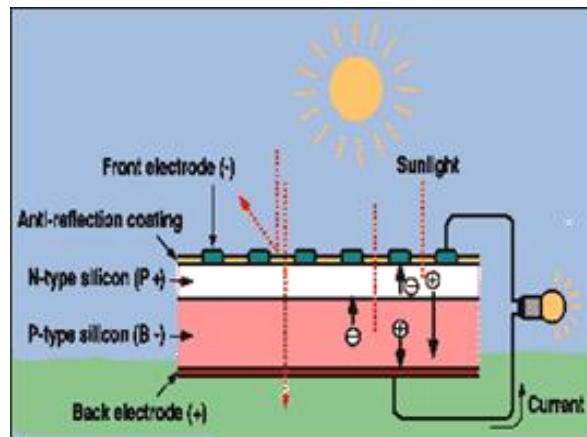


Figure (II .2) : Principe de fonctionnement d'une cellule photovoltaïque

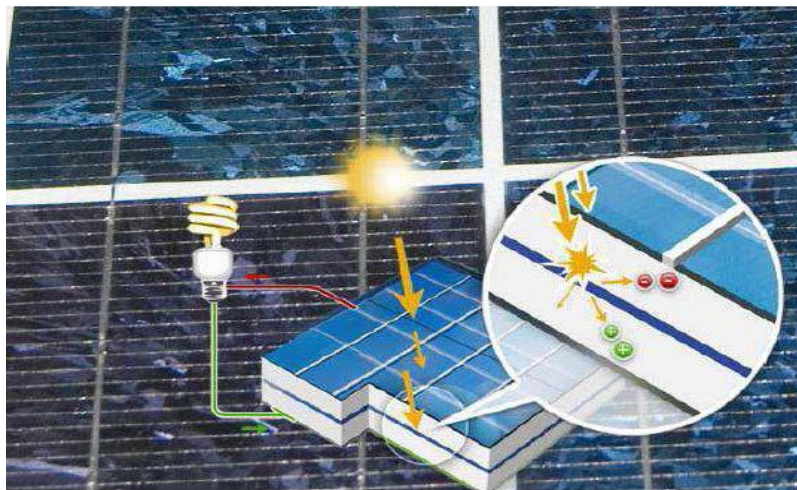


Figure (II.3) : Cellule photovoltaïque

Lorsqu'un photon vient frapper la zone de transition, il arrache un électron à l'atome de silicium qui va se déplacer du côté N. tandis que le « trou » ainsi créé par cet arrachement va se déplacer du côté P. Il apparaît ainsi aux bornes du dispositif, une différence de potentiel. Si on ferme la cellule sur un circuit extérieur, un courant circule. La cellule qui se comporte comme une pile sensible aux photons (c.à.d. à la lumière) s'appelle des photopiles, Le défaut

principal des photopiles reste la limitation de leur rendement. Il est de l'ordre de 12% pour une cellule de silicium monocristallin.

Plusieurs phénomènes entrent en ligne de compte dans cette limitation du rendement, mais les deux principaux sont les suivantes :

- ▶ Non absorption des photons peu énergétiques (infrarouge)
- ▶ Utilisation partielle de l'énergie de photons très énergétiques (ultraviolet)

La part de cette énergie qui n'est pas employée est dissipée dans le matériau sous forme de chaleur.

Une cellule photovoltaïque représentée par sa caractéristique $I_p=f(V)$ peut être schématisée par ce schéma.

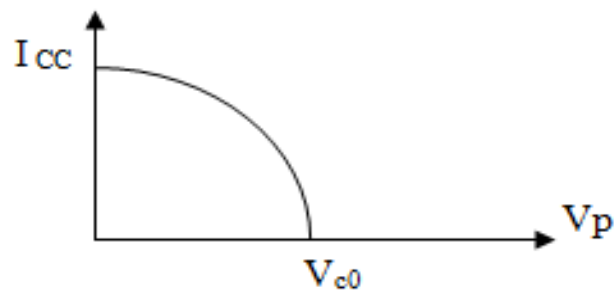


Figure (II. 4) : L'allure de la caractéristique Courant tension d'une cellule PV au silicium

La caractéristique électrique d'une diode est régie par : $I_D = I_s(e^{\frac{V_d}{V_T}} - 1)$

Le courant dans une cellule PV est donnée par:

$$I_p = I_{ph} - I_D = I_{PH} - I_s(e^{\frac{V_d}{V_T}} - 1)$$

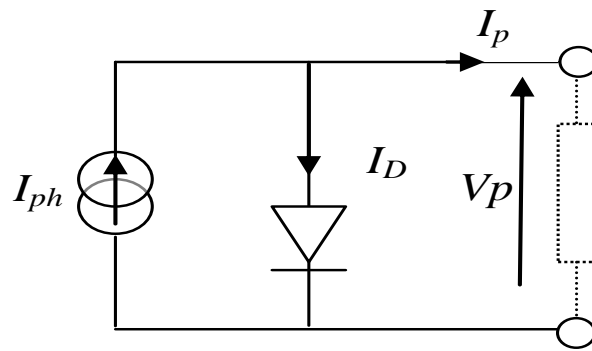


Figure (II.5) : Modèle équivalent d'une cellule PV au silicium.

I_p : courant fournie par une cellule (A)

I_{ph} : le photo courant (A)

I_D : courant diode (A)

I_s : Le courant inverse de la jonction PN

V_p : tension aux bornes de la cellule (V)

$V_t = K.T/q$: Potentielle thermique

q : la charge électrique élémentaire (C)

k : la constante de Boltzmann, $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$

T : la température en $^\circ\text{K}$

II.2.1.2. Caractéristique $I = f(V)$ d'une cellule photovoltaïque

Si une impédance de charge non nulle et non infinie est placée aux bornes de la cellule, on se trouve dans un cas intermédiaire entre le court-circuit et le circuit ouvert. Le photo courant va se distribuer entre cette charge extérieure (courant I) et la diode (courant I_D). Il en résultera une tension de travail (de polarisation) V inférieure à V_{co} .

La caractéristique courant - tension de la cellule photovoltaïque se met alors sous la forme :

$$I(V) = I_{ph} - I_D(V) \quad (II.1)$$

Soit

$$I(V) = \alpha(T) \cdot \phi \cdot s - \beta(T) \cdot s \cdot \left(\exp\left(\frac{e(V + R_s I)}{nkT}\right) - 1 \right) \quad (II.2)$$

Le second terme dans ces expressions est l'équation classique du courant d'une diode de surface S polarisée à la tension V soit $I_D(V)$, ($\alpha(T)$ et $\beta(T)$ étant des coefficients caractéristiques de la jonction et fonction de la température. Sous une irradiance ϕ et une température T données. La caractéristique courant tension de la cellule photovoltaïque est parfaitement définie. La figure 6 donne cette caractéristique théorique pour une cellule en Si monocristallin de 100 mm de diamètre à 25°C et sous l'irradiance de référence de 1 kW.m⁻².

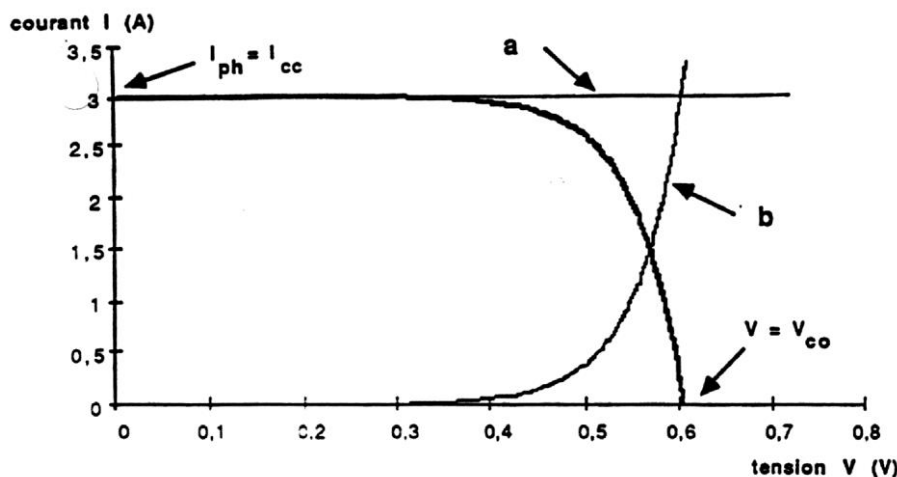


Figure (II.6) : Caractéristique $I = f(V)$ d'une cellule photovoltaïque

On remarque que la caractéristique $I(V)$ correspond à la soustraction de deux courbes, courbe [a] : $I_{ph}(V)$ courbe [b] : $I_D(V)$, ce qui traduit bien les équations (2) et (3). Le courant (I) extrait de la cellule photovoltaïque est donc fonction de

la tension de travail V de la cellule. Cette tension étant elle-même fixée par l'impédance sur laquelle est fermée cette cellule.

II.3. Modules photovoltaïques et champs de modules

La tension générée par une cellule photovoltaïque au silicium mono ou multi cristallin, fonctionnant au point de puissance maximale sous l'éclairement de référence de 1kW.m^{-2} , est de l'ordre de $0,55\text{ V}$ et le courant est fonction de la surface de la cellule. Il convient donc de grouper en série et parallèle des cellules élémentaires pour adapter tension et courant en fonction des contraintes de la charge à alimenter.

Il est important de noter dès à présent que la caractéristique courant tension d'un groupement de cellules photovoltaïques, qu'elles coupent, sera directement homothétique de la courbe $I(V)$ d'une cellule de base. Il en sera de même pour tout le réseau de caractéristiques. En conséquence, tout ce qui a été dit pour une cellule individuelle restera valable pour un groupement.

II.3.1. Module et groupement de cellules en série

La tension générée par une cellule étant très faible, il faudra dans la majorité des cas associer en série un certain nombre de cellules pour obtenir des tensions compatibles avec les charges à alimenter. C'est ce qui est réalisé dans un module photovoltaïque, où les cellules sont positionnées sous forme d'une guirlande dont les deux extrémités sont ramenées vers une boîte de connexion. Les électrodes supérieures d'une cellule sont connectées à la face arrière de la cellule suivante. La figure 7-a donne le schéma d'un module fermé sur sa résistance optimale R' .

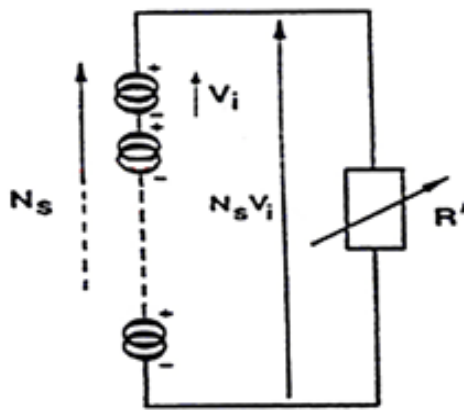


Figure (II. 7-a) : Schéma d'un module fermé d'un groupement des cellules en série

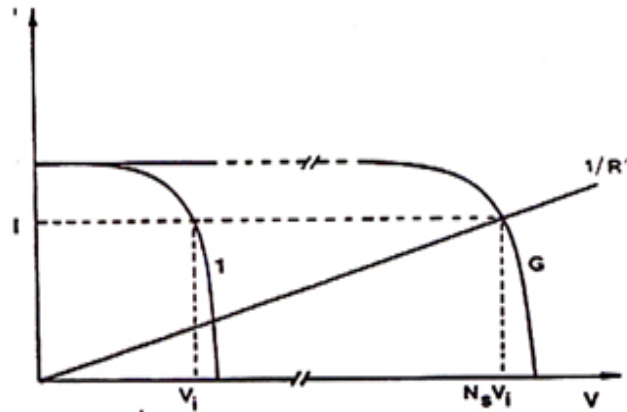


Figure (II.7-b) : Caractéristique I (v) d'un groupement des cellules en série

On constate immédiatement sur cette figure, correspondant à la mise en série de N_s générateurs de courant, que le courant généré par les cellules est le même dans toute la branche ainsi que dans la charge. Une première règle est donc qu'il ne faudra connecter en série que des cellules identiques.

La figure 7-b présente la courbe de puissance (caractéristique courant-tension) du groupement ainsi réalisé. La courbe est la caractéristique de l'une des N_s cellules du groupement série. La caractéristique du groupement (G) est obtenue en multipliant point par point et pour un même courant, la tension par N_s . Fermé sur l'impédance R' , le groupement série délivrera le courant I sous la tension $N_s \times V_i$. Chacune des N_s cellules générant ce courant I et la tension V_i . La construction graphique de la figure 7-b suppose que la connexion en série des cellules n'introduit pas de résistances parasites (série ou shunt) supplémentaires. L'impédance optimale pour le groupement série est N_s fois plus grande que l'impédance optimale pour une cellule de base.

II.3.2. Groupement de cellules ou modules en parallèle

Il est possible d'augmenter le courant fourni à une charge en plaçant en parallèle plusieurs cellules ou modules photovoltaïques comme indiqué sur la figure 8-a.

Sur cette figure, les générateurs de courant représentent soit des cellules individuelles, soit des cellules en série (modules), soit des modules en série (branches). On constate dans ce cas que c'est la tension générée qui est la même pour toutes les cellules (ou tous les modules ou toutes les branches).

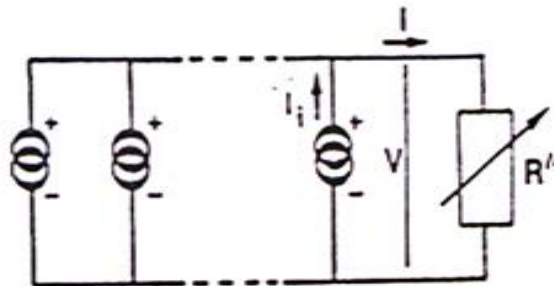


Figure (II.8-a) : Schéma d'un module fermé d'un groupement des cellules en parallèle

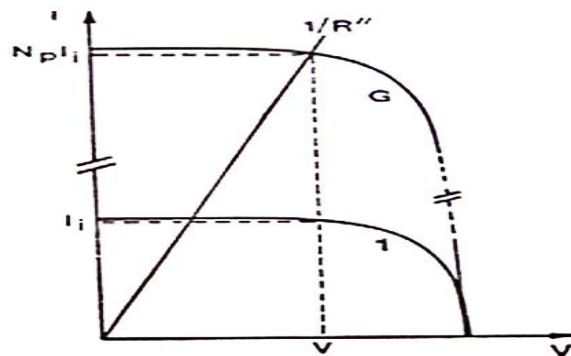


Figure (II.8-b) : Caractéristique I (v) d'un groupement des cellules en parallèle

La deuxième règle est donc qu'il ne faudra connecter en parallèle que des cellules des modules, ou des branches identiques. La figure 8-b présente la courbe de puissance résultante (G) pour le groupement parallèle considéré.

Cette courbe est obtenue en multipliant point par point par N_p (nombre d'éléments en parallèle) et pour chaque valeur de la tension, le courant de la courbe correspondant à une cellule élémentaire fermé sur une résistance R'' , le

groupement parallèle délivrera le courant $N_p \cdot I_i$ sous la tension V , chacune des N_p branches en parallèle générant le courant I_i . La construction graphique de la figure 8-b suppose que la connexion en parallèle n'introduit pas des résistances parasites (série ou shunt) supplémentaires. L'impédance optimale pour le groupement parallèle est N_p fois plus faible que l'impédance optimale pour une branche.

II.4.Panneaux solaire photovoltaïque

II.4.1. Intérêt des panneaux solaire photovoltaïques mobiles par rapport aux panneaux fixes

Au cours de la journée, le soleil se déplace continuellement, alors qu'un générateur Photovoltaïque est fixe dans sa position, perdant ainsi une considérable quantité d'énergie, qui pourrait être disponible. Dans une installation fixe qui, pour en optimiser le rendement est exposé au Sud, l'énergie rendue par les modules PV est maximale seulement à midi.

Pour cela si les modules PV sont toujours orientés vers le soleil, c'est comme s'il y avait constamment la condition correspondante à midi, la puissance générée est toujours celle maximale.

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

II.4.2.Les différents montages

Afin d'exploiter au mieux son système, il est nécessaire de positionner ses panneaux d'une manière optimale, car l'importance de ce dernier facteur est primordiale, ainsi des panneaux dirigés toute la durée du jour face au soleil c'est-à-dire qu'ils poursuivent le soleil, captent plus de rayonnement donc

gènèrent plus que s'ils étaient fixes. Par conséquent, on distingue deux types de montages : le montage fixe et le montage mobile (système de poursuite du soleil).

II.4.2.1. Le montage fixe

Les panneaux fixes sont installés dans une position fixe tout au long de l'année (azimut et inclinaison). Le rendement optimum est obtenu pour une orientation sud avec une inclinaison égale à la latitude du lieu. Dans cette position, un système d'une puissance de 1kWc produit environ 850 kWh par an. Si on s'écarte de cette position, le rendement diminue. Cette diminution du rendement peut être calculée en multipliant le rendement obtenu en position optimale par le facteur de correction pour l'orientation et l'inclinaison choisie. Une installation photovoltaïque orientée entre le sud-est et le sud-ouest avec une inclinaison par rapport à l'horizontale comprise entre 15° et 50° produira une quantité d'énergie presque optimale (figure II.9). Ce montage est généralement utilisé en toiture inclinée ou en couverture des murs en position verticale face au sud.



Figure (II.9) : Montage fixe

II.4.2.2. Le montage orientable

Avec des panneaux orientables, on peut modifier l'inclinaison tous les mois, mais par facilité, on peut également choisir une inclinaison pour l'été, une autre pour l'hiver. On utilise généralement ce genre de structure pour des applications au sol ou sur des toits plats. Pour ces systèmes à inclinaison variable, il existe un angle d'inclinaison des panneaux par rapport à l'horizontale, qui permet de maximiser la production d'électricité mensuelle, (Figure II.10)



Figure (II.10) : Montage orientable

Ce montage consiste à placer les panneaux photovoltaïques sur des structures appelés système de poursuite solaire ou traqueurs solaire. Un traqueur solaire est un dispositif qui est utilisé pour aligner un module PV simple ou une rangée de modules avec le soleil. Son utilisation peut spectaculairement améliorer le résultat de la puissance produite en poursuivant le soleil tout au long de la journée.

II.4.2.3. Présentation comparées pour un système de 1KWP fixe et avec suiveur :

Une comparaison est faite (Figure II.11) entre le montage fixe et le suiveur solaire pour le même type panneaux de 1kWp. Au cours d'une journée complètement ensoleillée, un système de 1KWP bien orienté, produit 5,5KWh d'énergie, alors que le même système avec suiveur, dans les mêmes conditions d'ensoleillement, produit 11 KWh d'énergie.

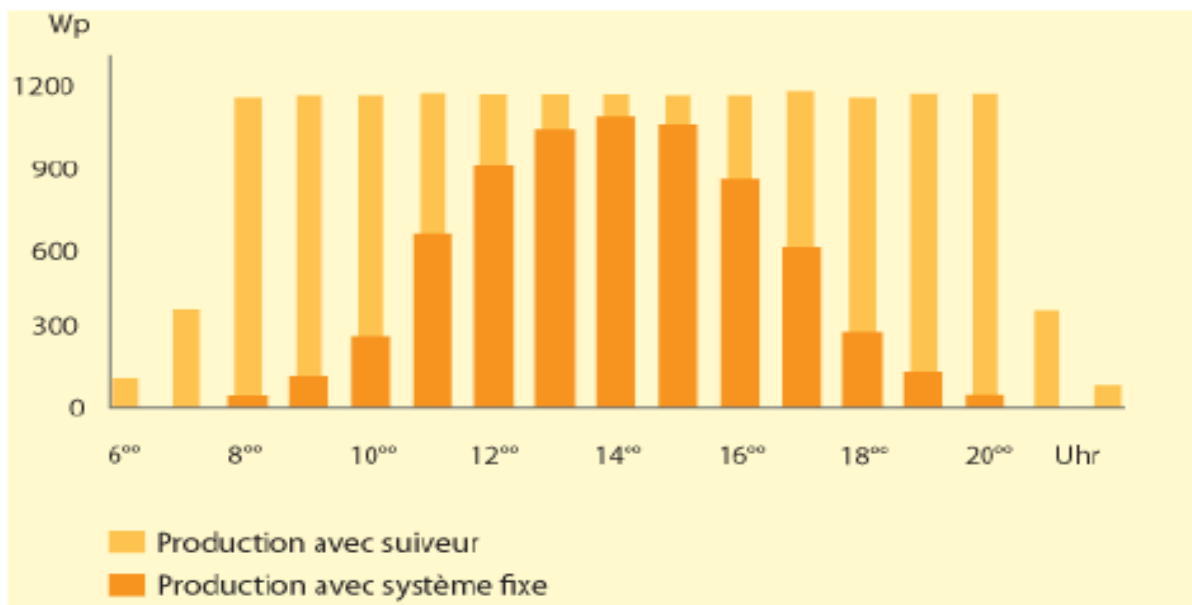


Figure (II.11) : Comparaison entre un système fixe et mobile

II.4.3. Les différents types des suiveurs ou traqueurs

Les traqueurs solaires peuvent être regroupés dans des modèles mono-axiaux ou bien des modèles bi-axiaux :

II.4.3.1. Traqueur mono-axial

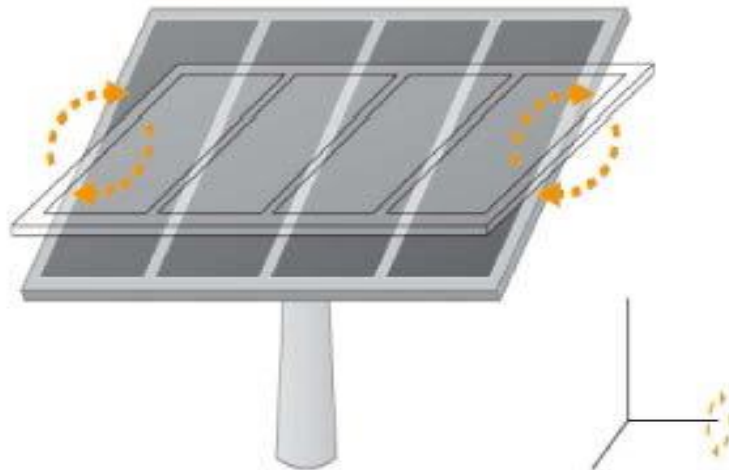


Figure (II.12-a) : Traqueur mono-axial

Ce sont des traqueurs à un seul axe qui peut être soit horizontal soit vertical, ce choix dépend du lieu de l'implantation du système, ainsi si on est dans des régions tropicales où le soleil est très haut vers midi on utilise le type à axe horizontal, et si on est dans des régions à haute latitude on utilise le type à axe vertical.

II.4.3.2. Traqueur bi-axial

Contrairement au premier type (mono-axial), ce type de traqueur comporte deux axes : un axe horizontal et un autre vertical, ainsi il peut poursuivre le mouvement apparent exacte du soleil partout sur le globe, grâce au fait que ses axes sont entièrement indépendants (est-ouest, nord-sud), et son utilisation permet d'avoir un gain supplémentaire de puissance allant jusqu'à près de 40%. Ce type de système est généralement employé pour commander les télescopes astronomiques.

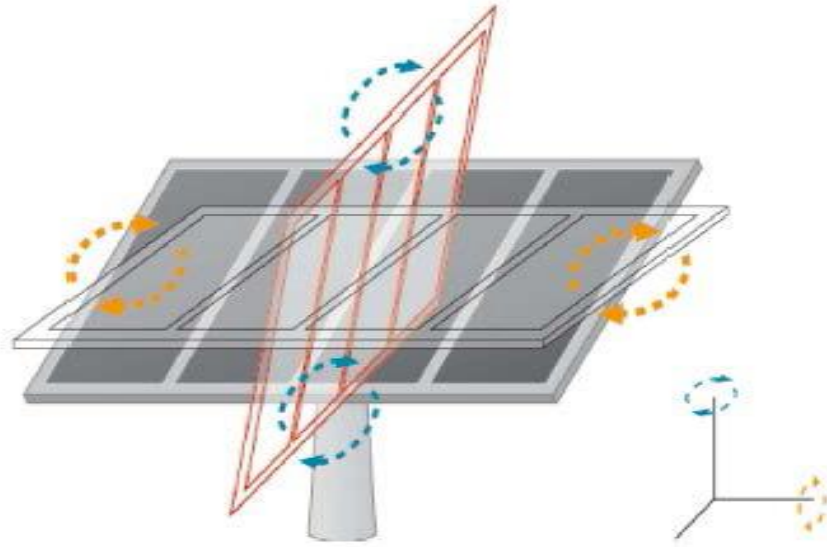


Figure (II.12-b) : Traqueur bi-axial

II.5.Conclusion

La conception du système de notre projet s'est portée sur deux parties : une partie mécanique (matériel) relative à la réalisation de tous les dispositifs matériels nécessaire au système à savoir le système mécanique, et une partie électrique 'commande' qui s'occupe de la gestion totale du système.

Nous avons réalisé un prototype d'un système de poursuite solaire à deux axes.

Chapitre 3:
CONCEPTION
MATERIELLE ET
LOGICIELLE

III.1.Introduction :

Ce projet illustre la conception et la fabrication d'un système de production photovoltaïque avec orientation automatique à deux axes. En effet, le Soleil change de position tout au long de la journée, l'angle d'incidence des rayons avec les panneaux augmente et l'éclairage n'est donc pas optimal. C'est pourquoi nous nous basons sur le modèle du suiveur de soleil, qui suit le trajet du soleil afin d'accéder au meilleur ensoleillement possible.

L'idée est que le surplus d'énergie produite grâce à l'orientation des panneaux sera plus important que l'énergie dépensée à orienter les panneaux de façon optimale. En effet, un tracker solaire peut augmenter le rendement d'un panneau photovoltaïque jusqu'à 40 % de plus qu'un panneau fixe. La meilleure orientation est celle qui fait que les rayons soient perpendiculaires aux panneaux.

Suivre le Soleil nécessite deux axes : en azimut (d'Est en Ouest à mesure de l'avancée de la journée) et en hauteur (selon la saison et l'avancée de la journée). La meilleure façon de suivre le Soleil est donc d'utiliser un tracker à deux axes, mais il en existe avec un seul axe qui dépend de l'azimut, l'angle des panneaux par rapport au sol étant calculé de façon optimum selon la latitude.

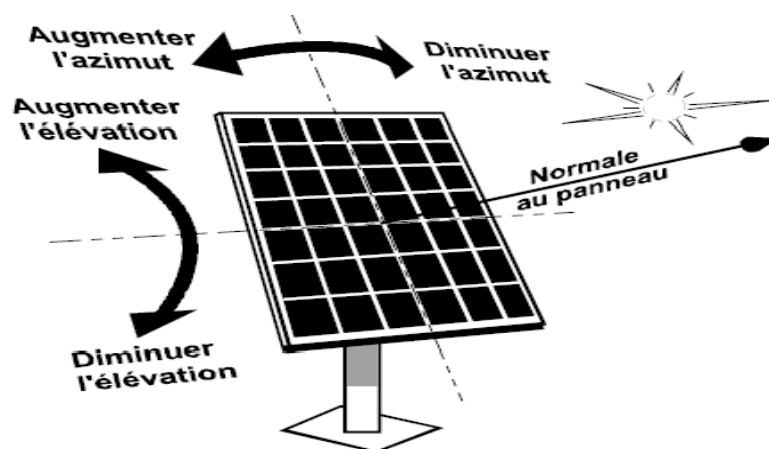
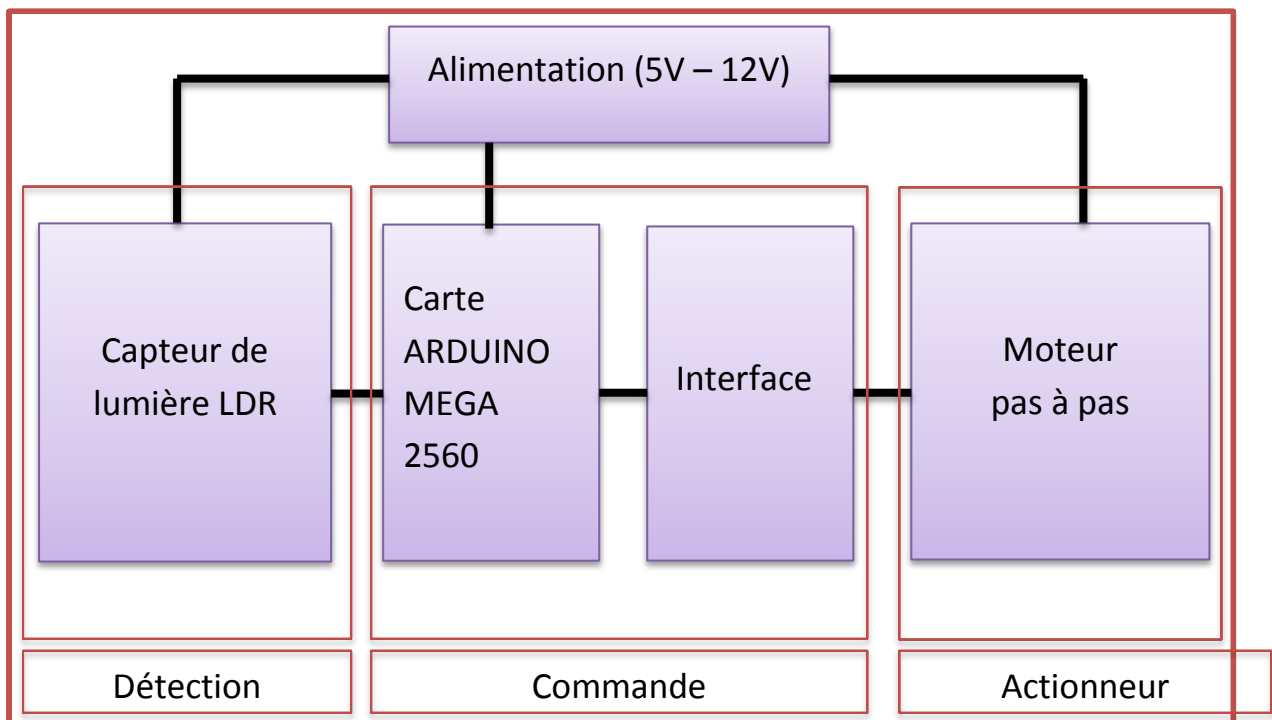


Figure (III.1) : Tracker solaire à système bi-axial

III.2. Structure du système :

La conception du système de notre projet s'est portée sur deux parties : une **partie mécanique** (matériel) relative à la réalisation de tous les dispositifs matériels nécessaire au système à savoir le système mécanique, et une **partie électrique 'commande'** qui s'occupe de la gestion totale du système. Cette partie est réalisé à base d'une carte Arduino Mega , qui prend en charge l'acquisition de l'information à travers le LDR et les commandes du panneaux pour le poursuite du soleil.

Le schéma synoptique du système et donne par la figure suivante :

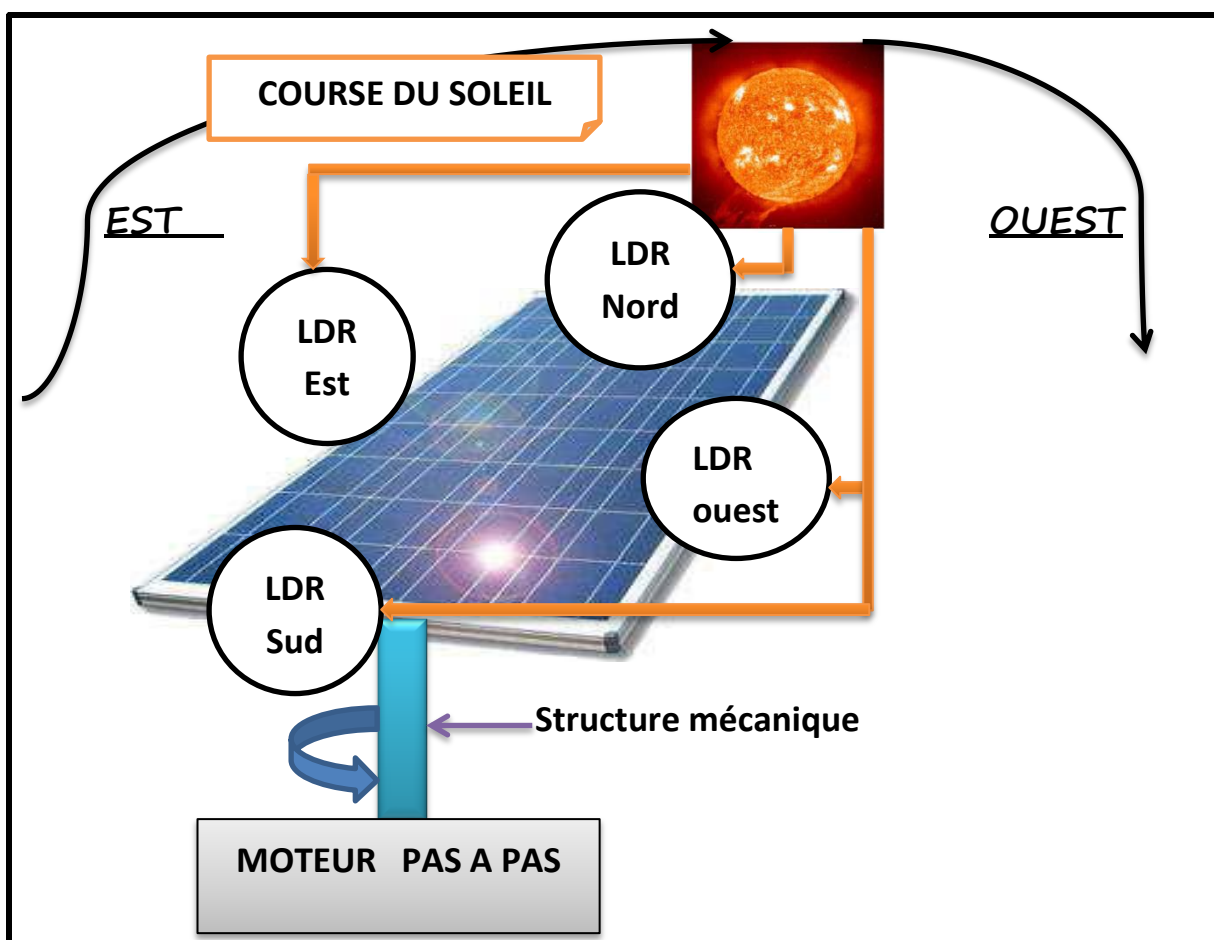


Figure(III.2) : Schéma synoptique de système suiveur solaire.

III.2.1-Principe de fonctionnement du système :

Le principe consiste à capter la lumière reçue par les quatre photorésistances dès que le capteur (ensemble des quatre photorésistances) est orienté dans l'axe de la lumière. Donc Il faut mesurer la lumière reçue par chaque photorésistance en mesurant la

tension à leurs bornes. Cette mesure est réalisée grâce à la connexion des ports pin 1 à 4 de la carte (ces derniers sont configurés en port analogique). Le programme compare ensuite ces tensions ordonnant aux moteurs pas à pas de pivoter dans la direction de la ou des photorésistances qui reçoivent le moins de lumière.



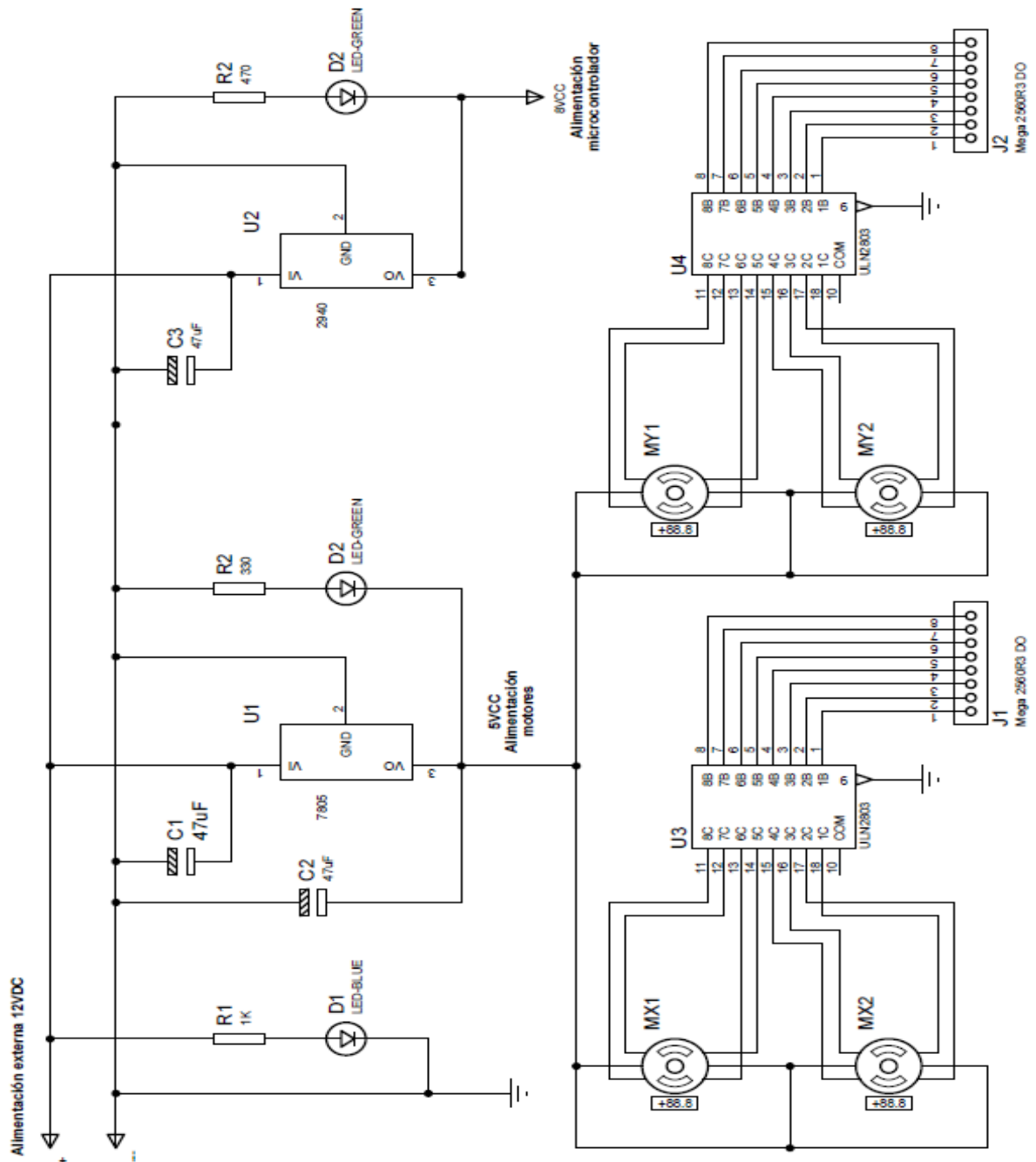
Figure(III.3): Schéma bloc de système

III.2.2-Structure de la partie électrique ‘commande’

Pour la réalisation de cette partie du projet, nous avons opté pour les composants suivants :

- Une carte Arduino Mega (commande).
- Les photorésistances (détection).
- Les moteurs pas à pas.
- Deux Circuit intégré ELN 2803(driver du moteur).

La figure suivante, nous montre le schéma électrique des différentes parties de système électrique



Figure(III.4): schéma électrique du système globale

Le circuit électronique qui englobe le système de mesure est divisé en trois parties principales :

- ▶ La carte Arduino Mega.
- ▶ Les phototransistors.
- ▶ Les moteurs pas à pas.

III.2.2.1-La carte Arduino mega :

III.2.2.1.1-Présentation de la carte Arduino Mega :

Le système de contrôle est réalisé grâce à une carte Arduino, nous avons choisi ce contrôleur pour son faible coût et sa facilité le développement du programme. Le modèle choisi est le 2560 MEGA R3 car il présente plusieurs entrées et de sorties.

La carte Arduino Mega 2560 est une carte à microcontrôleur basée sur un ATmega2560

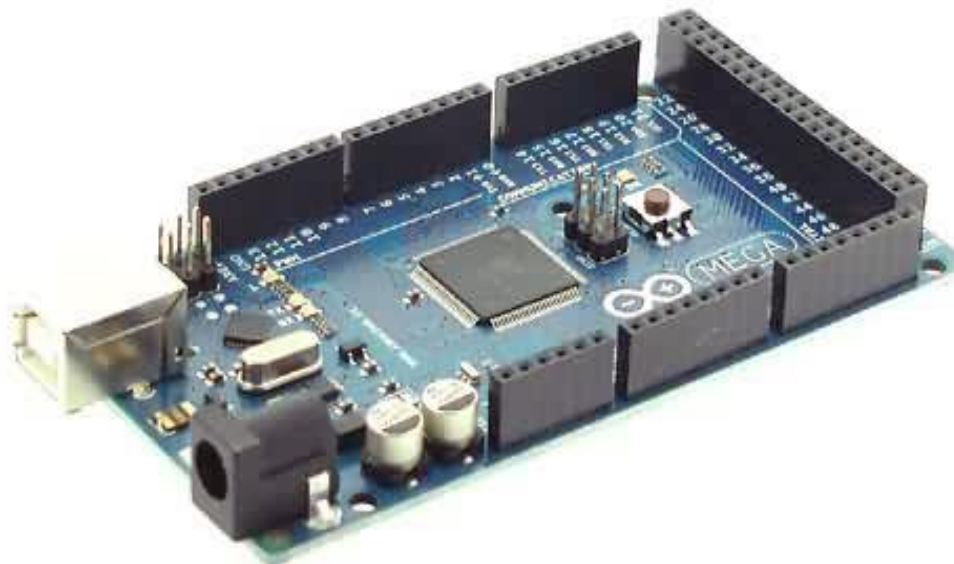


Figure (III.5) : Description de la carte de la carte ARDUINO mega

Cette carte dispose :

- De 54 broches numériques d'entrées/sorties (dont 14 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur d'impulsion modulée)).
- De 16 entrées analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques).
- De 4 UART (port série matériel),
- D'un quartz 16Mhz.
- D'une connexion USB.
- D'un connecteur d'alimentation jack.
- D'un connecteur ICSP (programmation "in-circuit").
- Et d'un bouton de réinitialisation (reset).

L'intérêt principal des cartes Arduino est leur facilité de mise en œuvre. Arduino fournit un environnement de développement s'appuyant sur des outils open source. Le chargement du programme dans la mémoire du microcontrôleur se fait de façon très simple par port USB. En outre, des bibliothèques de fonctions "clé en main" sont également fournies pour l'exploitation d'entrées-sorties courantes : gestion des E/S TOR, gestion des convertisseurs ADC, génération de signaux PWM, exploitation de bus I2C, exploitation de servomoteurs ...etc.,

La carte Arduino Mega 2560 contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur, Pour pouvoir l'utiliser et se lancer, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB (ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile, mais ceci n'est pas indispensable, l'alimentation étant fournie par le port USB).

La carte Arduino Mega 2560 est compatible avec les circuits imprimés prévus pour les cartes Arduino Uno, Duemilanove ou Diecimila.

Ce tableau nous donne les caractéristiques de la carte Arduino MEGA

Microcontrôleur	ATmega2560
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12V
Tension d'alimentation (limites)	6-20V
Broches E/S numériques	54 (dont 14 disposent d'une sortie PWM)
Broches d'entrées analogiques	16 (utilisables en broches E/S numériques)
Intensité maxi disponible par broche E/S (5V)	40 mA
Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V	50 mA
Intensité maxi disponible pour la sortie 5V	Fonction de l'alimentation utilisée - 500 mA max si port USB utilisé seul
Mémoire Programme Flash	256 KB dont 8 KB sont utilisés par le boot loader
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	8 KB
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	4 KB
Vitesse d'horloge	16 MHz

III.2.2.1.2-Alimentation de carte arduino Mega :

La carte Arduino Mega 2560 peut-être alimentée soit via la connexion USB (qui fournit 5V jusqu'à 500mA) ou à l'aide d'une alimentation externe. La source d'alimentation est sélectionnée automatiquement par la carte.

L'alimentation externe (non-USB) peut être soit un adaptateur secteur (pouvant fournir typiquement de 3V à 12V sous 500mA) ou des piles (ou des accus). L'adaptateur secteur peut être connecté en branchant une prise 2.1mm positif au centre dans le connecteur jack de la carte. Les fils en provenance d'un bloc de piles ou d'accus peuvent être insérés dans les connecteurs des broches de la carte

appelées Gnd (masse ou 0V) et Vin (Tension positive en entrée) du connecteur d'alimentation.

La carte peut fonctionner avec une alimentation externe de 6 à 20 volts. Cependant, si la carte est alimentée avec moins de 7V, la broche 5V pourrait fournir moins de 5V et la carte pourrait être instable. Si on utilise plus de 12V, le régulateur de tension de la carte pourrait chauffer et endommager la carte. Aussi, la plage idéale recommandée pour alimenter la carte Uno est entre 7V et 12V.

La carte Arduino Mega2560 diffère de toutes les cartes précédentes car elle n'utilise pas le circuit intégré FTDI usb-vers-série. A la place, elle utilise un Atmega8U2 programmé en convertisseur USB-vers-série.

Les broches d'alimentation sont les suivantes :

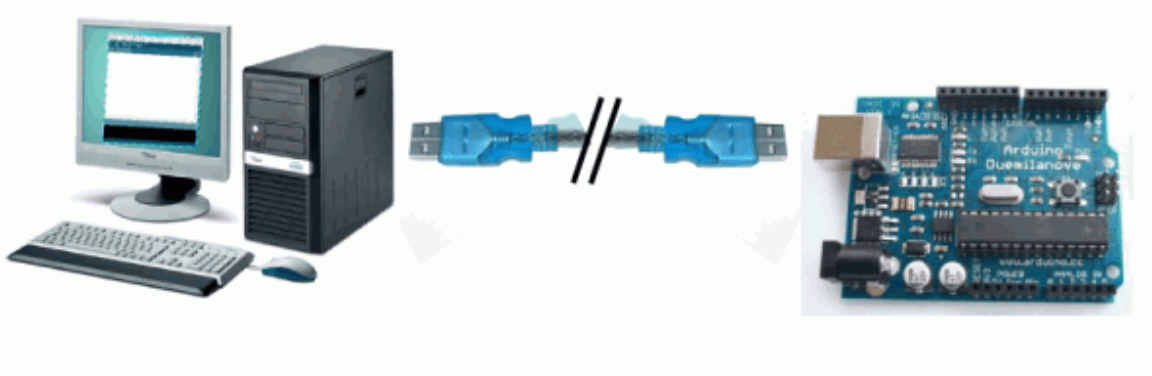
- ❖ VIN. La tension d'entrée positive lorsque la carte Arduino est utilisée avec une source de tension externe (à distinguer du 5V de la connexion USB ou autre source 5V régulée). Vous pouvez alimenter la carte à l'aide de cette broche, ou, si l'alimentation est fournie par le jack d'alimentation, accéder à la tension d'alimentation sur cette broche.

- ❖ 5V. La tension régulée utilisée pour faire fonctionner le microcontrôleur et les autres composants de la carte (pour info : les circuits électroniques numériques nécessitent une tension d'alimentation parfaitement stable dite "tension régulée" obtenue à l'aide d'un composant appelé un régulateur et qui est intégré à la carte Arduino). Le 5V régulé fourni par cette broche peut donc provenir soit de la tension d'alimentation VIN via le régulateur de la carte, ou bien de la connexion USB (qui fournit du 5V régulé) ou de toute autre source d'alimentation régulée.

- ❖ 3V3. Une alimentation de 3.3V fournie par le circuit intégré FTDI (circuit intégré faisant l'adaptation du signal entre le port USB de votre ordinateur et le port série de l'ATmega) de la carte est disponible : ceci est intéressant pour

certaines circuits externes nécessitant cette tension au lieu du 5V). L'intensité maximale disponible sur cette broche est de 50mA

- ❖ GND. Broche de masse (ou 0V).



Figure(III.6) : alimentation de l'Arduino par un microordinateur

III.2.2.1.3- Mémoire :

L'ATmega 2560 à 256Ko de mémoire FLASH pour stocker le programme (dont 8Ko également utilisés par le bootloader). L'ATmega 2560 a également 8 ko de mémoire SRAM (volatile) et 4Ko d'EEPROM (non volatile - mémoire qui peut être lue à l'aide de la librairie EEPROM).

III.2.2.1.4-Entrées et sorties numériques :

Chacune des 54 broches numériques de la carte Mega peut être utilisée soit comme une entrée numérique, soit comme une sortie numérique, en utilisant les instructions `pinMode()`, `digitalWrite()` et `digitalRead()` du langage Arduino. Ces broches fonctionnent en 5V. Chaque broche peut fournir ou recevoir un maximum de 40mA d'intensité et dispose d'une résistance interne de "rappel au plus" (pull-up) (déconnectée par défaut) de 20-50 KOhms. Cette résistance interne s'active sur une broche en entrée à l'aide de l'instruction `digitalWrite(broche, HIGH)`.

III.2.2.1.4-Broches analogiques :

La carte Mega2560 dispose de 16 entrées analogiques, chacune pouvant fournir une mesure d'une résolution de 10 bits (càd sur 1024 niveaux soit de 0 à 1023) à l'aide de la très utile fonction `analogRead()` du langage Arduino. Par défaut, ces broches mesurent entre le 0V (valeur 0) et le 5V (valeur 1023), mais il est possible de modifier la référence supérieure de la plage de mesure en utilisant la broche AREF et l'instruction `analogReference()` du langage Arduino.

Note : les broches analogiques peuvent être utilisées en tant que broches numériques.

III.2.2.1.5-Communications :

La carte Arduino Mega2560 dispose de toute une série de facilités pour communiquer avec un ordinateur, une autre carte Arduino, ou avec d'autres microcontrôleurs. L'ATmega2560 dispose de quatre UARTs (Universal Asynchronous Receiver Transmitter ou émetteur-récepteur asynchrone universel en français) pour communication série de niveau TTL (5V) et qui est disponible sur les broches 0 (RX) et 1 (TX). Un circuit intégré ATmega8U2 sur la carte assure la connexion entre cette communication série de l'un des ports série de l'ATmega 2560 vers le port USB de l'ordinateur qui apparaît comme un port COM virtuel pour les logiciels de l'ordinateur. Le code utilisé pour programmer l'ATmega8U2 utilise le driver standard USB COM, et aucun autre driver externe n'est nécessaire. Cependant, sous Windows, un fichier `.inf` est requis.

Le logiciel Arduino inclut une fenêtre terminal série (ou moniteur série) sur l'ordinateur et qui permet d'envoyer des textes simples depuis et vers la carte Arduino. Les LEDs RX et TX sur la carte clignote lorsque les données sont transmises via le circuit intégré ATmega8U2 utilisé en convertisseur USB-vers-

série et la connexion USB vers l'ordinateur (mais pas pour les communications série sur les broches 0 et 1).

Une librairie Série Logicielle permet également la communication série (limitée cependant) sur n'importe quelle broche numérique de la carte UNO.

III.2.2.1.--Protection du port USB contre la surcharge en intensité :

La carte Arduino Mega intègre un poly-fusible réinitialisable qui protège le port USB de votre ordinateur contre les surcharges en intensité (le port USB est généralement limité à 500mA en intensité). Bien que la plupart des ordinateurs aient leur propre protection interne, le fusible de la carte fournit une couche supplémentaire de protection. Si plus de 500mA sont appliqué au port USB, le fusible de la carte coupera automatiquement la connexion jusqu'à ce que le court-circuit ou la surcharge soit stoppé.

III.2.2.2-Les photorésistances :

La principale utilisation de la photo résistance est la mesure de l'intensité lumineuse, elle est fortement concurrencée par la photodiode, on l'a choisi dans notre projet grâce à son temps de réponse qui est beaucoup plus court.

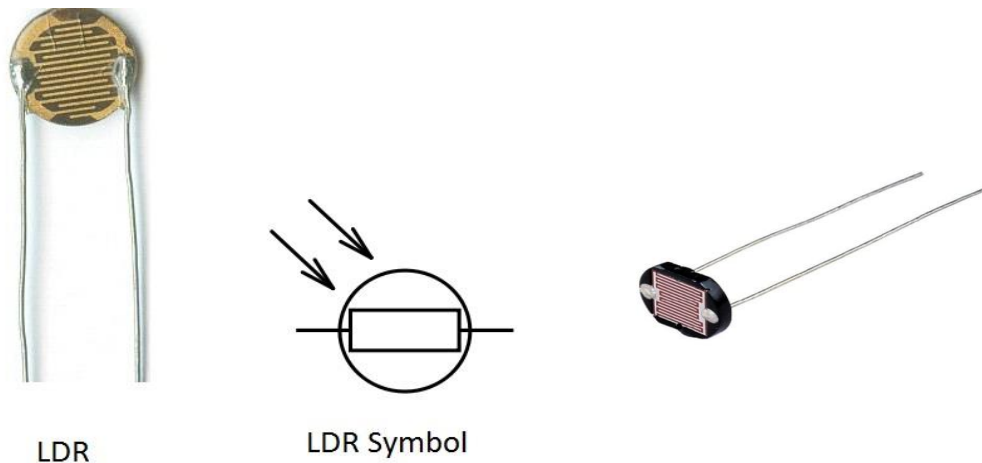


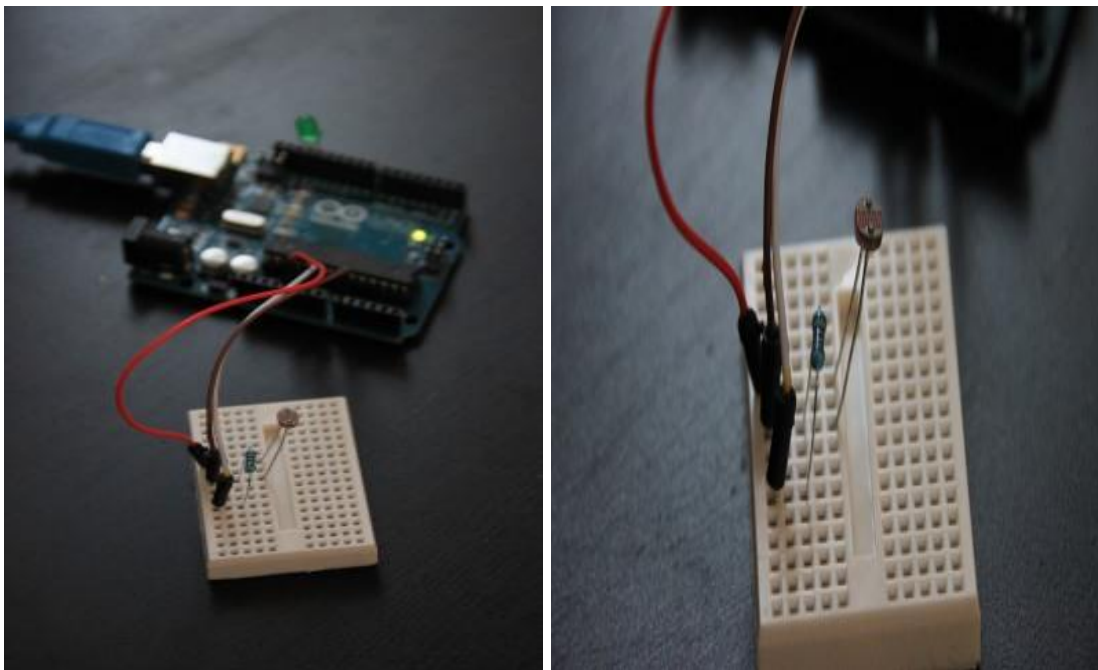
Figure (III.7) : Photo – Photorésistances et son symbole

Le LDR (Light Dependent Resistor) est une résistance variable, comme le potentiomètre, sauf qu'ici c'est la lumière reçue sur le capteur qui détermine la puissance du flux électrique qui le traverse. Le capteur est d'une taille variable (de quelques millimètres à un centimètre environ)

III2.2.21-Raccordement d'une LDR avec Arduino :

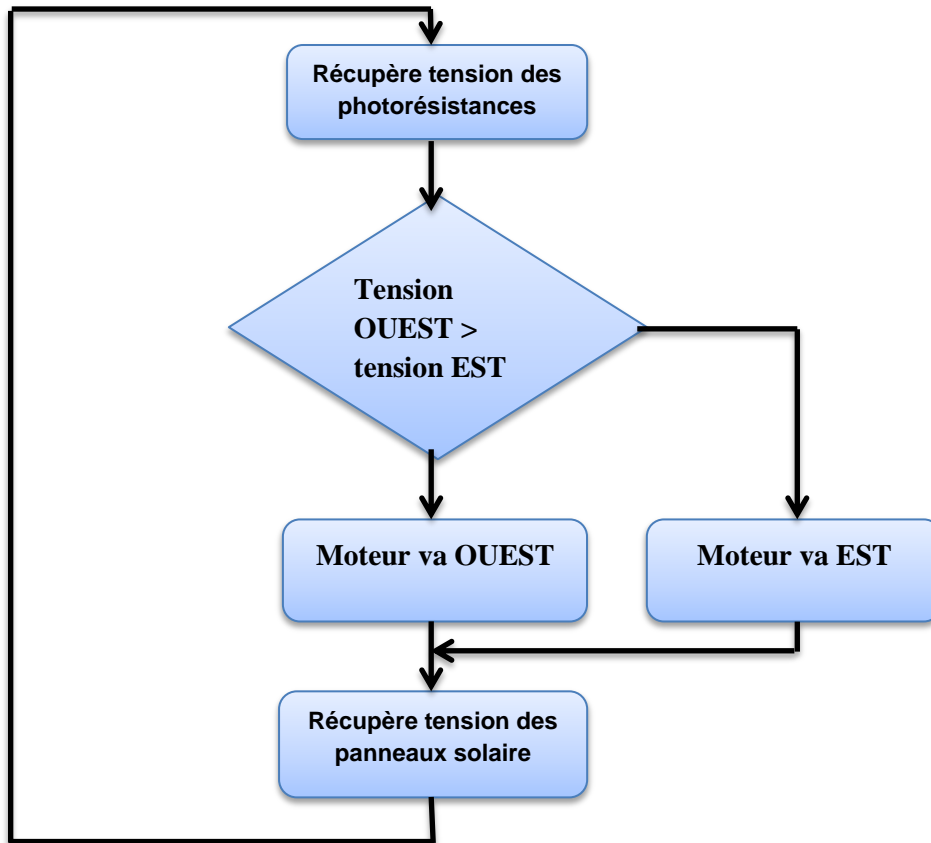
En branche une des broches de la cellule sur la *pin* de 5 V de l'Arduino, et l'autre sur la *pin* Analog In 0. Puis il faut connecter la patte de la résistance 10 k à la *pin* Analog In 0, et l'autre patte à la *pin* GND de l'Arduino.

Ce montage électronique correspond à un pont diviseur de tension.



Figure(III.8): photo Montage de la photorésistance avec l'Arduino

Le principe de fonctionnement de la détection par photorésistance est simple, il est expliqué par l'organigramme suivant :



Figure(III.9): principe de fonctionnement de la détection par LDR

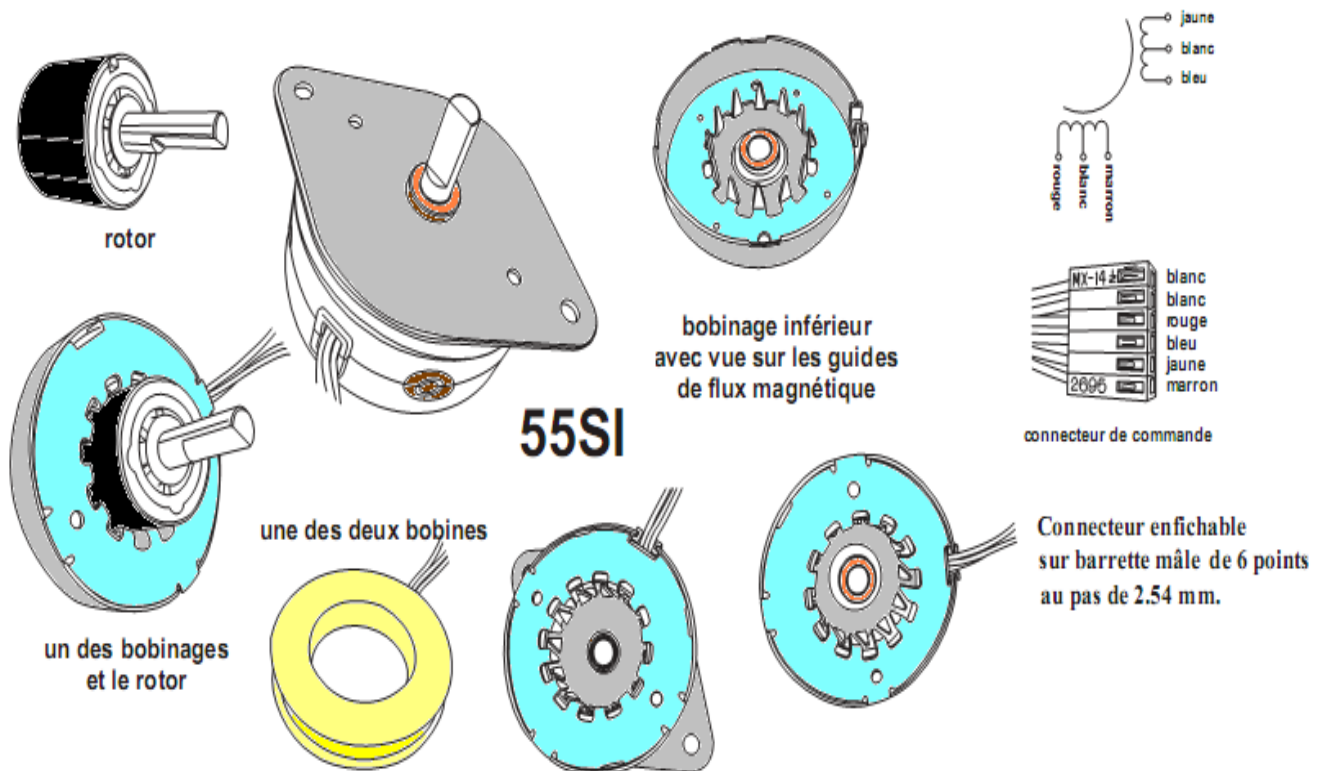
III.2.2.3-Le moteur pas à pas:

III.2.2.3.1-Caractéristiques Techniques de moteur pas à pas unipolaire 48pas 12v :

Le moteur pas à pas sert à piloter la partie mécanique ses caractéristiques sont

- Tension nominale : 12 Volts.
- Courant nominal : 330 mA.
- Résistance de bobine : 36 Ohms
- Inductance : 37mH.
- Couple moteur bloqué : 1350 g/cm.
- Degré d'angle : 7.5°
- Nombre de pas par tour : 48.
- Axe : 6.35mm avec méplat - longueur 17 mm monté sur paliers bronze.

- Fixation par 2 oreilles entraxe 66 mm (trous de 4.4 mm).
- Diamètre moteur : 55 mm (largeur avec oreilles : 79.4 mm).
- Hauteur moteur hors axe et palier : 25 mm.
- Ce moteur peut être commandé en mode bipolaire en n'utilisant pas les câbles blancs (couple supérieur et consommation moindre).



Figure(III.10): constitution physique d'un moteur pas à pas 55SI- 12V

III.2.2.3.2-Câblage des moteurs :

Tous les signaux sont en tout ou rien et n'ont même pas besoin d'être des PWM, Ce qui veut dire que les 4 broches de pilotage ont juste besoin d'être reliées à 4 broches numériques de la carte Arduino (2, 3, 4, 5 par exemple).

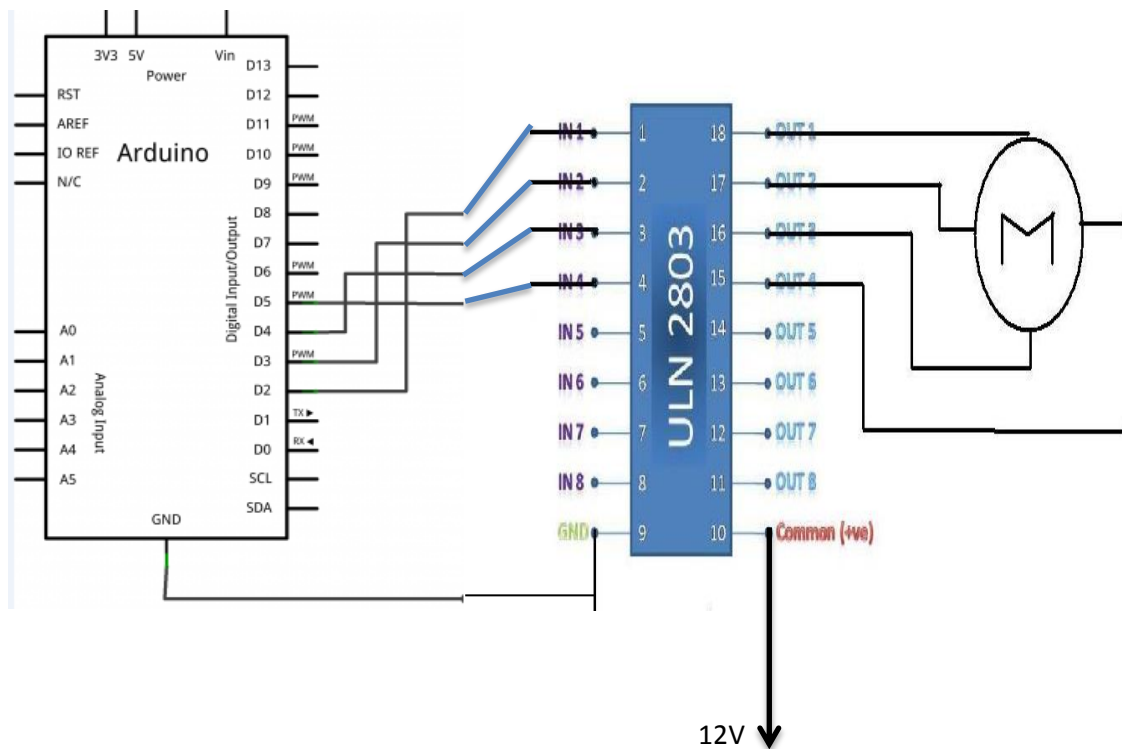


Figure (III.11) : schéma électrique de câblage d'un moteur pas à pas avec Arduino

Il suffit de générer la bonne séquence pour piloter les moteurs à la bonne vitesse, la principale difficulté réside dans la génération des signaux dans le bon ordre afin que le moteur se déplace correctement.

En effet, pour que le mouvement soit fluide, il faut que les changements dans la séquence soient faits de manière régulière et pour cela il faut une gestion du temps correcte. Ça peut sembler simple au premier abord, mais quand il s'agira de mixer le comportement du moteur avec celui du programme principal cela deviendra probablement beaucoup moins trivial. Une bonne méthode consisterait à utiliser un timer sur lequel on réglerait la période à avoir qui refléterait ainsi la vitesse à obtenir.

Mais avec Arduino tout devient plus simple. Sur Arduino les choses sont bien faites pour rester simples et accessibles, un objet a déjà été créé pour nous aider à piloter un moteur pas à pas.

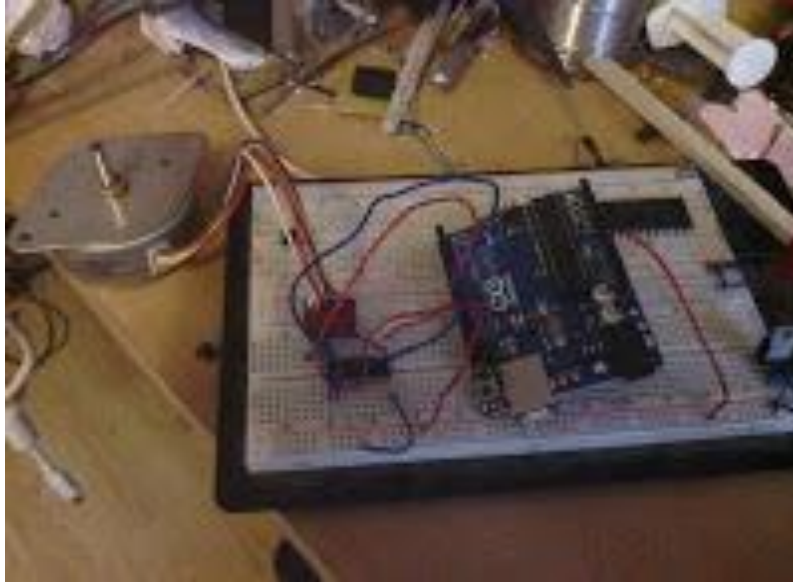


Figure (III.12) : Une photo de câblage d'un moteur pas à pas avec Arduino

III.2.3-Structure mécanique ‘porteuse’ :

Elle est fabriquée en bois est supporté un module solaire de 50 à 60Watts

Le support se compose de deux parties ‘A’ et ‘B’

- La pièce ‘A’ a pour rôle de porter le panneau PV, et deux moteurs pas à pas il est dimensionné par des valeurs suivantes :

- La longueur 40: cm.
- Le largeur 34: cm.



Figure(III.13) : photo de La pièce 'A'

- La pièce 'B' est bien posée et solide par rapport à la pièce 'A'. cette pièce sert à porter la porteuse 'A' et pour fixer deux moteur pas à pas



Figure(III.14): photo de La pièce 'B'

III.3-Conception logiciel :

III.3.1-Choix de langage : Pour la réalisation de ce projet, nous avons utilisé le langage de programmation C/C++, Le C++ (qui est composé du C en grande partie) est un langage assez éloigné du binaire, qui permet généralement de développer de façon plus souple et rapide et c'est l'un des langages de programmation les plus utilisés. Il est à la fois facile à utiliser et très efficace, c'est un langage dit «de bas niveau ». La complexité du langage est inévitable lorsqu'on cherche à avoir beaucoup de fonctionnalités, néanmoins on aura entre les mains un langage très puissant et particulièrement rapide.

Il existe d'autres langages de haut niveau tels que JAVA, Python, etc. Mais pour la réalisation de notre projet, le langage C/C++ a été choisi. Bien entendu, le C/C++ n'est pas LE langage incontournable. Il a lui-même ses défauts par rapport à d'autres langages, sa complexité en particulier.

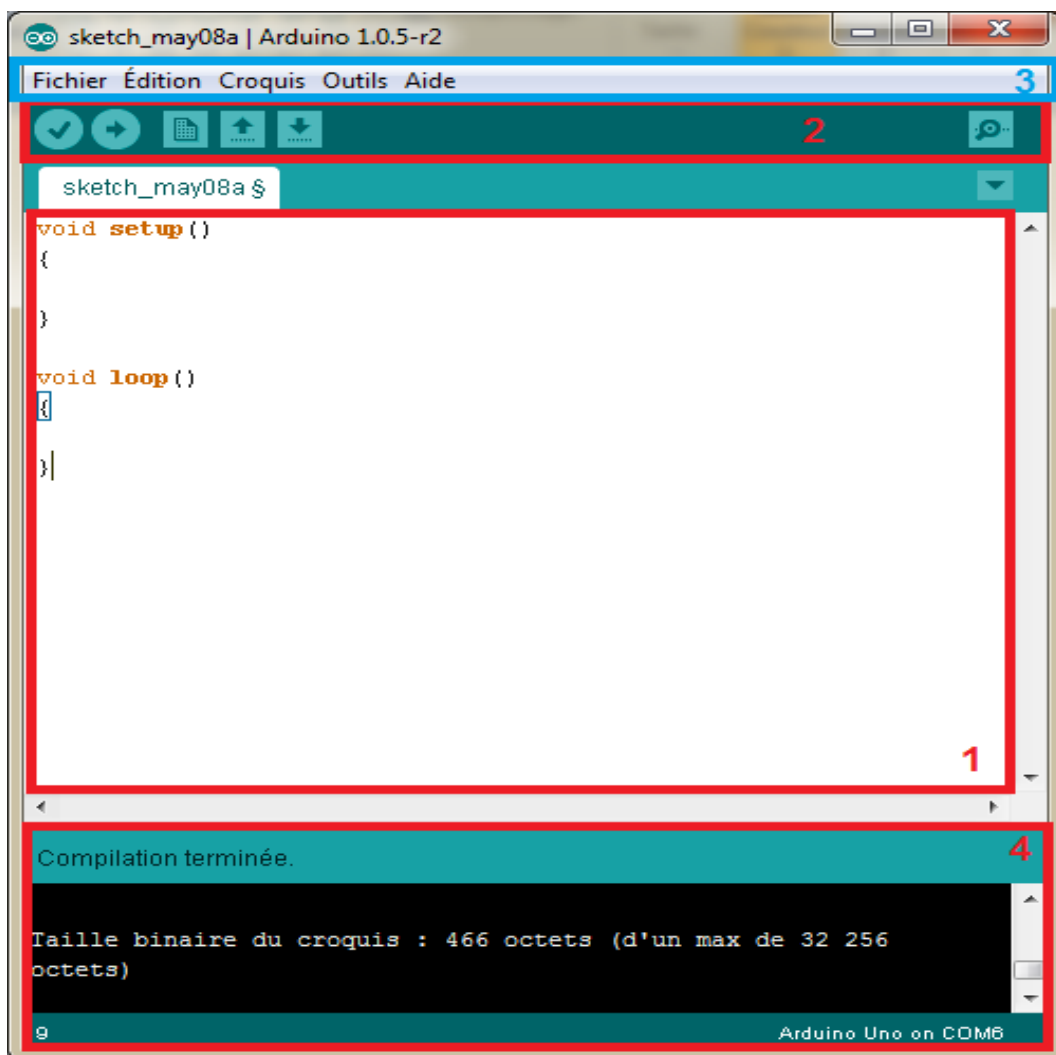
On a beaucoup de contrôle sur le fonctionnement de l'ordinateur (et sur la gestion de la mémoire) : cela offre une grande puissance mais, une mauvaise utilisation, pourrait plus facilement faire planter le programme.

III.3.2-Le choix d'IDE :

Un IDE (environnement de développement) libre et gratuit est distribué sur le site d'Arduino (compatible Windows, Linux et Mac), D'autres alternatives existent pour développer pour Arduino (extensions pour CodeBlocks, Visual Studio, Eclipse, XCode, etc.).

L'interface de l'IDE Arduino est plutôt simple (voir Fig), il offre une interface minimale et épurée pour développer un programme sur les cartes Arduino. Il est

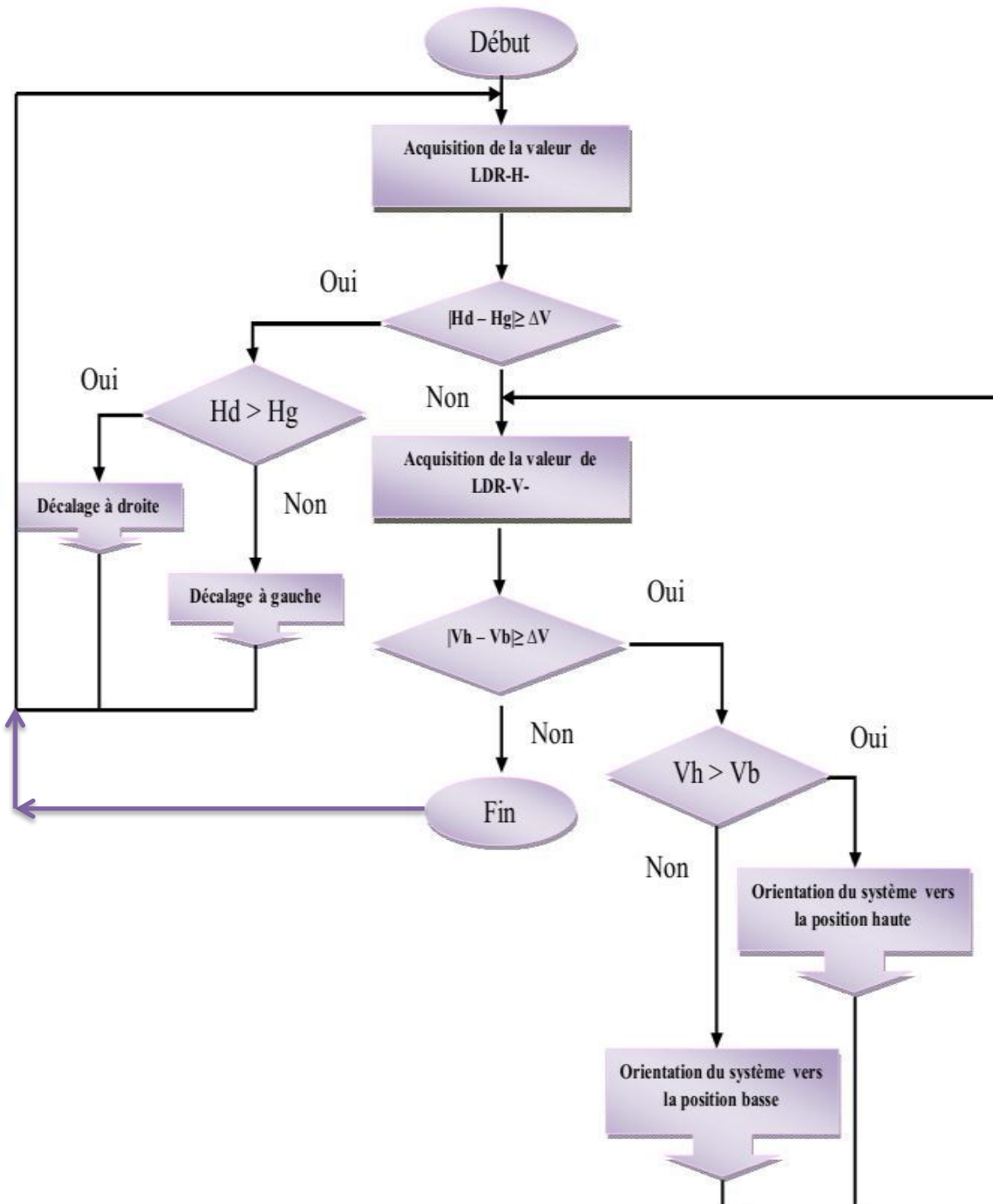
doté d'un éditeur de code avec coloration syntaxique [1] et d'une barre d'outils rapide [2]. Ce sont les deux éléments les plus importants de l'interface, c'est ceux que l'on utilise le plus souvent. On retrouve aussi une barre de menus [3] plus classique qui est utilisé pour accéder aux fonctions avancées de l'IDE. Enfin, une console [4] affichant les résultats de la compilation du code source, des opérations sur la carte, etc.



Figure(III.15) : la photo de l'interface de l'IDE de l'Arduino

III.3.3-L'organigramme de système global :

L'organigramme principal du programme de poursuite solaire est présenté sur la figure suivante :



Figure(III.16) : organigramme de système global

III.4-Emplacement des différents éléments de la partie électrique sur la structure mécanique :



Figure(III.17) : une photo de système globale

III.5-Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons décrit le processus de la réalisation matérielle et logicielle du système

Améliorations possibles : Pour améliorer l'efficacité du système, il existe plusieurs solutions, toutes envisageables sur un projet à plus long terme :

- Remplacer le moteur pas à pas par un servo-moteur :

- Avantages :**
- * Plus besoin de +12V mais +5V pour alimenter le servo
 - * Plus facile à mettre en œuvre
 - * Couple de maintien plus important
 - * Pas besoin de l'alimenter constamment => gain d'énergie

- Inconvénients :**
- * Prix élevé
 - * Contre-réaction nécessaire (pas de boucle ouverte)
 - * Nécessite une mise au point
 - * Entretien contraignant pour les moteurs à balais

- Faire un système auto-alimenté par les panneaux :

- * Aucune source d'énergie externe

- Rajouter une carte SD pour l'enregistrement des données

Bilan : Chaque étapes de l'élaboration du projet nous ont appris beaucoup quant à la conception et à la fabrication de cartes électroniques. Cela fût également une découverte de la carte ARDUINO pour nous. Ce projet constitue donc pour nous une première expérience très enrichissante que nous saurons très probablement mettre à œuvre dans le futur. L'aspect gestion de projet nous a également permis de mieux percevoir les difficultés inhérentes au management du temps dans les projets techniques.

III.6-Conclusion générale :

Le recours aux énergies renouvelables et surtout l'énergie solaire photovoltaïque est de plus en plus sollicité, c'est pourquoi utilisateurs et producteurs cherchent à optimiser et à améliorer, cette technologie, déjà pénalisée par son faible rendement ainsi que son coût exorbitant.

Cette optimisation est appelée au niveau des matériaux utilisés pour la fabrication des cellules photovoltaïques en cherchant à améliorer le rendement des matériaux solaires. Cette optimisation est également appelée par l'utilisation de structure de poursuite du soleil laissant néanmoins toute latitude au choix du montage qu'il soit fixe ou mobile.

Notre travail a été réalisé, dans but d'optimiser un système de poursuite du soleil mono-axial. Nous avons réalisé la partie commande numérique à base de la carte ARDUINO pour générer les signaux est commandé les deux moteurs.

Les premières tests effectués confirment l'optimisation de la position du panneau photovoltaïque par le maximum de captation du rayonnement.

Bien que le système ait bien fonctionné, le travail n'est pas finalisé et en perspective de cette réalisation, il faut prévoir une alimentation autonome du système traqueur à partir de la puissance générée.

En outre, il serait intéressant d'intégrer un système mesurant la vitesse du vent en vue de développer un dispositif de protection contre le vent, mais améliorer également le système pour la position de nuit et la position initiale.

III.7-Liste des abréviations

δ	est exprimée en degrés.
j	est le numéro du jour de l'année à partir du premier janvier.
TSV	temps solaire vrai.
TU	temps universel standard.
LSt	méridien standard du lieu ($^{\circ}$).
Lg	méridien local du lieu ($^{\circ}$).
ET	correction de l'équation du temps.
Φ	latitude du lieu.
Le	Longitude.
α	azimut du plan.
γ	hauteur du plan.
E_0	La constante solaire.
h	est la hauteur du soleil.
D	le rayonnement diffus.
G	le rayonnement global.
ASA	l'Agence Spatiale Allemande.
PV	Un système photovoltaïque
I_p	courant fournie par une cellule (A).
I_{ph}	le photo courant (A).
ID	courant diode (A).
I_s	Le courant inverse de la jonction PN.
V_p	tension aux bornes de la cellule (V).
V_t	Potentielle thermique.
q	la charge électrique élémentaire (C).
k	la constante de Boltzmann, $k= 1.38 \cdot 10^{-23} \text{j}/^{\circ}\text{k}$.
T	la température en $^{\circ}\text{K}$.

III.8-Bibliographie :

- 1) M .PETIBON stéphane, « nouvelle architecture distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïque » ; thèse de doctorat de l'université de Toulouse, France 2009.
- 2) Mark ORGERET, « les piles solaires, le composant et ses application », Masson, paris 1985. ISBN : 2-225-80482-6.
- 3) R-BALMA, présentation de l'énergie photovoltaïque, <http://www.energieprope.net/pv.htm/>.
- 4) [www.l'énergie renouvelable .com](http://www.lenergie-renouvelable.com).
- 5) http://fr.wikipedia.org/wiki/panneau_solair.
- 6) « Trackeur solaire», mémoire master automatique industrielle, université USTO, oran 2010.
- 7) D.Turcotte, M .Ross and F .Sheriff « Photovoltaic hybrid system Sizing and Simulation Tools » PV Horizon, 2001.ARTICLE PDF.
- 8) OBSERVER BN, «Baromètre du solaire photovoltaïque, systèmes solaires », Avril 2004, N°160, pp .69-83.
- 9) Banzi, M., Cuartielles, D., Igoe, T., Martino, G., and Mellis, D., Arduino Alpha v17, www.arduino.cc.
- 10) Photovoltaic Potential and Solar Resource Maps of Canada, Natural Resources Canada, https://glfc.cfsnet.nfis.org/mapserver/pv/index_e.php.
- 11) J.M Chassériau, Conversion thermique du rayonnement solaire ; Dunod, 1984.
- 12) M. Capderou, Atlas solaire de l'Algérie, Tome 1, Vol. 1 et 2 ; OPU, 2002.
- 13) P. Rivet, Le Rayonnement solaire ; CNRS.
- 14) M.Kayouche, système de poursuite du soleil, bilan énergétique et optimisation de réglage. Thèse de Magister. Université de Constantine ,1996 .
- 15) <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560>.

Annexe 1 : programme de système globale

```

Programme DE Microcontrôleur A1
// Déclaration des variables
const int SLvalue = A1; // capteur de position du soleil R
d'un entrée A1
const int SRvalue = A0; // capteur de position du soleil L
à l'entrée A0
const int SUvalue = A3; // capteur de position solaire U
d'un entrée A3
const int SDvalue = A2; // capteur de position solaire D à
l'entrée A2
int Lvalue; // variable de valeur d'entrée de capteur L
int Rvalue; // variable de valeur d'entrée de capteur R
int Uvalue; // variable de valeur d'entrée de capteur U
int Dvalue; // variable de valeur d'entrée de capteur D
int MapLvalue; // valeur de la variable de la sonde L mappé
int MapRvalue; // valeur de la variable de la sonde R mappé
int MapUvalue; // valeur de la variable de la sonde U mappé
int MapDvalue; // valeur de la variable de la sonde D mappé
int ValDivideX = 10; // la valeur du diviseur de la carte de
l'axe d'azimut
const int ReadAmp = A4; // capteur ampérage A4
const int ReadVolt = A5; // Capteur de Tension A5
int AmpValue =0; // variable d'entree Amper..
int VoltValue =0; // variable d'entree Volts.
float ConvertAmpValue = 0.0; // variables amper mappé
float ConvertVoltValue = 0.0; // tension variable mappé
float WatCalculateValue = 0.0; // la variable calculée Watts
float WatAcumul = 0.0; // watts d'accumulateur
int Contador =1; // compteurs pour le Moyen-
float Media = 0.0; // moyenne cumulative de variable -
// déclaration des noms correspondant aux moteurs de broches
de sortie//
int MX4 = 22; //ORG----MOTOR EJEX
int MX3 = 23; //YLV----MOTOR EJEX
int MX2 = 24; //PNK----MOTOR EJEX
int MX1 = 25; //BLU----MOTOR EJEX
int MX8 = 26; //ORG----MOTOR EJEX
int MX7 = 27; //YLV----MOTOR EJEX
int MX6 = 28; //PNK----MOTOR EJEX
int MX5 = 29; //BLU----MOTOR EJEX
int MY4 = 30; //ORG----MOTOR EJEY
int MY3 = 31; //YLV----MOTOR EJEY
int MY2 = 32; //PNK----MOTOR EJEY
int MY1 = 33; //BLU----MOTOR EJEY
int MY8 = 34; //ORG----MOTOR EJEY
int MY7 = 35; //YLV----MOTOR EJEY
int MY6 = 36; //PNK----MOTOR EJEY
int MY5 = 37; //BLU----MOTOR EJEY

```

```
#define DelTimX 3 // déclaration de la constante de retard.
// entre les étapes
void setup() {
  Serial.begin(9600); // configuration du port série
  pinMode(53, INPUT_PULLUP); // Réglage de l'entrée 53 "pullup"
  pinMode(52, INPUT_PULLUP); // Réglage de l'entrée 53 "pullup"
  pinMode(51, INPUT_PULLUP); // Réglage de l'entrée 53 "pullup"
  pinMode(50, INPUT_PULLUP); // Réglage de l'entrée 53 "pullup"
}
void loop() { // Boucle de programme
  Lvalue = analogRead(SLvalue); // Boucle de programme
  Rvalue = analogRead(SRvalue); //Analogique correspondant
  Uvalue = analogRead(SUvalue);
  Dvalue = analogRead(SDvalue);
  // la cartographie de la variable à un niveau plus gérable
  MapLvalue = Lvalue / ValDivideX; MapRvalue = Rvalue / ValDivideX;
  MapUvalue = Uvalue / ValDivideY;
  MapDvalue = Dvalue / ValDivideY;
  // INICIO AJUSTE EJE ACIMUTAL DIRECCIÓN R (DERECHA)
  movXR: // l'étiquette de mise en direcc mouvement du pointeur. R
  if (MapRvalue > MapLvalue) { // es MapRvalue > MapLvalue ??
  if ((MapRvalue-MapLvalue)>5){ // également avec un diferencia> 5 ??
  int FcR = digitalRead(53); // déclare la valeur pin53 FcR
  if (FcR == 0) { // et aussi limiter = 0
  Serial.println("FcR ON"); // message Fc R activé }
  else{ // si FcR =1 ( desactive)
  Serial.println("Moviendo R"); // message "Moving R"
  // Séquence d'étapes à faire tourner le moteur
  // pasol EJE X
  digitalWrite(MX4,HIGH);digitalWrite(MX3,LOW);digitalWrite(MX2,LOW);
  digitalWrite(MX1,LOW);digitalWrite(MX8,HIGH);digitalWrite(MX7,LOW);
  digitalWrite(MX6, LOW);digitalWrite(MX5, LOW);
  delay(DelTimX); // Attendre entre 16 ÉTAPES

  // ETAP2 EJE X
  digitalWrite(MX4,HIGH);digitalWrite(MX3,HIGH);digitalWrite(MX2,LOW);
  digitalWrite(MX1,LOW);digitalWrite(MX8,HIGH);digitalWrite(MX7,HIGH);
  digitalWrite(MX6, LOW);digitalWrite(MX5, LOW); delay(DelTimX);
  // ETAP3 EJE X
  digitalWrite(MX4,LOW);digitalWrite(MX3,HIGH);digitalWrite(MX2,LOW);
  digitalWrite(MX1,LOW);digitalWrite(MX8,LOW);digitalWrite(MX7,HIGH);
  digitalWrite(MX6,LOW);digitalWrite(MX5,LOW); delay(DelTimX);
  // ETAP4 EJE X
  digitalWrite(MX4,LOW);digitalWrite(MX3,HIGH);digitalWrite(MX2,HIGH);
  digitalWrite(MX1,LOW);digitalWrite(MX8,LOW);digitalWrite(MX7,HIGH);
  digitalWrite(MX6,HIGH);digitalWrite(MX5,LOW); delay(DelTimX);
  // ETAPE5 EJE X
  digitalWrite(MX4,LOW);digitalWrite(MX3,LOW);digitalWrite(MX2,HIGH);
  digitalWrite(MX1,LOW);digitalWrite(MX8,LOW);digitalWrite(MX7,LOW);
  digitalWrite(MX6,HIGH);digitalWrite(MX5,LOW); delay(DelTimX);
  // ETAPE6 EJE X
  digitalWrite(MX4,LOW);digitalWrite(MX3,LOW);digitalWrite(MX2,HIGH);
  digitalWrite(MX1,HIGH);digitalWrite(MX8,LOW);digitalWrite(MX7,LOW);
  digitalWrite(MX6,HIGH);digitalWrite(MX5,HIGH);delay(DelTimX);
```

```
// ETAPE7 EJE X
digitalWrite(MX4,LOW);digitalWrite(MX3,LOW);digitalWrite(MX2,LOW);
digitalWrite(MX1,HIGH);digitalWrite(MX8,LOW);digitalWrite(MX7,LOW);
digitalWrite(MX6, LOW);digitalWrite(MX5, HIGH); delay(DelTimX);
// ETAP8 EJE X
digitalWrite(MX4,HIGH);digitalWrite(MX3,LOW);digitalWrite(MX2,LOW);
digitalWrite(MX1,HIGH);digitalWrite(MX8,HIGH);digitalWrite(MX7,LOW);
digitalWrite(MX6, LOW);digitalWrite(MX5, HIGH); delay(DelTimX);
// Le passage à zéro de sorte que le moteur ne reste pas magnétisé
et chaleureux
digitalWrite(MX4,LOW);digitalWrite(MX3,LOW);digitalWrite(MX2,LOW);
digitalWrite(MX1,LOW);digitalWrite(MX8,LOW);digitalWrite(MX7,LOW);
digitalWrite(MX6, LOW);digitalWrite(MX5, LOW);
// FIN Séquence d'étapes à faire tourner le moteur
Lvalue = analogRead(SLvalue); // lecture mise à jour Rvalue =
analogRead(SRvalue); // des capteurs de position
MapLvalue = Lvalue / ValDivideX; // mapea el valor de Lvalue
MapRvalue = Rvalue / ValDivideX; // mapea el valor de Rvalue
goto movXR; // envoyer le pointeur de programme à la
}} // label "movXR
```

```
// FIN AJUSTEMENT AXE direction azimutale R (droite)
```

```
// HOME SET AXIS direction azimutale L (gauche)
```

```
// Ainsi que de changer LE BON SENS SEULEMENT ET COMPARAISON
```

```
// Séquence d'étapes
```

```
movXL:
```

```
if (MapLvalue > MapRvalue) {
```

```
if ((MapLvalue-MapRvalue)>5){
```

```
int FcL = digitalRead(52);
```

```
if (FcL == 0) {
```

```
Serial.println("FcL");}
```

```
else{
```

```
Serial.println("Moviendo L");
```

```
// ETAPE1 EJE X
```

```
digitalWrite(MX4, LOW);digitalWrite(MX3, LOW);digitalWrite(MX2, LOW);digitalWrite(MX1,
HIGH);digitalWrite(MX8, LOW);digitalWrite(MX7, LOW);digitalWrite(MX6, LOW);digitalWrite(MX5,
HIGH); delay(DelTimX);
```

```
// ETAPE2 AXE X
```

```
digitalWrite(MX4, LOW);digitalWrite(MX3, LOW);digitalWrite(MX2, HIGH);digitalWrite(MX1, HIGH);digitalWrite(MX8, LOW);digitalWrite(MX7, LOW);digitalWrite(MX6, HIGH);digitalWrite(MX5, HIGH); delay(DelTimX);
```

```
// ETAPE3 AXE X
```

```
digitalWrite(MX4, LOW); digitalWrite(MX3, LOW);digitalWrite(MX2, HIGH);digitalWrite(MX1, LOW);digitalWrite(MX8, LOW);digitalWrite(MX7, LOW);digitalWrite(MX6, HIGH);digitalWrite(MX5, LOW); delay(DelTimX);
```

```
// ETAPE4 AXE X
```

```
digitalWrite(MX4, LOW); digitalWrite(MX3, HIGH);digitalWrite(MX2, HIGH);digitalWrite(MX1, LOW);digitalWrite(MX8, LOW);digitalWrite(MX7, HIGH);digitalWrite(MX6, HIGH);digitalWrite(MX5, LOW); delay(DelTimX);
```

```
// ETAPE5 AXE X
```

```
digitalWrite(MX4, LOW);digitalWrite(MX3, HIGH);digitalWrite(MX2, LOW);digitalWrite(MX1, LOW);digitalWrite(MX8, LOW);digitalWrite(MX7, HIGH);digitalWrite(MX6, LOW);digitalWrite(MX5, LOW); delay(DelTimX);
```

```
// ETAPE6 AXE X
```

```
digitalWrite(MX4, HIGH);digitalWrite(MX3, HIGH);digitalWrite(MX2, LOW);digitalWrite(MX1, LOW);digitalWrite(MX8, HIGH);digitalWrite(MX7, HIGH);digitalWrite(MX6, LOW);digitalWrite(MX5, LOW); delay(DelTimX);
```

```
// ETAPE7 AXE X
```

```
digitalWrite(MX4, HIGH);digitalWrite(MX3, LOW);digitalWrite(MX2,LOW); digitalWrite(MX1,LOW);digitalWrite(MX8,HIGH);digitalWrite(MX7,LOW); digitalWrite(MX6, LOW);digitalWrite(MX5, LOW); delay(DelTimX);
```

```
// ETAPE8 AXE X
```

```
digitalWrite(MX4, HIGH);digitalWrite(MX3, LOW);digitalWrite(MX2, LOW);digitalWrite(MX1, HIGH);digitalWrite(MX8, HIGH);digitalWrite(MX7, LOW);digitalWrite(MX6, LOW);digitalWrite(MX5, HIGH); delay(DelTimX);
```

```
// STEP ZERO
```

```
digitalWrite(MX4, LOW);digitalWrite(MX3, LOW);digitalWrite(MX2, LOW);digitalWrite(MX1, LOW); Lvalue = analogRead(SLvalue);
```

```
Rvalue = analogRead(SRvalue);

MapLvalue = Lvalue / ValDivideX;

MapRvalue = Rvalue / ValDivideX;

goto movXL;

}}}

// AJUSTEMENT DE FIN direction AXE azimutale L (gauche)

// HOME SET AXIS direction du zénith U (UP) // IGUAL QUE EN EJE ACIMUTAL PERO LOS PINES DE
CORREPONDIENTES A CADA

// MOTEUR DE METTRE direction inverse par rapport à l'autre CHANGEMENT

// Séquence d'étapes

movYU:

int FcU = digitalRead(50);

if (MapUvalue > MapDvalue) {

if ((MapUvalue-MapDvalue)>3){

if (FcU == 0) {

Serial.println("FcD");}

else{

Serial.println("Moviendo D");

// ETAPE1 AXE Y

digitalWrite(MY4, HIGH);digitalWrite(MY3, LOW);digitalWrite(MY2,

LOW);digitalWrite(MY1, LOW);digitalWrite(MY8, LOW);digitalWrite(MY7,

LOW);digitalWrite(MY6, LOW);digitalWrite(MY5, HIGH);

delay(DelTimX);

// ETAPE2 AXE Y

digitalWrite(MY4, HIGH);digitalWrite(MY3, HIGH);digitalWrite(MY2,

LOW);digitalWrite(MY1, LOW);digitalWrite(MY8, LOW);digitalWrite(MY7,

LOW);digitalWrite(MY6, HIGH);digitalWrite(MY5, HIGH);
```

```
delay(DelTimX);

// ETEPE3 AXE Y

digitalWrite(MY4, LOW);digitalWrite(MY3, HIGH);digitalWrite(MY2,
LOW);digitalWrite(MY1, LOW);digitalWrite(MY8, LOW);digitalWrite(MY7,
LOW);digitalWrite(MY6, HIGH);digitalWrite(MY5, LOW);

delay(DelTimX);

// ETAPE4 AXE Y

digitalWrite(MY4, LOW);digitalWrite(MY3, HIGH);digitalWrite(MY2,
HIGH);digitalWrite(MY1, LOW);digitalWrite(MY8, LOW);digitalWrite(MY7,
HIGH);digitalWrite(MY6, HIGH);digitalWrite(MY5, LOW);

delay(DelTimX);

ETAPE5 AXEY

digitalWrite(MY4, LOW);digitalWrite(MY3, LOW);digitalWrite(MY2, HIGH);digitalWrite(MY1,
LOW);digitalWrite(MY8, LOW);digitalWrite(MY7, HIGH);digitalWrite(MY6, LOW);digitalWrite(MY5,
LOW);

delay(DelTimX);

// ETAPE6 AXE Y

digitalWrite(MY4, LOW);digitalWrite(MY3, LOW);digitalWrite(MY2, HIGH); digitalWrite(MY1,
HIGH);digitalWrite(MY8, HIGH);digitalWrite(MY7, HIGH);digitalWrite(MY6, LOW);digitalWrite(MY5,
LOW);

delay(DelTimX);

// ETAPE7 AXE Y

digitalWrite(MY4, LOW);digitalWrite(MY3, LOW);digitalWrite(MY2, LOW);digitalWrite(MY1,
HIGH);digitalWrite(MY8, HIGH);digitalWrite(MY7, LOW);digitalWrite(MY6, LOW);digitalWrite(MY5,
LOW); delay(DelTimX);

// ETAPE8 AXE Y

digitalWrite(MY4, HIGH);digitalWrite(MY3, LOW);digitalWrite(MY2, LOW);digitalWrite(MY1,
HIGH);digitalWrite(MY8, HIGH);digitalWrite(MY7, LOW);digitalWrite(MY6, LOW);digitalWrite(MY5,
HIGH);

delay(DelTimX);
```

```
// STEP ZERO

digitalWrite(MY4, LOW);digitalWrite(MY3, LOW);digitalWrite(MY2, LOW);digitalWrite(MY1, LOW);
digitalWrite(MY8, LOW);digitalWrite(MY7, LOW);digitalWrite(MY6, LOW);digitalWrite(MY5, LOW);
Uvalue = analogRead(SUvalue); Dvalue = analogRead(SDvalue); MapUvalue = Uvalue / ValDivideY;
MapDvalue = Dvalue / ValDivideY;

goto movYU; }}}

// AJUSTEMENT DE FIN direction AXE zénith U (UP

// HOME SET AXIS azimutale direction D (BAS)

// Ainsi que l'unique chemin et CHANGER LA COMPARAISON

// Séquence d'étapes movYD: if (MapDvalue > MapUvalue) {

int FcD = digitalRead(51);

if ((MapDvalue-MapUvalue)>5){

if (FcD == 0) {

Serial.println("FcU");}

else{ Serial.println("Moviendo U");

// ETAPE1 AXE Y

digitalWrite(MY8, HIGH);digitalWrite(MY7, LOW);digitalWrite(MY6, LOW);digitalWrite(MY5,
LOW);digitalWrite(MY4, LOW);digitalWrite(MY3, LOW);digitalWrite(MY2, LOW);digitalWrite(MY1,
HIGH);

delay(DelTimX);

// ETAPE2 AXE Y

digitalWrite(MY8, HIGH);digitalWrite(MY7, HIGH);digitalWrite(MY6, LOW);digitalWrite(MY5,
LOW);digitalWrite(MY4, LOW);digitalWrite(MY3, LOW);digitalWrite(MY2, HIGH);digitalWrite(MY1,
HIGH);

delay(DelTimX);

// ETAPE3 AXE Y

digitalWrite(MY8, LOW);digitalWrite(MY7, HIGH);digitalWrite(MY6, LOW);digitalWrite(MY5,
LOW);digitalWrite(MY4, LOW);digitalWrite(MY3, LOW);digitalWrite(MY2, HIGH);digitalWrite(MY1,
LOW);

delay(DelTimX);

// ETAPE4 AXE Y
```

```
digitalWrite(MY8, LOW);digitalWrite(MY7, HIGH);digitalWrite(MY6, HIGH);digitalWrite(MY5,  
LOW);digitalWrite(MY4, LOW);digitalWrite(MY3, HIGH);digitalWrite(MY2, HIGH);digitalWrite(MY1,  
LOW);
```

```
delay(DelTimX);
```

```
// ETAPE5 AXE Y
```

```
digitalWrite(MY8, LOW);digitalWrite(MY7, LOW);digitalWrite(MY6, HIGH);digitalWrite(MY5,  
LOW);digitalWrite(MY4, LOW);digitalWrite(MY3, HIGH);digitalWrite(MY2, LOW);digitalWrite(MY1,  
LOW);
```

```
// ETAPE6 AXE Y
```

```
delay(DelTimX);
```

```
digitalWrite(MY8, LOW);digitalWrite(MY7, LOW);digitalWrite(MY6, HIGH);digitalWrite(MY5,  
HIGH);digitalWrite(MY4, HIGH);digitalWrite(MY3, HIGH);digitalWrite(MY2, LOW);digitalWrite(MY1,  
LOW);
```

```
delay(DelTimX);
```

```
// ETAPE7 EJE Y digitalWrite(MY8, LOW);digitalWrite(MY7, LOW);digitalWrite(MY6,  
LOW);digitalWrite(MY5, HIGH);digitalWrite(MY4, HIGH);digitalWrite(MY3, LOW);digitalWrite(MY2,  
LOW);digitalWrite(MY1, LOW);
```

```
delay(DelTimX);
```

```
// ETAPE8 AXE Y
```

```
digitalWrite(MY8, HIGH);digitalWrite(MY7, LOW);digitalWrite(MY6, LOW);digitalWrite(MY5,  
HIGH);digitalWrite(MY4, HIGH);digitalWrite(MY3, LOW);digitalWrite(MY2, LOW);digitalWrite(MY1,  
HIGH);
```

```
delay(DelTimX);
```

```
// STEP ZERO
```

```
digitalWrite(MY8, LOW);digitalWrite(MY7, LOW);digitalWrite(MY6, LOW);digitalWrite(MY5, LOW);  
digitalWrite(MY4, LOW);digitalWrite(MY3, LOW);digitalWrite(MY2, LOW);digitalWrite(MY1, LOW);  
Uvalue = analogRead(SUvalue); Dvalue = analogRead(SDvalue); MapUvalue = Uvalue / ValDivideY;  
MapDvalue = Dvalue / ValDivideY;
```

```
goto movYD; }}
```

```
// FIN AJUSTE EJE CENTRAL DIRECCIÓN D (ABAJO)
```

```
// FIN AJUSTE EJES
```

```
//*****  
  
// Home Monitoring DU POUVOIR  
  
MONITOR: // étiquette pointeur  
  
AmpValue = analogRead(ReadAmp); //variable AmpValue =entrée  
  
VoltValue = analogRead(ReadVolt);// variable VoltValue =entrée  
  
ConvertAmpValue = AmpValue * 0.00056; // amplis de cartographie  
  
ConvertVoltValue = VoltValue * 0.0066; // volts cartographiques  
  
//calcul watts  
  
WatCalculateValue = (ConvertAmpValue * ConvertVoltValue);  
  
// un message sur l'écran indique "temps réel"  
  
Serial.print("Amperios = ");Serial.println(ConvertAmpValue);  
  
Serial.print("Voltios = ");Serial.println(ConvertVoltValue);  
  
Serial.print("Watios = ");  
  
Serial.print(WatCalculateValue);  
  
//accumuler l'énergie produite  
  
WatAcumul = (WatAcumul + WatCalculateValue);  
  
// calculer la moyenne  
  
Media = (WatAcumul / Contador);  
  
// un message sur l'écran de la moyenne accumulée  
  
Serial.print(" Media periodo = ");Serial.println(Media);  
  
//incrémenter le compteur pour obtenir la moyenne  
  
Contador =(Contador + 1 );  
  
//sérigraphie sur une ligne vide dans l'espace  
  
//lectures consécutives  
  
Serial.println(" ");  
  
delay(2500); // attendre 2,5 secondes  
  
// de sorte que le programme retourne à l'évaluation du capteur de position}
```

Annexe 2 : le schéma électrique de la carte Arduino Mega

Arduino™ MEGA 2560

