



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

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES
DE MASTER PROFESSIONNEL
Domaine : Sciences et Technologies

Filière : **Génie Electrique**

Spécialité : Electronique industrielle

Présenté par : M^r Alliou Takfarinas

M^r Ben Belkacem Slimane

Thème

Robotisation d'un concentrateur solaire parabolique à base d'Arduino

Mémoire soutenu publiquement le 28 Septembre 2016 devant le jury composé de

-Mohia	Président
-Idjeri	Examineur
-Hameg	Examineur
-Laghrouche	Encadreur

REMERCIEMENTS

NOS VIFS REMERCIEMENTS VONT À M^F: LAGHROUCHE, D'AVOIR ACCEPTÉ NOUS
ENCADRER, AUX MEMBRES DE JURY POUR L'HONNEUR QU'ILS NOUS FONT AFIN DE
JUGER CE TRAVAIL, AINSI QUE TOUS LES ENSEIGNANTS DU DÉPARTEMENT
D'ÉLECTRONIQUE, QUI NOUS ONT SUIVI TOUT AU LONG DU CURSUS UNIVERSITAIRE.

ET TOUS CEUX QUI ONT CONTRIBUÉ DE PRÈS OU DE LOIN AFIN DE MENER À TERME
CE TRAVAIL.

DÉDICACES

JE DÉDIE CE TRAVAIL À MES PARENTS.

À MES FRÈRES.

À TOUTE MA FAMILLE.

À TOUS MES AMIS.

BEN BELKACEM SLIMANE

JE DÉDIE CE TRAVAIL À :

MES TRÈS CHERS PARENTS AUXQUELS JE DOIS LA VIE POUR TOUT CE QU'ILS ONT FAIT POUR MOI.

MES TRÈS CHERS FRÈRES.

TOUTE LA FAMILLE ALLIOUI ET MAHMOUDI.

MA CHÈRE COPINE KAMELIA.

MES AMIS (ES) EN GÉNÉRAL.

LES JEUNES DE LA CITÉ MICHEL.

LES AMIS DE LA NATURE.

TOUTE LA KABYLIE.

ALLIOUI TAKFARINAS

Sommaire

Introduction générale

Chapitre I : Le gisement solaire

I-1. Introduction	1
I-2 le soleil.....	1
I-3 Le mouvement de la terre.....	3
I-4 Grandeurs géographiques et astronomiques	3
I-4-1 Grandeurs pour le repérage du soleil.....	3
I-4-1-1 Repère de coordonnées équatoriales.....	4
I-4-1-2 Repère de coordonnées horizontales	5
I-4-2 Grandeurs pour le repérage d'un site à la surface terrestre.....	6
I-4-3 Orientation d'un plan	7
I-4-4 Angle d'incidence sur un plan	7
I-5 Le rayonnement solaire	7
I-5-1 Le rayonnement extraterrestre.....	7
I-5-2 Le rayonnement solaire en atmosphère terrestre.....	8
I-5-3 Incidence de clarté	8
I-6 Constante solaire	9
I-7 Notions générales sur le rayonnement solaire au sol	10
I-7-1 Rayonnement solaire arrivant au sol	10
I-7-1-1 Rayonnement directe.....	11
I-7-1-2 Rayonnement diffus	11
I-7-1-3 Rayonnement réfléchi.....	12
I-7-1-4 Rayonnement global	12
I-8 Rayonnement solaire en Algérie	13

Sommaire

I-9 Conclusion	14
----------------------	----

Chapitre II : Généralités sur les cuiseurs solaires

Introduction.....	15
II-1 Définition des cuiseurs solaires.....	15
II-2 Principe de fonctionnement des cuiseurs solaires	15
II-3 Principe de la réflexion.....	16
II-3-1 Réflexion sur une surface plane	16
II-3-2 Réflexion sur une surface courbe.....	16
II-4 Différents types de cuiseurs solaires	17
II-4-1 Les cuiseurs solaires sans stockage de chaleur	17
II-4-1-1 Les cuiseurs directs	17
II-4-2 Les cuiseurs à concentration.....	18
II-5. Les trackers solaires	21
II-5-1. Définition.....	21
II-5-2. Mécanismes de suivi	22
II-5-3. Importance de la poursuite solaire	22
II-5-4. Orientation des panneaux solaires	23
II-5-4-1. Choix de l'orientation des modules	23
II-5-4-2. Choix de l'inclinaison des modules	23
II-5-3. Type d'orientation.....	23
II-5-5-1. Orientation 1 axe	23
II-5-5-2. Orientation 2 axe	24
II-2-6. Conclusion	24

Chapitre III : Conception matérielle et logicielle

III-1. Structure du système	25
-----------------------------------	----

Sommaire

III-2. Principe de fonctionnement du système	25
III-3. Identification et présentation des Composants utilisés	26
III-3-1. La détection de lumière réalisée à base d'une photorésistance.....	26
III-3-1-1. Branchement	26
III-3-1-2. Principe de fonctionnement.....	27
III-3-1-3. Capteur de température LM35.....	28
III-3-1-4. Principe de fonctionnement.....	29
III-3-1-5. Assemblage avec la carte arduino	29
III-3-2. La commande du système	30
III-3-2-1. La carte arduino mega 2560	30
III-3-2-1-1. Préambule	30
III-3-2-1-2. La carte d'acquisition	30
III-3-2-1-3. Description de la carte arduino mega 2560.....	31
III-3-2-1-4. Architecture de la carte arduino mega 2560	32
III-3-2-1-5. Le microcontrôleur	32
III-3-2-1-6. Les entrées / sorties de la carte arduino.....	34
III-3-2-1-7. Les mémoires	34
III-3-2-1-8. L'alimentation.....	35
III-3-3. Actionnement du système	35
III-3-3-1. Les servomoteurs.....	35
III-3-3-1-1. Principe de fonctionnement.....	36
III-3-3-1-2. Assemblage du servomoteur avec une carte arduino	37
III-3-4. L'afficheur LCD (16 × 2)	38
III-3-4-1. Utilisation pour le système.....	38
III-3-4-2. Branchement sur la carte arduino.....	38
III-5. Schéma global du système.....	39

Sommaire

III-6. Algorigramme.....	39
III-7. Programme du système avec le langage arduino.....	41
III-8. Conclusion.....	44
Conclusion générale.....	45
Liste des figures.....	46
Liste des abréviations.....	47
Références bibliographiques.....	49

Introduction générale

Le réchauffement climatique est la préoccupation d'un grand nombre de pays, aujourd'hui et reste le défi majeurs de la planète, vu sa grande menace sur l'humanité en tenant compte de ses répercussions néfastes. Et pour y remédier, l'énergie renouvelable est la solution la plus convoitée pour diminuer le péril et limiter les gaz à effet de serre qui polluent le monde.

L'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, la biomasse et l'énergie solaire sont les énergies parmi tant d'autres qu'il faut exploitées. Et cette dernière est la plus en vue par le fait qu'elle est une source d'énergie naturelle, gratuite, non polluante, ce qui fait d'elle la meilleure ressource énergétique du 3^{ème} millénaire, avec un potentiel équivalent à 10000 fois la consommation énergétique de l'humanité entière [9], ce qui lui permet d'être en pôle position des énergies renouvelables.

L'énergie photovoltaïque est généralement basée sur les panneaux solaires, qui sont réparties en deux modèles: fixe et suiveur, les trackers sont les plus utilisés et les plus pratiques tenant compte de leurs rendements supérieur de 40% par rapport à celui fixe, et il existe plusieurs manières de les robotiser et de l'automatiser.

Les systèmes à concentrateur solaires, nous offrent la possibilité de produire de l'électricité à partir de l'énergie solaire, les températures peuvent aisément atteindre les 500° c, en exploitant le rayonnement solaire direct, considéré comme source principale.

Notre travail consiste sur la conception et réalisation d'un autocuiseur basé sur un concentrateur solaire robotisé, il est réparti en trois chapitres, dont le premier consiste à déterminer la course du soleil par rapport à la terre, ainsi que la définition des différents rayonnements solaires arrivant sur terre, le second est consacré à l'étude des différents cuiseurs solaires existants, ainsi que les concentrateurs solaires, le troisième chapitre porte sur la méthode avec laquelle, on a robotiser notre système et de définir tous les composants utilisés.

Chapitre I :

Le Gisement Solaire

Chapitre I : Le Gisement Solaire

I.1. Introduction :

L'énergie solaire est la plus dominante de toutes les énergies renouvelables, elle est l'une des plus faciles à exploiter. Comme la plus part des énergies douces, elle donne à l'utilisateur la possibilité de subvenir sans intermédiaire à une partie 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 la source principale de toute forme d'énergie existante sur le globe terrestre, ceci est vrai autant pour les énergies conventionnelles d'origine fossile, comme les hydrocarbures qui sont la résultante de la photosynthèse ; que pour les énergies non conventionnelles dites renouvelables, citant l'énergie solaire, l'énergie éolienne, la biomasse ainsi que l'énergie géothermique.

L'astre soleil est de constitution gazeuse, de forme sphérique de 14×10^5 km de diamètres, sa masse est de l'ordre 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 [1].

Il est situé à une distance de la terre égale à environ 150 millions de kilomètres. Sa luminosité totale, c'est-à-dire la puissance totale qu'il émet sous forme de photons, est de 4×10^{26} w, approximativement. Seule une partie est interceptée par la terre, elle est de l'ordre de 1.7×10^{17} , elle nous parvient essentiellement sous forme d'ondes électromagnétiques ; 30% de cette puissance est réfléchi vers l'espace, 40% est absorbée, 23% est utilisée comme source d'énergie par le cycle d'évaporation-précipitation de l'atmosphère [1].

Les caractéristiques principales du soleil sont regroupées dans ce tableau ci-dessous :

Chapitre I : Le Gisement Solaire

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 est autre qu'une sphère homogène, on peut y distinguer trois régions principales :

A/ l'intérieur : contient 40% de la masse du soleil, et dedans se crée une 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, la zone convective. Le rayonnement émis dans cette partie est entièrement absorbé par les couches supérieures. La température atteint plusieurs millions de degrés, et un milliard d'atmosphère de pression.

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

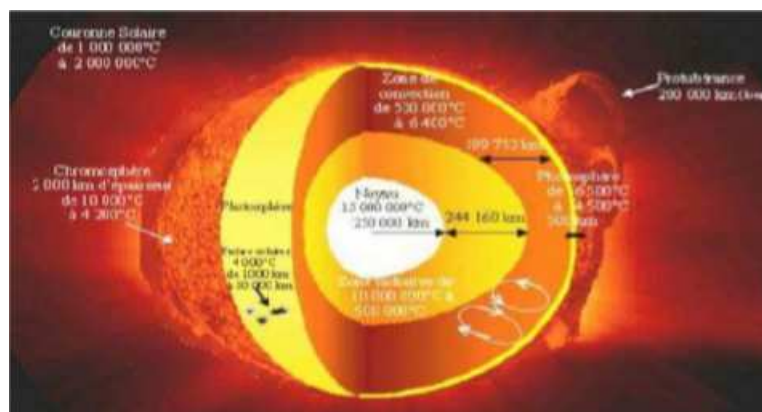


Figure I-1 : Structure du soleil [10]

I-3-Le mouvement de la terre

Chapitre I : Le Gisement Solaire

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 ou 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 [11].

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 $23^{\circ} 27'$.

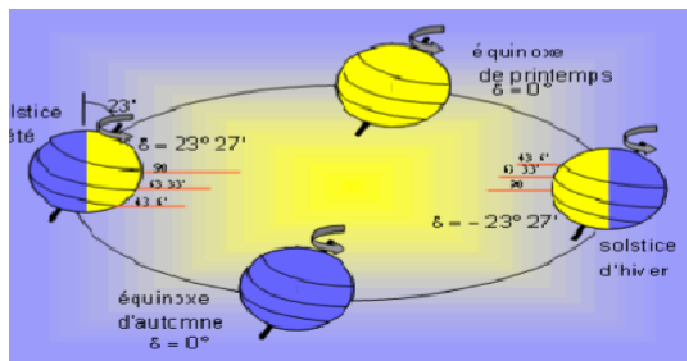


Figure I.13. Variation annuelle de la déclinaison solaire

Figure I-2: Variation saisonnière du rayonnement solaire [10]

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.

Chapitre I : Le Gisement Solaire

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'équation 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 :

$$\delta = 23,27 \sin [360/365(j+284)] \quad (1.1)$$

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 la méridienne 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 :

$$\omega = 15(TSV - 12) \quad (1.2)$$

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.

$$TSV = TU + 4(LSt - Lg) + ET \quad (1.3)$$

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 :

$$ET = 9.87 \sin (2JD) - 7.35 \cos (JD) - 1.5(JD) \quad (1.4)$$

Chapitre I : Le Gisement Solaire

$$JD = (J - 81) \times (360/365)$$

Et J = nombre de jours à partir du premier janvier.

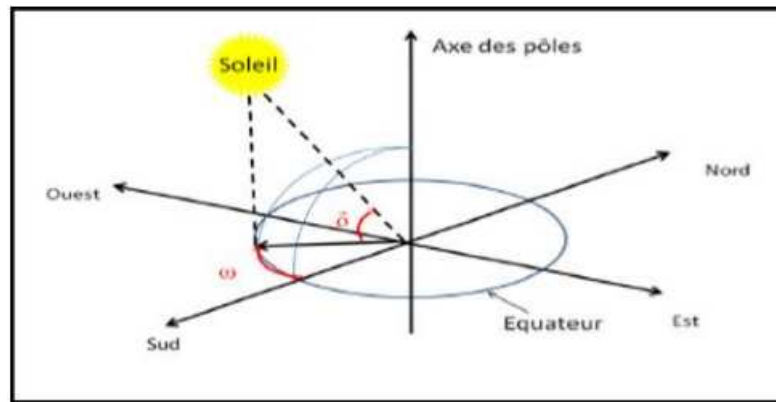


Figure I - 3 : Repère de coordonnées horaires

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 :

$$\sin(h) = \sin(\Phi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\Phi) \cdot \cos(\delta) \quad (1.5)$$

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 :

$$\sin(a) = (\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)) / \cos(h) \quad (1.6)$$

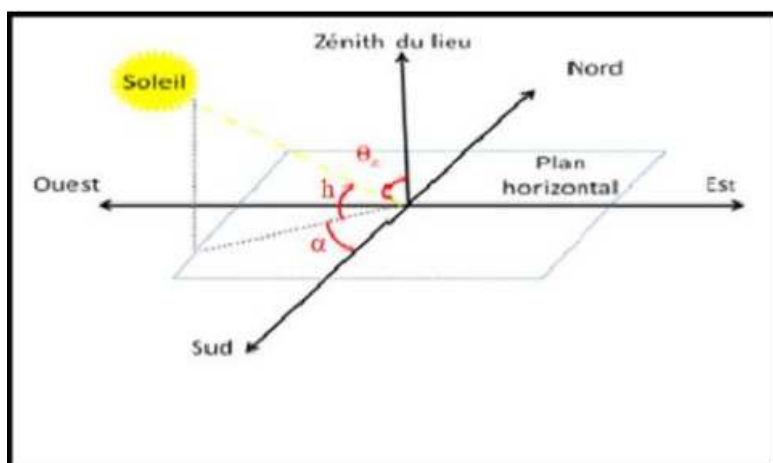


Figure I-4: Repère de coordonnées azimutales

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 [3]:

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

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

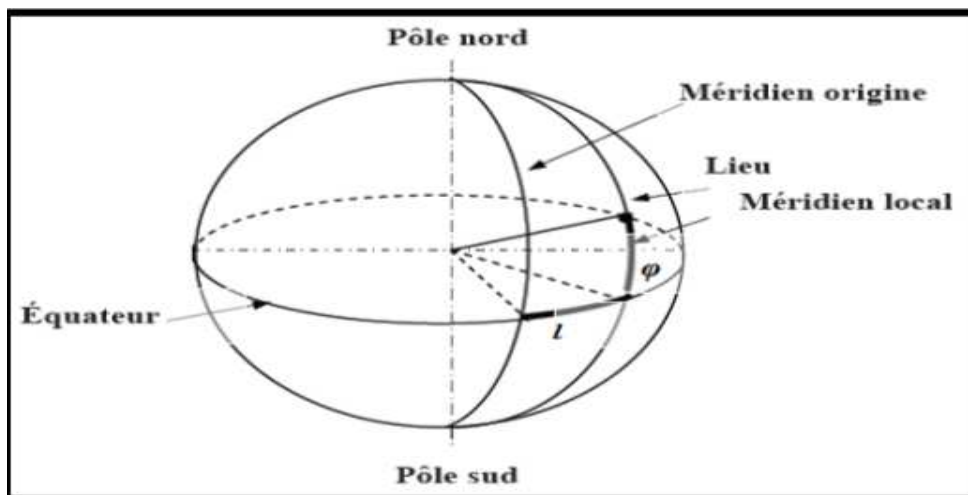


Figure I-5 : Repérage d'un site sur la surface terrestre

I.4.3. Orientation d'un plan

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

Chapitre I : Le Gisement Solaire

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 :

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

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 surface réceptrice.

Il est donné par la relation suivante :

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

I.5. Le rayonnement solaire:

Le soleil émet en permanence, dans toutes les directions de l'espace, des rayonnements électromagnétiques composés de «grains» de lumière appelés photons. Ces rayonnements se propagent à la vitesse de la lumière C ; il lui faut donc, en moyenne, 499 secondes, soit 8 minutes et 19 secondes, pour atteindre notre atmosphère. L'énergie, E_{ph} , de chaque photon est directement liée à la longueur d'onde λ [11].

I.5.1- Rayonnement extraterrestre : Le rayonnement solaire extraterrestre couvre un très large domaine de longueur d'ondes. Il ne dépend d'aucun paramètre météorologique, mais il est en fonction de quelques paramètres astronomiques et géographique tels que : la latitude du lieu (ϕ), la déclinaison solaire (δ), et l'angle horaire au coucher du soleil (ω_0).

Sur une surface horizontale, et pour le jour n , le rayonnement extraterrestre

G_0 ($\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{jour}^{-1}$) est obtenu à l'aide de l'équation suivante:

Chapitre I : Le Gisement Solaire

$$G_0 = \frac{60 \times 24}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0.034 \cos \left(\frac{2\pi d}{365} \right) \right] [\omega_l \sin(\varphi) \sin(\sigma) + \cos(\varphi) \cos(\sigma) \sin(\omega_l)] \quad (1.9)$$

G_{sc} : est la constante solaire égale à $0,082 \text{ MJ.m}^{-2}.\text{mn}^{-1}$.

d : est le numéro du jour à partir du premier Janvier.

I.5.2- Rayonnement solaire en atmosphère terrestre :

Le rayonnement reçu sur l'atmosphère terrestre n'occupe qu'une faible portion du spectre d'ondes électromagnétiques solaires. Il est caractérisé par des longueurs d'ondes comprises entre $0,2$ et $2,5 \mu\text{m}$. Il inclut le domaine du visible (ondes lumineuses de $0,4$ à $0,8 \mu\text{m}$).

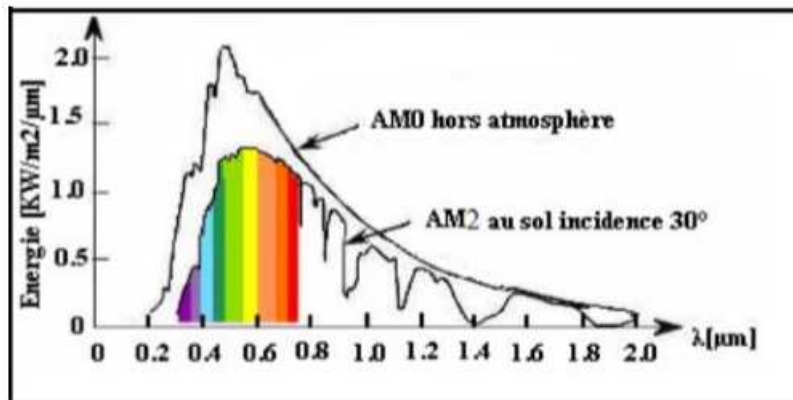


Figure I-6 : Répartition spectrale du rayonnement solaire

I.5.3- Indice de clarté : Le rapport entre le rayonnement au sol et le rayonnement extraterrestre est appelé indice de clarté. L'indice de clarté, K_T , est défini par :

$$K_T = \frac{G}{G_0} \quad (1.10)$$

Où G est l'irradiation solaire reçue sur un plan horizontal.

La moyenne mensuelle de l'indice de clarté K_T varie selon les endroits et les saisons et varie généralement entre $0,3$ (pour des régions ou des saisons pluvieuses) et $0,8$ (pour des saisons ou des climats secs et ensoleillés).

Chapitre I : Le Gisement Solaire

I.6. La constante solaire : La constante solaire exprime le flux énergétique moyen reçu par une surface unité placée orthogonalement aux rayons solaires au sommet de l'atmosphère terrestre. Cette valeur est soumise à des variations de quelques watts selon deux modes : une variabilité à long terme (période de 33 millions d'années) due au mouvement du système solaire dans la voie lactée et une variabilité à très court terme (un jour à quelques années) due à l'activité solaire. Dans notre cas, la valeur moyenne qui a été retenue est $I_m = 1370 \text{ W/m}^2$. Par contre, la puissance solaire I_0 interceptée au sommet de l'atmosphère est variable au cours de l'année puisque la distance Terre-Soleil est elle-même variable en raison de la trajectoire elliptique de la Terre dans sa course autour du Soleil. On appelle correction de distance la quantité suivante :

$$C_{t,s} = 1 + 0,034 \cos \left[\left(\frac{360}{365} \right) (d-2) \right] \quad (1.11)$$

La puissance I_0 est calculée à partir de la constante solaire corrigée :

$$I_0 = I_m * C_{t,s} \quad (1.12)$$

Nous avons tracé dans la figure ci-dessous, le graphe de son évolution journalière dans l'année.

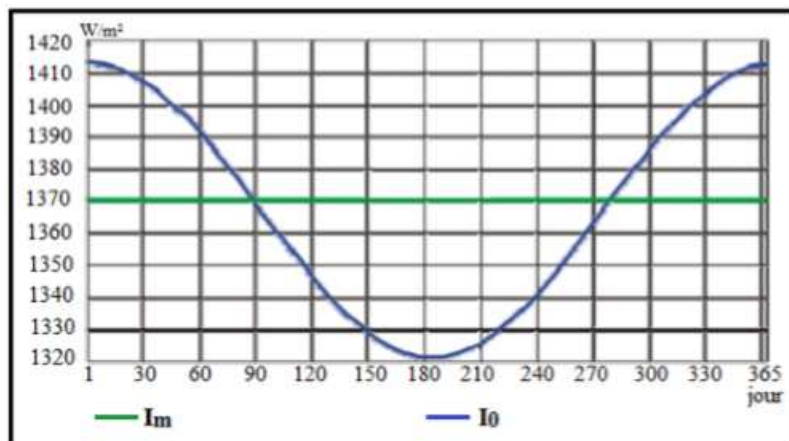


Figure I-7 : Evolution annuelle de la constante solaire

I.7- Notions générales sur le rayonnement solaire au sol

Chapitre I : Le Gisement Solaire

I.7.1-Rayonnement solaire arrivant au sol : Le rayonnement solaire est un rayonnement thermique qui se propage sous la forme d'ondes électromagnétiques. En dehors de l'atmosphère terrestre, il donne un éclairement énergétique à peu près constant et égal à 1370 W/m^2 , appelé de ce fait constante solaire.

Ce rayonnement arrivant sur la Terre subit une altération lors de la traversée de l'atmosphère, et seulement une partie de cette énergie est disponible au sol. Cette énergie se décompose en deux parties principales :

Le rayonnement solaire direct (I^*) et le rayonnement solaire diffus (D^*). La somme de ces deux rayonnements est appelée rayonnement solaire global (G^*).

Puissance et énergie reçues par un récepteur plan: La puissance ou l'énergie reçue par une surface est tributaire de plusieurs facteurs selon son orientation et son inclinaison. En revanche, elle se compose des mêmes éléments de base que sont les quantités directe, diffuse et réfléchie : Les grandeurs directes : Reçues directement du soleil en traversant l'atmosphère sans qu'elles ne soient restituées ou réfléchies :

S_{dir} : Puissance reçue directe [W/m^2]

H_{dir} : Energie reçue directe [J/m^2]

Les grandeurs diffusées: Les nuages, les aérosols diffusent en partie le rayonnement.

S_{dir} : Puissance diffuse reçue [W/m^2]

H_{dir} : Energie diffuse reçue [J/m^2]

Les grandeurs réfléchies : sont les quantités réfléchies par l'entourage du capteur ; les plus prépondérantes sont dues au sol (albédo) et au ciel :

$S_{réf}$: Puissance réfléchie reçue par la surface de captation inclinée [W/m^2]

H_{ref} : Energie réfléchie reçue par la surface de captation inclinée [J/m^2]

I.7.1.1- 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 [2]. Il y a deux types :

Chapitre I : Le Gisement Solaire

A- L'éclairement direct S_{dir}

Pour un plan horizontal :

$$S_{dir} = I^* \sin(h) \quad (1.13)$$

$$I^* = 1370 \exp\left[-\frac{T_r}{0,9+9,4 \sin(h)}\right]$$

$$T_r = 2.4 + 14.6 \beta + 0.4(1+2 \beta) \ln(P_v)$$

β Est le coefficient de trouble atmosphérique

{	0.05 zone rurale
	0.1 zone urbaine
	0.2 zone industrielle

P_v : Pression de vapeur (mm Hg)

Pour une surface inclinée :

$$S_{dir}(\gamma, i) = I \cos \theta \quad (1.14)$$

B-Irradiation directe:

$$H_{dir} = \int_1^c I_{dir} dt \quad (1.15)$$

1.7.1.2- Rayonnement diffus

Dans sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé par les molécules de l'air et les particules en suspension [2]. Le rayonnement solaire diffus n'est donc nul que la nuit. Il y a deux types :

a- L'éclairement diffus S_{dif}

- pour une surface horizontale

$$S_{dif} = [54.8 \sin h] \left[T_r - 0.5 - \sqrt{\sin h} \right] \quad (1.16)$$

- Pour un plan incliné :

$$S_{dif}(i, \gamma) = \frac{1 + \cos i}{2} S_{dif} \quad (1.17)$$

b -Irradiation diffuse H_{dif}

$$H_{dif} = \int_l^c I_{dif} (1.18)$$

I.7.1.3- Rayonnement réfléchi: C'est la partie réfléchi par le sol.

- Pour un plan horizontal : $R = 0$
- Pour un plan incliné :

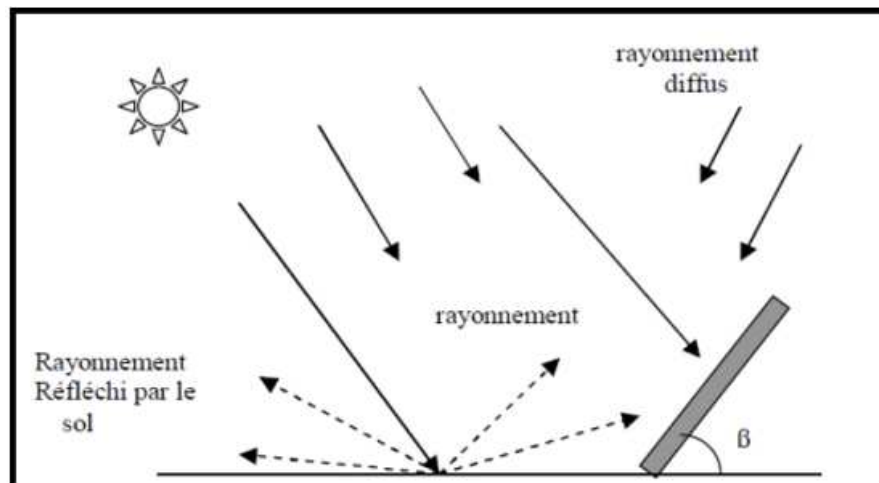
$$R(i, \gamma) = (S_{dir}, S_{dif}) \rho \left(\frac{1 + \cos i}{2} \right) (1.19)$$

ρ (Albédo) : facteur de réflexion du sol.

I.7.1.4- Rayonnement global : C'est la somme des trois types de rayonnements, le direct, le diffus et l'albédo (réfléchi par le sol).

Pour un plan horizontal : $G^* = S_{dir} + S_{dif}$

Pour un plan incliné : $G^* = S_{dir} + S_{dif} + R$

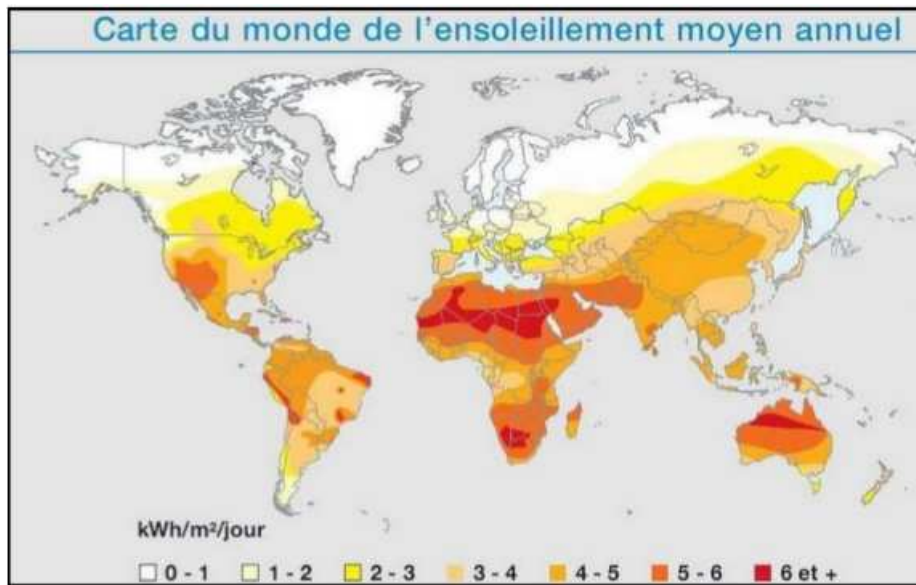


Figurel-8: Composantes du rayonnement global sur une surface inclinée

I.8- Rayonnement solaire en Algérie : L'Algérie possède un gisement solaire important, de par son climat, la puissance solaire maximale en tout point de notre pays est d'environ 1 kW/m². L'énergie journalière maximale moyenne (ciel clair, mois de Juillet) dépasse les 6 kWh/m²/jour et l'énergie annuelle maximale en Algérie est de l'ordre de 2500 kWh/m²/an[11].

Chapitre I : Le Gisement Solaire

La carte ci-dessous représente les différentes zones énergétiques du monde.



Figurel-9: Carte du monde de l'ensoleillement moyen annuel

La distribution de l'énergie reçue en Algérie, en moyenne annuelle, est donnée par la figure ci-dessous. Elle présente les différents niveaux énergétiques qui donnent ainsi un découpage du pays en régions iso-énergétiques.

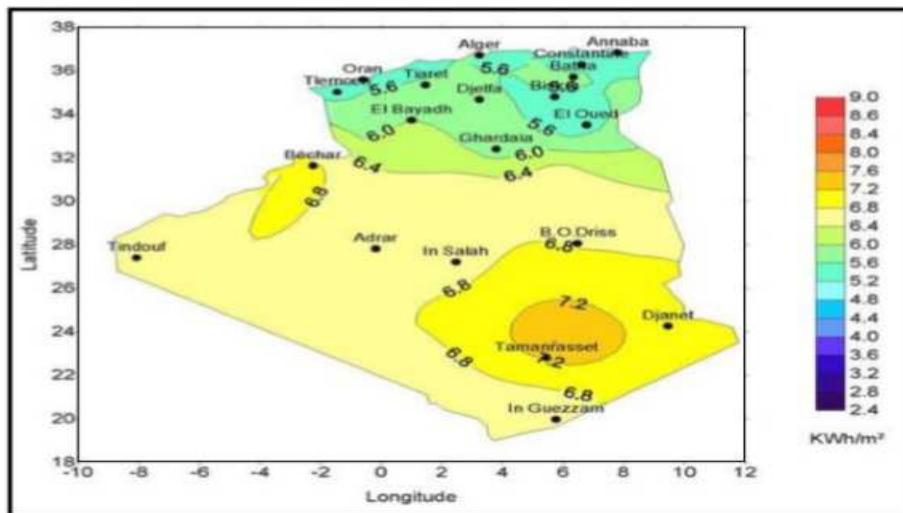


Figure I-10: moyenne annuelle de la distribution de l'énergie en Algérie

I.9. Conclusion :

D'après la carte représentée ci-dessus, on constate que le nord d'Algérie bénéficie d'un rayonnement solaire prometteur pour les applications solaires à basse température (le cuiseur solaire par exemple).

Chapitre II :

Généralités sur les cuiseurs solaires

Chapitre II : Généralités sur les cuiseurs solaires

Introduction :

Il est connu que, partout dans le monde, la cuisson est une nécessité majeure pour les gens et elle représente une part importante de la consommation d'énergie. Cependant, il existe une forme d'énergie qui est toujours disponible et en quantité abondante dans bon nombre de pays, c'est l'énergie solaire. Lorsqu'on parle d'énergie solaire, le débat tourne inévitablement soit autour du photovoltaïque (faire de l'électricité solaire) soit autour du solaire thermique (pour le chauffage de l'eau) [1]. Aujourd'hui, bien peu de personnes savent qu'il est également possible de faire cuire ses aliments avec de l'énergie provenant directement du soleil, et ce pour beaucoup moins cher qu'une installation solaire habituelle.

II.1- Définition des cuiseurs solaires: sont des dispositifs permettant de faire la cuisine sans aucune autre source d'énergie (bois ou énergie fossile) mais uniquement avec l'énergie solaire. Ils représentent une solution de choix, surtout dans les pays pauvres en ressources énergétiques conventionnelles. L'énergie étant inépuisable et renouvelable, le cuiseur solaire va notamment permettre de solutionner les problèmes de bois dans les pays entièrement privés de ressources végétales et permettre également de faire la cuisine avec un impact environnemental nul. Seul problème, en absence du soleil et en fin de journée ces cuiseurs ne peuvent pas être utilisés.

II.2- Principe de fonctionnement du cuiseur solaire : Le principe de fonctionnement du cuiseur solaire est simple : il convertit le rayonnement solaire en énergie calorifique nécessaire à la cuisson des aliments. Pour cela, cela consiste à : - diriger au maximum les rayons solaires vers le récipient de cuisson. - les convertir en énergie calorifique - maintenir cette chaleur en isolant les parois. La température de cuisson d'un cuiseur solaire est atteinte quand les gains en énergie solaire viennent à égaler les pertes de chaleur vers l'extérieur. On parle d'un juste équilibre entre les gains et les pertes de chaleur.

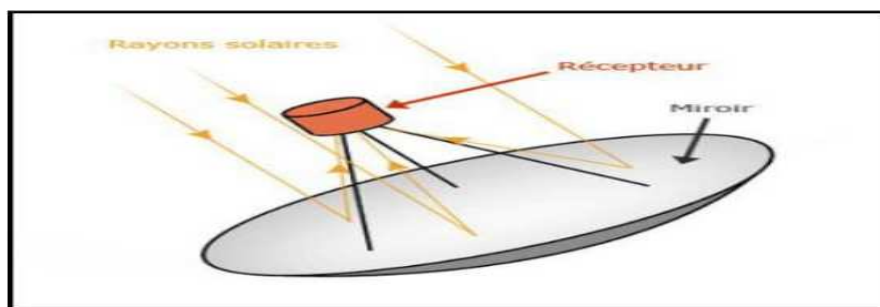


Figure II-1 : Principe de fonctionnement du cuiseur solaire

Chapitre II : Généralités sur les cuiseurs solaires

II.3- Principe de la réflexion : La réflexion d'un rayon lumineux sur une surface est depuis l'Antiquité un phénomène connu et appliqué.

II.3.1- Réflexion sur une surface plane : Considérons d'abord le cas de la réflexion d'un rayon sur une surface plane. Deux lois permettent de décrire géométriquement (donc sans tenir compte de la nature ondulatoire de la lumière) ce que devient un rayon après réflexion sur une surface plane : Première loi : le rayon incident et la normale à la surface (droite perpendiculaire à la surface passant par le point de contact du rayon incident sur la surface) définissent un plan : le plan incident. Le rayon réfléchi appartient à ce même plan. Deuxième loi : l'angle (appelé angle incident) entre le rayon incident et la normale est égal à l'angle (appelé angle de réflexion) entre la normale et le rayon réfléchi.

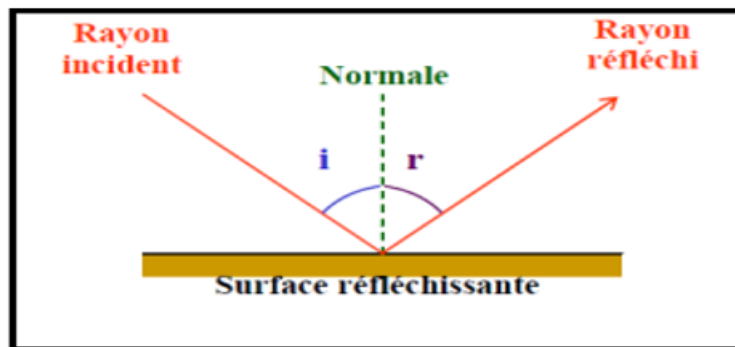


Figure II-2 : Réflexion sur une surface plane

II.3.2- Réflexion sur une surface courbe : Si la surface réfléchissante est courbe, celle-ci peut être décomposée en une multitude de plans infiniment petits. Ainsi, au point d'impact du rayon incident sur la surface réfléchissante, il faut considérer le plan tangent en ce point. On obtient ainsi la normale du plan tangent au point d'impact, et les deux lois de la réflexion sont alors d'application pour déterminer le rayon réfléchi. Il existe deux types de miroirs courbes : les miroirs concaves et les miroirs convexes.

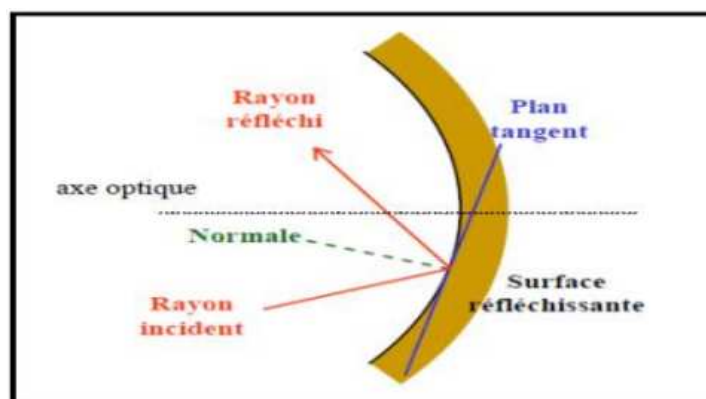


Figure II-3 : Réflexion sur une surface courbe

Chapitre II : Généralités sur les cuiseurs solaires

II.4- Différents types de cuiseurs solaires : Un aperçu des cuiseurs solaires dans le monde entier prouve qu'une large variété de cuiseurs a été conçue. Ces conceptions se rangent dans deux catégories principales : les cuiseurs solaires sans stockage de chaleur et les cuiseurs pourvus d'un système de stockage de chaleur.

II.4.1- Les cuiseurs solaires sans stockage de chaleur : Dans cette catégorie de cuiseurs, on en distingue deux types selon le mécanisme de transfert de chaleur au récipient de cuisson : les cuiseurs directs et les cuiseurs indirects. Le type direct emploie le rayonnement solaire directement dans le procédé de cuisson tandis que les cuiseurs solaires indirects emploient un fluide caloporteur pour transférer la chaleur du collecteur au récipient de cuisson.

II.4.1.1- Les cuiseurs directs :

Type boîte Appelé aussi four solaire, il est constitué essentiellement d'une boîte bien isolée et pourvue d'une lucarne en verre à travers laquelle les rayons du soleil peuvent pénétrer.

Pour diminuer les pertes de chaleur par convection, Il est recommandé dans certains cas d'utiliser pour les lucarnes un double vitrage. Quelquefois aussi, ces cuiseurs sont munis de réflecteurs extérieurs ou intérieurs pour augmenter la chaleur captée. Ces appareils fonctionnent selon le principe de l'effet de serre. Les rayons solaires à courtes longueurs d'onde traversent les deux parois de verre puis se transforment en rayons thermiques à grandes longueurs d'onde en touchant les parois noires. L'énergie est emprisonnée ainsi à l'intérieur de la boîte et empêchée de s'évacuer par conduction grâce à l'isolation thermique. On peut alors y atteindre des températures assez élevées, allant jusqu'à un maximum de 170°C, pour assurer la cuisson de la nourriture contenue dans les récipients. La vitesse de cuisson dépend de la conception du cuiseur et de son efficacité thermique.



Figure II-4 : Les différents modèles du type boîte

L'image ci-dessus nous montre les Cuiseurs solaires de type boîte :

- a) sans réflecteur ; b) avec un seul réflecteur ; c) avec deux réflecteurs ;
d) avec trois réflecteurs ; e) avec quatre réflecteurs ; f) avec huit réflecteurs.

II-4-2-Les cuiseurs à concentration : Les cuiseurs solaires à concentration fonctionnent selon le principe de la concentration et de la réflexion des rayons solaires. Ils utilisent une surface réfléchissante dont la forme permet de concentrer en un même point la réverbération de l'énergie lumineuse [1]. De nombreux modèles existent :

- Type parabolique : Ce sont des disques concaves qui focalisent par leurs miroirs ou leurs lames en aluminium très réfléchissantes, les rayons solaires de manière très précise sur le fait-tout. Ce dernier repose sur un dispositif prévu pour recevoir le ou les plats à cuire (selon le modèle et la grandeur des récipients). Les paraboles doivent être régulièrement réorientées pour obtenir un rendement optimum.
- Cylindro-parabolique : En règle générale, le creux est aligné avec son axe focal horizontal Est-Ouest. L'aliment à cuire est disposé le long de cette ligne. L'auge est faite de sorte que son axe de symétrie pointe au soleil à midi ; cela impose au bac d'être incliné de haut en bas.

Chapitre II : Généralités sur les cuiseurs solaires

- Type sphérique : Cette conception est la plus simple des concentrateurs car ils sont très faciles à réaliser et à employer ; la forme du réflecteur est sphérique et dirige la lumière le long d'une ligne perpendiculaire à la surface de la sphère. Une telle conception a été proposée pour la première fois par « Stam » en 1961. Le navire de cuisson peut être accroché au trépied pour atteindre le foyer. Voici les différents modèles de type à concentration.



Figure II-5 : Les cuiseurs solaires à concentration

L'image ci-dessus nous montre les différents cuiseurs solaires à concentration :

- 1- parabolique, 2- parabolique orienté vers le haut, 3- forme carrée concave,
4- sphérique, 6- à parois réfléchissantes en forme d'aile. 5- cylindro-parabolique,

Type à panneaux : Les cuiseurs à panneaux sont construits à partir de matériaux variés, suffisamment résistants et dont l'intérieur est recouvert d'une surface réfléchissante (miroir, aluminium...). Sa configuration spatiale répond à des exigences géométriques et optiques précises de façon à permettre aux réflecteurs de bien jouer leur rôle. En effet, les réflecteurs sont orientés selon un certain angle de manière à focaliser les radiations solaires en un point où sera placé, sur une grille un récipient de couleur noire enfermé à l'intérieur d'un sac en plastique ou en verre, résistant à la chaleur qui permet de créer l'effet de serre. Ce type de cuiseur permet de cuire une variété d'aliments et il peut atteindre 150 degrés durant une journée bien ensoleillée [1].

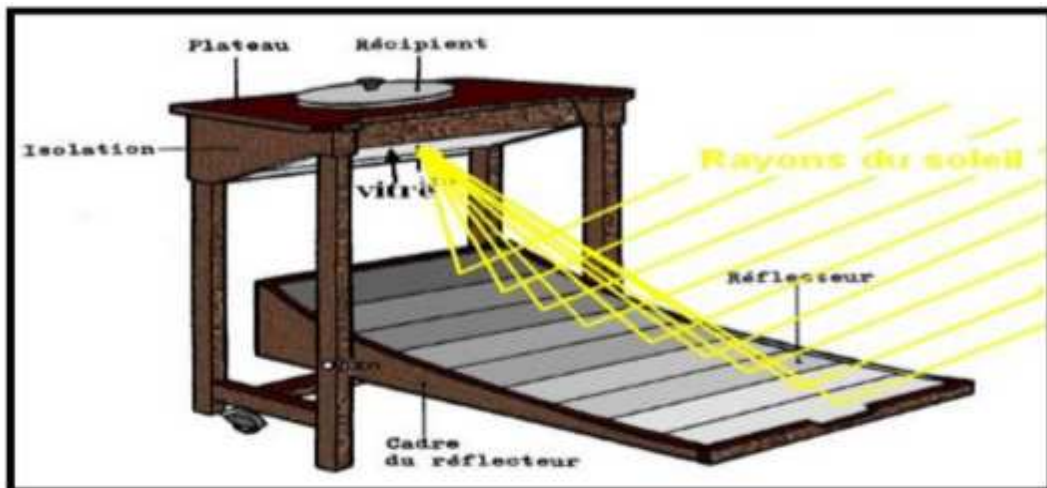


Figure II-6 : Un modèle de cuiseur solaire à panneaux

Dans le modèle représenté ci-dessus, les rayons solaires se réfléchissent sur les réflecteurs plans, disposés en arc de parabole, et viennent converger sur le vitrage ; la boîte isolée est inversée et le récipient de cuisson est encastré dans un trou pratiqué sur le plateau de la boîte. Les rayons solaires viennent frapper le fond noirci du récipient à cuisson. Pour mieux chauffer et réduire les temps de cuisson, les parois intérieures de la boîte sont munies de réflecteurs.

Afin de réaliser un suiveur solaire avec un maximum de rendement nous nous sommes inspirés du fonctionnement d'un tracker solaire, à cet effet nous allons détailler le fonctionnement d'un tel système.

II-5. Les Trackers solaires

II-5-1. Définition :

Le tracker solaire est une structure portante qui permet d'orienter les panneaux solaires photovoltaïques en fonction de la position du Soleil, afin d'en augmenter la productivité.

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 tournesol, qui suit le trajet du soleil afin d'accéder au meilleur ensoleillement possible pour assurer la photosynthèse [6].

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 [6].

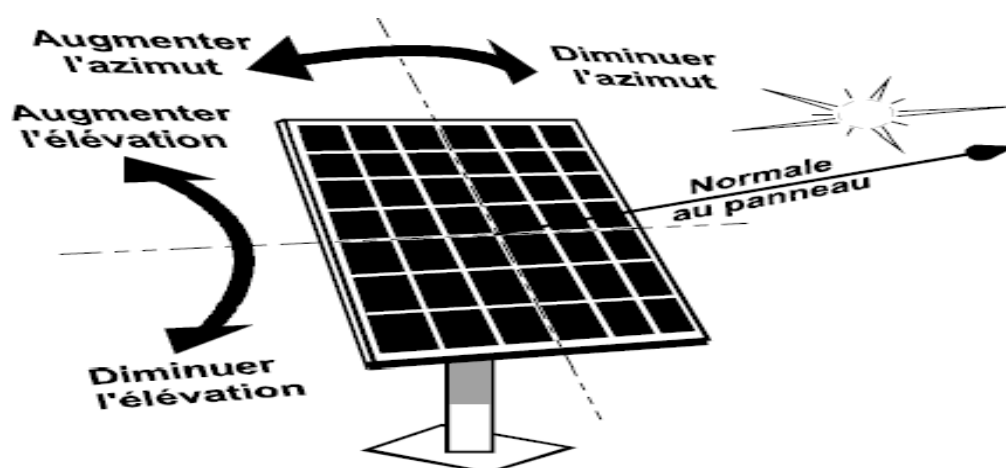


Figure II-7: Tracker solaire a système bi axial

Chapitre II : Généralités sur les cuiseurs solaires

II-5-2. Mécanismes de suivi

Il existe deux principaux mécanismes de suivi :

- Le mécanisme d'horlogerie, qui consiste à programmer la position des panneaux grâce à des calculs permettant de déterminer l'orientation optimale en fonction de la latitude, la saison et l'heure en se basant sur des observations des années précédentes.
- Le système d'asservissement, qui consiste à toujours réduire l'écart entre l'ensoleillement maximum et l'ensoleillement perçu par les panneaux.

II-5-3. Importance de la poursuite solaire: Le soleil se déplace au cours de la journée et suivant les saisons. Le panneau solaire, en revanche, se trouve généralement en position fixe, ce qui entraîne des pertes énergétiques précieuses. Une installation fixe, orientée, dans le cas idéal, vers le sud délivre une puissance qui croît très lentement tôt le matin et diminue fortement l'après-midi [4].

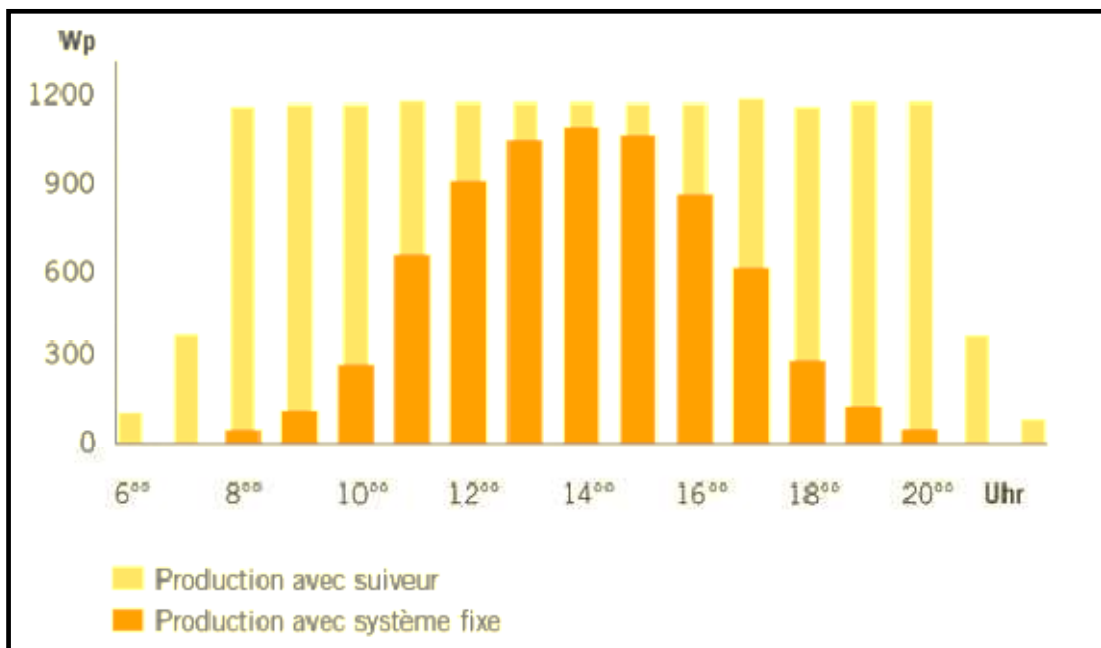


Figure II-8:diagramme de comparaison entre la production avec suiveur et la production avec système fixe.

Chapitre II : Généralités sur les cuiseurs solaires

Le rôle du mécanisme de poursuite est d'adapter la position du capteur de manière à ce que la radiation solaire incidente soit toujours perpendiculaire au réflecteur pour capter le maximum de rayon incident.

II-5-4. Orientation des panneaux solaires:

II-5-4-1. Choix de l'orientation des modules: l'orientation des modules doit être plein sud pour les sites de l'hémisphère nord et plein nord pour les sites de l'hémisphère sud l'utilisation d'une boussole est fortement recommandé pour éviter toute approximation qui risquerait d'introduire une perte de puissance consécutive à une mauvaise orientation.

II-5-4-2. Choix de l'inclinaison des modules: Pour que les modules produisent un maximum d'énergie, il faut que leur surface soit perpendiculaire aux rayons solaires. On doit donc incliner les modules pour qu'ils soient face au soleil. La valeur d'inclinaison correspond à l'angle que font les modules avec l'horizontale. Comme il est difficile de modifier plusieurs fois au cours de l'année l'inclinaison des modules, on choisit généralement une valeur moyenne pour toute l'année [4].

II-5-5. Type d'orientation:

Le panneau solaire doit suivre le soleil, c'est à dire, il faut que les rayons qu'il reçoit lui soient perpendiculaires. Pour cela, il faut rendre le panneau mobile, il faut donc concevoir un mécanisme qui permettrait au panneau de suivre le soleil suivant sa position dans la journée (de l'est à l'ouest) et sa hauteur dans le ciel qui change avec la déclinaison solaire (angle variant à cause de l'inclinaison de la terre).

II-5-5-1. Orientation 1 axe :

Un moteur assure la rotation d'un arbre sur lequel est fixé le panneau. Cela donc permettra au panneau d'aller de l'est à l'ouest.



Figure II-9 : Orientation 1 axe

II-5-5-2.Orientation 2 axe : pour une rotation à deux axe il faut utilisée deux moteur. Le premier assure la rotation est /ouest et le deuxième le position nord /sud



Figure II-10 : Orientation 2 axe

II-6. Conclusion

Au cours de ce deuxième chapitre nous avons fait un recensement des cuiseurs solaires existants et nous avons procédé à l'analyse de la littérature spécifique consacrée à notre étude.

Ainsi nous avons défini les différents types de cuiseurs solaires existants en soulignant dans certains cas les améliorations apportés par les travaux de recherches dans ce domaine.

Chapitre III :

Conception matérielle et logicielle

III.1 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 nécessaires au système mécanique, et une partie électrique "commande" qui s'occupe de la gestion totale du système. Cette partie est réalisée à base d'une carte Arduino Mega 2560, qui prend en charge l'acquisition de l'information à travers le LDR et les commandes du panneau pour la poursuite du soleil.

Le schéma synoptique du système est donné par la figure suivante :

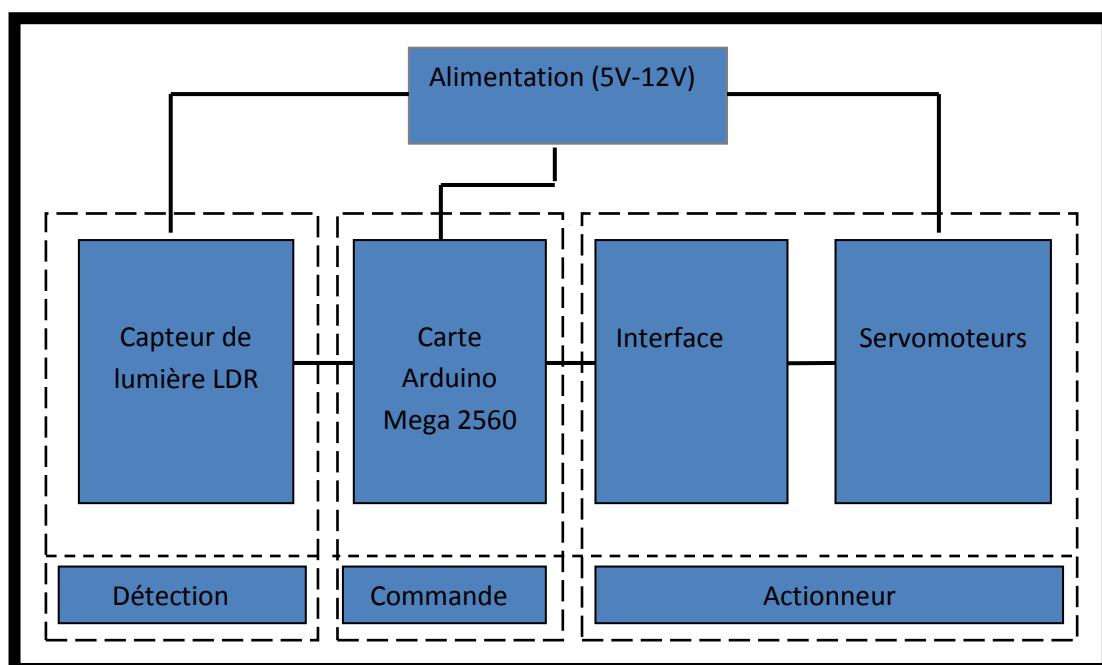


Figure III-1 : schéma synoptique du suiveur solaire.

III-2. Principe de fonctionnement du système :

Le principe de fonctionnement de notre suiveur solaire avec Arduino se base principalement sur un automate capable de suivre une source lumineuse en s'orientant de façon optimale en direction des rayons lumineux. Les mouvements de rotations se produisant selon deux axes (vertical et horizontal) nous utilisons donc deux servomoteurs commandés par la carte Arduino (le microcontrôleur).

La méthode utilisée est comparable à celle de l'asservissement. Notre panneau solaire est équipé de quatre capteurs photosensibles et il s'oriente en fonction de la luminosité reçue par chaque capteur. Notre programme compare la luminosité reçue par chaque capteur et

Chapitre III: Conception matérielle et logicielle

ajuste la position si une différence est détectée. Par exemple, si les capteurs du haut reçoivent plus de lumière que ceux du bas, le programme va détecter cette différence et va donner ordre au servomoteur de changer de position afin d'orienter le panneau vers le haut pour compenser. Ce sera le même principe pour la gauche et la droite. Le capteur LM35 implanté sur la surface du cuiseur nous permet de récupérer les valeurs de la température que le foyer reçoit, ces derniers seront affichés en degrés Celsius grâce à l'afficheur LCD (16x2) connecté sur l'Arduino.

La programmation de la carte Arduino a été nécessaire pour que le montage puisse fonctionner sans connexion avec l'ordinateur, le code étant enregistré sur la carte Arduino.

III-3. Identification et présentation des composants utilisés :

III-3-1. La détection de lumière réalisée à base d'une photorésistance :

Une photorésistance est un composant électronique dont la résistivité varie en fonction de la quantité de lumière incidente. On peut également la nommer *résistance photo-dépendante* (Light-Dependent-Resistor (LDR)) ou *cellule photoconductrice*.

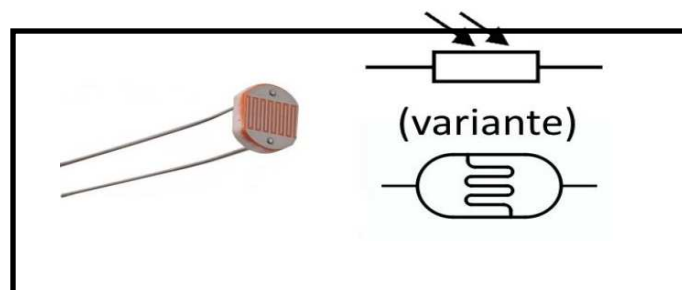


Figure III-2 : La photorésistance

III-3-1-1. Branchement :

La façon la plus facile de mesurer un senseur résistif est de connecter une borne sur l'alimentation et l'autre sur une résistance Pull-Down (elle-même raccordée à la masse), On raccorde ensuite le point de connexion entre "la résistance et la photorésistance" sur l'entrée analogique de notre Arduino.

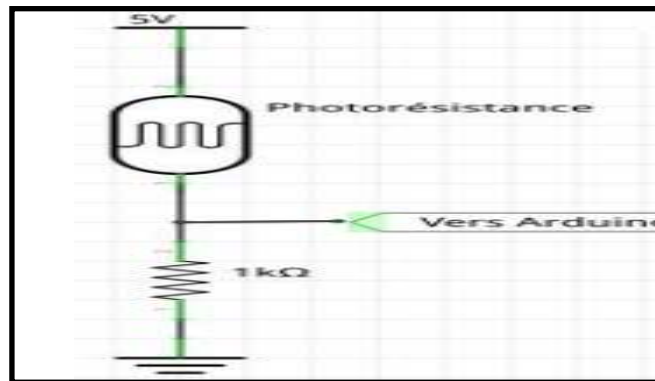


Figure III-3: Branchement de la photorésistance avec arduino

En utilisant une résistance Pull-Down de 10 KOhm, le circuit saturera très (trop) vite. Cela signifie que le montage atteindra rapidement le seuil de 5Volts et ne sera pas capable de faire la différence entre ce qui semble être "lumineux" et "très lumineux".

C'est pour cela que nous avons choisi d'utiliser une résistance pull-down de 1KOhms, ainsi le montage ne détectera pas de différences quand il fera sombre mais il sera capable de faire de meilleures détections dans les niveaux lumineux et fortement lumineux afin d'avoir une orientation plus précise de notre cuiseur solaire.

III-3-1-2. Principe de fonctionnement :

Une photorésistance est composée d'un semi-conducteur à haute résistivité. Si la lumière incidente est de fréquence suffisamment élevée (donc d'une longueur d'onde inférieure à la longueur d'onde seuil), elle transporte une énergie importante. Au-delà d'un certain niveau propre au matériau, les photons absorbés par le semi-conducteur donneront aux électrons liés assez d'énergie pour passer de la bande de valence à la bande de conduction. La compréhension de ce phénomène entre dans le cadre de la théorie des bandes. Les électrons libres et les trous d'électron ainsi produits abaissent la résistance du matériau.

Lorsque le photon incident est suffisamment énergétique, la production des paires électron-trou est d'autant plus importante que le flux lumineux est intense. La résistance évolue donc comme l'inverse de l'éclairement, cette relation peut être considérée comme linéaire sur une plage d'utilisation limitée.

III-3-1-4. Principe de fonctionnement :

La sortie analogique du capteur est proportionnelle à la température. Il suffit de mesurer la tension en sortie du capteur pour en déduire la température. Chaque degré Celsius correspond à une tension de +10mV.

III-3-1-5. Assemblage avec la carte Arduino :

Il suffit de câbler la broche VCC du capteur à l'alimentation 5V de la carte Arduino au moyen d'un fil. Ensuite de même avec la broche GND du capteur qui vient se câbler sur la broche GND de la carte Arduino.

Pour un bon fonctionnement du montage nous procéderons à placer un condensateur de 100nF (un condensateur de découplage en termes techniques) entre les broches VCC et GND du capteur. Il faut que le condensateur soit câblé le plus près possible du capteur pour être efficace.

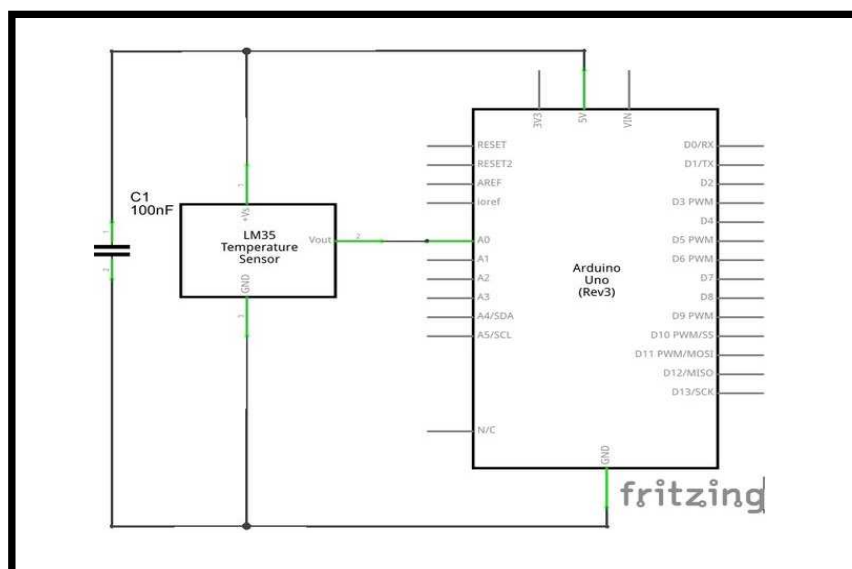


Figure III-6: Montage du LM35 avec la carte arduino

III-3-2. La commande du système à base de la carte arduino Mega 2560

III-3-2-1. La carte ArduinoMega 2560

III-3-2-1-1.Préambule :

Pour la réalisation de notre système qui est un suiveur de cycle solaire, nous avons utilisé une carte d'acquisition de type Arduino afin d'assurer la communication entre les deux parties à savoir ; la partie commande (ordinateur) et les deux sites (maître et esclave) afin de pouvoir commander et piloter le système.

Dans ce travail, nous présentons la description de la carte Arduino qui sera utilisée pour notre application. En effet, les différentes parties constituant cette carte seront détaillées, à savoir un microcontrôleur, des ports d'entrée/sorties, une mémoire de type EPROM. Aussi, le logiciel IDE utilisé pour la programmation sera présenté dans ce chapitre.

III-3-2-1-2.La carte d'acquisition :

Définition de la carte Arduino :

C'est une plate-forme open-source d'électronique programmée qui est basée sur une simple carte à microcontrôleur (de la famille AVR), et un logiciel, de véritable environnement de développement intégré, pour écrire, compiler et transférer le programme vers la carte à microcontrôleur [12].

Arduino peut être utilisé pour développer des objets interactifs, pouvant recevoir des entrées d'une grande variété d'interrupteurs ou de capteurs, et pouvant contrôler une grande variété de lumières, moteurs ou toutes autres sorties matérielles. Les projets Arduino peuvent être autonomes, ou bien ils peuvent communiquer avec des logiciels tournant sur l'ordinateur (tels que Flash, Processing ou MaxMSP, Matlab).

Le langage de programmation Arduino est une implémentation de Writing, une plate-forme de développement similaire, qui est basée sur l'environnement multimédia de programmation Processing.

Cette carte est basée sur une interface entrée/sortie simple et sur un environnement de développement proche du langage C.

Elle contient tout le nécessaire pour piloter le microcontrôleur, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur avec un câble USB pour l'utiliser facilement.

Chapitre III: Conception matérielle et logicielle

III-3-2-1-3. Description de la carte ArduinoMega :

La carte ArduinoMega 2560 est basée sur un microcontrôleur ATmega2560 à 16 MHz. Elle dispose de 54 broches E/S dont 14 PWM, 16 analogiques et 4 UARTs.

Elle est idéale pour des applications exigeant des caractéristiques plus complètes que la Uno.

Ce tableau nous donne les caractéristiques de la carte ArduinoMega :

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	Fonctionnement 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 leader.
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	8 KB
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	4 KB
Vitesse d'horloge	16 MHz

Tableau représentant les caractéristiques de l'arduinomega

III-3-2-1-4. Architecture de la carte arduinoMega 2560 :

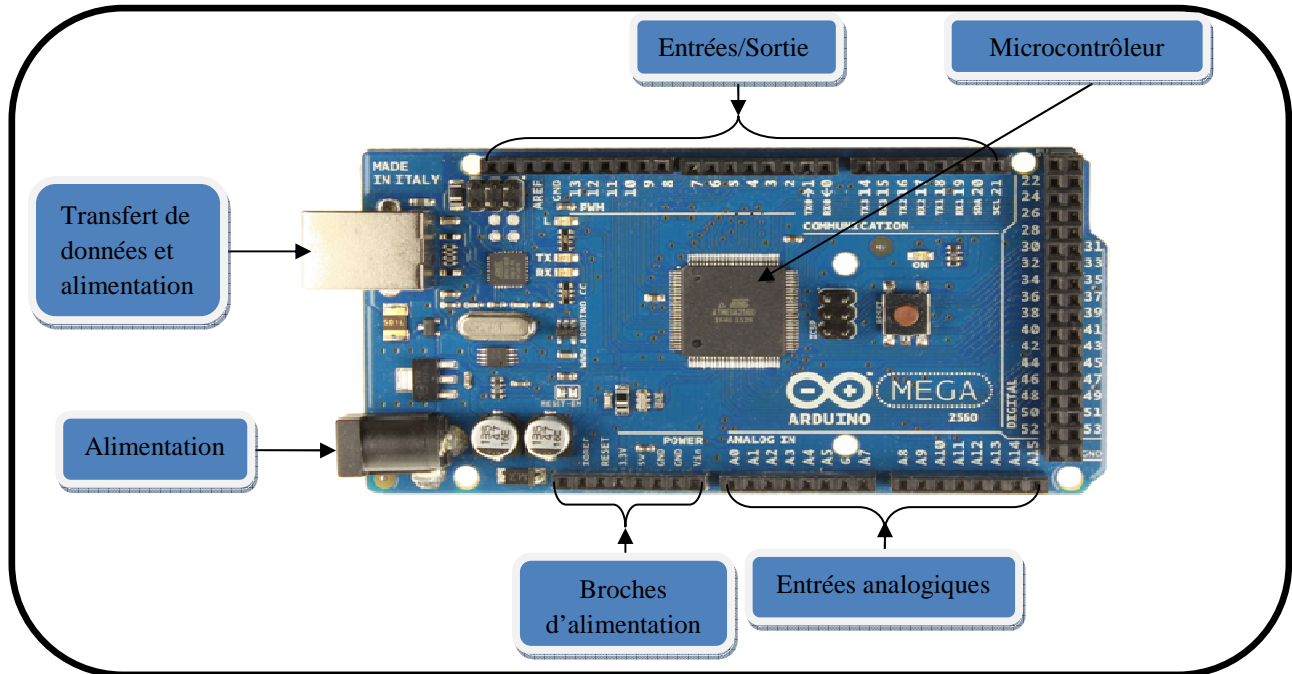


Figure III-7: Architecture de la carte Arduinomega 2560

Les éléments de base qui composent la carte Arduino sont :

III-3-2-1-5. Le microcontrôleur :

C'est le cerveau de la carte, permettant de recevoir le programme créé et stocké dans sa mémoire, puis l'exécuter. Grâce aux instructions de ce programme, il peut accomplir des tâches souhaitées, qui peuvent être : clignotement d'une LED, affichage des caractères sur un écran, commande des moteurs comme dans notre système, envoi des données à un ordinateur [12].

Caractéristiques du microcontrôleur ATMEGA 2560 :

- ✓ 135 instructions puissantes, la plupart sont d'exécution simple de rythme.
- ✓ 32x8 registres d'usage universel de fonctionnement.
- ✓ Opération entièrement statique.
- ✓ Jusqu'à 16 MIPS de sorties à 16 Mhz.
- ✓ Multiplicateur de cycle de Sur-Morceau2.
- ✓ Mémoires non-volatiles de programme et de données.
- ✓ Bytes 64K/128K/256K de flash Individu-Programmable de Dans-Système.

Chapitre III: Conception matérielle et logicielle

- ✓ Résistance : 10.000 écrire /cycles d’effacement.
- ✓ 4K Bytes EEPROM.
- ✓ Serrure de programmation pour la sécurité de logiciel.
- ✓ Quatre canaux à 8 bits de PWM.
- ✓ Interface série à 2 fils orienté vers le byte.
- ✓ Puissance sur la remise et la détection programmable d’arrêt partiel.
- ✓ La figure ci-dessous montre la structure interne du microcontrôleur ATMEGA 2560

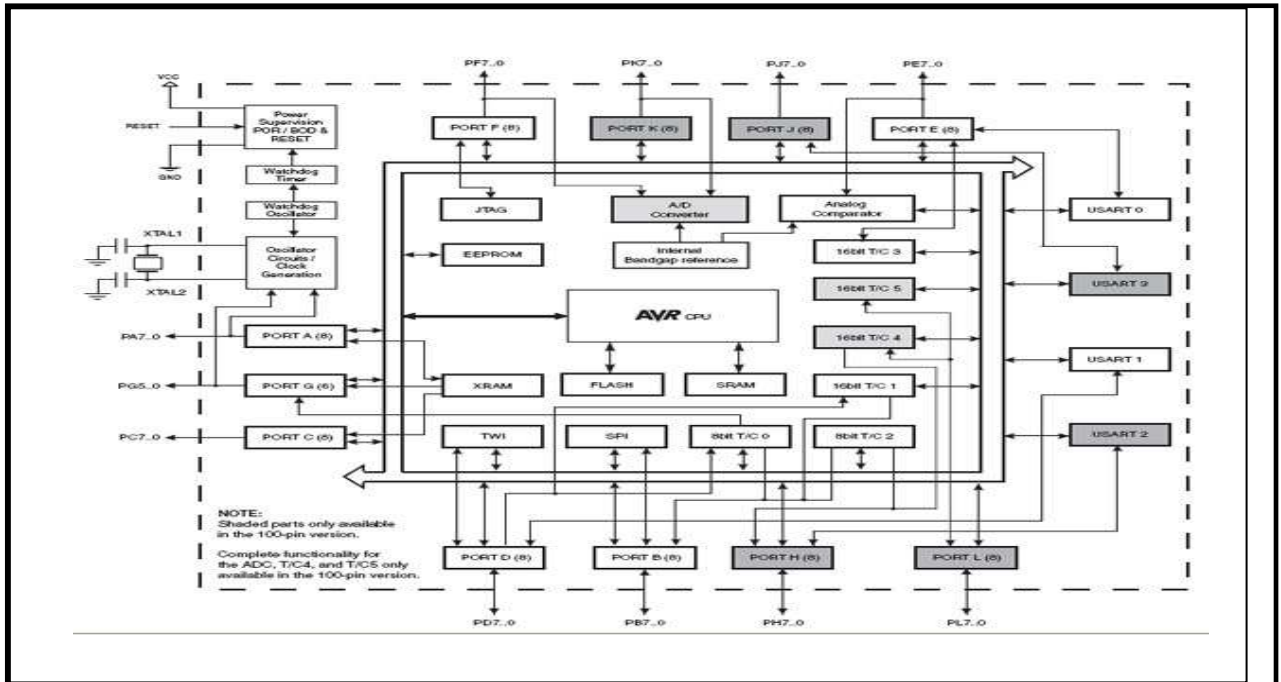


Figure III-8: Structure interne du microcontrôleur ATMEGA 2560

Présentation physique du microcontrôleur ATMEGA2560 :

L’ATMEGA se présente sous la forme d’un circuit intégré à 100 broches pour le modèle ATMEGA2560, dans un type de boîtier MCU TQFP [5].

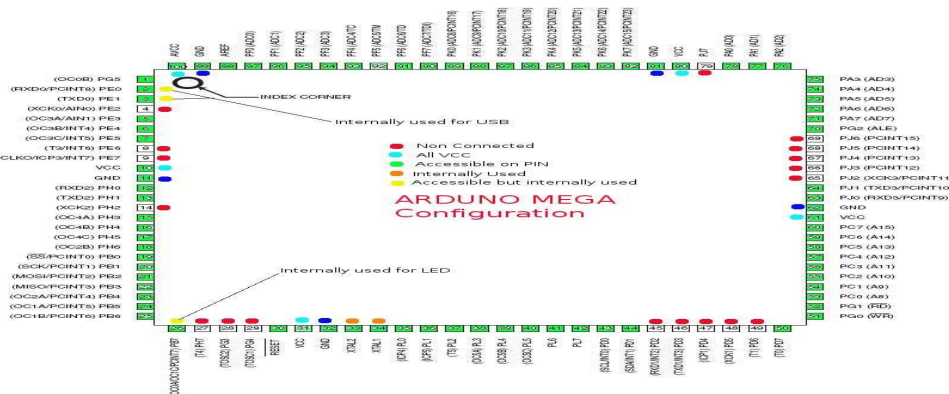


Figure III-9 : Microcontrôleur atmega2560

Chapitre III: Conception matérielle et logicielle

Description des branches :

- **Ports** : le microcontrôleur dispose de 11 ports (port A...port L) chaque port est un port d'entrée-sortie à 8 bits bidirectionnel sauf le port G qui est une sortie à 6 bits avec des résistances internes de tirage (pull-up) (choisi pour chaque bit).

Egalement utiliser pour des fonctions des différentes particularités.

- **RESET** : déclenché par un front descendant maintenu plus de 50 ns il produira le Reset du microcontrôleur, même si l'horloge ne court pas.
- **XTAL1** : Entrée de l'oscillateur externe ou libre pour l'horloge interne.
- **XTAL2** : Production de l'amplificateur d'oscillateur.
- **AREF** : est l'entrée de référence analogue pour le Convertisseur A/D avec une tension dans la gamme de 2 avec filtre passe bas.

III-3-2-1-6. Les entrées-sorties de la carte :

La carte Arduino possède 15 entrées analogiques, 54 entrées / sorties numériques dont les pins de (1 à 13) peuvent être utilisés comme des entrées/sorties analogiques.

- Les pins utilisés en numérique (PWM) ont une sortie binaire soit (0 logique qui correspond à l'état bas du pin ou 0V) ou (1 logique qui correspond à l'état haut du pin ou 5V) ce qui amène le fonctionnement des pins en mode tout ou rien.

- Les pins utilisés en analogique ont une sortie de valeur (0 à 255).

III-3-2-1-7. Mémoire :

Le ATmega2560 utilise trois types de mémoire, 128 Ko de mémoire flash pour stocker le code (dont 4 Ko est utilisée pour le boot loader), 8 Ko de SRAM et 4 Ko de mémoire EEPROM (qui peuvent être lues et écrites avec la bibliothèque EEPROM).

- **La mémoire programme** : La mémoire programme permet de stocker et de faire fonctionner le microcontrôleur, il contient 256 KB.
- **La mémoire de donnée** : La mémoire de donnée contient les 32 registres de travail, les 64 registres de commande et la mémoire SRAM pour les variables du programme.
- **La mémoire morte** : La mémoire morte est de type EEPROM d'accès plus complexe contiendra la configuration du programme et les données importantes qui seront sauvées pendant l'absence de courant électrique. Il contient 4 Ko de mémoire de donnée, est On peut écrire jusqu'à 100.000 fois dans l'EEPROM.

III-3-2-1-8. L'alimentation :

L'alimentation qui assure la distribution d'énergie aux différents composants de la carte Arduino, peut être effectuée via une connexion USB ou une alimentation externe. La source de courant est sélectionnée automatiquement.

L'alimentation externe (non USB) peut provenir d'un adaptateur CA/CC ou de piles, l'adaptateur peut être connecté par une fiche positive centrale de 2,1 mm dans l'alimentation de la carte. Les câbles de l'accu peuvent être insérés dans les prises de terre et de tension du connecteur d'alimentation.

La carte peut fonctionner sur une alimentation externe de 6 à 20 volts. Si moins de 7 volts sont fournis, la broche 5 V peut éventuellement fournir moins de 5 volts et la carte peut alors être instable. Si plus de 12 V sont utilisés, le régulateur de tension peut surchauffer et abîmer la carte. La tension recommandée varie entre 7 et 12 volts.

Les broches d'alimentation sont les suivantes :

- Tension d'entrée : la tension d'entrée de la carte Arduino quand une alimentation externe est utilisée (en opposition aux 5 volts de la connexion USB ou d'autres sources de courant régulées). On peut fournir une tension par cette prise ou, si l'alimentation est effectuée par un câble d'alimentation, y accéder via cette prise.

- 5 V : cette broche fournit une tension régulée de 5V. La carte peut être alimentée par le câble d'alimentation en courant continu, le connecteur USB (5V) ou la prise de terre sur la carte (7-12 V). Alimenter la tension par les broches 5 V ou 3,3 V contourne le régulateur et peut endommager la carte.

Une fois le programme chargé, on peut débrancher le cordon USB et connecter la carte soit à une pile, soit à un transformateur.

- **GND, Broche de masse (ou 0V).**

III-3-3. L'actionnement du système à l'aide des servomoteurs

III-3-3-1. Les servomoteurs : Un servomoteur est un type de moteur intégrant dans un même boîtier la mécanique (moteur à courant continu) et l'électronique de contrôle simplifié, généralement asservi en position avec une limite de débattement d'angle de 180 degrés, mais également disponible en rotation continue.

Chapitre III: Conception matérielle et logicielle

Les servomoteurs sont des actionneurs. Très utilisés en modélisme et dans l'industrie, ils ont comme caractéristique principale leur « couple », c'est-à-dire la force de rotation qu'ils peuvent exercer. Plus un servomoteur aura de couple et plus il pourra actionner des « membres » lourds comme déplacer un bras qui porte une charge.

III-3-3-1-1.Principe de fonctionnement d'un servomoteur :

Un servomoteur est, comme son nom l'indique, un moteur mais avec quelques spécificités en plus. Contrairement à un moteur classique qui est utilisé pour tourner avec une vitesse proportionnelle à un courant ou à une tension, un servomoteur est utilisé pour obtenir une position.

L'aspect physique d'un servomoteur : Un servomoteur est généralement un bloc noir ou bleu avec un petit plateau rotatif sur le dessus. De ce bloc partent 3 fils dont les couleurs sont généralement les suivantes :

- Noir : Masse
- Rouge : Alimentation
- Jaune ou blanc : La commande

Un servomoteur est principalement caractérisé par :

- Sa vitesse de rotation pour aller à la position désirée en rad/s ou sec/60°
- Son couple (torque en anglais) qui signifie la force que le servomoteur peut dégager pour garder la position souhaitée en kg/cm ou en Nm.

*L'unité kg/cm signifie le poids que peut supporter le servomoteur en considérant qu'on y a fixé une tige de 1 cm.

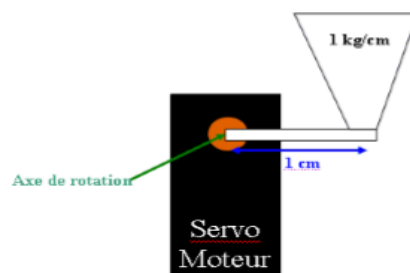


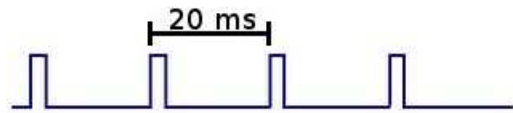
Figure III-10: Le couple du servomoteur

Signal de commande d'un servomoteur : le consigne envoyée au servomoteur n'est autre qu'un signal électronique de type PWM. Il dispose cependant de deux caractéristiques indispensables pour que le servo puisse comprendre ce qu'on lui demande. A savoir une fréquence fixe de valeur 50Hz et d'une durée d'état HAUT celle-ci aussi est fixée à certaines limites.

Chapitre III: Conception matérielle et logicielle

- La fréquence fixe : le signal qu'il faut générer doit avoir une fréquence de 50Hz. Autrement dit, le temps séparant deux fronts montants est de 20ms. La formule qui donne la relation entre la fréquence (F) et le temps de période du signal (T) :

$$F = 1/T \quad (1.20)$$



La durée de l'état Haut : c'est la durée qui compose l'essentiel du signal, et c'est grâce à cette dernière que le servomoteur saura comment positionner son bras à un angle précis. Un signal ayant une durée d'état haut plus faible donnera un angle de 0°, le même signal avec une durée d'état plus grande donnera un angle au maximum de ce que peut admettre le servomoteur, pour cela on a des valeurs limite pour la durée de l'état haut qui varient entre 1ms au minimum et 2ms au maximum.

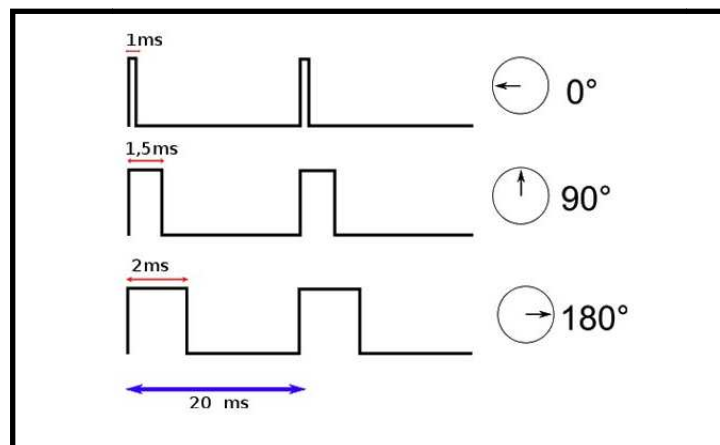


Figure III-11: Positionnement du servomoteur en fonction de la durée de l'état haut.

Si on veut positionner le servomoteur à un angle de 40°, le temps de l'état haut va être entre 1ms et 1.5ms, ce qui fera 1.25ms précisément.

III-3-3-1-2. Assemblage du servomoteur avec une carte arduino :

Le module Arduino peut être alimenté par son câble USB et alimenter un servomoteur sans dommage. Au-delà, il est prudent de calculer la consommation totale car le port USB ne pourra délivrer que 500mA au maximum. Une alimentation séparée et correctement dimensionnée est conseillée.

1. Connecter le fil rouge du servo au +5V de l'Arduino et le fil noir sur la masse GND
2. Connecter le fil jaune du servo sur le PIN 9
3. Connecter un fil du bouton poussoir sur le PIN 8 et l'autre sur GND

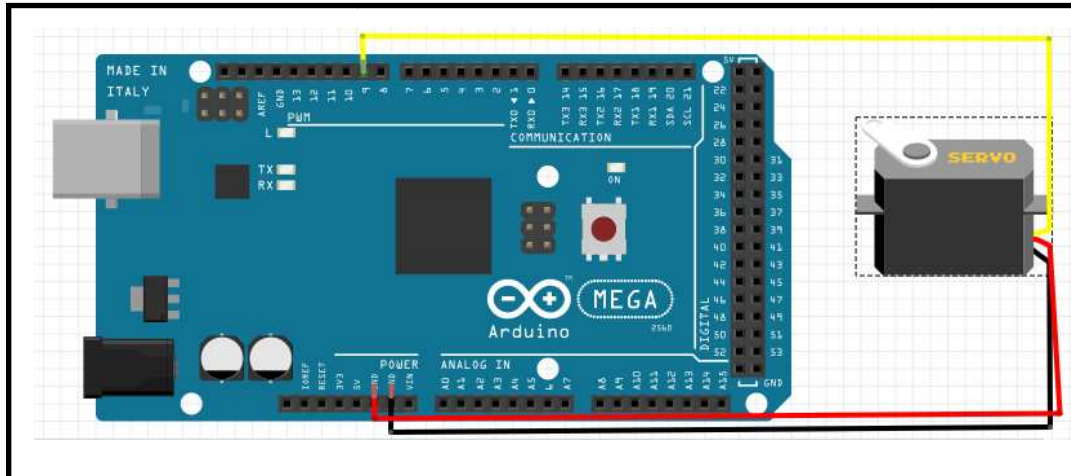


Figure III-12: Montage du servomoteur avec la carte Arduino sur fritzing.

III-3-4. Afficheur LCD (16×2) :

Les afficheurs à cristaux liquides, autrement appelés afficheurs LCD (Liquid Crystal Display), sont des modules compacts intelligents et nécessitent peu de composants externes pour un bon fonctionnement. Ils consomment relativement peu (de 1 à 5 mA), sont relativement bons marchés et s'utilisent avec beaucoup de facilité. Plusieurs afficheurs sont disponibles sur le marché et diffèrent les uns des autres, non seulement par leurs dimensions (de 1 à 4 lignes de 6 à 80 caractères), mais aussi par leurs caractéristiques techniques et leurs tensions de service. Certains sont dotés d'un rétro éclairage de l'affichage. Cette fonction fait appel à des LED montées derrière l'écran du module, cependant, cet éclairage est gourmand en intensité (de 80 à 250 mA).

III-3-4-1. Utilisation dans le système:

Dans notre projet l'utilisation d'un afficheur nous sert à afficher les différentes valeurs de la température au sein du foyer du concentrateur (cuisson) solaire. Ils peuvent aussi être utilisés dans les montages à microcontrôleurs ainsi que lors de la phase de développement d'un programme, car on peut facilement y afficher les valeurs de différentes variables.

III-3-4-2. Branchement avec la carte Arduino :

L'afficheur LCD de type (16x2) est composé de 16 broches :

-Vss : reliée à la masse

-Vdd : reliée vers l'alimentation de 5v.

-Vo : qui nous permet de régler de contraste de l'afficheur sur la pin 12.

Chapitre III: Conception matérielle et logicielle

- Rs : sélection de registre (commande de données) sur la pin 11.
- Rw. Lecture ou écriture généralement reliée à la masse afin de limité l'utilisation de l'afficheur en écriture.
- E : entrée de validation
- D7, D6, D5, D4 (bits de données) sur les pins 2, 3, 4, 5 respectivement.
- A : anode du retro éclairage branchée sur 5v.
- K : cathode du retro éclairage reliée à la masse

III-5. Schéma global du système :

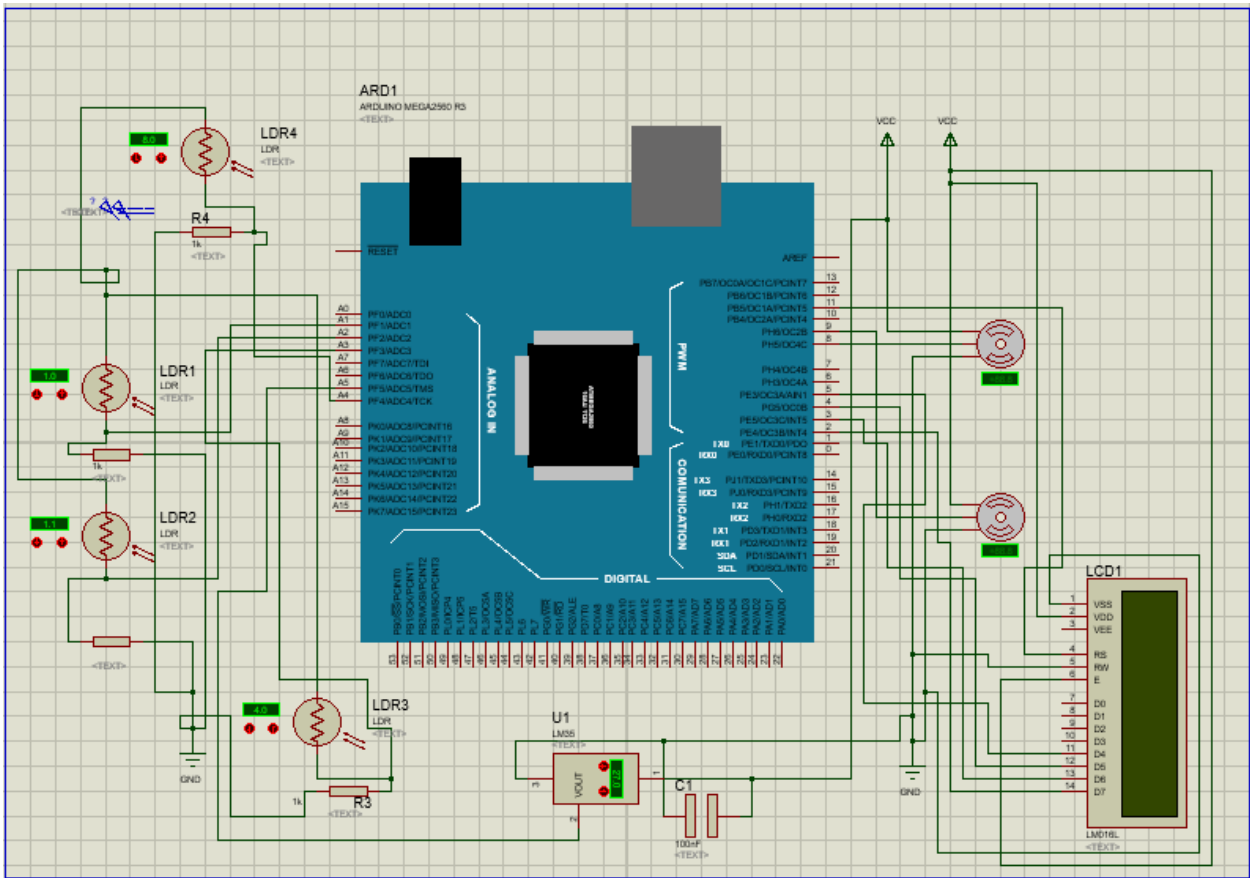


Figure III-13: Simulation sur proteus du schéma global du système.

III-6. Algorithme :

Afin d'avoir un fonctionnement du système qui convient à nos attentes, nous avons élaboré un organigramme qui comporte les étapes d'exécution du programme illustré sur la représentation graphique normalisée ci-dessous :

Après l'initialisation du programme, on reçoit les valeurs récupérées par les capteurs de lumière implantés sur les entrées analogiques de la carte arduino convertis en valeurs numérique par le convertisseur A/N.

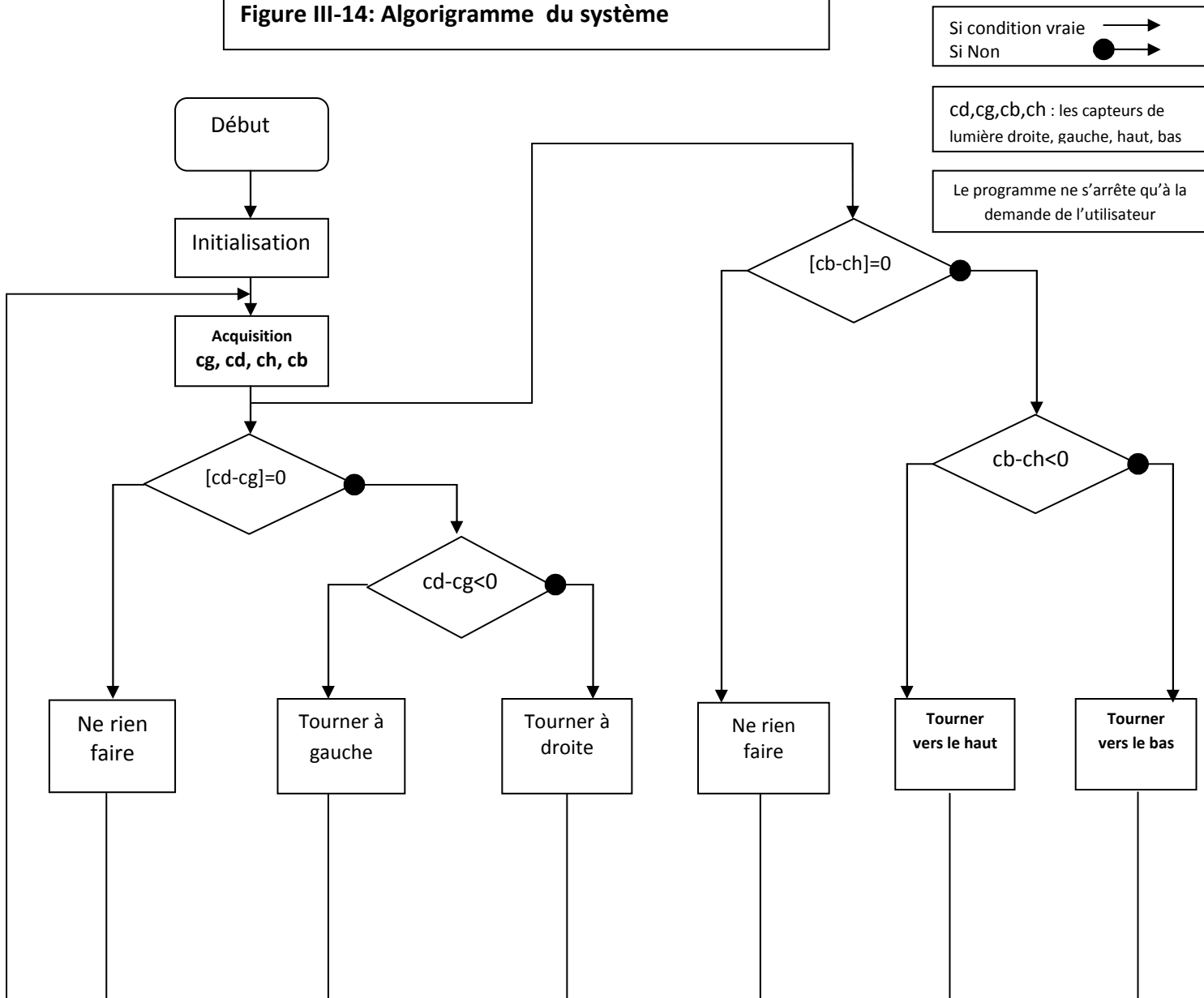
Chapitre III: Conception matérielle et logicielle

Le programme compare les valeurs reçues par les capteurs cg et cd . Avec cd (capteur de gauche) cg (capteur de droite)

- Si $cd = cg$, donc la quantité de lumière reçue par les deux capteurs est la même ; les moteur ne tournent pas et ne changent pas de position.
- Si non si $cd > cg$ la quantité de lumière reçue par le capteur de droite est supérieure a celle reçue par le capteur de gauche, le moteur change de position et tourne à droite à ce que les deux capteurs reçoivent la même quantité de lumière et le moteur s'arrête.
- Si non (si $cd < cg$) la quantité de lumière reçue par le capteur de droite est inférieure à celle reçue par le capteur de gauche, le moteur change de position et tourne à gauche à ce que les deux capteurs reçoivent la même quantité de lumière et le moteur s'arrête.

Cela s'applique de même manière pour les capteurs : haut (ch) et bas (cb).

Figure III-14: Algorithme du système



III-7- Programme du système en langage Arduino:

findetude | Arduino 1.7.8

Fichier Édition Croquis Outils Aide

```
findetude
#include <Servo.h> // Pour inclure les servomoteurs et leurs fonctionnalités prédéfinies dans la bibliothèque "Servo.h".
#include <LiquidCrystal.h> // Inclure les fonctionnalités de l'afficheur LCD prédéfinies dans la bibliothèque " LiquidCrystal.h"
Servo servoHor, servoVer; // Nomination des servomoteurs dans le code.
LiquidCrystal lcd(12,11,5,4,3,2); // initialiser la bibliothèque avec le nombre des interfaces des pins
/*déclaration des variables*/
float temperature;
int valeurBrute;
// positions initiales des servomoteurs
int poshor =100;
int posver = 90;

float moyH=0;
float moyG=0;
float moyD=0;
float moyB=0;
float maxHB=0;
float maxGD=0;
// Les deux tableaux que l'on utilisera pour savoir dans quelle direction se dirigera l'ensemble
char str1[1];
char str2[1];
// branchements des capteurs sur les entrées analogiques de la carte
int lightPinBD = A1;
int lightPinHD = A2;
int lightPinBG = A3;
int lightPinHG = A4;

int ledPin=13; // Branchement vers la Led de l'Arduino, allumée lors du fonctionnement
int lightPin = 0;

/*Réglages et liaisons Arduino/moteurs */

void setup()
{
  Serial.begin(9600); // Initialisation de la communication série. Définit la vitesse de transmission (9600 bits/sec)
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  servoHor.attach(9); // Relier le moteur horizontal sur le port numero 9 de l'arduino
  servoVer.attach(8); // Relier le moteur vertical sur le port numero 8 de l'arduino
  lcd.begin(16,2); // type de l'afficheur (16 cases, 2 lignes)
}

/* Acquisitions luminosité et temperature*/

void loop() // Début de la boucle principale
{
  int valeurBrute = analogRead(A5); // Recuperer la valeur brute de la temperature

  float temperature = valeurBrute * (5.0 / 1023.0 * 100.0); // Calcul de la valeur réelle de la temperature

  Serial.println(temperature); // afficher les valeurs de la temperature sur l'ordinateur
  delay(250);
}
```

Chapitre III: Conception matérielle et logicielle

```
    analogWrite(ledPin, analogRead(lightPin)/4); // Envoie d'un signal analogique à la Led
//Déclarations d'entiers des moyenne en chaque deux capteur dont nous aurons besoin
int moyenneBD =0;
int moyenneBG =0;
int moyenneHD =0;
int moyenneHG =0;
// Boucle d'acquisition des 10 valeurs des capteurs et pour chaque tour de boucle, la valeur récupérée est ajoutée aux précédentes
for (char i =0; i<=9;i+=1)
{
moyenneHG += analogRead(lightPinHG);
moyenneBG += analogRead(lightPinBG);
moyenneBD += analogRead(lightPinBD);
moyenneHD += analogRead(lightPinHD);
delay(10); // Définit le délai de récupération des valeurs des capteurs à 10ms.
}
// calcul des moyennes
moyenneHG /=10;
moyenneBG /=10;
moyenneBD /=10;
moyenneHD /=10;
// Calcul les moyennes des quatre directions.
moyH=(moyenneHG+moyenneHD)/2;
moyD=(moyenneHD+moyenneBD)/2;
moyG=(moyenneHG+moyenneBG)/2;
moyB=(moyenneBG+moyenneBD)/2;
/* replissage des tableau*/

if (moyH>moyB) // Si le haut reçoit plus de lumière que le bas, on stocke 'h' dans le tableau correspondant.
{
maxHB=moyH;
str1[0]='h';
}
else // Sinon on stocke 'b' dans ce même tableau.
{
maxHB=moyB;
str1[0]='b';
}
if (moyG>moyD) // Si le côté gauche reçoit plus de lumière que le côté droit, on stocke 'g' dans le deuxième tableau
{
maxGD=moyG;
str2[0]='g';
}
else // Sinon on stocke 'd' dans ce même tableau.
{
maxGD=moyD;
str2[0]='d';
}
/* Mouvements en conséquence*/

switch(str2[0]) // Dans le cas où le deuxième tableau contient 'g', proceder..
{
<
```

Chapitre III: Conception matérielle et logicielle

```
{
  case 'g':
    poshor--; // décrémenter la variable poshor
    if (poshor<55) poshor=55; // dans le cas où la butée est atteinte

    servoHor.write(poshor); // déplacer le moteur à l'angle de valeur poshor.

  Serial.print("gauche");
  break;
  case 'd': // Dans le cas où le deuxième tableau contient 'd', on proceder..
    poshor++; // incrémenter la variable poshor
    if (poshor>100) poshor=100; // dans le cas où la butée est atteinte
    servoHor.write(poshor); // déplacer le moteur à l'angle de valeur poshor.
  Serial.print("droite");
  break;
  default: //Dans le cas où le tableau ne contient ni 'g', ni 'd', pour identifier un problème
  Serial.println('erreur');
}
switch(str1[0]) // meme fonctionnement que pour l'autre tableau avec la variable posver
{
  case 'h': posver--;
  if (posver<0) posver=0;
  servoVer.write(posver);
  Serial.println("haut");
  break;
  case 'b': posver++;
  if (posver>180) posver=180;
  servoVer.write(posver);
  Serial.println("bas");
  break;
  default:
  Serial.println('erreur');
}
delay(10); // Fixer le délai à 10ms
// l'afficheur
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("temperature");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(temperature);
lcd.print("degres");
delay(200);
}
```

Chapitre III: Conception matérielle et logicielle

Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté la conception et la réalisation d'un concentrateur solaire robotisé à base d'une carte arduino, et nous avons aussi identifié les composants utilisés et la manière avec laquelle le système est réalisé.

Conclusion générale :

Au cours des dernières années, le secteur des énergies renouvelables notamment l'énergie photovoltaïque a connu une grande mutation en termes d'innovation technologique, ce qui conduit à une forte baisse des coûts de production. Des études ont démontré que la rentabilité des systèmes suiveurs solaire en matière d'énergie est fortement considérable par rapport aux systèmes fixes, ce qui a attiré notre attention à élaborer un système là dessous.

Le travail que nous avons réalisé consiste à optimiser un système suiveur solaire bis-axial dans le but de positionner automatiquement tout dispositif à concentrateur solaire afin d'assurer un meilleur rendement.

Nous avons utilisé une carte Arduino pour réaliser la partie commande numérique du système qui génère les signaux de commande des deux moteurs, ainsi que de récupérer les valeurs de la température au sein du foyer du concentrateur et les afficher.

Bien que le système ait bien fonctionné, le travail n'est pas finalisé, et comme perspective, il faut prévoir une alimentation autonome du système tracker à partir de la puissance générée et cela en convertissant l'énergie résultante (chaleur) en énergie électrique. Et il serait intéressant d'intégrer un système qui nous permet de mesurer des paramètres météorologiques.

Résumé : l'énergie photothermique nous permet de convertir l'énergie solaire en chaleur, et pour ce faire nous avons utilisé un concentrateur solaire parabolique commandé par une carte arduino mega 2560 et deux servomoteurs et des capteurs LDR, afin de nous permettre d'optimiser le rendement.

Mots clés :concentrateur solaire parabolique, trackers solaires, carte arduino mega 2560, cuiseurs solaires.