الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

FACULTE DE LA TECHNOLOGIE

Département du Génie Électrique



Mémoire de Fin d'Études

Présenté pour l'obtention du Diplôme
De Master en Génie électrique

Option :

Energie solaire et éolienne

THEME

Etude et implémentation sur une carte Arduino des techniques d'orientation d'un suiveur solaire à base de capteurs lumineux

Proposé et dirigé par,

Mr. OULD CHERCHALI Noureddine

Mr. MORSLI Abdelkader

Préparé et présenté par,

Mme. BENSALEM Meriem

Melle. HEDROUG Randa



Remerciement

Nous tenons à remercier

en premier lieu DIEU qui a permis

d'achever notre travail.

Nous remerciemons aussi vivement Mr. OULD

CHERCHALI et MR.MORSLI

qui nous ont guider, encourager et aider durant

toute la durée de notre travail.

Nous remercions specialement BENKORTBI Hakim

qui nous a beaucoup aider a accomplir notre réalisation.

Nos remerciements vont aussi aux membres de jury

qui vont évaluer notre travail.

Et un grand merci à tous ceux

qui nous ont aidés de prés ou de loin. .

DEDICACE

Aucun Mot Ne Saurait Exprimé Toute Ma Grande Reconnaissance Envers Mes Très Chères Parents Qui N'ont Pas Cessés De Prier Pour Moi ; Pour Leur Affection Et Leur Amour, Et Qui M'ont Aider Et encourager Beaucoup Durant Mes Etudes ; Mille Mercis Ma Mère Et à la mémoire de mon père.
J'exprime Ma Sincère Reconnaissance A Ma Très Chère sœur SOUAD et MON MARI « Hamid »Pour Leur Soutien Moral ; Leur Aide et Leur Compréhension.
Mes Frères « ABDALLAH et ABOUBAKR »
Ma soeur Hafsa et son mari Mahfoud Pour Leur Patience, Qu'ils Sachent Qu'ils Ont Toujours Eté Des Modèles Pour Moi.
A Ma belle fille LOUDJAIN.
A mes CHERES NEVEUX.
A Ma belle famille Que J'aime Profondement.
A Mon Cher binôme « RANDA » et A Toute Sa Famille.
Mes Très Chers Amis Et Mes Collègues Sans Exception de la Promotion 2017

MERIEM

Dédicace

Merci ALLAH de m'avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du travail et le bonheur de lever mes mains vers le ciel et de dire "Ya Kayoum"

Je dédie ce travail :

A mes chers parents.

A ma famille.

A tous ceux qui me sont chères.

A tous ceux qui m'aiment.

RANDA

Tables des matières

Remerciements
Dédicaces
Table des matières
Liste des figures
Liste des tableaux
Nomenclature et abréviations
Résumé
Introduction générale……..……2

Chapitre (I) : Gisement solaire et conversion photovoltaïque

I.1. Introduction 4
I.2. Géométrie terre-soleil……...4
I.2.1. Position du soleil par rapport à la terre 5
I.2.2. Repérage d'un site à la surface terrestre..... 6
I.2.3. COORDONNEES GEOGRPHIQUES 6
I.2.4. COORDONNEES HORAIRES 7
I.2.5. COORDONNEES HORIZONTALES 8
I.2.6. L'irradiation solaire..... 9
I.2.6.2. Nombre d'air mass ... ……..9
I.3. L'énergie solaire photovoltaïque 9
I.3.1. Cellule photovoltaïque 10
I.3.1.1. Les différents types des cellules photovoltaïques 10
I.3.1.2. Principe de conversion d'une cellule solaire ..... .13
I.3.2. Systèmes photovoltaïques…….……..….13
I.3.2.1. Système isolé ou autonome..... ..13
I.3.2.2 Système raccordé au réseau……..…….….14
I.3.3. Avantages et inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque…….…...15
I.4. Etude des différents systèmes de poursuite 16
I.5.mécanisme d'orientation..... 16
I.5.1. Types de commande 19
I.6. Les Avantages et Les inconvénients des suiveurs solaires..... 19
I.7. Le gisement solaire en Algérie 20
I.8. Conclusion 21

Chapitre (II) : Moteurs pas à pas

II.1. Introduction 23
II.2. Moteur pas à pas..... 23
II.2.1. Historique 24
II.2.2. Les différents types de moteur pas à pas 24

II.2.2.1. Les moteurs à réluctance variable 24
II.2.2.1.1. Le principe de fonctionnement est très simple 25
II.2.2.2. Moteur à aimants permanents 26
II.2.2.3. Moteur à aimant permanent bipolaire 27
II.2.2.3.1. Fonctionnement à pas complet 27
II.2.2.3.2. Fonctionnement avec couple maximal 28
II.2.2.3.3. Fonctionnement à demi-pas 28
II.2.2.4. Moteur à aimant permanent unipolaire 29
II.2.2.4.1. fonctionnement d'un moteur pas-à-pas unipolaire 29
II.2.2.5. Moteur pas-à-pas hybride MH 30
II.2.2.5.1. Technologie des moteurs pas à pas hybrides 30
II.3. Comparaison entre les différents types des moteurs pas à pas 31
II.4. Commander un moteur pas à pas avec un Arduino 32
II.4.1. Connecter un moteur pas à pas unipolaire 32
II.4.2. Connecter un moteur pas à pas bipolaire 32
II.5. Conclusion 35

Chapitre (III) : La carte Arduino

III.1. Introduction 37
III.2. L'Arduino 37
III.2.1. Présentation de la carte Arduino 37
III.2.2. Le microcontrôleur 38
III.2.2.1. Mise en situation 38
III.2.2.2. Description et structure interne 39
III.2.2.3. Composition des éléments internes d'un microcontrôleur 44
III.2.2.4. Fonctionnement : 45
III.3. Les cartes Arduino 45
III.3.1. Les types de cartes 45
III.3.2. Les différentes cartes Arduino 45
III.3.2.1. La carte arduino UNO 45
III.3.2.2. La carte Arduino NANO 46
III.3.2.3. La carte Arduino MINI PRO 46
III.3.2.4. La carte Arduino YUN 47
III.4. Mise en œuvre de la carte Arduino Uno 47
III.4.1. présentation et caractéristiques du module Arduino Uno 48
III.4.1.1. Présentation 48
III.4.1.2. Synthèse des caractéristiques 49
III.4.2. Description matérielle 50
III.4.2.1. Alimentation 50
III.4.2.2. Mémoire 52
III.4.2.3. Entrées et sorties numériques 52
III.4.2.4. Broches analogiques 53
III.4.2.5. Leds externes 53

III.4.3. Description logicielle..... 54
III.4.3.1. Communication..... 54
III.4.3.2. Programmation ……..……..54
III.4.3.2. Caractéristiques Mécaniques..... 55
III.5. Conclusion 55

Chapitre (IV) : Réalisation d'un suiveur solaire

IV.1. Introduction……..……..…...….57
IV.2. Partie électrique…….…....57
IV.3. Partie mécanique……..…….….....60
IV.4. Orientation de l'axe horizontal (élévation) et l'axe vertical (azimut)……...…....60
IV.5. Validation expérimentale de notre suiveur…….……...….60
IV. 6. Croquer de montage……...….62
IV.6. Câblage de fonctionnement d'un suiveur solaire contrôlé par un Arduino……...64
IV.8. Partie programmation…….....…….....67
IV.8.1. L'organigramme……..……..…...67
IV.8.2 Programmation…….…....….69
IV.8. Conclusion…….……..….71
Conclusion générale……..……73
Bibliographie……..…...74
Annexe…….……..76

LISTE DES FIGURES

Chapitre (I)

Figure I.1: La structure interne du soleil……...……5

Figure I.2: Les mouvements de la terre…….6

Figure I.3: Angle d'inclinaison de l'axe de la terre……6

Figure I.4: Coordonnées géographique……...……..7

Figure I.5: Coordonnées horaires……..……7

Figure I.6: Coordonnées horizontale…….8

Figure I.7: Cellule en silicium monocristallin…….10

Figure I.8: Cellule en silicium poly-cristallin……..11

Figure I.9: Cellule silicium amorphe……...12

Figure I.10: Cellule solaire……..13

Figure I.11: Installation photovoltaïque isolé……..14

Figure I.12: Structure d'installation raccordée en réseau……...15

Figure I.13: Exemple et fonctionnement du suiveur passif.……17

Figure I.14 : Suiveur actif.……17

Figure I.15 : Suiveur solaire mono-axe……...18

Figure I.16 : Suiveur solaire double axe……..18

Figure I.17: Disposition des capteurs LDR pour un tracker mono-axe……...19

Figure I.18: Vue d'en haut de la disposition des quatre capteurs LDR……...19

Figure I.19: Les différentes zones énergétiques dans l'Algérie……..20

Chapitre (II)

Figure II.1: Différents tailles des moteurs pas à pas……...24

Figure II.2: Moteur à réluctance variable……25

Figure II.3: Moteur à aimants permanents……..26

Figure II.4: Représentation schématique d'un moteur bipolaire…….27

Figure II.5: Fonctionnement à pas complet…….27

Figure II.6: Fonctionnement avec couple maximal…….28

Figure II.7: Fonctionnement à demi-pas…….28

Figure II.8: Représentation schématique d'un moteur unipolaire……...29

Figure II.9: Fonctionnement d'un moteur pas-a-pas unipolaire……..30

Figure II.10: Moteur hybride (MH)…….30

Figure II.11: Schéma d'un moteur unipolaire…….32

Figure II.12: Schéma d'un pont H……..32

Figure II.13: Schéma de pont H L298 avec Arduino……..33

Chapitre (III)

Figure III.1: Atmel microcontrôleur/Série ATMEGA328P-PU…….38

Figure III.2: Microcontrôleur 32 bits/à usage général38

Figure III.3: Organisation fonctionnelle d'un système à microcontrôleur……..38

Figure III.4: Schéma fonctionnel de l'architecture de Von Neumann……40

Figure III.5: Dispositif représentant la transmission par un signal d'horloge de synchronisation…….42

Figure III.6: Dispositif représentant la transmission par une horloge interne…….43

Figure III.7: Schéma de broches d'un oscillateur……...44

Figure III.8: Une carte Arduino Uno……...45

Figure III.9: Une carte Arduino NANO……..46

Figure III.10: Une carte Arduino MINI PRO……..46

Figure III.11: Une carte Arduino YUN……...47

Figure III.12: Module ARDUINO ATMEL UNO……..49

Figure III.13: Brochage de la carte Uno……..51

Chapitre (IV)

Figure IV.1 : Soudage des supports pour ULN2803……57

Figure IV.2 : La carte de commande du moteur pas à pas……...58

Figure IV.3 : Réalisation en utilisant les LDRs……..58

Figure IV.4 : Schéma du prototype des capteurs…….59

Figure IV.5 : Schéma de câblage des photos-cellules en forme pyramide……..59

Figure IV.6 : Schéma de fonctionnent de suiveur solaire……60

Figure IV.7 : Les coordonnées géographiques de site MEDEA……..61

Figure IV.8 : Trajectoire du soleil de site MEDEA. [*PVsys*]……...61

Figure IV.9 : Croquer du moteur Azimut dessiné sur Solidworks……..62

Figure IV.10 : Croquer du moteur de l'axe de l'élévation dssiné sur Solidworks……..63

Figure IV.11 : Darlington ULN2803……...64

Figure IV.12 : Carte de commande de moteur pas à pas unipolaire……65

Figure IV.13 : prototypage de la carte de commande avec Fritzing……65

Figure IV.14 : Schéma électrique de commande d'un suiveur solaire à deux axes de rotation par une carte Arduino UNO……..66

Figure IV.15 : L'organigramme de suiveur solaire à double axe……68

Figure IV.16 : les différents composants du suiveur solaire réalisés……..71

Figure IV.17 : Mécanisme global de notre réalisation……71

Liste des tableaux

Chapitre (I)

Tableau I.1: Avantages et inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque……15

Chapitre (II)

Tableau II.1: Le mode monophasé biphasé ou demi-pas……26

Tableau II.2: Comparaison entre les différents types des moteurs pas à pas……..31

Chapitre (III)

Tableau III.1: Synthèse des caractéristiques……...49

Nomenclature et Abréviations

φ	*L'altitude du lieu*
λ	*La longitude de lieu*
δ	*La déclinaison du soleil*
ω	*L'angle horaire du soleil*
h	*La hauteur du soleil*
a	*L'azimute du soleil*
TSV	Temps Solaire Vrai
LDR	Light Depandent Resistor
PWM	Pulse Width Modulation
CPU	Central processing unit
RAM	Mémoire vive ou Mémoire PC (Random Access Memory)
ROM	Mémoire morte (Read Only Memory)
EEPROM	Mémoire morte effaçable électriquement et programmable (Electrically Erasable Read Only Memory)
OTPROM	One-Time Programmable Read-Only Memory
UVPROM	Ultra Violet Programmable Read Only Memory
ALU	Unité Arithmétique et Logique
CAN	Controller Area Network
TTL	Transistor-Transistor Logic
FTDI	Future Technology Devices International
SRAM	Static Random Access Memory
CSP	In Circuit Serial Programming

Résumé

Notre travail ayant comme objectif l'amélioration du gain en énergie électrique du panneau solaire mobile par rapport au système fixe. Notre dispositif d'instrument sera fixé sur une structure mécanique que nous avons réalisée à base de deux moteurs pas à pas avec leurs circuits de commande permettant ainsi la rotation du panneau selon les deux directions horizontale et verticale. Pour cette application, nous avons réalisé une lunette à base de quatre capteurs photo résistifs de type 'LDR'et quatre cellules photovoltaïque qui sont disposés de manière à ce que leurs éclairement ne soit identique que si la lunette est pointée vers le soleil. Les signaux issus des capteurs sont transmis aux entrées d'un microcontrôleur de type 'ATmega328' dans « Arduino » qui permet la comparaison des niveaux de tensions pour la commande des deux moteurs. En outre, il permet l'orientation du panneau vers le soleil.

Enfin, le système que nous avons réalisé est capable de suivre fidèlement la position du soleil. En plus, notre projet peut être évolué pour augmenter le rendement du panneau solaire mobile par rapport au système fixe.

Mots clés : PV, Suiveur solaire, LDR, Arduino, moteur pas à pas, cellule photovoltaïque

ملخص

مشروعنا هو"نظام التتبع التلقائي للشمس في اتجاهين باستعمال اللواقط الضوئية و الخلايا الكهرو ضوئية ".ان هذا المشروع الذي تم تصميمه من اجل تحسين اداء الطاقة الشمسية عند استخدام نظام ملاحقة شمسية سنضمن انتاج كمية اكبر من الطاقة الكهربائية للخلايا الشمسية المتحركة مقارنة بالثابتة و ذلك بسبب بقاء مصفوفة الخلايا الشمسية على محاذاة من اشعة الشمس طوال فترة سطوعها .يتركز هذا العنصر على هيكل ميكانيكي يتحرك بواسطة محركي الخطوة مع دائرة تحكم تسمح بتحريك المحركين في الاتجاهين الافقي و العمودي .حيث نستعمل اربع حساسات ضوئية (مقاومة ضوئية) و اربع خلايا كهر وضوئية تقوم هذه الحساسات بتسجيل توترات على قدر شدة الاشعاع و ترسل هذه التوترات نحو المتحكم (الاردوينو) يقوم هذا الأخير بقراءة قيم الحساسات الضوئية و مقارنة هذه القيم ثم يتم اعطاء اوامر للمحرك ليقوم بتحريك النظام حسب القيم العظمى المقروءة .يمكننا تطوير مشروعنا لتحسين أداء المنظومة الشمسية .

الكلمات المفتاحية : الالواح الشمسيةّ ؛المتتبع الشمسي؛ اللواقط الضوئية؛ محرك الخطوة .

Abstract

Our objective is to improve the electrical energy gain of the mobile solar panel compared to the fixed system. Our instrument device will be fixed on a mechanical structure that we have built based on two stepper motors with their control circuits thus allowing the rotation of the panel in both horizontal and vertical direction. For this application, we have developed a bezel based on four resistive photo sensors of type 'LDR' and four photovoltaic cells which are arranged so that their illumination is identical only if the bezel is pointed towards the sun. The signals from the sensors are transmitted to the inputs of a 'ULN2803' type microcontroller in 'Arduino' which allows the comparison of the voltage levels for the control of the two motors. In addition, it allows the panel to be oriented towards the sun.

Finally, the system we have realized is able to faithfully follow the position of the sun. In addition, our project can be upgraded to increase the efficiency of the mobile solar panel compared to the fixed system.

Keywords: Solar tracker, PV, LDR, Arduino, step-by-step engine, Photovoltaic cell.

Introduction Générale

Introduction Générale

Les énergies renouvelables sont des énergies qui se renouvellent assez rapidement pour être considérées comme inépuisables.

L'énergie solaire est disponible, non polluante et gratuite. C'est pourquoi, elle est de plus en plus utilisée, comme alternative aux combustibles, dans la production d'électricité. L'Algérie possède l'un des gisements solaires les plus élevés au monde, avec une durée d'ensoleillement sur la totalité du territoire national pouvant atteindre les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m^2 est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit prés de 1700KWh/m^2/an au Nord et 2263 kWh/m^2/an au Sud du pays [1].

L'Algérie a réservé une multitude d'investissements dans la technologie photovoltaïque et ses applications à titre d'exemple le projet HASSI R'MEL. Ce dernier consiste à mettre à profit des concentrateurs solaires cylindro-parabolique muni des systèmes de poursuite solaire,

Les premières applications des suiveurs solaires remontent vers les années 1750 où le principe repose sur l'utilisation de l'héliostat. La rotation du miroir de l'héliostat est assurée par un mécanisme d'horlogerie dont la plus ancienne mention du système se trouve dans des publications datant de 1742 du physicien néerlandais Willem Jacob 's Gravesande [2].

Dans ce contexte, notre motivation dans ce travail qu'est développé en chapitres est de construire un system permet 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 en utilisant des capteurs lumineux.

Afin d'aboutir au but, on a organisé notre mémoire de la manière suivante :

- Le premier chapitre, dont lequel on va parler sur le rayonnement solaire, généralité sur le photovoltaïque et les capteurs solaires.
- Dans le deuxième chapitre, on a fait des définitions et des informations sur la carte Arduino.
- Le troisième chapitre sera consacré aux moteurs pas à pas, sa commande et ses propriétés.
- Le dernier chapitre est consacré à la partie realisation d'un suiveur solaire qui suit le soleil et qui est commandé par la carte Arduino Uno.

Enfin, on finalise notre travail par une conclusion générale et perspective futur.

CHAPITRE I :
Gisement solaire
et conversion photovoltaïque

I.1. Introduction

Le soleil est une étoile naine de forme pseudo-sphérique comparable à une immense boule de gaz très chauds qui se compose de 80% d'hydrogène et de 19% d'hélium, le 1% restant étant un mélange de plus de 100 éléments, soit pratiquement tous les éléments chimiques connus, Bien que le soleil soit une étoile de taille moyenne, il représente à lui seul 99.9% de la masse du système solaire qui est domine par les effets gravitationnels de l'importante masse du soleil [3].

L'énergie solaire peut être utilisée directement par l'Homme pour s'éclairer (Fenêtre, puits de lumière), se chauffer et cuisiner (chauffe-eau solaire, four solaire) ou pour produire de l'électricité par l'intermédiaire des panneaux photovoltaïques [4].

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible dans un site donné et au cours d'une période donnée [4].

Dans ce chapitre, nous allons avoir comment calculer les données fondamentales comme les cordonner géographiques, les rayonnements globale reçu par le panneau photovoltaïque… et savoir les différentes technologies et types d'énergie solaire.

I.2. Géométrie terre-soleil

Le Soleil, étant l'astre le plus brillant du ciel, a été souvent associé à des figures mythiques importantes. Les Égyptiens adoraient Rê, le Dieu Soleil. Plusieurs religions sémitiques faisaient un véritable culte du Soleil, tout comme ce fut le cas des Babyloniens. Ce culte se répandit ensuite jusqu'à l'Empire romain où le Soleil était appelé Sol. Personnifié par Surya, le Soleil était aussi un dieu hindou, bénéfique pour certains et maléfiques pour d'autres. Le culte du Soleil se développa aussi au Japon et en Amérique. Le Soleil est de loin l'objet le plus massif et le plus gros de notre système solaire. Il contient environ 99,8% de la masse du système solaire, alors que Jupiter compte pour la plus grande partie de ce qui reste. Il est composé, en masse, à environ 75% d'hydrogène et 25% d'hélium. Les autres éléments chimiques, appelés en astronomie métaux, compte pour moins de 0,1% de la masse totale du Soleil.

L'énergie du Soleil est produite en son noyau, où se produisent des réactions thermonucléaires. Aussi, c'est cette énergie nucléaire qui empêche l'effondrement gravitationnel de notre étoile, soit sa contraction infinie sous l'influence de la gravité. Bien que la surface du Soleil n'ait qu'une température de 5600 K (environ 5900 °C), son cœur, quant à

lui, a une température suffisante pour permettre la transformation d'hydrogène en hélium, soit environ 1,5 x 107 K. (figure I.1) [4].

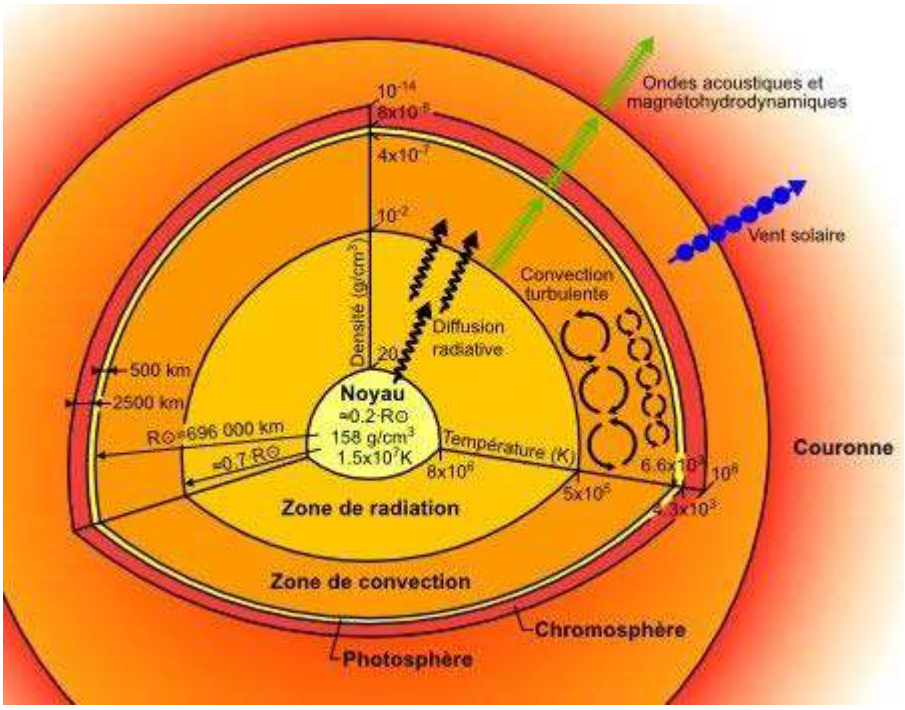


Figure I.1 : La structure interne du soleil

I.2.1. position du soleil par rapport à la terre

La terre est en rotation sur elle-même puis elle tourne autour du soleil en une période Tt = 365jours 5h 48mn 40s ≈ 365,25 jours. Elle décrit une orbite elliptique dont le soleil occupe l'un des foyers. Cette orbite est située dans un plan appelé plan de l'écliptique où le soleil est presque au centre (la figure (I.2)). Elle est légèrement aplatie, elle correspond à un cercle de rayon moyen de 150 millions de Kilomètres. La terre tourne autour du soleil avec une vitesse moyenne Vt ≈ 29,77km/s [vitesse maximale en hiver 30,27 Km/s et minimale en été 29,77 Km/s]. Ce mouvement s'effectue dans le sens trigonométrique direct et provoque le cycle des saisons .Le plan équatorial, perpendiculaire à l'axe des pôles et passant par le centre de la terre, fait avec le plan de l'écliptique un angle constant appelé obliquité et noté δ0 qui est égal à 23,45'(figure I.3) [3].

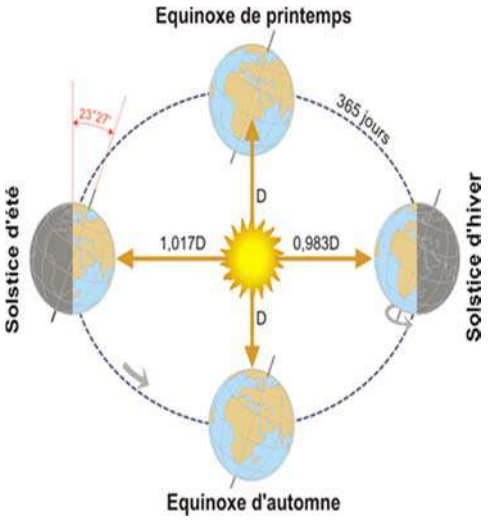


Figure I.2 : Les mouvements de la terre.

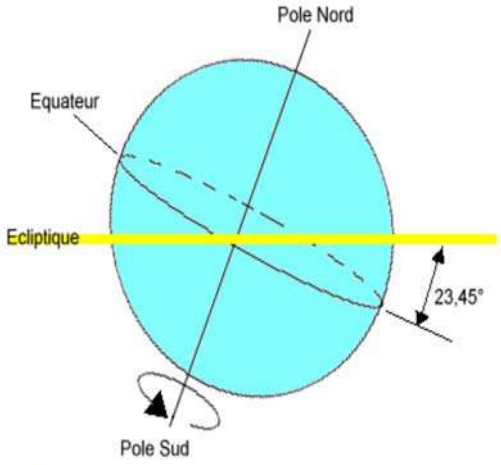


Figure I.3 : Angle d'inclinaison de l'axe de la terre.

I.2.2. Repérage d'un site à la surface terrestre

Les coordonnées géométriques utilisées pour déterminer la localisation d'un point sur la surface terrestre sont :

I.2.3. COORDONNEES GEOGRPHIQUES

Ce des coordonnées angulaires qui permettent le repérage d'un point sur la terre.

- **L'attitude φ :**

C'est l'angle que fait le plan de l'équateur avec la direction reliant le centre de la terre au point considère. L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égal à 0°, le pôle nord par la latitude +90° et la pole sud par la latitude -90°

- **Longitude λ :**

C'est l'angle que fait le méridien local passant par le point considéré avec le méridien d'origine passant par la ville de Greenwich. On a choisi pour méridien (origine 0°), le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention on affecte du signe (+) le méridien situé à l'est de ce méridien, et du signe (-) les méridien situé à l'ouest (voir figure I.4) [5].

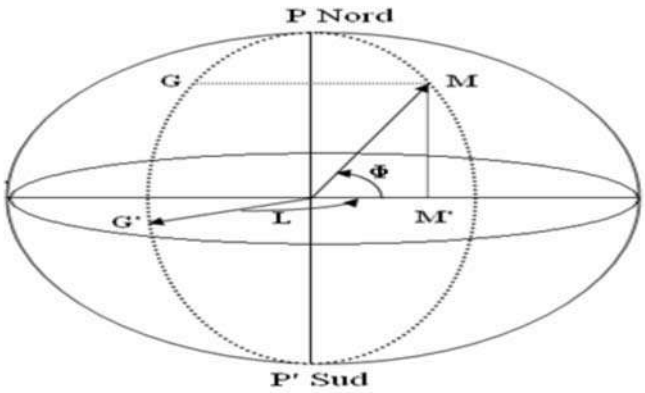


Figure I.4 : Coordonnées géographiques.

I.2.4. COORDONNEES HORAIRES

- **Déclinaison du soleil δ:**

C'est l'angle formé par la direction du soleil avec le plan équatorial, elle varie au cours de l'année entre -23,45°et 23,45° (figure I.5), elle est nulle aux équinoxes (21mars et 21 septembre), maximal au solstice d'été (21juin) et minimale au solstice d'hiver (21decembre). La valeur de la déclinaison peut être calculée par la relation :

$$\delta = 23.45\sin[0.980(n + 284)] \quad (I.1)$$

n Est le numéro du jour de l'année

- **L'angle horaire du soleil ω :**

L'angle horaireω, représente l'arc compris entre le rayonnement solaire incident et le plan méridien du lieu, la valeur de l'angle horaire est nulle à midi solaire, négative le matin, positive dans l'après-midi et augmente de 15°par heure

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

Avec TSV: temps solaire vrai [6].

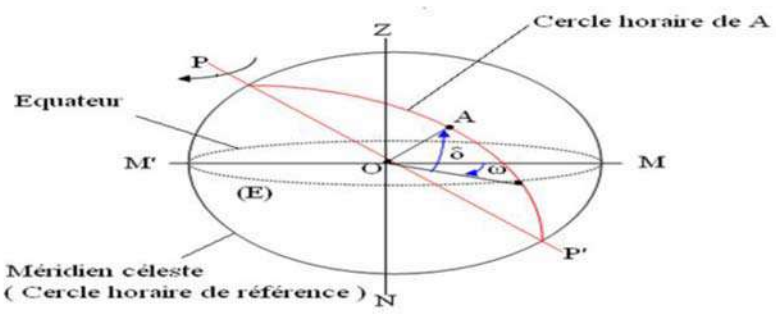


Figure I.5 : Coordonnées horaires.

I.2.5. COORDONNEES HORIZONTALES

- **Hauteur angulaire du soleil h :**

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur un plan horizontal.

$$sinh = sin\varphi sin\delta + cos\varphi cos\delta cos \quad (I.3)$$

φ : Latitude du lieu.

- **Azimut α :**

C'est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil, on peut le compter positivement de 0° à +180° vers l'ouest et négativement de 0°à -180°vers l'est. (Figure I.6) [6]

$$\sin(\alpha) = \frac{cos\delta * sin\omega}{\cos(h)} \quad (I.4)$$

Avec :

ω : angle horaire

δ : Déclinaison du soleil

h : hauteur du soleil

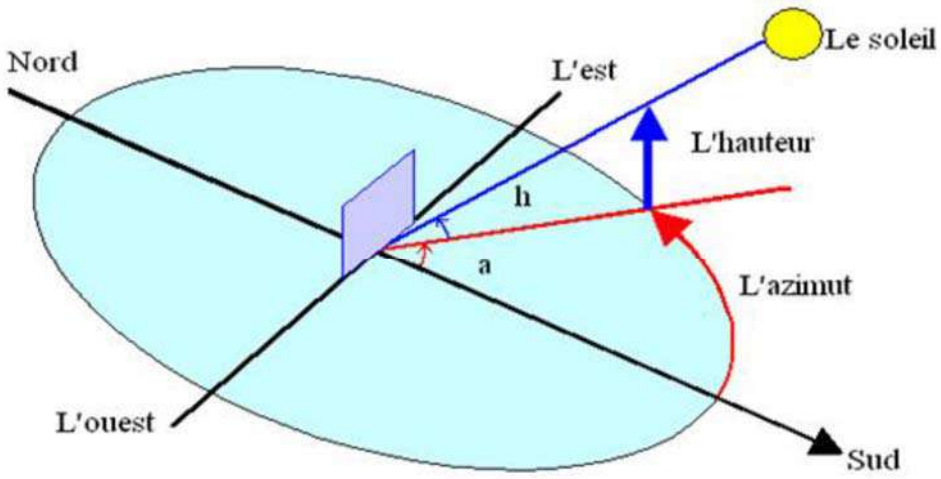


Figure I.6 : Coordonnées horizontale.

- **Angle horaire au lever et au coucher du soleil**

$$\omega L = -\omega C = \arccos(-\tan(\psi)\tan(\delta)) \quad (I.5)$$

I.2.6. L'irradiation solaire

I.2.6.1. Diffusion par l'atmosphère terrestre

La diffusion de la lumière est une redistribution spatial du rayonnement par des particules matérielles, c'est un phénomène complexe puisqu'il intègre à la fois la diffraction, la réfraction et les réflexions par les particules, mais aussi et surtout leurs dimensions par rapport à la longueur d'onde de la lumière modifient sensiblement la répartition spectrale et l'intensité lumineuse [7].

Les nuages sont constitués de gouttelettes d'eau dont la taille est nettement supérieure à la longueur d'onde, la diffusion est alors neutre et provient de l'ensemble des phénomènes de réflexion, réfraction et diffraction. La nébulosité est le paramètre météorologique qui permet d'estimer l'importance prise part les nuages dans les phénomènes de diffusion. Elle s'exprime en huitièmes ou en fractions décimales de ciel couvert, cette notion n'étant que descriptive on la relie à la fraction d'insolation σ qui est une grandeur mesurable dés quand connait les durées d'isolation registrées par l'héliographe. σ=$durée\ d'insolation/durée\ du$

I.2.6.2. Nombre d'air mass

Prenant pour référence unité, l'épaisseur verticale de l'atmosphère moyenne réduite à 7.8 km dans des conditions dites normales, supposant cette couche plane et stratifie horizontalement donc la longueur de trajet rectiligne d'un rayon lumineux incliné d'un angle h par rapport l'horizontale sera donnée par la formule [7] :

$$OM = \frac{OA}{sinh} \qquad \text{(I.6)}$$

A une pression P différente de 1013mbar et à une altitude z en kilomètre, on désignera par masse atmosphérique ou nombre d'air mass le nombre : $m = \frac{pm}{1013} * \frac{1}{sinhexp(\frac{-z}{7.8})}$Où pm est la pression atmosphérique au niveau de la mère, on trouvera par exemple :

- Soleil au zénith, niveau de la mère : AM 1 ;
- Soleil à 42° sur l'horizon : AM 1.5 ;
- Soleil à 30° sur l'horizon : AM 2.

I.3. L'énergie solaire photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque se base sur l'effet photoélectrique pour créer un courant électrique continu à partir d'un rayonnement électromagnétique. Cette source de lumière peut

être naturelle (soleil) ou artificielle (une ampoule). L'énergie photovoltaïque est captée par des cellules photovoltaïques, un composant électronique produit de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière. Plusieurs cellules peuvent être reliées pour former un module solaire photovoltaïque ou un panneau photovoltaïque. Une installation photovoltaïque connectée à un réseau d'électricité se compose généralement de plusieurs panneaux photovoltaïques, leur nombre pouvant varier d'une dizaine à plusieurs milliers.

La cellule photovoltaïque est un composant électronique qui est la base des installations produisant cette énergie. Elle fonctionne sur le principe de l'effet photoélectrique.

Plusieurs cellules sont reliées entre elles sur un module solaire photovoltaïque, plusieurs modules sont regroupés pour former une installation solaire. Cette installation produit de l'électricité qui peut être consommée sur place ou alimenter un réseau de distribution [8].

I.3.1. Cellule photovoltaïque

La cellule photovoltaïque est un dispositif semi-conducteur qui se comporte comme une source de courant lorsque conduit par un flux de rayonnement solaire du soleil. Le champ électrique existe en Permanence dans les carrefours ou inhomogénéités dans les cellules solaires qui peuvent être qualifiées de silicium des dispositifs à semi-jonction. Une jonction de dispositif semi-conducteur silicium contient une jonction P-N similaire à celle d'une diode, mais dans une cellule solaire, il existe une plus grande surface [9].

I.3.1.1. Les différents types des cellules photovoltaïques

Il existe trois types principaux des cellules :

1. **Silicium monocristallin :**

Matériau le plus répandu, présentant un bon rendement à fort et moyen éclairement, il est à la base des panneaux «terrestres» les plus performants après ceux à l'arséniure de gallium.

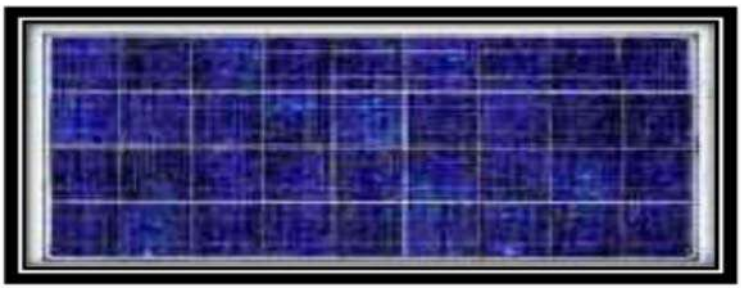


Figure I.7 : Cellule en silicium monocristallin. .

Avantages :

- ✓ Rendement électrique des panneaux : 15 % STC.
- ✓ Puissance des panneaux : 5 à 150 Wc
- ✓ Gamme d'éclairement : 100 à 1000 W/m2.
- ✓ Usage : tous usages en extérieur de forte et moyenne puissance (télécoms, balisage, relais, habitat…).

Inconvénients :

- ✓ Première génération de photopiles.
- ✓ Méthode de production laborieuse et difficile, et donc, très chère.
- ✓ Il faut une grande quantité d'énergie pour obtenir un cristal pur.

2. Silicium poly (ou multi-) cristallin

Cousin germain du précédent (composés de multi-cristaux), il est un peu moins performant, essentiellement aux éclairements modérés, et également moins onéreux (figure I.8).

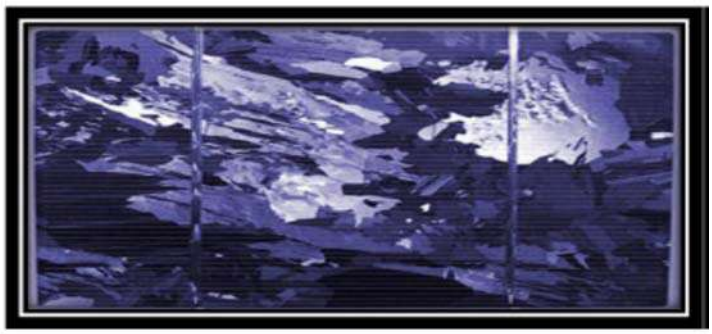


Figure I.8 : Cellule en silicium poly-cristallin. .

❖ **Avantages :**

- ✓ Rendement électrique des panneaux : 12-14 % STC.
- ✓ Puissance des panneaux : 5 à 150 Wc.
- ✓ Gamme d'éclairement : 200 à 1000 W/m2.
- ✓ Usage identique à celui du silicium cristallin.

❖ **Inconvénients:**

- ✓ Rendement faible sous un faible éclairement.

3. Silicium amorphe :

Nettement moins puissant au soleil que les deux précédents, ce silicium en couche très mince répond par contre à tous les éclairements, extérieur et intérieur. Sa technologie de fabrication est théoriquement moins onéreuse (mais la production n'a pas atteint des niveaux comparables) et permet de réaliser des petits formats, grâce à la mise en série intégrée et la simplicité de découpe. (Figure I.9)

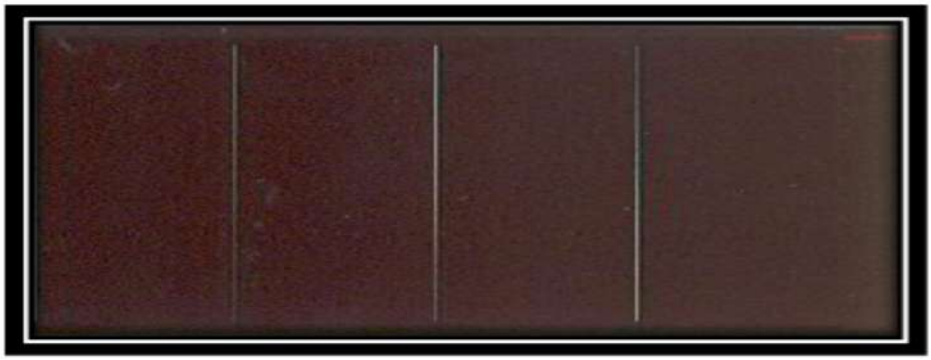


Figure I.9 : Cellule silicium amorphe.

- ✓ Rendement électrique des panneaux : 5-7 % STC (jusqu'a 9 % pour les «multi jonctions »
- ✓ Puissance des photopiles intérieures : 0 à 1 Wc.
- ✓ Puissance des panneaux extérieurs : 0,5 à 60 Wc.
- ✓ Gamme d'éclairement : 20 lux (en intérieur) à 1000 W/m2 (en extérieur).
- ✓ Usage : électronique professionnelle et grand public (montres, calculettes...), électronique de faible consommation en extérieur, baies vitrées semi transparentes [9].

I.3.1.2. Principe de conversion d'une cellule solaire

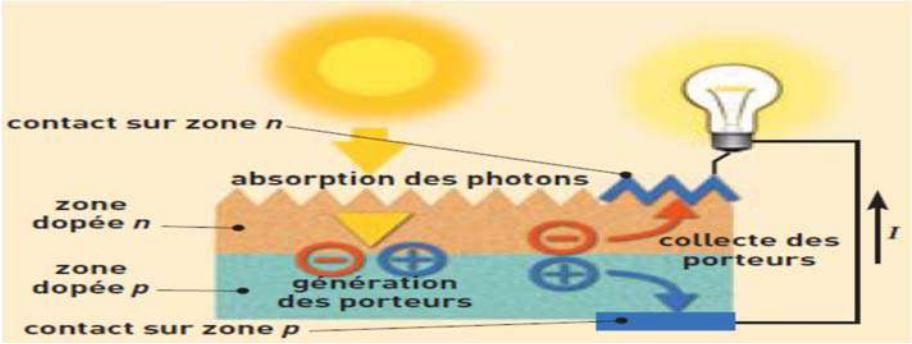


Figure I.10 : Cellule solaire [10].

Les cellules photovoltaïques sont fabriquées à partir d'une jonction pn au silicium (diode). Pour obtenir du silicium dopé n, on ajoute du phosphore. Ce type de dopage permet au matériau de libérer facilement des électrons (charge -).

Pour obtenir du silicium dopé p, on ajoute du bore. Dans ce cas, le matériau crée facilement des lacunes électroniques appelées trous (charge +).

La jonction pn est obtenue en dopant les deux faces d'une tranche de silicium. Sous l'action d'un rayonnement solaire, les atomes de la jonction libèrent des charges électriques de signes opposés qui s'accumulent de part et d'autre de la jonction pour former un générateur électrique.(voir la figure I.10) [10].

I.3.2. Systèmes photovoltaïques

Le mode d'intégration de l'énergie photovoltaïque dans les systèmes électriques dépend de la nature du système considéré, selon qu'il est raccordé au réseau ou isolé.

I.3.2.1. Système isolé ou autonome

Les systèmes autonomes sont conçus pour répondre aux besoins de consommation d'un climat isolé du réseau électrique. Si l'énergie photovoltaïque est l'unique source d'énergie du système, on parlera de système Stand-Alone (SAPV System : Stand-Alone Photovoltaic System), Ces systèmes comportent des éléments de stockage afin d'adapter la production photovoltaïque à la demande (figure I.11). Les systèmes photovoltaïques peuvent être associés à d'autres sources d'énergie, la plupart du temps contrôlables comme un groupe électrogène, mais parfois aléatoires (association PV-éolien,). On parle de système hybride. Si on relie une éolienne au système PV, celle-ci recharge les accumulateurs pendant les périodes de vent, qui surviennent souvent lorsque le ciel est couvent [11].



Figure I.11 : Installation photovoltaïque isolé [12].

I.3.2.2. System raccordé au réseau

Les systèmes de production d'énergie photovoltaïque connectés à un réseau sont une résultante de la tendance à la décentralisation du réseau électrique. L'énergie est produite plus près des lieux de consommation et non pas seulement par de grandes centrales thermiques ou hydroélectriques. Au fil du temps, les systèmes connectés à un réseau réduiront la nécessité d'augmenter la capacité des lignes de transmission et de distribution. Un système connecté à un réseau produit sa propre électricité et achemine son excédent d'énergie vers le réseau, auprès duquel il s'approvisionne au besoin; ces transferts éliminent le besoin d'acheter et d'entretenir une batterie d'accumulateurs. Il est toujours possible d'utiliser ceux-ci pour servir d'alimentation d'appoint lorsque survient une panne de réseau, mais ce n'est pas nécessaire. Les systèmes plus petits comportent un boîtier – renfermant un petit convertisseur synchrone coordonné au réseau – installé à l'endos de chaque panneau (figure I.12). Les systèmes plus importants comportent un grand onduleur qui peut être relié à plusieurs panneaux (tout comme dans le cas des systèmes non connectés). Ces deux dispositifs convertissent le courant continu en courant alternatif et ils synchronisent le courant de sortie à celui du réseau afin de ralentir le compteur électrique. Si la puissance de sortie du système photovoltaïque est moindre que la consommation, le compteur ralentit. Au contraire, si elle l'excède, le compteur tourne à rebours et accumule un crédit. Ce crédit peut être utilisé auprès du service de distribution quand le soleil est absent. Expliqué autrement, le réseau de distribution tient lieu de batterie d'accumulateurs sans limite. Dans la plupart des régions du Canada, vous devez

obtenir l'autorisation du service public de distribution avant de lui fournir de l'électricité légalement [13].

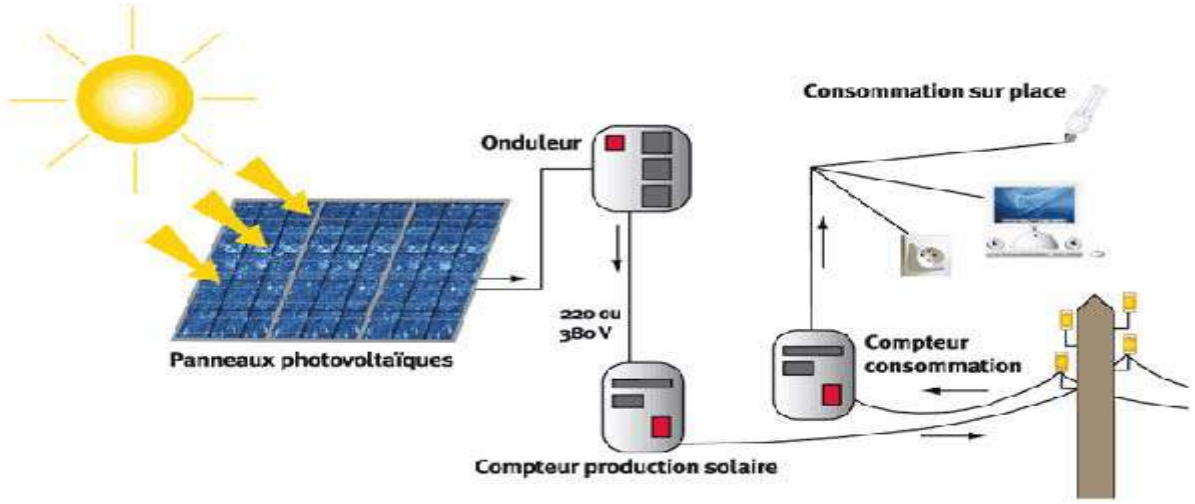


Figure I.12 : Structure d'installation raccordée en réseau**.**

I.3.3. Avantages et inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque

Tableau I.1 : Avantages et inconvénients de l'énergie solaire photovoltaïque [14]

Les avantages	**Les inconvénients**
L'énergie photovoltaïque peut être installée partout, même en ville	Le coût d'investissement des panneaux photovoltaïques est élevé
L'énergie photovoltaïque est renouvelable et gratuite	Le rendement réel de conversion d'un module est faible
Sur les sites isolés, l'énergie photovoltaïque offre une solution pratique pour obtenir de l'électricité à moindre coût	Lorsque le stockage de l'énergie électrique par des batteries est nécessaire, le coût du système photovoltaïque augmente
La revente du surplus de production permet d'amortir les investissements voire de générer des revenus	Les panneaux contiennent des produits toxiques et la filière de recyclage n'est pas encore existante
Le contrat d'achat est conclu pour une durée de 20 ans	Le rendement électrique diminue avec le temps (20% de moins au bout de 20 ans)

Les systèmes photovoltaïques sont fiables : -aucune pièce employée n'est en mouvement. -Les matériaux utilisés (silicium, verre, aluminium), résistent aux conditions météorologiques extrêmes	

I.4. Etude des différents systèmes de poursuite

Un tracker solaire ou suiveur solaire est un système utilisant le principe de l'héliostat. C'est une structure portante qui permet d'orienter les capteurs solaires constamment vers le soleil. Ceci permet d'en augmenter la productivité de manière substantielle. Suivre le soleil d'une manière rigoureuse ne peut se faire que sur deux axes : en azimut (d'Est en Ouest, à mesure de l'avancée de la journée) et en inclinaison des capteurs (selon l'avancée du jour) : suiveur à deux axes. Toutefois, il existe des suiveurs à un seul axe, typiquement en azimut, l'angle d'inclinaison étant fixé selon l'optimum local [14].

I.5.mécanisme d'orientation

On distingue principalement deux grandes familles de suiveurs solaires: les passifs et les actifs qui comportent les suiveurs mono-axe et double axe [15].

a)Suiveurs solaire passif :

Un suiveur solaire passif est constitué dans son architecture de deux tubes en cuivre montés sur les côtés Est et Ouest du capteur. Le tube de matière cuivre est rempli de fluides chimiques capables de se vaporiser à basse température. En effet, lorsque l'exposition au rayonnement solaire augmente, la température d'un côté du panneau augmente et le composé dans le tube en cuivre se vaporise. La partie gazeuse du composé occupe un plus grand volume interne, et sa partie liquide est décalée vers le côté ombragé. Cette opération de transfert de masse ajuste l'équilibre du capteur en le faisant tourner vers la source des rayons solaires. Ce type de suiveur ne consomme aucune énergie pour le repositionnement du panneau (figure I.13).

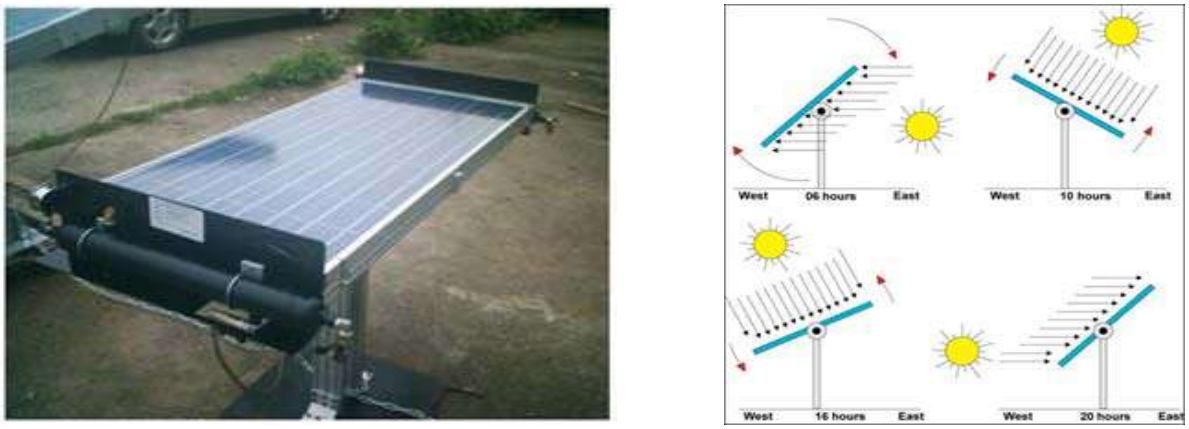


Figure I.13 : Exemple et fonctionnement du suiveur passif

b) Suiveur solaire actif :

Les suiveurs solaires actifs utilisent le principe de la détection de lumière, suivant la trajectoire solaire en cherchant à optimiser au maximum l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur leur surface. Il existe deux types dans cette famille : les suiveurs mono-axe et double axe. L'avantage de ces derniers par rapports aux suiveurs passifs c'est qu'ils représentent une meilleure précision de suivi et ne nécessitent aucune intervention manuelle pour les ajuster (figure I.14) [14].

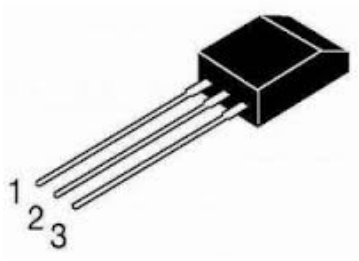


Figure I.14 : Suiveur actif.

❖ **Suiveur solaire mono-axe :**

Comme son nom l'indique, le suiveur solaire tourne autour d'un axe simple. Le trajet suivi par cet axe est souvent en azimut, c'est-à-dire d'Est en Ouest au fil de la journée. L'angle d'inclinaison du panneau est fixe, il est placé selon l'angle le plus propice à recevoir le maximum de rayons du soleil durant toute l'année. Il est placé selon la latitude du lieu où est disposé le capteur. Ainsi, l'angle d'inclinaison du panneau reste constant mais son azimut varie au cours de la journée. Le système de poursuite mono-axial est la solution la plus simple et la plus utilisée (figure I.15) [18].



Figure I.15 : Suiveur solaire mono-axe.

❖ **Suiveur solaire double axe :**

Contrairement au précédent, ce suiveur solaire possède deux axes ce qui lui permet de suivre les mouvements en azimut et en inclinaison au cours de la journée (figure I.16). Ainsi, le capteur reste constamment orienté vers le soleil. Ce types de suiveur est très imposant et fournit de meilleures performances par rapport au suiveur mono-axe [17].

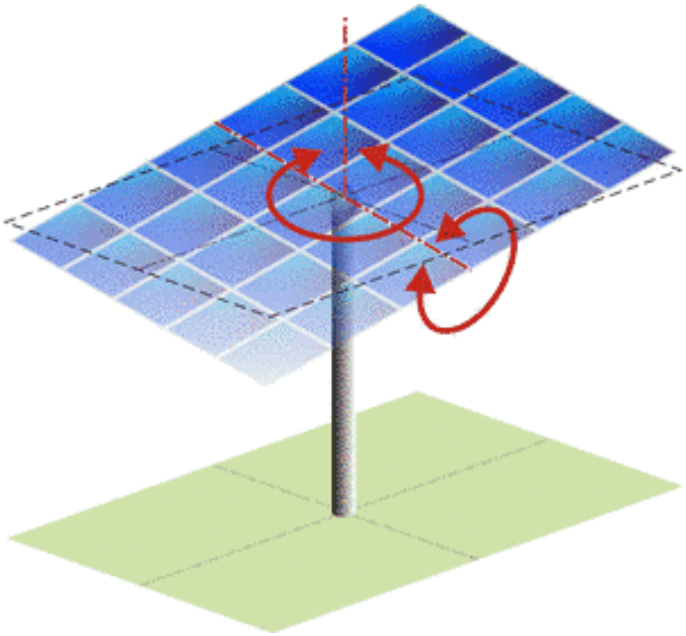


Figure I.16 : Suiveur solaire double axe.

❖ **Les capteurs de lumière :**

Le capteur qu'on a utilisé est la photorésistance ou LDR. C'est un composant dont la valeur en Ohms dépend de la lumière à laquelle elle est exposée. En effet, sa résistance varie en fonction du flux lumineux incident, elle est inversement proportionnelle à la lumière reçue. Le choix s'est porté sur cette dernière vu que son temps de réponse est beaucoup plus court par rapport à la photodiode [18].

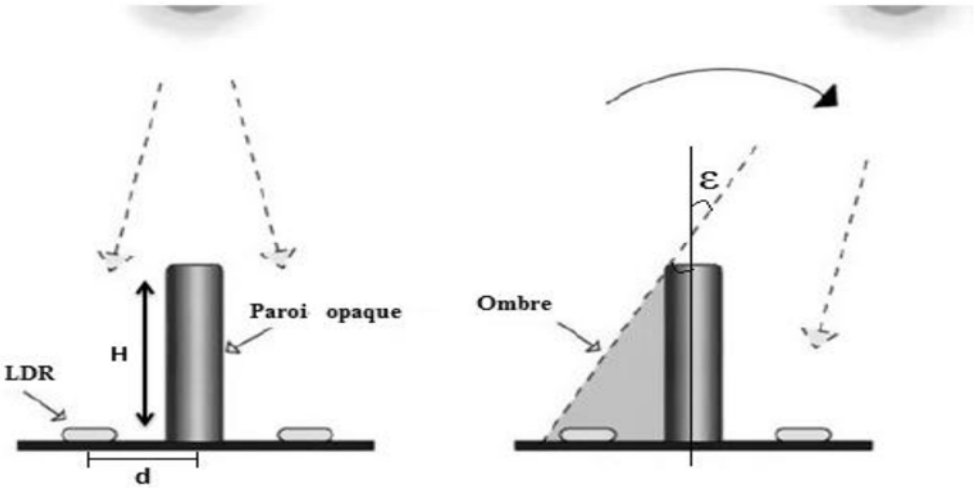


Figure I.17 : Disposition des capteurs LDR pour un tracker mono-axe.

Pour assurer un suivi complet de la course solaire (en azimut et en zénith), on additionne, à l'architecture précédente (figure I.17), deux autres capteurs LDR pour couvrir les changements (Nord-Sud) de la déclinaison solaire «δ » qui varie de +23.45° à -23.45° durant l'année (figure I.18).

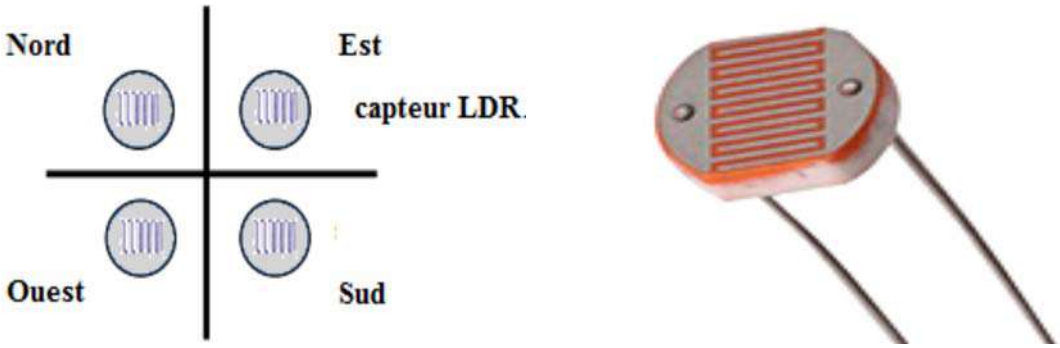


Figure I.18 : Vue d'en haut de la disposition des quatre capteurs LDR.

I.5.1. Type de commande

- Analogiques : la commande est générée en fonction des informations fournies par un capteur qui identifie la position du point le plus lumineux dans le ciel.
- Numériques : la commande provient d'un microprocesseur qui, à l'aide de tableaux mémorisés, connaît à tout moment la position du soleil dans le ciel [19].

I.6. Les Avantages et Les inconvénients des suiveurs solaires

- **Les inconvénients:**
- ✓ Le coût d'investissement initial (surtout pour les trackers à 2 axes) est élevé,

- ✓ La maintenance des trackers, car les systèmes mécaniques atteignent rarement une durée de vie de 20 ans
- ✓ Pour des raisons de sécurité, les panneaux solaires doivent être parallèles au sol lors de vents forts

❖ **Les avantages:**

- ✓ Les systèmes de suivi solaires sont utilisés pour orienter les capteurs continuellement vers le soleil et peuvent aider à minimiser l'investissement en augmentant le rendement des capteurs.
- ✓ Pour le photovoltaïque, le rendement des panneaux est accru de 30 à 40%
- ✓ La surface du parc solaire est réduite tout en gardant le même potentiel.
- ✓ Le temps de retour sur investissement est réduit (amortissement du système en 4 ans (en moyenne)).
- ✓ Exploitation optimale du rayonnement solaire même en présence des nuages.
- ✓ Gain intéressent, notamment aux heures de la journée les moins ensoleillées
- ✓ Simplicité de mise en œuvre .

I.7. Le gisement solaire en Algérie

L'Algérie possédant un gisement solaire important, de part son climat, la puissance solaire maximale en tout point de notre pays est d'environ 1Kw/m2. L'énergie journalière maximale moyenne (ciel clair, mois de Juillet) dépasse les 6Kw/m2 et l'énergie annuelle maximale en Algérie est de l'ordre de 2500 KW/m2. La carte ci-dessous représente les différentes zones énergétiques de l'Algérie.

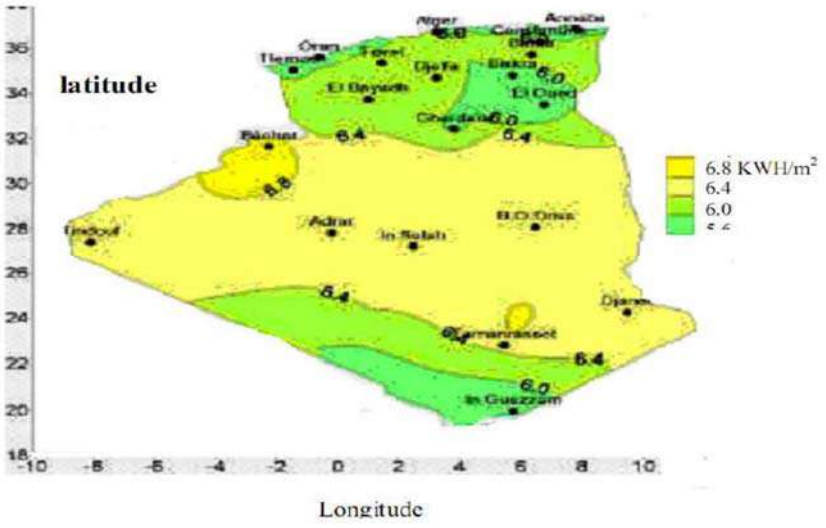


Figure I.19. Les différentes zones énergétiques dans l'Algérie

I.8. Conclusion

Le solaire est une source d'énergie relativement chère et qui, de ce fait, reste encore peu développée, bien qu'elle commence à prendre son essor avec l'augmentation croissante des prix des énergies fossiles. Bien qu'elle ne puisse pas à elle seule remplacer les énergies fossiles, elle a l'avantage de permettre la réalisation d'importantes économies d'énergie, mais c'est aussi une énergie propre qui ne produit pas de déchets toxiques et qui ne dégage pas de gaz à effet de serre. Par ailleurs, les technologies de l'énergie solaire domestique tendent à se répandre et sont particulièrement efficaces et prouvées. car l'énergie solaire est toutefois une solution d'avenir qui vaut le coup d'être plus exploitée, d'autant plus que de nombreuses améliorations sont encore possibles Le Sahara algérien a des bonnes conditions pour l'investissement en domaine d'énergie solaire, la région « Adrar » a le plus grand potentiel solaire en Algérie avec une long durée d'isolation.

Dans notre projet on va réaliser un suiveur solaire à deux axes.

CHAPITRE II :

Moteurs Pas à Pas

II.1. Introduction

Le moteur pas à pas est un moteur qui tourne en fonction des impulsions électriques reçues dans ses bobinages. L'angle de rotation minimal entre deux modifications des impulsions électriques s'appelle un pas. On caractérise un moteur par le nombre de pas par tour (c'est à dire pour 360°). Les valeurs courantes sont 48, 100 ou 200 pas par tour [20].

Les moteurs Step sont utilisés chaque jour dans les applications industrielles et commerciales en raison de leur faible coût, de leur haute fiabilité, de leur couple élevé à faible vitesse et d'une construction simple et robuste qui fonctionne dans presque tous les environnements. Ces moteurs sont facilement accessibles, compte tenu qu'on les retrouve dans tous les lecteurs de disquettes et imprimantes [21].

On va d'abord commencer par décrire les différentes sortes de moteurs, pour ensuite les analyser un à la fois, pour pouvoir comprendre en profondeur leur fonctionnement. On détaillera aussi beaucoup plus sur le moteur unipolaire, à partir de ces connaissances de base, on pourra après attaquer la partie pratique [22].

II.2. Moteur pas à pas

On constate qu'il existe différents types de moteur pas à pas (figure II.1) Cependant le problème qui se présente maintenant c'est comment commander ces moteurs autrement dit comment peut- on faire varier le sens de rotation du moteur, l'angle de rotation, etc…

Ce problème peut être facilement résolu en utilisant des circuits intégrés spécialisés dans la commande des moteurs pas à pas. Ces circuits sont nombreux dont on va choisir un des plus efficace.



Figure II.1 : Différents tailles des moteurs pas à pas.

II.2.1. Historique

Inventeur de génie du micromoteur pas à pas en 1936, Marius Lavet a permis une évolution considérable de l'industrie horlogère européenne.

II.2.2. Les différents types de moteur pas à pas

Les moteurs pas à pas sont très utilisés dans toutes les applications mécaniques ou l'on doit contrôler simplement la position ou la vitesse d'un système en boucle ouverte. Ces moteurs sont par exemple utilisés dans les imprimantes jet d'encre ou laser, pour positionner les têtes d'impression ou pour l'avancée du papier.

La commande des moteurs pas à pas est relativement simple car on n'a pas besoin d'accessoires tels que des codeurs pour connaître la position, chaque impulsion du système de commande les fait avancer d'un pas. Il existe 3 types de moteurs pas à pas, à aimants permanents, à réluctance variable ou hybrides [23].

II.2.2.1. Les moteurs à réluctance variable

Les moteur à réluctance variable fonctionnent selon un principe différent de celui des moteur à aiment permanent. Ils possèdent bien évidemment un stator, mais ce dernier est fabriqué en acier doux non magnétique. Il n'est pas lisse et possède plusieurs dents .Ce type de moteur est représenté en (figure II.2). On peut voir, dans cet exemple, que le stator est composé de 8 plots sur lesquels enroulés les bobinages, ce qui donne 4 phase .le rotor, quant à lui, ne comporte que 6 dents [24].

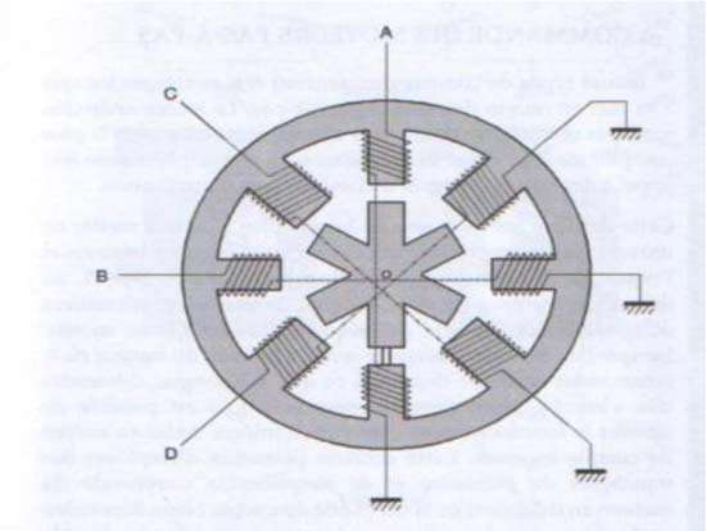


Figure II.2 : moteur à réluctance variable.

A) Moteur reluctance a simple circuit

Ce moteur est plus compact. Sa structure est simple. Il a un seul groupe de dents sur le rotor et le stator. Le stator est construit en tôles feuilletées, alors que le rotor est massif (pour réduire l'inertie).

B) Moteur reluctance multi-circuit

Ces moteurs sont les plus anciens, ils ont une construction multi-circuit. Ils sont moins utilisés aujourd'hui à cause de leur complexité de construction. L'avantage de cette structure permet d'éliminer toute inductance mutuelle entre phases statiques.

La disposition du rotor peut se faire de deux façons différentes :

- Les stators sont en phase et les rotors sont régulièrement décalés.
- Les rotors sont positionnés de manière identique et les stators sont décalés.

II.2.2.1.1. Le principe de fonctionnement est très simple

Le principe de fonctionnement est très simple l'un des phases alimentant deux des plots opposés du stator est traversée par un courant afin d'aligner deux des dents du rotor avec ces plots. Le mode de commande peut dans ce cas, de la même façon que pour les autres moteurs, être monophasé, biphasé ou demi-pas. Les séquences de commandes sont présentées dans le tableau suivant (tableau II.1) :

Tableau II.1 : le mode monophasé biphasé ou demi-pas

Mode monophasé	Mode biphasé	Mode demi-pas
A B C D	AC CB BD DA	A AC C BD D DA

II.2.2.2. Moteur à aimants permanents

Les moteurs à aimants permanent sont semblables aux moteurs à reluctance variable, sauf que le rotor possède des pôles NORD et SUD (figure II.3). A cause des aimants permanents, le rotor reste freiné à sa dernière position lorsque le bloc d'alimentation cesse de fournir des impulsions.

Une façon simple de voir le système, est de placer une boussole entre deux aimants. Suivant la bobine qui est alimentée et le sens du courant, l'aiment va s'aligner avec le champ.

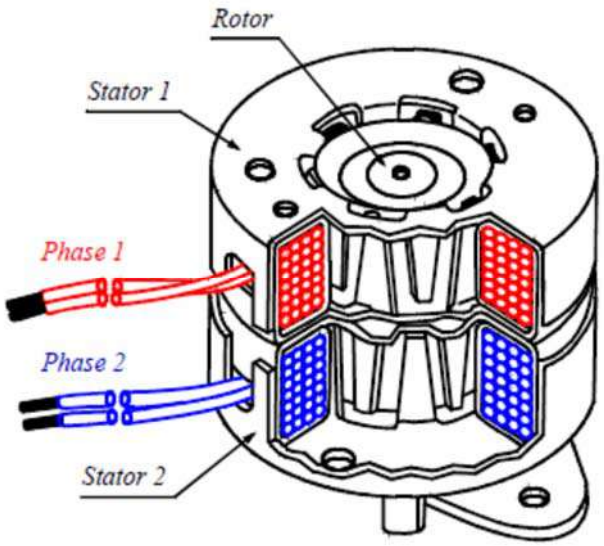


Figure II.3 : Moteur à aimants permanents.

II.2.2.3. Moteur à aimant permanent bipolaire

Le courant de commande est bidirectionnel et l'avance d'un pas s'effectue par une séquence de commutation des enroulements statorique (voir figure II.4) [25].

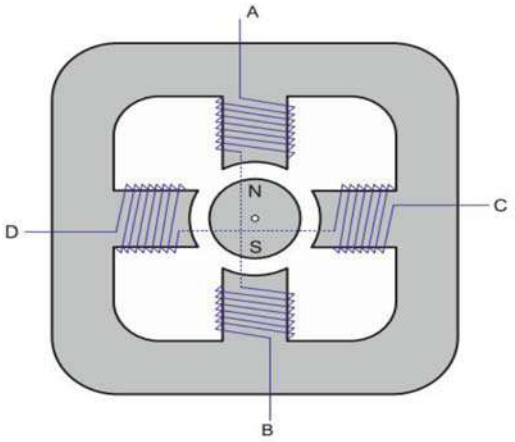


Figure II.4 : Représentation schématique d'un moteur bipolaire.

II.2.2.3.1. Fonctionnement à pas complet

La première consiste à alimenter les enroulements en suivant la séquence A vers B/C vers D/B vers A/D vers C (BA est les mêmes enroulements que AB mais alimenté par un courant de polarité inverse) (figure II.5). Par la suite nous simplifierons la notation pour une meilleure correspondance avec les chronogrammes des phases en indiquant uniquement la phase qui est alimentée par un courant "positif" Soit A B C D.

Cette séquence est connue sous le nom de " one phase on full step" (traduisez phase par phase ou une phase à la fois en pas entier). A tout moment il n'y a qu'une seule phase d'alimentée et nous travaillons en mode pas entier.

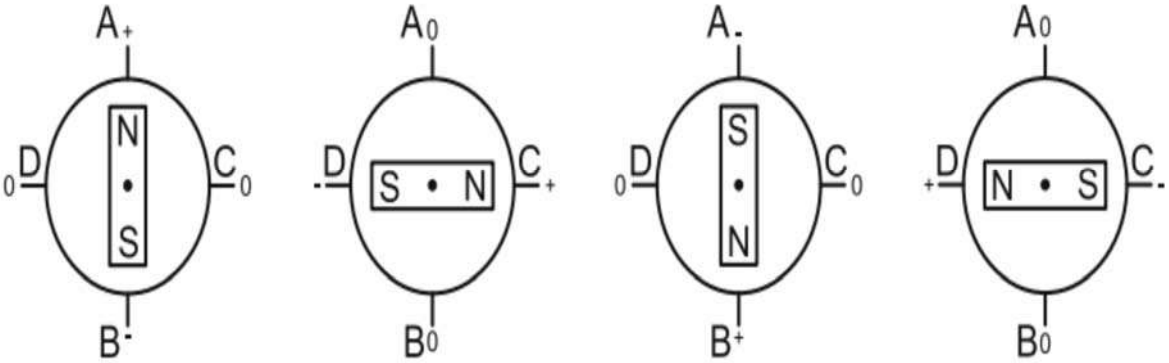


Figure II.5 : Fonctionnement à pas complet.

II.2.2.3.2. Fonctionnement avec couple maximal

La seconde possibilité est d'alimenter une paire de phase en même temps de façon à ce que le rotor se positionne entre deux pôles (figure II.6).

Appelé "two-phase-on full step" (deux phases à la fois en pas entier) ce mode de commande est celui qui procure le couple le plus élevé. La séquence sera donc AC/CB/BD/DA.

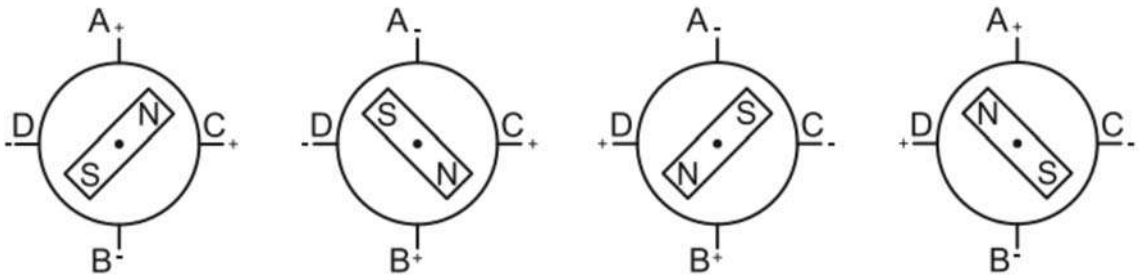


Figure II.6 : Fonctionnement avec couple maximal.

II.2.2.3.3. Fonctionnement à demi-pas

La troisième option est un mélange des deux premières puisque l'on alimente tour à tour le moteur sur une phase puis deux puis une … cette séquence connue sous le nom de mode demi-pas procure affectivement un division par 2 de l'angle d'avance d'un pas, mais aussi un couple moins régulier (figure II.7).

La séquence qui en découle est la suivante : A/AC/C/CB/B/BD/D/DA.

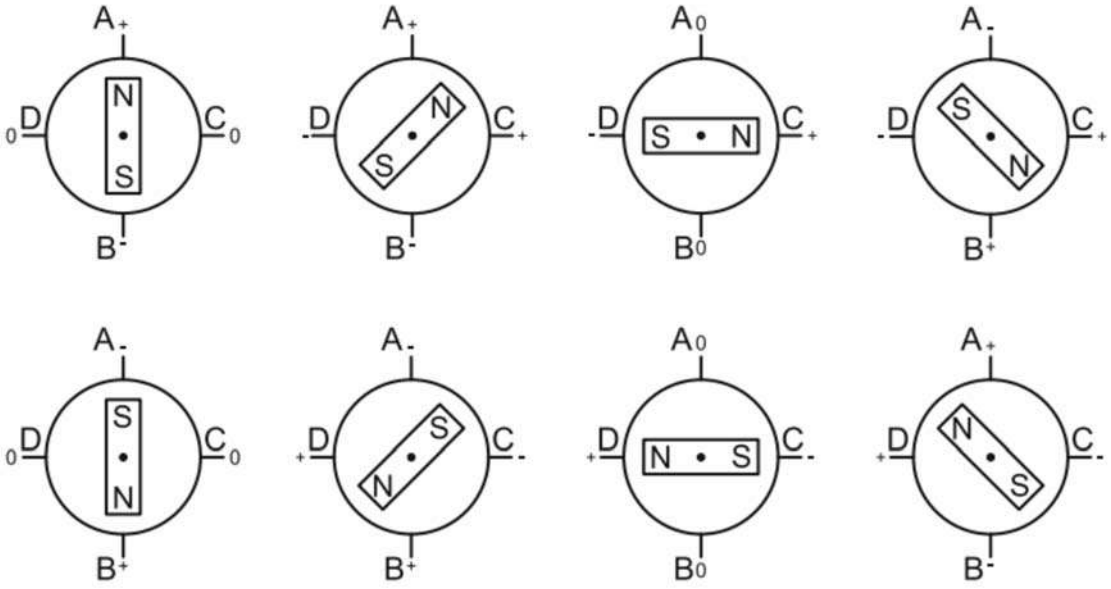


Figure II.7 : Fonctionnement à demi-pas.

II.2.2.4. Moteur à aimant permanent unipolaire

Les moteurs unipolaires se différencient par le fait qu'ils sont à double bobinage (voir figure II.8). Le double bobinage est utilisé pour l'inversion du flux statorique et le moteur se commande de la même manière qu'un bipolaire excepté qu'un seul transistor pour chaque enroulement suffit dans l'étage de puissance.

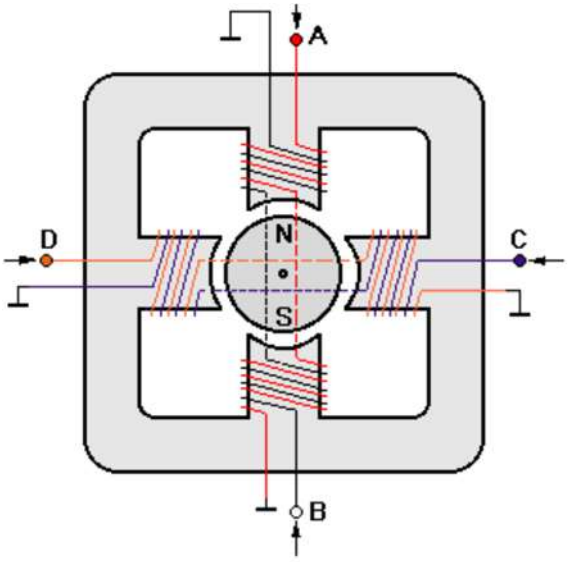


Figure II.8 : Représentation schématique d'un moteur unipolaire.

Tout simplement, les moteurs unipolaires sont plus chers car leur fabrication réclame un double bobinage. De plus, pour une taille donnée, ce type de moteur à un couple plus faible à cause des enroulements qui sont plus fin [27].

II.2.2.4.1. fonctionnement d'un moteur pas-a-pas unipolaire

On partira du principe que la rotation d'un moteur pas à pas s'effectue en 4 étapes comme il est montré dans (figure II.9), dans la réalité, le moteur est constitué d'une succession d'alternance de pôles : ainsi, l'axe du modèle dont nous disposons dans notre réalisation fait un tour complet en 48 pas (un pas correspond donc à 360°/48 = 7,5°).

Dans le schéma, la flèche noire représente l'aiguille d'une boussole qui serait disposé en place et lieu du rotor ; elle indique l'orientation du champ magnétique (elle pointe vers le nord, qui attire donc le pôle Sud du rotor) et se décale alors d'un quart de tour à chaque étape [28].

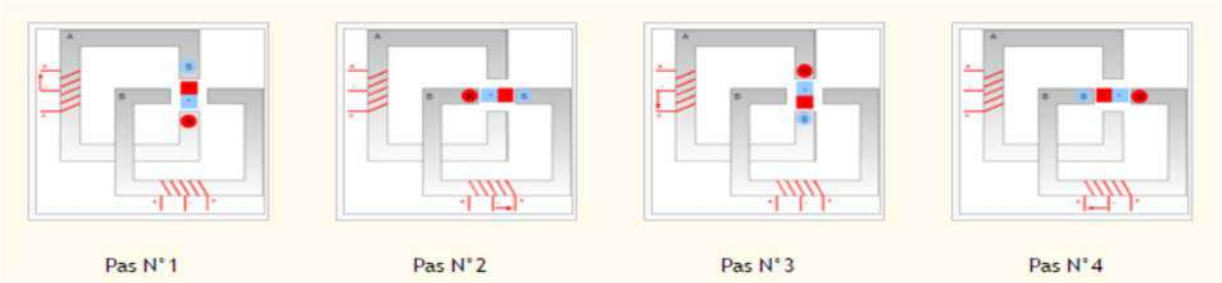


Figure II.9 : fonctionnement d'un moteur pas-a-pas unipolaire.

II.2.2.5. Moteur pas-à-pas hybride MH

En combinant les structures des deux moteurs précédents, c'est à dire en plaçant les aimants du moteur à aimants permanents dans un circuit ferromagnétique on crée un nouveau type de moteur appelé moteur réluctant polarisé ou moteur hybride (Hybrid motor : HB) (figure II.10). Dans ce cas, il existe un couple réluctant provoqué par la variation de perméances propres associées à chaque aimant et à chaque bobine [26].

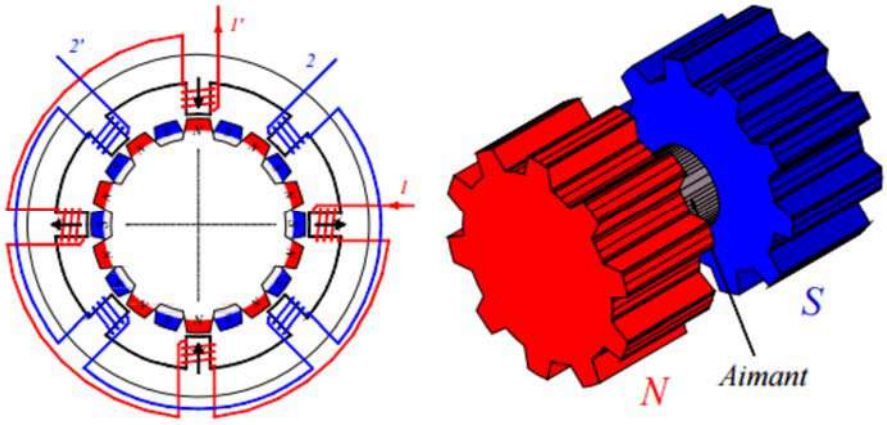


Figure II.10 : Moteur hybride (MH).

II.2.2.5.1. Technologie des moteurs pas à pas hybrides

Les moteurs pas à pas hybrides réunissent, au moins en partie, les avantages des moteurs pas à pas à réluctance variable et à aimants permanents, à savoir :

- un grand nombre de pas par tour,
- une fréquence propre mécanique importante,
- un couple massique élevé,
- un amortissement interne important,

- une mémoire de position.

Dans sa configuration de base le moteur pas à pas hybride comporte un stator en fer feuilleté à plots saillants et deux couronnes rotoriques dentées en matériau ferromagnétique, géométriquement identiques et réunies par un aimant permanent cylindrique magnétisé axialement. Les lignes de champs de l'aimant se ferment à travers les dents du rotor. Vu du stator, le rotor présente autant de pôles magnétiques actifs qu'il possède de dents. Les dents sur une des couronnes sont décalées par rapport aux dents de l'autre d'un demi pas dentaire 1/2τdr [29].

II.3. Comparaison entre les différents types des moteurs pas à pas

Cette comparaison peut se résumer selon le tableau suivant (tableau II.2) :

Table II.2 : Comparaison entre les différents types des moteurs pas à pas

Critère de comparaison	Moteur pas à pas aiment permanent	Moteur pas à pas reluctance variable
Couple de travail	Elevé	Faible
Vitesse de fonctionnement	Faible	Faible
Pas exécuté	Faible	Elevé
Inertie propre	Elevé	Faible
Couple de maintien	Non négligeable	Négligeable
Amortissement des oscillations	Plus important	Moins important

II.4. Commander un moteur pas à pas avec un Arduino

II.4.1. Connecter un moteur unipolaire

Comme rappel, voici la structure du moteur unipolaire (figure II.11) :

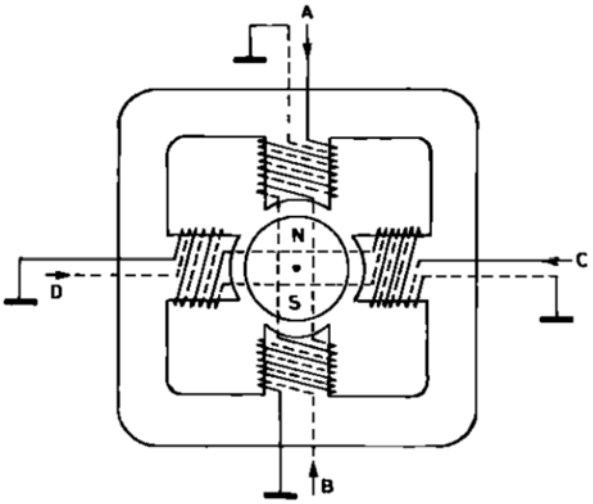


Figure II.11 : Schéma d'un moteur unipolaire.

II.4.2. Connecter un moteur pas à pas bipolaire

Nous avons vu dans le chapitre précédent que le moteur bipolaire a besoin, à un moment, d'une inversion de courant si l'on veut pouvoir utiliser les bobines à bon escient. Vous vous souvenez probablement que nous avons vu précédemment un composant capable de faire cela : le pont en H (voir figure II.12). L'idée va donc être de câbler correctement les bobines pour pouvoir faire passer le courant dans un sens, ou dans l'autre. Je vous rappelle la structure du pont en H :

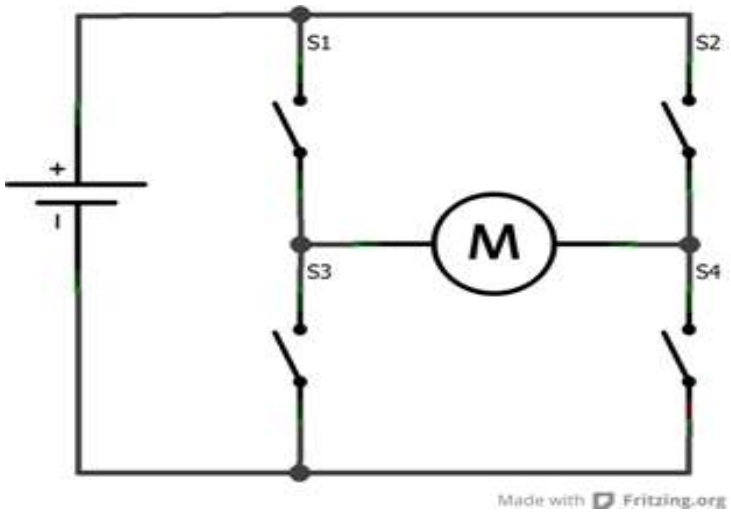


Figure II.12 : Schéma d'un pont H.

Un pont en H ne peut piloter qu'une "paire de bobine" (celle qui sont dans le même axe et relié entre elles), hors nous en avons deux à piloter. Heureusement le L298 est un composant très bien pensé et ne possède non pas un mais bien deux ponts en H.

Pour la partie "sortie/puissance", On doit relier les sorties *Out1 (broche 2)* et *Out2 (broche 3)* à la première bobine et ensuite *Out3* et *Out4* (13 et 14) à la seconde. N'oubliez pas les diodes de roue libre (8 au total et qui supporte la puissance). Enfin, il ne reste qu'à connecter les entrées In1 à ln4 entrée/sortie numérique (pas besoin de PWM). Voici un petit schéma récapitulatif (voir figure II.13) :

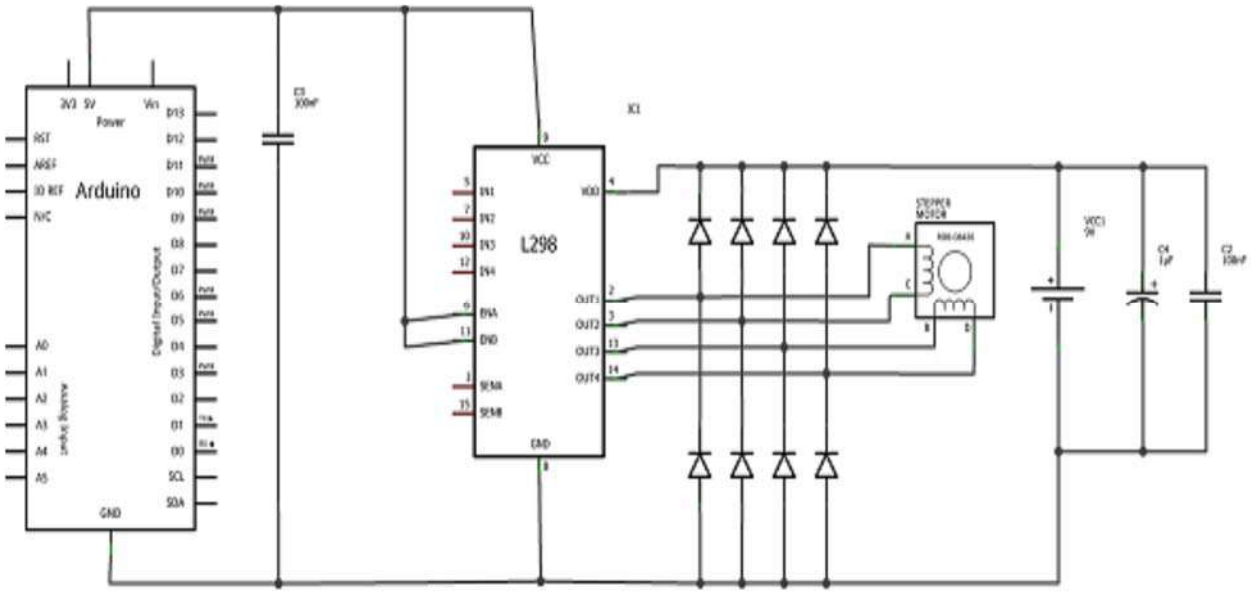


Figure II.13 : Schéma de pont H L298 avec Arduino.

Le schéma de montage avec quelques condensateurs de filtrage qui viennent aider l'alimentation en cas de forte demande de courant et des condensateurs qui filtre les parasites engendrés par les bobines du moteur.

Une fois que le moteur est branché, nous allons pouvoir le faire tourner. Comme son nom l'indique, il s'appelle pas à pas et donc nous allons le faire pivoter étape par étape et non de manière continue comme le moteur à courant continu. Cependant, en répétant les étapes de rotation rapidement et successivement, le moteur donnera l'impression de tourner sans s'arrêter entre chaque étape. Il existe trois méthodes distinctes pour piloter les moteurs bipolaires. Nous allons maintenant les voir une par une. Dans les cas qui vont suivre, on va considérer un moteur de 4 pas par tour).

A). Rotation par pas complet

Ce mode de fonctionnement est le plus simple, c'est pourquoi nous allons commencer par lui. Grâce à ce dernier, vous allez pouvoir faire des rotations "pas par pas". Pour cela, nous allons alternativement alimenter les bobines de droites et de gauche et inverser le sens du courant pour pouvoir faire une rotation complète du champ magnétique.

B). Rotation à couple maximal

Un autre mode de fonctionnement est celui dit à couple maximal. Cette méthode de pilotage utilise toutes les bobines à la fois pour pouvoir immobiliser au maximum l'aimant central. En effet, en utilisant plus de champs magnétiques on obtient une force supplémentaire. Par contre, on consomme évidemment d'avantage de courant. Pour comprendre ce fonctionnement, voyons les différentes étapes par un dessin puis par un chronogramme. Vous verrez, ce n'est pas très compliqué, le fonctionnement est très similaire, seules les activations de bobines changent un peu.

C). Rotation par demi-pas

Le dernier mode de fonctionnement est celui dit à demi-pas. Ce mode mélange les deux précédents puisqu'on va alterner les étapes du mode à pas complet et les étapes du mode à couple maximal. En effet, comme nous avons pu le voir dans les explications précédentes, les deux modes placent l'aimant central de manière différente. L'un est "en face des bobines" alors qu'avec l'autre est plutôt "entre les bobines".

Ainsi, en se mettant alternativement "en face" puis "entre" les bobines on va effectuer deux fois plus de pas que précédemment puisqu'on intercalera des étapes supplémentaires. Attention, lorsque je dis "deux fois plus de pas" je veux surtout dire que l'on aura des étapes intermédiaires qui augmentent la précision du déplacement. Ce mode de pilotage est un peu plus compliqué que les précédents puisqu'il est "plus long" (8 étapes au lieu de 4) mais rien d'insurmontable.

II.5. Conclusion

Ce chapitre s'appuie essentiellement sur quelques notions de la machine numérique, des moteurs pas à pas et de la commande numérique, elles sont nécessaires pour tenir compte des contraintes que toute réalisation se rapporte à ces études qui devraient être.

On constate qu'il existe différents types de moteur pas à pas. Cependant le problème qui se présente maintenant c'est comment commander ces moteurs autrement dit comment peut- on faire varier le sens de rotation du moteur, l'angle de rotation, etc…

Pour notre projet, on a opté pour deux moteurs pas à pas, bipolaire non identiques qui conviennent à notre expérience, avec l'alimentation et le mode d'excitation correspondant.

CHAPITRE III :

La carte Arduino

III.1. Introduction

La plate-forme Arduino est devenue très populaire auprès des gens qui commencent par l'électronique et pour une bonne raison. Contrairement à la plupart des cartes de circuit programmables précédentes, Arduino n'a pas besoin d'une pièce séparée (appelée programmateur) pour charger un nouveau code sur la carte - vous pouvez simplement utiliser un câble USB. De plus, l'IDE Arduino utilise une version simplifiée de C ++, ce qui facilite l'apprentissage du programme. Enfin, Arduino fournit un facteur de forme standard qui déclenche les fonctions du microcontrôleur dans un package plus accessible.

Après avoir décrit le principe et la systématique du moteur pas à pas, nous allons maintenant entamer la partie électronique qui va commander tout le système. Commençons tout d'abord par une description théorique des différents composants qu'on a utilisés pour pouvoir réaliser notre commande.

III.2. L'Arduino

III.2.1. Présentation de la carte Arduino

À l'origine, Arduino avait été conçu pour aider les étudiants dans leurs expérimentations. En 2005, il a été proposé à la vente par Massimo BANZI et David CUARTIELLES. En quelques années, il est devenu très populaire auprès des concepteurs, des étudiants et des artistes, par sa facilité d'emploi et sa robustesse [18].

L'Arduino est un Logiciel Libre et Matériel Libre sous license Creative Commons " paternité, non commercial et licence contaminante", toute liberté est permise à qui voudrait faire évoluer le matériel ou la plateforme de programmation dans le respect de la licence. Le site officiel du projet Arduino est http://www.arduino.cc [30].

L'Arduino est une carte basée sur un microcontrôleur (mini-ordinateur) Atmel ATMEGA8 ou ATMEGA168. Elle dispose dans sa version de base de 1 Ko de mémoire vive, et 8Ko de mémoire flash pour stocker ses programmes. Elle peut être connectée à 13 entrées ou sorties numériques, dont 3 PWM (pouvant donner 3 sorties analogiques et 6 entrées analogiques convertissant en 10 bit.

Dans la version la plus courante, la communication avec l'ordinateur se fait par un port USB. Il existe plusieurs versions de l'Arduino, dont une version miniaturisée, et d'autres projets sont également en gestation. La carte dispose d'un logiciel système interne (modifiable) et des programmes utilisateur [31].

III.2.2. Le microcontrôleur

Le microcontrôleur est le «cerveau» de l'Arduino. C'est un petit ordinateur qui contient un processeur pour exécuter des instructions, comprend différents types de mémoire pour contenir les données et les instructions de nos croquis, et fournit diverses des avenues d'envoi et de réception de données. Juste au-dessous du microcontrôleur il y a deux rangées de petites sockets (figures III.1 et III.2).

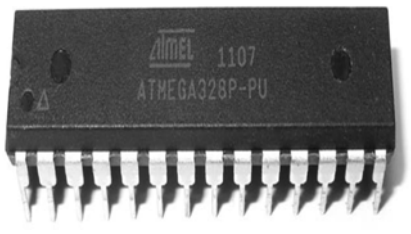


Figure III.1 : Atmel microcontrôleur/ Série ATMEGA328P-PU.



Figure III.2 : microcontrôleur 32 bits/ à usage général.

III.2.2.1. Mise en situation

Un objet technique, intégrant de l'électronique, fait souvent apparaître des fonctions ayant pour rôle le traitement d'informations : opérations arithmétiques (addition, multiplication...) ou logiques (ET, OU...) entre plusieurs signaux d'entrée permettant de générer des signaux de sortie (voir figure III.3).

Ces fonctions peuvent être réalisées par des circuits intégrés analogiques ou logiques. Mais, lorsque l'objet technique devient complexe, et qu'il est alors nécessaire de réaliser un ensemble important de traitements d'informations, il devient plus simple de faire appel à une structure à base de microcontrôleur [31].

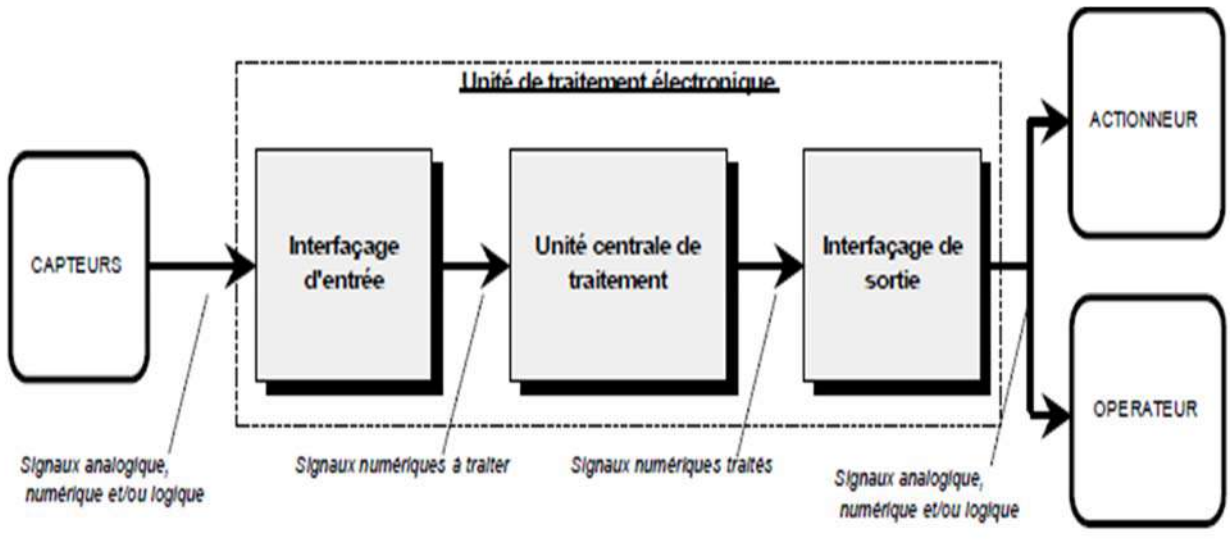


Figure III.3 : Organisation fonctionnelle d'un système à microcontrôleur.

III.2.2.2. Description et structure interne

Un microcontrôleur se présente sous la forme d'un circuit intégré réunissant tous les éléments d'une structure à base de microprocesseur. Voici généralement ce que l'on trouve à l'intérieur d'un tel composant :

- Un microprocesseur (C.P.U.),
- De la mémoire de donnée (RAM et EEPROM),
- De la mémoire programme (ROM, OTPROM, UVPROM ou EEPROM),
- Des interfaces parallèles pour la connexion des entrées / sorties,
- Des interfaces séries (synchrone ou asynchrone) pour le dialogue avec d'autres unités,
- Des timers pour générer ou mesurer des signaux avec une grande précision temporelle,
- Des convertisseurs analogique / numérique pour le traitement de signaux analogiques.

❖ **Avantages :**

. Encombrement réduit,

. Circuit imprimé peu complexe,

. Faible consommation,

. Coût réduit.

❖ **Inconvénients :**

. Système de développement onéreux,

. Programmation nécessitant un matériel adapté.

Le schéma fonctionnel qui suit (figure III.4) représente une architecture de "Von Neumann" (Commune à la plupart des microprocesseurs) où la mémoire programme partage le même bus que la mémoire de donnée. L'architecture de "Harvard", qui dispose de bus distincts pour les données et pour le programme, est plus rarement utilisée [32].

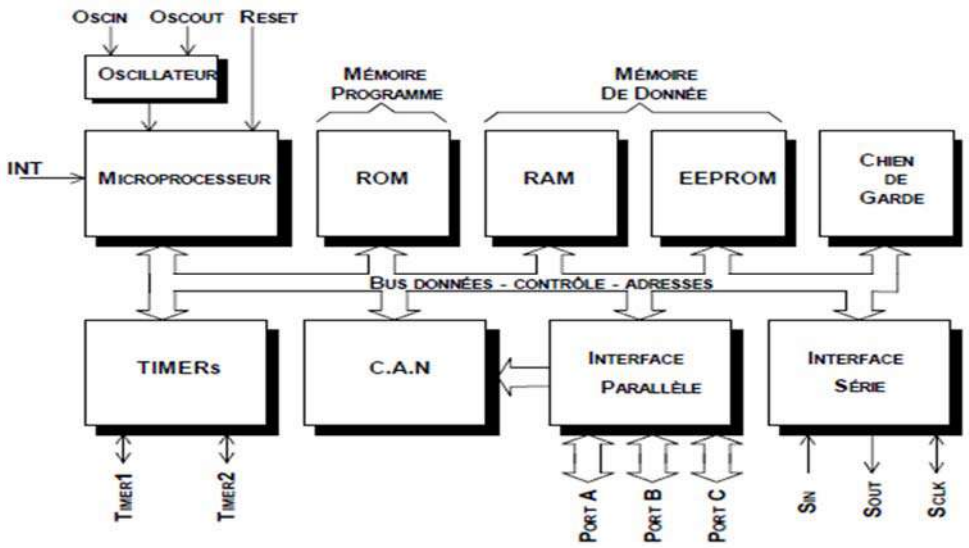


Figure III.4 : Schéma fonctionnel de l'architecture de Von Neumann.

A) CPU (MICROPROCESSEUR)

Un microprocesseur exécute séquentiellement les instructions stockées dans la mémoire programme. Il est capable d'opérer sur des mots binaires dont la taille, en bits, est celle du bus des données (parfois le double pour certains microcontrôleurs). Il est généralement constitué des éléments suivants :

- Un ou plusieurs registres accumulateurs contenant temporairement les opérandes ainsi que les résultats des opérations,
- Des registres auxiliaires permettant de relayer les accumulateurs,
- Des registres d'index pour le mode d'adressage indirect,
- Un compteur programme pointant l'adresse de la prochaine instruction à exécuter, sa taille est celle du bus des adresses,
- Une unité arithmétique et logique (ALU) permettant d'effectuer des opérations entre l'accumulateur et un opérande,
- Un registre code condition indiquant certaines particularités en ce qui concerne le résultat de la dernière opération (retenu, zéro, interruption...).

On peut noter qu'il existe 2 catégories de microprocesseur : les CISC et les RISC.

- ✓ CISC (Complex Instruction Set Computer) : Ce microprocesseur possède un nombre important d'instructions. Chacune d'elles s'exécute en plusieurs périodes d'horloges.

- ✓ RISC (Reduced Instruction Set Computer) : Ce microprocesseur possède un nombre réduit d'instructions. Chacune d'elles s'exécute en une période d'horloge.

B) Mémoire de programmes

Ce dispositif contient les instructions du programme que doit exécuter le microprocesseur. Ce type de mémoire (appelée mémoire morte), est uniquement accessible en lecture.

Sa programmation nécessite une procédure particulière et un matériel adéquat.

Il en existe différents types selon leur mode de programmation :

- De la ROM dont le contenu est programmé lors de sa fabrication.
- De la PROM programmable électriquement une seule fois par le développeur (appelée aussi OTPROM),
- De la EPROM programmable électriquement et effaçable aux U-V (appelée aussi UVPROM),
- De la EEPROM programmable et effaçable électriquement.

C) Mémoire de données :

Ce dispositif permet de mémoriser temporairement les données générées par le microprocesseur pendant les différentes phases du traitement numérique (résultats d'opérations, états des capteurs...). Ces mémoires sont accessibles en écriture et en lecture.

On en trouve 2 types :

- De la mémoire vive (RAM) volatile (données perdues en cas de coupure de l'alimentation) ayant un temps de lecture et écriture assez cour (quelques ns),
- De la mémoire morte (EEPROM) non-volatile (données conservées en cas de coupure de l'alimentation) ayant un temps d'écriture assez élevé (quelques ms) par rapport au temps de lecture qui est assez faible (quelques ns).

D) L'interface parallèle

Ce type d'interface, répartie sur plusieurs ports (maximum 8 bits), permet de prendre en compte des états logiques appliqués en entrée (état de capteurs) ou de générer des signaux binaires en sortie (commande d'actionneurs). Les broches de ces ports peuvent donc être configurées en entrée ou en sortie, avec différentes options (résistances de rappel, sorties collecteurs ouverts, interruption...). La configuration ainsi que l'état logique de ces broches

est obtenue par des opérations d'écriture ou de lecture dans différents registres associés à chaque port. On trouve généralement :

- Un registre de direction pour une configuration en entrée ou en sortie,
- Un registre de donnée recopiant les états logiques de chaque broche de port,
- Un registre d'option permettant plusieurs configurations en entrée ou en sortie.

E) L'interface série

Ce type d'interface permet au microcontrôleur de communiquer avec d'autres systèmes à base de microprocesseur. Les données envoyées ou reçues se présentes sous la forme d'une succession temporelle (sur un seul bit) de valeurs binaires images d'un mot. Il y a 2 types de liaison série : synchrone et asynchrone.

❖ **Liaison série synchrone**

Dans ce dispositif la transmission est synchronisée par un signal d'horloge émis par l'unité maître (voir figure III.5).

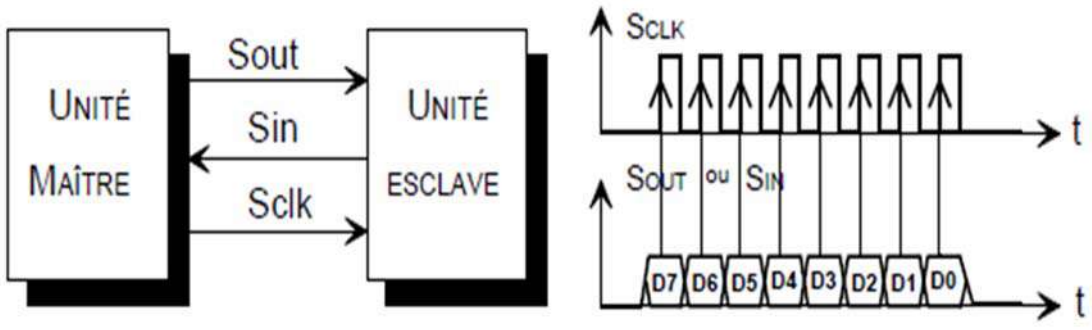


Figure III.5 : Dispositif représentant la transmission par un signal d'horloge de synchronisation.

❖ **Liaison série asynchrone**

Ce dispositif ne possède pas de signal d'horloge de synchronisation. Les unités en liaison possèdent chacune une horloge interne cadencée à la même fréquence (figure III.6). Lorsqu'une unité veut émettre un mot binaire, elle génère un front descendant sur sa ligne émettrice. A la fin de l'émission de ce mot, la ligne repasse au niveau haut. La donnée à transmettre peut contenir un bit supplémentaire appelé "parité" et servant à la correction d'erreurs.

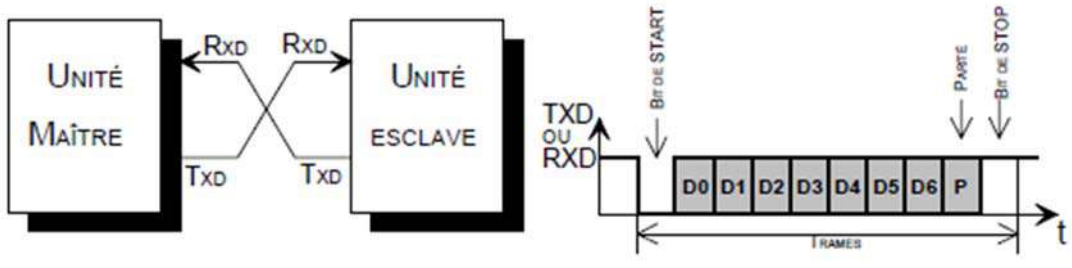


Figure III.6 : Dispositif représentant la transmission par une horloge interne.

F) Le can

Le CAN intégré dans les microcontrôleurs est généralement du type "Approximations successives". Il possède plusieurs entrées multiplexées accessibles via les broches des ports de l'interface parallèle. Le CAN possède normalement 2 registres :

- Un registre de données contenant le résultat de la conversion,
- Un registre de contrôle permettant de lancer et de surveiller la conversion.

G) Le timer

Le Timer permet de réaliser les fonctions suivantes :

- Génération d'un signal périodique modulé ou non en largeur d'impulsion,
- Génération d'une impulsion calibrée,
- Temporisation,
- Comptage d'événements.

Plusieurs registres associés au Timer permettent de configurer les différents modes décrits précédemment.

H) Le chien de garde

Ce dispositif est un système anti-plantage du microcontrôleur. Il s'assure qu'il n'y ait pas d'exécution prolongé d'une même suite d'instruction. Un compteur préchargeable se décrémente régulière au rythme de la fréquence d'horloge. Si aucun préchargement n'est effectué avant qu'il n'atteigne la valeur "0" un Reset est généré relançant ainsi le microcontrôleur. Il faut donc penser à précharger régulièrement ce chien de garde par programme lorsqu'il est activé.

I) Les signaux d'horloge

Le signal d'horloge permet de cadencer le fonctionnement du microcontrôleur.
Ce dernier intègre généralement une porte Trigger de Schmitt afin de réaliser un oscillateur. Pour l'obtenir on place un quartz entre les deux broches "OscIn" et "OscOut" comme l'indique le schéma suivant (figure III.7) :

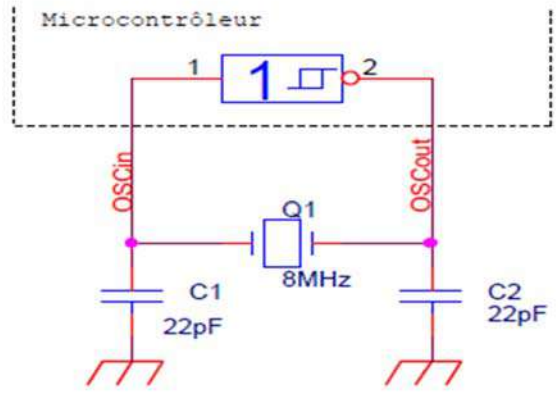


Figure III.7 : Schéma de broches d'un oscillateur.

III.2.2.3. Composition des éléments internes d'un microcontrôleur

Un microcontrôleur est constitué par un ensemble d'éléments qui ont chacun une fonction bien déterminée. Il est en fait constitué des mêmes éléments que sur la carte mère d'un ordinateur. C'est un ordinateur (sans écran, sans disque dur, sans lecteur de disque) dans un espace très restreint.

La mémoire : La mémoire du microcontrôleur sert à plusieurs choses. On peut aisément citer le stockage du programme et de données autres que le programme. Il en possède 5 types :

- **La mémoire Flash:** C'est celle qui contiendra le programme à exécuter (celui que vous allez créer). Cette mémoire est effaçable et réinscriptible (c'est la même qu'une clé USB par exemple)
- **RAM :** c'est la mémoire dite "vive", elle va contenir les variables de votre programme. Elle est dite "volatile" car elle s'efface si on coupe l'alimentation du microcontrôleur (comme sur un ordinateur).
- **EEPROM :** C'est le "disque dur" du microcontrôleur. Vous pourrez y enregistrer des infos qui ont besoin de survivre dans le temps, même si la carte doit être arrêtée et coupée de son alimentation. Cette mémoire ne s'efface pas lorsque l'on éteint le microcontrôleur ou lorsqu'on le reprogramme.
- Les registres : c'est un type particulier de mémoire utilisé par le processeur.
- **La mémoire cache :** c'est une mémoire qui fait la liaison entre les registres et la RAM.

Le processeur C'est le composant principal du microcontrôleur. C'est lui qui va exécuter le programme que nous lui donnerons à traiter. On le nomme souvent le CPU [32].

III.2.2.4. Fonctionnement

Avant tout, pour que le microcontrôleur fonctionne, il lui faut une alimentation ! Cette alimentation se fait en générale par du +5V. D'autres ont besoin d'une tension plus faible, du +3,3V (c'est le cas de la Arduino Due par exemple). En plus d'une alimentation, il a besoin d'un signal d'horloge. C'est en fait une succession de 0 et de 1 ou plutôt une succession de tension 0V et 5V. Elle permet en outre de cadencer le fonctionnement du microcontrôleur à un rythme régulier. Grâce à elle, il peut introduire la notion de temps en programmation [33].

III.3. Les cartes Arduino

III.3.1. Les types de cartes

Il y a trois types de cartes :

Les dites « officielles » qui sont fabriquées en Italie par le fabricant officiel : *Smart Projects* Lesdits « compatibles » qui ne sont pas fabriqués par *Smart Projects*, mais qui sont totalement compatibles avec les Arduino officielles. Les « autres » fabriquées par diverse entreprise et commercialisées sous un nom différent (Freeduino, Seeduino, Femtoduino,..).

III.3.2. Les différentes cartes Arduino

III.3.2.1. La carte arduino UNO

C'est la carte idéale pour découvrir l'environnement arduino. Elle permet à tout débutant de se lancer dans tous ses premiers petits projets. Comme c'est la carte la plus utilisée, il est très facile de se référer aux tutoriels très nombreux sur le net et ainsi de ne pas rester seul dans son exploration [33].



Figure III.8 : Une carte Arduino Uno.

Sa simplicité devient par contre un handicap lorsqu'il s'agit de multiplier les périphériques, de manipuler des algorithmes lourds ou d'interagie avec les os android pour lesquels d'autres cartes arduino sont plus adaptées.

III.3.2.2. La carte Arduino NANO

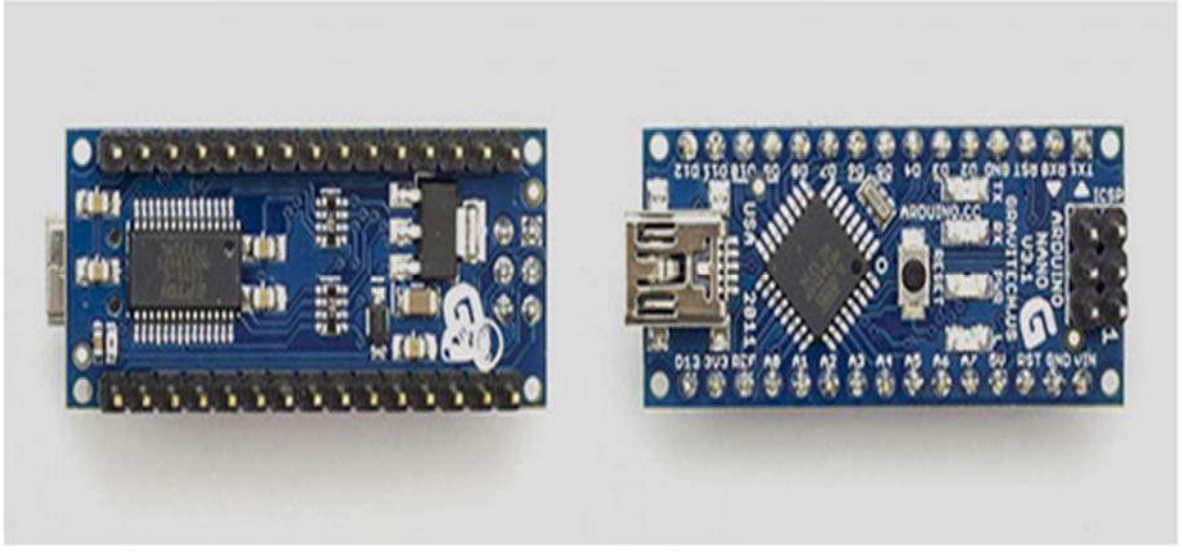


Figure III.9 : Une carte Arduino NANO.

La carte ARDUINO NANO n'est ni plus ni moins qu'une carte ARDUINO UNO miniaturisée. Sa taille et son poids réduits la destinent à une utilisation dans des espaces réduits (en textile par exemple) ou dans des applications de robotique ou de modélisme pour lesquels le poids et la taille sont des facteurs déterminant (hélicoptères, drones…)

III.3.2.3. La carte Arduino MINI PRO

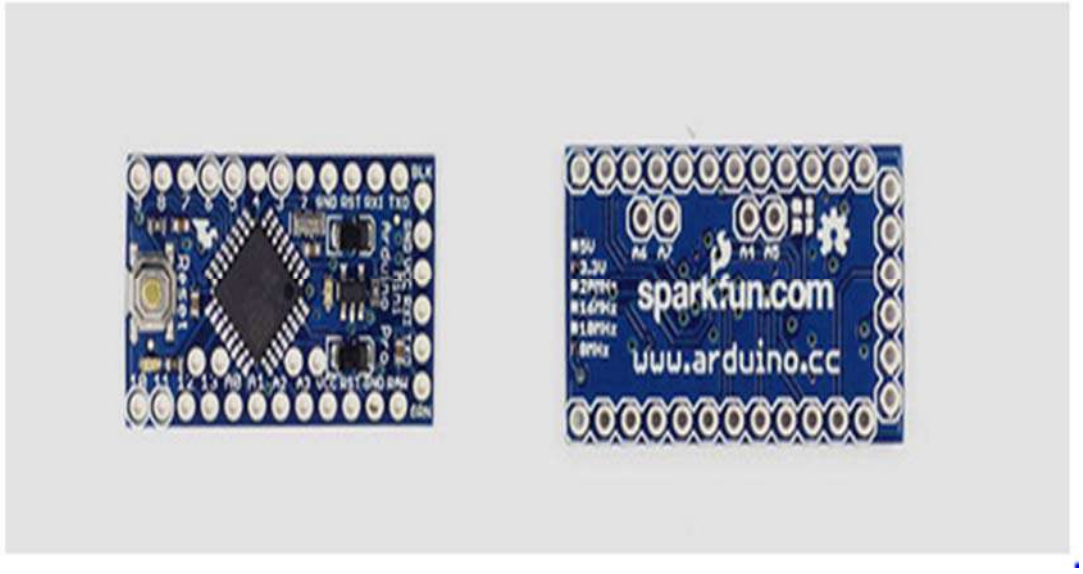


Figure III.10 : Une carte Arduino MINI PRO.

La carte ARDUINO MINI PRO est une carte ARDUINO UNO simplifiée à l'extrême permettant néanmoins de piloter de petits projets ou certains éléments d'un projet. Attention, cette carte n'intègre pas de port USB ce qui rends sa connectivité délicate.

III.3.2.4. La carte Arduino YUN



Figure III.11 : Une carte Arduino YUN

La carte ARDUINO YUN, récemment proposée par ARDUINO, est conçue pour contrer les avantages de la carte RASPBERRY. Elle est un dérivé de la carte LEONARDO et pour objectif de combiner la puissance de Linux avec la facilité d'utilisation d'une carte ARDUINO. Elle est également la première carte ARDUINO à être dotée nativement d'un wifi intégré [33].

III.4. Mise en œuvre de la carte Arduino Uno

La carte Arduino est une carte électronique basée autour d'un microcontrôleur et de composants minimum pour réaliser des fonctions plus ou moins évoluées à bas coût. Elle possède une interface USB pour la programmer. C'est une plateforme open-source qui est basée sur une simple carte à microcontrôleur (de la famille AVR), et un logiciel, véritable environnement de développement intégré, pour écrire, compiler et transférer le programme vers la carte à microcontrôleur.

Arduino est peut être utilisé pour développer des applications matérielles industrielles légères ou des objets interactifs, et il peut recevoir en entrées une très grande variété de capteurs. Les projets Arduino peuvent être autonomes, ou communiquer avec des logiciels sur un ordinateur (Flash, Processing ou MaxMSP, Labview). Les cartes électroniques peuvent être fabriquées manuellement ou bien être achetées pré assemblées, le logiciel de développement open-source est téléchargé gratuitement [34].

La programmation de la carte Arduino présente les principales fonctionnalités de l'interface de l'application Arduino. L'application Arduino vous permet de créer et éditer un programme (appelé sketch) qui sera compilé puis téléversé sur la carte Arduino. Ainsi, lorsque vous apportez des changements sur le code, ces changements ne seront effectifs qu'une fois le programme télésversé sur la carte.

III.4.1. présentation et caractéristiques du module Arduino Uno

III.4.1.1. Présentation

La carte Arduino Uno, prêtée est une carte à microcontrôleur basée sur un Atmega328p. Cette carte dispose :

- Broches numériques d'entrées/sorties,
- Entrées analogiques,
- Quatre UART (port série matériel),
- Quartz 16Mhz,
- Connexion USB,
- Connecteur d'alimentation jack,
- Connecteur ICSP,
- Bouton de réinitialisation.

Elle 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 est fournie par le port USB).

La carte Arduino Uno dispose de toute une série de facilités pour communiquer avec un ordinateur, une autre carte Arduino, ou avec d'autres microcontrôleurs. L'Arduino Uno se dispose de quatre UARTs (Universal Asynchrones Receiver Transmitter ou émetteur-récepteur asynchrone universel en français) pour une communication en série de niveau TTL (5V) et qui est disponible sur les broches 0 (RX) et 1 (TX). Un circuit intégré Atmega16U2 sur la carte assure la connexion entre cette communication série de l'un des ports série de l'Atmega Uno 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 p as nécessaire [35].

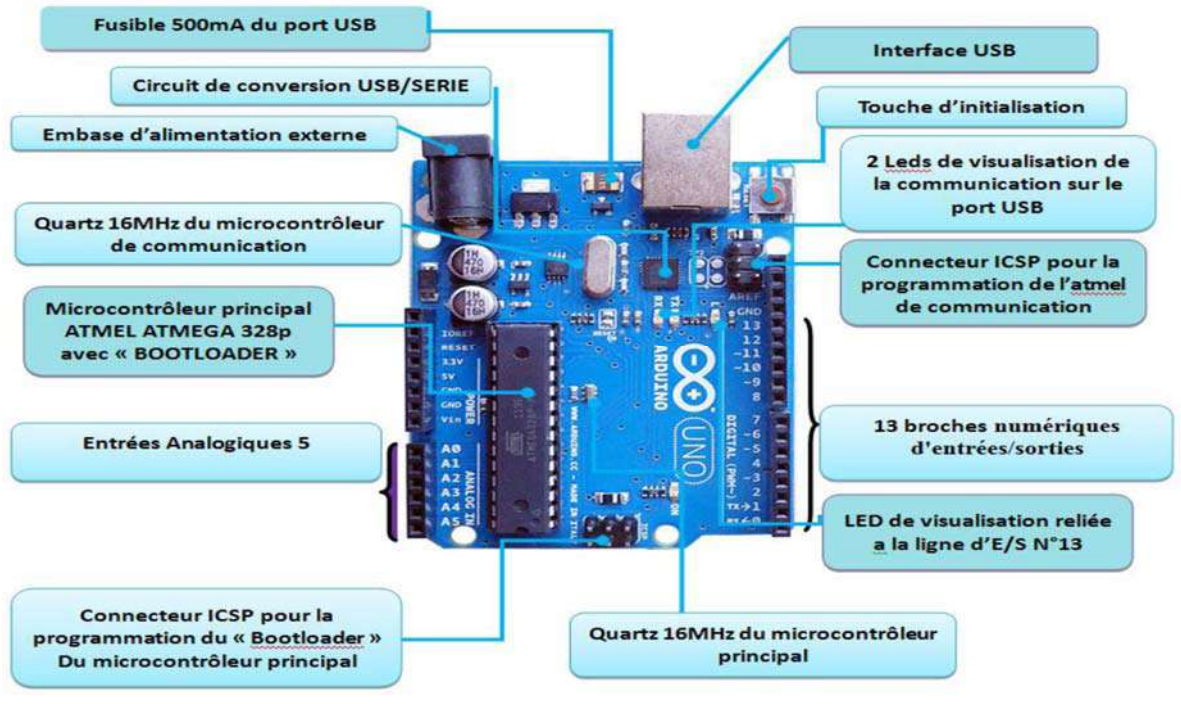


Figure III.12 : Module ARDUINO ATMEL UNO [36].

III.4.1.2. Synthèse des caractéristiques

Le tableau qui suit (tableau III.1) montre la synthèse des caractéristiques :

Tableau III.1 : Synthèse des caractéristiques

Microcontrôleur	ATmega328
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12V
Tension d'alimentation (limites)	6-20V
Broches E/S numériques	14 (dont 6 disposent d'une sortie PWM)
Broches d'entrées analogiques	6 (utilisables en broches E/S numériques)
Intensité maxi disponible par broche E/S (5V)	40 mA (ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S)
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	32 KB (ATmega328) dont 0.5 KB sont utilisés par le bootloader
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	2 KB (ATmega328)
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	1 KB (ATmega328)
Vitesse d'horloge	16 MHz

III.4.2. Description matérielle

Un module Arduino est généralement construit autour d'un microcontrôleur famille ATMEGA en technologie CMOS sont des modèles à 8 bits AVR. En exécutant des instructions dans un cycle d'horloge simple, l'ATMEGA réalise des opérations s'approchent de 1 MIPS par 1 MHZ permettent de réaliser des systèmes à faible consommation électrique et simple au niveau électronique et des composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles) [37].

Le microcontrôleur est préprogrammé avec un bootloader de façon à ce qu'un programmateur dédié ne soit pas nécessaire. Mais les connexions permettent cette programmation différente selon les modèles. Les premiers Arduino possédaient un port série, puis l'USB est apparu sur les nouveaux modèles, tandis que certains modules destinés à une utilisation portable se sont affranchis de l'interface de programmation, relocalisée sur un module USB-série dédié (sous forme de carte ou de câble) **[**38].

III.4.2.1. Alimentation

La carte Arduino Uno 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 adapteur 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.Les broches d'alimentation sont les suivantes (figure III.7):

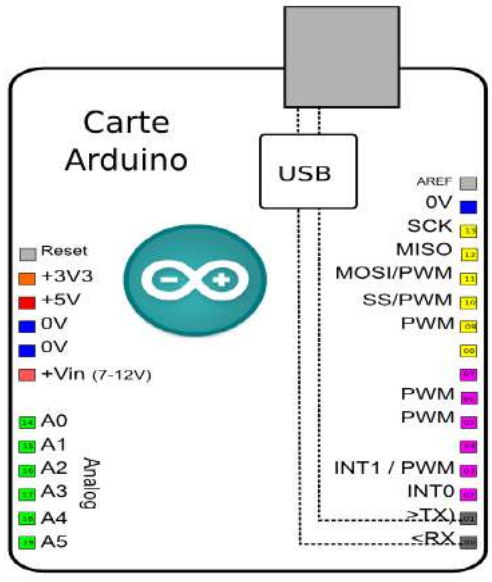


Figure III.13 : Brochage de la carte Uno

- **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 tout 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 certains 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) [38].

III.4.2.2. Mémoire

L'ATmega 328 a 32Ko de mémoire FLASH pour stocker le programme (dont 0.5Ko également utilisés par le bootloader). L'ATmega 328 a également 2ko de mémoire SRAM (volatile) et 1Ko d'EEPROM (non volatile - mémoire qui peut être lue à l'aide de la librairie EEPROM).

Pour info : Le bootloader est un programme préprogrammé une fois pour toute dans l'ATméga et qui permet la communication entre l'ATmega et le logiciel Arduino via le port USB, notamment lors de chaque programmation de la carte.

III.4.2.3. Entrées et sorties numériques

Chacune des 14 broches numériques de la carte UNO (numérotées des 0 à 13) 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).De plus, certaines broches ont des fonctions spécialisées :

- **Communication Serie**: Broches 0 (RX) et 1 (TX). Utilisées pour recevoir (RX) et transmettre (TX) les données séries de niveau TTL. Ces broches sont connectées aux broches correspondantes du circuit intégré ATmega8U2 programmé en convertisseur USB-vers-série de la carte, composant qui assure l'interface entre les niveaux TTL et le port USB de l'ordinateur.
- **Interruptions Externes**: Broches 2 et 3. Ces broches peuvent être configurées pour déclencher une interruption sur une valeur basse, sur un front montant ou descendant, ou sur un changement de valeur. Voir l'instruction attachInterrupt() pour plus de détails.

- **Impulsion PWM (largeur d'impulsion modulée)**: Broches 3, 5, 6, 9, 10, et 11. Fournissent une impulsion PWM 8-bits à l'aide de l'instruction analogWrite().
- **SPI (Interface Série Périphérique)**: Broches 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Ces broches supportent la communication SPI (Interface Série Périphérique) disponible avec la librairie pour communication SPI. Les broches SPI sont également connectées sur le connecteur ICSP qui est mécaniquement compatible avec les cartes Mega.
- **I2C**: Broches 4 (SDA) et 5 (SCL). Supportent les communications de protocole I2C (ou interface TWI (Two Wire Interface - Interface "2 fils"), disponible en utilisant la librairie Wire/I2C (ou TWI - Two-Wire interface - interface "2 fils") .
- **LED**: Broche 13. Il y a une LED incluse dans la carte connectée à la broche 13. Lorsque la broche est au niveau HAUT, la LED est allumée, lorsque la broche est au niveau BAS, la LED est éteinte [36].

III.4.2.4. Broches analogiques

La carte Uno dispose de 6 entrées analogiques (numérotées de 0 à 5), 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 : elles sont numérotées en tant que broches numériques de 14 à 19.

- Il y a deux autres broches disponibles sur la carte :

- **AREF** : Tension de référence pour les entrées analogiques (si différent du 5V). Utilisée avec l'instruction analogReference().
- **Reset** : Mettre cette broche au niveau BAS entraîne la réinitialisation (= le redémarrage) du microcontrôleur. Typiquement, cette broche est utilisée pour ajouter un bouton de réinitialisation sur le circuit qui bloque celui présent sur la carte.

III.4.2.5. Leds externes

Les cartes standards sont généralement équipées de quatre leds.

- **Vert :** Alimentation 5v
- **Jaune Tx :** Commandée par l'interface USB, transmission au PC

- **Jaune Rx** : réception du PC
- **Jaune :** Utilisateur, généralement connectée à la sortie digitale 13 [7].

III.4.3. Description logicielle

III.4.3.1. Communication

La carte Arduino Uno dispose de toute une série de facilités pour communiquer avec un ordinateur, une autre carte Arduino, ou avec d'autres microcontrôleurs. L'ATmega 328 dispose d'une UART (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 vers le port USB de l'ordinateur et 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 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.

L'ATmega 328 supporte également la communication par protocole I2C (ou interface TWI (Two Wire Interface - Interface "2 fils") et SPI :

- Le logiciel Arduino inclut la librairie Wire qui simplifie l'utilisation du bus I2C.
- Pour utiliser la communication SPI (Interface Série Périphérique), la librairie pour communication SPI est disponible [35].

III.4.3.2. Programmation

La carte Arduino Uno peut être programmée avec le logiciel. Il suffit de sélectionner "Arduino Uno" dans le menu **Tools > Board** (en fonction du microcontrôleur présent sur votre carte). Pour plus de détails sur le langage Arduino, voir la référence du langage Arduino et pour apprendre à programmer en langage Arduino voir la page Apprendre.

Le microcontrôleur ATmega328 présent sur la carte Arduino Uno est livré avec un bootloader (petit programme de démarrage) préprogrammé qui vous permet de transférer le nouveau programme dans le microcontrôleur sans avoir à utiliser un matériel de programmation externe. Ce bootloader communique avec le microcontrôleur en utilisant le protocol original STK500 (reference, fichiers C).

Vous pouvez bien sûr passer outre le bootloader et programmer le microcontrôleur via le connecteur ICSP (In-Circuit Serial Programming - "Programmation Série Dans le circuit" en français); voir ces instructions (en anglais) pour plus de détails.

La source du code pour le circuit intégré ATmega8U2 est disponible. L'ATmega8U2 est chargé avec un bootloader DFU qui peut être activé en connectant le cavalier au dos de la carte (près de la carte de l'Italie) et en réinitialisant le 8U2. Vous pouvez alors utiliser le logiciel FLIP de chez Atmel (Windows) ou le programmeur DFU (Mac OS X et Linux) pour charger le nouveau code. Ou bien vous pouvez utiliser le connecteur ICSP avec un programmateur externe (pour réécrire le bootloader DFU).

III.4.3.3. Caractéristiques Mécaniques

Les longueurs et largeurs maximales de la Uno sont respectivement 6.86 cm et 5.33 cm, avec le connecteur USB et le connecteur d'alimentation Jack s'étendant au-delà des dimensions de la carte. Quatre trous de vis permettent à la carte d'être fixée sur une surface ou dans un boîtier. Noter que la distance entre les broches 7 et 8 est de 0.16 pouces, et non un multiple des 0.1 pouces séparant les autres broches [25].

III.5. Conclusion

Ce chapitre est un portail pour notre réalisation et conception matérielle. Ce travail nous a permis de maîtriser les options de notre carte arduino Uno avec circuit de commande et ses caractéristiques afin de les exploiter d’une manière correcte. Nous avons présenté également des principes et des fonctions différentes de la programmation dédiée à la carte Arduino Uno, le plus populaire et le plus célèbre de la gamme. Une brève description, ainsi qu'une figure montrant l’interconnexion des autres composants qui permettent de mener et apprendre plus traiter de multiples techniques et périphériques entrées numériques et analogiques. Nous avons sélectionné la carte Arduino Uno pour son aspect économique, sa popularité et sa puissance de traitement.

Ce chapitre relève ainsi une utilité majeure pour ce qui suit puisqu’il détaille des notions exploitées au sein de la partie réalisation de notre projet.

Chapitre IV :

Réalisation d’un suiveur solaire

IV.1. Introduction

Un suiveur solaire est une installation solaire qui se base sur le principe du tournesol. Il suit le soleil du lever au cocher, Dans ce chapitre, nous présentons pas à pas les étapes de conception et réalisation d'un suiveur solaire commandé par la carte Arduino Uno.

Après avoir décrit la partie matérielle de notre système, nous sommes arrivés à la partie la plus importante de notre mémoire qui est la conception et la réalisation du système de poursuite. Notre réalisation se décompose en trois parties principales :

- Partie électrique ;
- Partie mécanique ;
- Partie programmation.

Donc, le bon fonctionnement de notre système se base essentiellement sur l'ensemble de ces parties.

Cahier de charge :

On va réalisé un suiveur solaire de deux axes contrôlé par un Arduino Uno et nous allons utiliser une méthode pour suivir la rotation en deux axes et qui ce fait par deux moteur pas à pas, un moteur unipolaire 55SI-25DAwc pour actionner l'axe de l'élévation avec 48 pas/tour et moteur pas à pas hybride 4T5618X1106 pour actionner l'axe de l'azimut avec 200 pas/tour avec un source de tension.

IV.2. Partie électrique

On a ensuite réalisé notre montage électrique sur la plaque d'essai par les étapes suivantes :

- **Etape 1 :**

  Il existe différentes sortes et tailles de plaques d'expérimentation, mais le principe d'utilisation reste le même dans tous les cas, On a utilisé une plaque prototype pour le circuit imprimé 5cm/7cm déjà avec des trous, on place des composants électroniques.

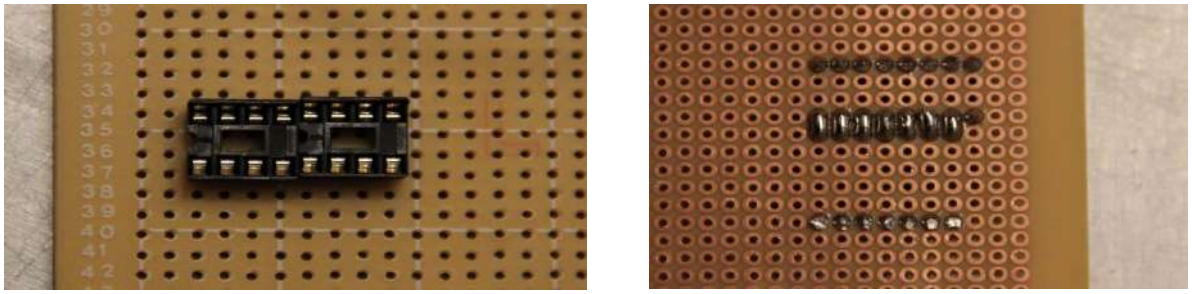


Figure IV.1 : Soudage des supports pour ULN2803.

Dans certains des trous présents, on les soude, puis on relie entre les pattes des composants qui doivent l'être.

On a utilisé aussi des supports pour les circuits intégrés pour faciliter le montage ou démontage, en cas de changement (Figure IV.2).

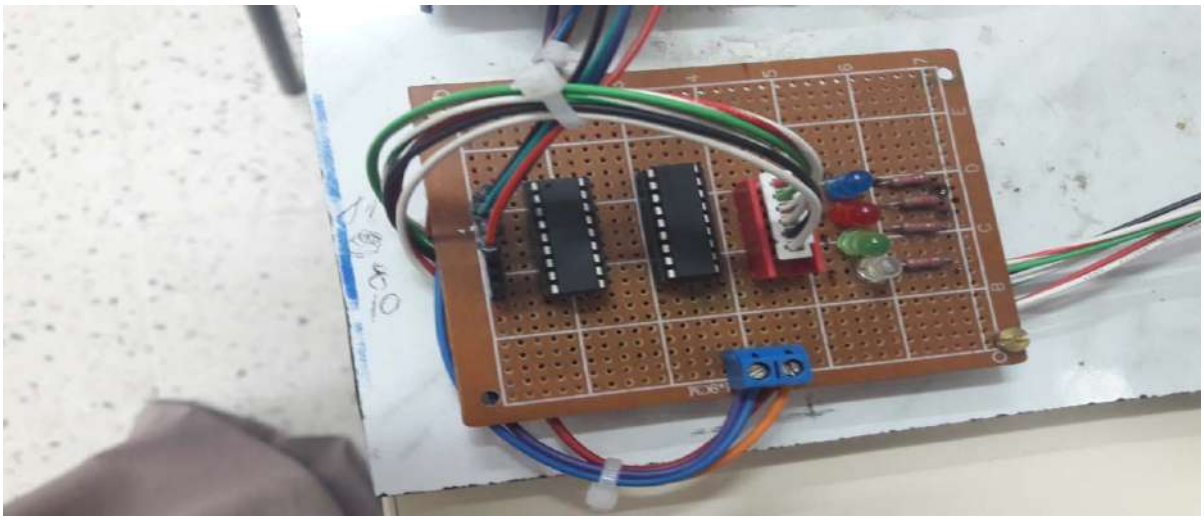


Figure IV.2 : La carte de commande du moteur pas à pas.

- **Etape 2 :**

Nous avons réalisé cet essai en premier lieu en utilisant quatre leds colorées (chaque led indique et représente une direction de rotation des deux moteurs) pour tester la connexion entre les capteurs et les actionneurs (les signaux reçus des capteurs vers l'aduino pour les traiter et voir leur effet sur les actionneurs (les moteurs) (figure IV.3).

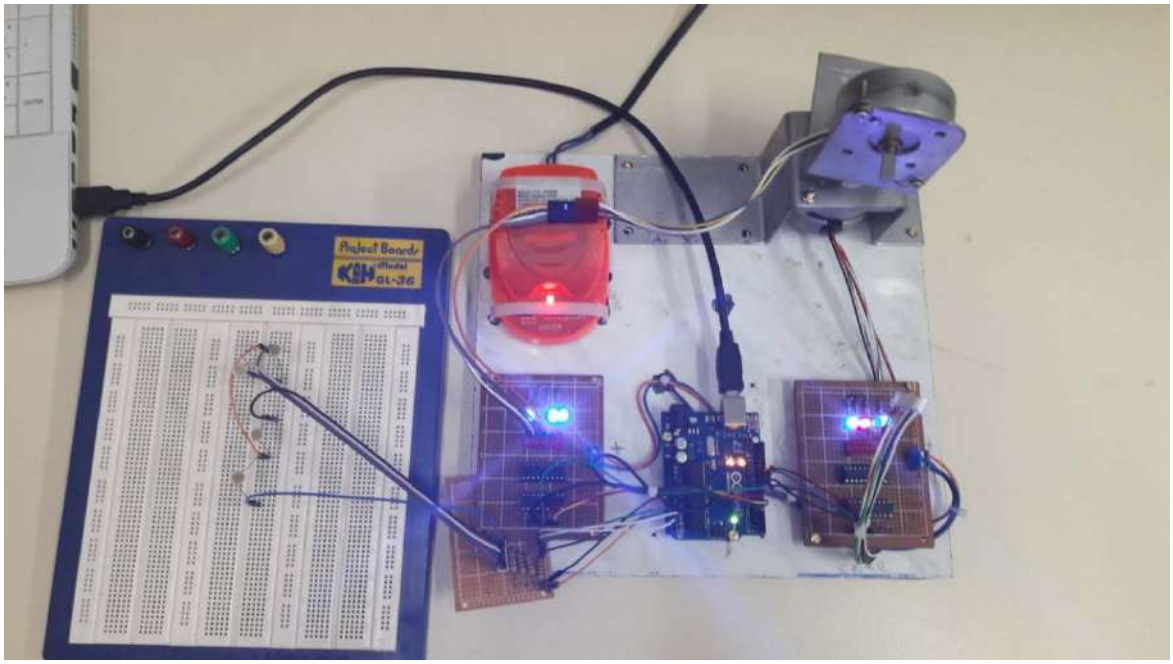


Figure IV.3 : Réalisation en utilisant les LDRs.

- **Etape 3 :**

Pour le fonctionnement de notre model, nous avons placé les capteurs dans chaque position, pour cela, on à utiliser une fiche cartonné de forme plus (+) pré-calculée, afin d'isoler les capteurs et pour couvrir toutes les directions et avoir une meilleurs précision (figure IV.4).

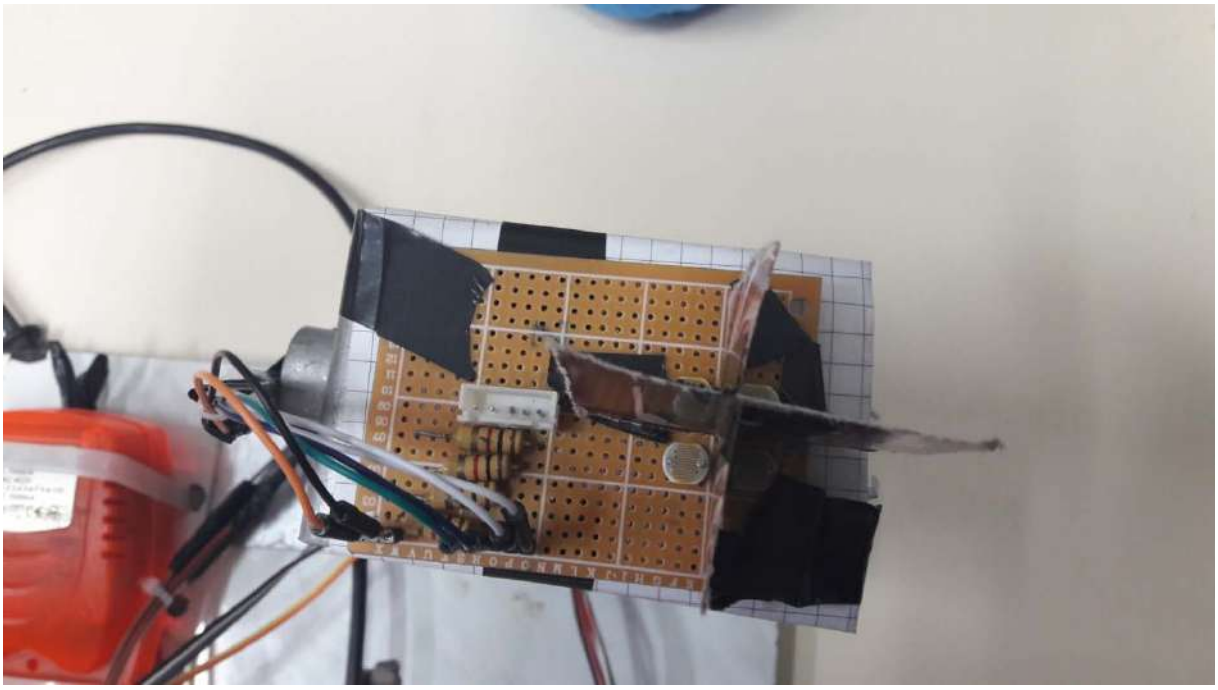


Figure IV.4 : Schéma du prototype des capteurs.

- **Etape 4 :**

Comme une autre technique on a aussi utilisé un 2éme type de capteurs lumineux qui sont des photos-cellules inclinées en forme pyramide (figure IV.5).

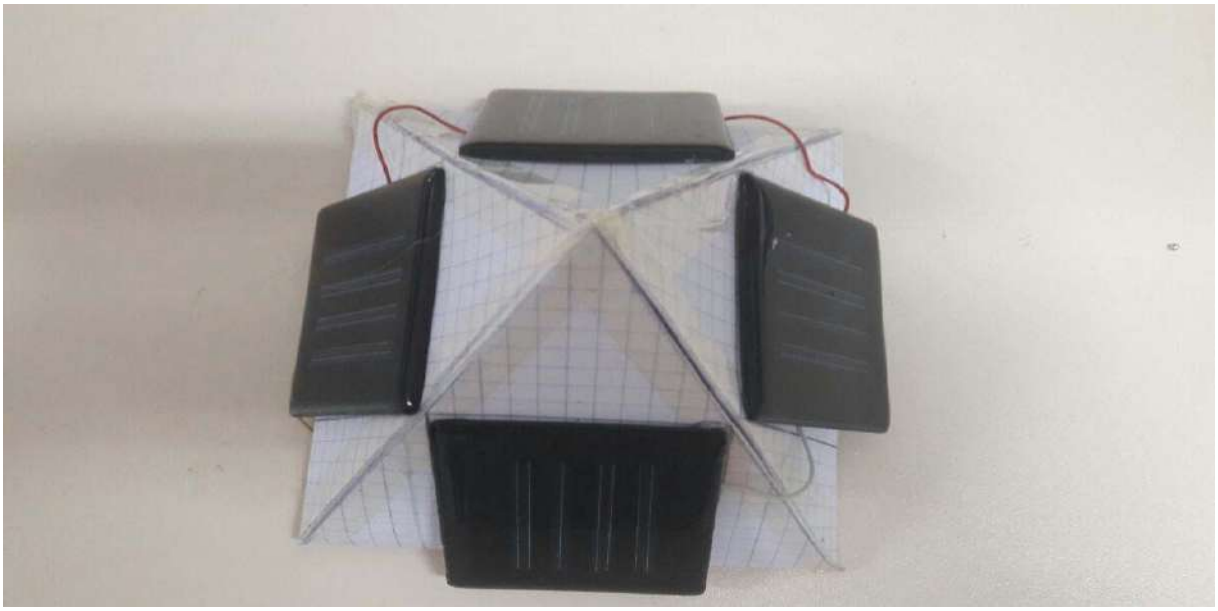


Figure IV.5 : Schéma de câblage des photos-cellules en forme pyramide.

IV.3. Partie mécanique

Notre structure mécanique est constituée de deux parties mobiles. Une partie sur l'axe d'horizontal pour la variation d'élévation du panneau par rapport au soleil et l'autre partie sur l'axe vertical pour la variation d'azimut du panneau (figure IV.6).

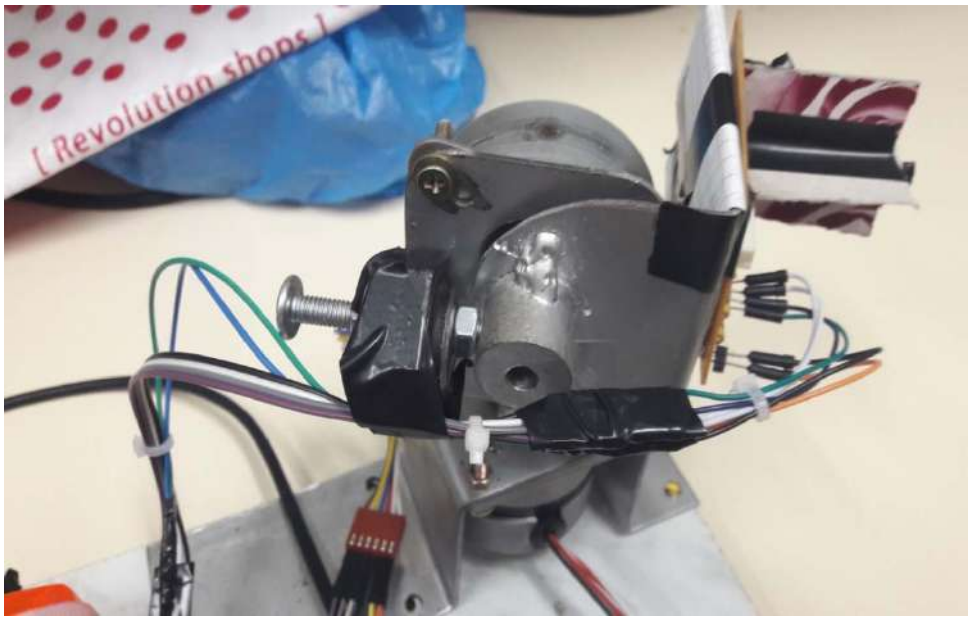


Figure IV.6 : Schéma de fonctionnent de suiveur solaire

IV.4. Orientation de l'axe horizontal (élévation) et l'axe vertical (azimut)

Les deux moteurs utilisés sont à courant continue bidirectionnelle, l'un nous servira pour le déplacement azimutal et l'autre pour l'élévation. Les moteurs sont réglables se qui signifie qu'ils sont contrôlés par le programme d'Arduino après comparaison des tensions. Ce dernier leur ordonnera le sens, la direction du déplacement à effectuer pour trouver la position du rayonnement maximal et assurera la poursuite du point maximum. Une fois ce point est atteint les moteurs seront arrêtés.

IV.5. Validation expérimentale de notre suiveur

Comme on a mentionné précédemment, notre suiveur a été utilisé par les collègues Electrotechnicien, travail sous la direction de notre promoteur, pour améliorer le rendement d'un panneau solaire en comparant le mouvement du suiveur dans différentes positions, les résultats obtenus étaient extraordinaires où pour une journée de mesure (le 05/06/2017),

Le système que nous avons étudié et réalisé, tenait compte de la zone géographique où l'on était pour choisir son angle d'inclinaison, On prend notre ville MEDEA comme un lieu pour placer notre tracker ou suiveur solaire, le soleil entame une course d'Est en Ouest avec variation de sa hauteur par rapport à un point fixe dans ce lieu (figures IV.7 et IV.8).

Site géographique		**Médéa**	Pays	**Algeria**
Situation		Latitude 36.3°N	Longitude	2.8°E
Temps défini comme		Temps solaire	Altitude	907 m
Horizon		Hauteur moyenne 0.0°	Facteur sur diffus	1.00
		Facteur sur albédo 100 %	Fraction d'albédo	1.00

Hauteur [°]	0.0	0.0	0.0	0.0
Azimut [°]	-120	-40	40	120

Source : PVsys

Figure IV.7 : Les coordonnées géographiques de site MEDEA

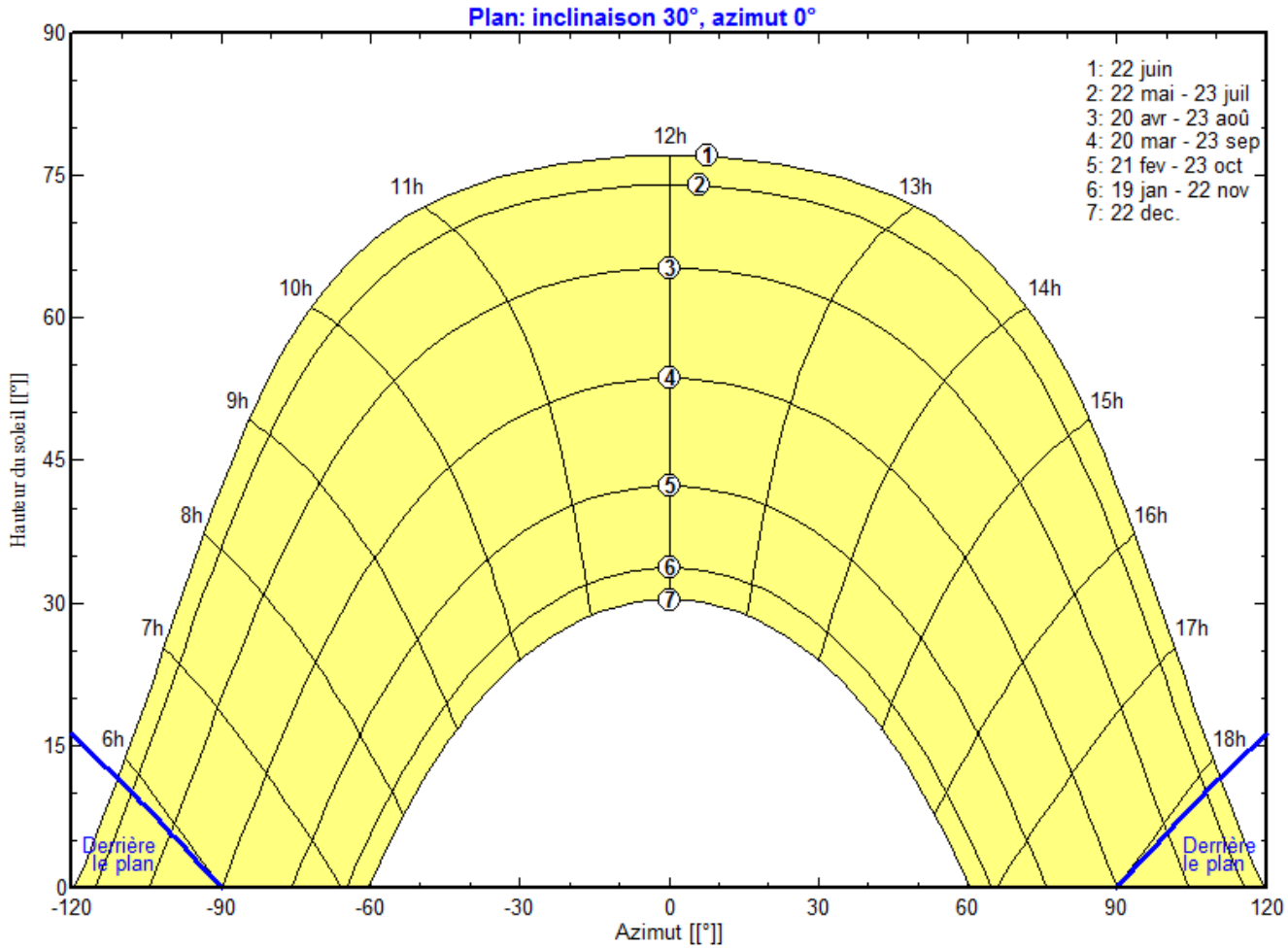


Figure IV.8 : Trajectoire du soleil de site MEDEA. [*PVsys*].

IV. 6. Croquer du montage

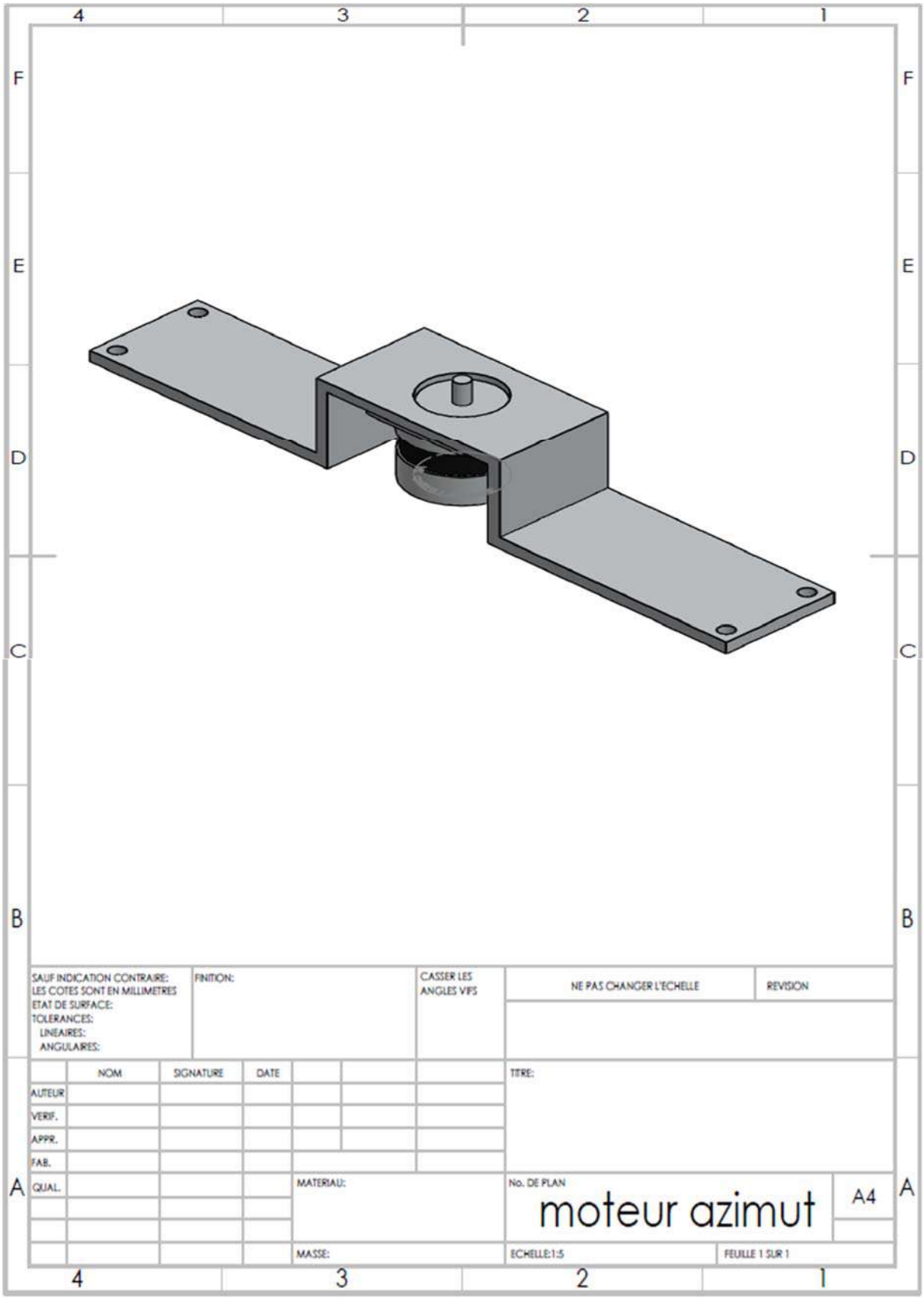


Figure IV.9 : Croquer du moteur Azimut dessiné sur Solidworks.

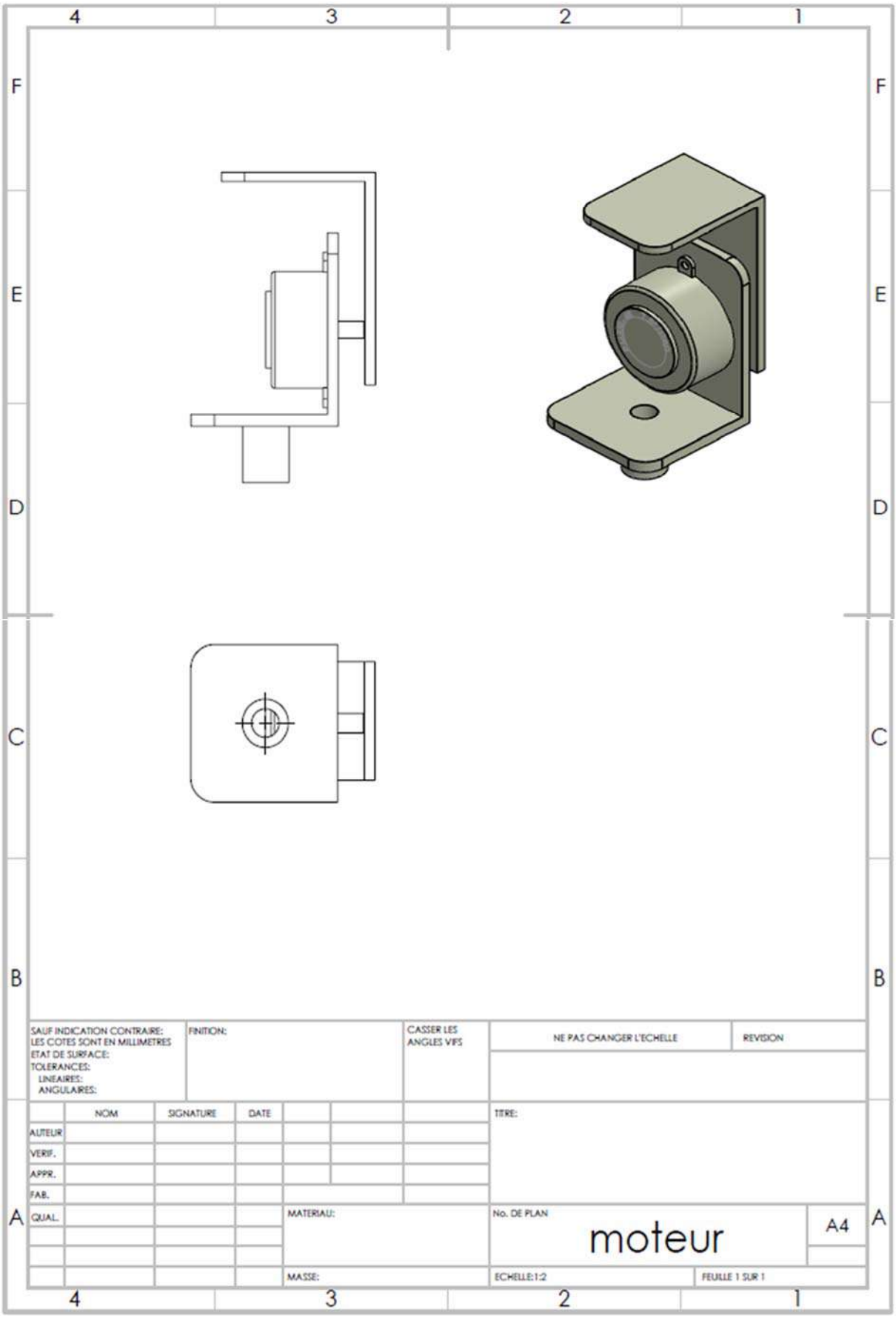


Figure IV.10 : Croquer du moteur de l'axe de l'élévation dssiné sur Solidworks.

IV.7. Câblage de fonctionnement d'un suiveur solaire contrôlé par un Arduino

Chacune des broches E / S numériques sur l'Arduino peut être une entrée Sink absorbe le courant provenant du capteur ou une entrée Source débite le courant dans le capteur de 40mA. Et en poussant l'Arduino a dépassé ces limites peut l'endommager, Si on a besoin d'obtenir un peu plus de puissance dans nos sorties le ULN2803 est un autre composant utile.

Ce circuit intégré s'appelle Darlington ULN2803 (figure IV.11), capable de faire circuler 500mA depuis une alimentation 50V et intègre des diodes anti-retour aussi appelée diode en roue libre, ce qui permet de piloter des bobinages. Cela permet au petit microcontrôleur (ou micro-ordinateur) de contrôler facilement des solénoïdes, relais, moteur continu (dans un seul sens) et moteurs pas-à-pas unipolaire. Les entrées peuvent être pilotées en logique 3.3V ou 5V.

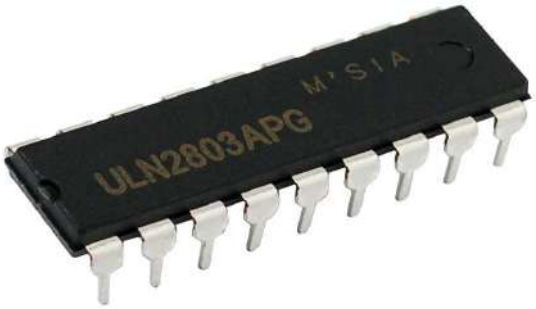


Figure IV.11 : Darlington ULN2803

On va commander deux moteurs pas à pas de 1000mA donc on a besoin de 2 circuit intégrer ULN2803 pour avoir ce courant. On utilisant aussi les LED à la sortie de chaque bobine de moteurs pas a pas pour voir les séquences d'excitation des bobines, le schéma suivant explique l'emplacement de chaque composant (figure IV.12) :

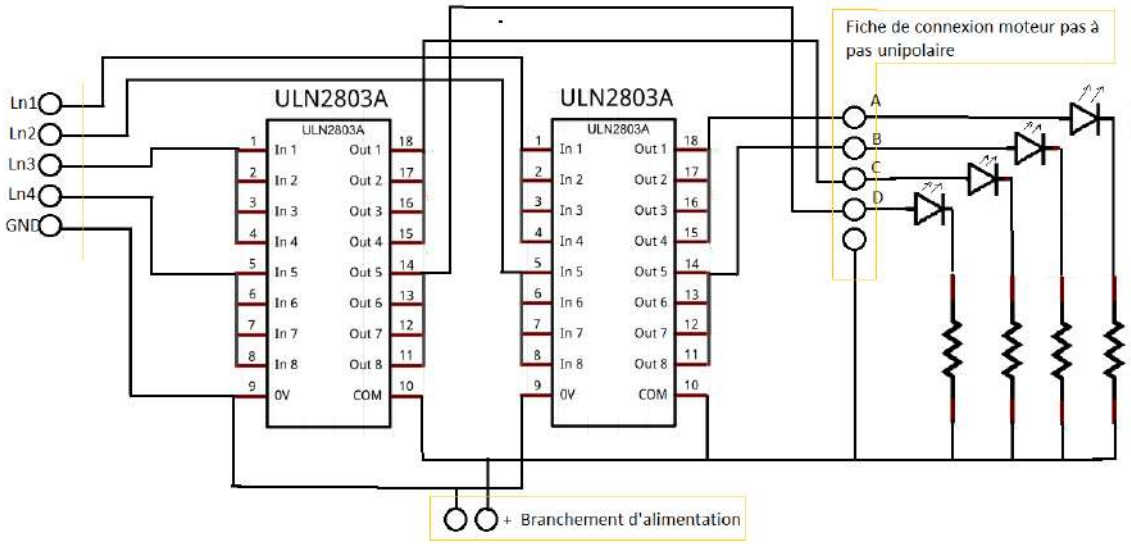


Figure IV.12 : Carte de commande de moteur pas à pas unipolaire

Il existe différentes sortes et tailles de plaques d'expérimentation, mais le principe d'utilisation reste le même dans tous les cas, On a utilisé une plaque prototype pour circuit imprimé 5cm/7cm déjà avec des trous, on place des composants électroniques dans certains des trous présents, on les soude, puis on relie entre elles les pattes des composants qui doivent l'être (figure IV.13).

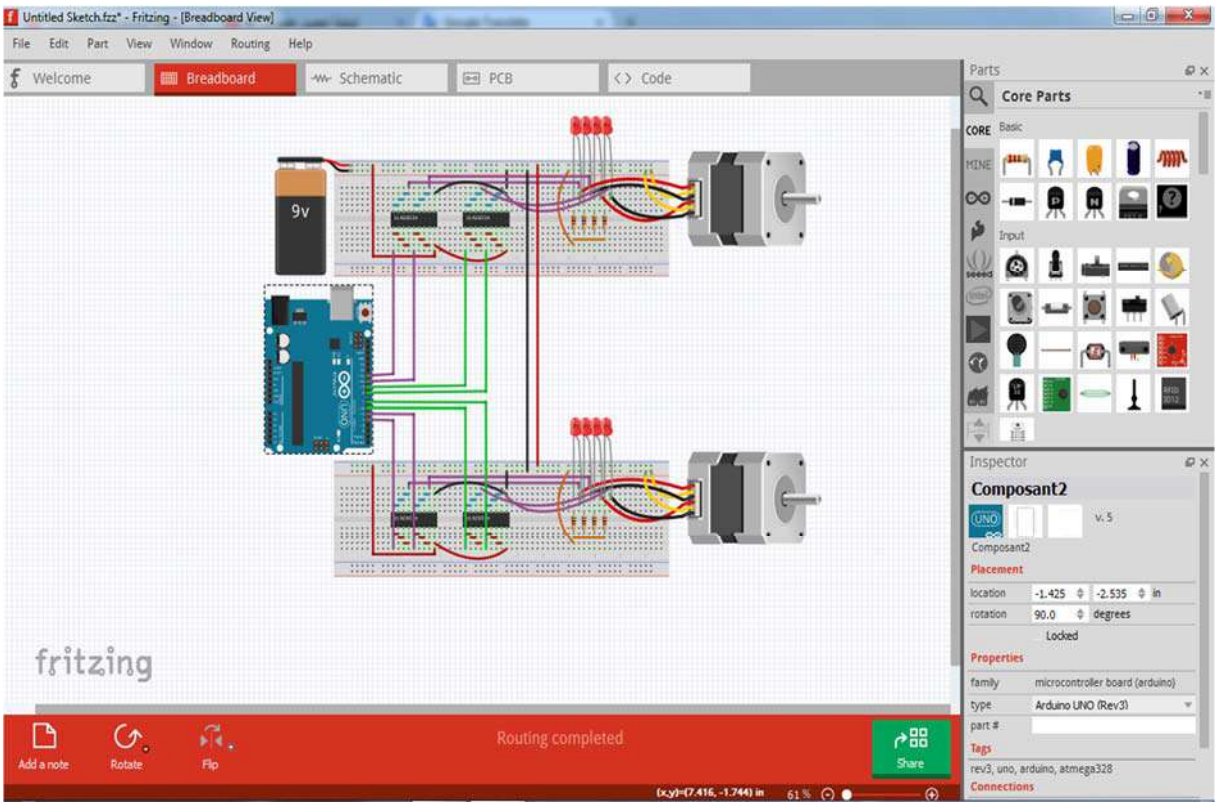


Figure IV.13 : prototypage de la carte de commande avec Fritzing.

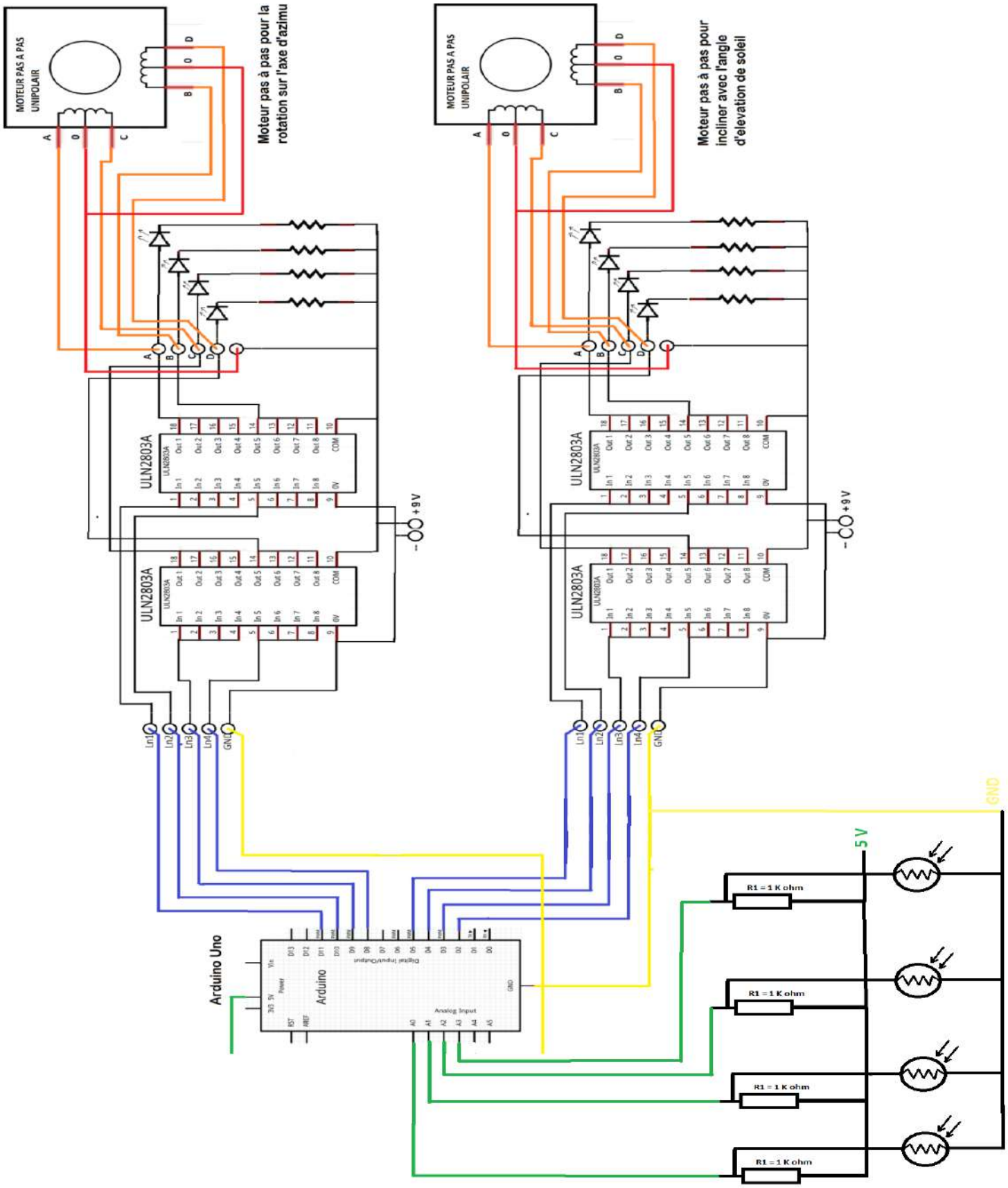


Figure IV.14 : Schéma électrique de commande d'un suiveur solaire à deux axes de rotation par une carte Arduino UNO.

IV.8. Partie programmation

IV.8.1. L'organigramme

Avant de passer à la programmation, nous devons réaliser un organigramme qui explique le déroulement des différentes séquences, tant intérieures qu'extérieures (Figure IV.1), il comportera plusieurs boucles dont la fin d'exécution succède toujours à son commencement.

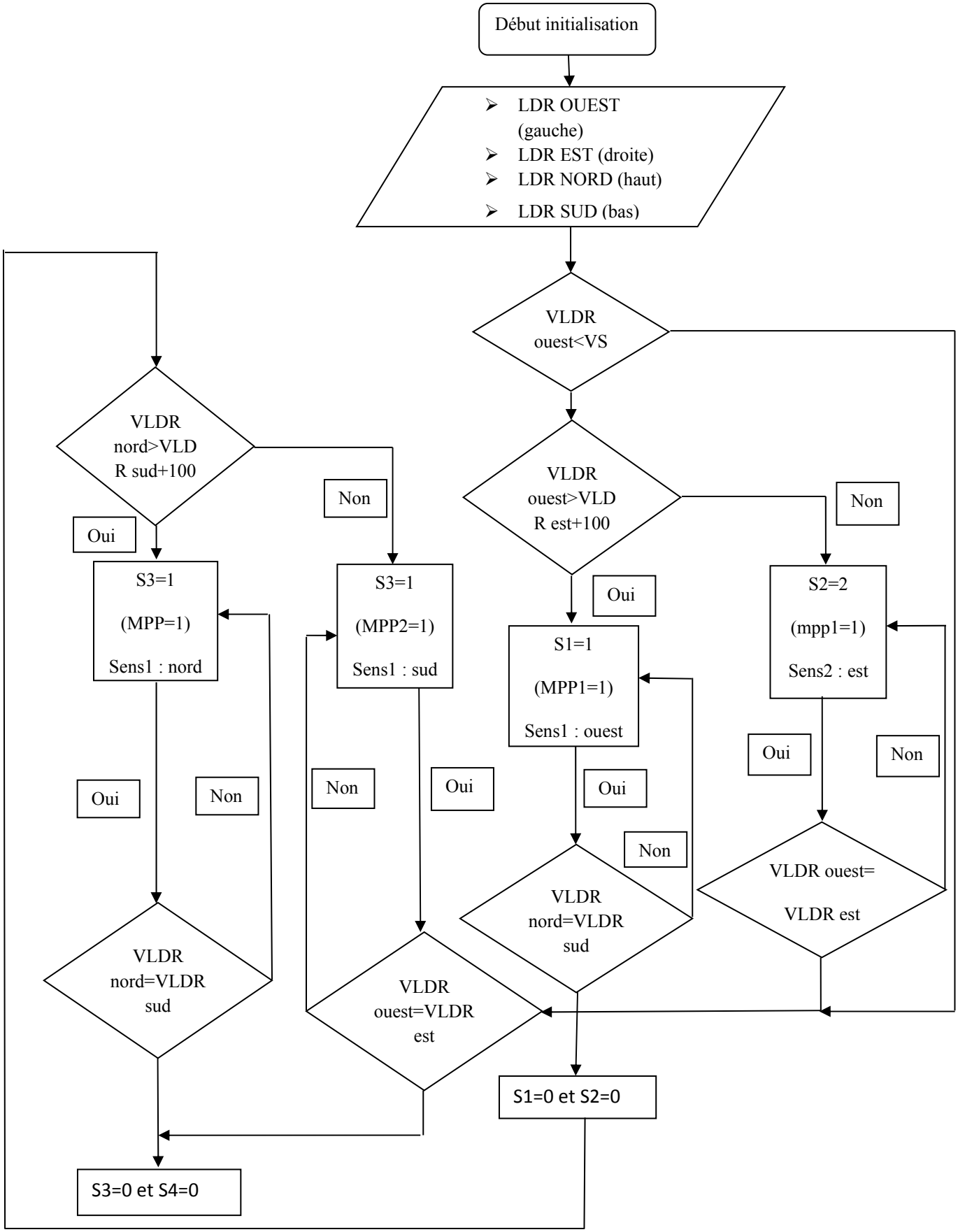


Figure IV.15 : L'organigramme de suiveur solaire à double axe

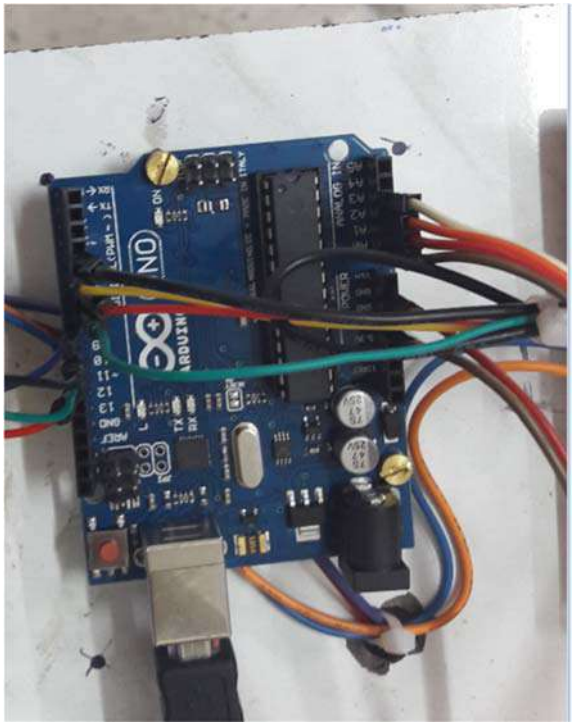
IV.8.2 Programmation

La carte Arduino uno est une carte programmable, elle peut être programmée avec le logiciel Arduino représenté dans la figure (IV.2).

```
#include <Stepper.h>
int Vldr1;
int Vldr2;
int Vldr3;
int Vldr4;
int a1,a0;
int a2,a3;
const int stepsPerRevolution1 = 200;
const int stepsPerRevolution2 = 48;
Stepper myStepper1(stepsPerRevolution1, 8, 9, 10, 11);//moteur attitude
Stepper myStepper2(stepsPerRevolution2, 4, 5, 6, 7);//moteur azumit
// the setup routine runs once when you press reset:
void setup() {
int Vldr1 = analogRead(A0)-1023;
int  Vldr2 = analogRead(A1)-1023;
int Vldr3 = analogRead(A2)-1023;
Vldr4 = analogRead(A3)-1023;
// afficher les valeurs a lire :
Serial.print("LDR1=  ");
Serial.println(Vldr1);
Serial.print("LDR2=  ");
Serial.println(Vldr2);
Serial.print("LDR3=  ");
Serial.println(Vldr3);
Serial.print("LDR4=  ");
Serial.println(Vldr4);
Serial.println("----------");
if (Vldr3<Vldr1-100)
  myStepper1.step(1);
  Serial.print("LES PAS A OUEST:");
```

```
if (Vldr3>Vldr1+100)
  myStepper1.step(-1);
  Serial.print("LES PAS A EST:");
if (Vldr3=Vldr1)
  myStepper1.step(0);
  Serial.print("MOTEUR 2 ARRETE:");
if (Vldr2>Vldr1+100)
  myStepper2.step(-1);
  Serial.print("LES PAS A HAUT:");
if (Vldr2<Vldr1-100)
  myStepper2.step(1);
  Serial.print("LES PAS A BAS:");
if (Vldr2=Vldr1)
  myStepper2.step(0);
  Serial.print("MOTEUR 1 ARRETE:");
delay(100);        // delay in between reads for stability
  }
```





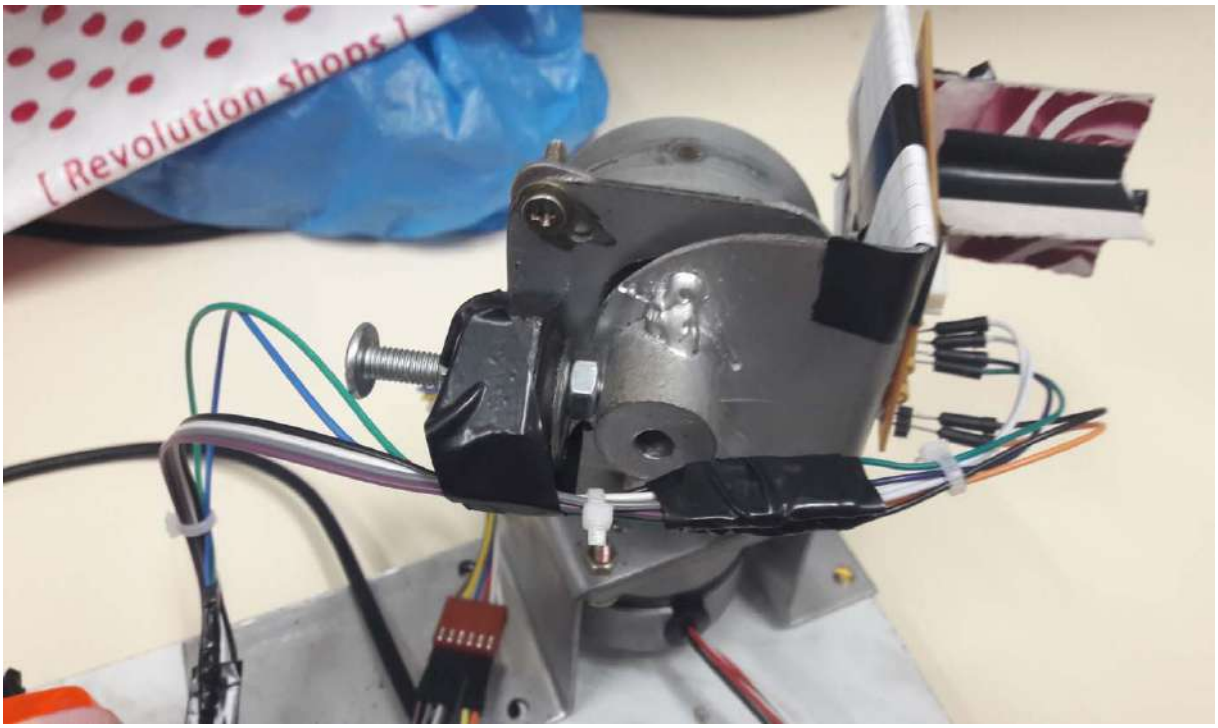


Figure IV.16 : les différents composants du suiveur solaire réalisés.

Son principe de fonctionnement est de s'orienter vers le Soleil tout au long de la journée, ce qui a pour effet d'augmenter la production d'énergie de manière substantielle, En effet, la position du soleil varie constamment, à la fois pendant la journée, mais aussi pendant les différentes périodes de l'année. Le suiveur solaire permet ainsi de placer au mieux le panneau par rapport au positionnement perpendiculaire au rayonnement du Soleil.

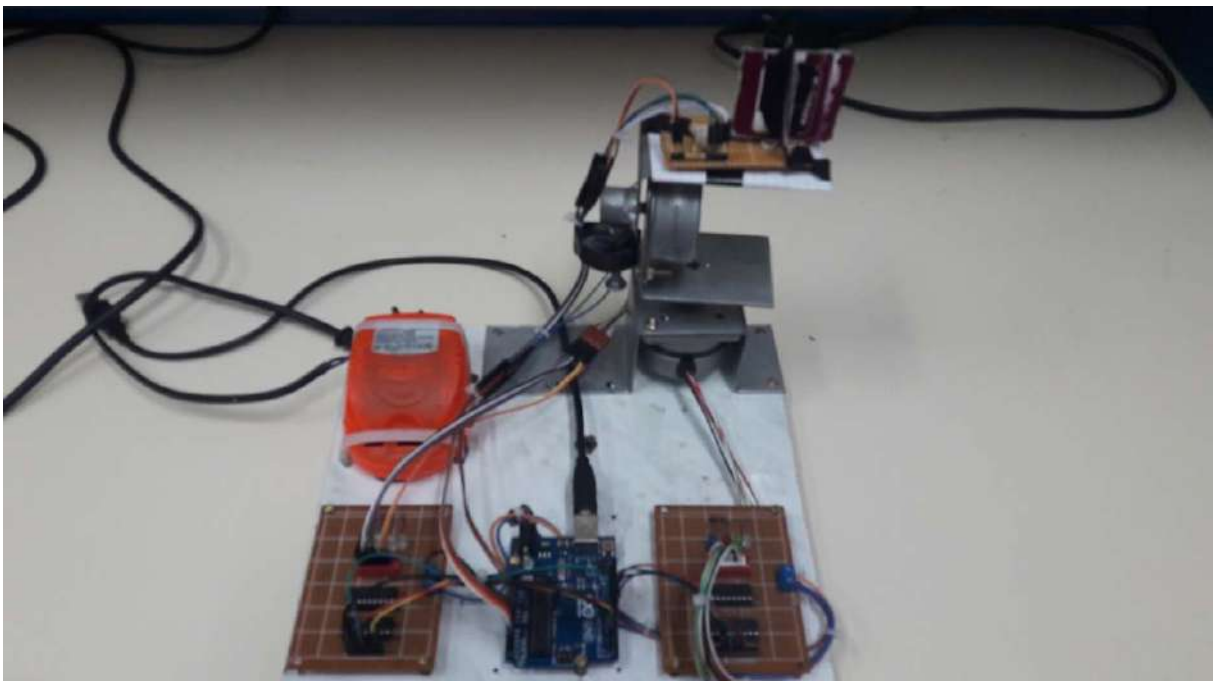


Figure IV.17 : Mécanisme global de notre réalisation.

IV.8. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté toutes les étapes de la réalisation de notre suiveur solaire et tous les composants utilisés et le programme qui suit la trajectoire du soleil avec précision, nous avons fait le travail sur trois domaines différents (mécanique, électronique et programmation), qui n'a pas été facile et malgré les difficultés que nous avons intercepté et la limitation de nos moyens pour faire des essaies de comparaison entre l'énergie produite par un panneau fixe et un panneau avec suiveur solaire, nous avons réalisé ce modeste projet.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce rapport porte sur « la Conception et la Réalisation d'un Suiveur Solaire Bi-axial à Base de capteurs de lumière » à l'aide des composants électroniques programmable gérés par un microcontrôleur (Arduino).

Le but de ce travail réside dans la mise en œuvre d'une solution technique permettant de transformer un panneau photovoltaïque fixe en un panneau mobile afin d'améliorer son rendement. Pour cela, le système que nous avons pu réaliser s'est avéré capable de suivre la position du soleil et fonctionnel aux environ de 100% ou avec quelques imperfections, malgré les problèmes rencontrés durant la réalisation, parmi lesquels nous citons :

- Les contraintes mécaniques
- La non disponibilité des soudeurs.
- Le prix des composants qui est un peu cher.
- Le manque des pièces électroniques.

Le but du projet était d'obtenir les résultats souhaités dans le temps imparti. Par conséquent, bon nombre des modifications applicables à la conception initiale. Cela montre que le système est un système expérimental et peut contenir de nombreux amendements. Notre instrument peut être utilisé dans toute application nécessitant la poursuite solaire notamment:

- Le séchage des produits agriculturals.
- Le photovoltaïque.

Une de ces applications (Le photovoltaïque) a été réaliser par nos collègues électrotechniciens. Les résultats ont été extraordinaires ce qui à donné une valeur à notre travail.

Ce projet de fin d'études était pour nous l'occasion précieuse de faire un travail multidisciplinaire, associant l'instrumentation, l'électronique, l'automatique, la mécanique, la programmation et les énergies renouvelables.

En perspective, on souhaite améliorer notre projet en lui ajoutant des systèmes de protection contre le changement brusque du climat et le rendre autonome.

BIBLIOGRAPHIE

[1] Stéphane PETIBON. « Nouvelles architectures distribuées de gestion et de conversion de l'énergie pour les applications photovoltaïques ». Doctorat en Génie Electrique. L'université de Toulouse 2009.

[2] Www.énergierenouvlable.com.

[3] « Analyse des pertes thermiques », Magister, 2012.

[4] Benbouza Naima. « Etude du rayonnement solaire dans la région de Batna ». Magister en Electrotechnique. Batna 2008.

[5] www.tiens-lunivers.fr/soleil html

[6] Khodran Ismail « Etude d'un système de poursuite solaire pour les panneaux photovoltaïques » 2014.

[7] BOUZIANE RABEH, DOKKAR AYOUB. « Conception et Réalisation d'un Suiveur Solaire Bi-axial à Base De capteurs de lumière ». Ouargla, 2016.

[8] Yazid Ali. « Optimisation des cellules solaires conventionnelles à base de silicium de type N ». Université de Tlemcen, 2011.

[9] G. Notton, I. Caluianu, Revue des Energies Renouvelables, « Influence d'un ombrage partiel sur la production électrique d'un module photovoltaïque en silicium monocristallin », Vol.13, N°1, P (49 – 62)], 2010.

[10] Benahmed Benabdellah Nadia. « Propriétés physiques des semi-conducteurs (Si monocristallin et Ge) et Simulation des cellules solaires à base de Si et SiGe) ». Magister, 2006.

[11] Abdelkader Morsli, « Cours d'Energie Solaire et Eolienne (Master1) », Université de Médéa, 2013/2014.

[12] www.photovoltaique.info

[13] « Optimisation des Systèmes Photovoltaïques Connectés au Réseau par la Logique Floue », Magister.

[14] Yusie Rizala, Sunu Hasta Wibowoa, Feriyadi. « Application of solar position algorithm for sun- tracking system », International Conference on Sustainable Energy Engineering and Application ELSEVIER Energy Procedia, 2013.

[15] Meloudi Laila. « Etude et Simulation de la poursuite de la trajectoire du soleil par un panneau solaire», Magister, Université de boumerdas, 2012.

[16] M.D. Draou1, et B. Draoui, « Etude, conception et expérimentation d'un système de contrôle pour système suiveur de soleil » Universitaire de Béchar.

[17] Dr. Heiner Ryssel. « Optoelectronic detectors », Institute of Technology, India, 2010.
[18] R. Bernard. G. Menguy, M. Schwartz. « Le rayonnement solaire conversion thermique et applications ». Technique et documentation Lavoisier. 2ème édition 1980.
[19] Benmohammadi Zahra, « Etude,conception et réalisation d'une commande d'un tracker solaire (suiveur solaire) », Maroc, 2014.
[20] Michel Samoey, Marcq, sam.electroastro Le Club d'Astronomie de la Région Lilloise, en Baroeul, France, 2001.
[21] http://www.omega.com
[22] https://fr.scribd.com
[23] Bentaleb Mokhtar, Gasmi Elhadi, « Réalisation et commande d'une machine cnc à base des moteurs pas à pas », MASTER PROFESSIONNEL, 2016.
[24] Takashi Kenjo, Akira Sugawara, «stepping motors and their microprocessor controls ». Oxford University Press, London.
[25] http://www.positron-libre.com/electronique/moteur-pas-a-pas/sequence-commande moteur-pas-a-pas.php
[26] http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/deed.fr
[27] https://sites.google.com/a/umn.edu/me2011/
[28] Christophe Durand, Université Joseph Fourier,Polytech' Grenoble,Filière Informatique Industrielle et Instrumentation, 2009-2010.
[29] W.Durfee, www.me.umn.edu/courses/me2011/arduino/, 2011
[30] Livret Arduino en français par Jean-Noël Montagné, Centre de Ressources Art Sensitif, novembre 2006, sous licence CC, http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.5/deed.fr
[31] Le blog d'Eskimon,Hippolyte, Weisslinger (olyte), 2014
[32] Padiolleau Luc page « Microcontrôleur ». Stage novembre 2000.
[33] www.mon-club-elec.fr
[34] Christian Tavernier « Arduino Maitrise sa programmation et ses cartes d'interface (shield) », paris 2011, DUNOD
[35] http://www.ELECTRONIQUEPRATIQUE.com
[36] http://arduino.cc/en/Main/AruinoBoardMega2560
[37] www.reality.be/elo/labos2/files/AtMega32DocFr.pdf
[38] www.jp79dsfr.free.fr/_.../Elec%20_%20Arduino%20-%20Memo%20et%20condense.pdf

Annexe

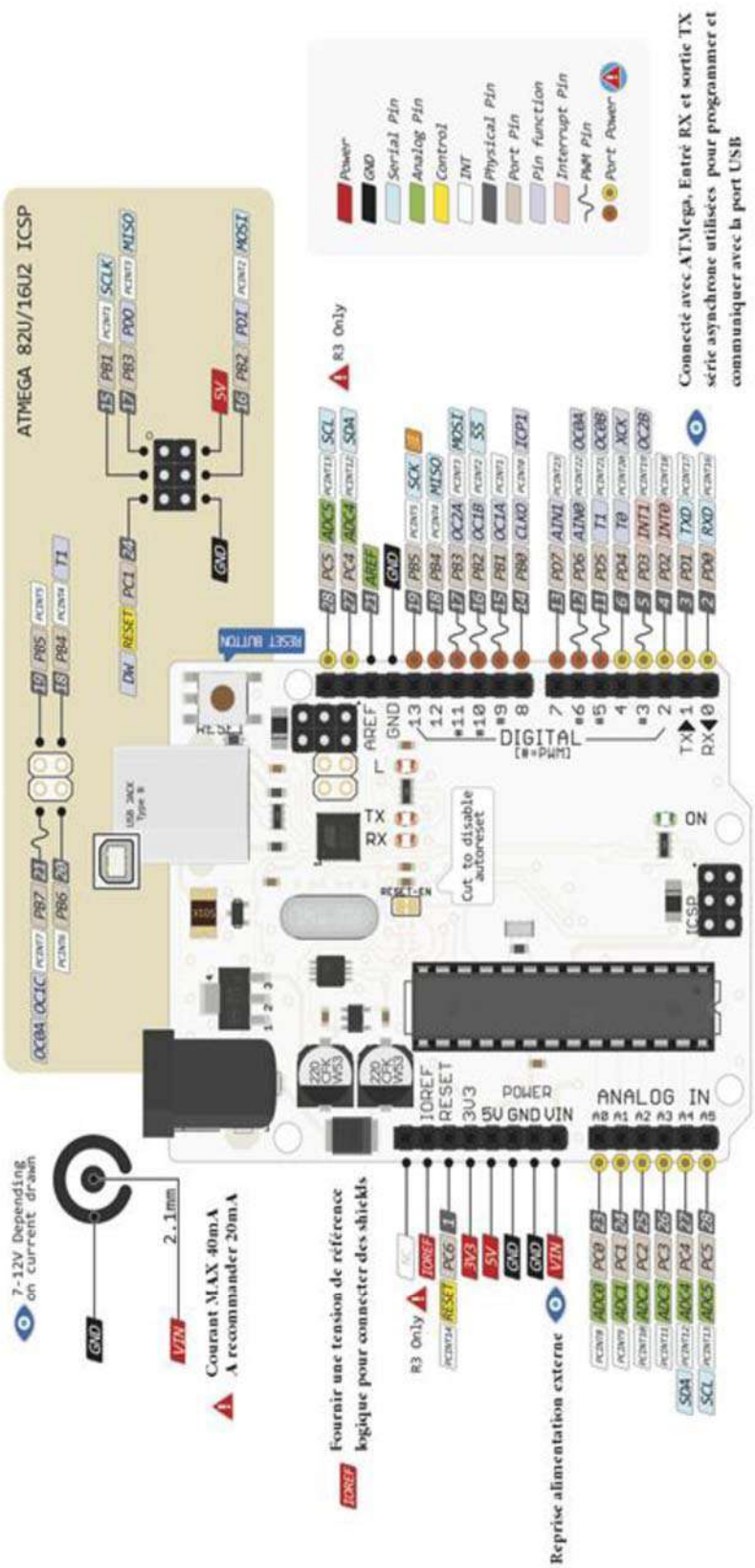
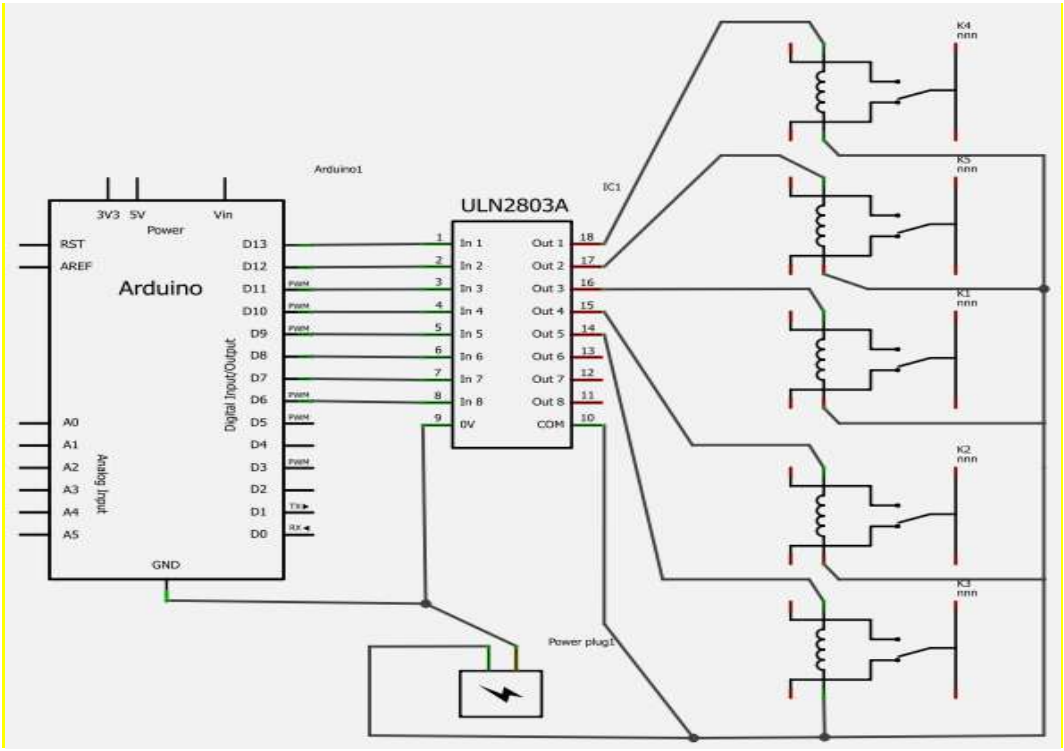


Figure II.8: Structure d'une carte Arduino UNO


Arduino1
Arduino
3V3
5V
Vin
Power
RST
AREF
D13
D12
D11
D10
D9
D8
D7
D6
D5
D4
D3
D2
D1
D0
PWM
Digital Input/Output
A0
A1
A2
A3
A4
A5
Analog Input
GND
ULN2803A
IC1
In 1
In 2
In 3
In 4
In 5
In 6
In 7
In 8
0V
Out 1
Out 2
Out 3
Out 4
Out 5
Out 6
Out 7
Out 8
COM
K4
nnn
K5
nnn
K1
nnn
K2
nnn
K3
nnn
Power plug1