

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen

كلية التكنولوجيا

Faculté de Technologie

Département de Génie Electrique et Electronique (GEE)

Filière : Electronique



MASTER INSTRUMENTATION  
PROJET DE FIN D'ETUDES

Présenté par : DIDDA Oussama & BOUZI Mohamed Amine.

Intitulé du Sujet

**Étude et réalisation d'un traqueur de soleil à commandes multiples.**

Soutenu en 25 /06/2023, devant le jury composé de :

M <sup>r</sup> LACHACHI Djamel	MCB	Univ. Tlemcen	Président
M <sup>r</sup> BOUANATI Sidi Mohammed	M.A.A	Univ. Tlemcen	Examineur
M <sup>r</sup> NEMMICHE Ahmed	MCB	Univ. Tlemcen	Encadrant
M <sup>me</sup> GUEN Ahlam	Professeur	Univ. Tlemcen	Co Encadrant

Année Universitaire 2022-2023

# Remerciements

*Avant tout,*

*nous remercions Allah de nous avoir gardé en bonne santé et donné le courage pour mener à bon terme ce projet de fin d'études. Nous remercions également nos familles pour les sacrifices qu'elles ont consentis afin que nous puissions terminer nos études.*

*Nous remercions cordialement Monsieur Nemmiche Ahmed, maitre d'assistant classe «B» et notre Professeur Madame Guen Ahlam, à l'Université Abou bekɾ Belkaid Tlemcen, pour nous avoir encadrés.*

*De même, nous remercions Monsieur Lachachi Djamel qui nous a fait l'honneur de présider le jury pour la soutenance de notre PFE.*

*Nous remercions également Monsieur Bouanati Sidi Mohammed l'examineur, qui a eu l'honneur d'accepter nos sympathies pour siéger dans notre jury.*

*Par ailleurs, nous tenons à remercier Monsieur Belarbi Boumédiène, pour nous avoir fournis les informations nécessaires ainsi que son aide pour la finalisation du manuscrit et du Power Point de notre présentation.*

*Nos remerciements vont également à tous nos professeurs, pour nous avoir formés durant nos études.*

*Nous tenons à remercier en particulier tous ceux qui ont contribué à finaliser ce modeste travail qui, nous l'espérons, sera à la hauteur de leur engagement.*

# *Liste des abréviations*

**IP:** Internet Protocol

**WSN:** Wireless Sensor Network

**IDE:** Integrated Development Environment

**TCP:** Transmission Control Protocol

**USB:** Universal Serial BUS

**SPI:** Serial Périphérique Interface

**I2C:** Inter-Integrated Circuit

**SCL:** Serial Clock Line

**SDA:** Serial Data Line

**UV:** Ultraviolet

**CAO:** Conception Assistée par Ordinateur

**ISIS:** Intelligent Schematic Input System

**IC:** Integrated Circuit

**LDR:** Light-Dependent Resistor

**PV:** Panneau Voltaïque

**GMT:** Greenwich Mean Time

**PWM:** Pulse Width Modulation

**ICSP:** International Committee on Systematics of Prokaryotes

**AVR:** Alf-Egil Bogen Vegard Wollan RISC microcontroller

**CPU:** Central processing unit

**UART:** Universal asynchronous receiver-transmitter

**RTC:** Real Time Clock

# Sommaire

Liste des abréviations .....	I
Table des matières .....	II
Liste des figures .....	VI
Liste des tableaux .....	VIII
Résumé .....	IX

## Table des matières

INTRODUCTION GENERALE .....	1
CHAPITRE I .....	2
ETAT DE L'ART .....	2
DU SYSTEME SOLAIRE .....	2
I.1. INTRODUCTION .....	2
I.2. ÉQUATION DU TEMPS.....	2
I.2.1 Définition .....	2
I.2.2 Angle horaire solaire ( $\omega$ ) .....	2
I.3. LE CHAMP SOLAIRE ALGERIEN .....	3
I.4. CONCLUSION.....	4
CHAPITRE II.....	13
LES SYSTEMES DE POURSUITE SOLAIRE .....	13
II.1 INTRODUCTION .....	7
II.2. HISTORIQUE .....	8

<b>II.3</b>	<b>LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D`UNE POURSUITE SOLAIRE.....</b>	<b>9</b>
<b>II.4</b>	<b>LES DIFFERENTS SYSTEMES DE POURSUITE SOLAIRE.....</b>	<b>9</b>
ii.4.1	systèmes de poursuite solaire a photorésistances (LDR) .....	9
II.4.2	La méthode astronomique .....	10
<b>II.5</b>	<b>LES DIFFERENTS TYPES DE POURSUITE SOLAIRES.....</b>	<b>11</b>
II.5.1	Le suiveur solaire passif.....	11
II.5.2	Le suiveur solaire actif.....	12
II.5.2.1	Suiveur solaire mono-axe.....	13
II.5.2.2	Suiveur solaire double axe.....	15
<b>II.6</b>	<b>IMPORTANCE DE LA POURSUITE SOLAIRE.....</b>	<b>16</b>
<b>II.7</b>	<b>LA COMPARAISON DES SUIVEURS MONO ET DOUBLES AXES.....</b>	<b>16</b>
<b>II.8.</b>	<b>LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DES SUIVEURS SOLAIRES ...</b>	<b>17</b>
II.8.1	Les inconvénients.....	17
II.8.2.	Les avantages .....	18
<b>II.9</b>	<b>Les moyens de controle de l`augmentation d`energie par suiveur .....</b>	<b>18</b>
<b>II.10</b>	<b>NETTOYAGE ET ENTRETIEN DES PANNEAUX SOLAIRES.....</b>	<b>18</b>
<b>II.11</b>	<b>CONCLUSION.....</b>	<b>19</b>
<b>CHAPITRE III</b>	<b>.....</b>	<b>38</b>
<b>COMPOSANTS ELECTRONIQUES UTILISE</b>	<b>.....</b>	<b>38</b>
<b>III.1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>20</b>
<b>III.2</b>	<b>Schema synoptique du notre dispositif de poursuite solaire :.....</b>	<b>20</b>
<b>III.3</b>	<b>COMPOSANTS ELECTRONIQUES UTILISES .....</b>	<b>20</b>
III.3.1	Les capteurs de lumière photorésistance ou LDR.....	20
III.3.1.1	Définition.....	20

III.3.2	La carte de commande ARDUINO NANO .....	22
III.3.2.2	Présentation générale de l'ARDUINO .....	22
III.3.2.3	Les principes de sélection de carte ARDUINO.....	22
III.3.2.4	La carte ARDUINO NANO.....	23
III.3.2.5	Les caractéristiques techniques de la carte.....	24
III.3.2.6	Architecture de la carte ARDUINO NANO.....	24
III.3.3	Câble USB ARDUINO NANO .....	27
III.3.4	Les moteurs pas à pas .....	28
III.3.4.1	Introduction .....	28
III.3.4.2	Définition.....	28
III.3.4.3	Applications des moteurs pas à pas .....	29
III.3.4.4	Principe général d'un moteur pas à pas .....	29
III.3.4.5	Principaux types de moteurs pas à pas.....	29
III.3.4.6	Comparaison des différents types de moteurs .....	31
III.3.4.7	Modes de contrôle des moteurs pas à pas .....	32
III.3.4.8	Critère de choix d'un moteur pas à pas .....	33
III.3.5	Commande des moteurs basés sur le circuit L293D .....	34
III.3.5.1	Définition.....	34
III.3.5.2	Présentation du L293D .....	34
III.3.5.3	Caractéristiques principales du L293D.....	34
III.3.5.4	Applications courantes du L293D.....	34
III.3.5.5	Avantages du L293D .....	35
III.3.6	Le module horloge temps réel DS1307 .....	35
III.3.6.1	Définition.....	35
III.3.6.2	Caractéristiques du DS1307 .....	35
III.3.6.3	Avantages et inconvénients.....	36
III.3.6.4	Fonctionnement .....	36
III.3.6.5	Utilisations.....	36
III.3.7	La mémoire de stockage de données 24LC256 .....	36
III.3.7.1	Définition.....	36
III.3.7.2	Caractéristiques.....	37
III.3.7.3	Communication .....	37
III.3.7.4	Cycle de lecture/écriture .....	37
III.3.7.5	Applications .....	37
III.4	CONCLUSION.....	38
	CHAPITRE IV .....	38
	SIMULATION ET REALISATION .....	38

<b>DE NOTRE PROTOTYPE .....</b>	<b>38</b>
<b>IV.1 INTRODUCTION.....</b>	<b>39</b>
<b>IV.2 LA PARTIE SIMULATION.....</b>	<b>40</b>
<b>IV.3 ETUDE DES DIFFERENTS BLOCS (MATERIELS).....</b>	<b>40</b>
<b>IV.4 SOLUTIONS PROPOSÉES.....</b>	<b>41</b>
<b>IV.4.1 Circuit global .....</b>	<b>42</b>
<b>IV.4.1.1 Circuit sous Fritzing .....</b>	<b>42</b>
<b>IV.4.1.2 Circuit sous ISIS.....</b>	<b>43</b>
<b>IV.4.2 COMMANDES MOTEURS .....</b>	<b>43</b>
<b>IV.4.2.1 circuit.....</b>	<b>43</b>
<b>IV.4.2.2 Principe de fonctionnement.....</b>	<b>44</b>
<b>IV.4.2 SOLUTION A BASE DE LDR .....</b>	<b>44</b>
<b>IV.4.2.1 circuit.....</b>	<b>44</b>
<b>IV.4.2.2 Fonctionnement .....</b>	<b>45</b>
<b>IV.4.2.3 Organigramme .....</b>	<b>45</b>
<b>IV.4.3 Solution par valeurs recalculées .....</b>	<b>46</b>
<b>IV.4.3.1 Le site web qui contient les coordonnées du soleil .....</b>	<b>46</b>
<b>IV.4.3.2 Tables des valeurs .....</b>	<b>47</b>
<b>IV.4.3.3 Circuit.....</b>	<b>49</b>
<b>IV.4.3.4 Principe de fonctionnement.....</b>	<b>49</b>
<b>IV.4.3.5 Organigramme .....</b>	<b>49</b>
<b>IV.4.4 Solution par calcul en temps réel.....</b>	<b>50</b>
<b>IV.4.4.1 Principe général.....</b>	<b>50</b>
<b>IV.4.4.2 Organigramme .....</b>	<b>50</b>
<b>IV.4.5 Comparaisons entre les 3 méthodes .....</b>	<b>51</b>
<b>IV.4.6 Partie mécanique.....</b>	<b>51</b>
<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>54</b>
<b>PERSPECTIVES.....</b>	<b>55</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....</b>	<b>56</b>

# *Liste des figures*

Figure I. 1 - Angle horaire ( $\omega$ ) [9].....	3
Figure I. 2 - Irradiation globale journalier reçu sur plan horizontal au mois de juillet et décembre [17] ..	4
Figure II. 1 - Panneaux solaires solidaire d'un système de poursuite solaire [18].....	8
Figure II. 2 - Centrale solaire Thémis France avec héliostat [19] .....	8
Figure II. 3 - Le principe de fonctionnement d'un système de poursuite solaire.....	9
Figure II. 4 - Une poursuite solaire à base de photorésistances (LDR) [20] .....	10
Figure II. 5 - Capteur LDR [20]                      Figure II. 6 - Caractéristique d'un LDR [20].....	10
Figure II. 7 - l'organigramme de La méthode astronomique [21] .....	11
Figure II. 8 - Un suiveur solaire passif [22] .....	12
Figure II. 9 - Les suiveurs solaires actifs [22] .....	12
Figure II. 10 - Le système de poursuite mono-axial [22] .....	13
Figure II. 11 - Suiveur à axe horizontal [23] .....	14
Figure II. 12 - Suiveur à axe vertical incliné [23] .....	14
Figure II. 13 - Suiveur à axe vertical simple [23].....	15
Figure II. 14 - Suiveur solaire double axe [24].....	15
Figure II. 15 - Diagramme de comparaison entre la production électrique des systèmes solaire fixe et la poursuite solaire 1 axe et 2 axes. [24] .....	16
Figure II. 16 - Différence entre panneau encrasse et panneau nettoyée. [26] .....	19
Figure III. 1 - Le schéma synoptique général de notre dispositif intelligent de poursuite solaire.....	20
Figure III. 2 - Les capteurs de lumière photorésistance ou LDR et le symbole électrique la flèche indique que la lumière tombe dessus [29] .....	21
Figure III. 3 - Les différents positions de l'isolant de lumière avec LDR [29] .....	21
Figure III. 4 - Circuit équivalent du capteur LDR utilisé [30] .....	21
Figure III. 5 - Présentation des trois modèles de la carte ARDUINO [31] .....	22
Figure III. 6 - La carte ARDUINO NANO [31].....	23
Figure III. 7 - Architecture de la carte ARDUINO NANO [33] .....	25
Figure III. 8 - Le microcontrôleur ATmega328P [32].....	25
Figure III. 9 - Schéma bloc de description du microcontrôleur l'ATmega 328P [30] .....	26
Figure III. 10 - Câble USB type A/B [36].....	28
Figure III. 11 - Moteurs pas à pas [37].....	29
Figure III. 12 - Structure interne d'un moteur à aimant permanent [34].....	30
Figure III. 13 - Structure interne d'un moteur à aimant permanent [34].....	30
Figure III. 14 - Fonctionnement schématique d'un moteur pas à pas [35].....	31
Figure III. 15 - Séquences de commande d'un moteur en mode monophasé [34] .....	32
Figure III. 16 - Séquences de commande d'un moteur en mode biphasé [34] .....	32
Figure III. 17 - Séquences de commande d'un moteur en mode demi-pas [34].....	33
Figure III. 18 - le circuit I293D[39].....	34
Figure III. 19 - la DS1307 .....	35
Figure III. 20 - la 24LC256 [40].....	37



Figure IV. 1 - Schéma général de communication du système prototype .....	39
Figure IV. 2 - Assemblage de notre système.....	40
Figure IV. 3 – Présentation de l’organigramme générale du notre programme .....	41
Figure IV. 4 - Schéma du circuit électrique du système suiveur sur Fritzing .....	42
Figure IV. 5 - Le schéma globale du circuit électrique sur Proteus .....	43
Figure IV. 6 - Le schéma de câblage électrique des moteurs avec l'Arduino.....	43
Figure IV. 7 - Le schéma de câblage électrique des capteurs LDRs avec l'Arduino.....	44
Figure IV. 8 – L’emplacement des LDR .....	44
Figure IV. 9 - Organigramme de commande par la méthode du LDR .....	45
Figure IV. 10 - Le site web [41] .....	46
Figure IV. 11- Le schéma de câblage électrique d'un RTC (DS1307) avec l'Arduino.....	49
Figure IV. 12 – Organigramme de commande par table de valeurs.....	49
<b>Figure IV. 13</b> – Organigramme de commande par la méthode du calcul.....	50
Figure IV. 14 - Présentation des différents blocs de la structure mécanique de notre poursuite solaire ..	52
Figure IV. 15 - Vue de profile de la Présentation des différents blocs avec la mise en marche de prototype.....	52

# *Liste des tableaux*

Tableau I. 1 - Potentiel solaire en Algérie [17] .....	4
Tableau II. 1 - Comparaison des suiveurs mono-axes et doubles axes .....	17
Tableau III. 1 - Les caractéristiques techniques d'ARDUINO NANO .....	24
Tableau III. 2 - Valeurs des pas usuels.....	29
Tableau III. 3 - Comparaison entre les différents types de moteur pas à pas .....	31
Tableau III. 4 - Ordre des différentes commandes pour un moteur bipolaire .....	33
Tableau IV. 1 – Table des données pour contrôler le séquence des moteurs .....	45
Tableau IV. 2 – comparaison entre les méthodes utilisées.....	51

# Résumé

Le problème de l'énergie est crucial dans le contexte mondial actuel, car les sources d'énergie traditionnelles telles que le pétrole et le gaz ne sont pas inépuisables. Il est donc probable que dans quelques décennies, l'humanité devra se tourner vers d'autres formes d'énergie. Parmi celles-ci, on peut citer l'énergie nucléaire, thermique, éolienne, hydrogène et solaire.

Dans notre pays, il est évident que, étant donné le climat et la surface disponible, l'énergie solaire sera la principale source d'énergie alternative.

Dans cet article, nous présentons trois solutions différentes pour guider les panneaux solaires, ce qui constitue une petite contribution dans ce domaine.

**Les mots clés de cet article sont :** énergie, panneau solaire, guidage et commande

.....

.....

## Abstract

The energy problem is a crucial issue in today's global context as traditional energy sources like oil and gas are not infinite. It's expected that in a few decades, humanity will have to rely on other forms of energy, such as nuclear, thermal, wind, hydrogen, and solar energy. Among these, solar energy is likely to be the most prominent alternative energy source in our country, given the climate and available surface area.

This article focuses on the guidance of solar panels, and presents three different solutions as a small contribution to the field.

The keywords for this article are energy, power, panels, command, and guidance.

## ملخص

في السياق العالمي الذي نعيش فيه، تُعدُّ مشكلة الطاقة أمرًا حاسمًا، إذ لا تعد مصادر الطاقة التقليدية مثل النفط والغاز غير متناهية. وبحلول بضعة عقود، ستضطر البشرية بلا شك إلى الاعتماد على أشكال جديدة من الطاقة؛ مثل الطاقة النووية، الطاقة الحرارية، طاقة الرياح، الطاقة الهيدروجينية، والطاقة الشمسية. وبالنسبة لبلدنا، فمن المؤكد أن الطاقة الشمسية ستحصل على النصيب الأكبر، نظرًا للمناخ والمساحة المتاحة.

في هذه المقالة، نقدم مساهمة صغيرة تتعلق بتوجيه الألواح الشمسية، وذلك من خلال تقديم ثلاث حلول مختلفة. وتتضمن الكلمات المفتاحية لهذه المقالة: الطاقة، الألواح الشمسية، التحكم والتوجيه.

# *Introduction générale*

# Introduction générale

La demande en énergie est un problème majeur auquel nous sommes confrontés quotidiennement, et pour certains, il n'y a pas de solution en raison de l'indisponibilité des ressources énergétiques conventionnelles telles que le pétrole et le gaz. Les énergies fossiles sont utilisées de manière abusive, sont extrêmement polluantes et malheureusement non renouvelables. Pour assurer la sécurité énergétique, les chercheurs ont exploré des sources d'énergie propres et renouvelables telles que la biomasse, l'hydroélectricité, le solaire, les énergies marines, l'éolien et la géothermie. Les gouvernements ont entrepris des efforts pour explorer ces nouvelles sources d'énergie et réduire la pollution.

Parmi ces sources d'énergie renouvelables, la technologie solaire photovoltaïque (PV) est l'une des technologies en croissance rapide, en raison de la disponibilité de l'éclairement solaire. La quantité d'énergie solaire reçue par la planète quotidiennement est jusqu'à cinq fois supérieure à la totalité des consommations quotidiennes humaines, ce qui justifie le choix de l'énergie photovoltaïque. L'utilisation de l'énergie solaire semble être la solution à retenir, surtout pour les pays du sud de la Méditerranée qui bénéficient d'un fort taux d'ensoleillement tout au long de l'année.

Cependant, pour exploiter tout le potentiel de l'énergie solaire, il est essentiel d'optimiser la captation de la lumière du soleil. Les panneaux solaires fixes ne peuvent malheureusement pas suivre avec précision la trajectoire du soleil dans le ciel, ce qui réduit le rendement global des panneaux PV. C'est pourquoi l'utilisation de systèmes de poursuite solaire est nécessaire.

Un suiveur solaire est un mécanisme qui permet le déplacement automatique des panneaux solaires en fonction de la position du soleil. Il existe différents types de suiveurs solaires, mais ceux qui fonctionnent avec des capteurs de lumière et des calculs astronomiques sont particulièrement avancés. Les suiveurs solaires intelligents sont conçus pour optimiser le rendement énergétique des panneaux solaires en ajustant leur position tout au long de l'année, en suivant continuellement la trajectoire du soleil et en s'assurant que les panneaux soient alignés de manière optimale avec les rayons du soleil, maximisant ainsi le potentiel de production d'énergie.

Le plan de préparation de ce travail sera comme suit :

- Le premier chapitre présentera des généralités sur l'énergie solaire, le deuxième chapitre sera consacré à l'état de l'Art des différents systèmes de poursuite solaire, le troisième chapitre présentera les différents composants électroniques permettant la réalisation notre système, et enfin, le quatrième sera consacré à la réalisation du système, en présentant en détails les différentes étapes de sa réalisation, son installation et les résultats des différents tests effectués. Pour cela, une carte de programmation Arduino a été utilisée.
- Par ailleurs, le calcul des données de base, telles que les coordonnées géographiques et le rayonnement global reçu par les panneaux photovoltaïques sera présenté et une présentation d'un schéma synoptique résumant le fonctionnement de notre suiveur solaire avec ses principaux composants.

**Chapitre I**  
**Etat de l'Art**  
**du système solaire**

## I.1. Introduction

Le soleil est la source d'énergie qui permet la production d'énergie photovoltaïque. Le terme "photovoltaïque" vient du grec ancien "photos" qui signifie "lumière ou clarté" et du nom du physicien italien Alessandro Volta, inventeur de la pile électrique. L'effet photovoltaïque a été découvert en 1839 par le physicien français Edmond Becquerel. Il s'agit de la capacité de certains semi-conducteurs à convertir directement la lumière du soleil en électricité.

Dans les chapitres suivants, nous présentons un système de poursuite solaire qui permet de maximiser la production d'énergie photovoltaïque sur une année. Avant cela, nous abordons dans ce chapitre des généralités sur le soleil. Nous présentons notamment différents calculs permettant de déterminer les coordonnées géographiques d'un lieu donné ainsi que le rayonnement global reçu par les panneaux photovoltaïques installés dans cette zone.

## I.2. ÉQUATION DU TEMPS

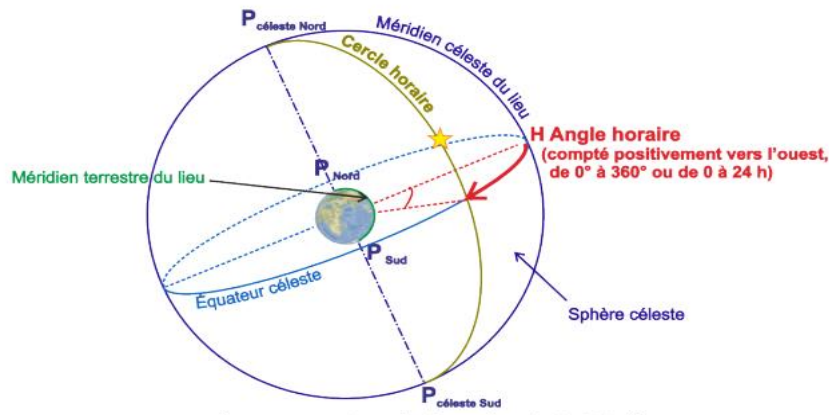
La différence de temps est un paramètre utilisé en astronomie pour expliquer le mouvement apparent relatif du soleil par rapport au soleil moyen, qui peuvent différer l'un de l'autre d'environ un quart d'heure. La connaissance de l'équation du temps permet de corriger l'heure donnée par le cadran solaire pour retrouver l'heure légale. Cet écart a deux sources :

### I.2.1 Définition

L'équation du temps représente la différence entre l'heure solaire vraie et l'heure solaire moyenne. Elle peut être calculée à partir de la différence entre l'ascension droite du Soleil vrai et celle du Soleil moyen. En effet, l'ascension droite moyenne est calculée à partir d'une trajectoire théorique du Soleil, qui ne prend pas en compte les variations de la vitesse de rotation de la Terre autour de son axe, ni les écarts dus à la forme elliptique de l'orbite terrestre autour du Soleil. L'ascension droite vraie, quant à elle, tient compte de ces variations.

### I.2.2 Angle horaire solaire ( $\omega$ )

En astronomie, l'angle horaire est un paramètre important qui permet de mesurer le mouvement du Soleil par rapport à midi, qui est l'instant où le Soleil traverse le plan méridien en ce point (zénith). Plus précisément, l'angle horaire est l'angle ou le radian mesuré sur l'équateur dans le sens rétrograde depuis le plan vertical passant par le sud jusqu'au plan méridien passant par le centre du Soleil. Il permet de décrire la trajectoire du Soleil dans le ciel, comme illustré dans la Figure I.1.



**Figure I. 1 - Angle horaire ( $\omega$ ) [9]**

L'angle horaire définit le temps solaire vrai TSV, midi TSV,  $\omega=0$  [9]. Exprimé en angles, il est nul à midi, négatif le matin et positif l'après-midi, augmentant de  $15^\circ$  toutes les heures (le soleil tourne de  $360^\circ$  en 24 heures) [10]. L'angle horaire  $\omega$  ( $^\circ$ ) est donné par :

$$\omega = 15 * (TSV - 12)$$

TSV : est le temps solaire vrai en heures déjà déterminé auparavant.

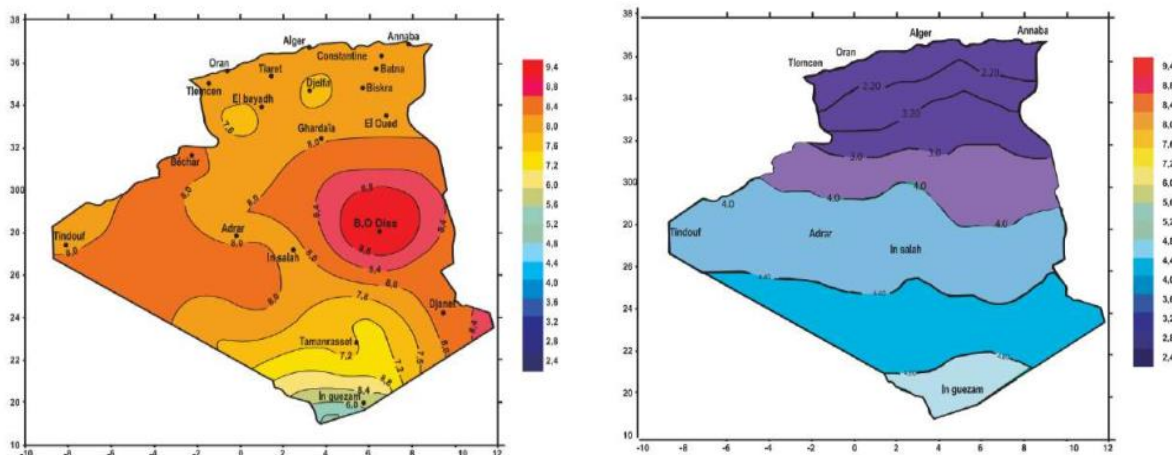
### I.3. LE CHAMP SOLAIRE ALGERIEN

Le champ solaire est un ensemble de données qui permet de décrire l'évolution du rayonnement solaire disponible sur une période donnée, en se basant sur les mesures du rayonnement solaire global. Cet ensemble de données est important pour l'évaluation des ressources en énergie solaire dans une région donnée.

L'Algérie est reconnue comme l'un des pays les plus riches en pétrole et en gaz, mais elle dispose également d'un potentiel solaire très important, tout comme l'ensemble du bassin méditerranéen du côté de la rive sud. En effet, l'Algérie bénéficie d'un ensoleillement élevé, avec environ 3 500 heures d'ensoleillement par an. Cette situation favorise l'utilisation de l'énergie solaire, qui est une source d'énergie compétitive et très intéressante pour le pays.

La disponibilité de l'énergie solaire en Algérie offre une opportunité pour le développement des technologies solaires, telles que les panneaux solaires et les centrales solaires thermiques. Ces technologies peuvent être utilisées pour produire de l'électricité à grande échelle et pour répondre aux besoins en énergie de la population et de l'industrie. De plus, l'utilisation de l'énergie solaire en Algérie peut contribuer à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à préserver l'environnement.





**Figure I. 2 - Irradiation globale journalier reçu sur plan horizontal au mois de juillet et décembre [17]**

L'Algérie a élaboré un plan national de développement des énergies renouvelables pour la période 2011-2030, avec l'objectif ambitieux de produire 40% de la consommation nationale d'électricité à partir des énergies solaire et éolienne. Ce plan vise à exploiter le potentiel solaire important de l'Algérie pour produire de l'énergie électrique de manière propre et durable.

Parmi les projets phares de ce plan, on peut citer la centrale hybride de Hassi Ramel d'une puissance de 150 MW, qui combine l'énergie solaire et le gaz naturel pour produire de l'électricité. Cette centrale permet d'économiser environ 7 millions de mètres cubes de gaz par an, qui peuvent être utilisés pour d'autres applications.

Régions	Cote	H. plateaux	Sahara
Superficiés (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heure/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçu (KWh/m2/an)	1700	1900	2650

**Tableau I. 1 - Potentiel solaire en Algérie [17]**

La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse 2000 heures annuellement et atteint 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale d'est d'environ 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 KWh/an au Nord et 2263 KWh/an au Sud du pays.

### I.4. CONCLUSION

L'énergie solaire offre de nombreux avantages et possibilités pour répondre aux besoins énergétiques de notre société d'une manière durable et respectueuse de l'environnement. Le domaine de l'énergie solaire, présente un énorme potentiel en tant que source d'énergie renouvelable. On cite alors :

- Durabilité et impact sur l'environnement.
- Disponibilité et potentiel.
- Diversité des applications.
- Réduction des coûts.

Pour finir, on ne peut que constater que les champs solaires ont un grand potentiel en tant que source d'énergie renouvelable propre et abondante. La poursuite de son développement, en combinaison avec d'autres sources d'énergie renouvelables, pourrait contribuer de manière significative à la transition énergétique mondiale vers un avenir plus durable et moins dépendant des combustibles fossiles.

## **Chapitre II**

# **Les systèmes de Poursuite Solaire**

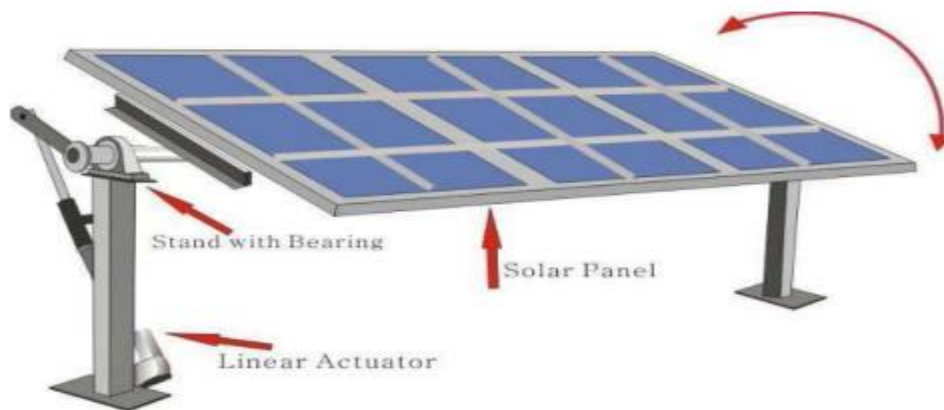
## II.1 INTRODUCTION

L'énergie électrique produite par un système solaire photovoltaïque dépend de l'intensité du flux lumineux et de la position du soleil qui varie de manière continue au cours de la journée.

Afin de collecter une quantité maximale d'énergie, des dispositifs appelés systèmes de suivi ou de poursuite solaire sont utilisés. Le système de suivi du soleil doit être positionné de manière à ce qu'il soit toujours orienté avec précision vers le soleil.

Notons tout d'abord que le suiveur ou système de poursuite solaire est une structure portante qui a pour rôle d'orienter les panneaux photovoltaïques en fonction de la position du soleil, afin d'en augmenter l'énergie recueillie au niveau des panneaux. L'idée est d'orienter les panneaux pour obtenir une énergie maximale et optimale tout le long de l'année. Ainsi, un suiveur solaire peut augmenter le rendement d'un panneau photovoltaïque jusqu'à 40 % de plus qu'un panneau fixe. L'orientation à retenir est celle qui permet aux rayons solaires d'arriver perpendiculairement aux panneaux.

Notons qu'il existe deux types de système de poursuite solaire ceux à axe unique et ceux à deux axes. Logiquement, suivre le soleil nécessite deux axes : En azimut (d'Est en Ouest a que la journée s'écoule) et en hauteur (suivant la saison et l'écoulement de la journée). Ainsi, pour un suivi optimal du le Soleil il serait judicieux d'utiliser un suiveur à deux axes, bien que les systèmes de poursuite solaire à axe unique, qui dépendent de l'azimut, sont beaucoup moins onéreux et bien plus simple à contrôler, cependant leur efficacité est moindre comparée à celle des systèmes de poursuite solaire à deux axes qui nécessitent un contrôle approprié des deux mouvements découplés. Ces derniers sont généralement utilisés dans les centrales solaires à concentration pour le guidage de l'héliostat, ainsi que dans les installations photovoltaïques pour augmenter l'efficacité de l'installation, qui peut atteindre des valeurs de 30% par rapport aux systèmes fixes [18]



**Figure II. 1** - Panneaux solaires solidaire d'un système de poursuite solaire [18]

## II.2. HISTORIQUE

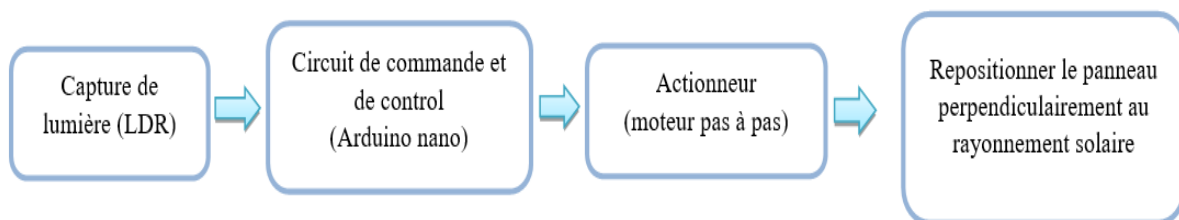
Les premières utilisations des systèmes de poursuite solaire remontent aux années 1750 où le principe reposait sur l'utilisation de l'héliostat. La rotation du miroir de l'héliostat était assurée à ce moment par un mécanisme d'horlogerie. La plus ancienne mention de ce premier système de poursuite fut mentionnée dans des publications datant de 1742 du physicien néerlandais Willem Jacobs Gravesande. Ce dernier expliqua qu'un champ d'héliostats repérait le mouvement du soleil en convergeant les rayons lumineux vers un même point, concentrant de ce fait la lumière incidente en utilisant des miroirs de réflexion, tout au long de la journée. Ce principe fut adopté dans diverses installations utilisant l'énergie solaire, notamment les centrales solaires à concentration appelés champs d'héliostats. On cite alors l'exemple de la centrale solaire Thémis, située en France et qui après avoir fonctionné de 1983 à 1986, fait actuellement l'objet d'une nouvelle expérimentation depuis 2007 [19].



**Figure II. 2** - Centrale solaire Thémis France avec héliostat [19]

### II.3 Le principe de fonctionnement d`une poursuite solaire

Le dispositif intelligent de poursuite solaire auquel nous nous intéressons s`appuie sur le principe du suiveur solaire, dont le schéma synoptique est donné en figure (II.3). La technique utilisée pour cette étude repose sur la différence de l`éclairage incident sur des capteurs de lumière, photorésistance ou LDR (Light- Dépendent-Résistor), séparés par des parois opaques et placés sur le panneau PV. Le circuit de contrôle et de commande assure la fonction de comparaison entre les différents signaux émis par les capteurs et cela en calculant leurs différences, puis renvoie des impulsions au moteur afin de repositionner les panneaux photovoltaïques perpendiculairement aux rayons solaires.



**Figure II. 3** - Le principe de fonctionnement d'un système de poursuite solaire

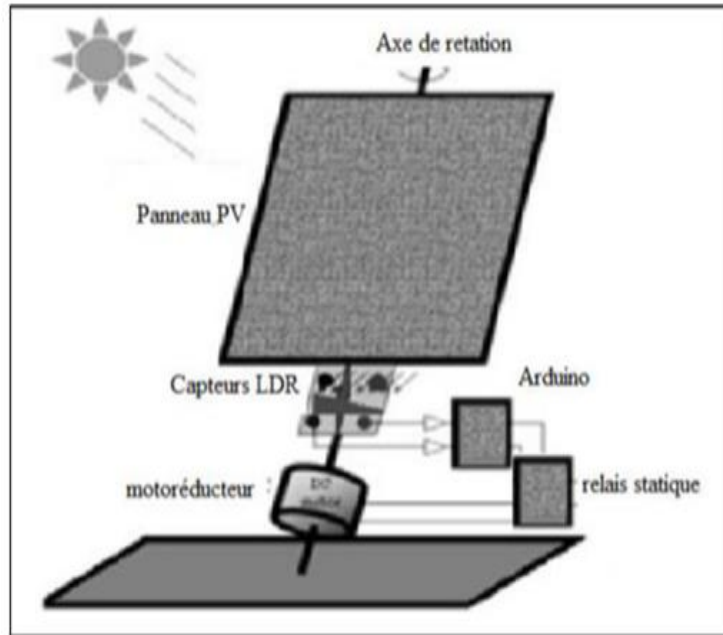
### II.4 Les différents systèmes de poursuite solaire

La technologie des systèmes de poursuite actuels diffère d'un concepteur à un autre.

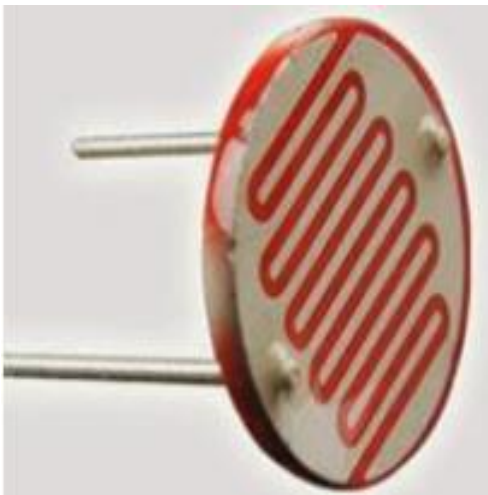
Nous citons dans ce qui suit le système de poursuite à photorésistance, puis nous présentons brièvement une seconde méthode dite astronomique et qui permet la détermination de l'inclinaison des panneaux par le calcul de la position du soleil.

#### ii.4.1 systèmes de poursuite solaire a photorésistances (LDR)

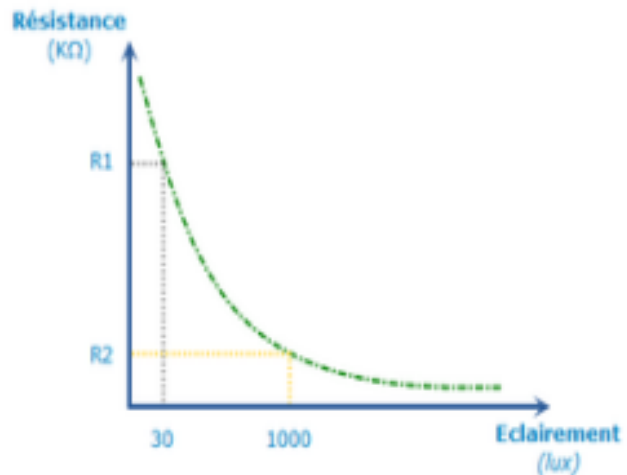
Nous présentons dans ce qui suit un premier type de système de poursuite utilisant un capteur LDR "light dépendant Résistor" qui est une photorésistance, la LDR est sensible à la lumière incidente à laquelle elle est exposée, elle va donc mesurer l'intensité de la lumière incidente qu'elle reçoit, on pourra ainsi effectuer un suivi instantané et notamment une orientation optimale du panneau figure (II-4). Dans ce type de techniques, la poursuite s`effectue indépendamment de la zone dans laquelle le système sera situé.



**Figure II. 4** - Une poursuite solaire à base de photorésistances (LDR) [20]



**Figure II. 5** - Capteur LDR [20]



**Figure II. 6** - Caractéristique d'un LDR [20]

#### II.4.2 La méthode astronomique

Cette méthode repose sur le calcul de la position du soleil en se basant sur les équations géométriques et astronomiques prédéfinies. Le système nécessite comme entrées, lors de l'installation, la latitude et la longitude du site, la date du jour et l'heure. L'organigramme permettant ce calcul est donné dans ce qui suit.

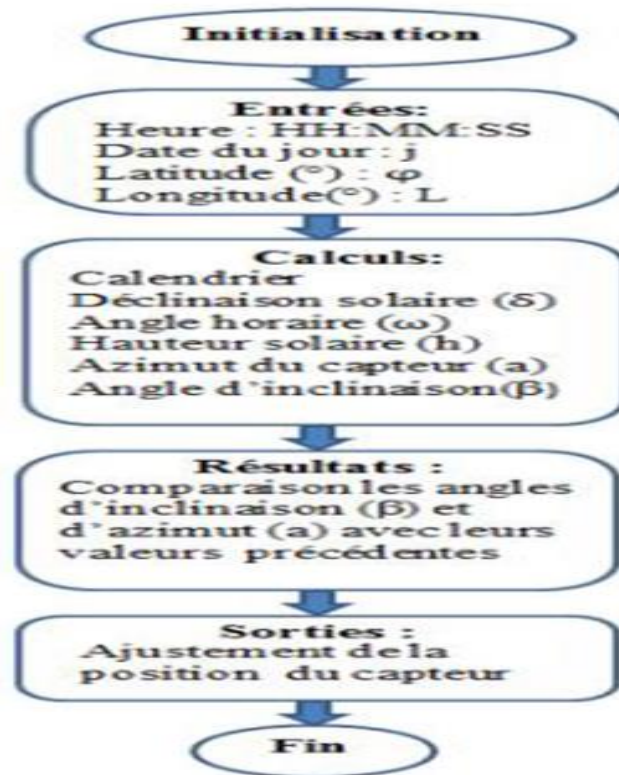


Figure II. 7 - l'organigramme de La méthode astronomique [21]

## II.5 Les différents types de poursuite solaires

On distingue principalement deux grandes familles de systèmes de poursuite solaire : les passifs et les actifs qui comportent les suiveurs mono-axe et double axe [21] :

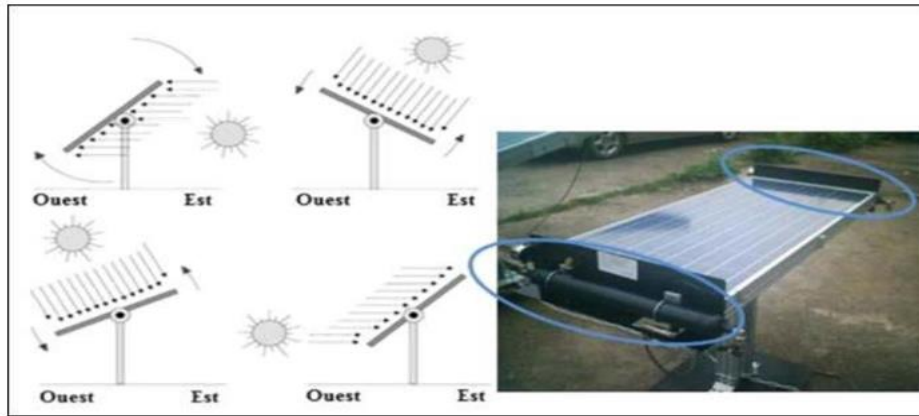
### II.5.1 Le suiveur solaire passif

Les suiveurs solaires passifs sont des dispositifs qui peuvent être utilisés pour améliorer l'efficacité des panneaux photovoltaïques en les orientant vers la source des rayons solaires. Ils sont constitués de deux tubes en cuivre remplis de fluides chimiques, montés sur les côtés EST et OUEST du panneau photovoltaïque.

Le tube en cuivre rempli de fluide chimique est capable de se vaporiser à basse température. Lorsque l'exposition au rayonnement solaire augmente, la température augmente également en raison de l'exposition aux rayons solaires, ce qui provoque la vaporisation du composé dans le tube en cuivre. La partie gazeuse du composé occupe un plus grand volume interne, tandis que sa partie liquide se déplace vers le côté ombragé. Ce mouvement des PV est donc gouverné par un processus de transfert de masse, qui ajuste l'équilibre du capteur en le faisant tourner vers la source des rayons solaires.



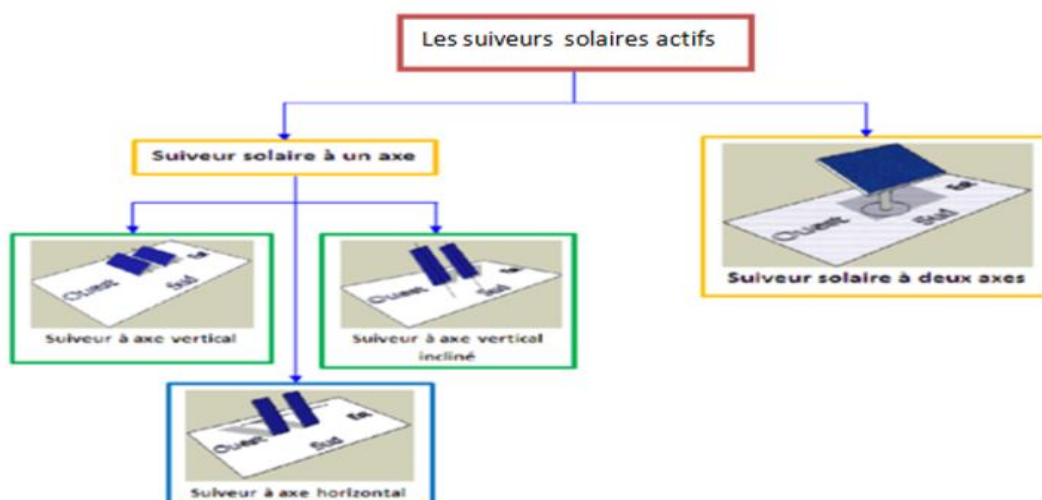
Ce type de poursuite ne nécessite aucune énergie externe pour orienter les panneaux photovoltaïques, car il exploite la chaleur solaire pour produire le mouvement. Les suiveurs solaires passifs peuvent ainsi améliorer l'efficacité énergétique des panneaux photovoltaïques, en augmentant leur exposition aux rayons solaires et en optimisant leur production d'électricité.



**Figure II. 8** - Un suiveur solaire passif [22]

### II.5.2 Le suiveur solaire actif

Les suiveurs solaires actifs vont utiliser le principe de la détection de la lumière. Ces derniers suivent la trajectoire solaire tout en cherchant à optimiser au maximum l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur leur surface. Ainsi, on trouve deux types de suiveurs solaires actifs : les suiveurs mono-axe et double axe. L'avantage des suiveurs actifs par rapports aux suiveurs passifs réside dans le fait que les suiveurs actifs représentent une meilleure précision de suivi et ne nécessitent aucune intervention manuelle pour leur ajustement [22]

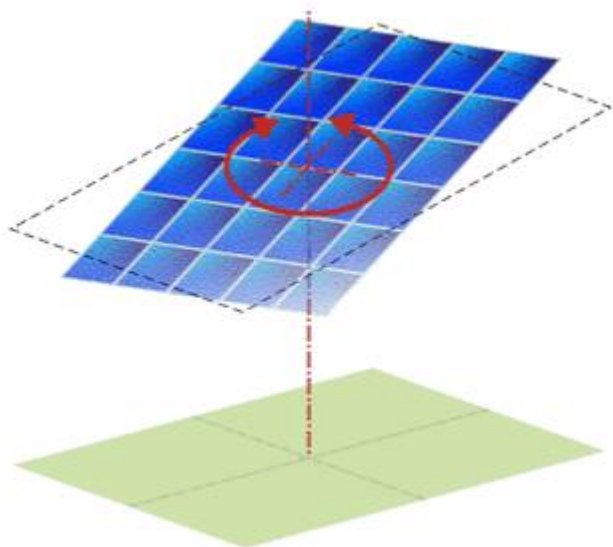


**Figure II. 9** - Les suiveurs solaires actifs [22]

Ce type de suiveurs possède un seul degré de liberté et ils sont utilisés pour permettre une orientation dans une seule direction. Le trajet que suit cet axe en azimut de l'Est vers l'Ouest au fil de la journée. L'angle d'inclinaison du panneau est fixe. Pour recevoir le maximum de rayons du soleil durant toute l'année il faut placer le PV selon l'angle le plus adéquat. Il est placé selon la latitude du lieu où est disposé le PV. [21].

### II.5.2.1 Suiveur solaire mono-axe

Le suiveur solaire mono-axial est à un seul degré de liberté, et tourne autour d'un axe simple, ne permettant une orientation que dans une seule direction. Le trajet suivi par cet axe est souvent en azimut, c'est-à-dire d'Est en Ouest au fil de la journée ainsi l'angle d'inclinaison du panneau solaire est fixe, le panneau solaire est placé donc selon l'angle le plus propice lui permettant de recevoir le maximum de rayons du soleil durant toute l'année, ainsi le panneau sera orienté selon la latitude du lieu où est placé 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.



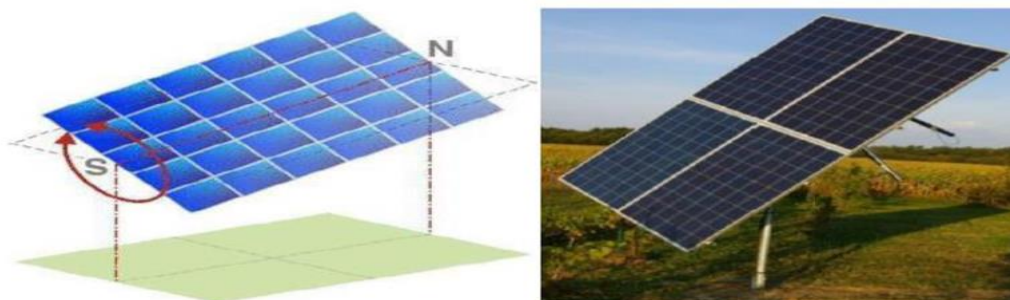
**Figure II. 10** - Le système de poursuite mono-axial [22]

#### II.5.2.1.1 Suiveur à axe horizontal

Le système suiveur à axe horizontal n'apporte que très peu de gain par rapport à un système fixe, de ce fait il devient plus intéressant d'utiliser des suiveurs à un axe vertical. Notons que la conception de ce type de suiveur est la plus simple comparée aux autres suiveurs et peut ne pas entraîner une diminution trop significative du GCR si ce suiveur est doté d'un organe de

régulation nommé "back tracking", qui a pour rôle d'empêcher d'incliner davantage les panneaux photovoltaïques dès que les rangs se font mutuellement de l'ombre.

Sans back tracking, en maintenant un GCR de 45%, il faudrait un suiveur permettant une plage d'inclinaison allant de 10 à 30° pour obtenir la meilleure solution. Cependant, le gain resterait assez faible : de l'ordre de 2,2% [23].



**Figure II. 11** - Suiveur à axe horizontal [23]

#### II.5.2.1.2 Suiveur à axe vertical incliné

Les suiveurs à axe vertical permettent un gain d'environ 20% pour un GCR de 25%. Ces suiveurs sont souvent moins imposants que les suiveurs à 2 axes, moins onéreux et permettent d'obtenir plus de puissance comparée aux suiveurs 2 axes.



**Figure II. 12** - Suiveur à axe vertical incliné [23]

### II.5.2.1.3 Suiveur à axe vertical simple

Pour le suiveur à axe vertical simple, la surface du panneau tourne autour d'un axe simple qui est toujours parallèle à la surface. Si la surface qui tourne autour d'un axe simple, qui est toujours parallèle à la surface n'est pas vertical ou horizontal, l'angle extérieur d'azimut et la pente de la surface change avec le temps.



Figure II. 13 - Suiveur à axe vertical simple [23]

### II.5.2.2 Suiveur solaire double axe

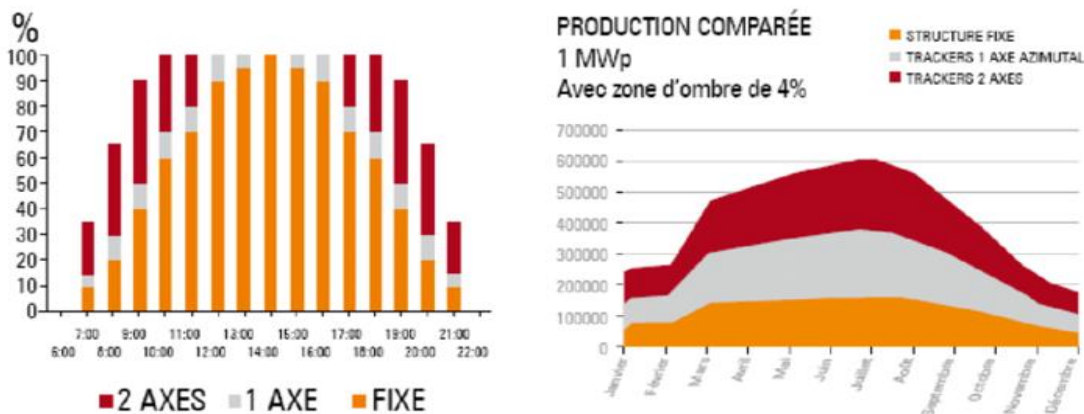
Contrairement aux suiveurs présentés auparavant, ce type de suiveur solaire possède deux axes qui lui permettent de suivre les mouvements en azimut et en inclinaison au cours de la journée. Ainsi, le capteur solaire reste constamment orienté vers le soleil. Ce type de suiveur solaire est très imposant et fournit de meilleures performances comparées au suiveur mono-axe.



Figure II. 14 - Suiveur solaire double axe [24]

## II.6 Importance de la poursuite solaire

Le soleil se déplace de manière continue non seulement au cours de la journée, mais aussi au cours des différentes saisons. Le panneau solaire, par contre, se trouve habituellement en position fixe, ce qui a pour conséquence des pertes énergétiques importantes. Ainsi, une installation fixe, orientée, vers le sud idéalement a pour conséquence la délivrance d'une puissance qui croît très lentement tôt le matin et diminue fortement l'après-midi.



**Figure II. 15** - Diagramme de comparaison entre la production électrique des systèmes solaire fixe et la poursuite solaire 1 axe et 2 axes. [24]

Ainsi, le rôle du système de poursuite solaire sera d'adapter la position du capteur solaire de façon à ce que la radiation solaire incidente sur les panneaux soit toujours perpendiculaire au réflecteur pour capter le maximum de rayon incident [24].

## II.7 La comparaison des suiveurs mono-axe et suiveurs doubles axes

Le suiveur solaire mono- axial est vu comme le moyen le plus simple pour améliorer des performances d'une installation photovoltaïque commerciale qui utilise des éléments relativement simples.

Le suiveur solaire à double axes contient nécessairement plus de pièces mobiles comparé au suiveur mono- axe, raison pour laquelle leur conception devient bien plus compliquée, avec l'intégration des moteurs supplémentaires et de capteurs pour la poursuite du soleil. Le risque de défaillances et de dysfonctionnement est aussi bien plus important [25].

Suiveur mono-axe	Suiveur double-axes
Va Suivre le soleil d'est en ouest avec un seul point de pivotement.	<b>Va Suivre</b> le soleil s'est en ouest et du Nord au Sud en utilisant deux points de pivotements.
Il utilise un modèle prévisible qui est basé sur le temps d'une année pour suivre le soleil.	Il utilise un « œil » du capteur pour suivre visuellement le soleil.
Ce système permet l'Augmentation du rendement solaire jusqu'à 34%.	Ce système permet l'Augmentation du rendement solaire jusqu'à 37%.
La conception de ce type est simple et efficace.	La conception de ce système est plus complexe (plus de moteurs, de capteurs et plus d'entretien) mais plus précise.
Moindre cout comparé au système à double axe.	Cout plus élevé à cause de pièces supplémentaires et du temps nécessaire à ce type d'installation.
Peu de pannes et de disfonctionnement.	Pannes et disfonctionnement plus importants.

**Tableau II. 1** - Comparaison des suiveurs mono-axes et doubles axes

## II.8. Les avantages et les inconvénients des suiveurs solaires

### II.8.1 Les inconvénients

Les suiveurs solaires présentent les inconvénients suivants :

- Le cout d'investissement initial est élevé (surtout pour le suiveur à deux axes).
- Ces systèmes nécessitent une maintenance, car les systèmes mécaniques n'atteignent que rarement une durée de vie de 20ans.
- Pour les raisons de sécurité, les panneaux photovoltaïques doivent être parallèles au sol lors de vents forts.

### **II.8.2. Les avantages**

Les suiveurs solaires présentent différents avantages, en effet :

- Les systèmes de "Tracking" solaire sont utilisés pour orienter les capteurs continuellement vers le soleil et peuvent aider à minimiser l'investissement en augmentant le rendement des capteurs.
- La surface du parc solaire est réduite tout en gardant le même potentiel.
- Exploitation optimale du rayonnement solaire même par ciel nuageux.
- Gain intéressant, notamment aux heures de la journée à faible ensoleillement.
- Simplicité de mise en œuvre. [26]

### **II.9 Les moyens de contrôle de l'augmentation d'énergie par suiveur**

Le gain d'un suiveur est propre à chaque installation solaire dotée d'un système de poursuite solaire. Il existe plusieurs moyens pour contrôler le niveau de la production d'électricité pour un suiveur solaire, qui dépend de différents facteurs tels que : [27]

- L'ensoleillement et la climatologie du site.
- La latitude du site de l'installation photovoltaïque.
- La densité de puissance installée et le facteur d'ombre induit.
- Les gains (non comptabilisés) de repli par temps de neige qui peuvent être très importants.

### **II.10 Nettoyage et entretien des panneaux solaires**

Les saletés et la poussière qui s'accumulent au cours du temps sur les panneaux solaires peuvent influencer sur leurs performances et leurs rendements. Ainsi, différentes études ont démontré que le rendement des PV pouvait être réduit jusqu'à 15% par an, à cause de ces débris qui s'y déposent. Un bon entretien des PV peut optimiser ainsi leur fonctionnement et leur production d'énergie électrique, et la durée de vie de ces panneaux solaires, qui pourrait s'écourter considérablement sans entretien [27].



**Figure II. 16** - Différence entre panneau encrassé et panneau nettoyée. [26]

## II.11 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté, les différents systèmes de poursuite solaire, nous nous sommes particulièrement intéressés aux systèmes à un seul axe et à celui à deux axes, ou nous avons procédé à une étude comparative présentant les avantages et inconvénients de chacun des deux systèmes. Nous avons aussi parlé des avantages apportés par l'utilisation de ce type de systèmes de poursuite solaire.



## **Chapitre III**

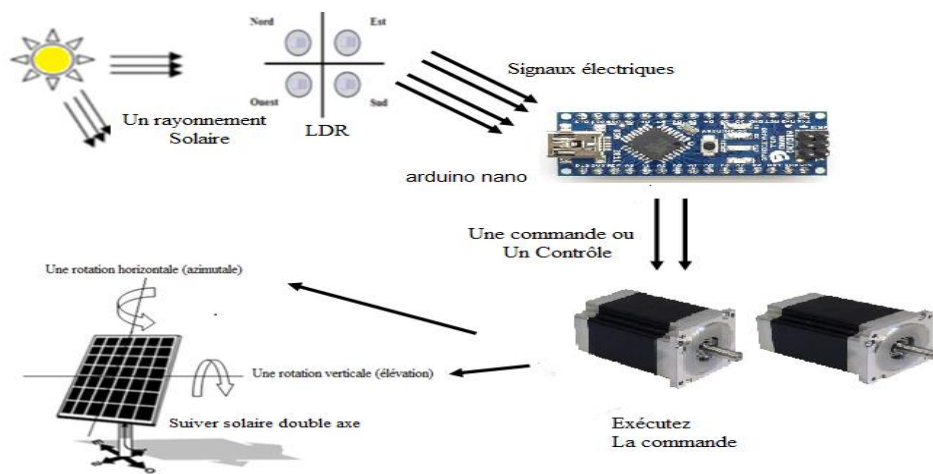
### **Composants électroniques utilisé**

### III.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons un schéma synoptique résumant le fonctionnement de notre dispositif de suivi solaire et ses principaux composants, nous donnons aussi une description concernant les différents composants électroniques que nous avons utilisé dans ce projet, et qui sont le capteur de lumière à photorésistance ou LDR, la carte de contrôle "ARDUINO NANO", le moteur pas à pas et les outils de connexion.

### III.2 Schéma synoptique du notre dispositif de poursuite solaire :

Le schéma ci-dessous montre le diagramme général du système de suivi solaire que nous proposons pour augmenter le rendement des panneaux photovoltaïques.



**Figure III. 1** - Le schéma synoptique général de notre dispositif intelligent de poursuite solaire

### III.3 Composants électroniques utilisés

Nous présentons dans ce chapitre les différents composants que nous avons utilisés et qui ont permis la réalisation de notre système de poursuite.

#### III.3.1 Les capteurs de lumière photorésistance ou LDR

##### III.3.1.1 Définition

La résistance dépendante de la lumière LDR (Light Dependent Resistor ou Photoresistor) est un composant dont la valeur ohmique dépend essentiellement de la lumière à laquelle cette LDR est exposé et est donc fonction du rayonnement incident. Les LDR sont donc des dispositifs sensibles à la lumière, et sont appelés aussi photoconducteurs, cellules photoconductrices ou simplement photocellules. Les LDR sont constitués de matériaux semi-conducteurs à haute résistance. La principale utilisation des LDR est la mesure de l'intensité lumineuse (caméras, comptage, systèmes d'alarme...). La LDR est concurrencée par les photodiodes. [29]

Dans ce travail, nous avons choisi d'utiliser des LDR en raison de leur temps de réponse qui est plus faible.



Figure III. 2 - Les capteurs de lumière photorésistance ou LDR et le symbole électrique la flèche indique que la lumière tombe dessus [29]

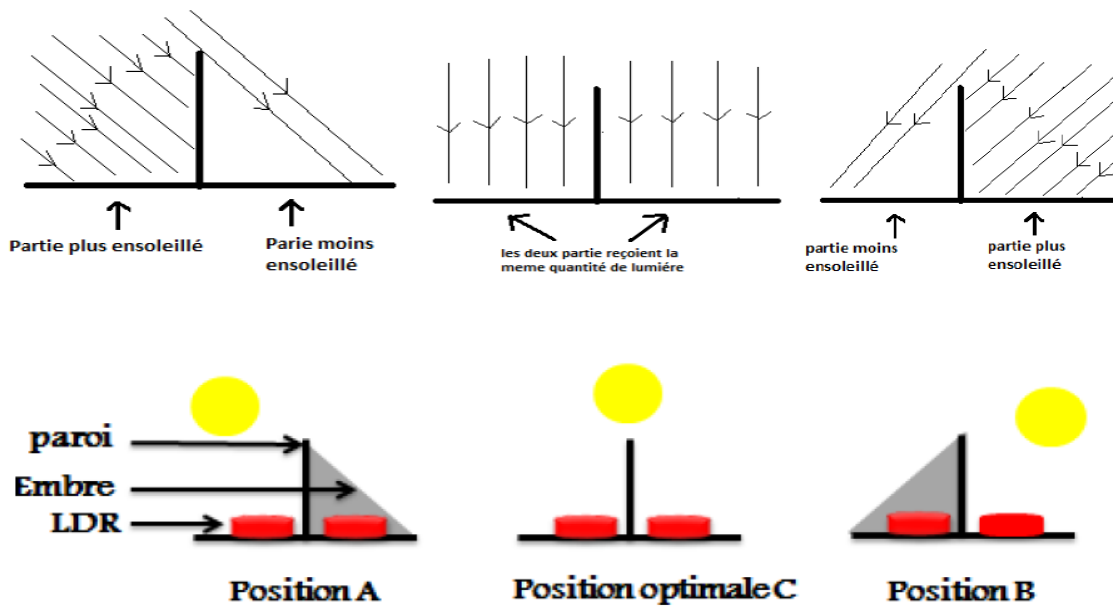


Figure III. 3 - Les différents positions de l'isolant de lumière avec LDR [29]

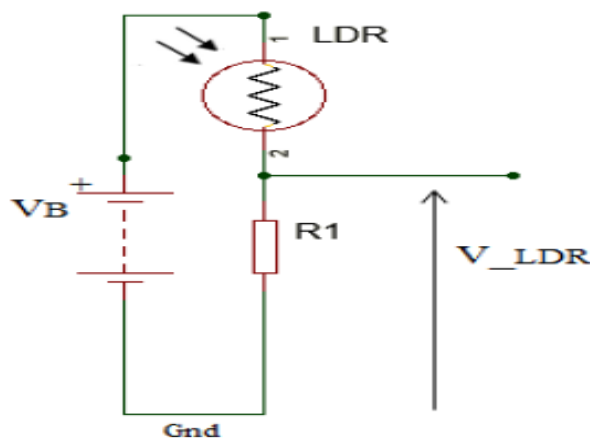


Figure III. 4 - Circuit équivalent du capteur LDR utilisé [30]

### III.3.2 La carte de commande ARDUINO NANO

#### III.3.2.2 Présentation générale de l'ARDUINO

Un système ARDUINO est une carte électronique qui utilise un microcontrôleur, des composants, permettant d'exécuter des fonctions avancées à moindre coût. Le système ARDUINO dispose d'une connexion USB pour la programmation. C'est une plateforme open-source basée sur une simple carte microcontrôleur (de la famille AVR) et un logiciel, véritable environnement de développement intégré qui permet d'écrire, de compiler et de transférer des programmes sur la carte microcontrôleur. En plus, ARDUINO peut aussi être utilisé pour développer des applications industrielles légères ou des objets interactifs tels que des créations artistiques, et peut recevoir divers capteurs comme données d'entrée.

ARDUINO peut aussi contrôler divers actionneurs (moteurs, lumières, ou toute autre sortie matérielle). Ces projets peuvent être réalisés de manière autonome ou communiquer avec un logiciel sur un ordinateur (Flash, Processing ou MaxMSP). Les cartes électroniques peuvent être fabriquées manuellement ou achetées pré-assemblées ; le logiciel de développement open source est librement téléchargeable. [31]

#### III.3.2.3 Les principes de sélection de carte ARDUINO

Les paramètres à prendre en compte pour le choix de la carte ARDUINO sont [31] :

- ✓ La taille.
- ✓ Le prix.
- ✓ Le besoin de souder les connecteurs.
- ✓ Le poids.
- ✓ Le nombre d'entrées et de sorties.
- ✓ La taille de la mémoire.
- ✓ Les connecteurs disponibles.

Il existe de nombreux choix de cartes ARDUINO, on cite ici quelques exemples :

- La Méga 2560.
- La Nano.
- L'UNO.



Figure III. 5 - Présentation des trois modèles de la carte ARDUINO [31]

### III.3.2.4 La carte ARDUINO NANO

La carte Arduino Nano est une carte de développement open source. Cette dernière est basée sur le microcontrôleur Atmel AVR. Sa conception : petite et compacte, offre une solution parfaite pour les projets dont l'espace est assez limité. La carte Arduino Nano est compatible avec l'environnement de développement intégré Arduino et peut donc être programmée à l'aide du langage de programmation Arduino. Cette carte est donc équipée d'un microcontrôleur Atmel AVR, précisément un ATmega328P, elle dispose de 14 entrées/sorties numériques, dont 6 peuvent être utilisées comme sorties PWM, et de 8 entrées analogiques. Elle est également équipée d'un régulateur 5V/3,3V, d'une interface USB et d'un connecteur ICSP pour la programmation.

L'Arduino Nano est utilisé dans différents projets, particulièrement dans les domaines de la robotique, de l'automatisation, de la domotique, de l'électronique et de l'informatique. Il est très populaire auprès des makers, des bricoleurs et des développeurs en raison de sa petite taille et de sa facilité d'utilisation. [31]

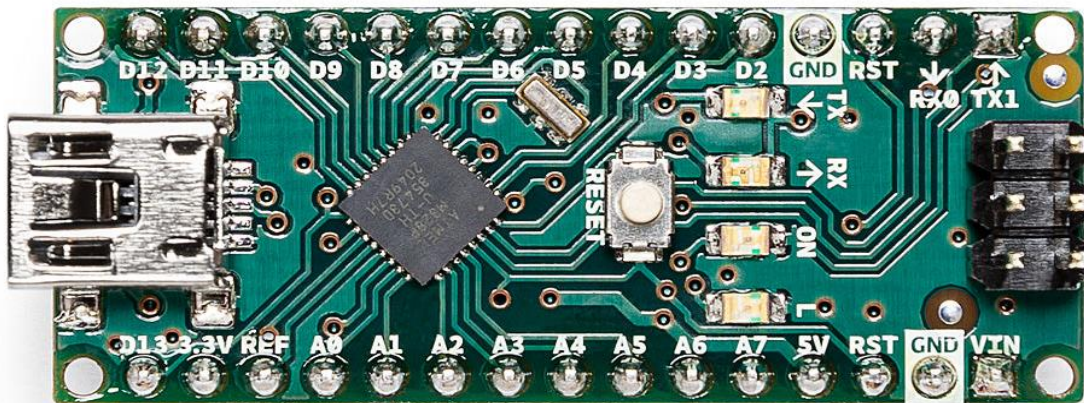


Figure III. 6 - La carte ARDUINO NANO [31]

### III.3.2.5 Les caractéristiques techniques de la carte

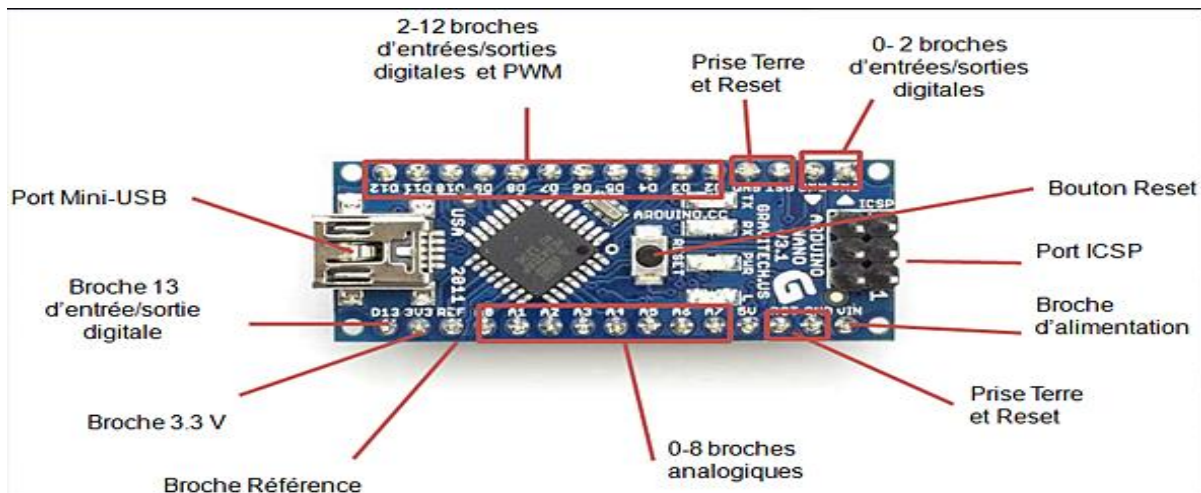
Le tableau (III.01) représente les caractéristiques techniques de L'ARDUINO NANO [32] :

Caractéristique	Valeur
Microcontrôleur	ATmega328P
Tension d'alimentation	5V
Tension d'entrée (limites)	7-12V
Broches d'entrée/sortie numériques	14 (dont 6 fournissent une sortie PWM)
Broches d'entrée analogique	8
Courant continu par broche d'I/O	20 mA
Courant continu pour 3.3V Pin	50 mA
Mémoire Flash	32 KB (ATmega328P) dont 2 KB utilisés par le bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Fréquence d'horloge	16 MHz
Dimensions	45mm x 18mm

**Tableau III. 1** - Les caractéristiques techniques d'ARDUINO NANO

### III.3.2.6 Architecture de la carte ARDUINO NANO

La carte ARDUINO NANO se compose de plusieurs éléments et qui sont représentés sur la figure (III.08) [33] :



**Figure III. 7** - Architecture de la carte ARDUINO NANO [33]

Le principal composant de la carte ARDUINANO est un **microcontrôleur ATmega328P**.

Le microcontrôleur peut être considéré comme un ordinateur complet sur une seule puce. Ses principaux composants sont :

- Le processeur ou CPU.
- La Mémoire flash qui héberge le programme à exécuter.
- La mémoire vive qui stocke les données variables.
- Les périphériques intégrés dans le composant.
- Les ports d'entrée/sortie, qui relient le microcontrôleur au monde extérieur.

### III.3.2.6.1 Le microcontrôleur ATmega328P

Le microcontrôleur ATmega328P est un élément électronique utilisé dans les cartes Arduino, il est retrouvé dans les modèles Uno, Nano et Pro Mini. C'est un microcontrôleur 8 bits de la famille AVR, conçu par la société Microchip Technology. [32]



**Figure III. 8** - Le microcontrôleur ATmega328P [32]

### III.3.2.6.2. Les performances du microcontrôleur ATmega328P

- Toute la logique d'horloge (16 mhz).
- Génération des signaux PWM.
- Mémoire EEPROM (1 Ko) pour les données de sauvegarde.
- Mémoire Flash (32 Ko) pour les programmes.
- Mémoire vive SRAM (2 Ko) pour les données.
- Des circuits d'interface et des périphériques d'entrée-sortie qui permettent au processeur d'accéder au monde extérieur.
- Des Timers/Counters (T/C) 8 et 16 bits.
- Un convertisseur (CAN) [34].
- Des interfaces de communication série (UART, SPI, TWI compatible I2C...).

### III.3.2.6.3 Architecture interne générale de l'ATmega 328P

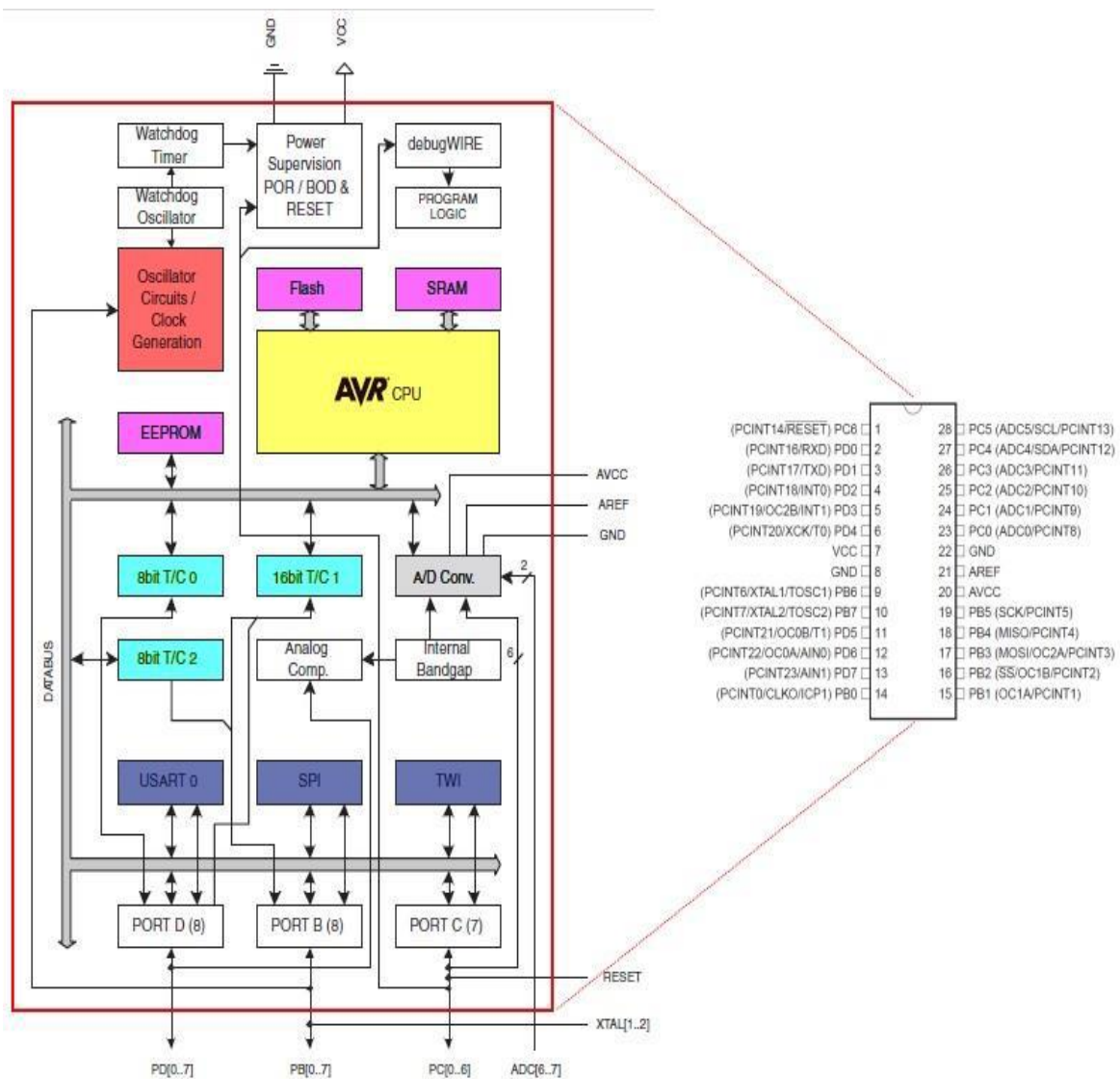


Figure III. 9 - Schéma bloc de description du microcontrôleur l'ATmega 328P [30]



#### **III.3.2.6.4 La programmation**

Un environnement de développement est donc un outil logiciel qu'on utilise pour écrire le code, qui sera transféré au tableau ARDUINO pour pouvoir être exécuté.

Il est aussi possible d'écrire le code dans un éditeur de texte standard et de le compiler manuellement à l'aide d'un compilateur standard puis de transférer le binaire résultant au tableau ARDUINO. Notons qu'il existe des outils qui facilitent le développement, la compilation et le transfert de binaires vers des cartes externes. Ainsi, un environnement de développement est une application, un logiciel, qui facilite toutes ces opérations, ce dernier a la particularité d'appliquer la coloration syntaxique. Presque tous les langages informatiques contiennent des mots-clés spécifiques pouvant être facilement identifiés. Et inclure quelques lignes de code.[30]

#### **III.3.2.6.5 La communication et la protection du carte ARDUINO NANO**

La communication avec la carte Arduino Nano peut se faire par l'intermédiaire de diverses interfaces: port USB, broches de communication série, les broches de communication I2C ou SPI, ou broches d'entrée/sortie numérique.

Pour communiquer avec la carte à travers le port USB, on doit connecter la carte à l'ordinateur à l'aide d'un câble USB. La carte sera ainsi alimentée par le port USB et pourra ainsi être programmée et communiquer avec l'ordinateur via l'interface série virtuelle.

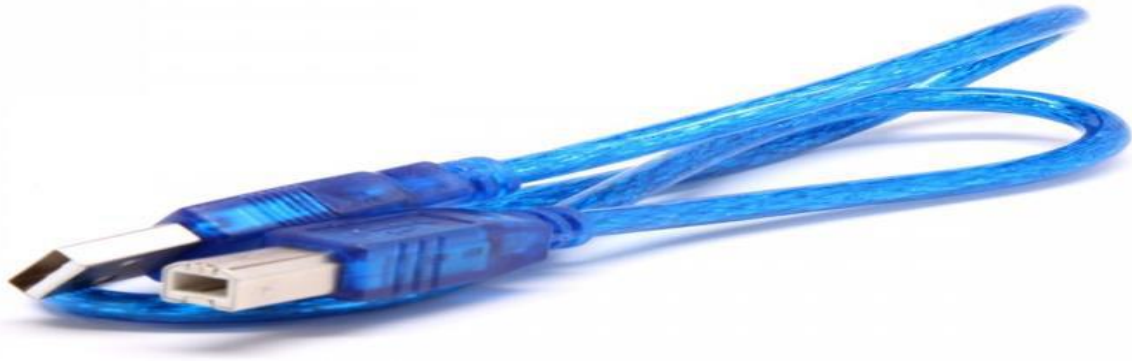
Pour communiquer avec la carte à travers les broches de communication série, on doit utiliser les broches RX et TX de la carte. Nous pouvons aussi communiquer avec des dispositifs externes en utilisant les broches de communication I2C (SDA et SCL) ou SPI (MOSI, MISO, SCK et SS).

Afin de protéger la carte ARDUINO que nous utilisons nous devons prendre certaines précautions telles que [35].

- L'utilisation d'une alimentation électrique adéquate.
- Évitez les courts-circuits
- Utilisez des composants externes compatibles avec la carte Arduino Nano qui ne la surchargeront pas ou ne l'endommageront pas.
- Évitez les interférences électromagnétiques

#### **III.3.3 Câble USB ARDUINO NANO**

Le câble USB type A/B permettra à la fois d'alimenter notre projet ARDUINO et connecter l'ARDUINO NANO au PC pour programmer la carte (via ARDUINO IDE) et d'utiliser le Moniteur Série. [36]



**Figure III. 10** - Câble USB type A/B [36]

### **III.3.4 Les moteurs pas à pas**

#### **III.3.4.1 Introduction**

Les moteurs pas à pas sont des dispositifs électromécaniques qui convertissent des signaux pulsés en mouvements rotatifs incrémentaux. Ils sont largement utilisés dans les systèmes informatiques et trouvent de nombreuses applications en robotique. Grâce à leur conception électrique et mécanique, les moteurs pas à pas peuvent atteindre une précision extrêmement élevée.

La conception des moteurs pas à pas a été influencée par deux logiques distinctes :

- ✓ D'un côté, il était nécessaire de développer des moteurs capables de produire un couple élevé à basse vitesse, voire même à l'arrêt.
- ✓ D'un autre côté, il fallait créer un dispositif simple capable de convertir des informations discrètes. C'est ainsi que les moteurs pas à pas modernes ont vu le jour dans les années 1970, grâce aux avancées simultanées dans le domaine de l'électronique de puissance et à l'émergence de l'électronique numérique hautement intégrée.

Ces avancées ont permis de combiner des convertisseurs d'énergie à basse vitesse avec des transmetteurs d'informations, donnant ainsi naissance aux moteurs pas à pas tels que nous les connaissons aujourd'hui.

#### **III.3.4.2 Définition**

Le moteur pas à pas est un convertisseur électromécanique qui transforme un signal électrique en un mouvement mécanique. Son utilisation permet de contrôler avec une grande précision le déplacement et la position d'un objet. En effet, le moteur pas à pas génère des déplacements incrémentaux en réponse à des impulsions de courant appliquées aux enroulements du stator. De plus, il offre un couple de positionnement à l'arrêt, ce qui le rend particulièrement adapté à cette fonction. Chaque impulsion de courant provoque un incrément de rotation précis du moteur pas à pas.[37]



**Figure III. 11 - Moteurs pas à pas [37]**

### III.3.4.3 Applications des moteurs pas à pas

Les moteurs pas à pas sont utilisés dans différentes applications on cite alors :

- Tête d'impression d'ordinateur portable,
- Tête d'impression d'imprimante et alimentation en papier,
- Commande d'axes pour les traceurs,
- Positionnement des axes de robots,
- Réception de la télévision par satellite,
- Positionnement de télescopes pour le suivi d'étoiles.

### III.3.4.4 Principe général d'un moteur pas à pas

Le fonctionnement fondamental d'un moteur pas à pas repose principalement sur le déplacement par pas, ce qui signifie que son arbre tourne d'un angle spécifique à chaque impulsion reçue par l'une de ses bobines. L'amplitude de cet angle varie en fonction de la configuration interne du moteur, généralement comprise entre  $0,9^\circ$  et  $90^\circ$ . Par conséquent, chaque impulsion du signal de commande correspond à un déplacement angulaire précis du rotor, connu sous le nom de "pas".

Le tableau suivant indique les valeurs des pas les plus courants :

Nombre de pas/tour	20	24	48	100	200	400
Rotation de l'axe	$18^\circ$	$15^\circ$	$7.5^\circ$	$3.6^\circ$	$1.8^\circ$	$0.9^\circ$

**Tableau III. 2 - Valeurs des pas usuels**

Le nombre de pas présents sur le moteur est un multiple de quatre, plus le moteur tourne vite, plus le couple est faible.

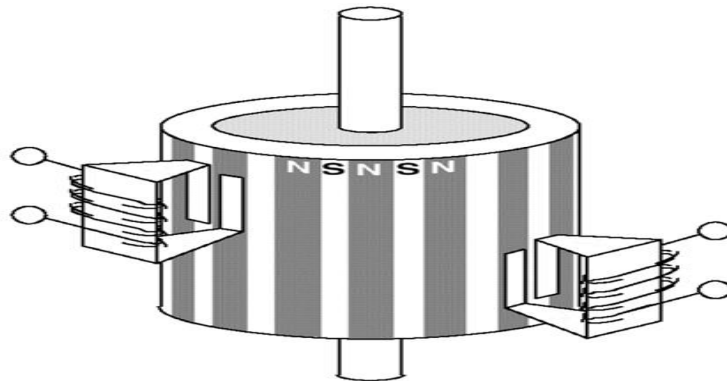
### III.3.4.5 Principaux types de moteurs pas à pas

- Il y a trois types principaux de moteurs pas à pas :
- Les moteurs pas à pas à réluctance variable (VRSM).
  - Moteurs pas à pas à aimant permanent (PMS).
  - les moteurs pas à pas hybrides (HSPM).

### III.3.4.5.1 Moteurs à aimant permanent (MPPAP)

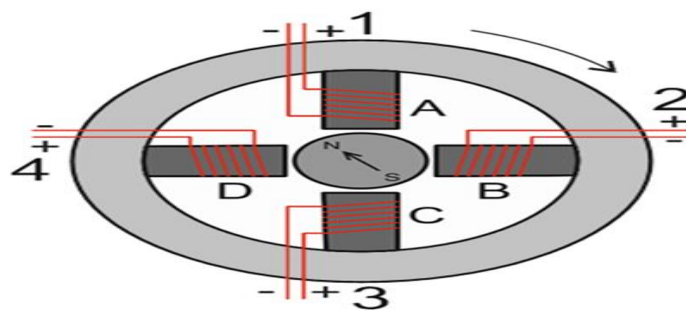
Un moteur à aimants permanents présente une structure similaire à celle d'un moteur à réluctance variable, à l'exception du rotor qui est entièrement composé d'aimants permanents cylindriques avec des pôles magnétiques.

Le stator, quant à lui, est généralement constitué de pôles saillants et est fabriqué à partir de tôles magnétiques en alliage fer-silicium, qui sont isolées par un vernis. L'entrefer entre le stator et l'aimant est réduit au maximum possible pour optimiser les performances du moteur.



**Figure III. 12** - Structure interne d'un moteur à aimant permanent [34]

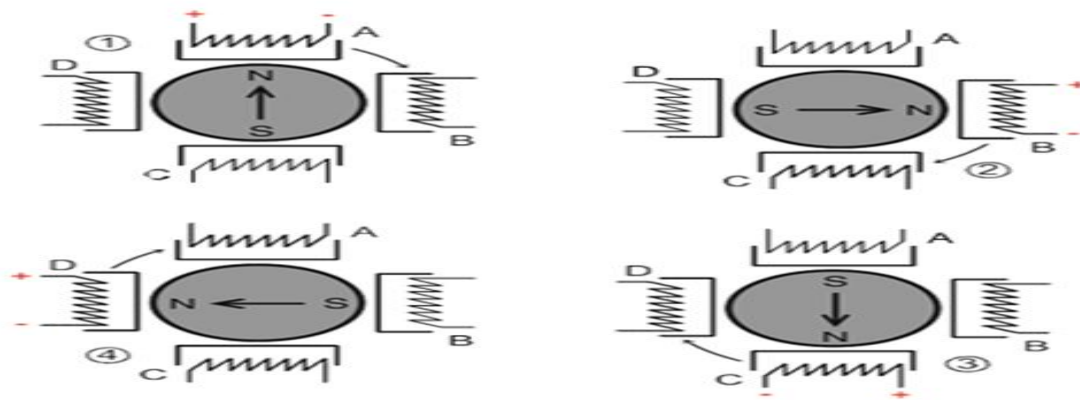
La figure représente le schéma simplifié d'un moteur à aimant dans sa position de repos, lorsque les bobinages ne sont traversés par aucun courant, chacun des pôles du rotor se place devant une paire des plots du stator.



**Figure III. 13** - Structure interne d'un moteur à aimant permanent [34]

La figure III.15 illustre, pour un exemple de quatre pas par tour, la progression pas à pas du moteur en montrant ce qui se passe lorsque les enroulements sont alimentés tour à tour : successivement l'enroulement A, puis B, puis C et enfin D.

Le pôle nord du rotor sera attiré par le pôle sud du stator, pôle créé par la présence d'un courant dans le bobinage.



**Figure III. 14** - Fonctionnement schématique d'un moteur pas à pas [35]

### ➤ Caractéristiques d'un moteur à aimant permanent

Principales caractéristiques des moteurs pas à pas à aimant permanent :

- Moins de pas/tours.
- Structure plus fine.
- Difficulté à loger les aimants du rotor.
- Couple moteur élevé.
- Sens de rotation par rapport à la séquence d'alimentation de la bobine.

### III.3.4.6 Comparaison des différents types de moteurs

Dans le tableau qui suit une comparaison entre divers types de moteur pas à pas est présentée en prenant en compte le nombre de pas par tour, le couple moteur, la fréquence de travail et la puissance développée.

Type de MPP	MRV	MPPA	MPPH
Nombre de pas/tour	Bonne	Moyenne	Élevée
Couple moteur	Faible	Élevée	Élevée
Fréquence	Grande	Faible	Grande
Puissance	Quelques W	Quelques dizaines de W	Quelques kW

**Tableau III. 3** - Comparaison entre les différents types de moteur pas à pas

### III.3.4.7 Modes de contrôle des moteurs pas à pas

#### III.3.4.7.1 Mode pas entier Full-Step

Dans le mode pas en mode monophasé, le couple n'est pas très important vu qu'un seul enroulement est alimenté pour effectuer un pas.

##### a- Mode monophasé

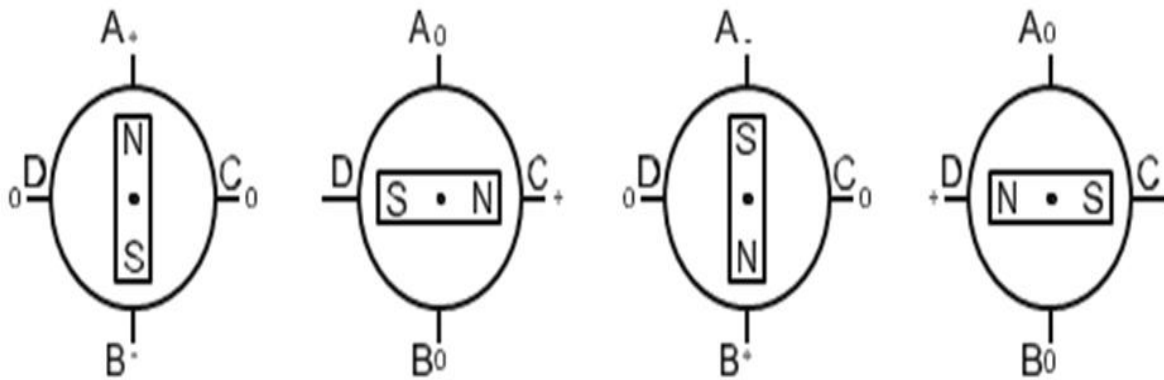


Figure III. 15 - Séquences de commande d'un moteur en mode monophasé [34]

C'est en fait dans le mode biphasé, que le moteur pourra développer la plus grande puissance, et ainsi développer un couple plus élevé car les deux phases seront alimentées simultanément.

##### b- Mode biphasé

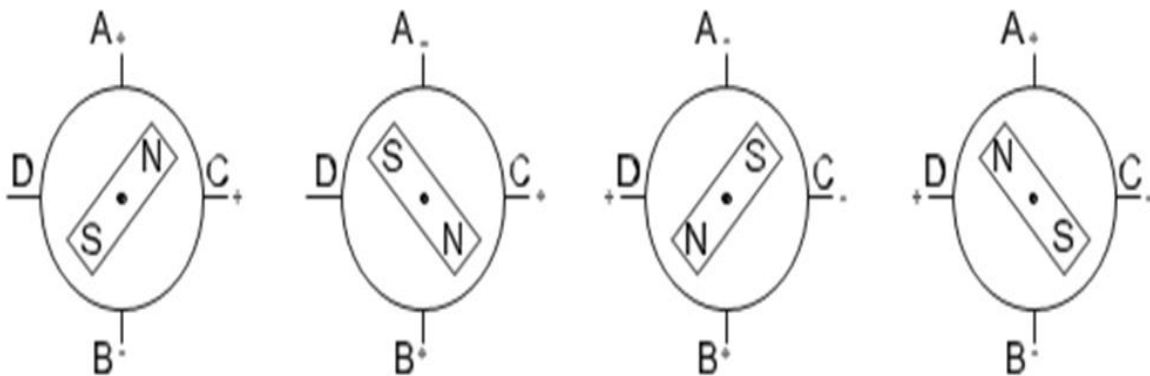
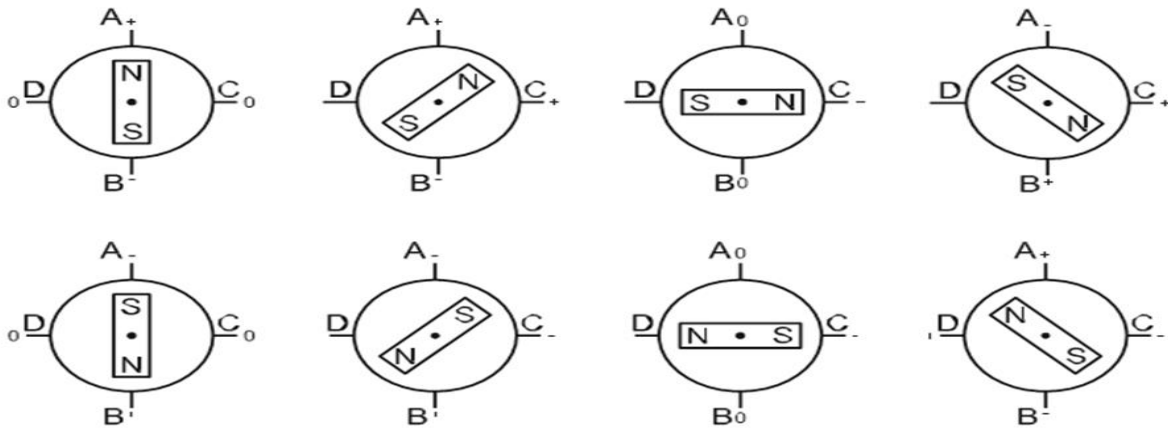


Figure III. 16 - Séquences de commande d'un moteur en mode biphasé [34]

#### III.3.4.7.2 Mode pas entier Half-Step

Le mode demi-pas ou half step en anglais permet de doubler le nombre de pas qu'un moteur peut effectuer par tour. La commande du moteur est donc de ce fait un mélange de mode biphasé et monophasé.

**a- Mode demi-pas**



**Figure III. 17 - Séquences de commande d'un moteur en mode demi-pas [34]**

Mode monophasé	Mode biphasé	Mode demi-pas
AB	AB-CD	AB
CD	BA-CD	AB-CD
BA	BA-DC	CD
DC	AB-DC	BA-DC
		BA
		BA-DC
		DC
		AB-DC

**Tableau III. 4 - Ordre des différentes commandes pour un moteur bipolaire**

**III.3.4.8 Critère de choix d'un moteur pas à pas**

Le choix d'un moteur pas à pas se fait suivant les critères suivants :

- L'application considérée.
- Le mode de commande.
- Le nombre de pas par tour.
- La fréquence de travail.
- La puissance du moteur.

### III.3.5 Commande des moteurs basés sur le circuit L293D

#### III.3.5.1 Définition

Le circuit intégré L293D est un composant électronique multifonctionnel. LE CI L293D est utilisé pour le contrôle des moteurs et d'autres périphériques. Le L293D est largement utilisé dans de nombreux projets de robotique, d'automatisation et même de domotique.

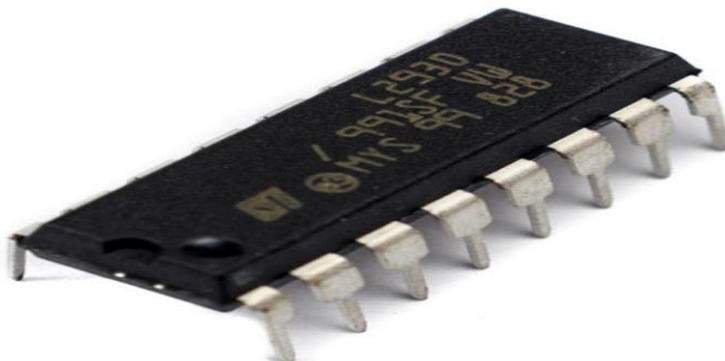


Figure III. 18 - le circuit l293D[39]

#### III.3.5.2 Présentation du L293D

Le L293D est un circuit intégré à pont en H. LE CI L293D est aussi connu sous le nom de pilote de moteur. Ce CI est conçu pour contrôler la vitesse et la direction des moteurs à courant continu et des moteurs pas à pas. Le dispositif est produit par plusieurs fabricants et se présente sous la forme d'un boîtier double en ligne (DIP) à 16 broches.[39]

#### III.3.5.3 Caractéristiques principales du L293D

- Tension d'alimentation : En effet, le L293D a une plage de tension d'alimentation de 4,5 V à 36 V, ceci le rend compatible avec une grande variété d'alimentations.
- Courant de sortie pouvant atteindre jusqu'à 600 mA par canal en continu, 1,2 A en impulsion.
- Nombre de canaux : Le L293D possède quatre demi-ponts en H, il peut ainsi contrôler jusqu'à deux moteurs DC ou un moteur pas à pas bipolaire.
- Contrôle de la vitesse : Le L293D permet donc l'utilisation de la modulation de largeur des l'impulsion pour réguler la vitesse du moteur.
- Protection thermique : Le circuit intégré est mini d'un mécanisme de protection thermique intégré qui permet de désactiver automatiquement la sortie en cas de surchauffe.

#### III.3.5.4 Applications courantes du L293D

- En robotique il est utilisé pour contrôler les moteurs de robots mobiles, les bras robotiques et les véhicules autonomes.



- Projets d'électronique embarquée : Il est aussi utilisé pour le contrôle des moteurs dans les projets de drones, de voitures téléguidées et de quadricoptères.
- Imprimantes 3D : Il peut aussi être utilisé pour contrôler les moteurs d'axes et les extrudeurs dans les imprimantes 3D.

### III.3.5.5 Avantages du L293D

- **Le L293D** est facile à utiliser et ceci grâce à sa configuration et à ses brochages standard, le L293D s'intègre facilement dans les projets électroniques.
- **L293D** est un composant peu onéreux, il est abordable et disponible sur le marché.
- **Le L293D** a une Large gamme de tensions d'alimentation et peut être utilisé avec une variété d'alimentations, offrant une flexibilité d'application.
- **Le L293D** est doté d'une protection thermique intégrée qui assure la sécurité et la durabilité du circuit intégré.[39]

## III.3.6 Le module horloge temps réel DS1307

### III.3.6.1 Définition

Le DS1307 est une horloge en temps réel (RTC) très populaire fabriquée par Maxim Integrated Products. La puce peut être aisément intégrée à divers microcontrôleurs, y compris Arduino, pour ajouter des fonctionnalités d'horloge et de calendrier.

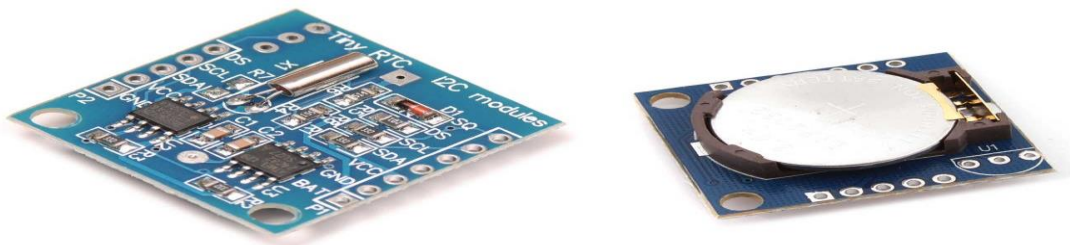


Figure III. 19 - la DS1307

### III.3.6.2 Caractéristiques du DS1307

Le DS1307 est un RTC avec une tension de fonctionnement de 5V. Ce dernier est capable de mesurer le temps avec une précision de  $\pm 2$  minutes par mois à température ambiante. La puce dispose d'une mémoire non volatile permettant de stocker l'heure, la date et d'autres informations importantes, et est aussi alimenté par une pile bouton pour conserver la mémoire en cas de coupure de courant. Le DS1307 peut communiquer avec d'autres dispositifs tels que des microcontrôleurs à l'aide d'une interface série I2C. Il possède une fréquence d'horloge maximale de 100 kHz et peut être adressé à l'aide de sept bits d'adresse. La puce possède aussi des fonctions d'alarme et de minuterie programmables.

### III.3.6.3 Avantages et inconvénients

Le DS1307 est facile à utiliser à programmer. Il est compatible avec différents microcontrôleurs et plates-formes de développement, ce qui rend ce composant particulièrement populaire pour les projets électroniques. En plus sa faible consommation d'énergie et sa mémoire non volatile en font un choix rêvé pour les projets autonomes. Cependant, ce dernier présente aussi quelques inconvénients. En effet, il est corrélativement imprécis et peut s'éloigner du temps réel au fil du temps. En plus ce dernier, est sensible aux interférences électromagnétiques et peut nécessiter des mesures supplémentaires pour maintenir une horloge précise.

### III.3.6.4 Fonctionnement

Le DS1307 fonctionne en utilisant une combinaison de circuits numériques et analogiques. en même temps Il est doté d' un oscillateur interne qui fournit les impulsions de fréquence pour le compteur de temps et un circuit qui mesure le temps entre les impulsions et les convertit en heures, minutes et secondes.

La puce utilise aussi une mémoire non volatile qui permet de stocker les informations relatives à l'heure et à la date, ainsi que d'autres informations importantes telles que les réglages de l'alarme et les fonctions de la minuterie. La mémoire est alimentée par une pile bouton et conserve les données même en cas de panne de courant.

### III.3.6.5 Utilisations

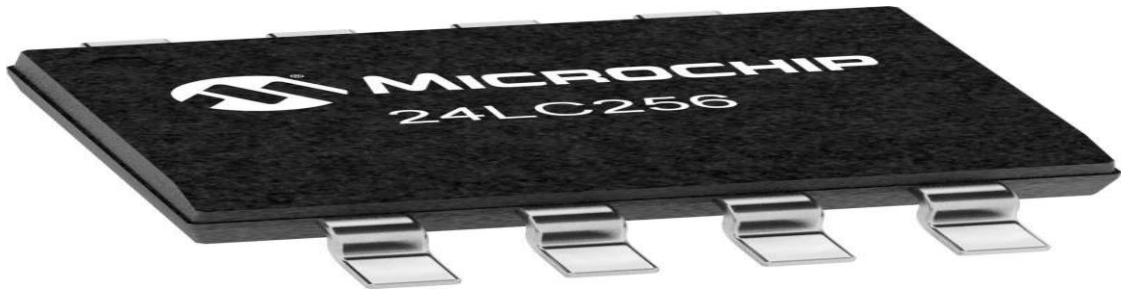
Il est utilisé dans des applications telles que :

- La synchronisation d'horloge pour les systèmes de sécurité,
- La mesure du temps pour les systèmes de surveillance de l'environnement et les horloges pour les projets électroniques.
- Dans les horloges à quartz et les montres numériques.

## III.3.7 La mémoire de stockage de données 24LC256

### III.3.7.1 Définition

Le 24LC256 est une mémoire morte programmable effaçable électriquement (EEPROM) fabriquée par Microchip Technology. Elle est conçue pour stocker de manière permanente des données numériques. Cette mémoire peut être utilisée dans une variété d'applications, notamment les systèmes embarqués, les capteurs, les dispositifs de stockage de données.[40]



**Figure III. 20** - la 24LC256 [40]

### **III.3.7.2 Caractéristiques**

Le 24LC256 a une capacité de stockage de 256 kilobits (32 kilo-octets) organisés en 512 pages de 64 octets chacune.

Le 24LC256 peut être programmé et effacé électriquement, ce qui signifie que les données peuvent être écrites et effacées sans équipement de programmation spécialisé.

Le 24LC256 fonctionne entre 2,5 et 5,5 V avec une consommation de courant typique de 400  $\mu$ A à 5 V.

### **III.3.7.3 Communication**

La communication avec la mémoire 24LC256 se fait par l'intermédiaire d'un bus de circuit intégré à deux fils (I2C). L'appareil possède une adresse I2C fixe qui peut être sélectionnée en connectant les broches A0, A1 et A2 à la masse ou à VCC. Une fois l'adresse sélectionnée, les données peuvent être lues ou écrites dans la mémoire à l'aide de la commande appropriée. La mémoire 24LC256 est équipée d'un système de protection des données qui garantit l'intégrité des données stockées.

Elle dispose également d'un indicateur d'état d'écriture, qui permet de déterminer si une opération d'écriture est en cours.[40]

### **III.3.7.4 Cycle de lecture/écriture**

Le cycle de lecture de la mémoire 24LC256 est divisé en trois phases : envoi de l'adresse de la page, envoi de l'adresse de l'octet et lecture de l'octet. Le cycle d'écriture est un peu plus complexe et nécessite plusieurs étapes dont l'envoi de l'adresse de la page, l'envoi de l'adresse de l'octet, l'envoi des données à écrire, la vérification de l'indicateur d'état d'écriture.[40]

### **III.3.7.5 Applications**

La mémoire 24LC256 est largement utilisée dans les systèmes embarqués, notamment pour stocker les données de configuration et les paramètres utilisateur. Elle peut également être utilisée dans les capteurs et les dispositifs de stockage de données tels que les cartes SD pour stocker les données collectées.

## **III.4 CONCLUSION**

De ce chapitre, nous avons présenté le mode de fonctionnement de notre suiveur solaire intelligent, nous avons présenté aussi les différents composants électroniques utilisés pour la réalisation du système de poursuite étudié, ce qui nous permettra de présenter, et expliquer le fonctionnement de notre suiveur solaire dans le chapitre qui suit.

**Chapitre IV**  
**Simulation et Réalisation**  
**de notre prototype**

## IV.1 INTRODUCTION

Notre projet consiste en la réalisation d'un système de tracking solaire.

Dans ce chapitre nous allons expliquer le principe de fonctionnement de notre traqueur, ainsi que les différents blocs qui constituent notre projet.

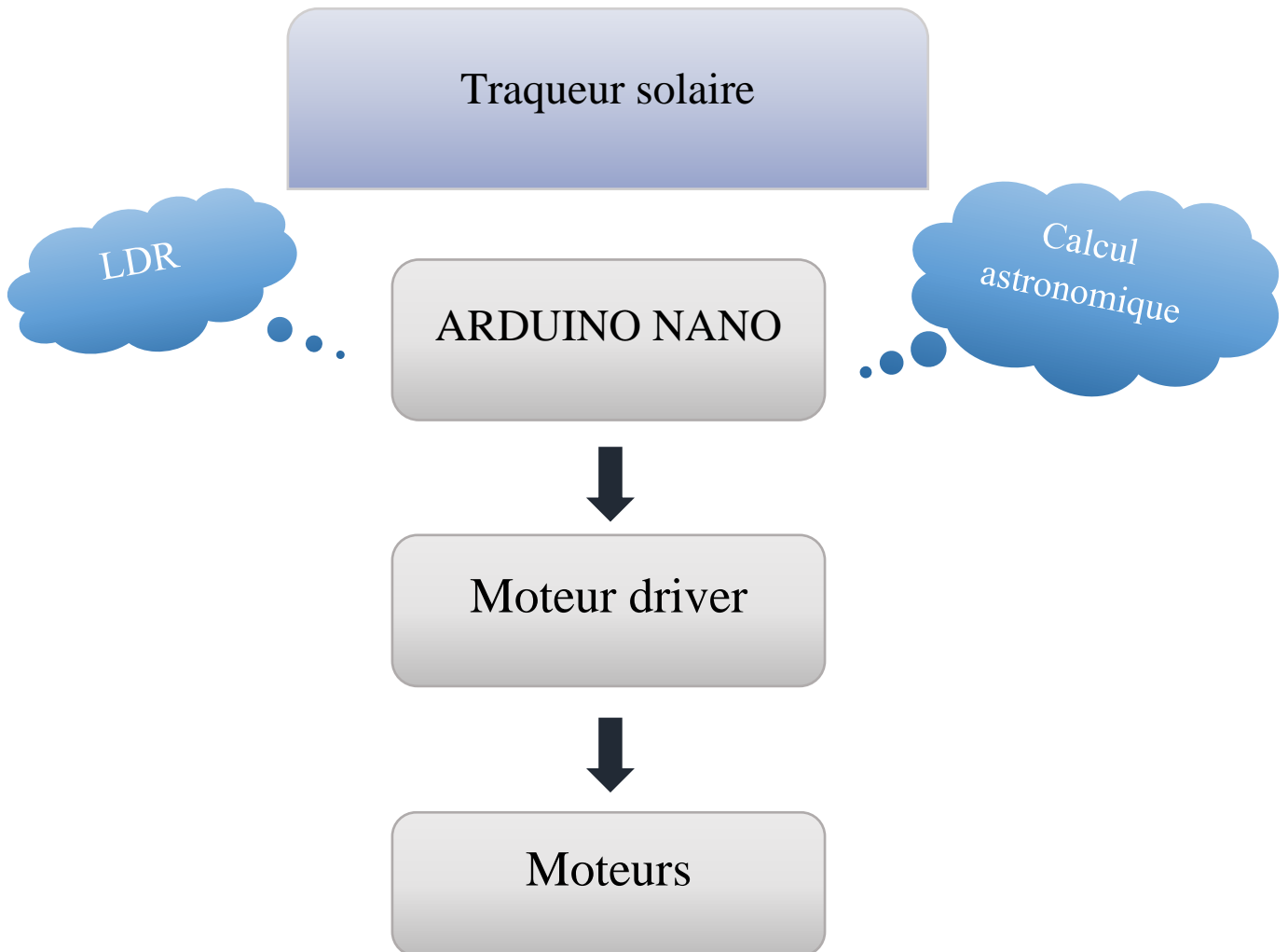
Ces différentes étapes sont divisées en trois parties :

La partie électrique qui contient la connexion entre les composants électriques.

La partie mécanique qui sert à supporter les panneaux solaires.

Enfin, la partie contrôle qui consiste en une carte Arduino nano.

Finalement, l'assemblage de toutes ces parties rend notre système capable de suivre la trajectoire du soleil en temps réel tout au long de la journée.



**Figure IV. 1** - Schéma général de communication du système prototype

Cependant, il était intéressant de simuler notre prototype avant de passer à l'implémentation de notre circuit.

## IV.2 La partie Simulation

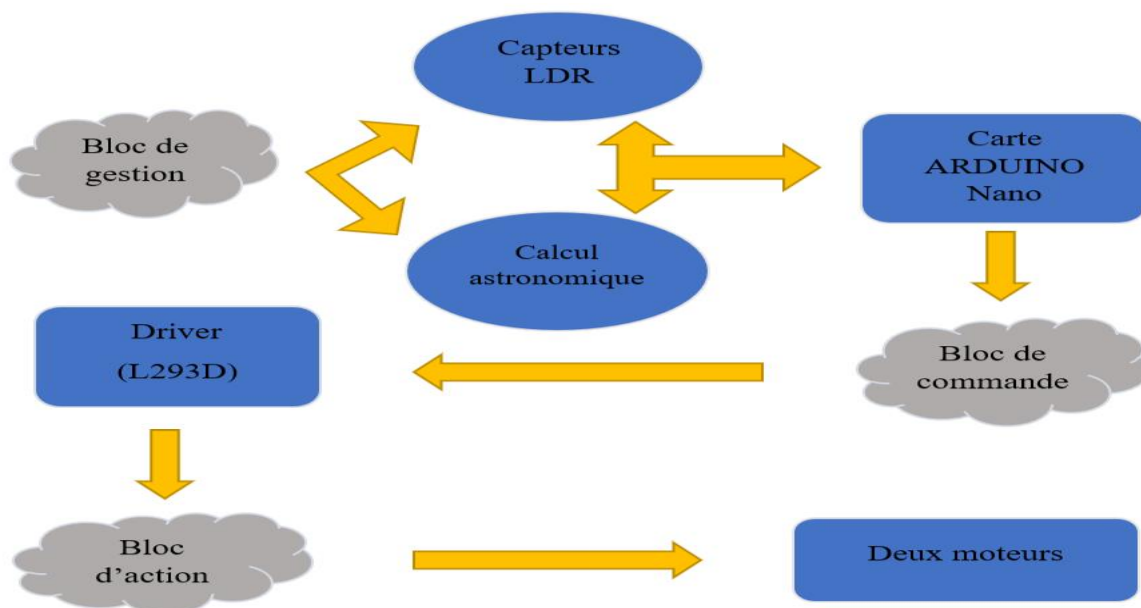
La simulation joue un rôle important dans le développement des sciences et des technologies. Elle nous donne la possibilité d'étudier et de modéliser différents systèmes avant de passer à leur mise en œuvre. [42]

Ainsi, elle permet aux fabricants de réduire les coûts et les dépenses liés aux essais expérimentaux. [42]

Il existe plusieurs logiciels de simulation tels que multi Sim et PDN Analyzer. Cependant, le logiciel le plus utilisé est le logiciel "PROTEUS".

## IV.3 Etude des différents blocs (matériels)

Ce système de poursuite de soleil se compose des éléments montrés dans figure IV.02 ci-dessous



**Figure IV. 2 - Assemblage de notre système**

- Les principaux éléments sont les suivant :
- Deux moteurs.
- Une carte Arduino Nano.
- 04 photorésistances (LDR).
- Horloge en temps réel (RTC DS1307).
- Deux drivers (L293d).

## IV.4 SOLUTIONS PROPOSÉES

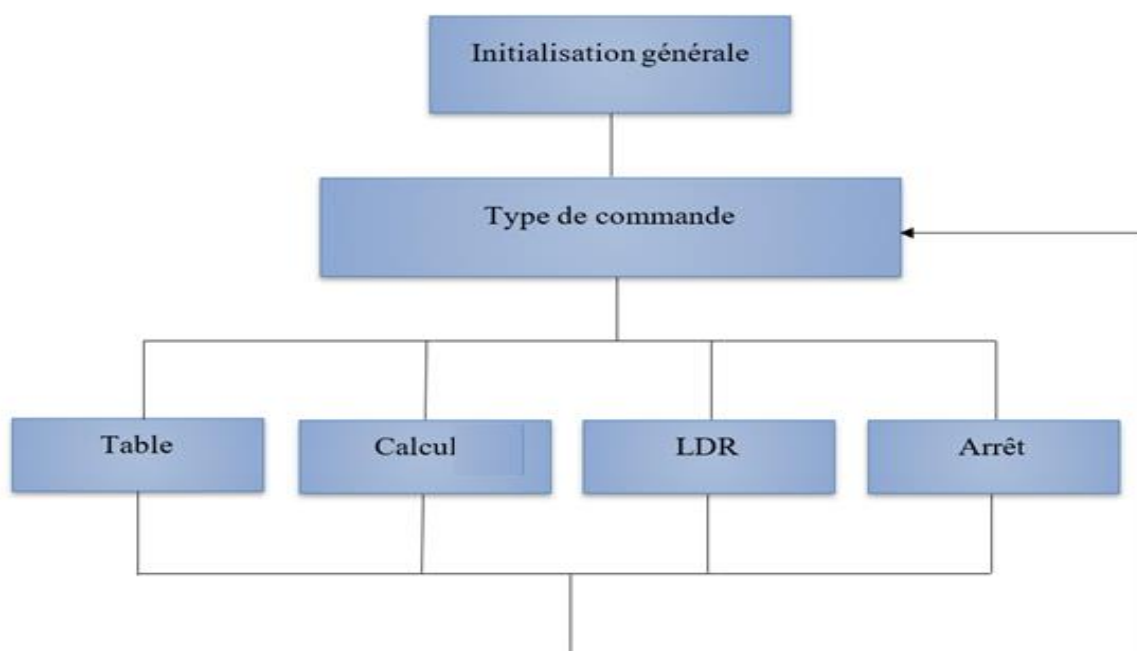
Nous allons décrire dans ce qui va suivre 3 méthodes différentes pour arriver à contrôler tout panneau solaire concernant son orientation et ce pour un maximum de rendement :

- solution à base de LDR qui font office de capteurs de lumières.
- solution à base de tableau recalculé. Ces valeurs sont stockées dans des EEPROM et contiennent les angles de l'azimut et de l'élévation du soleil au cours d'une année complète.
- solution purement par calcul en temps réel. Connaissant la date et l'heure en cours (données par le RTC) on fait le calcul pour trouver les 2 angles qui nous intéressent à savoir l'azimut et l'élévation).

Dans les 3 solutions précédemment décrites, l'orientation du panneau est assurée par 2 moteurs pour un positionnement optimal. Ce dernier est directement en relation avec les angles azimut et élévation.

On peut décomposer notre réalisation en trois parties :

- Partie électrique : câblage, driver (L293d), moteurs.
- Partie mécanique : support et panneau.
- Partie commande : Arduino Nano, RTC, EEPROM, LDR



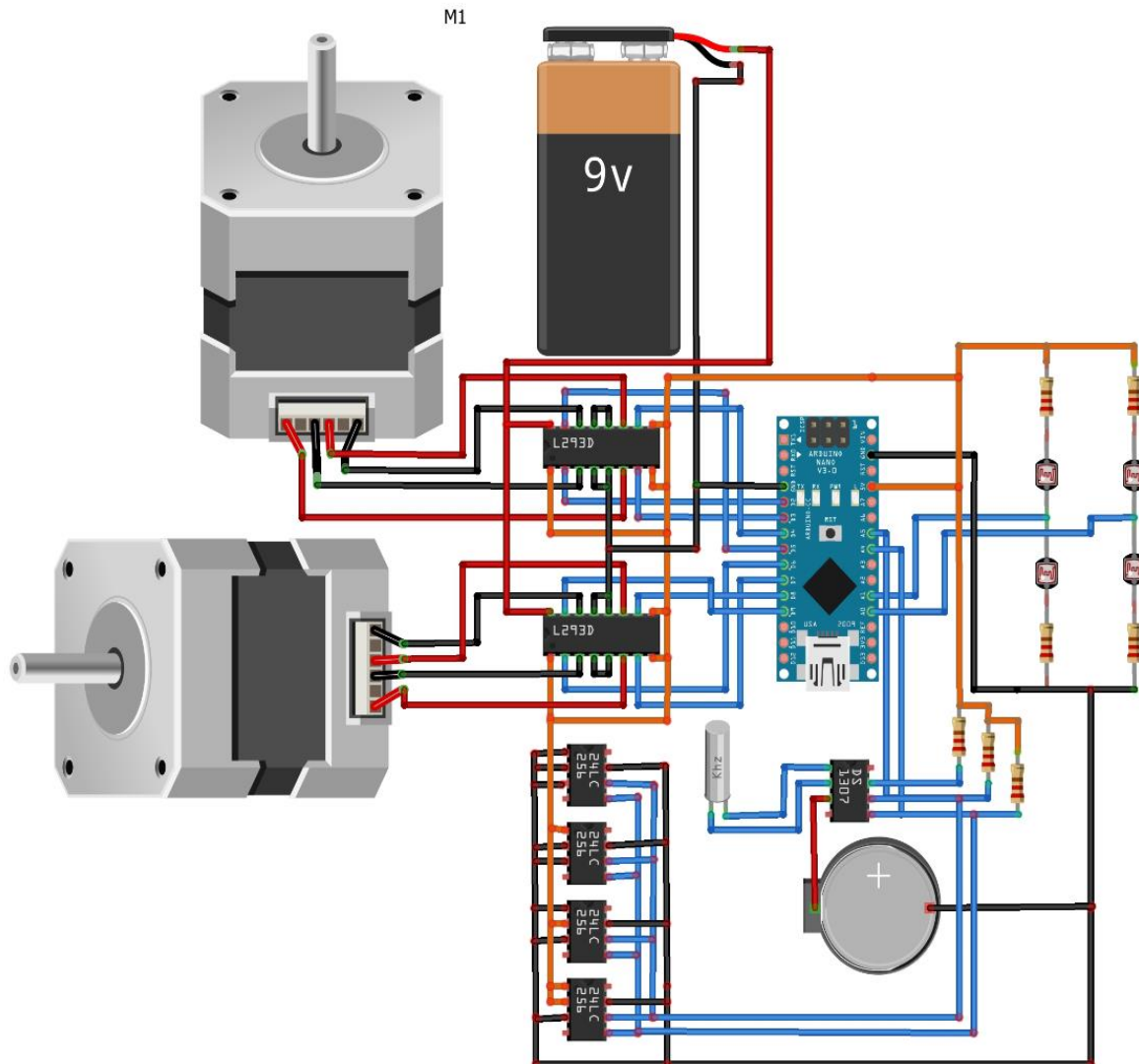
**Figure IV. 3** – Présentation de l'organigramme générale du notre programme



### IV.4.1 Circuit global

#### IV.4.1.1 Circuit sous Fritzing

Les différentes parties sont reliées, suivant le schéma de câblage ci-dessous (la figure IV.03) :



**Figure IV. 4** - Schéma du circuit électrique du système suiveur sur Fritzing

IV.4.1.2 Circuit sous ISIS

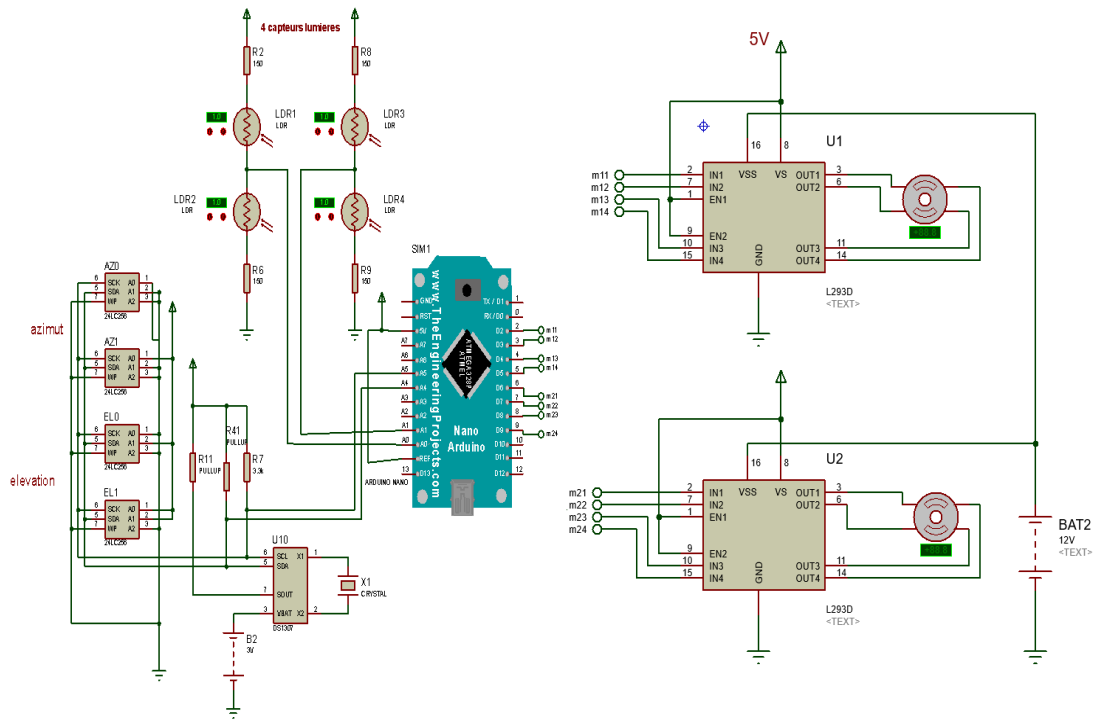


Figure IV. 5 - Le schéma globale du circuit électrique sur Proteus

IV.4.2 COMMANDES MOTEURS

IV.4.2.1 circuit

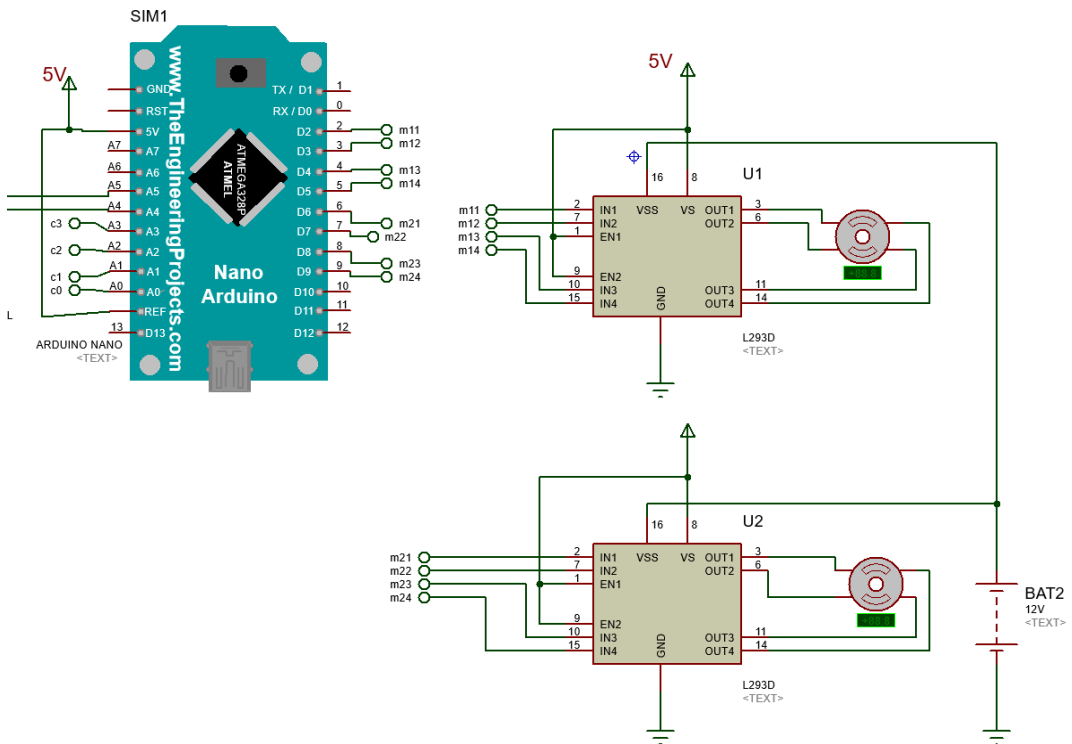


Figure IV. 6 - Le schéma de câblage électrique des moteurs avec l'Arduino

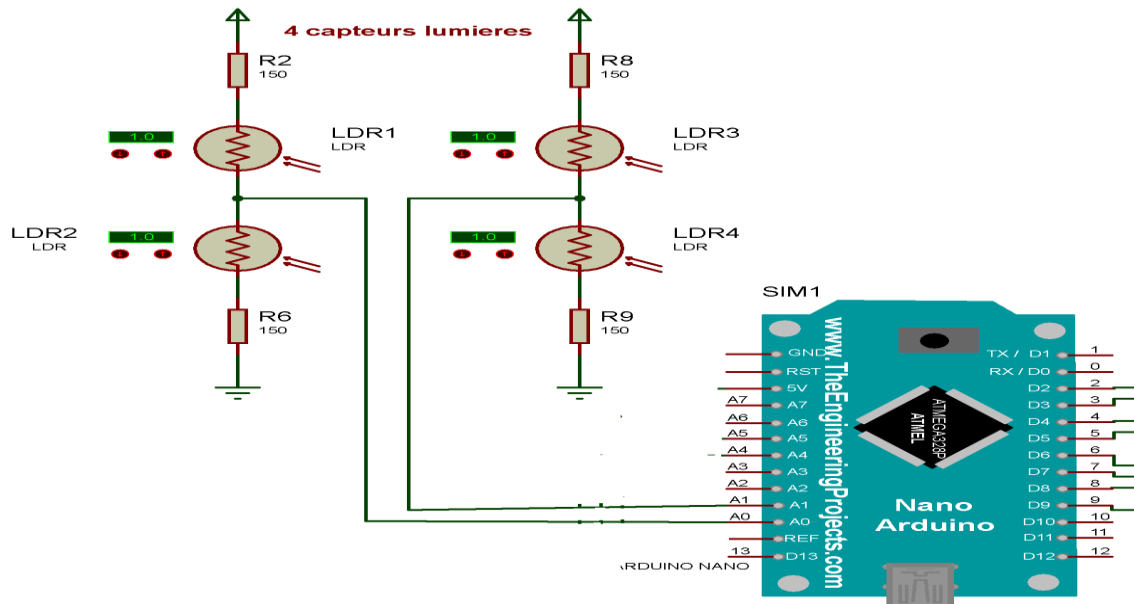
### IV.4.2.2 Principe de fonctionnement

Les 2 moteurs, pilotés par 2 drivers se positionnent selon 2 angles (azimut et élévation). Le microcontrôleur se charge des impulsions délivrées aux 2 drivers.

Cette partie est commune aux 3 solutions proposées que nous allons décrire par la suite.

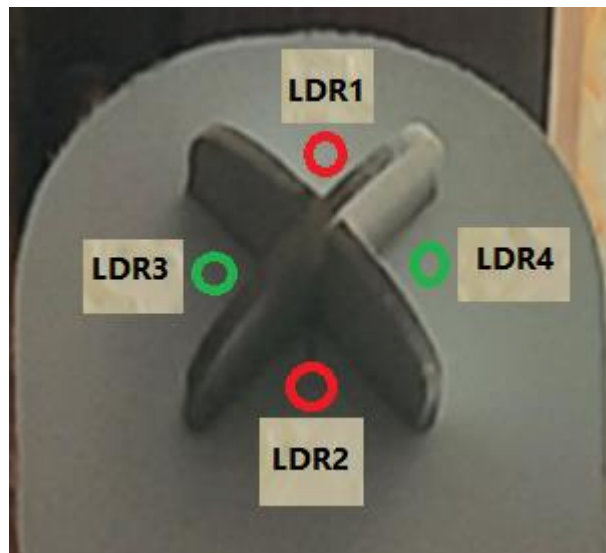
## IV.4.2 SOLUTION A BASE DE LDR

### IV.4.2.1 circuit



**Figure IV. 7** - Le schéma de câblage électrique des capteurs LDRs avec l'Arduino

Nous avons utilisé quatre LDR placées suivant la photo ci-dessous :



**Figure IV. 8** – L'emplacement des LDR

#### IV.4.2.2 Fonctionnement

La présence de 4 LDR (2 pour l'azimut et 2 pour l'élévation) permet de situer l'emplacement actuel du soleil.

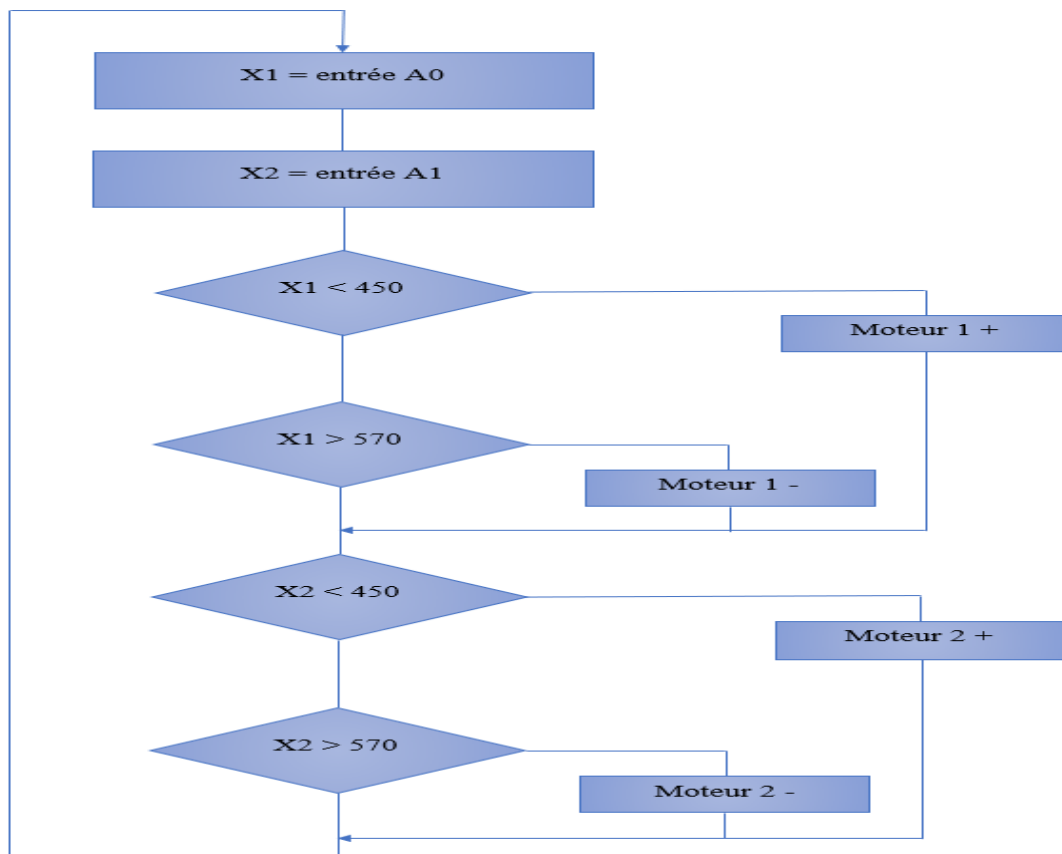
Théoriquement un bon positionnement doit donner une tension de 'l'entrée analogique A0 (ou A1) de l'Arduino de 2.5 volts. Cette tension convertie équivaut à une valeur numérique de 512 (sur 10 bits).

Pour avoir une marge d'erreur acceptable et pour éviter toute instabilité nous avons laissé une certaine marge de tolérance. Le tableau ci-dessous en donne un aperçût.

	$0 < X < 450$	$450 < X < 570$	$570 < X < 1023$
Sens du déplacement moteur	Avance	Arrêt	Recul

**Tableau IV. 1** – Table des donnes pour contrôler le séance des moteurs

#### IV.4.2.3 Organigramme



**Figure IV. 9** - Organigramme de commande par la méthode du LDR

### IV.4.3 Solution par valeurs recalculées

#### IV.4.3.1 Le site web qui contient les coordonnées du soleil

Le site web [www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php](http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php) est un outil en ligne qui calcule la position du soleil pour une heure et un lieu donné.

Le site est divisé en deux sections principales : la première section permet de sélectionner un lieu géographique en entrant les coordonnées de latitude et de longitude, ou de sélectionner un point sur la surface de la terre à l'aide d'une carte interactive. La seconde section permet de sélectionner une date et une heure spécifiques pour lesquelles la position du soleil sera calculée.

Une fois ces informations saisies, le site calcule et affiche diverses données sur la position du soleil à cet endroit et à cette heure, y compris l'azimut et l'élévation du soleil, les heures de lever et de coucher du soleil, la durée du jour et de la nuit, ainsi que des informations complémentaires pour la position du soleil.

Le site peut être utilisé à diverses fins, notamment pour planifier des activités de plein air, concevoir des systèmes de chauffage solaire ou des panneaux solaires, ou étudier le comportement du soleil à différentes périodes de l'année dans différents endroits du monde.[41] Pour notre cas on choisi comme lieu le parking du GEE de notre université

- latitude : 34.9207145 (nord)

-longitude : -1.3016269 (ouest)

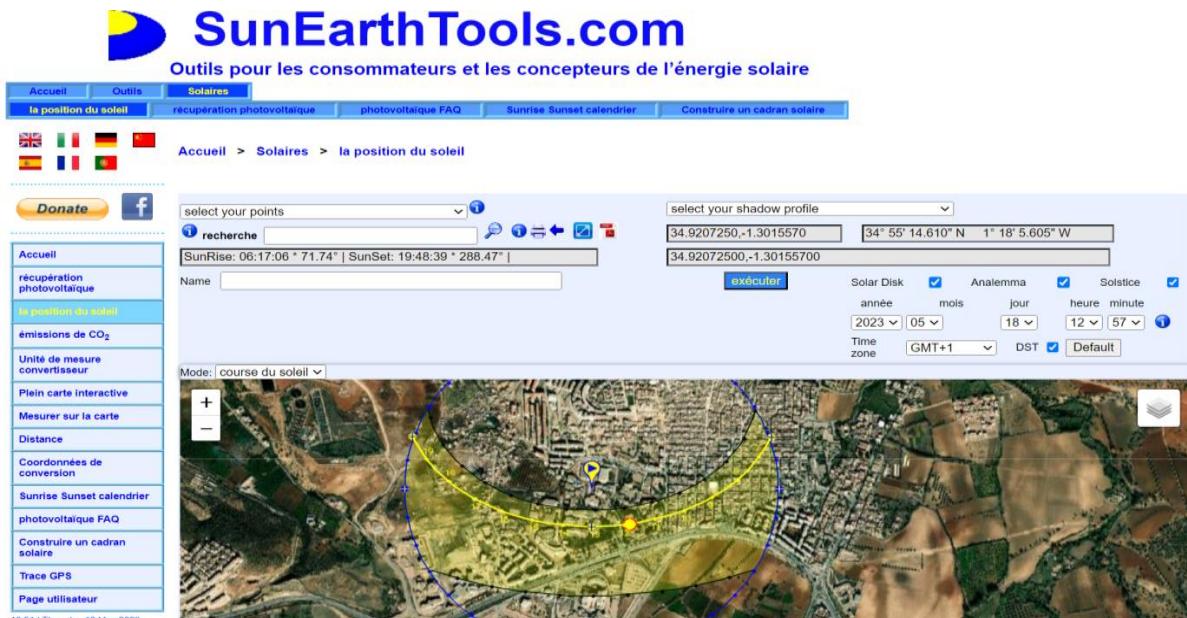


Figure IV. 10 - Le site web [41]

### IV.4.3.2 Tables des valeurs

Table azimut du 1 janvier à 05h :55mn au 31 décembre à 20h :20 (pas de 5 minutes).

-1.3016269	A 13:55:00	A 14:00:00	A 14:05:00	A 14:10:00	A 14:15:00	A 14:20:00	A 14:25:00	A 14:30:00
01/01/2023	192.45	193.76	195.07	196.36	197.65	198.92	200.18	201.43
02/01/2023	192.35	193.66	194.97	196.27	197.55	198.83	200.10	201.35
03/01/2023	192.24	193.56	194.87	196.17	197.46	198.74	200.01	201.27
04/01/2023	192.15	193.47	194.78	196.09	197.38	198.66	199.93	201.19
05/01/2023	192.05	193.38	194.69	196.00	197.30	198.58	199.86	201.12
06/01/2023	191.96	193.29	194.61	195.92	197.22	198.51	199.78	201.05
07/01/2023	191.87	193.20	194.52	195.84	197.14	198.44	199.72	200.99
08/01/2023	191.78	193.12	194.45	195.76	197.07	198.37	199.65	200.93
09/01/2023	191.70	193.04	194.37	195.69	197.00	198.31	199.59	200.87
10/01/2023	191.62	192.96	194.30	195.63	196.94	198.25	199.54	200.82
11/01/2023	191.54	192.89	194.23	195.56	196.88	198.19	199.49	200.77
12/01/2023	191.47	192.83	194.17	195.50	196.83	198.14	199.44	200.73
13/01/2023	191.40	192.76	194.11	195.45	196.78	198.10	199.40	200.70
14/01/2023	191.34	192.70	194.06	195.40	196.73	198.05	199.37	200.66
15/01/2023	191.28	192.65	194.00	195.35	196.69	198.02	199.33	200.64
16/01/2023	191.22	192.59	193.96	195.31	196.65	197.99	199.31	200.61
17/01/2023	191.17	192.55	193.91	195.27	196.62	197.96	199.28	200.60
18/01/2023	191.12	192.50	193.88	195.24	196.60	197.94	199.27	200.59
19/01/2023	191.07	192.46	193.84	195.21	196.57	197.92	199.26	200.58
20/01/2023	191.03	192.43	193.81	195.19	196.56	197.91	199.25	200.58
21/01/2023	191.00	192.40	193.79	195.17	196.54	197.90	199.25	200.58
22/01/2023	190.97	192.37	193.77	195.16	196.53	197.90	199.25	200.59
23/01/2023	190.94	192.35	193.76	195.15	196.53	197.90	199.26	200.61
24/01/2023	190.92	192.34	193.75	195.15	196.53	197.91	199.28	200.63

-  
-  
-

19/12/2023	194.05	195.34	196.63	197.90	199.16	200.41	201.65	202.87
20/12/2023	193.92	195.21	196.50	197.77	199.03	200.28	201.52	202.75
21/12/2023	193.79	195.08	196.37	197.64	198.90	200.15	201.39	202.62
22/12/2023	193.66	194.95	196.24	197.51	198.78	200.03	201.27	202.50
23/12/2023	193.53	194.83	196.11	197.39	198.65	199.91	201.15	202.38
24/12/2023	193.41	194.70	195.99	197.27	198.53	199.79	201.03	202.26
25/12/2023	193.28	194.58	195.87	197.15	198.42	199.67	200.92	202.15
26/12/2023	193.16	194.46	195.75	197.03	198.30	199.56	200.81	202.04
27/12/2023	193.04	194.34	195.63	196.92	198.19	199.45	200.70	201.94
28/12/2023	192.92	194.23	195.52	196.81	198.08	199.34	200.59	201.83
29/12/2023	192.81	194.11	195.41	196.70	197.97	199.24	200.49	201.73
30/12/2023	192.69	194.00	195.30	196.59	197.87	199.14	200.39	201.64
31/12/2023	192.58	193.89	195.20	196.49	197.77	199.04	200.30	201.54

Table élévation du 1 janvier à 05h :55mn au 31 décembre à 20h :20 (pas de 5 minutes).

-1.3016269	E 13:55:00	E 14:00:00	E 14:05:00	E 14:10:00	E 14:15:00	E 14:20:00	E 14:25:00	E 14:30:00
01/01/2023	31.06	30.82	30.57	30.29	29.99	29.67	29.33	28.96
02/01/2023	31.16	30.93	30.68	30.40	30.10	29.78	29.44	29.08
03/01/2023	31.27	31.05	30.79	30.52	30.22	29.91	29.57	29.21
04/01/2023	31.39	31.17	30.92	30.64	30.35	30.03	29.70	29.34
05/01/2023	31.52	31.30	31.05	30.78	30.48	30.17	29.83	29.47
06/01/2023	31.65	31.43	31.18	30.91	30.62	30.31	29.97	29.62
07/01/2023	31.79	31.57	31.33	31.06	30.77	30.46	30.12	29.77
08/01/2023	31.94	31.72	31.48	31.21	30.92	30.61	30.28	29.92
09/01/2023	32.10	31.88	31.63	31.37	31.08	30.77	30.44	30.08
10/01/2023	32.26	32.04	31.80	31.53	31.25	30.94	30.61	30.25
11/01/2023	32.42	32.21	31.97	31.70	31.42	31.11	30.78	30.43
12/01/2023	32.60	32.38	32.14	31.88	31.60	31.29	30.96	30.61
13/01/2023	32.78	32.56	32.33	32.07	31.78	31.47	31.15	30.80
14/01/2023	32.96	32.75	32.51	32.25	31.97	31.67	31.34	30.99
15/01/2023	33.16	32.94	32.71	32.45	32.17	31.86	31.54	31.19
16/01/2023	33.36	33.14	32.91	32.65	32.37	32.07	31.74	31.39
17/01/2023	33.56	33.35	33.12	32.86	32.58	32.27	31.95	31.60
-								
-								
-								
18/12/2023	30.34	30.08	29.79	29.49	29.16	28.81	28.44	28.05
19/12/2023	30.34	30.08	29.80	29.50	29.17	28.82	28.46	28.07
20/12/2023	30.35	30.09	29.81	29.51	29.19	28.84	28.48	28.09
21/12/2023	30.37	30.11	29.83	29.53	29.21	28.87	28.51	28.12
22/12/2023	30.39	30.14	29.86	29.56	29.24	28.90	28.54	28.16
23/12/2023	30.42	30.17	29.90	29.60	29.28	28.95	28.59	28.21
24/12/2023	30.46	30.21	29.94	29.65	29.33	29.00	28.64	28.26
25/12/2023	30.51	30.26	29.99	29.70	29.39	29.05	28.70	28.32
26/12/2023	30.56	30.31	30.05	29.76	29.45	29.11	28.76	28.39
27/12/2023	30.62	30.38	30.11	29.82	29.52	29.19	28.83	28.46
28/12/2023	30.69	30.45	30.18	29.90	29.59	29.26	28.91	28.54
29/12/2023	30.76	30.52	30.26	29.98	29.67	29.35	29.00	28.63
30/12/2023	30.84	30.61	30.35	30.07	29.76	29.44	29.09	28.73
31/12/2023	30.93	30.70	30.44	30.16	29.86	29.54	29.19	28.83

Table donnant les valeurs de l'azimut et l'élévation au cours d'une année complète (1 janvier au 31 décembre) et ce de 05h55 à 20h20 (valeurs limites de l'hiver et de l'été).

Ces valeurs sont stockées dans des EEPROM.

IV.4.3.3 Circuit

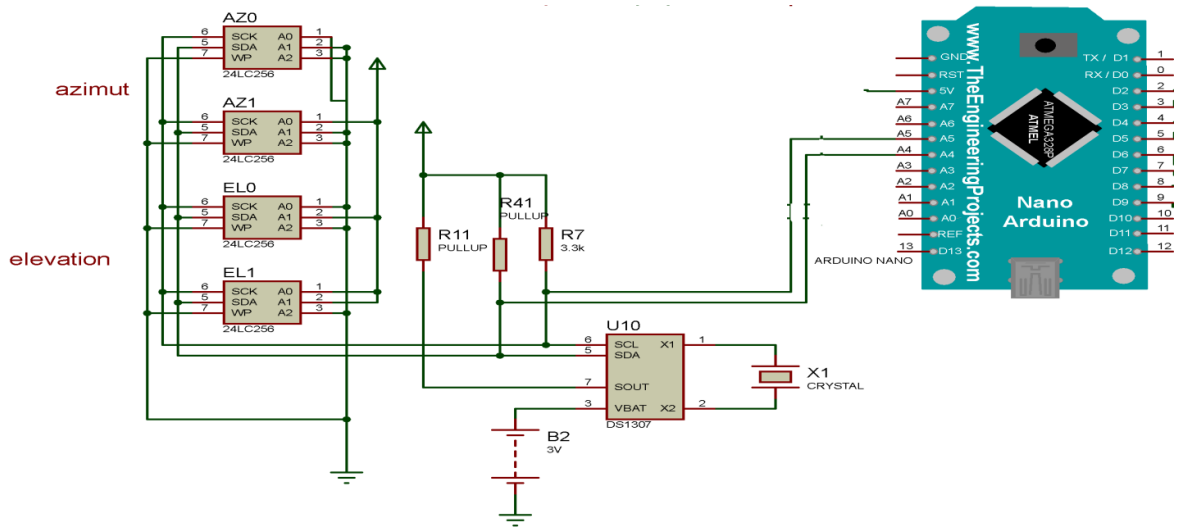


Figure IV. 11- Le schéma de câblage électrique d'un RTC (DS1307) avec l'Arduino

IV.4.3.4 Principe de fonctionnement

Toutes les 2 minutes le uC interroge le RTC. Ce dernier va donner la date et l'heure en cours.

A partir de ces informations le programme va déterminer l'adresse exacte dans l'EEPROM et ainsi pouvoir y lire les 2 valeurs qui nous intéressent à savoir l'azimut et l'élévation.

IV.4.3.5 Organigramme

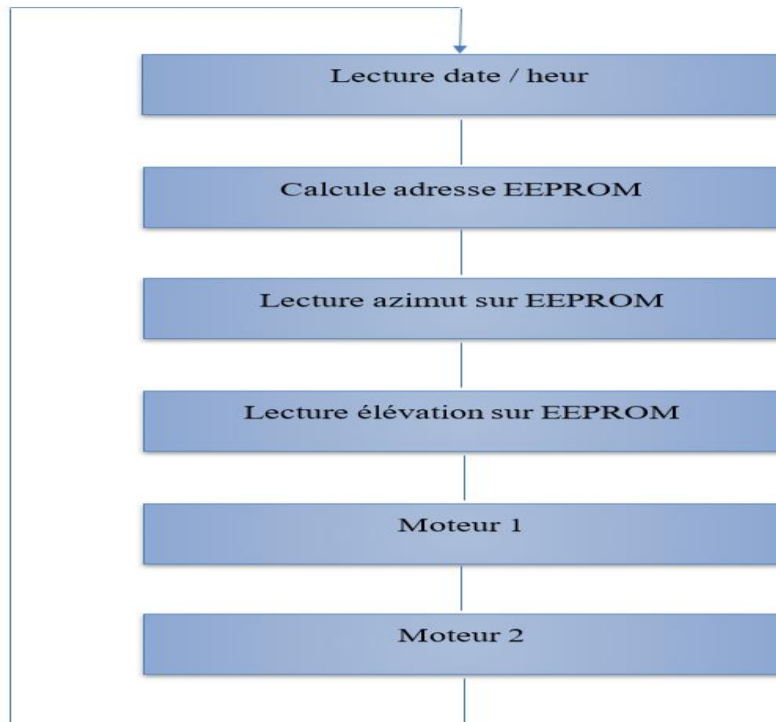


Figure IV. 12 – Organigramme de commande par table de valeurs



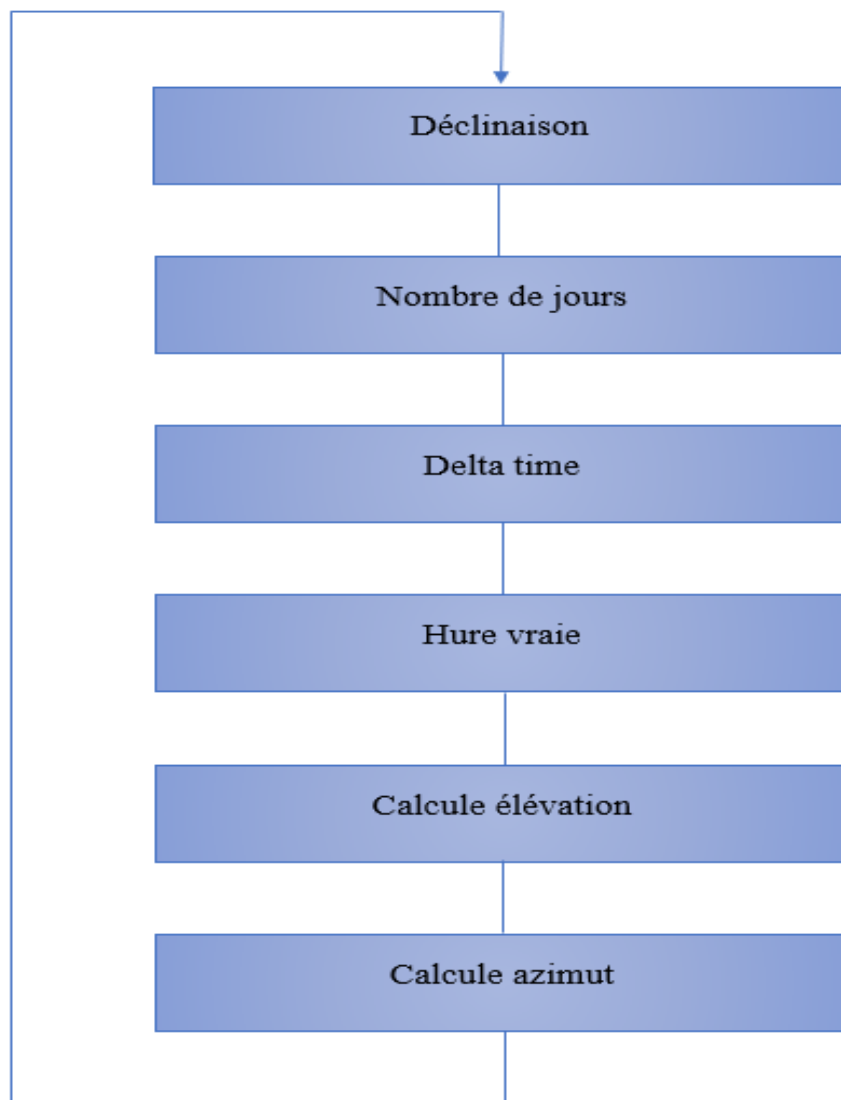
#### IV.4.4 Solution par calcul en temps réel

##### IV.4.4.1 Principe général

Ces calculs reposent principalement sur :

- l'évolution de la terre autour du soleil.
- déclinaison de la terre par rapport au plan de l'écliptique (printemps et automne).
- emplacement du lieu.
- heure et date en cours.

##### IV.4.4.2 Organigramme



**Figure IV. 13** – Organigramme de commande par la méthode du calcul

#### IV.4.5 Comparaisons entre les 3 méthodes

	Avantages	Inconvénients
Table	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rapidité</li> <li>- Indépendant de la météo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emplacement fixe</li> <li>- Nécessite EEPROM</li> </ul>
LDR	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Simplicité</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Non opérationnel en cas de nuages</li> </ul>
Calcul	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emplacement quelconque</li> <li>- Indépendant de la météo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beaucoup de calculs</li> </ul>

**Tableau IV. 2** – comparaison entre les méthodes utilisées

#### IV.4.6 Partie mécanique

Nous avons préparé la structure de notre suiveur solaire par quelques mesures, elle est faite en bois, elle se compose de deux parties, une partie fixe et une partie mobile.

La partie mobile se compose d'un moteur monté sous la partie fixe, d'un support qui tourne sur un axe vertical et d'un support qui soulève le cadre du panneau photovoltaïque, qui à son tour guide le panneau dans la bonne orientation, qui tourne sur un axe vertical et l'axe horizontal est monté sur le dessus du support Composé de moteurs, les deux parties ensemble constituent la structure du suiveur solaire.

Le but de la structure est de soutenir les panneaux et de les orienter vers le rayonnement vertical du soleil, grâce à son système qui permet d'augmenter la productivité des panneaux photovoltaïques et d'accroître la production d'énergie électrique.



**Figure IV. 14** - Présentation des différents blocs de la structure mécanique de notre poursuite solaire



**Figure IV. 15** - Vue de profile de la Présentation des différents blocs avec la mise en marche de prototype

## **IV.5 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les différents blocs qui composent notre projet.

Pour une gestion optimale et efficace, il nous a semblé pertinent de faire une simulation à l'aide du logiciel PROTEUS.

Ensuite, nous avons passé à la réalisation des trois parties : Partie électrique, partie mécanique, partie commande

Une fois réalisé, plusieurs essais ont été effectués. Ces tests nous a permis de valider le bon fonctionnement de notre système.

# *Conclusion générale*

## Conclusion générale

- ✓ Actuellement, la connaissance des sources d'énergie renouvelables est devenue impératif pour notre existence. L'augmentation de la population mondiale a permis d'accroître la consommation d'énergie.
- ✓ À ce propos, nous avons essayé de trouver des solutions pour augmenter la production d'énergie et réduire la pollution.
- ✓ En fait, l'objectif de notre projet est de réaliser un traquer solier.
- ✓ Grâce à ce système, le monde trouve les meilleures solutions pour augmenter la production d'énergie et réduire son coût dans le futur.
- ✓ Dans ce contexte, la principale contribution de ce travail est la modélisation et le traitement de la stabilité et de la fiabilité d'un système de suivi solaire.
- ✓ Nous pourrions conclure que les résultats obtenus valident le bon fonctionnement de notre prototype.

# Perspectives

Enfin, nous terminons cette présentation par un souhait positif pour le futur.

Continuation et amélioration, de la part d'autres personnes (chercheurs, étudiants, etc.), dans cette investigation pour une minimisation de coût des charges en énergie électrique.

## Références bibliographiques

- [1] R. Merahi, "Modélisation d'un diapositif MPPT pour l'étude de l'augmentation de la puissance produite par les générateurs photovoltaïques," Annaba, 2010.
- [2] "Renewables 2020 Global Status Report Renewables Global Status Report."
- [3] S. El-Hefnawi, *Photovoltaics applications and research in Egypt and marketability of PV in developing countries*, Vol 1. ISESCO Science and Technology Vision, 2005.
- [4] BENKHELIFA Abdelaziz, Modélisation et expérimentation d'un capteur solaire plan à eau Influence de l'intensité de l'éclairement solaire et de l'inclinaison du capteur solaire sur le rendement du capteur, Université Kasdi Merbah Ouargla, mémoire master 2012
- [5] Yingni Jiang, « Computation of monthly mean daily global solar radiation in China using artificial neural networks and comparison with other empirical models », *Energy* 34, 1276–1283, 2009.
- [6] Bessemoulin, P., Oliviéri, J., « Le rayonnement solaire et sa composante ultraviolette », *La Météorologie* 8e série, n° 3, Septembre 2000.
- [7] Site web: <http://www.hqe.guidenr.fr/cible-10-hqe/position-geometrique-soleil.php>
- [8] Site web: [https://www.cder.dz/download/ICRES07\\_49.pdf](https://www.cder.dz/download/ICRES07_49.pdf).
- [9] David Lubitz William (2011). "Effet des ajustements manuels d'inclinaison sur l'irradiance incidente sur les panneaux solaires fixes et de suivi". *Énergie appliquée*. 88 (5) : 1710–1719. doi : 10.1016 / j.apenergy.2010.11.008.
- [10] David Cooke, avril 2011 "Suivi solaire simple contre double axe" , eMagazine d'énergie alternative
- [11] Chasseriau, J.M., « Conversion Thermique du Rayonnement Solaire », Ed. Dunod, France,1984.
- [12] Capderou, M., « Atlas Solaire de l'Algérie, modèles théoriques et expérimentaux», Vol. 1, T1, Office des Publications Universitaires, Algérie, 1987.
- [13] <http://www.meridienne.org/atelier/glossaire/heure-de-temps-moyen/>
- [14] [https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation\\_du\\_temps](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89quation_du_temps)
- [15] MAHDI, K., « Conception et réalisation d'un concentrateur sphérique », mémoire de Magister en physique, Université Mentouri Constantine, 2008.



- [16] <http://www.cadrans-solaires.info/sequence5/co/2-3-formules-utiles.html>.
- [17] BENKHELIFA Abdelaziz, Modélisation et expérimentation d'un capteur solaire plan à eau Influence de l'intensité de l'éclairement solaire et de l'inclinaison du capteur solaire sur le rendement du capteur, Université Kasdi Merbah Ouargla, mémoire master 2012.
- [18] BENDIB, T., Barkat, B., Djeflal, F., Hamia, N., & Nidhal, A. (2008). Commande automatique d'un système de poursuite solaire à deux axes à base d'un microcontrôleur PIC16F84A. *Journal of Renewable Energies*, 11(4), 523-532
- [19] KATIA, BELKEBIR, and Chaabi Siham. (2017), Conception et réalisation d'un suiveur de soleil à base d'une carte Arduino UNO. Projet de fin d'étude Diss. Université Mouloud Mammeri
- [20] SINI BOUKROUT ABD EL RAOUF, LAMRI Mohamed Lamine (2017) Etude et conception d'un suiveur du soleil pour un générateur, Projet de fin d'étude, Université A. M. OULHADJ – Bouira.
- [21] KADDOURI, M. A. (2015). Conception et réalisation d'un suiveur solaire à deux axes. Projet de fin d'étude, Université sidi Mohammed ben Abdallah, Fès, Maroc.
- [22] AZZI OMAR, Ben bahan youcef lundi 14 septembre 2020 Thème Réalisation d'un système de Suiveur à base arduino. Projet de fin d'étude, Université Mohamed Khider de Biskra
- [23] MEKRELOUF ALI, BENYAMINA Abderrahmen (2011) thèse étude et réalisation d'un système suiveur, mémoire d'un fin d'étude, Université de HASSIBA BEN BOUALI – CHLEF
- [24] BENZAHIA, A. (2014) Réalisation d'un prototype d'un système de poursuite solaire (Master's thesis) mémoire d'un fin d'étude, Université Mohamed Khider Biskra.
- [25] BAHI, K., & BENNESSAR, K. (2020). Simulation numérique de poursuite solaire d'un héliostat mémoire d'un fin d'étude, Ecole Supérieure des Sciences Appliquées Tlemcen.
- [26] BEN GHEDIER, I. (2020). Etude et commande d'un suiveur solaire par un système de contrôle distribué des abb ac 500 (doctoral dissertation). Université de Ghardaïa.
- [27] MEZIANE, M., & Benkara, S. (2021). Conception Et Réalisation D'un Système Photovoltaïque A Base D'une Carte Arduino. Mémoire d'un fin d'étude, Université Larbi Ben M'hidi - Oum El bouaghi.
- [28] <https://fr.scribd.com/document/640978943/621-31-119-1>
- [29] MR BOUZIANE RABEH, Dokkar Ayoub, ,(2016= « Conception et Réalisation d'un Suiveur Solaire Biaxial à Base De capteurs de lumière » *Projet de fin d'étude, Université Kasdi Merbah Ouargla*
- [30] GOILAV, N., & Loi, G. (2016). Arduino. Apprendre a desarrollar para crear objetos inteligentes

[31] CHRISTIAN TAVERNIER, ,( 2011) Arduino Maîtriser sa programmation et ses cartes d'interface (shields), DUNOD , Paris

[32] <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoNano>

[33]<https://www.editionseni.fr/open/mediabook.aspx?idR=f5aced58fc8abfbb33241cfa82273c4f>

[34] KADDOURI, M. A. (2015). Conception et réalisation d'un suiveur solaire à deux axes *Projet de fin d'étude, Université sidi Mohammed ben Abdallah, Fès, Maroc*

[35] Dominique, Guillaume, Jean-Luc, Thierry,( 10 janvier 2016 )La carte Arduino Uno

[36] Site web : <https://jagelectronicsentreprise.com/product/usb-cable-for-arduino-uno-mega/>

[37] [https://www.memoireonline.com/01/16/9368/m\\_Conception-et-realisation-d-un-robot-mobile--base-d-arduino15.html](https://www.memoireonline.com/01/16/9368/m_Conception-et-realisation-d-un-robot-mobile--base-d-arduino15.html)

[38] Z.Taleb : Étude et réalisation d'une carte de commande de trois moteurs pas pour machine de prototypage rapide. Mémoire de D.E.A., Université Abou bekr Belkaid Tlemcen, 2013

[39] <https://shop4makers.com/produit/l293d-shield-controleur-l293d-driver/>

[40] <https://fr.theastrologypage.com/electrically-erasable-programmable-read-only-memory>

[41] [www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php](http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php)

[42] : AFTIS Fatah, AKKOUCHE Merzouk. Conception et simulation d'un multi-afficheur pour une ligne de production. Bejaïa : Université A/MIRA Bejaïa, Faculté de Technologie, 2014-2015.

[43] : [http://blewando.fr/elv/Terminale/proteus/chap1/chap\\_1.htm](http://blewando.fr/elv/Terminale/proteus/chap1/chap_1.htm)