

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
جامعة عمّار ثليجي بالأغواط
UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT
كلية التكنولوجيا

FACULTE DE TECHNOLOGIE

قسم الالكتروتقني

DEPARTMENT DE ELECTROTECHNIQUE



Mémoire de MASTER

Domaine : Science et Technologie
Filière : Automatique
Option : Automatique et systèmes

Par :

BOUZIDI KHAIR-EDDINE

THEME

**Contribution à la commande et la réalisation d'un capteur
cylindro-parabolique d'une central solaire**

Mr. BENDJEDIA Bachir

M.C. A

Président

Mr. OUBBATI Youcef

M.C. A

Examineur

Mr. ZEGHOUDI Abdelfettah

M.C. A

Encadrant

Année Universitaire : 2023 / 2024

Dédicace

*Tout d'abord,
nous remercions AllAh
de nous avoir accordé
tout le meilleur.
Je dédie cet humble travail
à mes parents,
grands-parents,
famille
et à tous mes amis et collègues.*

BOUZIDI KHAIR-EDDINE

Remerciement

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de mon travail de fin d'étude de Master et qui m'ont aidé à rédiger ce mémoire.

*Tout d'abord, je voudrais remercier mon professeur, le Dr **Abdelfettah ZEGHOUDI**, pour sa patience et ses efforts à notre égard. Je tiens également à remercier l'administration universitaire, les professeurs de la faculté de technologie de l'université de Laghouat, le professeur **L.Mokrani** et les membres de jury. Je voudrais remercier tous ceux qui m'ont aidé.*

ملخص

يُركز هذا البحث على تصميم وتنفيذ نظام تركيز للطاقة الشمسية باستخدام مجمع أسطواني مكافئ. يهدف النظام إلى جمع أشعة الشمس وتركيزها على أنبوب يحتوي على سائل ناقل للحرارة. ثم يتم استخدام الحرارة الناتجة لتوليد البخار، والذي بدوره يُستخدم لتشغيل توربين بخاري وتوليد الكهرباء.

يضمن نظام التتبع الشمسي التركيز المستمر طوال اليوم تعدد آلية التركيز قلب نظام تركيز الطاقة الشمسية. تتكون هذه الآلية من محرك خطوي مثبت على الهيكل الميكانيكي للمجمع الشمسي. يتم التحكم في المحرك باستخدام لوحة Arduino ، والتي تُتيح التواصل مع برنامج MATLAB للتحكم الدقيق في اتجاه المجمع. يتم التحكم في المحرك من خلال طريقتين مختلفتين:

1. التحكم الآلي: يتم استخدام أجهزة استشعار LDR (أجهزة استشعار الضوء) للكشف عن موضع الشمس ونقل المعلومات إلى نظام التحكم، مما يسمح بالتعديل التلقائي لاتجاه المجمع.
2. التحكم بواسطة Matlab: تم تطوير واجهة ضمن Matlab للتحكم في المحرك بطريقة يدوية.

الكلمات المفتاحية: نظام تركيز الطاقة الشمسية، مجمع أسطواني مكافئ، نظام تتبع الطاقة الشمسية، التحكم الآلي، حساسات

LDR

Résumé

Ce mémoire de fin d'études se concentre sur la conception et la mise en œuvre d'un système de concentration solaire utilisant un collecteur cylindro-parabolique. Le système vise à capter et à concentrer les rayons du soleil sur un tube contenant un fluide caloporteur. La chaleur ainsi produite est ensuite exploitée pour générer de la vapeur, qui servira à sa tour à alimenter une turbine à vapeur et produire de l'électricité.

Le système de suivi solaire assure un fonctionnement continu tout au long de la journée. Le cœur du système réside dans le mécanisme de concentration, composé d'un moteur pas à pas fixé à la structure mécanique avec une carte Arduino pour communiquer avec Matlab. Le contrôle du moteur est assuré par deux approches distinctes :

1. **Commande automatique:** Des capteurs LDR (capteurs de lumière résistive) sont utilisés pour détecter la position du soleil et transmettre les informations au système de commande, permettant ainsi un ajustement automatique de l'orientation du collecteur.
2. **Commande par Matlab:** Un Interface Guide sous Matlab est développé pour commander le moteur pas à pas d'une manière manuelle.

Mots clés : système de concentration solaire, capteur cylindro-parabolique, système de suivi solaire, commande automatique, Capteurs LDR.

Abstract

This thesis focuses on the design and implementation of a solar concentration system using a parabolic trough collector. The system aims to capture and concentrate sunlight onto a tube containing a heat transfer fluid. The heat generated is then used to produce steam, which in turn powers a steam turbine to generate electricity.

The solar tracking system ensures continuous operation throughout the day. The heart of the system lies in the concentration mechanism, which consists of a stepper motor attached to the mechanical structure with an Arduino board for communication with MATLAB. Motor control is achieved through two distinct approaches:

1. **Automatic Control:** LDR sensors (light dependent resistors) are used to detect the position of the sun and transmit the information to the control system, allowing for automatic adjustment of the collector's orientation.
2. **Matlab Control:** A MATLAB Graphical User Interface (GUI) is developed to control the stepper motor manually.

Keywords: Solar Concentration system, parabolic trough collector, solar tracking system, automatic control, LDR sensors.

Table des Matière

Dédicace	
Remercîment	
Résumé	
Table des Matière	I
Liste des Figures	III
Liste des Tableaux	VI
Introduction Générale	1

Chapitre I : Les Energies Renouvelables

I.1 Introduction.....	3
I.2 L'énergie renouvelable	3
I.2.1 Historique.....	3
I.2.2 Définition	4
I.2.3 Les différents types d'énergies renouvelables	4
I.3 Avantages et inconvénients de l'énergie renouvelables	8
I.3.1 Les avantages.....	8
I.3.2 Les inconvénients	9
I.4 L'énergie solaire.....	9
I.4.1 Historique d'énergie solaire.....	9
I.4.2 Définition	10
I.4.3 Les différents types d'utilisation d'énergie solaire	10
I.4.4 Avantages et inconvénients de l'énergie solaire.....	14
I.4.4.1 Les avantages.....	14
I.4.4.2 Les inconvénients	15
I.5 Conclusion	16

Chapitre II : Les Centrales solaires thermodynamique

II.1 Introduction	18
II.2 Définition des centrales solaires thermique	18
II.3 Les différentes centrales solaires thermique.....	18
II.3.1 Les collecteurs cylindro-paraboliques.....	18
II.3.2 Les centrales à tour	20
II.3.3 Les collecteurs paraboliques.....	21
II.3.4 La position du soleil	24
II.4 Conclusion.....	28

Chapitre III : Réalisations et Testes

III.1 Introduction	30
III.2 Description des matériels utilise	30
III.2.1 Hardware	30
III.2.2 Software.....	41
III.3 Tests et Résultat	49
III.4 Conclusion	53
Conclusion Générale.....	53
Rèfèrance Bibliographies.....	54
Annexe	59

Liste des Figures

I.1	Panneaux solaires	4
I.2	Panneau thermique	5
I.3	l'énergie éolienne	5
I.4	l'énergie biomasse.....	6
I.5	l'énergie Hydraulique.....	7
I.7	l'énergie géothermique.....	8
I.8	Rassemblement de lumière.....	10
I.9	L'énergie solaire passive	11
I.10	l'énergie thermique	12
I.11	les plaques photovoltaïques.....	13
I.12	Center solaire thermique	13
II.1	Collecteurs cylindro-parabolique	19
II.2	Centrales à tour	21
II.3	Collecteur paraboliques	22
II.4	Schéma descriptif d'une parabole	23
II.5	Les coordonnées géographiques 1	25
II.6	Les coordonnées géographiques 2	25
II.7	Coordonnés horaires	26
II.8	Coordonnés horizontale	27
III.1	Materiels utiliser pour commander le concentrateur solaire.....	30
III.2	les composants de prototype avec la structure mécanique	31
III.3	Schéma de notre prototype	32
III.4	Carte Arduino.....	33
III.5	Moteur pas à pas Nema 17.....	34
III.6	Schéma de moteurs pas à pas bipolaire	34
III.7	Circuit intégré L293D.....	37

III.8 Montage circuit L293D avec moteur pas à pas.....	37
III.9 Montage circuit L293D avec Arduino	38
III.10 Capteur LDR	38
III.11 Réalisation de montage des capteurs LDR sur plaque d'essai.....	39
III.12 Montage de simulation sous proteus.....	40
III.13 Courbe d'évaluation de la tension aux bornes de capteur LDR	40
III.14 La simulation de notre projet avec Proteus	42
III.15 L'interface de Matlab.....	43
III.16 Le script install-arduino dans le fichier ArduinoIO	44
III.17 Le fichier pde et Arduino IO.....	44
III.18 Le dossier adio	45
III.19 Le fichier adio.pde	45
III.20 Téléviser le programme sur COM4.....	46
III.21 Message après une connexion correcte entre la carte Arduino et Matlab.....	47
III.22 Envoyez le programme à l'Arduino.....	47
III.23 L'interface graphique GUI	48
III.24 Figure Interface Guide.....	48
III.25 La position du Soleil pour toute l'année.....	49
III.26 Modelé de Project manuel après assemblage	50
III.27 Mesure de l'azimut durant toute la journée	51
III.28 Les test manuelle 28/05/2024	52

Liste des Tableaux

II.1 Les projets CSP en Algérie.....	24
III.1 Tableau de Position de Moteur.....	36
III.2 Tableau obtenu par les tests manuels	51

Introduction
Générale

Introduction générale

Les individus ont une grande dépendance envers l'énergie recueillie grâce à la combustion de combustibles fossiles pour générer de l'électricité et de la chaleur. De plus, la combustion de combustibles fossiles produit de nombreux gaz toxiques et entraîne le réchauffement général.

Le changement climatique mondial est largement influencé par les combustibles fossiles, tels que le charbon, le pétrole et le gaz. Ces combustibles sont responsables d'une grande partie des émissions mondiales de gaz à effet de serre et de toutes les émissions de dioxyde de carbone.

De plus, la diminution des énergies fossiles et leur fin constituent un risque pour l'avenir de l'humanité. Nous devons réduire considérablement notre dépendance aux combustibles fossiles et investir dans des sources d'énergie alternatives propres, accessibles, abordables, durables et fiables si nous voulons préserver l'environnement et garantir un avenir meilleur pour l'humanité en termes économiques et environnementaux. [1]

Les sources d'énergie renouvelables sont largement disponibles dans le monde. Ils sont naturellement renouvelables comme le soleil, le vent, l'eau, la biomasse et la chaleur géothermique et n'émettent que peu ou pas de gaz à l'effet de serre ou de polluants dans l'air. [2]

Ce projet se concentrera principalement sur l'énergie solaire et l'énergie solaire thermique, le soleil étant considéré comme l'une des meilleures sources d'énergie renouvelable.

Le premier chapitre introduira les différentes sources d'énergies renouvelables et leurs principes de fonctionnement.

Le deuxième chapitre s'intéressera aux différentes catégories de centrales solaires thermiques. Il décrira leur fonctionnement en détail et présentera les différents types existants.

Le dernier chapitre se concentrera sur la conception d'un modèle miniature de concentrateur cylindro-parabolique pour un centre solaire thermique. Ce modèle aura la capacité de suivre la trajectoire du soleil afin de maximiser l'absorption de chaleur de soleil pour la convertir en énergie électrique par les turbines à vapeur des centrales thermodynamiques.

Chapitre I

Les Energies

Renouvelables

I.1 Introduction

L'énergie renouvelable est une énergie dérivée de ressources naturelles inépuisables et constamment renouvelables, telles que le vent, l'eau, le soleil et la biomasse, disponibles dans la plupart des pays du monde.

Il peut également être produit à partir du mouvement des vagues, des marées ou de l'énergie thermique, et il est considéré comme la meilleure alternative aux combustibles fossiles tels que le pétrole, le charbon et le gaz naturel.

En général, les énergies renouvelables ne génèrent pas de déchets environnementaux nocifs tels que ceux qui conduisent à un réchauffement climatique accru, comme le dioxyde de carbone (CO₂).

Les centrales solaires thermiques constituent l'un des principaux moyens de bénéficier des énergies renouvelables. Le soleil est à la base de nombreuses énergies renouvelables.

Dans ce chapitre nous étudierons les énergies renouvelables et nous nous concentrerons sur l'énergie solaire et l'énergie thermique car notre projet d'étude dépend du mouvement du soleil et de la chaleur qui en dérive.

I.2 L'énergie renouvelable

I.2.1 Historique

À l'ère moderne, un vif intérêt pour les énergies renouvelables est né en réponse aux chocs pétroliers des années 1970, lorsque l'Organisation des pays exportateurs de pétrole (OPEP) a imposé un embargo pétrolier et augmenté les prix pour poursuivre des objectifs géopolitiques.

La pénurie de pétrole, en particulier d'essence pour les transports, et la multiplication par près de 10 du prix du pétrole entre 1973 et 1981 ont perturbé le processus social et économique de nombreux pays développés et confirmé leur dépendance précaire à l'égard des approvisionnements énergétiques étrangers.

La réaction aux États-Unis a été de délaisser le pétrole et le gaz pour se tourner vers le charbon national abondant pour la production d'électricité et d'imposer des normes d'économie de carburant aux véhicules afin de réduire la consommation de pétrole pour les transports. D'autres pays développés qui ne disposent pas de réserves fossiles importantes, comme la France et le Japon, ont choisi de se concentrer sur l'énergie nucléaire (la France à hauteur de 80 % et le Japon à 30 %) ou le développement de ressources renouvelables domestiques comme l'hydroélectricité et l'éolien (Scandinavie), géothermie (Islande) et Solaire, biomasse, électricité et chaleur. Avec l'effondrement des prix du pétrole à la fin des années 1980, l'intérêt pour les sources d'énergie renouvelables, telles que l'énergie éolienne et solaire, qui se heurtaient à des obstacles techniques et à des coûts importants, a diminué dans de nombreux pays.

D'autres sources d'énergie renouvelables, telles que l'hydroélectricité et la biomasse, ont continué à croître. À mesure que le changement climatique s'aggrave, les énergies solaire et éolienne se sont développées à l'échelle mondiale ces dernières années.

I.2.2 Définition

Force vive de l'eau ou du vent, rayonnement solaire, géothermie, chaleur du bois et des autres ressources de la biomasse, sans oublier les carburants végétaux et la valorisation des déchets, les énergies renouvelables prennent de multiples formes.

Leur développement constitue un enjeu fort dans un contexte de demande croissante d'énergie, d'épuisement potentiel des ressources fossiles et de nécessaire réduction des émissions de gaz à effet de serre.

La production d'électricité décentralisée à partir d'énergies renouvelables offre une plus grande sûreté d'approvisionnement des consommateurs tout en respectant l'environnement. [3]

I.2.3 Les différents types d'énergies renouvelables

A - Energie solaire

L'énergie solaire est un type d'énergie renouvelable qui provient du soleil. Elle est disponible gratuitement et sans interruption et peut être utilisée pour produire de l'électricité ou de la chaleur, c'est une énergie 100% verte, propre car sa production n'émet que peu de dioxyde de carbone (CO₂).

L'énergie solaire est une source d'énergie renouvelable et propre, ce qui en fait une option intéressante pour les personnes qui souhaitent réduire leur empreinte carbone. Elle peut également être utilisée pour réduire les coûts d'énergie à long terme. Elle est également moins coûteuse à long terme que les sources d'énergie traditionnelles. Elle peut également être utilisée pour alimenter des appareils même lorsque le réseau électrique est en panne. [4]



FIGURE I1 – Panneaux solaires



FIGURE I.2 – Panneau thermique

B - Energie éolienne

L'énergie cinétique contenue dans le vent se convertit en force motrice (voilier), en énergie mécanique (pompage de l'eau) ou en électricité. l'éolienne est comme un ventilateur qui fonctionnerait à l'envers. [5]



FIGURE I.3 – L'énergie éolienne

C- Energie biomasse

La biomasse est répartie en quatre catégories : la biomasse sèche (bois, déchets agricoles...), le biogaz, les déchets municipaux renouvelables solides et la biomasse humide (bioéthanol, biodiesel, huile végétal ...) En 2005, la biomasse est la deuxième source d'électricité renouvelable mondiale avec 1% de la production d'électricité mondiale. [6]

Les végétaux contiennent des éléments carbonés capables de produire de l'énergie par combustion. C'est le cas du bois, le meilleur exemple; son impact sur l'effet de serre est nul. D'autres filières existent, comme les biocarburants et le biogaz. [5]



Source : Terre-Finance

FIGURE I.4 – l'énergie biomasse

D - Energie hydraulique

L'énergie hydraulique est l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes : chutes d'eau, cours d'eau, courants marin, marée, vagues. L'énergie hydraulique est en fait une énergie cinétique liée au déplacement de l'eau comme dans les courants marins, les cours d'eau, les marées, les vagues ou l'utilisation d'une énergie potentielle de pesanteur comme dans le cas des chutes d'eau et des barrages.

Cette énergie est actuellement principalement converti en énergie électrique, mais a longtemps été grandement utilisée pour produire de l'énergie mécanique, au moyen de moulins à eau, aussi pour se déplacer grâce aux courants des fleuves et des rivières.

L'énergie hydraulique est l'énergie mise en jeu lors du déplacement ou de l'accumulation d'un fluide incompressible telle que l'eau douce ou l'eau de mer. Ce déplacement va produire un travail

mécanique qui est utilisé directement ou convertis sous forme d'électricité (Marémotrice ,Hydrolienne, Barrage , L'énergie osmotique, l'énergie thermique , l'énergie houlomotrice).[7]

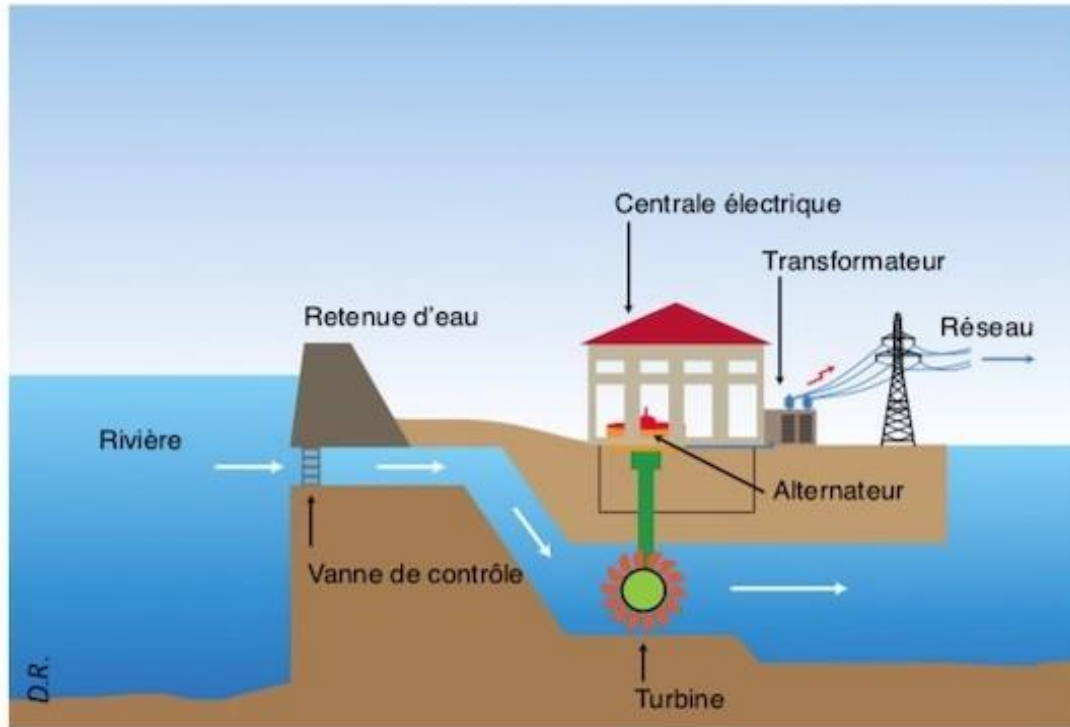


FIGURE I.5 – l'énergie Hydraulique

E- Energie géothermique

L'énergie géothermique désigne l'énergie créée et emmagasinée dans la terre sous forme thermique. Elle est parfois libérée à la surface par des volcans ou des geysers, mais elle peut aussi être accessible à tout moment, comme dans les sources d'eau chaude. La géothermie peut servir à produire de l'électricité ou à chauffer et refroidir. L'énergie est extraite de réservoirs souterrains enfouis très profondément et accessibles grâce au forage, ou de réservoirs plus proches de la surface. L'énergie géothermique peut également être employée dans un but domestique, grâce aux petites pompes à chaleur. [3]

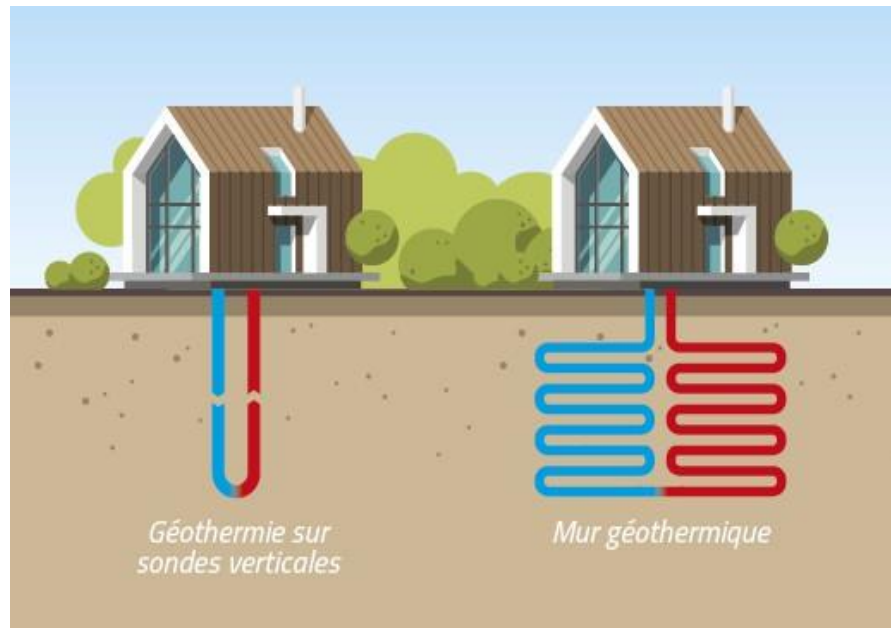


FIGURE I.6 – L'énergie géothermique

I.3 Avantages et inconvénients de l'énergie renouvelables

I.3.1 Les avantages

✓ **Produire de l'électricité sans rejeter de CO₂.**

L'exploitation de sources d'énergies renouvelables pour produire de l'électricité génère peu ou pas de CO₂ car il n'y a pas de combustion comme avec le charbon, le pétrole et le gaz. C'est là un des principaux arguments justifiant le remplacement des énergies fossiles par le renouvelable afin de lutter contre le réchauffement climatique. Il faut toutefois noter que ce n'est pas le cas pour toutes les énergies dites renouvelables, l'énergie issue de la biomasse provient par exemple d'une combustion de matières organiques (bois ou agrocarburants) et rejette donc du CO₂.

✓ **Une source d'énergie inépuisable et plus accessible.**

Le vent, le soleil ou encore la chaleur issue du noyau terrestre sont des énergies disponibles à volonté et en théorie inépuisables à l'échelle de l'humanité. De plus, ce sont des ressources – du moins pour le vent, le solaire ou la géothermie – qui ne sont pas accaparables par des Etats en raison de leur meilleure répartition sur la planète.

✓ **Une production d'énergie moins impactante pour l'environnement.**

Eoliennes, panneaux solaires et barrages produisent certes une énergie moins intensive en carbone. L'absence de combustion limite aussi la pollution atmosphérique.

✓ Possibilité d'une production d'électricité décentralisée.

L'utilisation de sources d'énergies alternatives offre la possibilité aux acteurs locaux de produire leur propre électricité à un coût intéressant. Les communautés éloignées des grands centres urbains dépendent moins des grands opérateurs d'électricité et peuvent alors bénéficier d'une énergie propre et à bas coût. [5]

I.3.2 Les inconvénients

Les énergies renouvelables se distinguent par leurs caprices. Eh oui, le soleil, il ne brule pas tous les jours. De même, le vent ne souffle pas de manière constante. Quant à l'hydroélectricité, elle n'est pas sûre à cause des nappes phréatiques parfois trop basses.

En outre, bien que cela soit fourni naturellement, les ressources renouvelables présentent souvent l'inconvénient d'une faible densité. Sans compter le prix. Le coût pour transformer le vent, les vagues, les marées, la chaleur de la terre, les plantes ou le soleil en énergie utile est plus onéreux que l'exploitation des énergies fossiles ou des énergies nucléaire.

A cause de leur transport, elles doivent donc plutôt être transformées localement, là où la nature les délivre. On admet que ces énergies sont des énergies alternatives qui permettent de réduire la facture des énergies fossiles à condition de les utiliser, en fonction de la demande, là où elles s'avèrent efficaces. [5]

I.4 L'énergie solaire

I.4.1 Historique d'énergie solaire

En 1873, le scientifique Willoughby Smith a découvert que l'élément sélénium avait la capacité de conduire la photoélectricité, et cette découverte a été la base sur laquelle les scientifiques William Grylls Adams et Richard Evans Day ont construit leurs recherches qui ont abouti à la conclusion suivante : le sélénium génère l'électricité lorsqu'elle est exposée au soleil, en 1876.

La première cellule photovoltaïque a été fabriquée à partir de plaquettes de sélénium par Charles Fritts en 1883, c'est pourquoi de nombreux historiens attribuent au scientifique Charles l'invention des cellules solaires.

Les cellules photovoltaïques d'aujourd'hui sont constituées de silicium et non de sélénium. Par conséquent, certains pensent que le mérite de l'invention des panneaux photovoltaïques devrait revenir à Daryl Chapin, Calvin Fuller et Gerald Pearson, car ils ont créé un panneau photovoltaïque qui convertit l'énergie solaire en énergie électrique et capable de faire fonctionner un appareil électrique pendant quelques heures dans la journée, en 1954.

Le rendement de conversion des premières cellules en silicium était estimé à 4 %, ce qui équivaut à moins d'un quart du rendement des cellules actuelles.



FIGURE I7 – Rassemblement de Lumière

I.4.2 Définition

Est une énergie envoyée par le soleil sous forme des rayonnements. Cette énergie est à l'origine de nombreux phénomènes physiques tels que la photosynthèse, le vent ou le cycle de l'eau. Elle vient de la fusion nucléaire se produisant au cœur du soleil. L'énergie solaire est divisée en trois énergies : énergie thermique, énergie thermodynamique, énergie photovoltaïque. [7]

I.4.3 Les différents types d'utilisation d'énergie solaire

L'énergie solaire est connue comme l'énergie qui peut être générée après avoir été absorbée par les rayons atteignant les panneaux solaires. Les utilisations de l'énergie solaire renouvelable sont variées, comme suit :

A - L'énergie solaire passive

Les technologies d'énergie solaire passive utilisent la lumière du soleil sans systèmes mécaniques. Ces technologies convertissent la lumière du soleil en chaleur utilisable (eau, air, masse thermique) et provoquent un mouvement d'air pour la ventilation ou une utilisation future, tout en minimisant l'utilisation d'autres sources d'énergie.

Dans la conception des bâtiments solaires, les fenêtres, les murs et les sols du bâtiment captent une partie importante de l'énergie solaire sous forme de chaleur en hiver et rejettent la chaleur du soleil en été. Ceci est connu sous le nom de conception solaire passive ou de conception incurvée car elle est à l'opposé des systèmes de chauffage solaire et ne nécessite pas l'utilisation d'appareils mécaniques et électriques.

La clé pour construire une énergie solaire robuste est d'optimiser le climat local. Qui contient des éléments qui incluent l'emplacement et le type de verre, l'isolation thermique, la masse thermique et l'ombrage. Les techniques de propulsion solaire peuvent être facilement appliquées à la plupart des nouvelles données.

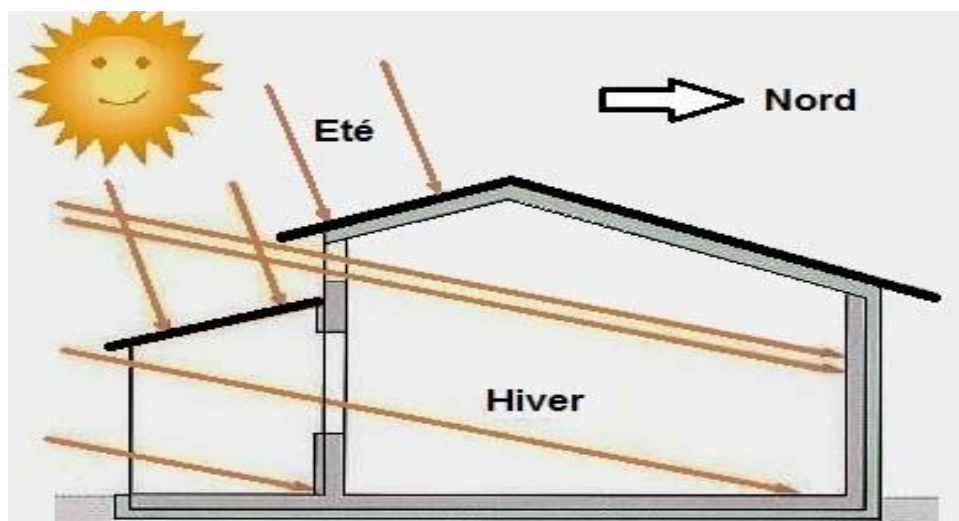


FIGURE I.8– L'énergie solaire passive

B - L'énergie thermique

l'énergie solaire est directement convertie en chaleur grâce à des capteurs solaire thermiques. Les applications principales sont le chauffe-eau solaire ainsi que le chauffage de l'habitat ou des piscines. [5]



FIGURE I.9 – l'énergie thermique

C - L'énergie photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un dispositif électronique semi-conducteur spécialisé qui convertit l'énergie lumineuse en énergie électrique à l'aide de divers phénomènes chimiques et physiques. Le photovoltaïque cellulaire est également connu sous le nom d'énergie solaire et la conversion de l'énergie est également initiée dans les cellules.

Le photovoltaïque est le nom de l'effet photoélectrique découvert par le physicien Francis Ed Becquerel en 1839. Il n'y a eu aucune application pratique du photovoltaïque dans la technologie des satellites avant les années 1960, et le financement solaire, encore une forme de modules photovoltaïques, a commencé à atteindre les toits à la fin de l'année. le nouveau siècle. L'énergie photovoltaïque s'est considérablement développée depuis le début du 20e siècle avec la création d'immenses parcs solaires.

L'énergie solaire photovoltaïque est basée sur l'effet photoélectrique : une borne négative et une borne positive, la lumière déplace les électrons pour générer un courant continu. Cette source de la lumière est naturelle (le soleil), elle est donc renouvelable. [7]



FIGURE I.10 – les plaques photovoltaïques

D – L'énergie thermodynamique

l'électricité s'obtient à partir de l'énergie solaire convertie en chaleur. Sa concentration par des capteurs fait atteindre des températures élevées, à partir desquelles un système thermodynamique producteur d'électricité fonctionne. [5]



FIGURE I.11 – Center solaire thermique

I.4.4 Avantages et inconvénients de l'énergie solaire

I.4.4.1 Les avantages

L'énergie solaire se caractérise par de nombreux éléments comme suit :

➤ **Durabilité:**

L'énergie solaire est considérée comme l'alternative idéale aux produits combustibles fossiles comme le pétrole, le gaz et le charbon, car ces sources sont presque épuisées, et l'énergie solaire est inépuisable car elle dépend de la lumière du soleil, qui devrait continuer à briller pendant des milliards d'années.

➤ **Écologique:**

La technologie utilisée pour produire de l'énergie solaire a peu d'impact sur l'environnement par rapport aux combustibles fossiles, ce qui signifie qu'il s'agit d'une énergie sûre et propre pour tous les êtres vivants.

➤ **Les pays sont autosuffisants en matière de production énergétique :**

L'énergie solaire assure l'indépendance dans la production énergétique au niveau international, puisque le soleil brille sur tous les pays.

➤ **Conserver les ressources en eau :**

Le processus de production d'énergie solaire ne consomme ni ne pollue l'eau, contrairement aux combustibles fossiles et aux centrales nucléaires, qui consomment ou polluent beaucoup d'eau.

➤ **Compétitivité:**

Les technologies renouvelables contribuent à réduire autant que possible les coûts de l'énergie renouvelable, de sorte qu'elle devienne hautement compétitive par rapport aux autres types d'énergie traditionnels, et que l'énergie solaire ait ainsi un impact économique au niveau mondial. Offrir des opportunités d'emploi : L'énergie solaire a contribué à créer de nombreuses opportunités d'emploi au niveau local, car elle est disponible partout dans le monde et ne se limite pas à un environnement spécifique. Tels étaient les bénéfices et avantages généraux de l'énergie solaire, mais qu'en est-il de ses avantages pour les maisons Voici quelques points qui répondent à cette question :

➤ **Économiser de l'argent:**

Le processus d'installation de cellules de panneaux solaires est un peu coûteux au début, mais les économies d'argent sont très importantes à long terme, car elles contribuent à produire de l'électricité pour l'individu et conduisent à la disparition complète des factures d'électricité.

➤ **Indépendance:**

L'énergie solaire donne l'indépendance nécessaire pour produire de l'énergie électrique, la stocker en cas de besoin, et la maison reste alimentée même en cas de panne de courant.

➤ **Nécessite peu entretien :**

Les équipements solaires ne nécessitent pas d'entretien régulier coûteux et nécessitent peu d'entretien. Autres avantages :

L'utilisation de panneaux solaires dans les maisons augmente leur valeur financière, car elle procure à une personne un sentiment de confort après avoir su qu'elle contribue à la préservation de l'environnement et de la Terre.

I.4.4.2 Les inconvénients

Inconvénients de l'énergie solaire :

Malgré les nombreux avantages de l'énergie solaire, celle-ci présente de nombreux inconvénients majeurs, notamment les suivants :

- ✓ L'énergie solaire dépend de la lumière du soleil qui brille pendant la journée, et la quantité d'énergie collectée par les panneaux solaires varie selon les saisons et l'heure de la journée.
- ✓ La qualité des panneaux solaires dans la conversion de l'énergie solaire en électricité n'est pas élevée, atteignant seulement 20 %, malgré leur coût élevé.
- ✓ L'efficacité de l'énergie solaire diminue selon les régions. Plus on s'éloigne de l'équateur vers les pôles, moins la capacité de capter l'énergie solaire est faible. Par exemple, la Russie et le Canada souffrent d'une pénurie importante d'énergie solaire.
- ✓ Capacité réduite à collecter l'énergie solaire en présence de nuages, de brouillard et de pluie.
- ✓ Installer des panneaux solaires à l'extérieur et les exposer constamment au soleil, ce qui peut augmenter leurs dommages dus à l'exposition aux conditions extérieures. Tels que la pluie, la neige, la saleté, la poussière, le vent et les différences de température.

I.5 Conclusion

L'utilisation des énergies renouvelables permet de protéger l'environnement dans lequel les êtres humains vivent. Ils sont aussi un rempart pour le monde en cas d'épuisement d'autres énergies non renouvelables, telles que le pétrole et le gaz, qui nécessitent des millions d'années pour être à nouveau exploitées.

Au cours de ce chapitre, nous avons abordé les diverses formes d'énergie renouvelable et les différentes façons d'en profiter. Nous avons évoqué l'utilisation de l'énergie solaire et comment en profiter en la concentrant et en transformant la lumière solaire en électricité. Les types de centres solaires thermiques utilisant la méthode de concentration du rayonnement solaire seront détaillés dans le chapitre suivant.

Chapitre II
Les centrales
solaires
Thermodynamiques

II.1 Introduction

Les techniques les plus importantes pour utiliser l'énergie solaire sont les centres solaires thermiques, dans ce chapitre, nous mentionnerons les types de centres solaires thermiques.

le soleil est la première et la principale source d'énergie renouvelable. Ces rayons sont retenus par des capteurs thermiques vitrés et sont transformés pour produire de l'énergie électrique ou pour réchauffer de l'eau destinée à un usage sanitaire. Pour pouvoir exploiter l'énergie solaire, on peut se servir soit de panneaux solaires photovoltaïques, soit de Panneaux Solaire thermique. [8]

II.2 Définition des centrales solaires thermique

L'énergie solaire thermodynamique est un moyen de produire de l'électricité et d'accumuler l'énergie thermique nécessaire à cette production pendant plusieurs.

L'énergie solaire thermodynamique est un moyen de produire de l'électricité et d'accumuler l'énergie thermique nécessaire à cette production pendant plusieurs heures après le coucher du soleil, dans des centrales solaires à concentration. Le principe est de concentrer la chaleur du soleil par des miroirs pour chauffer une fluide haute température (plusieurs centaines de degrés) afin de générer de la vapeur par échange thermique pour ensuite produire de l'électricité au moyen d'une turbine. Le fluide utilisé peut conserver sa chaleur pendant plusieurs heures après le coucher du soleil, cela permet de produire de l'électricité en début de soirée, au moment où la consommation est la plus importante. [8]

Heures après le coucher du soleil, dans des centrales solaires à concentration. Le principe est de concentrer la chaleur du soleil par des miroirs pour chauffer une fluide haute température (plusieurs centaines de degrés) afin de générer de la vapeur par échange thermique pour ensuite produire de l'électricité au moyen d'une turbine. Le fluide utilise peut conserver sa chaleur pendant plusieurs heures après le coucher du soleil, cela permet de produire de l'électricité en début de soirée, au moment où la consommation est la plus importante. [8]

II.3 Les différentes centrales solaires thermique

II.3.1 Les collecteurs cylindro-paraboliques

Les réflecteurs cylindro-paraboliques sont des systèmes en forme de « U » Ils concentrent les rayons du soleil sur un tube récepteur situé le long de la ligne focale du réflecteur .Parfois un tube en verre transparent entoure le tube récepteur afin de réduire les pertes de chaleur. Ces concentrateurs utilisent souvent un système de pointeur solaire à simple ou à double axe. Les températures du récepteur peuvent atteindre 400°C. [9]

Les centrales solaires à capteurs Cylindro-Paraboliques font partis du Solaire Thermodynamique. La technologie de réflecteurs Cylindro-Paraboliques est la plus fréquente et est actuellement utilisée par les plus puissantes centrales solaires au monde dans le Sud-ouest des Etats-Unis et dans le Sud de l'Espagne.

Ce type de centrale est constitué de miroirs hémicylindriques, orientés sur l'axe nord-sud en poursuite du soleil. Les rayons solaires sont concentrés sur un tube horizontal, où circule un fluide caloporteur qui servira à transporter la chaleur vers des échangeurs de chaleur.

La température du fluide peut atteindre le seuil de 500°C ou plus. Cette énergie est transférée à un circuit d'eau, la vapeur alors produite actionne des turbines qui produisent de l'électricité. Certaines centrales sont désormais capables de produire de l'électricité sans coupure, nuit et jour, grâce à un système de stockage sous forme de chaleur sensible ou de chaleur latente à base d'une réaction réversible [10].

Le caractère d'orientation des capteurs permet d'obtenir le meilleur rendement possible. Cependant, le fluide de transfert thermique utilisé possède une plage de températures exploitables limitée et qui comporte des risques pour l'environnement.

De plus, cette technologie possède différents inconvénients, dont, le rendement du système diminue en début et en fin de journée en raison des ombres. Enfin, les miroirs présentent également une grande prise au vent et donc des contraintes mécaniques liées au vent doivent être prises en compte[11].

Exemples de ses centrales:Andasol-1située en Espagne (150 MW), Nevada Solar One aux États-Unis (64 MW) [12].

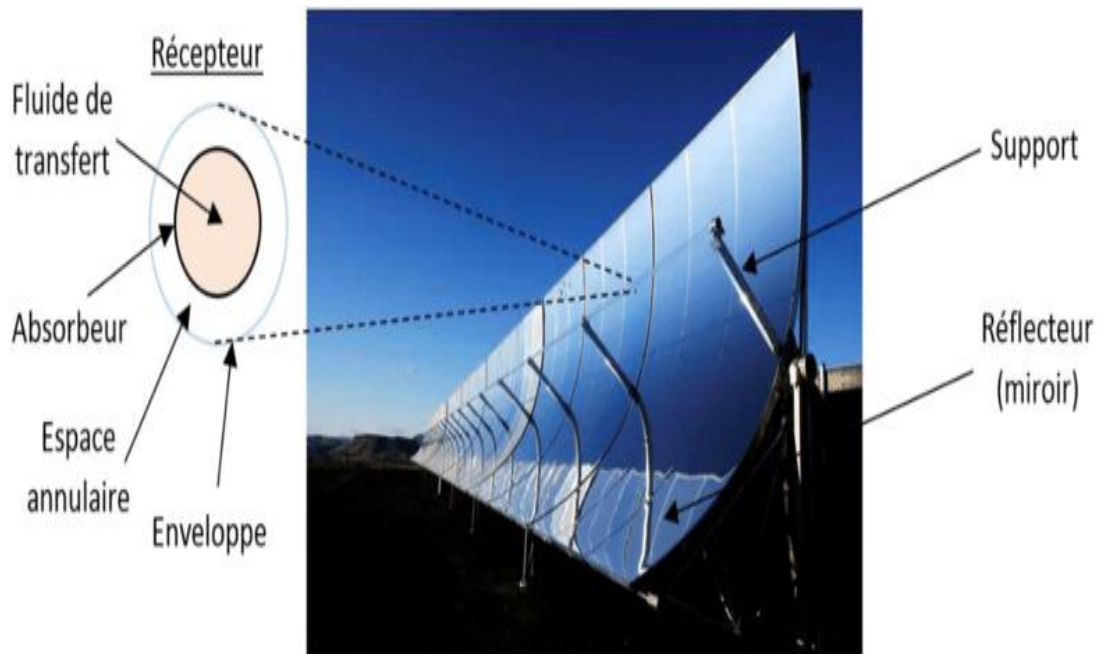


FIGURE II.1 – Collecteurs cylindro-parabolique

II.3.2 Les centrales à tour

Un héliostat utilise un ensemble de pointeurs solaires à double axe qui dirige l'énergie du soleil vers un grand absorbeur situé dans une tour. Ces capteurs possèdent un ensemble de grands miroirs qui suit le mouvement du soleil. Les miroirs concentrent les rayons du soleil sur le récepteur en haut de la grande tour. Un ordinateur garde les miroirs alignés afin que les rayons du soleil, qui sont réfléchis, visent toujours le récepteur, où la température peut dépasser 1000°C. [9]

Les centrales solaires à tour sont constituées de nombreux miroirs concentrant les rayons solaires vers une chaudière située au sommet d'une tour. Les miroirs répartis sont appelés héliostats.

Chaque héliostat est orientable et suit individuellement les rayons incidents du soleil et les réfléchit avec précision en direction du récepteur au sommet de la tour solaire. Le facteur de concentration peut dépasser 1000, ce qui permet d'atteindre des températures importantes allant de 600°C à 1000°C.

L'énergie concentrée sur le récepteur est ensuite soit directement transféré au fluide thermodynamique (génération directe de vapeur entraînant une turbine ou chauffage d'air alimentant une turbine à gaz), soit utilisée pour chauffer un fluide caloporteur intermédiaire.

Ce dernier est ensuite envoyé dans une chaudière et la vapeur générée actionne des turbines. Dans tous les cas, les turbines entraînent des alternateurs pour produire de l'électricité. [13]

Les centrales à tour présentent plusieurs avantages. D'abord, ce sont les rayons du soleil réfléchis par les miroirs qui sont collectés au niveau du récepteur, ceci permet de minimiser les pertes de chaleur.

De plus, le facteur de concentration est très important ce qui assure non seulement une grande efficacité mais aussi de plus hautes températures qui peuvent aller jusqu'à 1000°C. [14]

Parmi ses inconvénients, elle nécessite un ensoleillement intense et une surface au sol importante. [15]

En prend comme exemples de cette technologie ; La centrale GEMASOLAR (19,9 MW) à Séville, la centrale IVANPAH SOLAR POWER FACILITY de Bright Source Energy (392 MW) au Californie. [16]



FIGURE II.2 – Centrales à tour

II.3.3 Les collecteurs paraboliques

Ces capteurs utilisent des surfaces réfléchissantes paraboliques pour concentrer les rayons solaires dans le foyer où se trouve le récepteur (absorbeur). Naturellement ces concentrateurs doivent suivre le mouvement du soleil. Les systèmes à réflecteur parabolique peuvent atteindre des températures plus élevées (jusqu'à 1500°C) sur le récepteur. [9]

Un concentrateur parabolique est constitué d'un réflecteur de forme parabolique qui reflète le rayonnement solaire sur un récepteur monté sur le point focal.

La concentration parabolique permet d'atteindre les facteurs de concentration les plus élevés, de 1000 à 3000, et les températures de fonctionnement peuvent atteindre 1500°C . Cependant, la température est limitée par le moteur, de 700°C à 850°C , selon les moteurs thermiques [17],

En effet, le moteur Stirling est celui le plus utilisé, il fonctionne

grâce à la montée en température et en pression d'un gaz contenu dans une enceinte fermée. Ce moteur convertit l'énergie solaire thermique en énergie mécanique et ensuite en électricité[18].

Les systèmes à miroirs paraboliques présentent des rendements de conversion élevés, de plus de 30% ou l'eau n'est pas nécessaire au refroidissement, elles sont modulaires et pour les centrales de grande taille, le stockage thermique peut être intégré avec une grande efficacité, en outre, il n'existe aucune centrale de grande taille à destination commerciale, et par conséquent, les coûts d'investissement et de fonctionnement sont inconnus [19].

L'unique projet significatif existant à ce jour, pour ce type de concentrateur, est la centrale solaire de Maricopa en Arizona développée par Tessera Solar en collaboration avec Stirling Énergie System. Inaugurée en janvier 2010, cette centrale est composée de 60 paraboles, chacune équipée d'un moteur Stirling de 25 kW, d'une capacité de 1,5MW. [20]

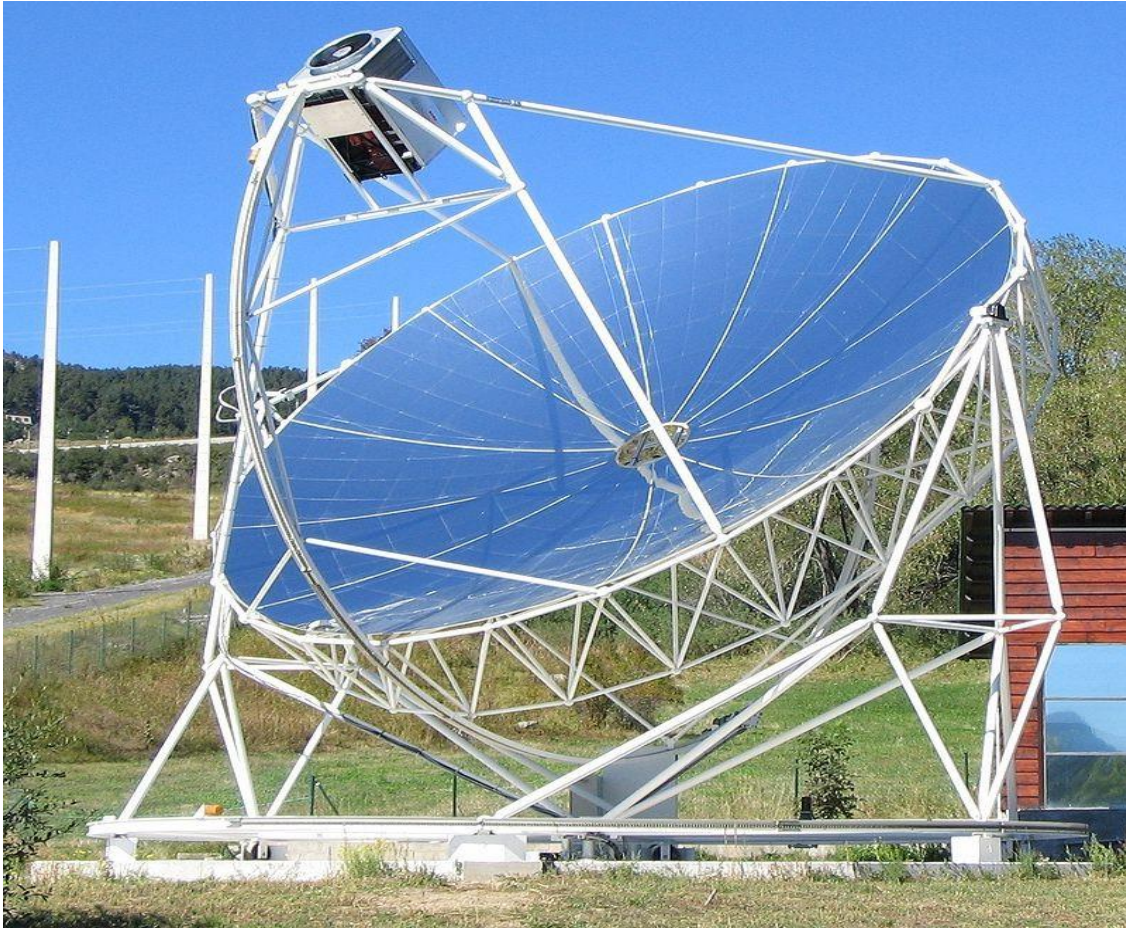


FIGURE II.3 – Collecteur paraboliques

A - Caractérisation géométrique d'une parabole

La parabole est une courbe plate, symétrique par rapport à l'axe, et grossièrement en forme de U dont les branches s'incurvent à l'infini. Une parabole peut être définie mathématiquement de plusieurs manières équivalentes. Le plus souvent, une parabole est définie comme une courbe plane dont chaque point se situe à égale distance d'un point fixe, le foyer, et d'une ligne fixe, la directrice.

$$f(x)=x^2$$

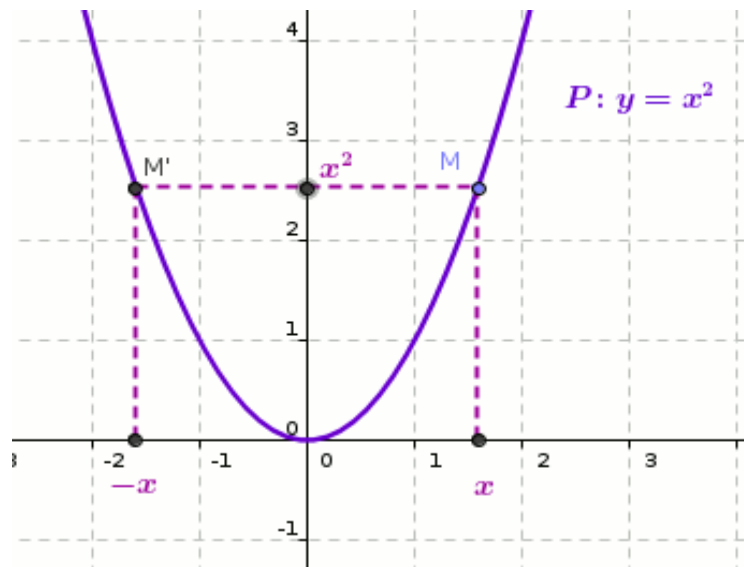


FIGURE II.4 – Schéma - descriptif d'une parabole

B - Exploitation de la technologie des concentrateurs cylindro-paraboliques en Algérie

L'Algérie voit des occasions idéales de combiner le gaz naturel à l'énergie solaire en intégrant l'énergie solaire concentrée à bas des concentrateurs cylindro-paraboliques. Dans une première étape une centrale électrique hybride (gaz /solaire) est actuellement en service au sud de l'Algérie (Hassi Ramel) avec 224 concentrateurs d'une surface de 180000 m² des réflecteurs paraboliques et d'une puissance électrique solaire moyenne de 25MW.

Ce choix stratégique est motivé par l'immense potentiel de l'Algérie en énergie solaire, l'énergie moyenne reçue sur une surface horizontale soit près de 1700 KWh/m² annuellement aux régions côtières, 1900 KWh/m²/an aux hauts plateaux et 2650 KWh/m²/an aux régions Sahariennes. Cette énergie constitue l'axe majeur du programme qui consacre au solaire thermique et au solaire photovoltaïque.

Le solaire devrait atteindre d'ici à 2030 plus de 37% de la production nationale d'électricité selon le décret 04-92, publié au journal officiel de l'Algérie en Mars 2004.

Le tableau 2.1 présente les nouveaux projets de production d'énergie électrique dans le plan d'investissement Algérien au titre du programme Moyen-Orient et Afrique du nord CSP (Middle East and North Africa MENA), avec une capacité prévue de 210 MW. [21]

Tableau II.1 – Les projets CSP en Algérie. [21]

Endroit de l'installation	Capacité de l'installation
Meghaier	70MW
Naama	70MW
Hassi Rmel	70MW

❖ **Avantages CCP**

- ✓ Source d'énergie inépuisable et gratuite
- ✓ Pas d'émission polluante
- ✓ Peu fonctionner sans intermittence

❖ **Inconvénients CCP**

- ✓ Cout d'investissements initiaux très forts
- ✓ Nécessite un fort ensoleillement et une zone chaude
- ✓ Nécessite des grandes quantités d'eau.
- ✓ Surface au sol important

C - Le système de poursuite solaire

Afin d'augmenter le rendement solaire, il faut jouer sur plusieurs paramètres tel que le système d'orientation qui permet aux systèmes énergétiques de suivre la trajectoire du soleil car

la position de cette dernière est variable par rapport à un point de captation fixe , ce système permet l'alignement automatique des récepteurs en fonction de l'avancé du soleil.

Cette orientation bi-axiale permet la captation maximale des rayonnements solaires ce qui maximise la production d'électricité.. [22]

II.3.4 La position du soleil

Les coordonnées géographiques

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

L'attitude φ :

C'est l'angle que fait le plan de l'équateur avec la direction reliant le centre de la terre au point considère. L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égal à 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et la pole sud par la latitude -90° [23] .

Longitude λ :

C'est l'angle que fait le méridien local passant par le point considéré avec le méridien d'origine passant par la ville de Greenwich. On a choisi pour méridien (origine 0°), le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention on affecte du signe (+) le méridien situé à l'est de ce méridien, et du signe (-) les méridien situé à l'ouest . [23]

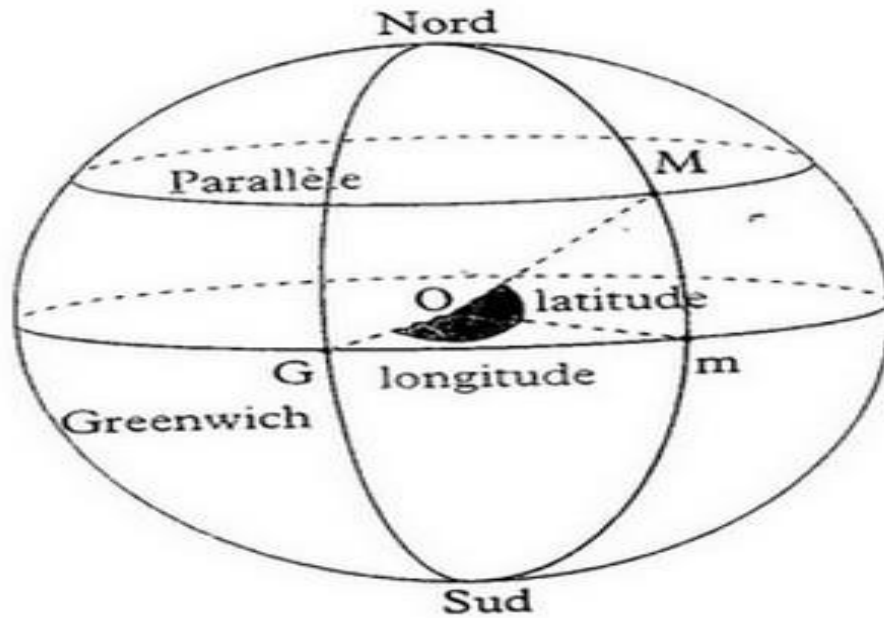


FIGURE II.5 – Les coordonnées géographiques 1

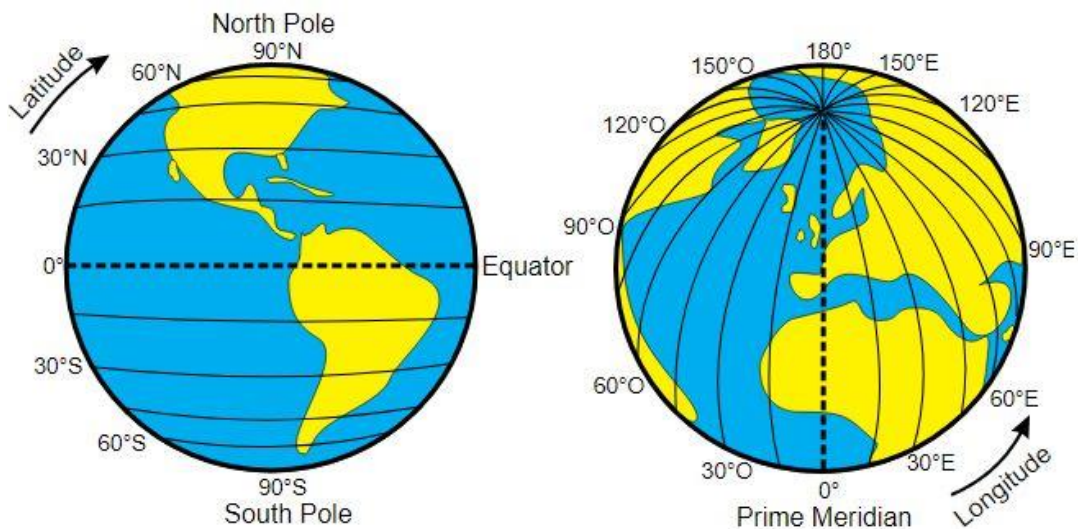


FIGURE II.6 – Les coordonnées géographiques 2

Les coordonnées horaires

Déclinaison du soleil δ :

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

$$\delta = 23,45^\circ \sin [0.980(n + 284)] \tag{II.1}$$

N : le numéro du jour de l'année

L'angle horaire du soleil ω :

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

$$\omega = 15 (TSV - 12) \tag{II.2}$$

Avec TSV : temps solaire vrai. [23]

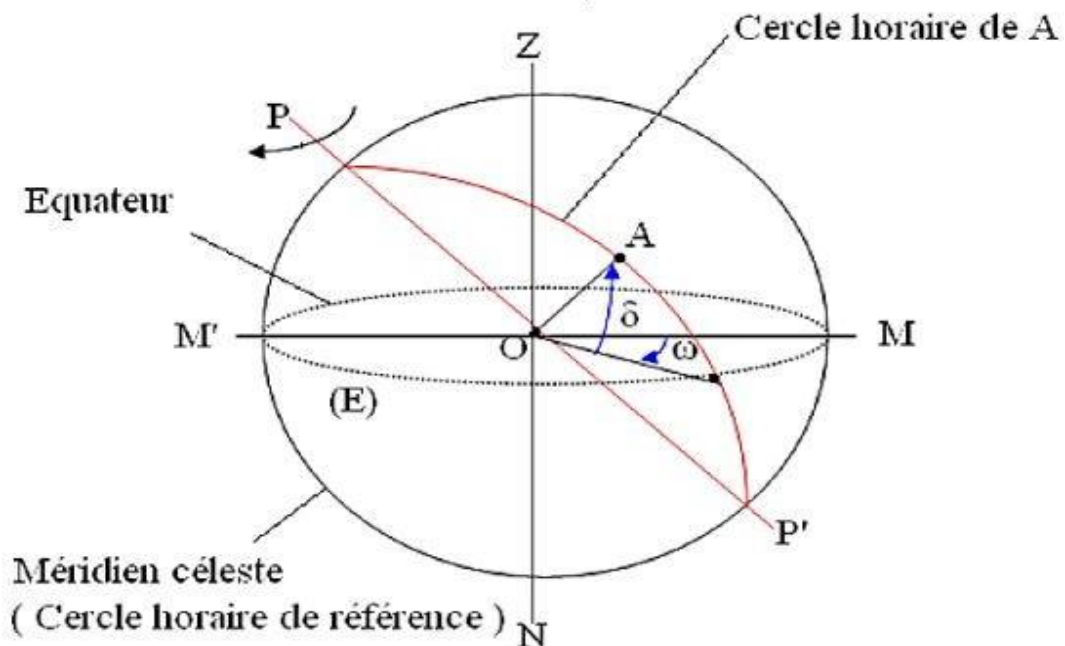


FIGURE II.7 – Coordonnés horaires

Les coordonnées horizontales

Hauteur angulaire du soleil h :

C'est l'angle que fait la direction du soleil avec sa projection sur un plan horizontale [23]

$$\sin(h) = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega \quad (\text{II.3})$$

φ : Latitude du lieu.

Azimut a :

C'est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil, on peut le compter positivement de 0° à $+180^\circ$ vers l'ouest et négativement de 0° à -180° vers l'est [23]

$$\sin(a) = \frac{\cos \delta \cdot \sin \omega}{\cos(h)} \quad (\text{II.4})$$

Avec :

ω : Angle horaire

δ : Déclinaison du soleil

h : Hauteur du soleil

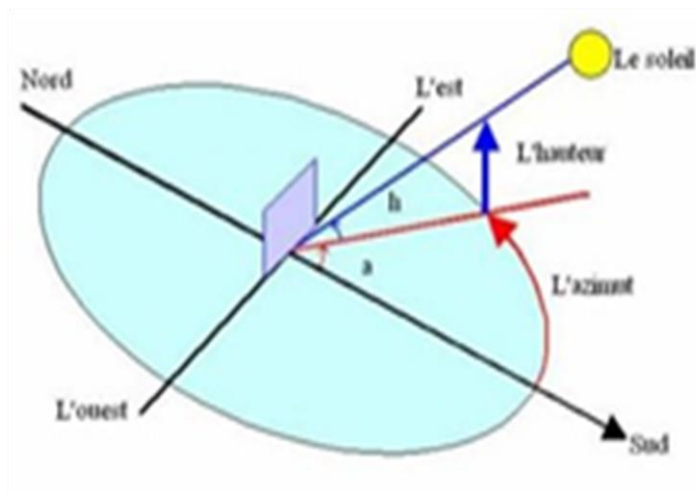


FIGURE II.8 – Coordonnés horizontale

II.4 Conclusion

Les centrales solaires sont différentes technologies permettant de produire de l'électricité grâce à la chaleur avec une grande efficacité. Pour garantir cela, un système de suivi solaire doit être utilisé. Le chapitre suivant explore un élément clé de ce projet ; c'est la conception et la mise en œuvre de capteurs cylindro-paraboliques. Le chapitre qui suit présentera les tests pratiques réalisés sur notre concentrateur solaire.

Chapitre III
Simulation,
Réalisation
et Tests

III.1 Introduction

Ce dernier chapitre s'intéresse à la conception et à la réalisation d'un système de commande automatisé pour un capteur solaire cylindro-parabolique. Le système proposé utilise une carte microcontrôleur Arduino Uno, un moteur pas à pas, une carte de puissance shield motor L293D et deux capteurs LDR (Light Dependent Resistor) pour orienter le concentrateur solaire vers le soleil de manière précise et efficace. L'interface utilisateur est développée sous (Matlab/Guide), permettant un contrôle manule et une commande du système en temps réel.

Le système de suivi est piloté par une programmation Matlab-Arduino qui gère le mouvement du concentrateur solaire tout au long de la journée, du lever au coucher du soleil. À la fin de la journée, le concentrateur solaire est automatiquement ramené à sa position initiale.

III.2 Description des matériels utilise

III.2.1 Hardware

Dans notre projet, nous avons utilisé les éléments suivants :

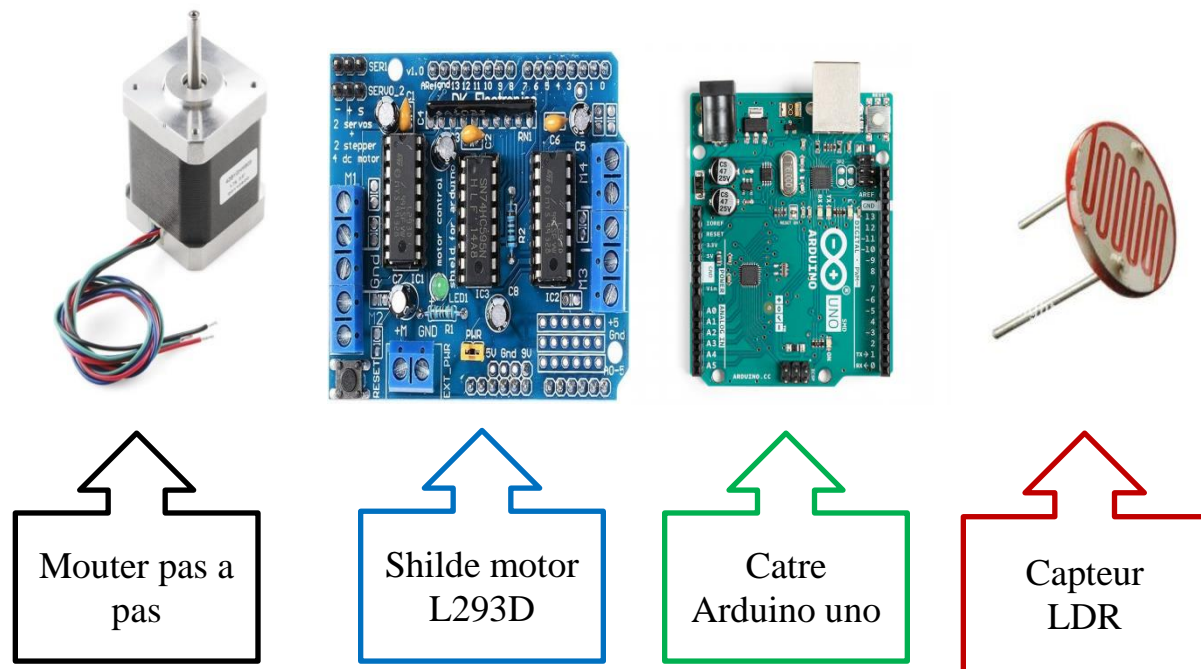


FIGURE III.1 – Materiels utiliser pour commander le concentrateur solaire.

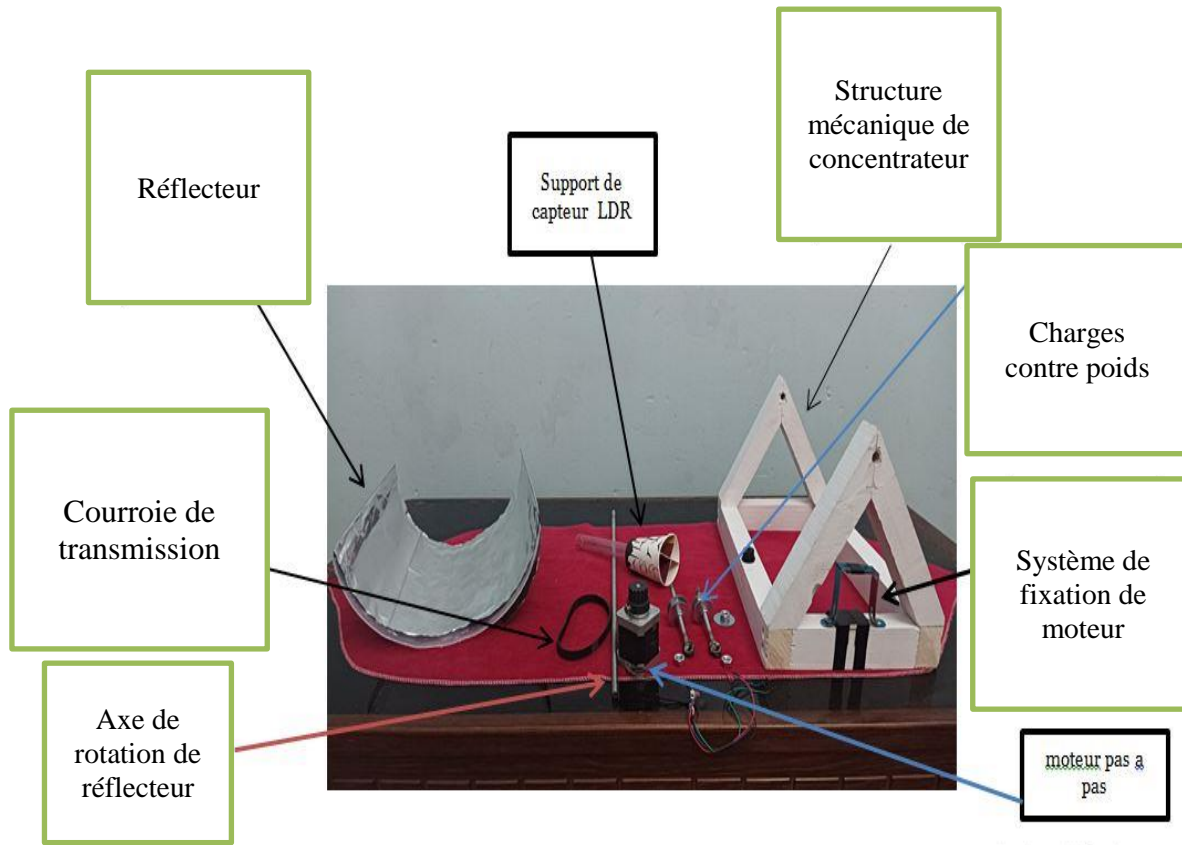


FIGURE III.2 – les composants de prototype avec la structure mécanique

Notre prototype de concentrateur solaire se compose de plusieurs éléments clés :

- **Composants électriques** : Ces éléments incluent un microcontrôleur, une carte de puissance et un moteur pas à pas avec deux capteurs LDR. Ils assurent le contrôle et l'alimentation du système.
- **Structure mécanique** : La structure, souvent fabriquée en bois, fournit un support robuste pour les composants électriques et assure la stabilité du système.
- **Courroie de transmission** : La courroie joue un rôle crucial en transmettant la puissance et le mouvement du moteur pas à pas vers l'axe du concentrateur, permettant ainsi un mouvement est-ouest précis.
- **Supports et fixations** : Des supports dédiés maintiennent les capteurs et le moteur en place, tandis que les fils électriques assurent la connexion entre les différents composants.
- **Charges contre poids** : Afin de contrebalancer le poids conséquent du concentrateur solaire, des contrepoids ont été installés sous le réflecteur. Cette mesure s'est avérée nécessaire en raison de l'insuffisance de l'alimentation de l'étage de puissance pour supporter le poids du concentrateur.

L'interaction harmonieuse de ces éléments permet un contrôle précis du concentrateur solaire, garantissant un suivi optimal du soleil tout au long de la journée.

La Figure III.3 montre les différents éléments de schéma bloc de concentrateur solaire réalisé dans notre projet :

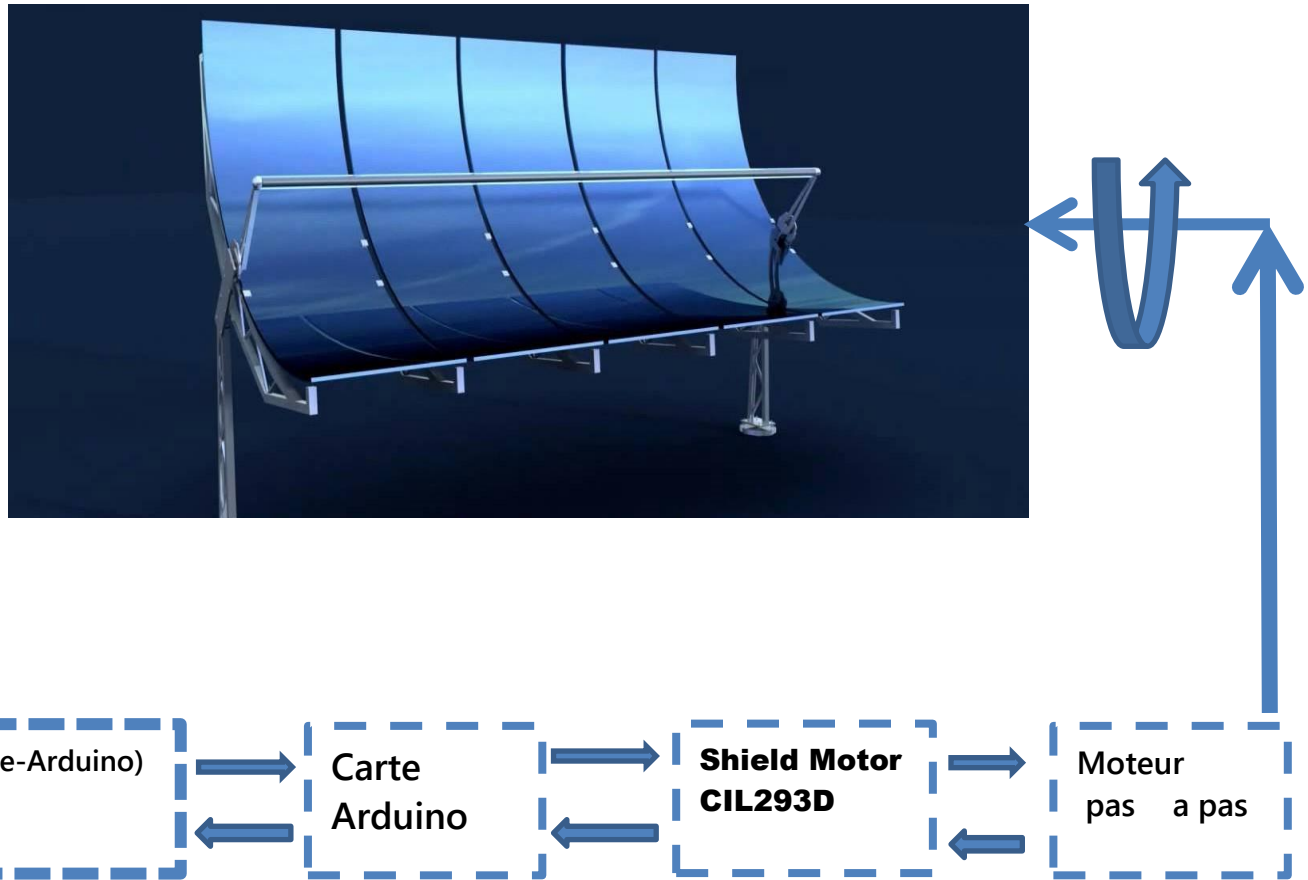


FIGURE III.3 – Schéma de notre prototype

A - Carte Arduino Uno

La carte « Arduino UNO » est un bon compromis entre le cout abordable et les performances suffisantes pour réaliser des projets de commande non complexes .

La figure indique la forme d'une carte Arduino UNO. La carte se connecte à un ordinateur à travers un port USB. Ce port sert en même temps à l'alimentation de la carte, et à l'échange de données entre la carte et l'ordinateur. En option, on peut alimenter la carte à travers un adaptateur secteur ou une pile à travers le connecteur d'alimentation externe, mais ceci n'est pas nécessaire, l'alimentation par le port USB peut être suffisante.

La carte comporte 14 broches numérique d'entrées/sorties, dont 6 peuvent être utilisée en sorties PWM. Elle comporte en plus 6 sorties analogique. [23]

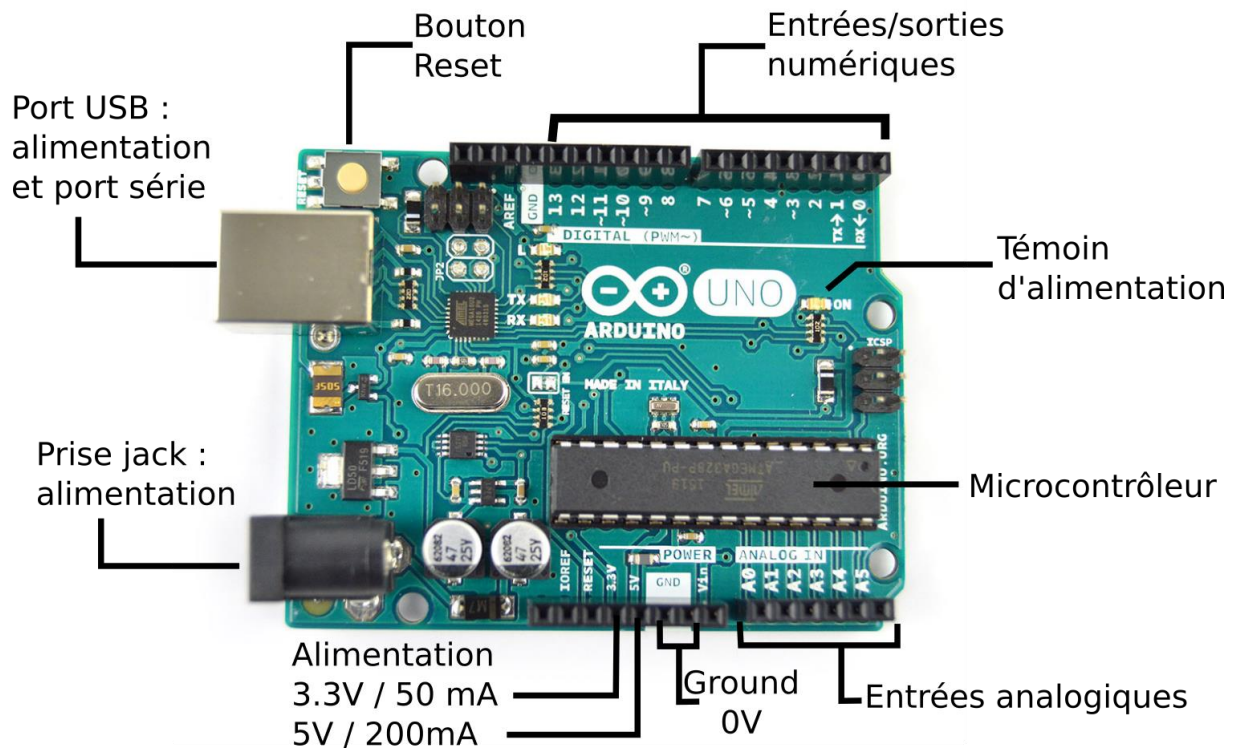


FIGURE III.4 – Carte Arduino

B - Moteur pas à pas

Un moteur pas à pas est un dispositif électromécanique qui convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. De plus, il s'agit d'un moteur synchrone sans balais qui peut diviser une rotation complète en plusieurs étapes. [24]

Un moteur pas à pas est un dispositif électromécanique qui convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. De plus, il s'agit d'un moteur synchrone sans balais qui peut diviser une rotation complète en plusieurs étapes. Les moteurs pas à pas sont des dispositifs électromécaniques utilisés pour convertir des signaux électriques en mouvement mécanique. Ils sont couramment utilisés dans de nombreuses applications, notamment dans les imprimantes, les robots, les machines-outils et les équipements médicaux.

Le fonctionnement d'un moteur pas à pas est basé sur l'utilisation d'aimants permanents et de bobines électromagnétiques. Lorsqu'un courant est appliqué aux bobines dans un ordre spécifique, les champs magnétiques créés entraînent la rotation de l'arbre du moteur. En changeant séquentiellement le courant dans les différentes bobines, le moteur peut effectuer des pas précis et réguliers, d'où son nom. [25]



FIGURE III.5 – Moteur pas à pas Nema 17

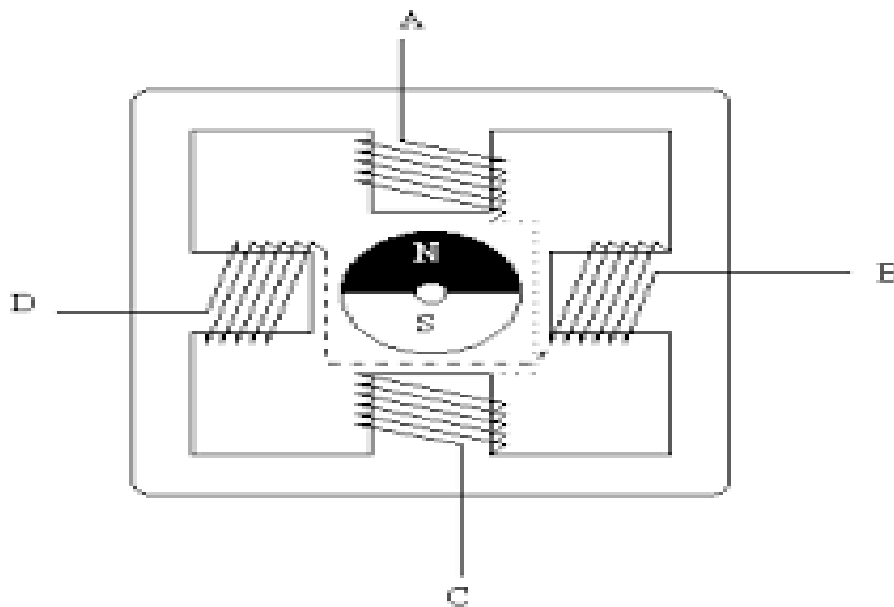


FIGURE III.6 – Schéma de moteurs pas à pas bipolaire

La Figure III.6 représente un schéma simplifié d'un moteur pas à pas bipolaire. Les moteurs pas à pas bipolaires sont un type de moteur pas à pas qui utilise deux aimants permanents et un ensemble d'électroaimants pour générer un mouvement par étapes discrètes. Le schéma illustre la disposition des composants du moteur et la circulation des courants électriques pour obtenir une rotation contrôlée.

Composants principaux de moteur pas à pas:





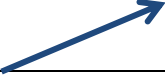
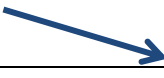
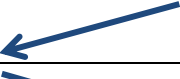

1. **Stator:** Le stator est le composant stationnaire du moteur qui abrite les électroaimants. Il est généralement construit à partir d'un noyau en fer laminé avec des bobines enroulées autour de chaque pôle.
2. **Rotor:** Le rotor est le composant rotatif du moteur qui contient les aimants permanents. Il est généralement fabriqué en fer doux et présente une forme cylindrique avec des dents ou des saillies.
3. **Électroaimants:** Les électroaimants sont les bobines de fil qui créent des champs magnétiques lorsqu'elles sont alimentées. Ils sont positionnés autour du stator et sont responsables de l'attraction et de la répulsion des aimants permanents du rotor.

Le fonctionnement d'un moteur pas à pas bipolaire repose sur l'interaction entre les aimants permanents du rotor et les champs magnétiques générés par les électroaimants du stator. En excitant séquentiellement les électroaimants selon un schéma spécifique, le rotor est attiré par les électroaimants excités et tourne par étapes.

Les moteurs pas à pas bipolaires peuvent être contrôlés à l'aide de différentes méthodes, dans notre travail nous avons utilisé la méthode suivante :

Contrôle par ordinateur : Des microcontrôleurs ou des ordinateurs peuvent être utilisés pour générer des signaux de commande précis, permettant des stratégies de contrôle et de séquençage avancées (Tableau III.1).

Tableau III.1 – Tableau de Position de Moteur

A	B	C	D	Moteur
1	0	0	0	
0	1	0	0	
0	0	1	0	
0	0	0	1	
1	1	0	0	
0	1	1	0	
0	0	1	1	
1	1	0	0	

Les moteurs pas à pas bipolaires sont largement utilisés dans diverses applications en raison de leur contrôle précis, de leur rapport couple-poids élevé et de leur capacité à fonctionner dans les deux sens. On les trouve couramment dans des applications de la robotique et les systèmes de positionnement de précision.

C - Définition de Circuit intégré L293D

Le composant L293D est un pont de puissance composé de plusieurs transistors et relais qui permet d'activer la rotation d'un moteur. Ce composant ne coute pas cher. Le L293D est un double pont-H, ce qui signifie qu'il est possible de l'utiliser pour commander quatre moteurs distincts (dans un seul sens) grâce à ses 4 canaux.

Il est également possible de constituer deux pont-h afin de piloter deux moteurs distincts, dans les deux sens et indépendamment l'un de l'autre Il est important de noter que le L293D peut délivrer au maximum 600 mA, veuillez donc choisir vos moteurs en conséquence. [26]

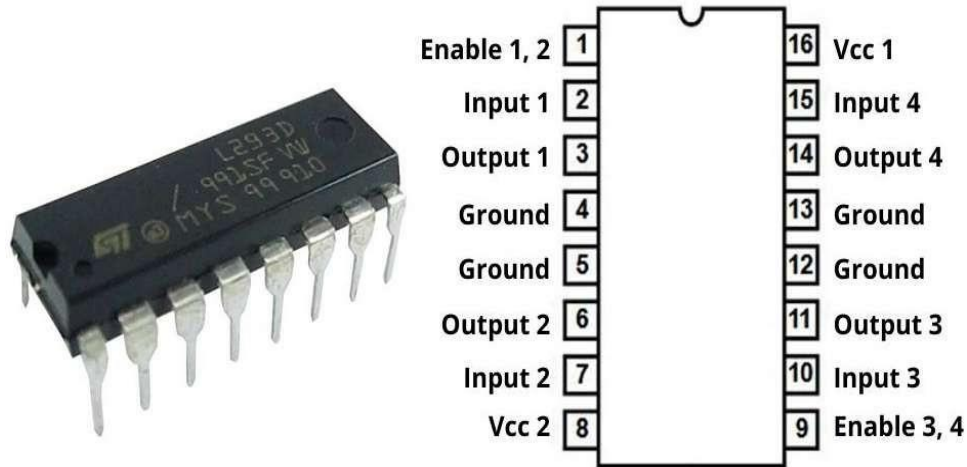


FIGURE III.7 – Circuit intégré L293D

La Figure suivante montre le montage entre le moteur pas à pas et le circuit intégré L293D :

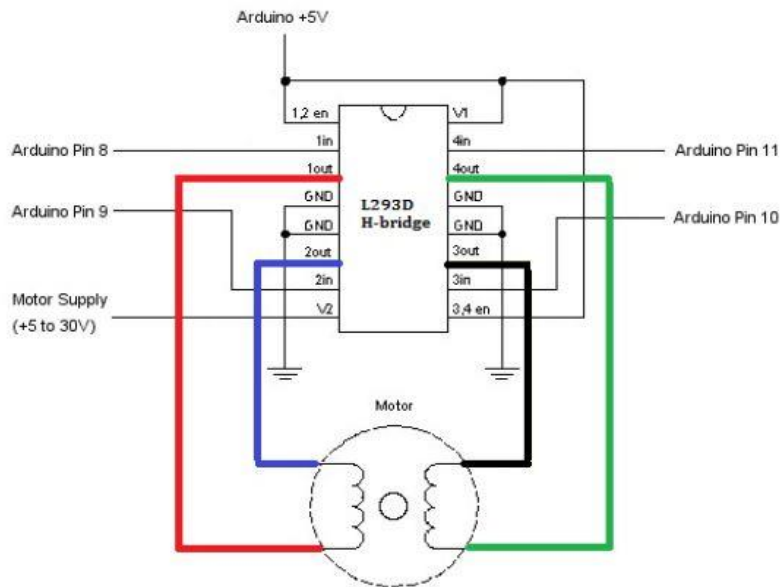


FIGURE III.8 – Montage circuit L293D avec moteur pas à pas

La Figure III.8 représente un schéma de circuit typique pour piloter un moteur pas à pas bipolaire à l'aide du circuit intégré de commande de moteur L293D. Le L293D est un pilote de moteur polyvalent qui peut contrôler deux moteurs CC ou un moteur pas à pas dans les deux sens. Il offre un moyen simple et efficace d'interfacer un microcontrôleur ou une autre logique de commande à un moteur pas à pas.

La Figure III.9 montre le schéma de connexion entre les sorties numérique de la carte arduino et l'étage de puissance (CI L293d) :

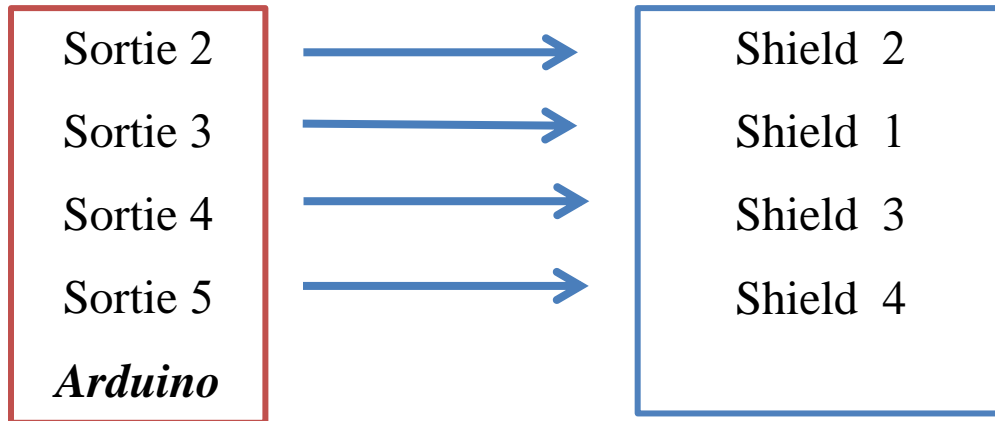


FIGURE III.9 – Montage circuit L293D avec Arduino

D - Capteur LDR

Le principe de fonctionnement du capteur de lumière LDR (Light Dépendent Résistor) changera avec l'intensité lumineuse La lumière autour de lui change. à l'état sombre, la résistance du LDR est d'environ 10 M, et dans à état léger, il est de 1K ou moins.

Le LDR est composé de matériaux semi-conducteurs Avec la matière, l'énergie de la lumière incidente entraîne la libération de davantage de charges ou une augmentation du courant électrique cela signifie La résistance du matériau a diminué. [27]



FIGURE III.10 – Capteur LDR

Lien vidéo vers le projet initial :

https://drive.google.com/file/d/11Z-yILM6GP8pTi_8L_pzm8SjO9gLefPo/view?usp=drivesdk

<https://drive.google.com/file/d/11ZZyDLho64vQSy6WZC3o85YuYsni2yP5/view?usp=drivesdk>

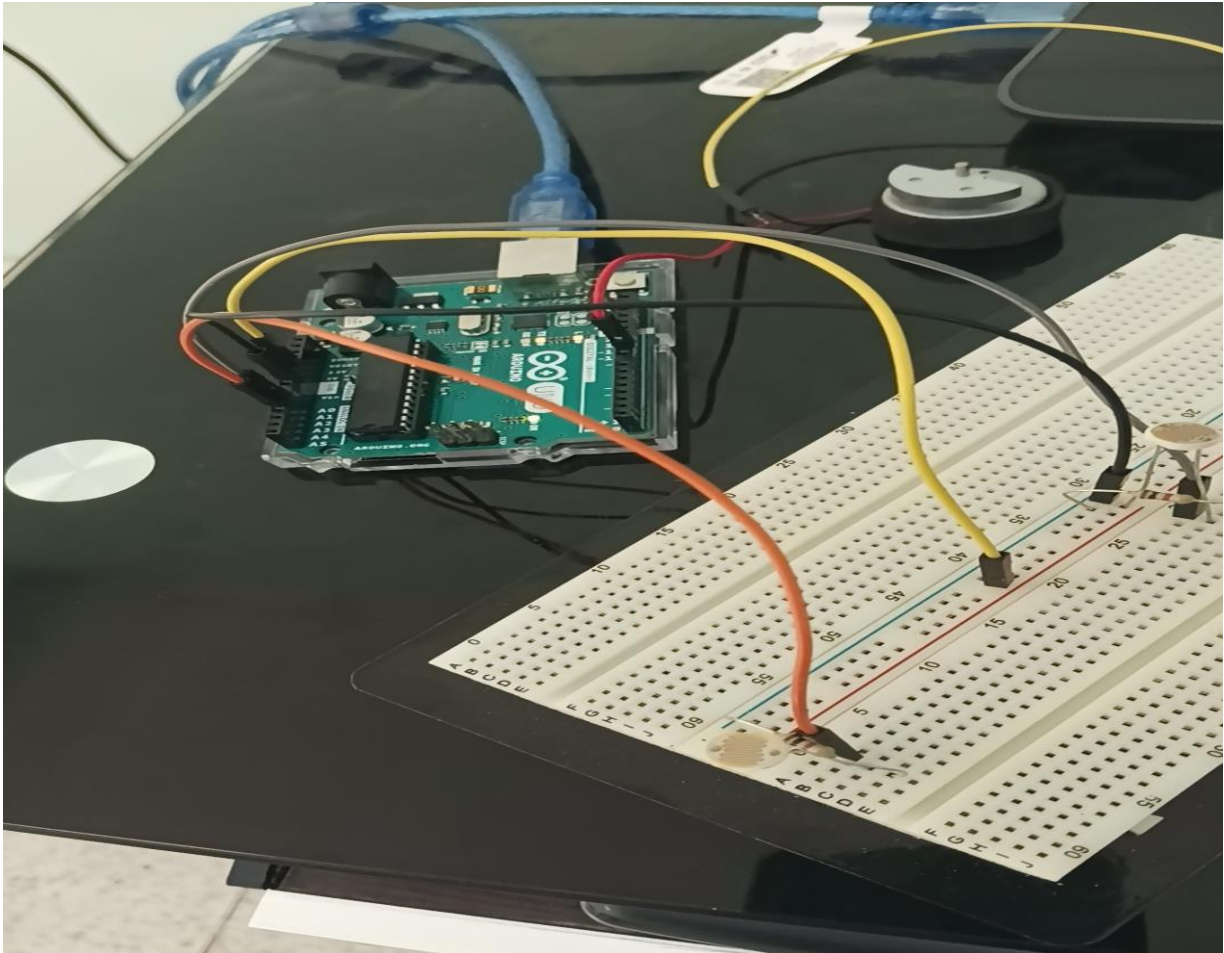


FIGURE III.11 – Réalisation de montage des capteurs LDR sur plaque d'essai

Dans cette section, nous avons évalué l'assemblage des capteurs LDR avec des résistances pour le pilotage automatique du moteur à courant continu. La partie programmation a été développée au sein de l'environnement IDE Arduino.

La phase de test et de validation du programme a été réalisée en simulation sous Proteus pour commander un moteur à courant continu (voir figure suivante) avant de passer à la phase expérimentale.

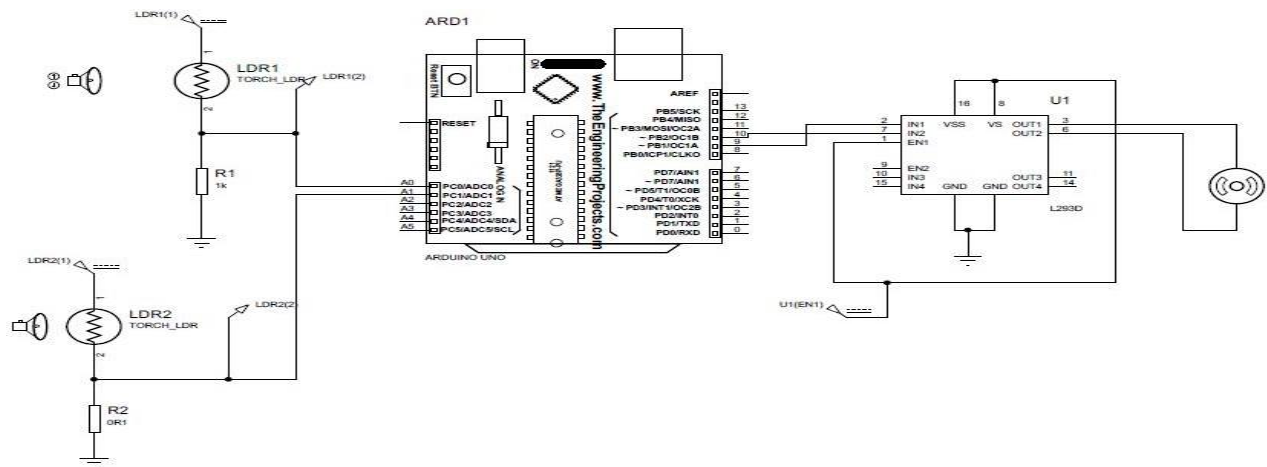


FIGURE III.12 – Montage de simulation sous proteus

Figure III.12 présente l'évaluation de la tension aux bornes du capteur LDR en fonction du temps. En variant l'intensité lumineuse exposée au capteur (obscurité, lumière ambiante, lampe de téléphone portable), on observe une augmentation de la tension aux bornes du capteur. Les sorties des capteurs LDR ont été connectées aux entrées analogiques A₀ et A₁ de la carte Arduino afin de calculer la différence de potentiel entre les deux capteurs. Le microcontrôleur commande le sens de rotation du moteur en fonction de cette différence de potentiel (VLDR₁, VLDR₂) selon la structure conditionnelle suivante :

$$\begin{aligned}
 & Si V_{LDR1} > V_{LDR2} \rightarrow \text{Sens direct} \\
 & Si V_{LDR1} < V_{LDR2} \rightarrow \text{Sens invers} \\
 & Si V_{LDR1} = V_{LDR2} \rightarrow \text{pas de mouvement}
 \end{aligned}$$

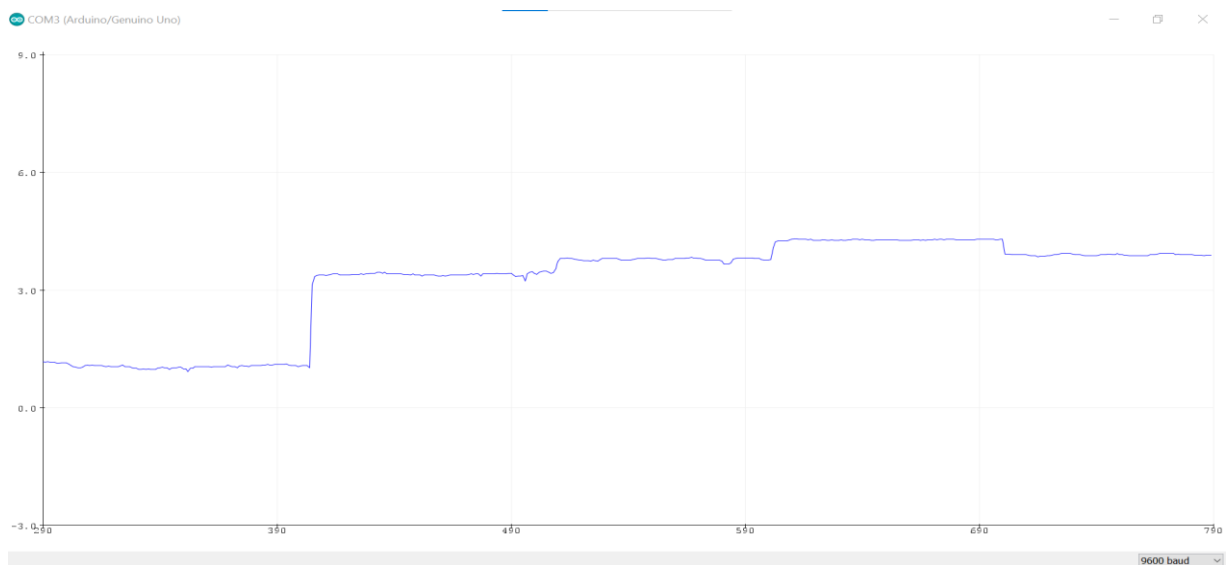


FIGURE III.13 – Courbe d'évaluation de la tension aux bornes de capteur LDR

III.2.2 Software

A - Langage Arduino

Le langage Arduino est inspiré de plusieurs langages. On retrouve notamment des similarités avec le C, le C++, le Java et le Processing. Le langage impose une structure particulière typique de l'informatique embarquée. La fonction `setup` contiendra toutes les opérations nécessaires à la configuration de la carte (directions des entrées sorties, débits de communications série, etc.).

La fonction `loop` est exécutée en boucle après l'exécution de la fonction `setup`. Elle continuera de boucler tant que la carte n'est pas mise hors tension, redémarrée (par le bouton reset). Cette boucle est absolument nécessaire sur les microcontrôleurs.

Etant donné qu'ils n'ont pas de système d'exploitation. En effet, si l'on omettait cette boucle, à la fin du code produit, il sera impossible de reprendre la main sur la carte Arduino qui exécuterait alors du code aléatoire. [24]

L'Arduino utilise le langage de programmation C/C++ pour écrire des programmes qui contrôlent ses entrées et sorties numériques et analogiques. Bien qu'Arduino utilise C/C++, la plupart des fonctions et bibliothèques spécifiques à Arduino simplifient considérablement la programmation pour les débutants et permettent d'accéder facilement aux fonctionnalités matérielles.

IDE (Integrated Development Environment) est spécialement conçu pour faciliter la programmation des cartes Arduino, ouvrant ainsi la voie à des projets innovants et passionnants. Arduino IDE offre une plate-forme conviviale qui permet à d'explorer tous et de donner vie à vie leurs idées électroniques. [25]

B - Logiciel Proteus

Proteus est un logiciel de simulation de circuits électroniques et de conception de PCB, largement utilisé dans les domaines de la conception électronique et de l'ingénierie électrique. Le programme permet aux utilisateurs de créer et de simuler des circuits électroniques avec une grande précision et comprend une vaste bibliothèque de composants électroniques pouvant être utilisés dans la conception.

La figure suivante montre une simulation du circuit de commande de moteur pas à pas bipolaire d'une manière automatique utilisant des capteurs LDR à base de la carte Arduino Uno :

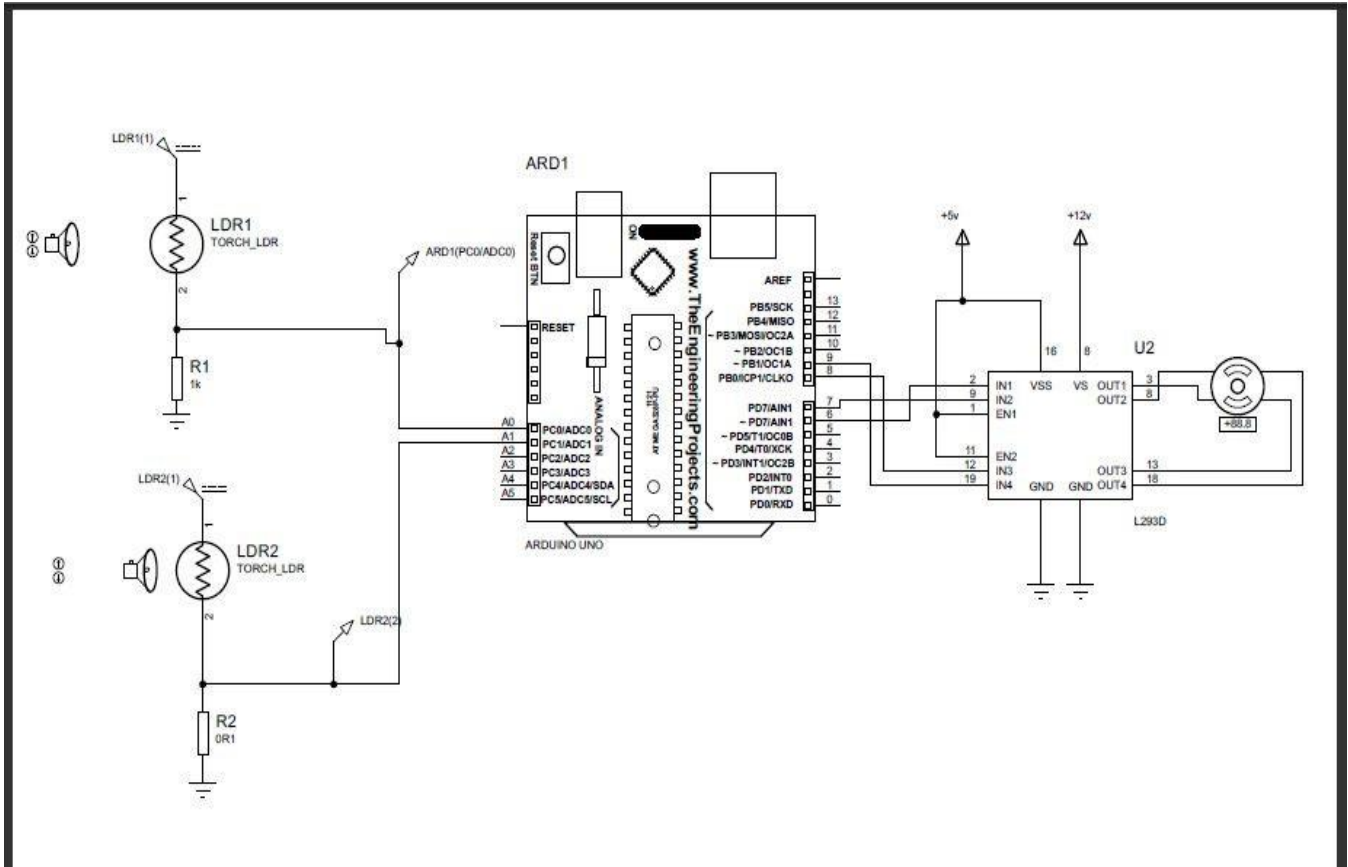


FIGURE III.14 – La simulation de notre projet avec Proteus.

Dans la vidéo suivante, nous testons l'installation à l'aide d'une lampe. Lien vidéo vers le projet : https://drive.google.com/file/d/11VFWwsfEQy06juVvwx3rFRj3_R_I_aU/view?usp=drivesdk

C- Logiciel Matlab

Il s'agit d'un programme leader en matière d'applications d'ingénierie et mathématiques produit par MathWorks. MATLAB permet la manipulation mathématique de matrices, la représentation graphique de fonctions mathématiques, la mise en œuvre de divers algorithmes, la création d'interfaces utilisateur graphiques et la communication avec des programmes écrits dans d'autres langages, notamment C - C⁺⁺, Java et Fortran.

Le programme est utilisé avec de nombreuses autres applications et utilitaires tels que (Simulink).

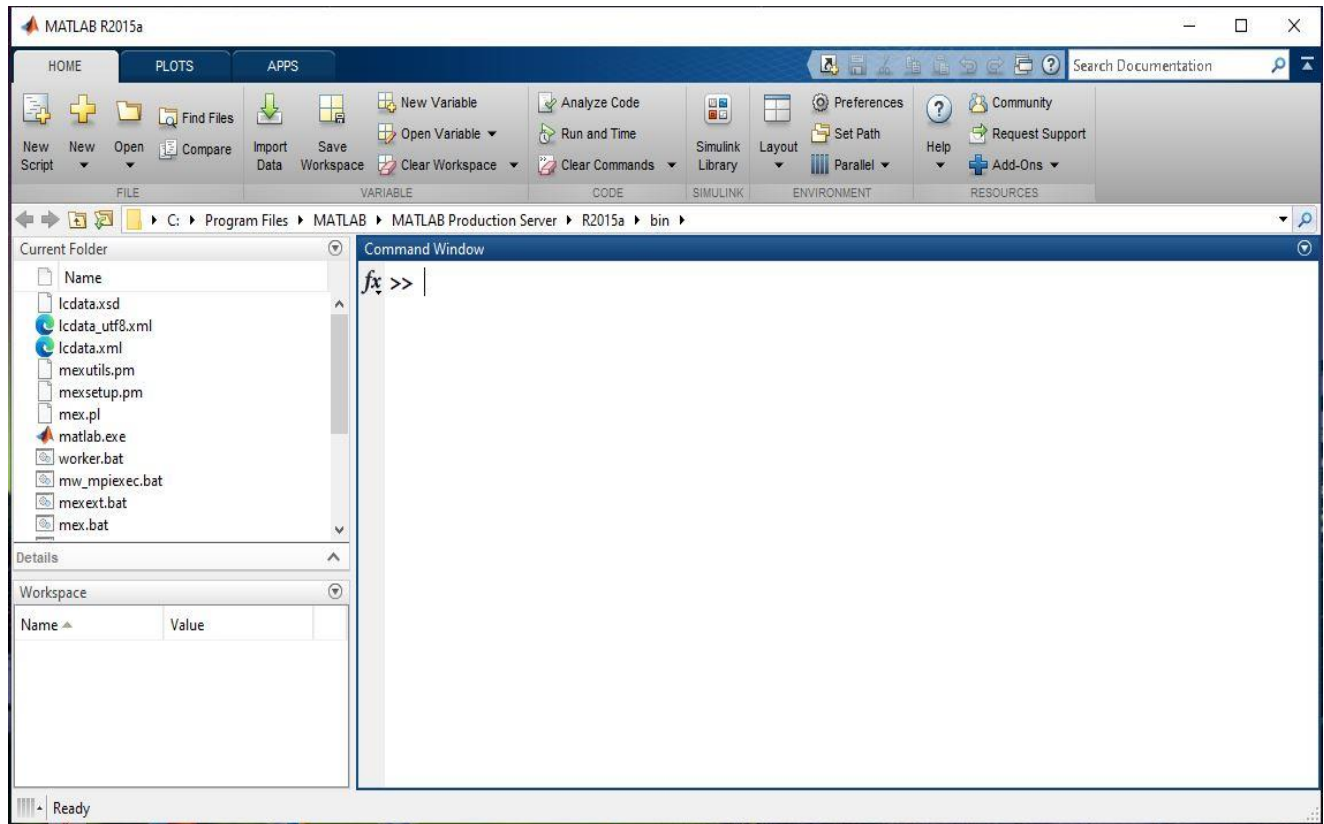


FIGURE III.15 – L'interface de Matlab

D - Matlab et Arduino

Il existe plusieurs possibilités pour connecter une carte Arduino à Matlab .Nous avons programmé la carte Arduino directement dans MATLAB. Dans le projet, nous utiliserons le package Arduino et Cette solution consiste à utiliser la carte Arduino comme interface d'entrée (Analog / Input) / sortie (Analog / Digital Output).

Ce package permet à Matlab ou Simulink de communiquer avec la carte Arduino via un fichier Câble USB.

Etapas pour définir Arduino : Tout d'abord, nous téléchargeons le package ArduinoIO et l'installons.

Nom	Modifié le	Type	Taille
+arduinoaddons	٤٥/١١/٠١ ص ١٠:٠٣	Dossier de fichiers	
examples	٤٥/١١/٠١ ص ١٠:٠٣	Dossier de fichiers	
pde	٤٥/١١/٠١ ص ١٠:٠٣	Dossier de fichiers	
simulink	٤٥/١١/٠١ ص ١٠:٠٣	Dossier de fichiers	
arduino	٣٩/٠٤/٠٢ ص ١٠:٥٥	Fichier M	97 Ko
contents	٣٩/٠٤/٠٢ ص ١٠:٥٥	Fichier M	4 Ko
install_arduino	٣٩/٠٤/٠٢ ص ١٠:٥٥	Fichier M	2 Ko
license	٣٩/٠٤/٠٢ ص ١٠:٥٥	Document texte	15 Ko
readme	٣٩/٠٤/٠٢ ص ١٠:٥٥	Document texte	30 Ko

FIGURE III.16 – Le script install-arduino dans le fichier ArduinoIO

Après l’exécution et l’installation de script Matlab **install_arduino.m** en passe à la partie de téléviser un fichier vers la carte Arduino comme suite :

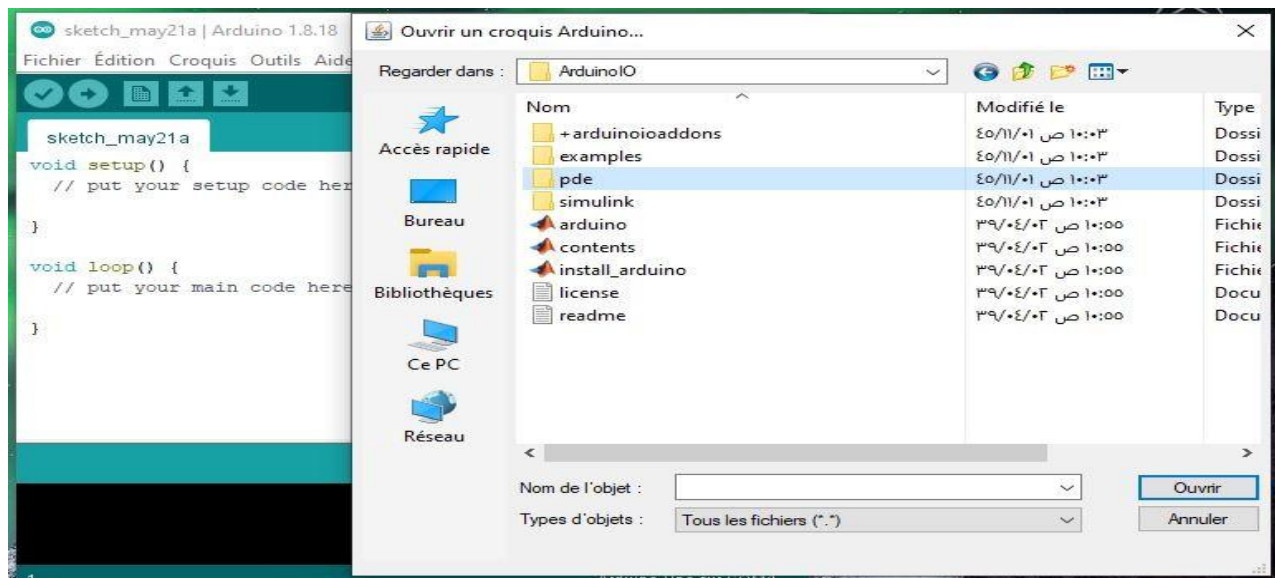


FIGURE III.17 – Le fichier pde et Arduino IO

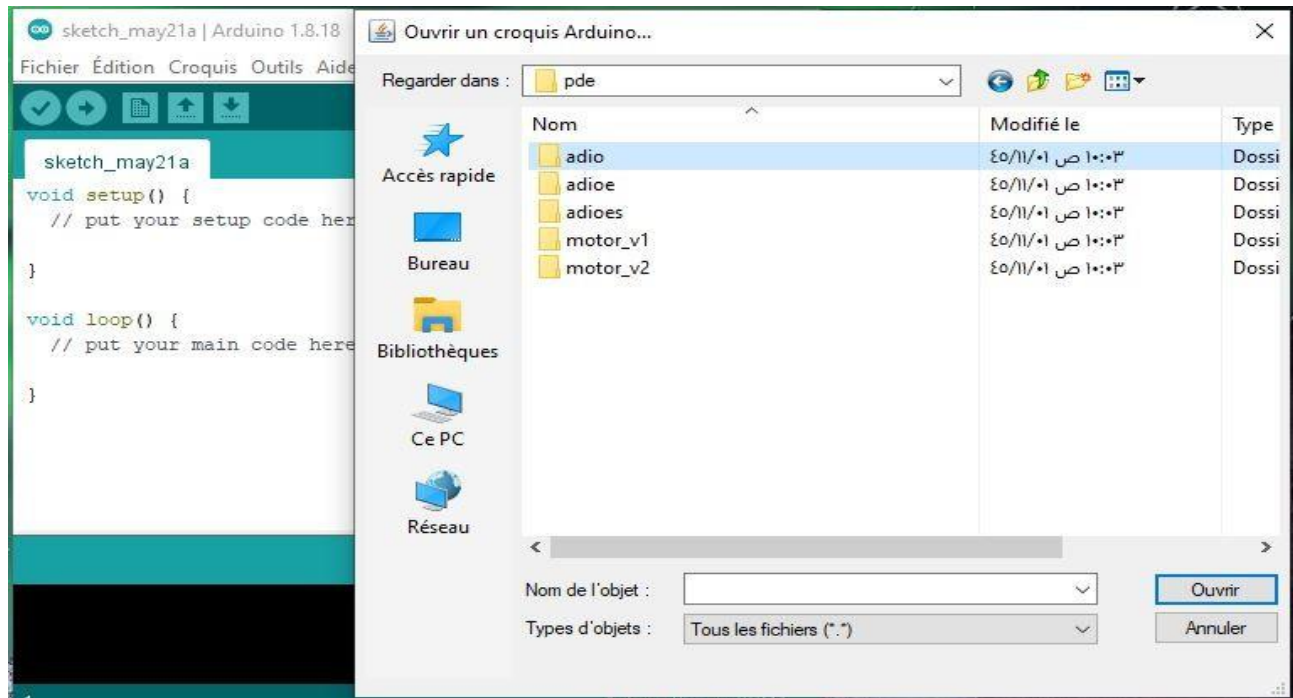


FIGURE III.18 – Le dossier adio

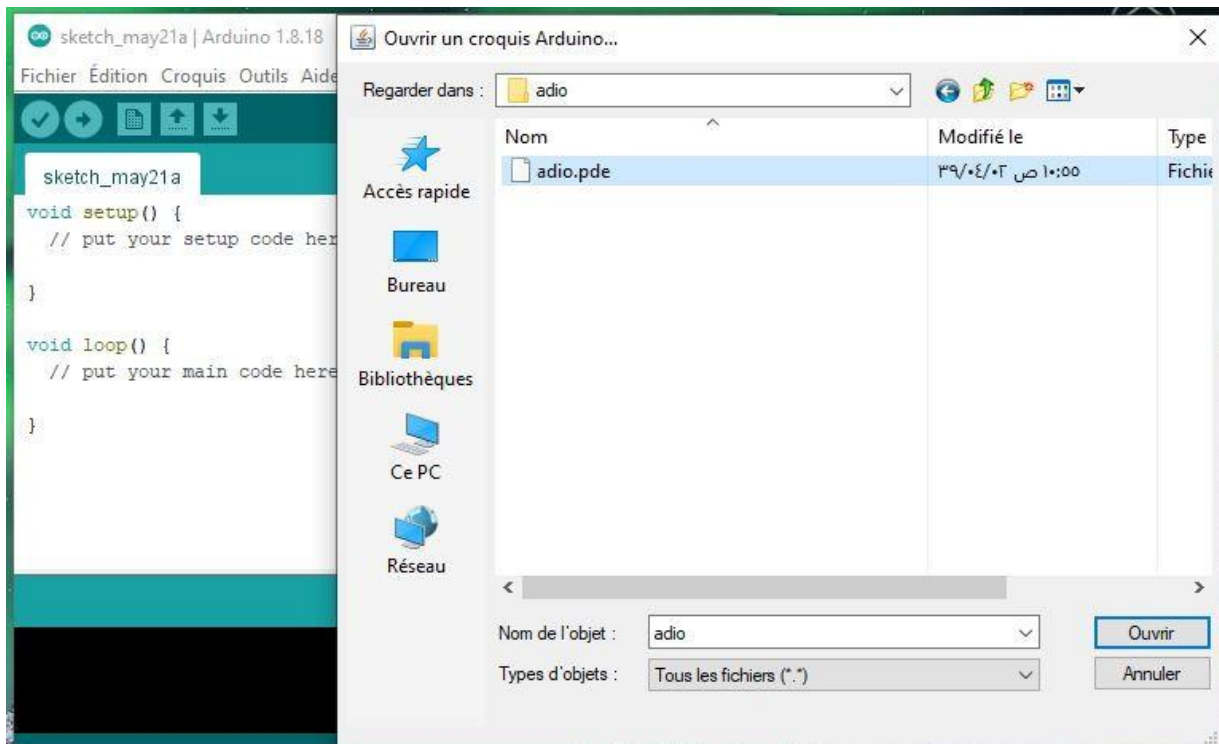


FIGURE III.19 – Le fichier adio.pde

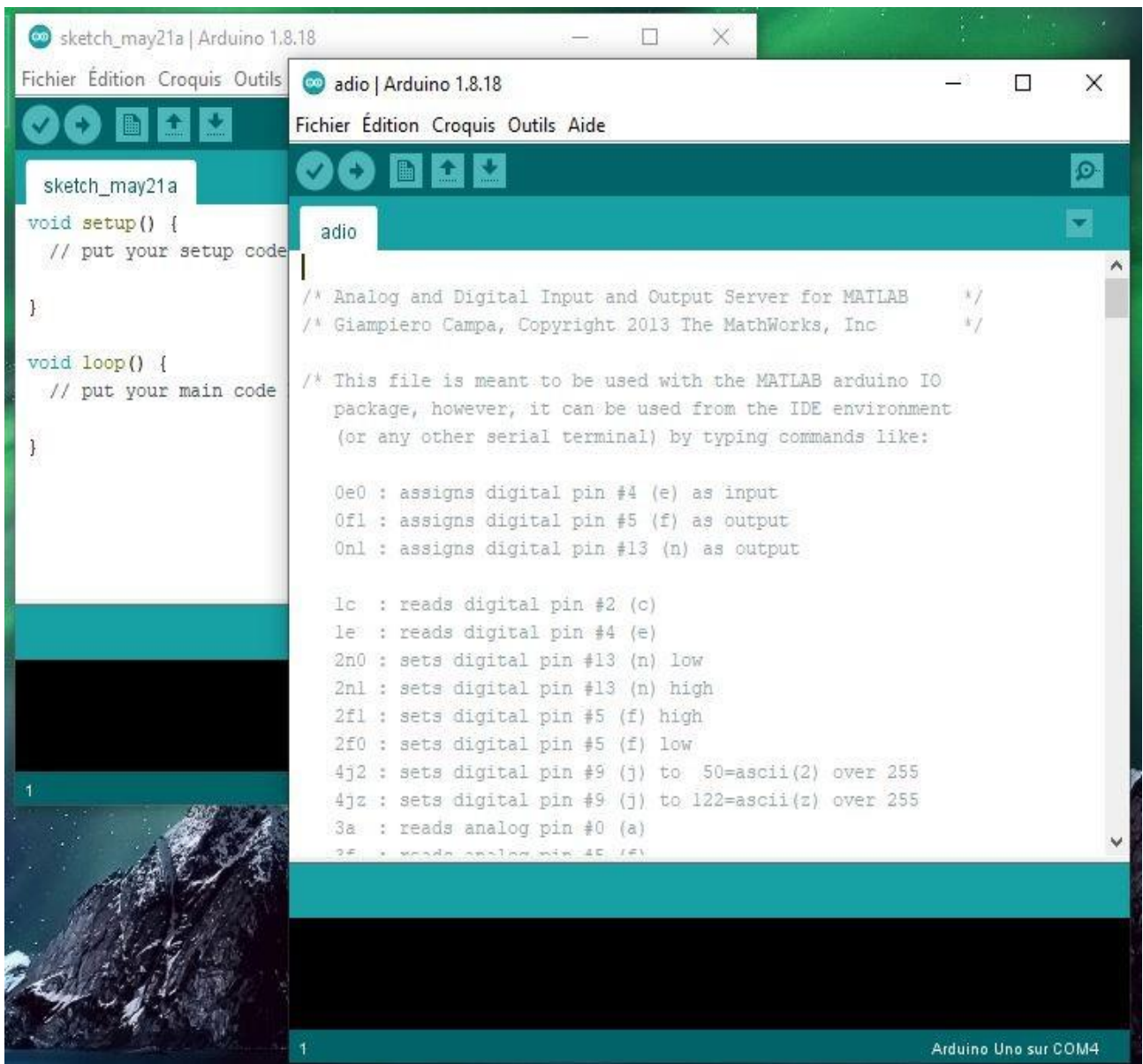


FIGURE III.20 – Téléviser le programme sur COM4

Une fois le programme vérifié, il a été téléversé sur la carte Arduino pour établir une communication correcte entre les deux.

Avant de téléviser le programme, il est nécessaire de vérifier le type de carte Arduino utilisée et le numéro de port COM associé. Dans notre cas, nous avons utilisé une carte Arduino Uno et le port COM4.

La Figure suivante montre le message au niveau de la fenêtre de commande après l'exécution de la commande `a=arduino('com4')` :

```
Command Window
Attempting connection .....
Basic Analog and Digital I/O (adio.pde) sketch detected !
Arduino successfully connected !
fx >>
```

FIGURE III.21 – Message après une connexion correcte entre la carte Arduino et Matla

La Figure III.21 montre une capture d'écran d'une fenêtre de commande sous Matlab affichant des messages liés à la connexion et à la communication réussie entre un ordinateur et une carte Arduino Uno. Les messages indiquent que la connexion a été établie en utilisant le port COM4

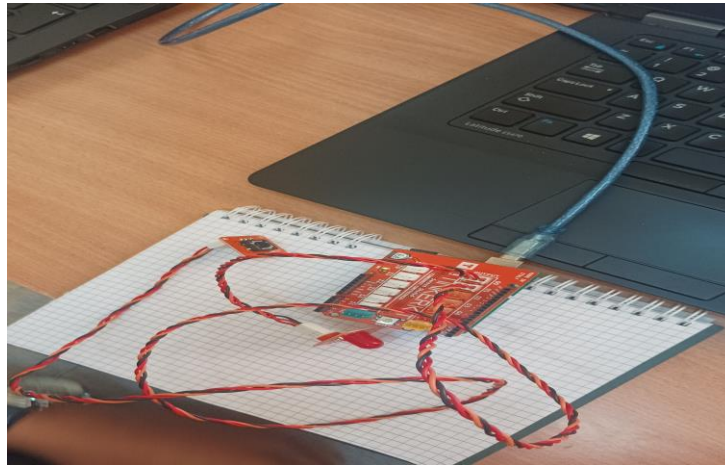


FIGURE III.22 – Envoyez le programme à l'Arduino

La Figure III.22 illustre un montage élémentaire destiné à vérifier la communication entre la carte Arduino et MATLAB. Le programme, développé dans MATLAB, permet d'allumer une LED lorsqu'on appuie sur un bouton-poussoir.

E - L'interface graphique (GUI) sous Matlab

Il s'agit d'un affichage graphique qui comprend des moyens ou des composants permettant à l'utilisateur d'accomplir des tâches dans l'environnement MATLAB. Les composants de l'interface peuvent être des menus, des barres d'outils dans l'environnement MATLAB, via des boutons poussoirs, des boutons d'options, etc., et le guide peut également afficher des données sous forme de tableaux ou sous forme de formes graphiques.

La Figure III.23 montre l’interface vide de Graphical user interfaces (GUIs) :

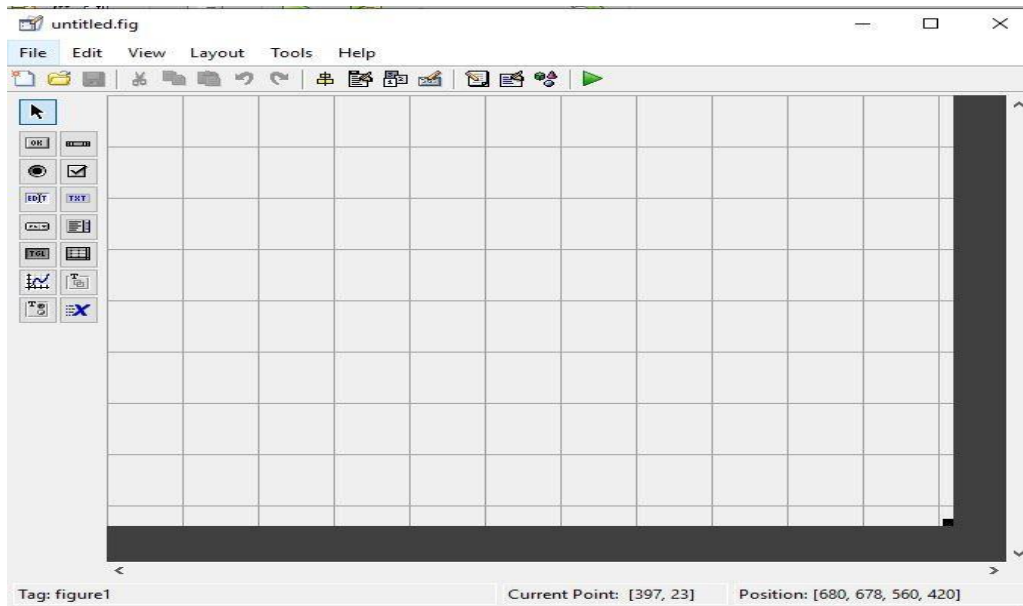


FIGURE III.23 – L’interface graphique GUI

La Figure III.24 présente l’interface de notre projet qui permet d’orienter le concentrateur solaire d’une manière manuelle à travers deux boutons *stepper++* et *stepper--*.



FIGURE III.24 – Figure Interface guide

III.3 Tests et Résultat

Suite à la conception et à la réalisation de notre prototype de concentrateur solaire cylindro-parabolique, nous avons procédé à la phase finale de tests et d'analyse des résultats afin de valider le bon fonctionnement de notre système.

Des tests ont été effectués sur la journée de 28 Mai 2023 sur le site de **Mhafir** à Laghouat ($33^{\circ} 47' 10.396'' N$ $2^{\circ} 50' 54.959'' E$). Ce test a été réalisés manuellement et les mesures des angles d'azimut ont été effectuées à l'aide d'un rapporteur (voir Figure III.25) en degrés.

Les résultats des mesures obtenues ont été comparés aux données du site Web SunEarthTools [28].

SunEarthTools est un outil en ligne qui fournit des calculs et des graphiques liés à l'énergie solaire. Il offre une variété d'outils, notamment pour calculer la position du soleil. Cela peut être utile pour déterminer l'angle d'incidence du soleil sur des panneaux solaires ou des concentrateurs solaires à un endroit et à un moment donnés, ce qui est crucial pour optimiser la production d'énergie solaire.



Figure III.25 La position du Soleil pour toute l'année [29]

La Figure III.26 illustre le prototype de concentrateur solaire réalisé durant le test, nous avons utilisé le PC portable pour commander le mouvement de concentrateur à partir de l'interface Guide/Matlab.

Le système de commande automatique de concentrateur solaire par les capteurs LDR fonctionne de manière aléatoire. En effet, les seuils de tension des capteurs LDR ont été réglés à l'aide de la lumière d'une lampe torche de téléphone portable au niveau de la partie de programmation, mais l'intensité lumineuse du soleil sur le terrain de test est différente. Pour résoudre ce problème, il est nécessaire de modifier le programme de commande automatique en utilisant la lumière du soleil comme référence au lieu de la lumière d'une lampe torche.

Dans cette tâche des tests d'azimut nous avons utilisé directement la commande manuelle par l'interface Guide sous Matlab.



FIGURE III.26 – Modelé de Project manuel après assemblage

La Figure III.27 illustre la méthode pour mesurer les angles de mouvement d'un concentrateur solaire tout au long de la journée. Lorsque le concentrateur est orienté vers le haut (à midi solaire), l'angle est de 0° . En orientation vers l'est, l'angle est de -90° , tandis qu'en orientation vers l'ouest, l'angle est de $+90^\circ$.

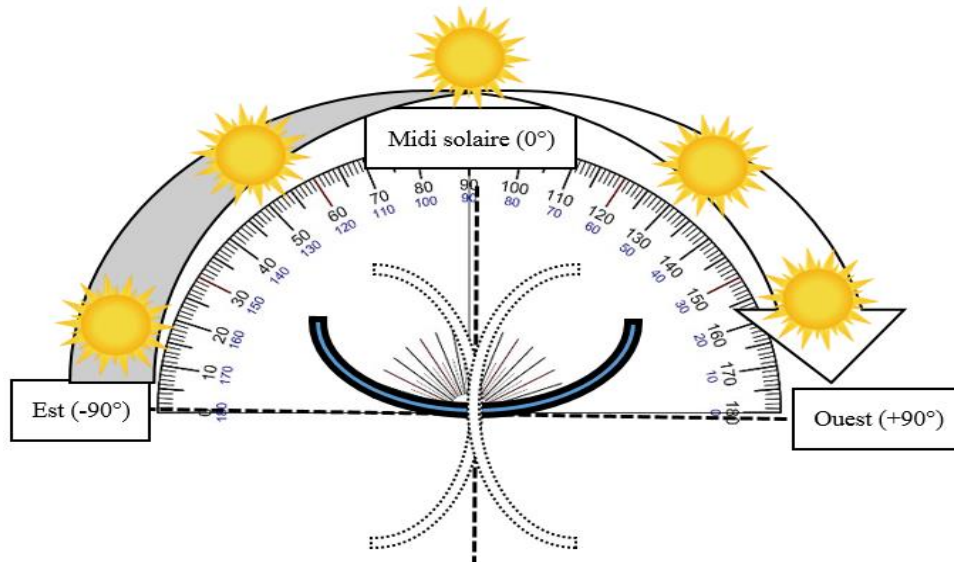


FIGURE III.27 - Mesure de l'azimut durant toute la journée

Le tableau ci-dessous présente un résumé des valeurs d'azimut mesurées à l'aide du rapporteur et des valeurs obtenues sur le site internet, sur la plage horaire de 9h00 à 16h00. Les mesures ont été effectuées à intervalles de 30 minutes.

TABLEAU III.2 – Tableau obtenu par les tests manuels

Temps	Azimut reel (degrés)	Azimut mesurer (degrés)	Erreur(degré)
09 :00	-73.47	-73	-0.47
09 :30	-69.24	-69	-0.24
10 :00	-64.43	-65	-0.57
10 :30	-58.67	-61	-2.32
11 :00	-51.24	-52	-0.76
11 :30	-40.8	-44	-3.2
12 :00	-24.68	-24	-0.68
12 :30	-0.82	-4	3.12
13 :00	33.06	36	2.94
13 :30	59.29	56	3.29
14 :00	75.95	76	0.05
14 :30	86.69	86	0.69
15 :00	94.27	96	1.72
15 :30	100.12	101	0.88
16 :00	104.98	106	1.02

Il est à noter que la différence observée entre l'angle d'azimut de notre concentrateur mesuré à l'aide du rapporteur d'angle et les valeurs fournies par le site internet [29] est minime. Par conséquent, on peut affirmer que la précision du contrôle assuré par le Guide/Matlab est acceptable.

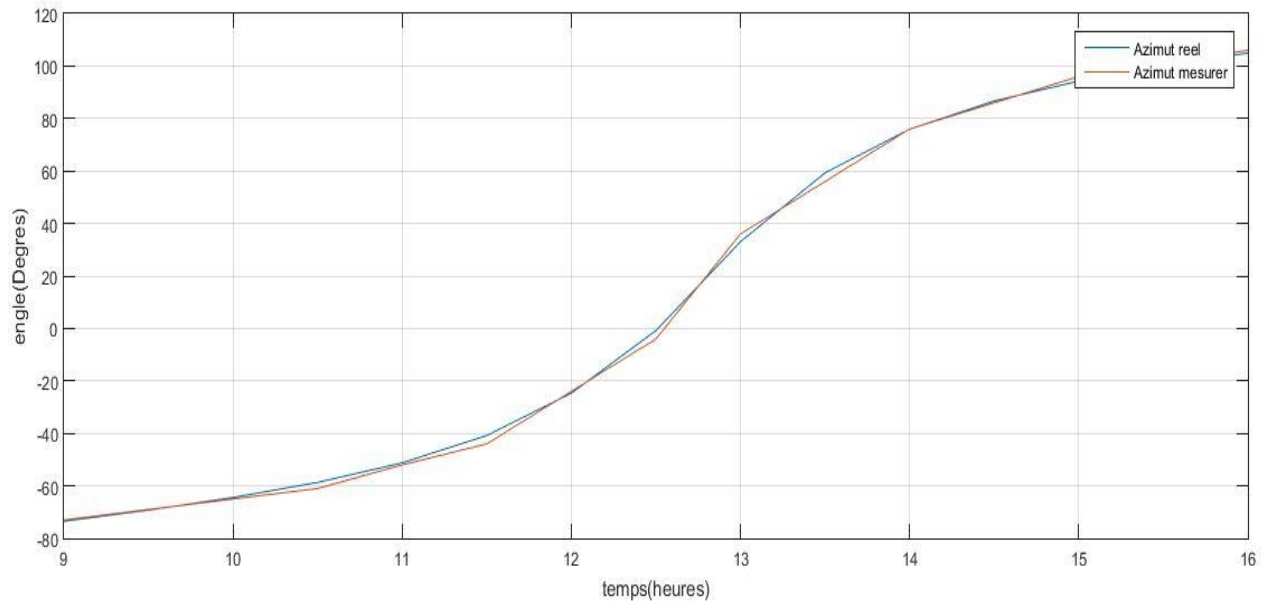


FIGURE III.28 – les tests manuelle 28/05/2023

Les deux trajectoires d'azimut de concentrateur mesuré par le rapporteur et d'azimut de site internet sont superposées dans les courbes de la Figure III.28, où on observe que selon les courbes ; l'écart moyen est inférieur à 1.47° pour l'azimut.

III.4 Conclusion

Cette dernière partie a pour objectif de présenter les résultats finaux de la mise en œuvre matérielle et logicielle de notre projet.

Tout d'abord, nous avons présenté la partie matérielle et logicielle. Ensuite, nous avons fait le lien entre la partie matérielle et mécanique de notre modèle de projet (capteurs LDR, moteur pas à pas, ...etc.) et la partie programmation au niveau Arduino IDE et Guide/Matlab afin de faire fonctionner notre modèle. Ensuite, des tests préliminaires ont été menés pour vérifier le bon fonctionnement du programme.

Enfin, nous avons mesuré l'angle d'azimut du soleil en utilisant deux méthodes : la première était automatisée, à l'aide de l'IDE Arduino, et la seconde était manuelle, à l'aide de l'interface de contrôle Guide/Matlab, bien que nous ayons rencontré des problèmes avec les capteurs LDR et la partie mécanique, les résultats obtenus sont acceptables par rapport aux données réelles sur site.

Conclusion
Générale

Conclusion générale

Ce projet de fin d'études nous a permis d'approfondir nos connaissances sur les centrales solaires et les concentrateurs cylindro-paraboliques. Il nous a également donné l'opportunité de développer nos compétences en programmation Matlab, notamment en utilisant l'interface Guide.

La réalisation et l'étude approfondie du prototype de concentrateur cylindro-parabolique nous ont permis d'appréhender le fonctionnement de ce système selon différentes méthodes. Nous avons mené des tests manuels et automatiques, et les résultats obtenus se sont révélés acceptables en comparaison avec les données réelles provenant d'un site internet de référence.

En ce qui concerne les objectifs fixés, nous avons réussi à concrétiser la conception et la réalisation d'un prototype fonctionnel, doté de toutes les fonctionnalités prévues.

Ce projet ouvre la voie à de nombreuses améliorations potentielles, notamment :

- **Collaboration pluridisciplinaire** : En collaboration avec des chercheurs issus de divers domaines, tels que l'informatique et la mécanique, il serait possible de résoudre les problèmes rencontrés lors de la réalisation du prototype.
- **Amélioration de la fonctionnalité hybride** : L'intégration d'équations astronomiques et de capteurs LDR permettrait de déterminer la position du soleil avec précision, indépendamment des conditions météorologiques et de l'environnement.

En conclusion, ce projet de fin d'études a constitué une expérience enrichissante et formatrice, nous permettant d'acquérir des connaissances précieuses et de développer des compétences techniques essentielles. Les perspectives d'amélioration esquissées ci-dessus démontrent le potentiel de ce projet et ouvrent la voie à des recherches futures prometteuses dans le domaine de l'énergie solaire.

Référence
Bibliographiques

[1] Kelbit Adel et Boukhalkhal Hadj, " Etude et réalisation d'un capteur cylindro-parabolique d'un central solaire ", mémoire de master, Université Amar Telidji de Laghouat, (2019).

[2] https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_renouvelable

[3] DIAFI, B., & BEKHALED, Y. (2019). " Les centrales solaires thermodynamiques " .

[4] Touzani, L. (2023). LES ENERGIES RENOUVENABLES AU MAROC: ENERGIE SOLAIRE. La Revue D'économie et D'environnement, 3(1), 28-44.

[5] Zegrir Nacira , (2020) accès à L'énergie Renouvelable et sa Maitrise à L'échelle Nationale Et International.

[6] BELAIMECHE, F. Z. (2018). Contribution à la commande d'une machine asynchrone à double alimentation (MADA) dédié à l'énergie renouvelable (Doctoral dissertation).

[7] ABDI, A., & AMRANI, S. (2021). Etude numérique d'une installation hydraulique pour irrigation par un Système photovoltaïque (Doctoral dissertation, Université Ibn Khaldoun-Tiaret.

[8] BACHIR, R. N., ELFODDA, Y., & BENATIALLAH, A. (2023). Etude et simulation de l'influence des chicane sur les performances d'un échangeur de chaleur pour capteur solaire cylindro parabolique (Doctoral dissertation, UNIVERSITE AHMED DRAIA-ADRAR).

[9] Hamidatou, A., & Bouregba, S. simulation d'un système CSP (cylindro-parabolique) à production d'électricité (Doctoral dissertation).

[10] S. Madani "Modélisation mathématique du concentrateur cylindro-parabolique de la centrale hybride de Hassi R'mel", Mémoire de Master, Génie Mécanique, Université Mohamed Khider Biskra, 2014.

[11] H. Boussoufa et M. Bourbaa, "Etude thermo-économique du cycle combiné avec intégration de l'énergie solaire", Mémoire de Master, Energétique, Université M'hamed BOUGARA Boumerdes ,2017.

[12]<https://www.connaissancedesenergies.org/fichepedagogique/solairethermodynamique-concentration>: (26/04/2020).

[13] M. Hazmoune, “Le récepteur d’une centrale solaire à tour”, bulletin du CDER Centre de Développement des Energies Renouvelables, N 35, 2015.

[14] A. Khallef, “Les centrales solaires à tour: perspectives en Algérie”, bulletin du CDER Centre de Développement des Energies Renouvelables, N 20, Pp 23, 2011.

[15] https://www.ecosources.info/dossiers/Tour_solairethermodynamique_centrale_a_Concentration :(23 /04/2020)

[16] O. Farges, “Conception optimale de centrales solaires à concentration : application aux centrales à tour et aux installations « beam down » ”, Thèse de Doctorat, Université de Toulouse, 2014.

[17] J. F. Hoffmann, “Stockage thermique pour centrale solaire thermodynamique à concentration mettant en oeuvre des matériaux céramiques naturels ou recyclés”, Thèse de Doctorat, Université de Perpignan, 2015.

[18] Z. Moussaoui Moullay et H. Moussaoui Moullay , “Etude et simulation d’un système solaire thermique cylindro-parabolique”, Mémoire de master, Physique énergétique, Université d’Adrar, 2014.

[19] A. Dahmani et B. Kremiaï, “Simulation d’une installation solaire cylindro parabolique avec stockage thermique”, Mémoire de master, Génie Mécanique, Université Akli Mohand Oulhadj Bouira, 2018.

[20] R. Chauvin, “Evaluation de la ressource solaire pour la gestion optimisée de centrales CSP”, Thèse de Doctorat, Université de Perpignan Via Domitia, 2016.

[21] BAHY, K., & BENNESSAR, K. (2020). Simulation numérique de poursuite solaire d’un héliostat (Doctoral dissertation, M. Abdelkarim CHEMIDI).

[22] Ismail, K. (2014). Etude d'un système de poursuite solaire pour les panneaux photovoltaïques (Doctoral dissertation).

[23] Benayad, M., Boumaaraf, S. E., & Lalili, D. E. (2023). Commande d’un convertisseur en pont, Implémentation sur une carte ARDUINO (Doctorat dissertation, Université de Jijel).

[24] Benamoura, R., & Boukabou, A. E. (2023). Étude et mise en place d'un système embarqué pour les applications marines (Doctoral dissertation, Université de Jijel).

[25] LATRECHE, S. (2016). " Etude et Réalisation d'un système photovoltaïque à base d'une carte Arduino uno " .

[26] Aissa, D., & Abdelhak, A. (2017). *Conception et réalisation d'un tapis roulant commandé par un système de détection à base d'une carte Arduino* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

[27] Achbi, M. S. *Design And Monitoring Of A Dual Axis Solar Tracking System* (Doctoral dissertation, UNIVERSITY KASDI MERBAH OUARGLA).

[28] <https://www.connaissancedesenergies.org/fichepedagogique/solairethermodynamique-concentration>: (26/04/2020).

[29] <https://www.sunearthtools.com>

Annexe

Carte arduino :

Arduino UNO Compatible This UNO is clone of Arduino /Genuino Uno, a microcontroller board based on the ATmega328P .

TECH SPECS :

Microcontroller : ATmega328P

Operating Voltage : 5v

Input Voltage (recommended) : 7-12v

Input Voltage (limit) : 6-20v

Digital I/O Pins : 14 (of which 6 provide PWM output)

PWR Digital I/O Pins : 6

Analog Input Pins : 6

DC Current per I/O Pin : 20mA

DC Current for 3.3V Pin : 50mA

Flash Memory : 32Kb (ATmega328P) Of which 0.5 Kb used by Bootloader

SRAM 2 KB : (ATmega328P)

EEPROM 1 KB : (ATmega328P)

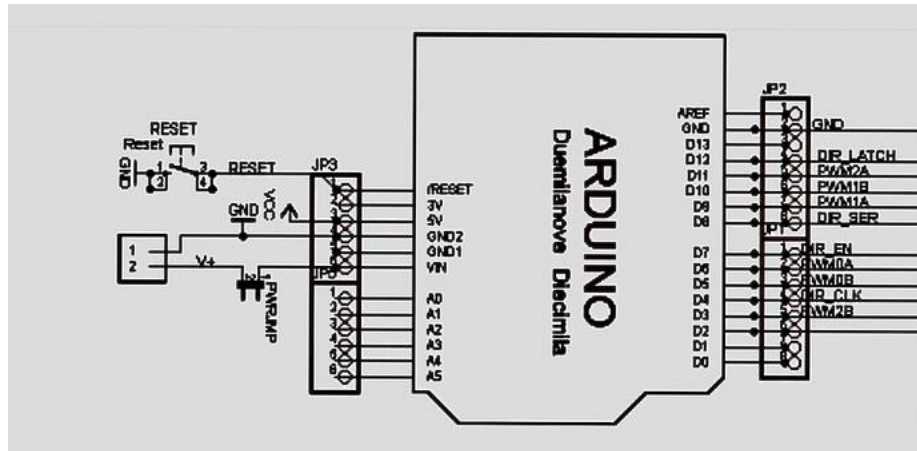
Clock Speed : 16 MHz

LED- BULTIN : 13

Length : 68.6 mm

Width : 53.4 mm

Weight 25g



Connexion arduino-Shield

Moteur Pas-à-Pas NEMA17

Dimension :

Dimension:
Unit=mm

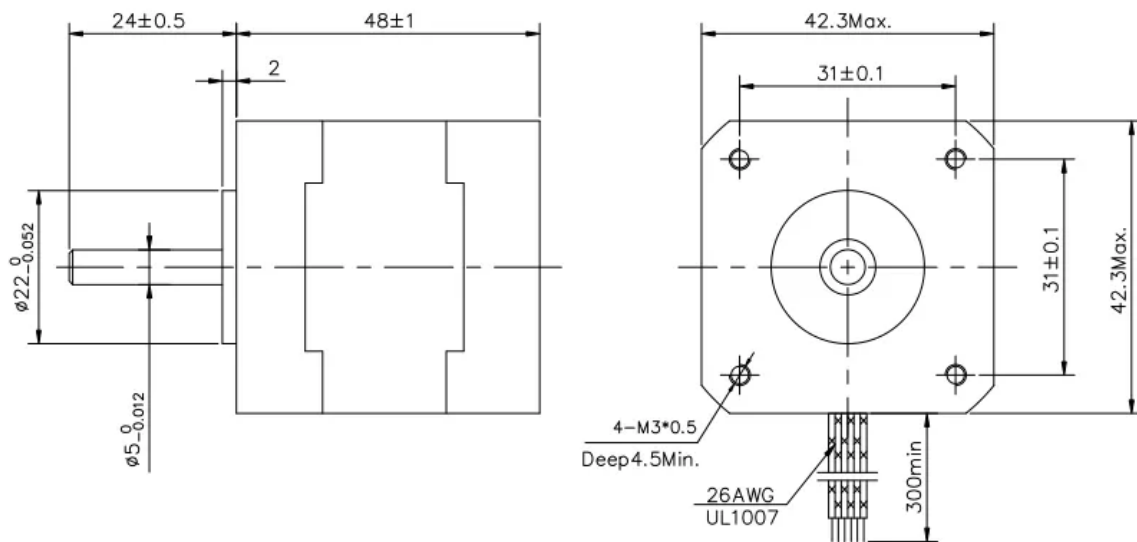
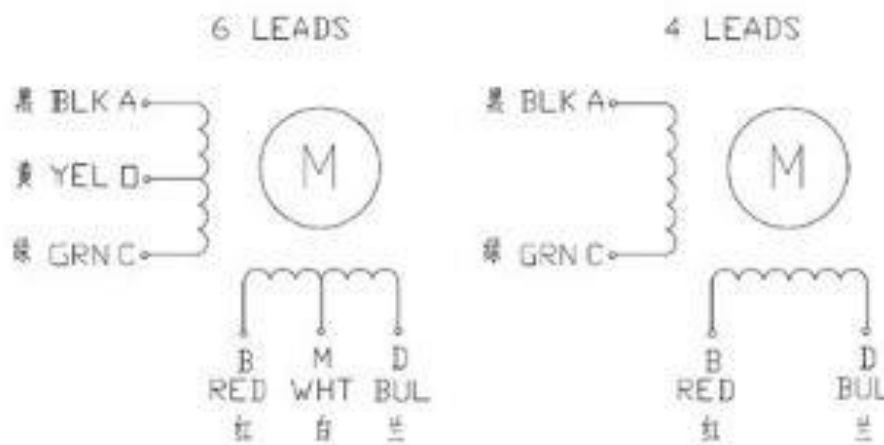


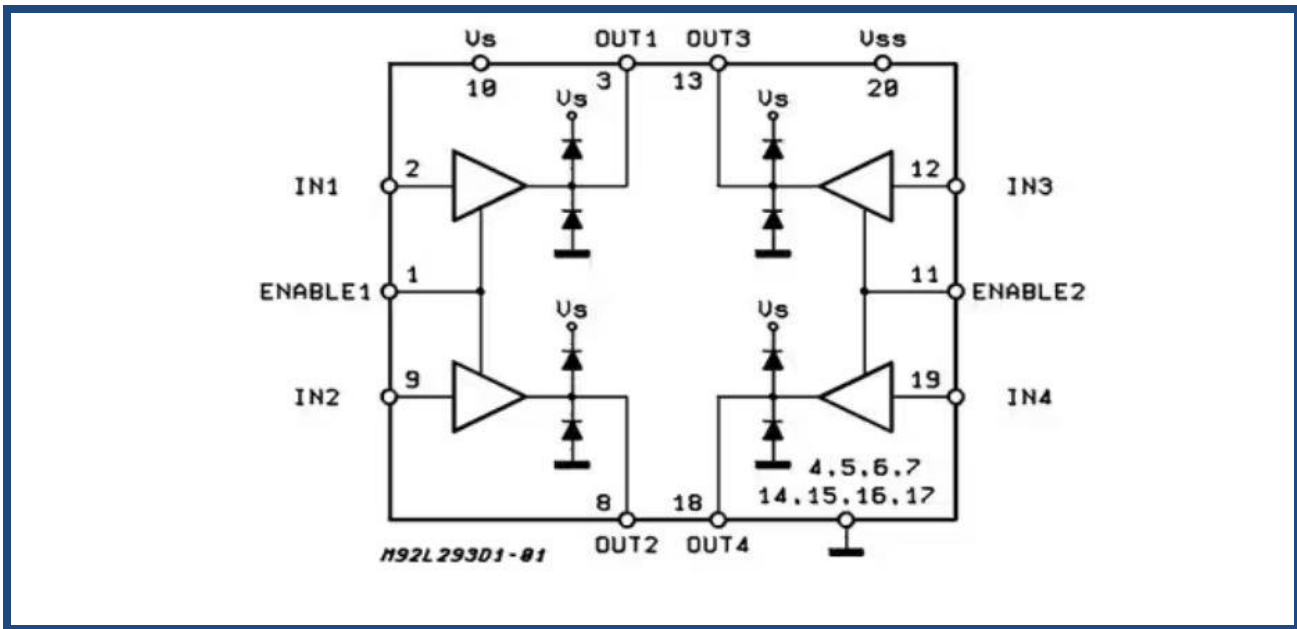
Schéma de câblage :



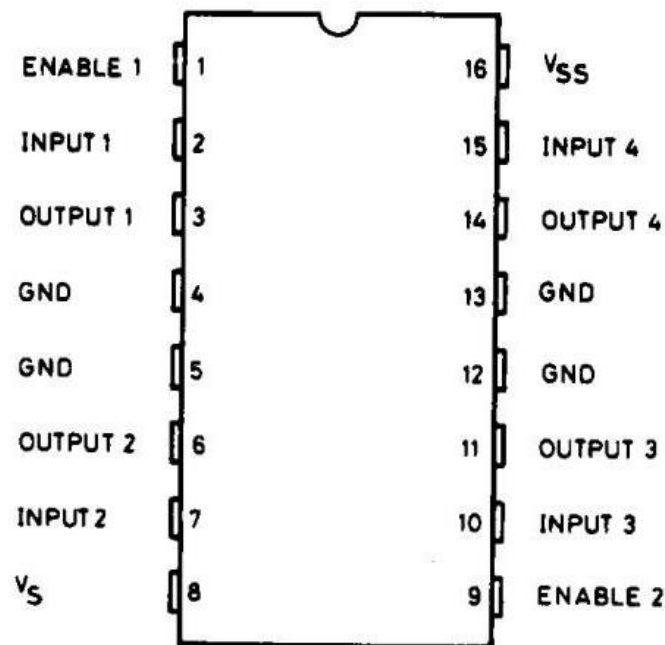
Les caractéristiques de Moteur pas à pas

1. Nema 17Hybrid Stepper Motor
2. Model Number: JK42HS48-1684
3. Phase : 2 Phase
4. Lead Wire (No.) : 4 wire
5. Structure:Hybrid
6. StepAngle: 1.8°
7. MotorHeight :42 mm
8. Holding Torque : 4.4 kg.cm
9. Speed:Low / High speed
10. Certification : CE, ROHS, ISO9001
- 11.Shape :Square

Datasheet L293D :



Le schéma de circuit intégré L293D



Les pin de circuit intégré L293D

La position du soleil de Laghouat : <https://www.sunearthtools.com>

Date:	28/05/2024 GMT0	
coordonnées:	33.7909181, 2.8373535	
hlocalisation :	DZA الجزائر الاغواط المحافير	
heure	Elevation	Azimut
05:40:14	-0.833°	63.16°
6:00:00	2.87°	65.87°
6:30:00	8.64°	69.81°
7:00:00	14.56°	73.58°
7:30:00	20.59°	77.25°
8:00:00	26.71°	80.91°
8:30:00	32.9°	84.63°
9:00:00	39.12°	88.53°
9:30:00	45.35°	92.76°
10:00:00	51.56°	97.57°
10:30:00	57.69°	103.33°
11:00:00	63.65°	110.76°
11:30:00	69.26°	121.2°
12:00:00	74.12°	137.32°
12:30:00	77.29°	162.82°
13:00:00	77.41°	195.06°
13:30:00	74.41°	221.29°
14:00:00	69.64°	237.95°
14:30:00	64.06°	248.69°
15:00:00	58.12°	256.27°
15:30:00	52°	262.12°
16:00:00	45.8°	266.98°
16:30:00	39.57°	271.25°
17:00:00	33.35°	275.17°
17:30:00	27.17°	278.9°
18:00:00	21.05°	282.56°
18:30:00	15.01°	286.23°
19:00:00	9.09°	290°
19:30:00	3.31°	293.92°
19:52:07	-0.833°	296.96°