



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Electrotechnique
Spécialité : Energie et environnement

Présenté par : BAH I Kheira
BENNESSAR Khadidja

Thème

**Simulation numérique de poursuite
solaire d'un héliostat**

Soutenu publiquement, le 26/10/2020, devant le jury composé de :

M.Fouad hacene BOUKLI	Maitre de conferences classe A	ESSA. Tlemcen	Président
M.Abelkarim CHEMIDI	Maitre de conferences classe B	ESSA. Tlemcen	Directeur de mémoire
M.Lotfi MERAD	Professeur	ESSA. Tlemcen	Examineur 1
M.Ghouti ABDELLAOUI	Maitre de conferences classe B	ESSA. Tlemcen	Examineur 2

Année universitaire :2019 /2020

Dédicace

Je dédie ce travail.....

Tout d'abord à mes très chers parents ; ma mère Halima et mon père Abdelkader qui me soutiennent et m'encouragent depuis toujours ; j'espère qu'ils trouveront dans ce travail toute ma reconnaissance et mon amour.

A ma sœur Naima et mes frères pour leur soutien moral et leurs encouragements.

A mon binôme Khadidja pour son amitié, sa présence et son soutien sans limite.

A mes professeurs à l'école supérieure en sciences appliquées de Tlemcen qui m'ont enrichi les connaissances et m'ont orienté.

A mes très chers collègues et à toute personnes qui a participé de proche ou de loin dans la réalisation de ce travail.

Kheira

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à la femme qui m'a mis au monde,
celle qui m'as comblé d'amour et de tendresse : ma mère

A ma sœur qui m'as engendré, instruit et soutenu pendant
toutes mes années d'étude

Khadidja

Remerciements

Avant tout nous tenons nos remerciements à notre dieu tout puissant de nous avoir donné la volonté et le courage de mener à terme ce modeste travail.

A la suite nous adressons nos vifs remerciements à nos encadreurs **M.Chemidi**, **M.Bouaichaoui** et **M.Takilalte** qui nous ont manifesté toute leurs attentions, leurs bienveillances et leurs aides inestimables tout au long de l'élaboration de ce travail.

Nous voudrions aussi exprimer nos remerciements aux membres de jury d'avoir fait l'honneur d'accepter le jury de ce travail.

Enfin, nous exprimons nos chaleureux remerciements à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à notre réussite.

B.Kheira & B.Khadidja

Résumé :

La révolution des énergies renouvelables qui est un type d'énergie primordiale et propre est considéré comme un alternatif des sources fossiles dans le but de protéger l'environnement. Ce type d'énergie contient plusieurs systèmes énergétiques; cette diversité est liée aux essais du développement du rendement énergétique. Les systèmes de captation sont toujours associés aux d'autres systèmes de commandes.

Ce travail présente une étude sur l'énergie solaire et les systèmes de poursuite solaires ainsi que l'étude d'un circuit de commande.

Mots clés : Photovoltaïque, Suiveur solaire, Moteur à courant continu, Arduino

ملخص:

ينظر الى ثورة الطاقات المتجددة التي تعد نوعا حيويا و نظيفا كبديل للمصادر الاحفورية المستعملة بكثرة في مختلف المجالات الصناعية، حيث ان هذا التوجه الطاقوي فرضته الضرورة الملحة للحفاظ على المحيط و حمايته من مسببات الاختلال الايديولوجي. يحتوي هذا النوع من الطاقات من عدة انظمة طاقوية وهذا التنوع مرتبط بالمحاولات والتجارب الهادفة الى تطوير كفاءة الطاقة. بالنسبة لانظمة التقاط الطاقة فهي ترتبط بانظمة كهرو تقنية للتحطم والتوجيه.

يقدم هذا العمل المتواضع دراسة حول الطاقة الشمسية وخصائصها و تصنيف لانظمة التتبع الشمسي والمعطيات الضرورية المتعلقة بها، بالاضافة الى دراسة دارة تحكم بمحركين بتيار مستمر.

الكلمات المفتاحية: الكهروضوئية، متتبع شمسي، محرك بتيار مستمر، اردوينو

Sommaire

Sommaire

Dédicace.....	I
Dédicace.....	II
Remerciements.....	III
Résumé.....	IV
Sommaire.....	V
Liste des acronymes.....	X
Liste des figures.....	XI
Liste des tableaux	XIII

Chapitre I :

Généralité sur le gisement solaire et les systèmes solaires énergétique

I-1 INTRODUCTION	3
I-2 : Gisement solaire	4
I-3 : Gisement solaire en Algérie	4
I-4 : Le spectre solaire	4
I-4-1 : Rayonnement solaire direct	6
I-4-2 : Rayonnement solaire diffus	6
I-4-3 : Rayonnement réfléchi ou albédo du sol	6
I-4-4 : Rayonnement global	6
I-5 : Le système solaire photovoltaïque	6
I-5-1 : Système autonome	7
I-5-2 : Systèmes hybrides	7
I-5-3 : Systèmes connectés au réseau	7
I-6 : Les composants d'un système solaire énergétique	7
I-6-1 : Générateur photovoltaïque	7
I-6-2 : Les batteries	7
I-6-3 : conditionnement de puissance	8
I-6-3-1 : Régulateur	8

Les régulateurs solaires MPPT	8
Les régulateurs solaires PWM	8
I-6-4 : Onduleur	8
I-7 : Les systèmes de la poursuite solaire	8
I-7-1 : Définition	9
I-7-2 : Types de suiveurs solaires	9
Suiveurs passifs	10
Suiveurs actifs	10
I-7-3 : Principe de fonctionnement	11
Conclusion	12

Chapitre II: Systèmes de poursuite solaire

II-1 : INTRODUCTION	14
II-2 : Système de poursuite solaire	15
II-3 : Système de la poursuite solaire pour les CPV.....	15
II-3-1 : L'intérêt des panneaux mobiles par rapport aux panneaux fixes	15
II-4 : Les traqueurs solaires	16
II-4-1 : Les types de traqueurs solaires	17
Traqueur à mono axe	17
Traqueur à double axes	17
II-4-2 : La comparaison des traqueurs mono-axe et traqueurs double axes	18
II-5 : Système de poursuite solaire pour les CSP	19
II-5-1 : Cylindro-paraboliques	20
II-5-2 : Centrale solaire à miroir de Fresnel	21
II-5-3 : Capteurs Paraboliques	22
II-5-4 : Centrale solaire à tour	24
II-5-4-1 : Le champ solaire	25
II-6 : Les coordonnées Célestes	26
II-6-1 : Les coordonnées graphiques	26
II-6-1-1 : L'attitude ϕ	26

II-6-1-2 : Longitude λ	26
II-6-2 : Coordonnées équatoriales	27
II-6-2-1 : L'ascension droite	27
II-6-2-2 : La déclinaison	27
II-6-3 : Cordonnées horaires	28
II-6-3-1 : Déclinaison du soleil δ	28
II-6-3-2 : L'angle horaire du soleil ω	28
II-6-4 : Coordonnées Horizontales et azimutales	28
II-6-4-1 : Hauteur angulaire du soleil h	28
II-6-4-2 : L'azimut a	28
II-7 : Les angles de la poursuite solaire	29
II-7-1 : Position du soleil par rapport à un observateur	29
II-7-2-1 : Angle de zénith	29
II-7-1-2 : Angle d'azimut	29
II-7-1-3 : Angle extérieur d'azimut γ	30
II-7-2-4 : Angle d'incidence θ	30
II-8 : Simulation des angles de poursuite solaire	31
Conclusion	32

Chapitre III :

Etude et simulation du circuit de commande

III.1 : INTRODUCTION	34
III.2 : Outils de développement	35
III.2.1 : Logiciel Proteus :	35
1-ISIS	35
2-ARES	36
III.2.2 : Composants du notre prototype	36
III.2.2.1 : Présentation de la carte ARDUINO UNO	36
III.2.2.2 : Résistances	38
III.2.2.3 : Transistors	38
III.2.2.4 : Relais	38

III.2.2.5 : Moteur à courant continu	38
III.3 : Simulation du moteur à CC avec ARDUINO sur Proteus	39
III.3.1 : Les étapes de la simulation	39
III.3.1.1 : La saisie du code ARDUINO	39
III.3.1.2 : La simulation du montage	40
III.4. Le principe de fonctionnement	41
Conclusion	42
CONCLUSION GENERALE	44
BIBLIOGRAPHIE	46

Liste des acronymes

PV : photovoltaïque

Dc : courant continu

Ac: courant alternatif

MPPT: Maximum Power Point Tracking

PWM: Pulse Wide Management

CPV: centrale photovoltaïque à concentration

MJ : jonction multiples

HCPV : centrale photovoltaïque à haute concentration

CSP : centrale solaire thermodynamique

TSV : temps solaire vrai

CAO : conception assistée par ordinateur

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1 : spectre du rayonnement solaire.....	5
Figure I.2 : modélisation du rayonnement solaire.....	6
Figure I.3 : Système générale de suiveur solaire.....	9
Figure I.4 : Les types de suiveurs solaires.....	10
Figure I.5 : Suiveur passif.....	11
Figure I.6 : Suiveur actif.....	11
Figure I.7 : Principe général de la commande de suiveur.....	12

Chapitre II

Figure II.1 : Structure de la production électrique d'origine renouvelable- 2012.....	14
Figure II.2 : Diagramme de comparaison entre la production avec suiveur et avec système fixe	16
Figure II.3 : Installation avec traqueur solaire.....	16
Figure II.4 : suiveur à un axe.....	17
Figure II.5 : suiveur à deux axes.....	18
Figure II.6 : les systèmes de concentration de l'énergie solaire.....	20
Figure II.7 : schéma simplifié d'une centrale à concentration cylindro-parabolique.....	21
Figure II.8 : principe de fonctionnement d'un concentrateur à miroirs de Fresnel.....	22
Figure II.9 : un schéma d'un capteur parabolique.....	24
Figure II.10 : central à tour.....	25
Figure II.11 : schéma explicatif d'une installation d'une centrale à tour.....	26
Figure II.12 : Différentes configurations d'un champ d'héliostat.....	27
Figure II.13 : Angles de longitude et latitude de la terre.....	28
Figure II.14 : Coordonnées équatoriales.....	29
Figure II.15 : Les coordonnées azimute a et hauteur h	30

Figure II.16 : Angles azimut et zénith.....	31
Figure II.17 : Angle extérieur d'azimut γ et Angle d'incidence θ	32
Figure II.18 : variation des angles d'azimut et d'élévation en fonction du temps.....	32

Chapitre III

Figure III.1 : Capture d'interface d'ISIS	35
Figure III.2 : Capture d'interface d'ARES	36
Figure III.3 : Carte ARDUINO	37
Figure III.4 : Programme ARDUINO	39
Figure III.5 : Capture schématique de la simulation sous PROTEUS_ISIS	40

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Comparaison des traqueurs mono-axes et double axes.....	19
Tableau II.2 : Données actuelles sur les collecteurs cylindro-paraboliques.....	20
Tableau II. 3 : Données actuelles sur les collecteurs à miroirs de Fresnel.....	22
Tableau II.4 : Données actuelles sur les collecteurs paraboliques.....	23
Tableau III.1 : Les composants électronique sur Proteus ISIS.....	40

INTRODUCTION GENERALE

La population mondiale actuelle est de 7,2 milliards d'habitants, qui devraient atteindre 9,6 Milliards d'ici 2050, selon un rapport des Nations Unies qui souligne que la croissance se fera principalement dans les pays en développement, dont plus de la moitié en Afrique. Pour assurer à cette population croissante un niveau de vie raisonnable, un développement économique soutenu est essentiel; un tel développement nécessitera une augmentation correspondante de la production d'énergie. En outre, dans le cadre de la prise en compte du concept de développement durable, il convient de prendre en compte les sources d'énergie respectueuses de l'environnement. Ces sources d'énergie sont également appelées sources d'énergie renouvelables ou durables. L'énergie renouvelable est définie par l'énergie obtenue à partir des flux continus d'énergie présente dans l'environnement naturel, comme l'énergie solaire. Ces dernières années, l'utilisation des systèmes d'énergie renouvelable (SER) est devenue très importante en raison des préoccupations environnementales et de la demande croissante d'énergie. L'utilisation des SER peut réduire considérablement les émissions nocives dues à la pollution de l'environnement, tout en offrant des ressources inépuisables d'énergie primaire. [1]

L'énergie solaire est une source d'énergie qui a connu une évolution rapide ces dernières années, non seulement grâce à son prix concurrentiel aux énergies fossiles ; mais aussi parce qu'elle est propre et considérée comme une alternative des combustibles fossiles.

L'Algérie donne un intérêt particulier vu qu'elle dispose d'un potentiel solaire le plus fort sur la rive méditerranéenne avec ses 3500 heures d'ensoleillement par an ce qui permet de s'orienter vers le développement de cette forme d'énergie; de plus la diversité des systèmes énergétiques solaires et des techniques de production d'électricité avec deux méthodes qui ont été privilégiées : le photovoltaïque (PV) et le solaire thermique à concentration (CSP).

La technique de poursuite solaire définit le pouvoir d'un système à suivre le soleil tout au long de la journée et des mois, en suivant continuellement la position du soleil ; le système permet d'assurer une production maximale de l'énergie électrique. La diversité de ce type de système et leurs degrés de liberté donne plus d'avantages par rapport aux systèmes photovoltaïques classiques.

Donc le mémoire présenté est partagé en trois chapitres :

- Dans le premier chapitre nous parlons des généralités sur le gisement solaire et les systèmes solaires énergétiques ainsi que leurs composants.
- Le deuxième chapitre est consacré à la description des systèmes de poursuite solaires et leurs coordonnées, nous mentionnons la simulation des deux angles de poursuite solaire.
- Le troisième chapitre est dédié à l'étude et la simulation d'un circuit de commande.

Chapitre I

Généralité sur le gisement solaire et les systèmes solaires énergétique

Chapitre I : Généralité sur le gisement solaire et les systèmes solaires énergétique

I.1. INTRODUCTION

L'énergie renouvelable est une énergie provenant des sources que la nature renouvelle en permanence, elle est inépuisable à l'échelle humaine, verte, largement disponible et gratuite, contrairement à l'énergie non-renouvelable qui est une énergie dont la source est épuisable.

Dans la nature on trouve plusieurs ressources renouvelables telles que l'énergie solaire, énergie éolienne, l'énergie hydraulique, énergie géothermique, biomasse et l'énergie marine.

Dans ce mémoire nous allons nous intéresser à l'énergie solaire ; c'est une énergie dont la matière première est le soleil, la lumière du soleil est de loin la plus grande source d'énergie reçue par la terre mais son intensité à la surface de la terre est en effet assez faible cela est essentiellement dû à l'énorme propagation radiale du rayonnement solaire lointain une perte relativement mineur est dû à l'atmosphère terrestre et aux nuages, qui absorbent ou diffusent jusqu'à 54% de la lumière solaire entrante. La lumière du soleil qui atteint le sol est constituée de près de 50% de lumière visible, 45% du rayonnement infrarouge et de petites quantités d'ultraviolet et d'autres formes du rayonnement électromagnétique. [1]

Le flux solaire reçu au niveau du sol terrestre dépend ainsi de plusieurs paramètres comme :

- L'orientation, la nature et inclinaison de la surface terrestre.
- Latitude du lieu de collecte, de son degré de pollution ainsi de son altitude.
- La période de l'année.
- L'instant considéré dans la journée.
- La nature des couches nuageuses.
- Les zones les plus favorables sont répertoriées sous formes d'atlas et mettent en évidence des « gisements solaire » à la surface de la terre.

Dans ce chapitre nous allons donner un aperçu sur le gisement solaire et notamment le gisement en Algérie, ainsi que quelques notions sur le spectre et les différents rayonnements. Ensuite nous allons parler des systèmes solaires photovoltaïques, leurs types et les différents composants d'une installation photovoltaïques. Aussi on va parler des systèmes de poursuite solaire et leurs types.

Chapitre I : Généralité sur le gisement solaire et les systèmes solaires énergétique

I.2. Gisement solaire

Les zones désertiques proches de l'équateur sont les plus prédisposées à l'énergie solaire. En moyenne, n'importe qu'elle région de la terre reçoive 6 mois d'ensoleillement. Certains pays développés situés dans ces zones d'ensoleillement commencent à exploiter l'énergie solaire en utilisant différents procédés tels que les concentrateurs solaires. Grace au rayonnement solaire très important dans ces zones, il est possible de construire des sites de grande envergure pour la production de l'électricité. La Chine en est un bon exemple. En effet, dans cette région il existe actuellement une centrale solaire de 1500 MW. [2]

En plus d'une variation géographique, l'ensoleillement varie aussi dans le temps où il se présente en :

- Une variation saisonnière : l'ensoleillement diffère d'une saison à une autre au long de l'année.
- Une variation journalière : dans la journée, l'ensoleillement varie en fonction de l'heure (du matin, midi au soir) d'une première partie et il varie en fonction du climat d'une deuxième partie.

I.3. Gisement solaire en Algérie

L'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants au monde, ce potentiel donne naissance à plusieurs sources d'énergies renouvelables dont l'énergie solaire prend la plus grande partie vu l'importance de cette dernière en puissance et disponibilité.

Ce potentiel est représenté par une durée d'insolation varie de 2.000 à 3.900 heures par an et une irradiation journalière de 3.000 à 6.000 Wh/m², soit l'équivalent de 10 fois la consommation mondiale. [3]

I.4. Le spectre solaire

Le soleil émet des ondes électromagnétiques depuis les rayons X jusqu'aux ondes radios, en constituant un spectre continu qui est représenté principalement par un corps noir à 5 250°C et qui peut être décrit par la loi de Planck, dans une plage d'ondes comportant les ondes ultra-violettes, ondes infrarouges et les ondes dans le domaine visible là où l'intensité est maximale.

La figure 1 représente la courbe d'énergie du corps noir à 5 250°C, le rayonnement solaire hors de l'atmosphère et le rayonnement solaire au niveau de la mer en fonction de la longueur d'onde.

La figure 2 donne les quatre types du rayonnement qui existe.

Chapitre I : Généralité sur le gisement solaire et les systèmes solaires énergétique

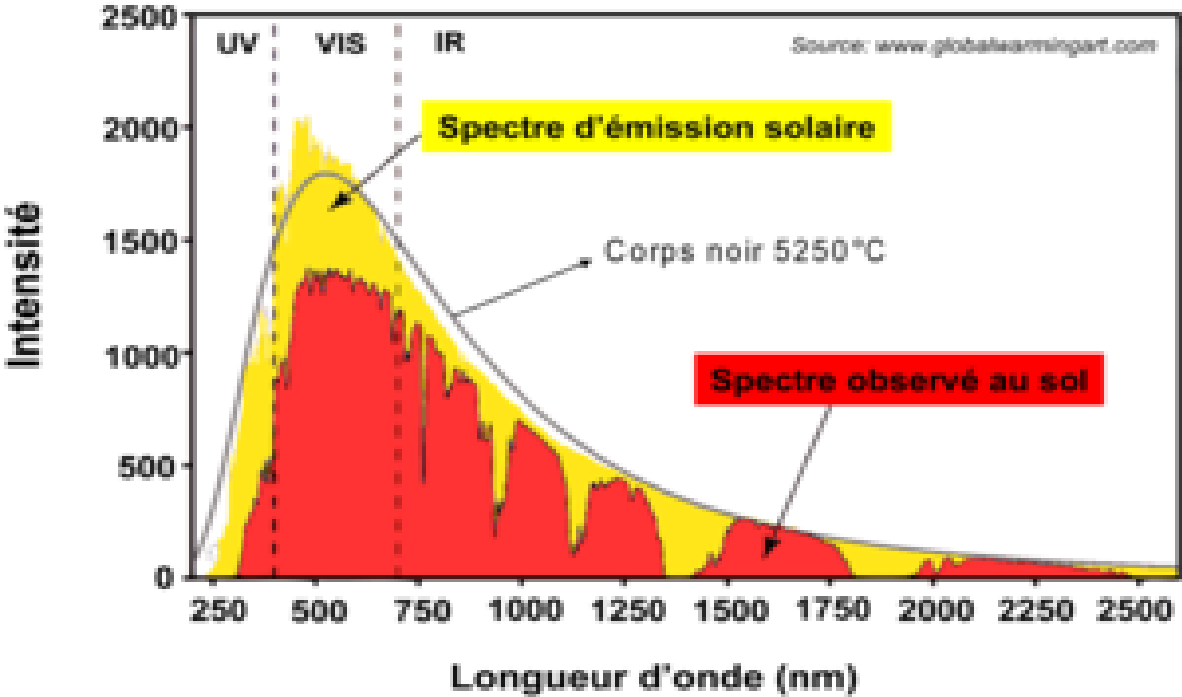


Figure I.1 : Spectre du rayonnement solaire [4]

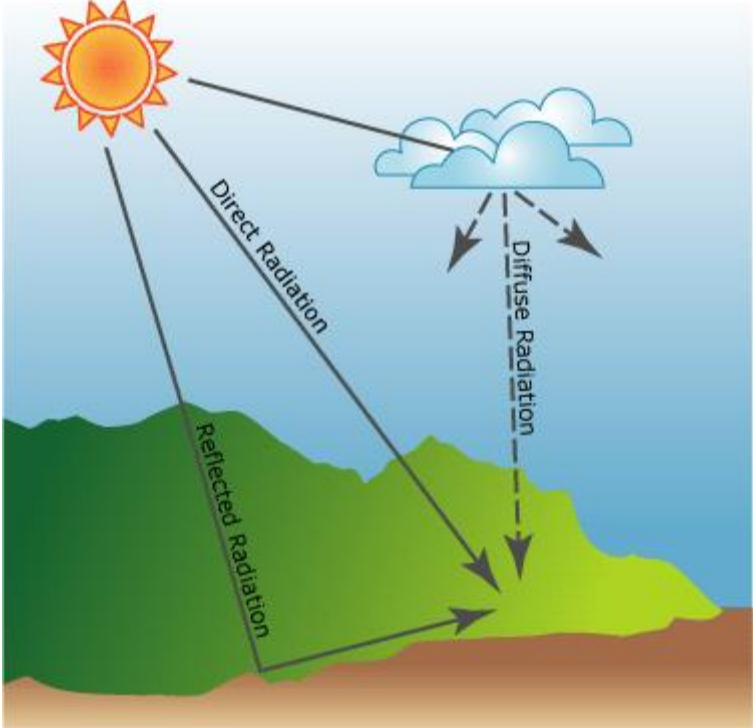


Figure I.2 : Les types du rayonnement solaire [5]

Chapitre I : Généralité sur le gisement solaire et les systèmes solaires énergétique

I.4.1. Rayonnement solaire direct

C'est la quantité de rayonnement solaire reçue en per unit par une surface de telle sorte que ces rayons venant en lignes droites du soleil doivent être perpendiculaires à la surface, en effet, la quantité reçue est très importante pour les installations thermiques à concentration et les installations qui suivent la position du soleil.

I.4.2. Rayonnement solaire diffus

Appelé aussi rayonnement indirect. Une partie du rayonnement solaire est absorbée et diffusée par l'atmosphère puis elle est suivie par une réflexion par les nuages pour avoir ce qu'on appelle un rayonnement diffus ou indirect.

I.4.3. Rayonnement réfléchi ou albédo du sol

C'est le rayonnement renvoyé par le sol et l'environnement, il est représenté par un coefficient noté coefficient de réflexion (albédo) ; c'est le rapport entre l'énergie solaire réfléchie et énergie solaire incidente par rapport à une surface.

La valeur de ce coefficient est comprise entre 0 et 1. Plus une surface est réfléchissante plus son albédo est élevé.

Plusieurs éléments contribuent à l'albédo de la terre comme les nuages, les surfaces de neige et de glace.

I.4.4. Rayonnement global

Le rayonnement global inclut les trois rayonnements : direct, réfléchi et diffus.

I.5. Le système solaire photovoltaïque

L'énergie solaire est un résultat de la conversion de la lumière du soleil en énergie électrique au sein des matériaux semi-conducteurs. Ces matériaux photosensibles ont la propriété de libérer un électron sous l'effet d'une énergie extérieure d'où le nom de l'effet photovoltaïque.

L'énergie électrique produite est disponible sous plusieurs formes : directe ou stockée dans des batteries. Cette électricité sera par la suite injectée dans le réseau électrique. Les performances d'une installation photovoltaïque dépendent de l'orientation des modules solaires et de l'ensoleillement à laquelle les modules sont exposés.

Dans ces dernières années l'utilisation des systèmes photovoltaïques ne cesse de progresser. Les systèmes PV peuvent être classés en trois importantes catégories : système autonome, système hybride et systèmes connecté au réseau.

Chapitre I : Généralité sur le gisement solaire et les systèmes solaires énergétique

I.5.1. Système autonome

Les systèmes photovoltaïques autonomes dépendent que de l'énergie solaire pour répondre aux besoins énergétiques, il existe les systèmes autonomes utilisant un système de stockage et autres sans systèmes de stockage.

I.5.2. Systèmes hybrides

Caractérisés par l'assemblage de deux sources d'énergie (ou plusieurs) ; ils sont utilisés pour les applications qui nécessitent une alimentation continue d'une puissance élevée. Par exemple le générateur photovoltaïque peut être combiné à une éolienne ou à un groupe électrogène ou les deux au même temps.

I.5.3 Systèmes connectés au réseau

C'est un système connecté à un réseau et produit sa propre énergie électrique et transfert le surplus d'énergie directement vers le réseau pour satisfaire le maximum des besoins en énergie, le double échange entre le système et le réseau aide à éliminer la nécessité d'utiliser des batteries.

I.6. Les composants d'un système solaire énergétique

I.6.1. Générateur photovoltaïque

Considéré comme un élément de base dans les systèmes photovoltaïques. Il est obtenu par l'assemblage de plusieurs modules en série ou en parallèle selon la puissance demandée.

I.6.2. Les batteries

Les batteries stockent l'énergie produite par les panneaux solaires photovoltaïques pour garantir l'alimentation des récepteurs en toutes circonstances (jours, nuits ou ciel dégagé, couvert), aussi pour augmenter le taux d'autoconsommation et pour gagner en autonomie énergétique. Il est préférable de placer les éléments de la batterie dans un coffre ventilé installé sur un plan horizontal.

La nature variable des radiations solaires nécessite que les batteries aillent le pouvoir de résister sans dommage et de nombreux cycles de charge et de décharge. La profondeur de décharge auquel une batterie peut être soumise dépend de son type. Les fonctions des batteries dans les installations solaires photovoltaïques sont :

- **Autonomie**

La mise des batteries permet de répondre aux besoins énergétiques de la charge en tout moment : la nuit (absence d'ensoleillement) ou dans les temps nuageux.

- **Courant de surcharge**

La mise des batteries permet de fournir un courant de surcharge pendant différents instants, c'est-à-dire un courant plus élevé que celui que peut être fourni par le champ photovoltaïque. Ceci est nécessaire pour faire démarrer les moteurs et les autres

Chapitre I : Généralité sur le gisement solaire et les systèmes solaires énergétique

appareils qui demandent un courant de démarrage qui est supérieur de 3 à 5 fois au courant nominal.

- **Stabilisation de la tension**

Les batteries permettent de fournir une tension constante en éliminant les écarts de tension du champ.

I.6.3. Conditionnement de puissance

Le conditionnement de puissance est un système qui se compose d'un régulateur de charge, un convertisseur de puissance dc /ac et/ou dc/dc de plus des équipements de protection et de contrôleur.

I.6.3.1. Régulateur

Un élément indispensable dans les installations solaires photovoltaïque, les batteries stockent l'énergie produite par les panneaux solaires et entre ces deux dispositifs le régulateur de charge est placé pour éviter l'endommagement de la batterie par une surcharge non contrôlée.

On peut classer les régulateurs solaires dans deux grandes familles : les régulateurs PWM et les régulateurs MPPT.

a) Les régulateurs solaires MPPT

Maximum Power Point Tracking ; ce type exploite le maximum de puissance du panneau solaire et augmente ses performances jusqu'à 30%. Il est idéal pour les grosses installations solaires pour avoir un rendement maximal.

b) Les régulateurs solaires PWM

Pulse Wide Management ; c'est le modèle le plus utilisé, équipé d'un microprocesseur, leur propriété est de s'adapter automatiquement à la tension du système énergétique photovoltaïque : 12V 36 cellules 24V 72 cellules.

I.6.4. Onduleur

Le courant délivré par les modules photovoltaïques est un courant continu (CC) et sera stocké sous la même forme dans les accumulateurs. Toutefois ; la majorité des appareils exigent un courant alternatif (CA). Ainsi, pour contourner ce problème on ajoute un onduleur.

I.7. Les systèmes de la 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

Chapitre I : Généralité sur le gisement solaire et les systèmes solaires énergétique

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

I.7.1. Définition

Un suiveur du soleil aussi appelé un traqueur solaire, est un dispositif qui permet à un télescope héliographique (observation du soleil ou certains de ses effets dans l'atmosphère), ou à une installation de production d'énergie solaire de suivre le soleil selon le principe d'héliostat. [6]

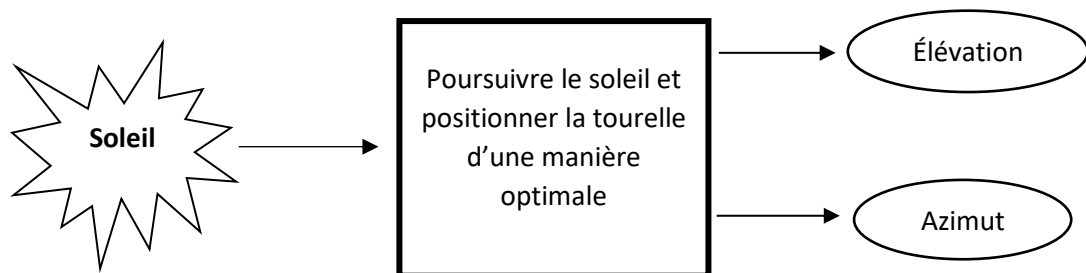


Figure I.3 : Système générale de suiveur solaire

I.7.2. Types de suiveurs solaires

Les suiveurs solaires sont classés en deux catégories : passifs et actifs qui comportent les suiveurs mono-axe et double-axe. [7]

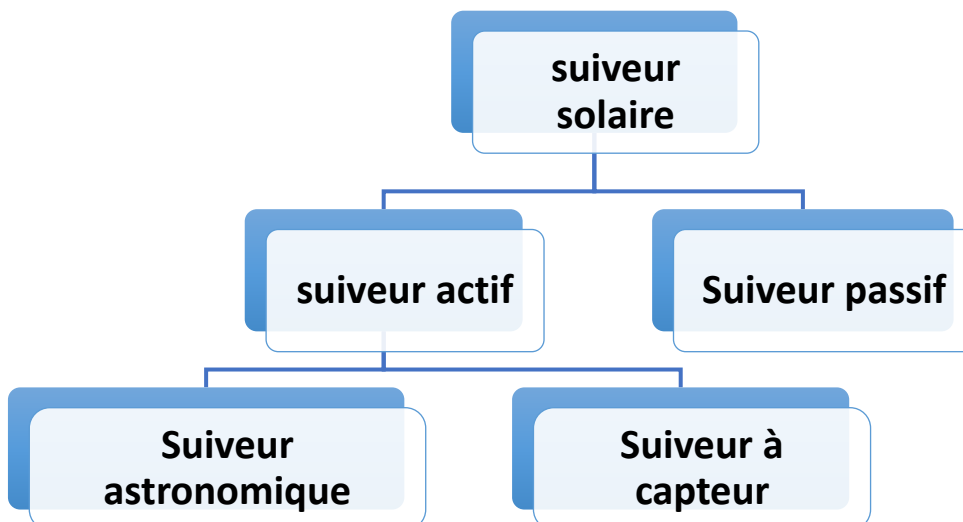


Figure I.4 : Les types de suiveurs solaires

Chapitre I : Généralité sur le gisement solaire et les systèmes solaires énergétique

➤ Suiveurs passifs

Ils sont constitués de deux tubes en cuivre placés sur les côtés Est et Ouest du panneau PV ; le tube est rempli de CFC, HCFC et fluides chimique (la capacité de se vaporiser à basse température), quand le panneau est exposé au soleil et la température de l'un de ses cotés s'augmentée ; le composé dans le tube en cuivre se vaporise donc la partie gazeuse du composé occupe un volume interne plus grand donc la partie liquide est décalée vers le coté ombragé (le plus lourd). [7]

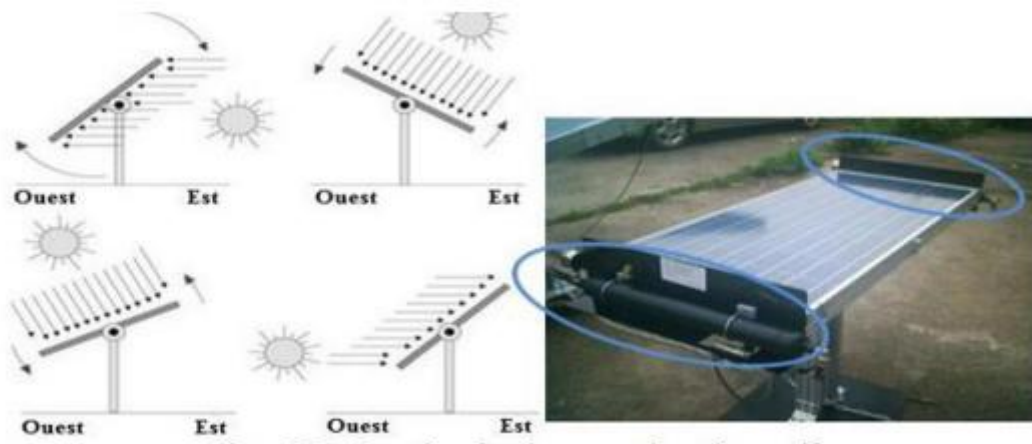


Figure I.5 : Suiveur passif [8]

➤ Suiveurs actifs

Ce type est basé sur le principe de la détection de lumière pour optimisation au maximum l'angle d'incidence sur son surface en suivant la trajectoire du soleil.

Chapitre I : Généralité sur le gisement solaire et les systèmes solaires énergétique

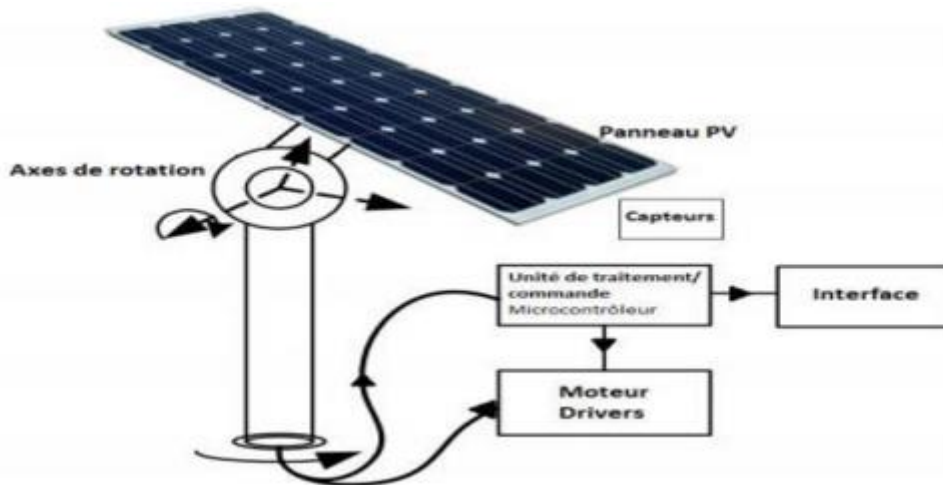


Figure I.6 : Suiveur actif [7]

I.7.3. Principe de fonctionnement

Le système vise à orienter en temps réel les capteurs vers le soleil, pour placer le panneau dans une position optimale par rapport à l'incidence du rayonnement solaire (perpendiculaire au rayonnement) car tout au long de la journée et de l'année (selon les saisons la position du soleil varie constamment et d'une manière différente selon la latitude. Cette adaptation en temps réel a pour effet de substantiellement augmenter la captation et production d'énergie. [8]

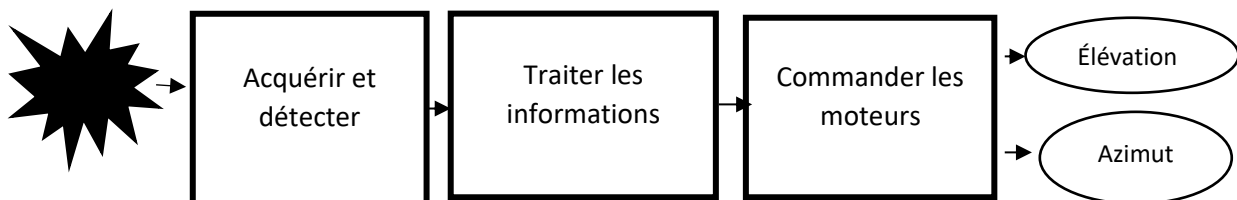


Figure I.7: Principe général de la commande de suiveur

Chapitre I : Généralité sur le gisement solaire et les systèmes solaires énergétique

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté des généralités sur le gisement solaire en précisant le gisement solaire en Algérie, ensuite nous avons parlé des différents types du rayonnement solaire. Aussi nous avons présenté les systèmes solaires photovoltaïques et les différents composants d'une installation solaire énergétique. Le chapitre suivant contient la définition et les types des systèmes de poursuites solaires.

Chapitre II

Systèmes de poursuite solaire

II.1. Introduction

Suite à une évolution démographique et à un développement économique mondial, le monde se trouve ces dernières années face à une demande énergétique qui croît sans cesse.

Une demande qui n'est pas facile à satisfaire car les réserves des énergies fossiles ont atteint leur seuil d'exploitation et ont tendance à décroître.

L'augmentation de la production d'électricité est synonyme d'amélioration de la qualité de vie et de création de richesses. Dans le souci de remédier à ce déficit, les énergies renouvelables apparaissent comme des sources très prometteuses, inépuisables, offertes par la nature et dont la maîtrise garantirait largement l'autonomie de la planète, on y trouve l'énergie solaire, l'énergie éolienne, l'énergie hydraulique, l'énergie géothermique, biomasse et l'énergie marine.

Les progrès de chaque filière renouvelable peuvent ainsi être mesurés de manière absolue, grâce à l'évolution de leur production et de manière relative, grâce au calcul de leur part perspective dans la production d'électricité totale. Certaines, comme l'énergie hydraulique où éolienne connaissent déjà un développement technique et commercial important. D'autres, comme les énergies marines restent en phase de démonstration. [9]

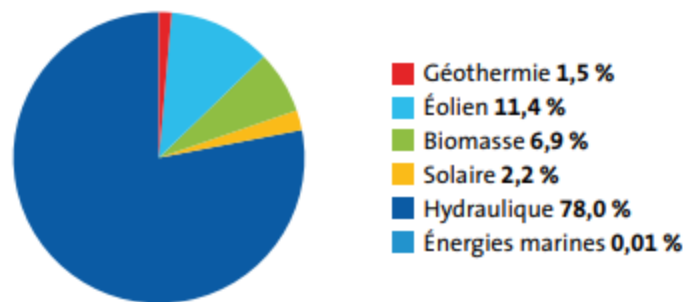


Figure II.1 : Structure de la production électrique mondiale d'origine renouvelable 2012. [9]

Regroupée au sein d'une même catégorie, l'énergie solaire représente l'un des procédés les plus intéressants pour convertir le rayonnement solaire en énergie électrique. Elle rassemble deux technologies : les centrales photovoltaïques et les centrales solaires thermiques

Les zones désertiques proches de l'équateur semblent les zones les plus favorables à l'énergie solaire. Dans beaucoup de ces régions 1Km² du terrain suffirait à générer de 100 à 130 GWh par an grâce à la technologie des centrales solaires thermiques et c'est l'équivalent d'une centrale de production classique (gaz- charbon) de 50 MW. [10]

II.2. Système de poursuite solaire

La récupération de l'énergie solaire dispersée au niveau du sol exige deux systèmes de captation différents :

- Le système solaire photovoltaïque qui transforme l'énergie solaire directement en électricité.
- Le système solaire thermodynamique qui transforme l'énergie solaire directement en chaleur ; une variante du solaire thermique dite « Thermodynamique » est utilisée afin de transformer l'énergie solaire en électricité.

II.3. Système de la poursuite solaire pour les CPV

Il s'agit d'une technologie photovoltaïque qui aide à produire de l'électricité à partir de la lumière solaire en utilisant des lentilles et des miroirs incurvés pour la concentration de la lumière solaire sur des petites cellules solaires à jonction multiples (MJ). De plus, les systèmes CPV utilisent souvent des trackers solaires et parfois ils accordent un système de refroidissement pour accroître leur efficacité. La recherche et le développement en cours améliorent leur compétitivité dans le segment des services publics et surtout dans les zones isolées.

Ce type de technique solaire est peut-être utilisé dans des zones plus petites et des zones qui sont loin de réseaux électriques.

Les systèmes utilisant le photovoltaïque à haute concentration (HCPV) ont le potentiel de devenir compétitifs car ils possèdent la plus grande efficacité par rapport aux autres technologies photovoltaïques existantes avec un réseau photovoltaïque plus réduit et moins coûteux. Actuellement le CPV n'est pas utilisé dans le segment des toits photovoltaïques et est moins courant que les systèmes PV conventionnels.

Pour les régions où l'éclairement énergétique annuel direct est de 2000 Kilowattheures (kWh) par mètre carré ou plus, en fait le coût moyen actualisé de l'électricité est entre 0.08 et 0.15 dollar par kWh et le coût de l'installation d'une centrale CPV de 10 mégawatts est défini entre 1.40 et 2.20 euros (environ 1.50 à 2.30 dollars) par watt-crête(wp). [11]

II.3.1. L'intérêt des panneaux mobiles par rapport aux panneaux fixes

Le soleil se déplace continuellement pendant la journée ; le générateur photovoltaïque est fixé en prenant une seule position ce qui provoque la perte d'une quantité considérable d'énergie qui était disponible. Le panneau est fixé sur le sol et orienté vers le sud (implantation en hémisphère nord). Le rendement de la production énergétique n'est pas constant toute la journée (en début et en fin de journée) à cause du mauvais angle d'éclairement du panneau.

Lorsqu'un système suiveur oriente le panneau solaire en le faisant pivoter en direction du soleil et en maintenant en permanence un angle d'incidence des rayons idéal, voisin de 90° ; la production électrique par m² de panneau atteint alors son maximum. [12]

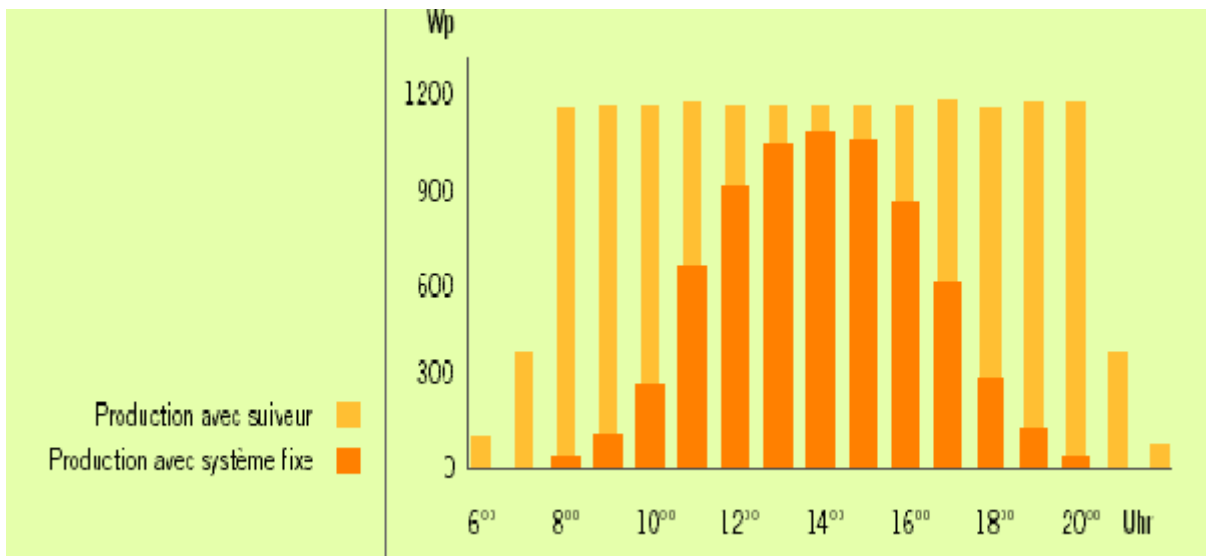


Figure II.2 : Diagramme de comparaison entre la production avec suiveur et avec système fixe [13]

II.4. Les traqueurs solaires

La technologie de la poursuite solaire ou de suivi est utilisée pour permettre aux modules solaires de suivre la trajectoire du soleil pour augmenter le rendement énergétique d'environ un tiers (à condition d'optimiser l'angle d'incidence du rayonnement solaire sur leur surface). La production d'électricité peut être augmentée jusqu'à 40 % dans certaines régions par rapport à des modules fixes. [14]



Figure II.3 : Installation avec traqueur solaire [15]

Le placement des modules solaires est réalisé selon un angle optimal pour une latitude donnée. Cet angle est optimisé pour englober une année et il peut varier de 30° selon la latitude du lieu et les différentes hauteurs que peut prendre le soleil dans le ciel.

La fixation des modules solaires photovoltaïques à l'angle optimal est d'une bonne amélioration qui est environ de 15% par rapport à une pose à plat. Les traqueurs s'adaptent au passage quotidien du soleil et au changement de saison.

Au niveau de nombreuses technologies solaires de concentration (photovoltaïque ou thermique), le suivi est une composante essentielle.

Dans les différentes applications solaires, le rendement de la conversion peut être amélioré lorsque la fixation des modules est ajustée selon l'angle optimal à la course du soleil, alors l'efficacité accrue signifie le rendement amélioré.

II.4.1. Les types de traqueurs solaires

a) Traqueur à mono axe

Au cours d'une journée, le panneau tourne autour d'un axe en suivant un déplacement azimutal d'est en ouest.

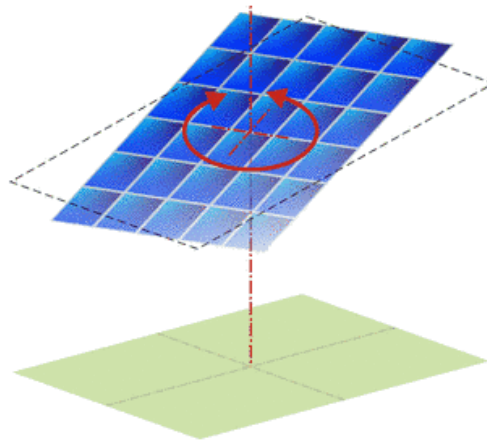


Figure II.4: Suiveur à un axe [16]

b) Traqueur à double axes

Le panneau tourne selon un axe d'est en ouest et selon un axe vertical, ce type permet de faire la modification de l'orientation et de l'inclinaison.

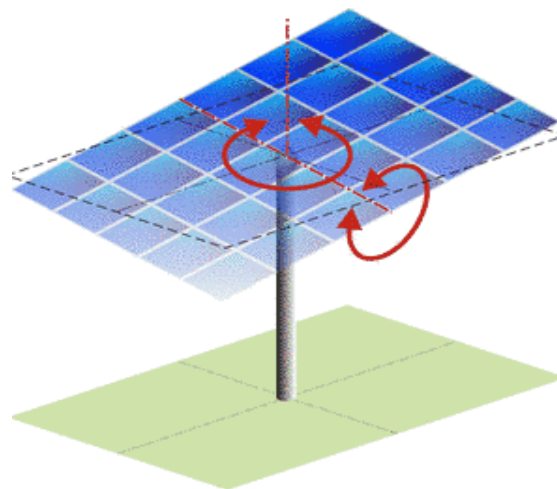


Figure II.5 : Suiveur à deux axes [16]

Par rapport aux modules solaires qui sont placés à un angle optimal, le traqueur mono-axe peut élever la production d'électricité de 27 % à 30%. Aussi le traqueur double axe peut ajouter en moyenne un bonus de 6 % de bonus et une amélioration variante entre 30% et 40% de la production d'énergie électrique par rapport aux modules solaires fixes.

Il existe deux systèmes différents qui permettent de faire le tracking :

➤ *Le système actif*

Muni d'une sonde d'éclairement, il permet de faire la recherche instantanée de la position optimale ; il se met à la position horizontale en cas de ciel couvert (rayonnement diffus). Cette position dans tel cas permet une production maximale.

➤ *Le système astronomique*

La position est alors directement fonction du parcours solaire préprogrammé. [16]

II.4.2. La comparaison des traqueurs mono-axe et traqueurs double axes

Le traqueur mono-axe est considéré comme le moyen le plus simple pour l'amélioration des performances d'une installation solaire commerciale en utilisant des dispositifs relativement simples.

Les systèmes à double axes contiennent plus de pièces mobiles que les traqueurs mono-axes. Leur conception est plus compliquée avec l'intégration des moteurs supplémentaires et de capteurs pour la poursuite du soleil. Le risque de défaillances et de dysfonctionnement est alors plus important.

Traqueur mono-axe	Traqueur double-axes
Suit le soleil d'est en ouest avec un seul point de pivotement	Suit le soleil s'est en ouest et du nord au sud en utilisant deux points de pivotements
Utilise un modèle prévisible basé sur le temps d'une année pour suivre le soleil	Utilise un « œil » du capteur pour suivre visuellement le soleil
Augmente le rendement solaire jusqu'à 34%	Augmente le rendement jusqu'à 37%
Conception simple et efficace	Conception plus complexe (plus de moteurs, de capteurs et plus d'entretien) mais plus précise.
Moindre cout par rapport au double axe	Cout plus élevé à cause de pièces supplémentaires et du temps d'installation.
Peu de pannes et de disfonctionnement	Pannes et disfonctionnement plus nombreux.

Tableau 01 : Comparaison des traqueurs mono-axes et double axes

L'inconvénient le plus connu au niveau des systèmes à double axe est que, dans une journée nuageuse, nous pourrions les trouver en train de pointer dans le ciel ; tandis que les traqueurs à mono-axe et grâce à leur modèle de tracking ils seront là où ils devront être. Ce modèle permet donc d'éliminer les mouvements inutiles de suivi qui peuvent entraîner une usure supplémentaire et une perte de puissance.

II.5. Système de poursuite solaire pour les CSP

Sur une superficie qui dépasse les milliers de mètres carrés, les centrales solaires thermodynamiques regroupent une très grande quantité de miroirs qui visent à converger l'énergie rayonnante vers un fluide caloporteur. Ce fluide sera ainsi chauffé à une température élevée.

Selon le mode de concentration du rayonnement solaire, l'énergie thermique transmise par le fluide est transformée ensuite pour :

- La production de l'électricité.
- La production de vapeur pour procédé industriel.
- Apport solaire pour des installations utilisant des combustibles biomasses ou fossiles.

Ce système de poursuite engendre deux types de concentration :

1. La concentration linéaire :

Cette technologie utilise des tubes de grandes longueurs comme des récepteurs, situés sur une ligne focale afin de transformer l'énergie rayonnante en une énergie thermique qui va être portée par un fluide caloporteur. Les capteurs cylindro-paraboliques et les capteurs de Fresnel fonctionnent sur ce principe et c'est des capteurs qui suivent le soleil sur un seul axe.

2. La concentration ponctuelle (par foyer) :

Loin des tubes, cette concentration s'effectue sur un récepteur central. Cette technologie nécessite un suivi sur deux axes : en azimut et en élévation et c'est les capteurs paraboliques et les centrales à tour qui utilisent ce principe. [17]

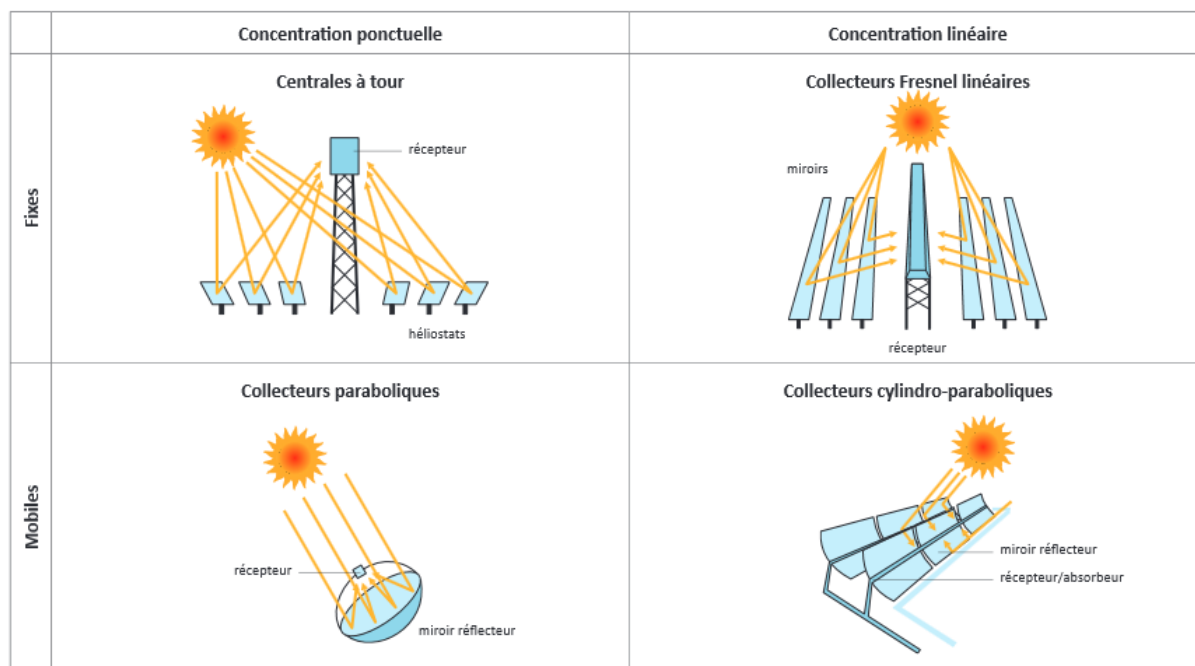


Figure II.6 : Les systèmes de concentration de l'énergie solaire [18]

II.5.1. Cylindro-paraboliques

La technologie de ces capteurs est actuellement la plus éprouvée des techniques de concentration solaire. Certains pays l'ont testée et commercialisée dès les années 80.

❖ Principe de fonctionnement :

Ce type de centrale se compose de longs miroirs hémicylindriques qui sont alignés en parallèle et qui tournent autour d'un seul axe qui est l'horizontal.

Au centre de cet alignement se trouve un tube horizontal en verre sous vide comportant un tuyau métallique, où circule un fluide caloporteur (huile synthétique).

Ce fluide est chauffé à une température d'environ 400°C. Cette énergie est transférée à un circuit d'eau en produisant une vapeur qui actionne une turbine qui en retour actionne un générateur pour produire de l'électricité. [19]

Puissance	Moyennes et grandes centrales
Température de fonctionnement :	200 °C – 500 °C
Réflecteurs	Parabolique (suivi 1 axe)
Récepteurs	Linéaire mobile
Fluides caloporteurs	Eau, sels fondus, huile, air

Tableau02 : données actuelles sur les collecteurs cylindro-paraboliques [19]

❖ Avantages

- Source d'énergie gratuite et inépuisable.
- Pas d'émission des gaz à effet de serre.
- Peu fonctionner sans intermittence. [10]

❖ Inconvénients

- Nécessite un fort ensoleillement et une zone chaude.
- Surface au sol importante. [20]

La figure ci-dessous schématise la configuration d'une centrale à une concentration cylindro-parabolique :

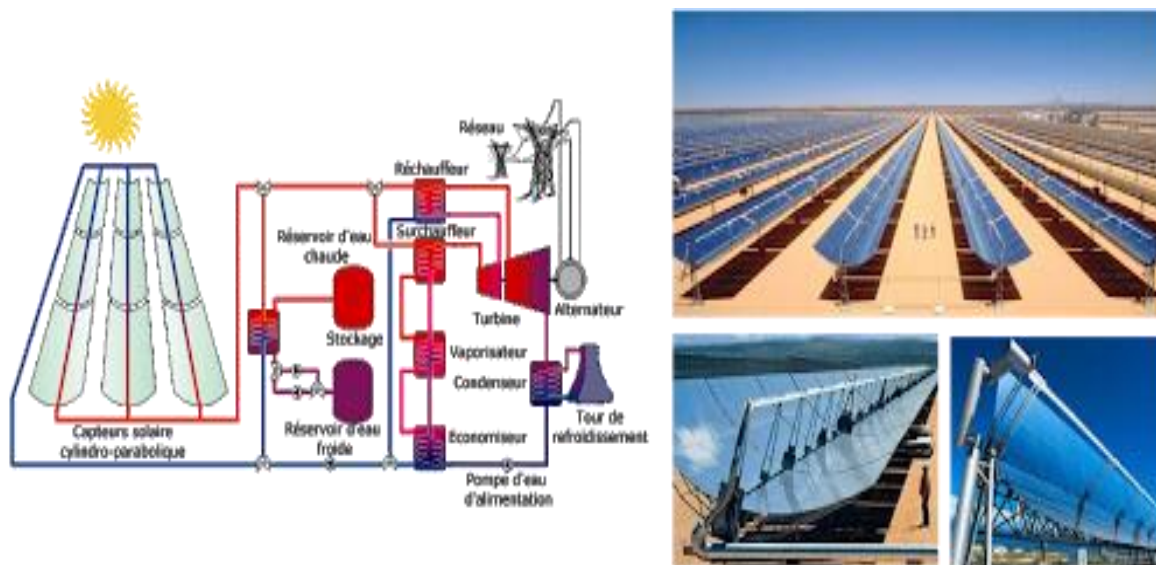


Figure II.7 : Schéma simplifié d'une centrale à concentration cylindro-parabolique [20]

II.5.2. Centrale solaire à miroir de Fresnel

Ce sont des capteurs à récepteurs linéaires qui ne diffèrent pas des collecteurs cylindro-paraboliques. Ils reflètent le rayonnement solaire afin de le concentrer dans un récepteur.

❖ Principe de fonctionnement :

Ces collecteurs sont d'une construction différente. C'est une succession de longs miroirs parfaitement plans qui sont pivotés indépendamment les uns des autres en suivant la course du soleil. Les rayons captés sont concentrés vers un seul ou un ensemble de tubes récepteurs linéaires fixes.

Le fluide caloporteur, ainsi, est chauffé à environ 500°C destiné à un circuit d'eau pour avoir une vapeur qui entraîne une turbine et un générateur par la suite. [21]

Ce fonctionnement est schématisé dans la figure ci-dessus :

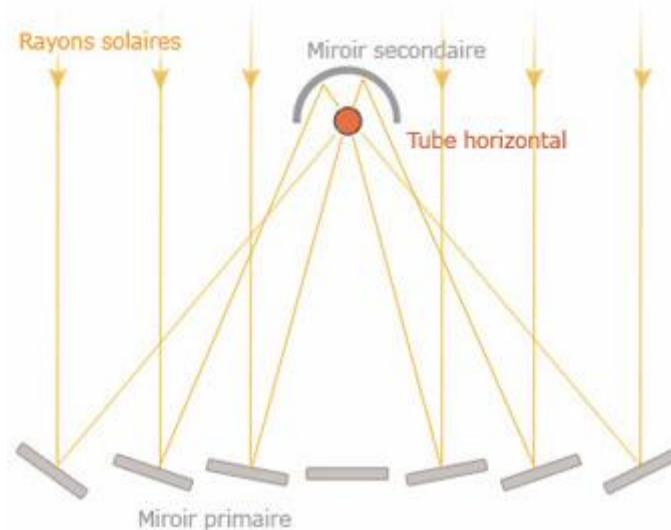


Figure II.8: Principe de fonctionnement d'un concentrateur à miroirs de Fresnel [22]

❖ Avantages

- Nombre de miroirs inférieur
- Durable grâce à l'absence du vide à l'intérieur du tube
- Réduction des contraintes mécaniques dues à la poussée du vent (plane)
- Coût inférieur.

❖ Inconvénients

- Performances optiques inférieures d'environ 30% par rapport aux collecteurs paraboliques et cylindro-paraboliques. [21]

Puissance	Moyennes et grandes centrales
Température de fonctionnement	200°C - 450°C
Réflecteurs	Linéaire (suivi 1axe)
Récepteurs	Linéaire fixe
Fluides caloporteurs	Eau, sels fondus, huile.

Tableau03 : données actuelles sur les collecteurs à miroirs de Fresnel [10]

II.5.3. Capteurs Paraboliques

Ces capteurs ont la même forme de paraboles réceptrices de satellite et ils sont utilisés depuis de nombreuses années.

❖ Principe de fonctionnement

Les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome où ils sont orientés suivant deux axes (horizontal et vertical). La radiation captée est concentrée vers un point de convergence précis qui est appelé le foyer. C'est là où se trouve le récepteur du système.

Ce récepteur est généralement un gaz qui est fermé dans une enceinte. L'effet de concentration cause une montée de température de ce gaz qui entraîne par la suite un moteur

Chapitre II : Systèmes de poursuite solaire

Stirling qui convertit l'énergie solaire thermique en énergie mécanique qui est ensuite transformée en une énergie électrique.

Puissance	Moyennes et grandes centrales
Température de fonctionnement :	300 °C- 1000°C
Réflecteurs	Parabole (suivi 2 axes)
Récepteurs	Centrale et mobile
Fluides caloporteurs	air

Tableau04 : Données actuelles sur les collecteurs paraboliques [10]

❖ Avantages

- Ce type de concentrateur peut être installé dans des endroits isolés non-raccordés au réseau électrique et c'est ce qui fait son principal avantage.
- Source d'énergie inépuisable et gratuite.
- Pas d'émission des gaz à effet de serre.
- Bon rendement.

❖ Inconvénient

- Fonctionnement par intermittence.

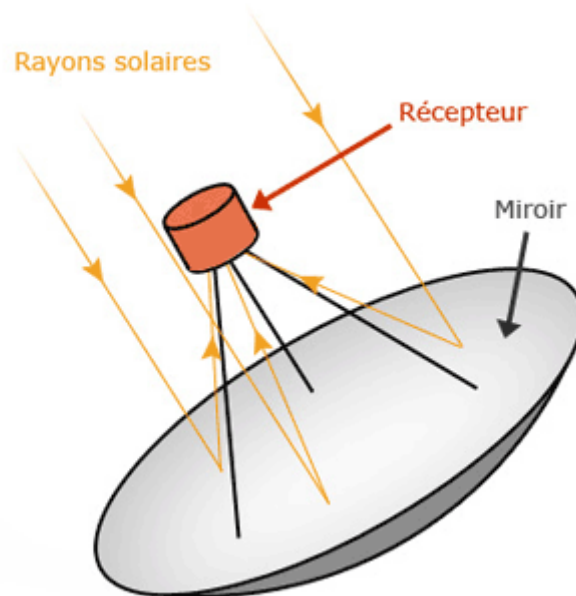


Figure II.9 : Un schéma d'un capteur parabolique [23]

II.5.4. Centrale solaire à tour

C'est la technologie la plus souple à l'utilisation. Elle contient deux blocs :

Bloc solaire qui comprend une succession de miroirs plans nommé héliostat en formant un champ qui est centralisé par une tour. Ces héliostats sont d'une orientation indépendante les uns des autres. Ils poursuivent le rayonnement solaire sur deux axes, afin de capter le rayonnement solaire et le réfléchir ainsi vers un récepteur situé au sommet d'une tour dans le but de convertir l'énergie solaire en chaleur.

Bloc puissance, il utilise un système à conversion thermoélectrique Il est constitué d'un système d'eau sous forme de chaudière qui fait produire de la vapeur sèche. Cette vapeur actionne une turbine qui entraîne un générateur pour avoir à la fin de l'électricité.



Figure II.10 : Central à tour [23]

Ces deux blocs regroupent des sous-systèmes. Chaque système est lié à l'autre ; ce qui fait l'importance de chaque élément. Ils sont généralement classés comme suit [21] :

- Un système de collecte d'énergie, le champ solaire, qui contient des héliostats répartis en rangées. Ces miroirs poursuivent le soleil suivant deux axes.
- Le récepteur : pointé au sommet d'une tour, il arrive à absorber l'énergie solaire concentrée par les héliostats. Ce récepteur se manifeste sous forme d'un fluide caloporteur qui fait transmettre la chaleur à un bloc conventionnel.
- Echangeur de chaleur : dans cette partie le fluide caloporteur transmet son énergie thermique à un fluide de travail pour produire une vapeur sèche.
- Système de stockage thermique : il assure la production lors des perturbations nuageuses ou même dans la nuit.
- Système d'appoint : ce système se trouve dans les centrales hybrides. Son rôle est d'assurer la production lorsque la source solaire est très peu disponible. Dans ce cas le système de stockage thermique n'est plus nécessaire.
- Bloc de puissance :, là où se trouve le générateur de vapeur, la turbine, l'alternateur ainsi qu'un système de refroidissement.
- Système de contrôle.

Le schéma ci-dessous récapitule les deux blocs cités auparavant.

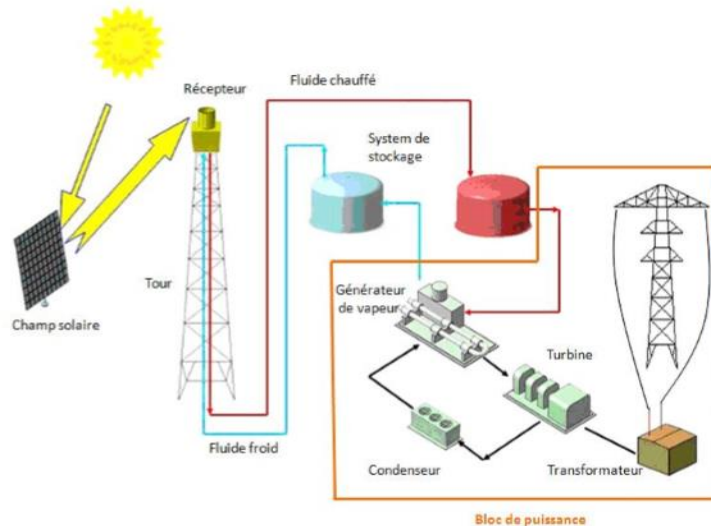


Figure II.11 : Schéma explicatif d'une installation d'une centrale à tour. [24]

II.5.4.1. Le champ solaire

C'est la partie réceptrice de l'installation. Ce champ regroupe un nombre très important de collecteurs où il peut aller jusqu'à un millier. Guidés par des moteurs, les héliostats sont, donc, d'un mouvement automatisé qui dépend du calendrier solaire afin de réfléchir en permanence les rayons solaires vers la même cible.

La distance entre les collecteurs et le récepteur varie entre 100 et 1000m voire plus. Cette variation dépend de la taille du champ. La demande au niveau du bloc de puissance est directement proportionnelle avec la taille du champ. [24]

En cas d'une forte pluie, les miroirs se positionnent en vertical contrairement au cas où le vent est très fort, les miroirs se positionnent en horizontal.

Le concept des champs solaires peut se manifester sous plusieurs configurations, dépendant essentiellement de l'implantation du récepteur:

- Un champ d'héliostat en anneau ou circulaire pour un récepteur avec un absorbeur externe cylindrique de 360°. Ce type de champ est favorablement utilisé au niveau de l'équateur.
- Champ orienté nord/sud pour un récepteur à cavité qui contient une seule ouverture permettant la concentration des rayons. L'efficacité de cette configuration est maximale à midi.
- Champ elliptique où le récepteur inclut un concentrateur secondaire.

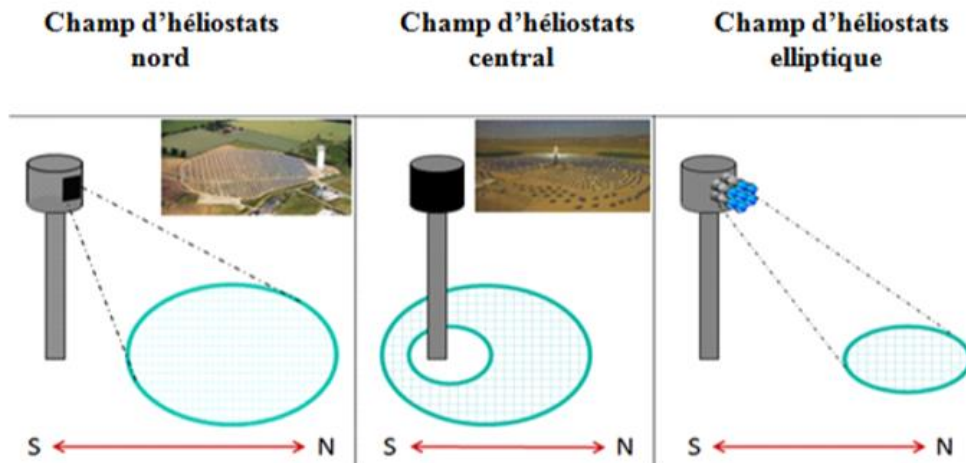


Figure II.12 : Différentes configurations d'un champ d'héliostat [24]

I-6. Les coordonnées Célestes

I-6.1. Les coordonnées graphiques

Les coordonnées célestes sont des coordonnées angulaires ; ils permettent le repérage d'un point sur la terre. Ces coordonnées utilisent l'angle d'attitude et l'angle de longitude. [24]

II.6.1.1. L'attitude ϕ

C'est une mesure angulaire ; caractérise l'angle que fait le plan de l'équateur avec la direction qui relie le centre de la terre au point considéré. L'attitude de l'équateur terrestre égale donc à 0° . [30]

II.6.1.2. Longitude λ

Le méridien local passant par le point considéré fait cet angle avec le méridien d'origine qui passe par la ville Greenwich. On a choisi pour le méridien (Origine 0°) le plan qui passe par l'observatoire situé à Greenwich.

Le signe (+) est affecté au méridien qui se situe à l'est du méridien de référence

Le signe (-) est affecté au méridien qui se situe à l'ouest du méridien de référence [24]

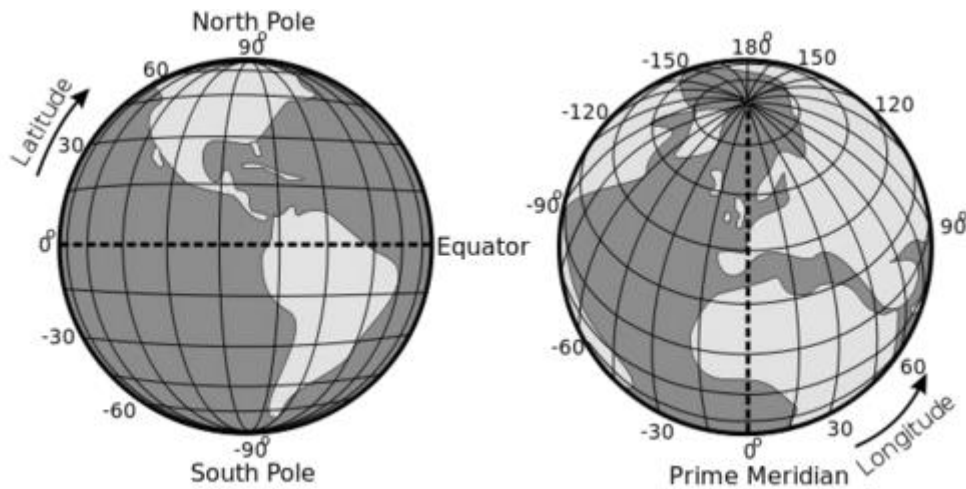


Figure II.13 : Angles de longitude et latitude de la terre. [24]

II.6.2. Coordonnées équatoriales

II.6.2.1. L'ascension droite

A partir d'un point de référence, on mesure cet angle sur l'équateur ; le point vernal qui caractérise l'intersection entre l'équateur céleste et l'écliptique. L'angle est mesuré vers l'est en comportant 24 divisions principales et 15 degrés chacune nommée heure (l'heure contient des minutes et secondes).

II.6.2.2. La déclinaison

C'est l'angle perpendiculaire entre l'équateur céleste et l'objet céleste observé ; cette mesure est en degrés :

Positif pour les objets qui se situent dans l'hémisphère nord

Négatif pour les objets qui se situent dans l'hémisphère sud

La variation de cette mesure varie dans l'intervalle $[-90^\circ, +90^\circ]$ en passant par 0° à l'équateur céleste.

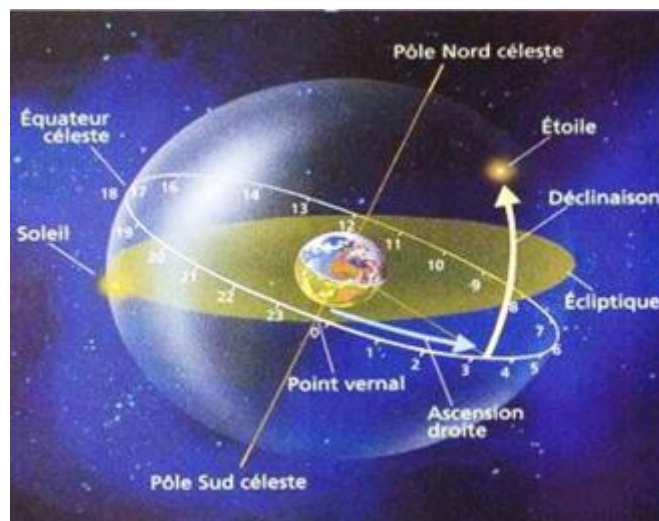


Figure II.14 : Coordonnées équatoriales [24]

II.6.3. Cordonnées horaires

II.6.3.1. Déclinaison du soleil δ

C'est l'angle mesuré entre la direction du soleil et le plan équatorial, sa variation pendant l'année varie entre $-23,45^\circ$ et $+23,45^\circ$, sa valeur est nulle aux équinoxes (21 Mars, 21 Septembre). La déclinaison atteint sa valeur maximale en solstice d'été (21 Juin) et sa valeur minimale en solstice d'hiver (21 Décembre) ; elle est calculée par la forme suivante : [24]

$$\delta = 23,45^\circ \sin[0.980(n + 284)] \dots \dots \dots (1)$$

Avec n : Est le numéro du jour de l'année

II.6.3.2. L'angle horaire du soleil ω

Représente l'arc compris entre le plan méridien du lieu et le rayonnement solaire incident ; sa valeur est nulle à midi solaire, négative pendant le matin et positive dans l'après-midi et augmente de 15° par heure. [24]

$$\omega = 15(TSV - 12) \dots \dots \dots (2)$$

Avec TSV : Temps solaire vrai

II.6.4. Coordonnées Horizontales et azimutales

II.6.4.1. Hauteur angulaire du soleil h

C'est l'angle entre la direction du soleil avec sa projection sur un plan horizontal. [24]

$$\sin(h) = \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta) + \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \dots \dots \dots (3)$$

Avec φ : Latitude du lieu

II.6.4.2. L'azimut a

C'est l'angle entre le méridien du lieu et le plan vertical qui passe par le soleil ; il est compté positif de 0 à 180° vers l'ouest et négatif de 0° à 180° vers l'est. [25]

$$\sin(a) = \cos(\delta) \cdot \frac{\sin(\omega)}{\sin(h)} \dots \dots \dots (4)$$

Avec ω : Angle horaire, h : hauteur du soleil, δ : déclinaison du soleil

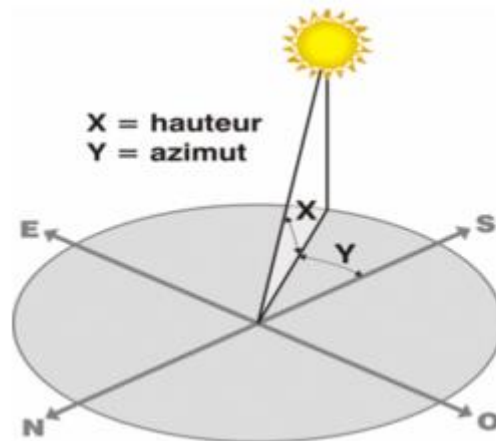


Figure II.15 : Les coordonnées azimute a et hauteur h [24]

II.7. Les angles de la poursuite solaire

La poursuite solaire a un intérêt énergétique assez important dans le domaine des systèmes de conversion solaire photovoltaïques ou thermiques par rapport aux systèmes ayant une structure fixe dont l'orientation est toujours vers le sud et l'inclinaison est mise selon un angle optimal. L'énergie incidente sur les modules PV n'est pas optimale en fonction de la variation du temps pendant la journée et les changements climatiques durant les différentes saisons. Donc l'utilisation des systèmes de poursuite solaire qui ont la capacité de jouer sur les paramètres inclus est le meilleur choix pour augmenter la quantité d'énergie obtenue. Parmi ces paramètres : l'inclinaison et l'orientation des capteurs qui sont les plus importants d'après plusieurs études et recherches. Le but est d'avoir la valeur minimale d'angle d'incidence entre les rayonnements solaires et la surfaces de captation ce qui permet la réception maximale d'énergie à chaque instant de la journée.

II.7.1. Position du soleil par rapport à un observateur

La quantité énergétique solaire projetée sur une surface est régie par les règles astronomiques suivantes : latitude du lieu, la déclinaison solaire, l'heure du jour et l'orientation de la surface qui reçoit les rayons. Cette position du soleil dépend directement du numéro de jour et de l'année en cours et varie en fonction de l'angle zénith, l'angle d'azimut, l'angle extérieur d'azimut et l'angle d'incidence.

II.7.2.1. Angle de zénith

C'est l'angle entre la verticale d'une surface et un rayon du soleil, il est donné par l'équation suivante :

$$\vartheta_z = \cos^{-1}(\sin(\delta) \cdot \sin(\varphi) + \cos(\delta) \cdot \cos(\varphi) \cdot \cos(\omega) \dots \dots \dots (5)$$

II.7.1.2. Angle d'azimut

C'est l'angle mesuré à partir du sud avec la projection horizontale des rayons directs du soleil dans un plan horizontal ; cet angle est donné par :

$$a = \text{Arcsin}\left(\frac{\cos(\delta) \cdot \sin(\omega)}{\cos(h)}\right) \dots \dots \dots (6)$$

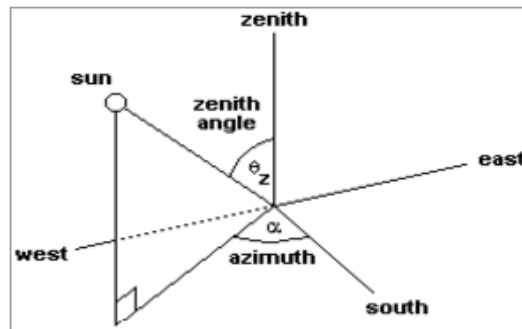


Figure II.16 : Angles azimut et zénith [24]

II.7.1.3. Angle extérieur d'azimut γ

C'est l'angle mesuré à partir du sud sur le plan horizontal avec la projection horizontale de la normale sur la surface, il est aussi défini comme l'angle entre le méridien local et la projection horizontale de la normale avec la surface.

II.7.2.4. Angle d'incidence θ

C'est l'angle entre le rayon solaire direct et la normale extérieure de la surface du plan ; il est donné par l'équation [24]

$$\vartheta = \cos^{-1}[\cos(\theta_z) + \sin(\theta_z) \cdot \sin(\beta) \cdot \cos(\gamma_s - \gamma)] \dots \dots \dots (6)$$

Avec β : Inclinaison de surface, γ : angle d'azimut, γ_s : angle extérieur d'azimut

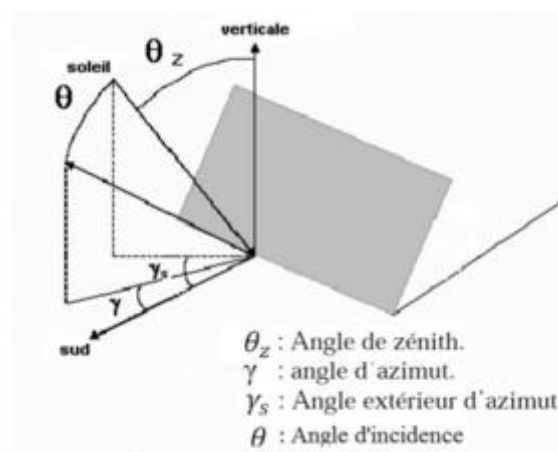


Figure II.17 : Angle extérieur d'azimut γ et Angle d'incidence θ [24]

II.8. Simulation des angles de poursuite solaire

Les deux angles ont été simulés via le logiciel MATLAB ; la variation étudiée a pris en considération le changement des angles en hiver et en été. Les résultats obtenus sont donnés par les figures suivantes :

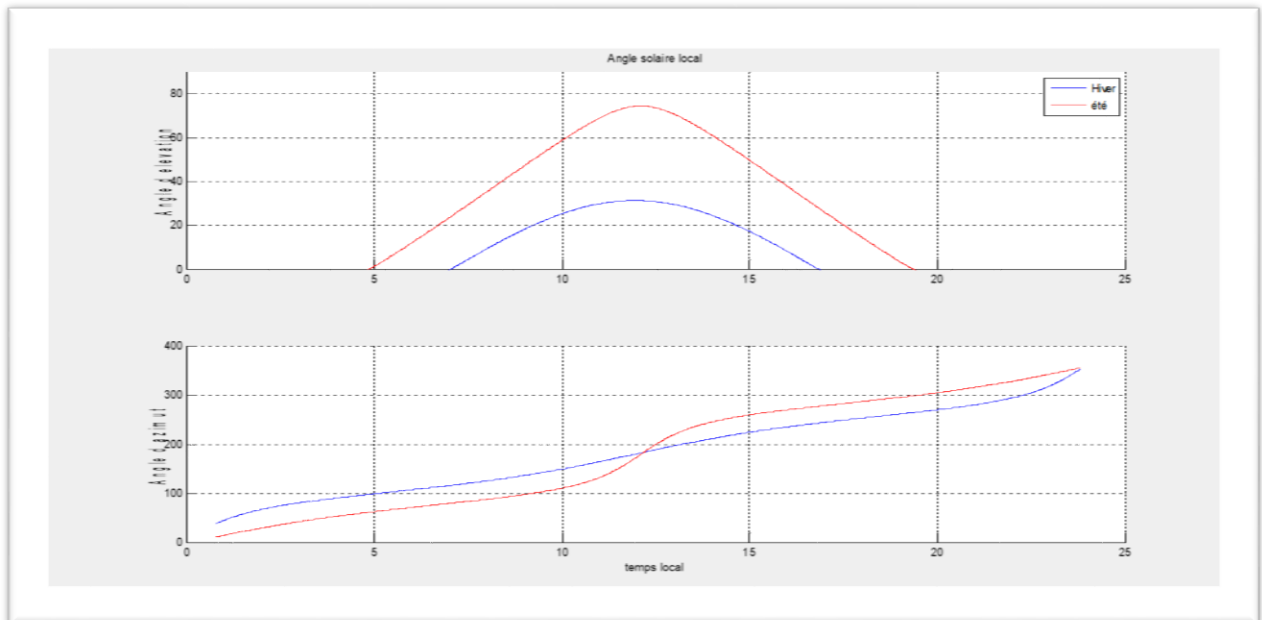


Figure II.18 : Variation des angles d'azimut et d'élévation en fonction du temps

Commentaires des résultats

La variation d'angle d'élévation est élevée pendant l'été [peut atteindre la valeur 70°] par rapport à sa variation en hiver [le degré maximal égale à 30°], cette variation dépend de la quantité du soleil projetée dans chaque instant de la journée dont le point maximal définit la position du soleil perpendiculaire au capteur.

La variation d'angle d'azimut est supérieure pendant l'hiver par rapport à sa variation pendant l'été et après presque 13 heures on remarque l'inverse ; ces changements dépendent de la position du soleil et les rayonnements horizontaux projetés sur la surface horizontale du récepteur. L'angle évolue pour que le capteur peut capter les rayonnements et c'est le cas pendant l'hiver [la saison ou le climat est nuageux presque tout le temps].

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons récapitulé les deux méthodes privilégiées dans la captation de l'énergie solaire. On a les systèmes de poursuite mono et double axe CVP et les centrales à tour (CSP) ; le type des centrales qui nous intéresse dans notre étude est les centrales de poursuite solaire à base d'héliostats. Nous avons présenté aussi les coordonnées célestes ainsi que les angles de la poursuite solaire.

A la fin du chapitre on a fait une simulation des deux angles de poursuite solaire (angle d'élévation et angles d'azimut) à l'aide du logiciel MATLAB ; les résultats obtenus dépendent directement des données climatiques des deux saisons : hiver et été.

Dans le chapitre suivant nous allons faire l'étude et la simulation d'un circuit de commande du sens des deux moteurs à courant continu.

Chapitre III

Etude et simulation du circuit de commande

III.1. Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter le circuit de commande des deux moteurs à courant continu ; l'étude et la simulation sont faites par le logiciel Isis Proteus.

Ce chapitre se compose de deux parties ; la première contient la présentation des outils utilisés pour la simulation et la modélisation de notre système et les composants électroniques choisis, ainsi le logiciel utilisé.

La deuxième partie a été consacré à la simulation du système.

Ces deux parties résument l'ensemble des dispositifs utilisé dans la modélisation et les étapes de la simulation et schématisation du montage.

- Outils de développement
- Simulation du moteur à CC avec ARDUINO sur Proteus

III.2. OUTILS DE DEVELOPPEMENT

III.2.1. Logiciel Proteus

Proteus est un logiciel qui est destinée à l'électronique, cette suite est développée par la société Labcenter Electronics ; les logiciels qui font partie du Proteus facilitent la CAO dans la filière d'électronique.

Proteus se compose de deux logiciels :

ISIS : Permet la création, la modélisation et la simulation des schémas électriques

Ares : Permet la création des circuits imprimés

Ce logiciel est très utilisé dans le domaine d'électronique ; plusieurs entreprises et organismes l'intègrent dans leurs formations grâce à la fiabilité des résultats et aux avantages possédés dont :

- La facilité de l'utilisation des logiciels contenus dans le pack.
- Lors de la conception du projet, l'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les couts matériels et logiciels. [25]

❖ ISIS

Le logiciel Isis de Proteus est utilisé pour l'édition des schémas électriques, il permet aussi de simuler ces schémas ce qui facilite de capter les erreurs conçus dès la première étape (conception).

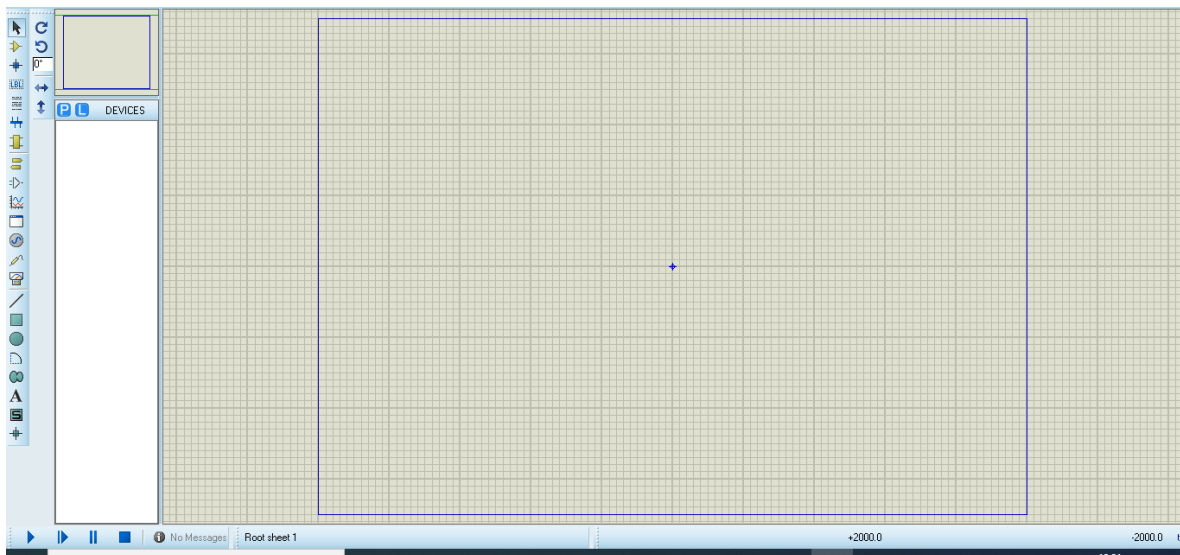


Figure III.1: Capture d'interface d'ISIS

❖ ARES

Ce logiciel est un outil pour faire l'édition et le routage qui est en complicité avec Isis ; on peut importer facilement un schéma électrique réalisé sur Isis sur ARES pour la réalisation du PCB de la carte électronique.

L'édition manuelle d'un circuit imprimé est plus efficace, d'ailleurs ce logiciel permet le placement automatique des composants et la réalisation automatique du routage.

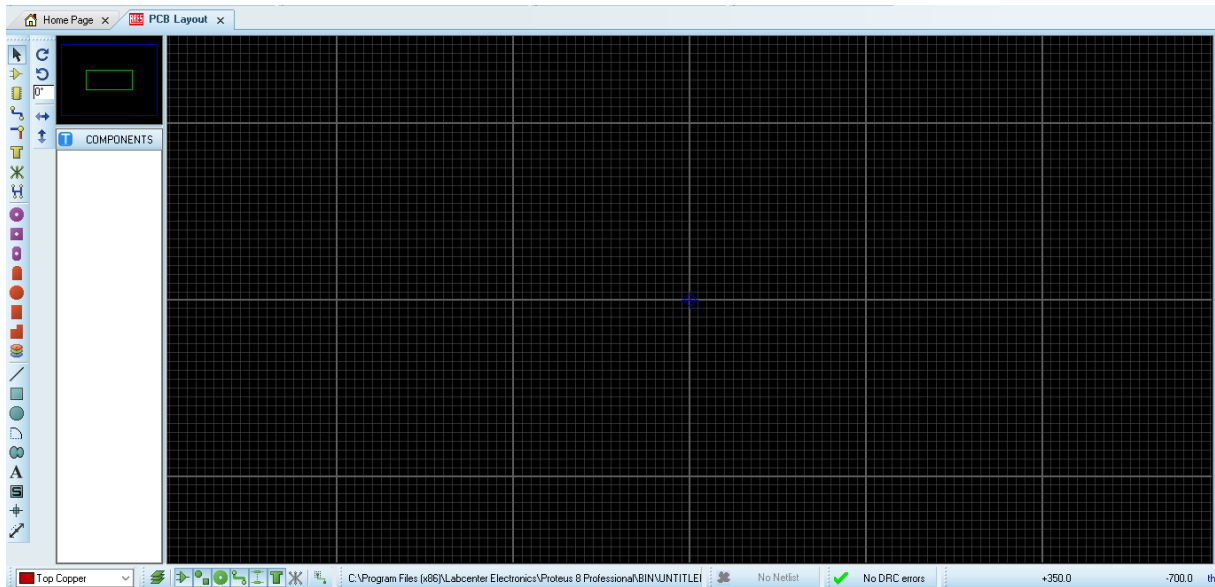


Figure III.2 : Capture d'interface d'ARES

III.2.2. Composants du notre prototype

Les composants utilisés sont à base électronique dont chaque élément possède des caractéristiques qui coïncident avec les conditions de la simulation.

III.2.2.1. Présentation de la carte ARDUINO UNO

C'est un type de carte sur arduino, arduino uno est le plus utilisé grâce à sa simplicité d'utilisation. Elle se programme et peut être directement utilisée en la branchant à un ordinateur (sous plusieurs systèmes d'exploitation).

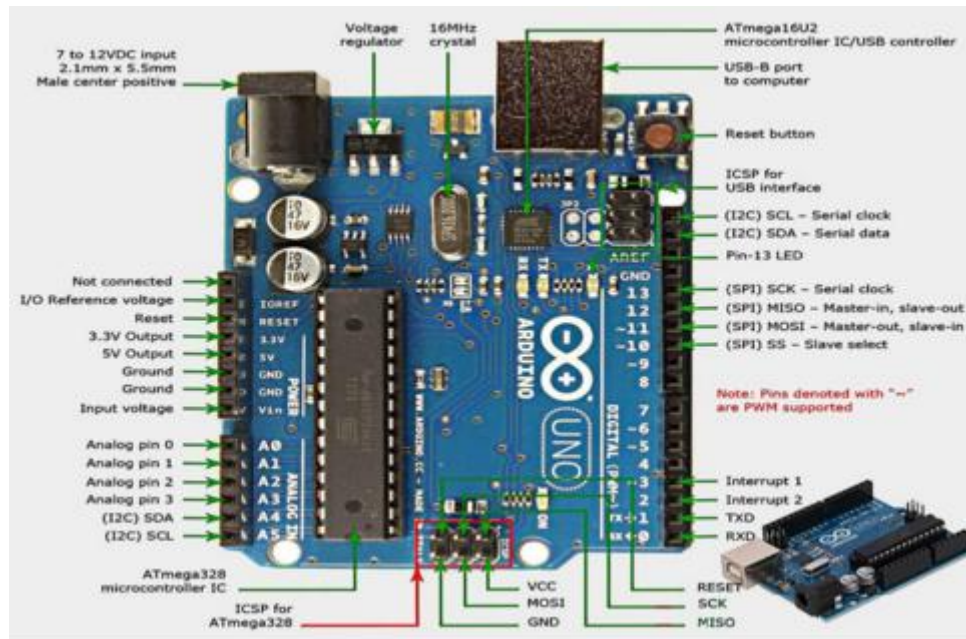


Figure III.3 : Carte ARDUINO [26]

✓ Caractéristiques de la carte ARDUINO UNO

Tension d'alimentation interne =5V

Tension d'alimentation (recommandé)=7 à 12V, limites=6 à 20V

Entrées/sorties numériques : 14

Courant max par broches E/S =40 mA

Courant max sur sortie 3,3V=50 mA

Mémoire flash 32 KB dont 0.5 KB utilisée par le boot loader Mémoire SRAM 2 KB mémoire EEPROM 1 KB

Fréquence horloge =16MHz

Dimensions =68.6mm x 53.3 mm

✓ Le microcontrôleur

Un microcontrôleur ATMEGA 328T-PU est un petit processeur informatique relié à des entrées et des sorties numériques (0 ou 1) ou analogique (tension variable). Il est capable de mémoriser et d'exécuter un programme qui interprète les entrées pour agir sur les sorties. [26]

✓ L'alimentation électrique

Sans la tension d'alimentation on ne peut pas faire fonctionner notre système ; quand on travaille ou on programme avec arduino il est indispensable d'établir une connexion USB avec l'ordinateur ; cette action assure la transmission de la tension d'alimentation de 5V et offrir un canal de communication entre l'ordinateur et la carte arduino. [26]

✓ Entrées/ sorties

Les entrées/sorties offrent la possibilité de connexion entre microcontrôleur ; une carte arduino standard contient :

- 6 entrées analogiques
- 14 entrées/ sorties numériques dont 6 peuvent assurer une sortie PWM. [30]

III.2.2.2. Résistances

Deux résistances de 150 Ω pour la protection des composants électroniques.

III.2.2.3. Transistors

Deux transistors sont utilisés dans notre prototype. C'est un dispositif semi-conducteur utilisé pour amplifier ou commuter des signaux électroniques.

III.2.2.4. Relais

Deux relais sont utilisés dans notre prototype. Un relais électronique est un interrupteur qui se commande avec une tension continue de faible puissance.

III.2.2.5. Moteurs à courant continu

Il s'agit d'un convertisseur électromécanique ; il se compose d'un inducteur (stator), induit (Rotor), collecteur et balais.

❖ Principe du fonctionnement

Le champ magnétique (champ d'excitation) fixe créé par l'inducteur (stator) qui peut être à aimant permanent ou constitué d'électro-aimants, ce champ est de direction Nord-Sud. Une spire a la capacité de tourner sur un axe de rotation est placée dans le champ magnétique, de plus les deux conducteurs formant la spire sont chacun liés électriquement à un demi collecteur est alimentés avec le courant continu par deux balais frotteurs.

D'après la loi de Place [tout conducteur parcouru par un courant et placé dans un champ magnétique est soumis à une force], les conducteurs de l'induit placés de part et d'autre de l'axe des balais (ligne neutre) sont soumis à des forces F égales et de sens opposé en créant un couple moteur : l'induit commence à tourner.

Si le système balais-collecteurs n'était pas présent, la spire s'arrêterait de tourner verticalement sur l'axe appelé communément (ligne neutre).

Le rôle du système balais-collecteurs est faire la commutation du sens du courant dans les deux conducteurs au passage de la ligne neutre ; les forces motrices sur les conducteurs sont inversés suite à l'inversion du courant ce qui permet la poursuite de la rotation de la spire.

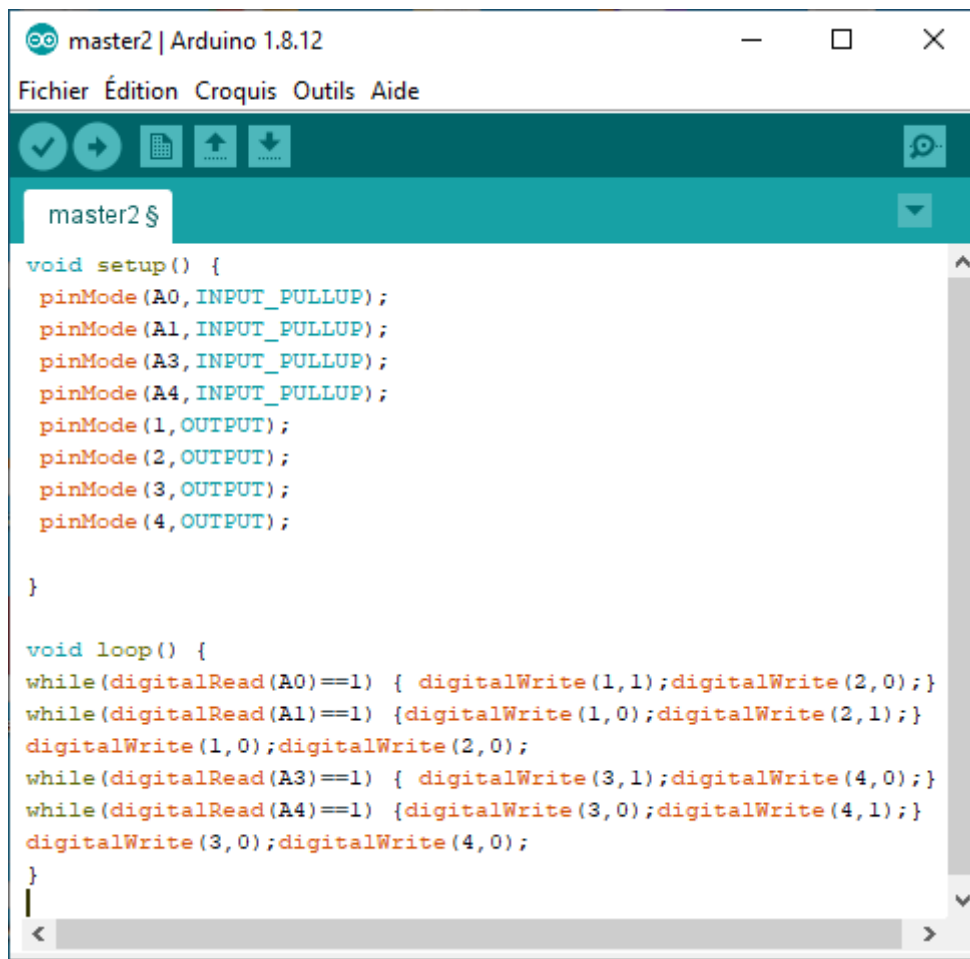
III.3. Simulation des deux moteurs à CC avec ARDUINO sur Proteus

La simulation des moteurs à CC est réalisée par l'intermédiaire d'arduino (code) sur Proteus (schématisation) en prenant en considération les valeurs d'alimentation et de résistances adéquates.

III.3.1. Les étapes de la simulation

III.3.1.1. La saisie du code ARDUINO

La programmation de la carte ARDUINO est effectuée à l'aide de l'interface IDE [environnement du développement intégré]. Dans ce code on sélectionne les entrées après avoir fait l'initiation qui seront traité au niveau d'unité de contrôle et commande, les sorties commandent le sens de rotation du moteur.



```
master2 | Arduino 1.8.12
Fichier Édition Croquis Outils Aide

master2 $

void setup() {
  pinMode(A0, INPUT_PULLUP);
  pinMode(A1, INPUT_PULLUP);
  pinMode(A3, INPUT_PULLUP);
  pinMode(A4, INPUT_PULLUP);
  pinMode(1, OUTPUT);
  pinMode(2, OUTPUT);
  pinMode(3, OUTPUT);
  pinMode(4, OUTPUT);
}

void loop() {
  while(digitalRead(A0)==1) { digitalWrite(1,1);digitalWrite(2,0); }
  while(digitalRead(A1)==1) { digitalWrite(1,0);digitalWrite(2,1); }
  digitalWrite(1,0);digitalWrite(2,0);
  while(digitalRead(A3)==1) { digitalWrite(3,1);digitalWrite(4,0); }
  while(digitalRead(A4)==1) { digitalWrite(3,0);digitalWrite(4,1); }
  digitalWrite(3,0);digitalWrite(4,0);
}
|
< >
```

Figure III.4 : Programme ARDUINO

III.3.1.2. La simulation du montage

La simulation de notre système est mise sur le logiciel de simulation ISIS Proteus qui permet de schématiser le montage électronique (choix des composants électroniques) et de le faire fonctionner en exécutant le programme de notre étude (code arduino) qui fait la commande du moteur : le tourner dans les deux sens et ça se voit en appuyant sur les deux boutons poussoirs.

Nom réel du composant	Nom du composant sur Proteus	Catégorie
Résistance	RES	Resistors
Un moteur	MOTOR	Electromechanical
Transistor	BC547	Switches Relays
Relais	G2RL-14B-CF-DC5	Transistors
Un bouton poussoir	BUTTON	Switches Relays

Tableau III.5 : Les composants électronique sur Proteus ISIS

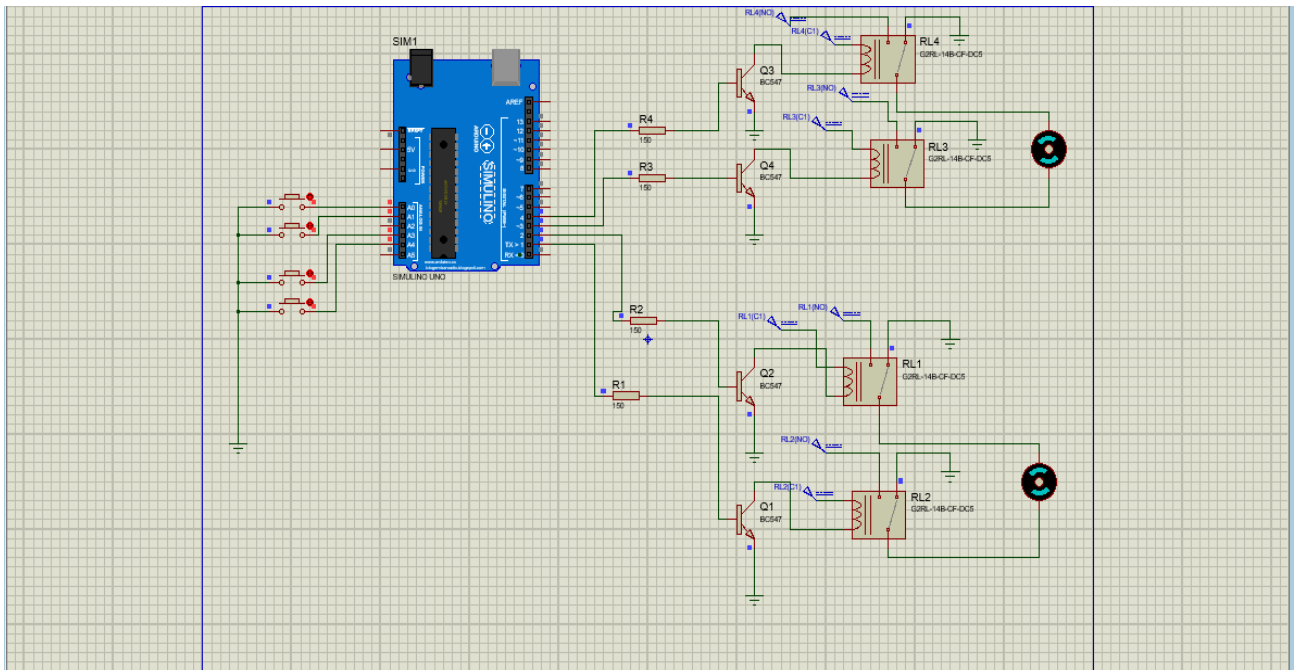


Figure III.5 : Capture schématique de la simulation sous PROTEUS_ISIS

III.4. Le principe de fonctionnement

La programmation de la carte arduino est faite sur l'interface IDE ; une fois le programme est écrit, il est envoyé à la carte pour qu'il fonctionne en autonomie (sans connexion avec l'ordinateur).

La lecture des entrées est faite à l'aide des boutons poussoirs qui sont liés aux entrées de la carte arduino, on appuie sur qu'un bouton c'est-à-dire on donne un signal numérique (0 ou 1) ; quand le bouton lié à l'entrée A0 est en mode 1 automatiquement le bouton lié à A1 est en mode 0. Le signal numérique rentre dans la chaîne de traitement arithmétique et logique au niveau du microcontrôleur pour commander les sorties (0 ou 1) ce qui signifie le passage d'une tension pour faire tourner les deux moteurs dans le sens commandé.

Premier moteur

En donnant un signal 0 à A0 (bouton poussoir numéro 1) la sortie 1 est active ce qui permet d'alimenter la résistance avec une tension égale à 5V ainsi le transistor est actif il excite le relais, l'interrupteur du relais est fermé donc la tension égale à 12V va passer pour faire fonctionner le premier moteur en tournant dans le premier sens.

C'est le même principe quand on donne 0 à A1 (bouton poussoir 2) la sortie numéro 2 qui est liée à la deuxième résistance est active ; le passage de la tension excite le relais ; son interrupteur se ferme et la tension égale à 12V. Le moteur tourne dans le deuxième sens.

Le même principe de fonctionnement pour tourner le deuxième moteur dans les deux sens.

On ne peut pas appuyer sur les deux boutons poussoirs en même temps (en cas d'essai toujours le bouton lié à A0 fonctionne le premier).

Cette application de commande des moteurs pour tourner dans des différents sens est utilisée dans beaucoup de systèmes comme les systèmes de la poursuite solaire (systèmes traqueurs).

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons parlé d'une application des deux moteurs à courant continu sur Proteus ISIS et arduino, le fonctionnement du système dépend directement du bon choix des dispositifs et la bonne définition et la connexion des entrées et des sorties ainsi que la détermination des valeurs d'alimentation et de résistances adéquates.

Le programme écrit sur l'interface arduino et injecté sur la carte au niveau du schéma est bien structuré pour assurer la rotation des moteurs dans les deux sens.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Le présent mémoire contient une étude de modélisation et de simulation des deux moteurs à courant continu dont l'objectif était de commander le sens de rotation. Afin de valider et de tester ce modèle le montage a été simulé à l'aide du logiciel ISIS.

La première partie de notre projet consiste à définir le gisement solaire ainsi que le gisement en Algérie, aussi nous avons parlé du spectre solaire et les différents types de rayonnements solaires. L'étude inclue le système solaire photovoltaïque classique et ses composants.

Dans le deuxième chapitre nous avons identifié les systèmes de poursuite solaires et leurs types en citant l'intérêt de l'utilisation de ce type de système pour augmenter le rendement énergétique.

La deuxième partie de ce chapitre contient la simulation des deux angles de poursuite (angle d'élévation et angle d'azimut) ; la simulation est faite à l'aide du logiciel MATLAB. L'interprétation et l'évaluation des résultats ont mené que la variation d'angle d'élévation et d'azimut dépendent directement de la position du soleil et la quantité des rayonnements projetées sur le plan horizontal du récepteur.

La troisième partie de ce mémoire consiste à l'étude et simulation d'un circuit de commande pour commander le sens de rotation des deux moteurs à courant continu sur ARDUINO avec PROTEUS_ISIS et assurer le bon fonctionnement qui est lié au bon choix des composants du montage et la bonne définition des entrées et sorties. Cette partie décrit une des applications du moteur à courant continu.

Ce projet dont le thème coïncide avec notre spécialité nous a permis d'approfondir et enrichir nos connaissances acquises durant notre formation professionnelle.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [1] : UNION TECHNIQUE DE L'ELECTRICITE [Installations photovoltaïques raccordées au réseau public de distribution], GUIDE PRATIQUE, 2010
- [2] : Benlaachi Salah et Khechafi Sofiane Calcul et dimensionnement électrique d'une mini centrale photovoltaïque autonome, Mémoire de projet de fin d'étude, Ecole supérieure en sciences appliquées, Tlemcen 2019/2020
- [3] : QUESTIONS DE PHYSIQUE AUTOUR DE L'ÉNERGIE SOLAIRE
- [4] : Amara Karima Contribution à l'étude de conception d'une centrale photovoltaïque de puissance (1MW) interconnectée au réseau de distribution électrique moyenne de tension, Mémoire de magister, Université Mouloud Maammeri, Tizi Ouzou, 2015
- [5] : Sidane Younes et Ferhoune Nassim Evaluation des performances d'un suiveur solaire, Mémoire du Master2, Université Abderrahmane mira, Bejaia, 2013/2014
- [6] : Noble, Grégoire des trackeurs nouvelle génération pour capter et concentrer le soleil brève de Batiactublie le 17/03/2016
- [7] : Benmohammadi Zahra Etude de Conception et réalisation d'une commande d'un suiveur solaire, Mémoire de projet de fin d'étude, Université Sidi Mohammed Ben Abdellah, Fès, juin 2014.
- [8] : B.Rabeh et D. Ayoub Conception et réalisation d'un suiveur solaire Bi-axial à base de capteurs de lumière. Mémoire master professionnel- Université Kasdi Merbah-électronique Ouargla 2017/2018
- [9] : Quinzième inventaire- édition 2013, la production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde : collection chiffres et statistiques 2013
- [10] : C.Dupont, P.Avavian ' QUESTIONS DE PHYSIQUE AUTOUR DE L'ÉNERGIE SOLAIRE'
- [11] : Richter C, Teske S, Nobrera J, Concentrating Solar Power: Outlook 2009.
- [12] : Bara Safa Etude, simulation et réalisation d'un trackeur solaire et MPPT par PIC16F877. Mémoire de projet de fin d'étude, Université Badi Moukhtar, Annaba, 2015
- [13] : Boujenane Samira, Tracker solaire à deux axes, Mémoire de projet de fin d'étude Master en génie électrique, Université Sidi M'hamed Ben Abdellah Maroc, 2016
- [14] : Brahmi rida et Souiou abderaouf mémoire fin d'étude Réalisation d'un suiveur solaire à base de PIC Master2 Université El Arbi Ben M'hidi Oum el bouaghi 2013/2014

- [15] : Olivier Farges. Conception optimale de centrales solaires à concentration: application aux centrales à tour et aux installations "beam down". Génie des procédés. Ecole des Mines d'Albi-Carmaux, 2014.
- [16] : B.Tebboub Etude conceptuelle des systèmes photovoltaïques à double et triple jonction, Mémoire de Magister, UMMTO, 2013/2014
- [17] : Boulahbal Amina Etude et simulation du fonctionnement du système suiveur des panneaux solaires Master 2 Université Badji Mokhtar, Annaba 2015 /2016
- [18] : Mark Hankins, Stand- alone solar electric systems, Earthscan, 2010
- [19] : Quoilin Sylvain Les Centrales Solaires à Concentration 'Université de Liège, 2007
- [20] : Boulahbal Amina Etude et simulation du fonctionnement du système suiveur des panneaux solaires, Thèse de master, Université Badji Mokhtar, Annaba 2013/2014
- [21] : Berrah F, Conception et simulation d'une centrale à tour sur sites Algériens, thèse de Master en énergies renouvelables, Université des sciences et de la technologie Houari Boumedienne, 2013
- [22] : Arrif T, Etude numérique d'un récepteur solaire des systèmes avec effet de concentration. Thèse de Doctorat en génie mécanique. Université mohamed Khider, Biskra 2017/2018
- [23] :Khoudrane Ismail, Etude d'un système de poursuite solaire pour les panneaux photovoltaïques Master2 Université KASDI MERBAH-Ouargla 2017/2018
- [24] : Hadj Abderrahmane Mohamed El Amine et Ghezzal Mohamed Walid Mémoire étude et réalisation d'un système de production d'énergie électrique par des panneaux photovoltaïques MASTER2 Centre universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain Temouchent 2016 / 2017
- [25] : Mekki Walid Bade-Eddine et Mohamed Belhadj Abdelkader Welid Mémoire Conception et réalisation d'un panneau solaire à base d'Arduino MASTER2 Centre universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain Temouchent 2018 / 2019
- [26]: Le grand livre ARDUINO Edition 3