



المدرسة العليا
للتكنولوجيا - اسفي
ÉCOLE SUPÉRIEURE
DE TECHNOLOGIE -SAFI



École Supérieure de Technologie
DÉPARTEMENT GÉNIE INDUSTRIEL
UNIVERSITÉ CADI AYYAD
- SAFI -

Option : Génie Industriel et Maintenance

Projet de Fin d'Etudes

Étude et Conception d'un tracker solaire
double axes

Réalisé Par :

- ARKHIS
M'HAMMED
- OUAJIH
HOUSSAM
- HACHM AYOUB

Encadré Par :

- Dr . Fergani Fatima

Année Universitaire 2024 / 2025

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فَالسُّلْبُ بِحَانِئِ الْعَالَمِ لَنَا الْإِمَامُ عَلَمُنَا
إِنَّا أَنْبَأْتُ الْعَلِيمِ الْحَكِيمِ

صَدَقَ اللَّهُ الْعَظِيمُ

***D**EDICACES*

À nos mentors qui ont illuminé notre chemin avec leur expertise et leur guidance, à nos collègues qui ont partagé avec générosité leurs connaissances, et à nos familles dont le soutien indéfectible a été notre ancre dans les moments de doute. Ensemble, nous avons bâti ce rapport de projet de fin d'études comme un témoignage de notre engagement inébranlable envers l'excellence, l'innovation et la collaboration. Que nos efforts collectifs tracent la voie vers un avenir prometteur, où la passion et le dévouement continueront d'inspirer les générations futures à repousser les limites de l'ingéniosité et de la réussite.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements à l'école qui nous a offert l'opportunité de réaliser ce projet de fin d'études, un véritable tremplin vers notre avenir professionnel. Nous sommes profondément reconnaissants envers notre encadrante, Mme. Fergani, pour sa guidance experte, son soutien constant et son dévouement indéfectible tout au long de ce parcours académique. Ses conseils éclairés et son encouragement ont été d'une valeur inestimable, nous guidant avec assurance à chaque étape de ce projet. Nos remerciements vont également à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce rapport. Nous leur sommes infiniment reconnaissants pour leur précieuse collaboration et leur soutien inestimable.

***R**ESUME*

Le rapport de projet de fin d'études se concentre sur une étude exhaustive et une mise en œuvre pratique d'un tracker solaire, un dispositif essentiel dans l'exploitation de l'énergie solaire. Le groupe a exploré en profondeur les généralités et le contexte du projet, mettant en évidence son importance cruciale dans le domaine des énergies renouvelables. Ils ont examiné les tendances actuelles et les défis associés à l'utilisation de l'énergie solaire, ainsi que les motivations derrière le développement d'un tracker solaire.

Dans la deuxième partie, leur attention s'est tournée vers une étude théorique approfondie des trackers solaires. Ils ont plongé dans les principes fondamentaux qui sous-tendent leur fonctionnement, en analysant les caractéristiques des rayonnements solaires et en explorant les mécanismes de suivi solaire. Cette section leur a permis d'acquérir une compréhension approfondie des aspects théoriques essentiels pour la conception et la mise en œuvre efficace d'un tracker solaire.

Enfin, ils ont détaillé le processus de conception et de réalisation pratique du tracker solaire. En mettant en pratique les connaissances acquises dans la section précédente, ils ont développé une solution concrète et fonctionnelle. Ils ont abordé les aspects techniques de la conception, les choix de matériaux, les considérations de sécurité et les défis pratiques rencontrés lors de la mise en œuvre du tracker solaire.

Ce rapport offre ainsi une vue d'ensemble complète du projet de tracker solaire, allant de l'étude théorique initiale à la réalisation pratique du dispositif. Il témoigne de leur engagement envers l'innovation, la durabilité et la recherche de solutions énergétiques alternatives.

ABSTRACT

The final-year project report focuses on a comprehensive study and practical implementation of a solar tracker, an essential device for harnessing solar energy. The group explored in depth the background and context of the project, highlighting its crucial importance in the field of renewable energy. They examined the current trends and challenges associated with the use of solar energy, as well as the motivations behind the development of a solar tracker.

In the second part, their attention turned to an in-depth theoretical study of solar trackers. They delved into the fundamental principles behind how they work, analysing the characteristics of solar radiation and exploring solar tracking mechanisms. This section enabled them to gain an in-depth understanding of the theoretical aspects that are essential for the effective design and implementation of a solar tracker.

Finally, they detailed the design process and the practical implementation of the solar tracker. By applying the knowledge acquired in the previous section, they developed a concrete and functional solution. They addressed the technical aspects of the design, the choice of materials, the safety considerations and the practical challenges encountered when implementing the solar tracker.

This report provides a complete overview of the solar tracker project, from the initial theoretical study to the practical implementation of the device. It demonstrates their commitment to innovation, sustainability and the search for alternative energy solutions.

***T**ABLE de **M**ATIERES*

Chapitre I : Généralités et contexte du projet

I.	Introduction:	1
I.1	Généralités sur le Suiveur Solaire:	1
I.1.1	Principe de fonctionnement :	1
I.1.2	Importance de l'optimisation de l'exposition solaire :	2
I.1.3	Applications et Avantages :	2
I.2	Évolution Historique :	3
I.3	Types de Suiveurs Solaires	4
I.4	L'analyse fonctionnelle	5
I.4.1	Définition :	5
I.4.2	Modélisation globale :	6
I.4.3	Analyse fonctionnelle descendante (SADT) :	6
I.4.4	Etude de la faisabilité :	7
I.5	Conclusion :	10

Chapitre II : Étude Théorique

I.	Introduction	1
II.	Soleil	1
III.	Rayonnement solaire	1
III.1	Rayonnement extraterrestre	1
III.2	Irradiation solaire incidente	2
III.3	Composantes du Rayonnement solaire incident	3
III.3.1	Rayonnement direct	3
III.3.2	Rayonnement diffus	3
III.3.3	Rayonnement réfléchi	3
III.3.4	Indice de clarté KT	4
III.3.5	Durée d'insolation	4

III.4 Trajectoire solaire	4
III.5 L'angle d'Altitude ou l'élévation solaire	4
III.5.1 La déclinaison solaire (°)	5
III.5.2 Angle d'Azimut Az en (°).....	6
III.6 Mouvements de la Terre.....	6
III.7 Energie solaire	7
III.7.1 Modes d'exploitation de l'énergie solaire	7
III.7.2 Electricité solaire thermodynamique	8
III.7.3 Energie solaire thermique	8
III.7.4 Electricité photovoltaïque	9
IV. Conclusion :.....	9

Chapitre III : Conception et mise en œuvre d'un système de suivi solaire

I. Introduction	1
I.1 Descriptions des composants du système solaire	1
I.1.1 Les Moteurs.....	1
I.1.2 Les capteurs LDR.....	3
I.1.3 Les Cartes électroniques	6
I.1.4 Alimentation.....	8
I.1.5 La plaque de test :	10
I.2 Simulation d'un prototype sur Proteus 8 pro	10
I.2.1 Circuit de commande sur ISIS	10
I.2.2 Conception mécanique sur Catia V5	11
I.3 Réalisation de la mécanique tracker solaire	15
I.3.1 Mécanisme réaliser	15
I.3.2 Les composants utilise pour le tracker.....	15
II. Conclusion.....	16

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Les différents types des suiveurs solaires	5
Figure 2 : Actigramme (A-0).....	6
Figure 3 : Diagramme Niveau A0.....	7
Figure 4 : Diagramme « Pieuvre »	8
Figure 5 : Histogramme de souhaits	9
Figure 6 : Rayonnements solaires extraterrestre et incident.	2
Figure 7 : Composantes du rayonnement solaire incident.....	3
Figure 8 : Représentation de latitude et longitude.....	5
Figure 9 : Représentation des angles solaires.....	6
Figure 10 : Mouvements de la Terre.	7
Figure 11 : Centrale solaire thermique	8
Figure 12 : Chauffe-eau solaire.	8
Figure 13 : Panneaux photovoltaïques.....	9
Figure 14 : Servo moteur MG995.....	1
Figure 15 : Servomoteur MG995.....	3
Figure 16 : Capteur LDR et son symbole	4
Figure 17 : Composants LDR	5
Figure 18 : Arduino Uno	8
Figure 19 : Jumper câble.....	9
Figure 20 : Breadboard	10
Figure 21 : Conception sur ISIS	11
Figure 22 : Dessin 3D du Cadre de panneau solaire.....	11
Figure 23 : Dessin de cadre	12
Figure 24 : Dessin 3D du Support de servo 1	12
Figure 25 : Dessin du support.....	13
Figure 26 : Support Servo 2	14
Figure 27 : Serrvomoteur MG995	14
Figure 28 : Tracker solaire double axes.....	14
Figure 29 : Tracker solaire	15

Liste Des Tableaux

Tableau 1 : Composants du tracker solaire.....	16
---	-----------

INTRODUCTION GENERALE

Au cœur de notre projet de fin d'études se trouve l'exploration passionnante du domaine des suiveurs solaires, une technologie innovante au service de l'énergie renouvelable. Dans ce rapport, nous plongeons dans les méandres de cette discipline, guidés par notre désir ardent de comprendre et de contribuer à la transition vers des sources d'énergie plus durables.

Le premier chapitre de notre rapport offre une immersion profonde dans le contexte général du projet, mettant en lumière l'importance croissante des énergies renouvelables dans le paysage énergétique actuel. Nous examinons les tendances globales, les défis environnementaux et les motivations qui sous-tendent notre engagement envers les suiveurs solaires.

Dans le deuxième chapitre, notre voyage nous conduit vers une exploration théorique approfondie des suiveurs solaires. Nous nous plongeons dans les principes fondamentaux de cette technologie, démêlant les subtilités de leur fonctionnement, analysant les facteurs qui influent sur leur efficacité et étudiant les méthodes de suivi solaire.

Enfin, dans le troisième chapitre, nous abordons la phase de conception et de réalisation concrète de notre projet de suiveur solaire. À travers des étapes méthodiques et des tests rigoureux, nous traduisons nos connaissances théoriques en une solution pratique et fonctionnelle. Nous relevons les défis techniques avec détermination, tirant parti de notre compréhension approfondie des suiveurs solaires pour aboutir à une réalisation réussie.

Ce rapport de projet de fin d'études est le fruit de notre engagement passionné envers l'innovation et la durabilité. Il témoigne de notre détermination à contribuer à un avenir énergétique plus vert, où les suiveurs solaires jouent un rôle crucial dans la transition vers une société plus respectueuse de l'environnement.

:

Chapitre *1*

Généralités et contexte du projet

I. Introduction:

Dans ce premier chapitre de notre rapport de projet de fin d'études portant sur le suiveur solaire, nous établissons les fondements en explorant le contexte général de cette technologie. Nous plongerons dans les généralités du suivi solaire, retracerons son évolution historique, et examinerons les différentes catégories de suiveurs solaires existants. Cette introduction nous permettra de saisir l'importance croissante du suiveur solaire dans le domaine des énergies renouvelables, en soulignant son rôle essentiel dans la quête d'une transition énergétique durable et efficace.

I.1 Généralités sur le Suiveur Solaire:

I.1.1 Principe de fonctionnement :

Le principe de fonctionnement du suiveur solaire repose sur une ingénierie sophistiquée visant à maximiser la capture de l'énergie solaire. À la base de cette technologie se trouve une compréhension précise de la dynamique solaire et des moyens de l'exploiter efficacement.

En substance, le suiveur solaire agit tel un fidèle compagnon du soleil, ajustant constamment l'orientation des panneaux solaires pour suivre sa course à travers le ciel. Pour ce faire, il s'appuie sur une combinaison de capteurs intelligents, de moteurs et de systèmes de contrôle avancés.

Les capteurs, sensibles à la lumière et parfois à d'autres paramètres environnementaux, détectent la position actuelle du soleil. Ces données sont ensuite traitées par des algorithmes sophistiqués qui déterminent l'angle optimal pour les panneaux solaires afin de maximiser l'exposition aux rayons solaires.

L'élément moteur du suiveur solaire, souvent composé de moteurs électriques ou hydrauliques, ajuste ensuite les panneaux solaires en temps réel, les orientant avec une précision remarquable vers la position idéale pour capturer le maximum d'énergie solaire disponible.

Ce processus dynamique garantit que les panneaux solaires sont toujours positionnés de manière à recevoir la lumière solaire directe, augmentant ainsi considérablement leur efficacité énergétique par rapport aux systèmes statiques traditionnels.

En somme, le suiveur solaire incarne une fusion ingénieuse de technologie et de nature, exploitant habilement les ressources du soleil pour fournir une source d'énergie propre, renouvelable et inépuisable.

I.1.2 Importance de l'optimisation de l'exposition solaire :

L'optimisation de l'exposition solaire revêt une importance capitale dans le domaine des énergies renouvelables, notamment pour les installations photovoltaïques. En ajustant constamment l'orientation des panneaux solaires pour suivre la trajectoire du soleil, le suiveur solaire assure une capture maximale de l'énergie solaire disponible tout au long de la journée. Cette optimisation se traduit par une augmentation significative du rendement énergétique, permettant aux systèmes photovoltaïques de produire davantage d'électricité à partir de la même surface de panneaux solaires. De plus, en maximisant l'utilisation de l'énergie solaire, le suiveur solaire contribue à réduire la dépendance aux combustibles fossiles, diminuant ainsi les émissions de gaz à effet de serre et favorisant la transition vers une économie plus propre et plus durable. En somme, l'optimisation de l'exposition solaire joue un rôle crucial dans la promotion des énergies renouvelables et dans la lutte contre le changement climatique, offrant ainsi une solution prometteuse pour répondre aux défis énergétiques actuels.

I.1.3 Applications et Avantages :

➤ Applications:

- **Installations résidentielles :** Les suiveurs solaires peuvent être utilisés dans les maisons individuelles pour maximiser la production d'électricité à partir de panneaux solaires installés sur le toit.
- **Installations commerciales :** Les entreprises peuvent utiliser des suiveurs solaires pour alimenter leurs activités avec de l'électricité solaire, réduisant ainsi leur dépendance aux sources d'énergie traditionnelles.
- **Projets communautaires :** Les suiveurs solaires peuvent être déployés dans le cadre de projets communautaires pour fournir de l'énergie solaire à des groupes de personnes ou à des communautés entières.
- **Agriculture et irrigation :** Les suiveurs solaires peuvent être utilisés dans l'agriculture pour alimenter les systèmes d'irrigation, contribuant ainsi à une utilisation plus efficace de l'eau et des ressources agricoles.

➤ Avantages :

- **Rendement accru :** En suivant la trajectoire du soleil, les suiveurs solaires maximisent l'exposition des panneaux solaires aux rayons solaires, augmentant ainsi leur rendement énergétique.

- **Économies financières** : En produisant davantage d'électricité à partir de l'énergie solaire, les utilisateurs peuvent réduire leurs factures d'électricité et réaliser des économies financières à long terme.
- **Réduction des émissions de carbone**: En utilisant une source d'énergie propre et renouvelable, les suiveurs solaires contribuent à réduire les émissions de gaz à effet de serre et à atténuer les impacts du changement climatique.
- **Flexibilité et adaptabilité** : Les suiveurs solaires peuvent être adaptés à une variété d'applications et de configurations, offrant ainsi une solution flexible et adaptable aux besoins énergétiques de différents utilisateurs.

En résumé, les suiveurs solaires offrent une solution efficace et durable pour maximiser la production d'électricité à partir de l'énergie solaire, offrant ainsi une alternative prometteuse aux sources d'énergie traditionnelles et contribuant à la transition vers un avenir énergétique plus propre et plus durable.

I.2 Évolution Historique :

L'évolution historique des trackers solaires, également connus sous le nom de suiveurs solaires, a été marquée par des avancées significatives tout au long des décennies :

- **Dans les années 1970** : Les premiers concepts de suiveurs solaires émergent, généralement rudimentaires et mécaniquement simples. Ces premiers dispositifs utilisaient souvent des mécanismes de pendule ou des capteurs de lumière pour suivre la trajectoire du soleil.
- **Dans les années 1980** : Les premiers suiveurs solaires automatisés font leur apparition, intégrant des capteurs électroniques pour suivre plus précisément le mouvement du soleil. Cependant, leur utilisation reste limitée principalement aux applications industrielles et commerciales en raison de leur coût élevé.
- **Dans les années 1990** : Avec les progrès technologiques, les suiveurs solaires deviennent plus accessibles et sont progressivement adoptés dans un plus large éventail d'applications. Les systèmes de suivi sur deux axes commencent à émerger, permettant une optimisation plus fine de l'orientation des panneaux solaires.
- **Dans les années 2000** : L'adoption des suiveurs solaires se généralise dans les parcs solaires et les installations commerciales à grande échelle, stimulée par une demande croissante en énergie solaire. Les améliorations continues en matière de précision et de fiabilité des capteurs et des systèmes de contrôle contribuent à accroître l'efficacité des trackers solaires.

- **Aujourd'hui** : Les trackers solaires sont largement utilisés dans les installations solaires commerciales et résidentielles, offrant une optimisation précise de l'orientation des panneaux solaires pour une capture maximale de l'énergie solaire disponible. Avec l'accent croissant sur les énergies renouvelables, les trackers solaires continuent d'évoluer, intégrant des technologies avancées telles que l'intelligence artificielle et l'Internet des objets pour une efficacité accrue et une intégration transparente aux réseaux d'énergie renouvelable.

I.3 Types de Suiveurs Solaires

Les types de suiveurs solaires varient en fonction de leur complexité et de leur capacité à suivre le mouvement du soleil selon différents axes et angles. Voici une classification plus détaillée :

1. Suiveurs solaires à un axe :

- ***Suiveurs solaires à axe horizontal*** : Ces suiveurs ajustent la position des panneaux solaires selon un axe horizontal pour suivre le mouvement quotidien du soleil d'est en ouest. Ils sont relativement simples et moins coûteux à mettre en œuvre, mais offrent une efficacité accrue par rapport aux systèmes fixes.
- ***Suiveurs solaires à axe vertical*** : Ces suiveurs ajustent l'angle d'inclinaison des panneaux solaires selon un axe vertical pour suivre les variations saisonnières de la position du soleil. Ils sont particulièrement adaptés aux régions où les saisons sont marquées par des changements significatifs dans la hauteur du soleil.

2. Suiveurs solaires à deux axes :

- ***Suiveurs solaires à deux axes azimutaux*** : Ces suiveurs ajustent la position des panneaux solaires selon deux axes, permettant un suivi précis du mouvement du soleil d'est en ouest ainsi que des variations saisonnières de son élévation. Ils offrent une efficacité maximale en termes de capture d'énergie solaire tout au long de l'année.
- ***Suiveurs solaires à deux axes en inclinaison*** : Ces suiveurs ajoutent un ajustement supplémentaire de l'inclinaison des panneaux solaires pour optimiser davantage l'exposition au soleil en fonction des saisons. Ils sont idéaux pour les régions où les variations saisonnières de l'angle solaire sont importantes.

3. Suiveurs solaires à concentration (concentrated solar trackers) :

- Ces suiveurs ajustent la position de miroirs ou de lentilles pour concentrer la lumière solaire sur des récepteurs, tels que des cellules photovoltaïques ou des tubes de réception. Ils sont utilisés dans les systèmes de concentration solaire où une intensité lumineuse élevée est nécessaire pour produire de l'électricité ou de la chaleur à haute température.

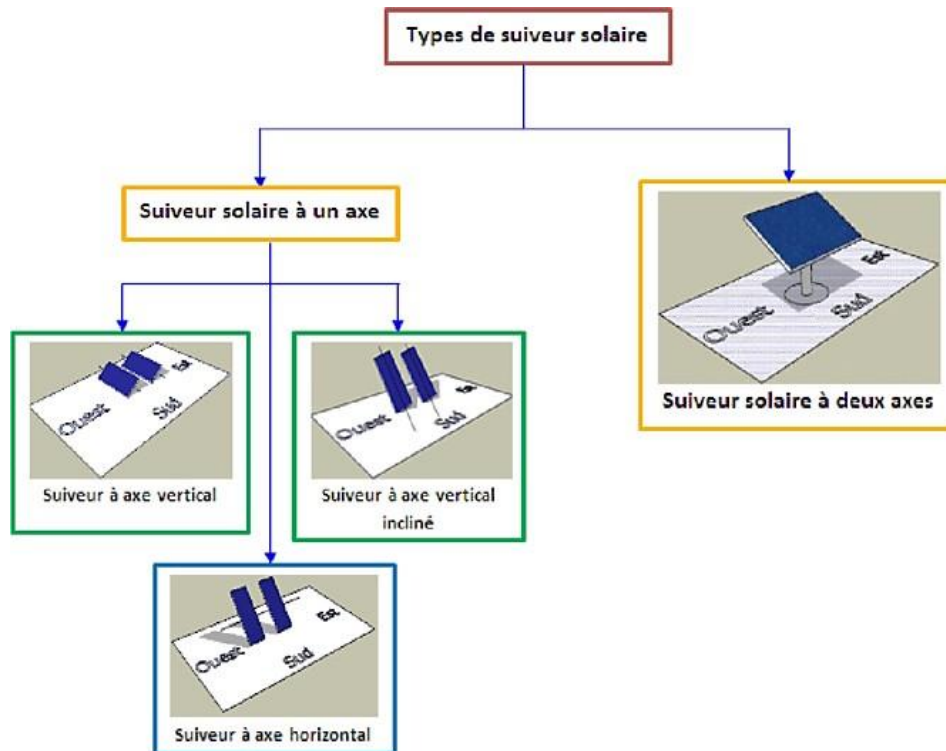


Figure 1 : Les différents types des suiveurs solaires

I.4 L'analyse fonctionnelle

I.4.1 Définition :

L'analyse fonctionnelle consiste à recenser, caractériser, ordonner, hiérarchiser et valoriser les fonctions de service d'un produit ; ils existent de nombreux outils et diagrammes pour pratiquer l'analyse fonctionnelle tels que :

- Diagramme SADT.
- Diagramme FAST.

I.4.2 Modélisation globale :

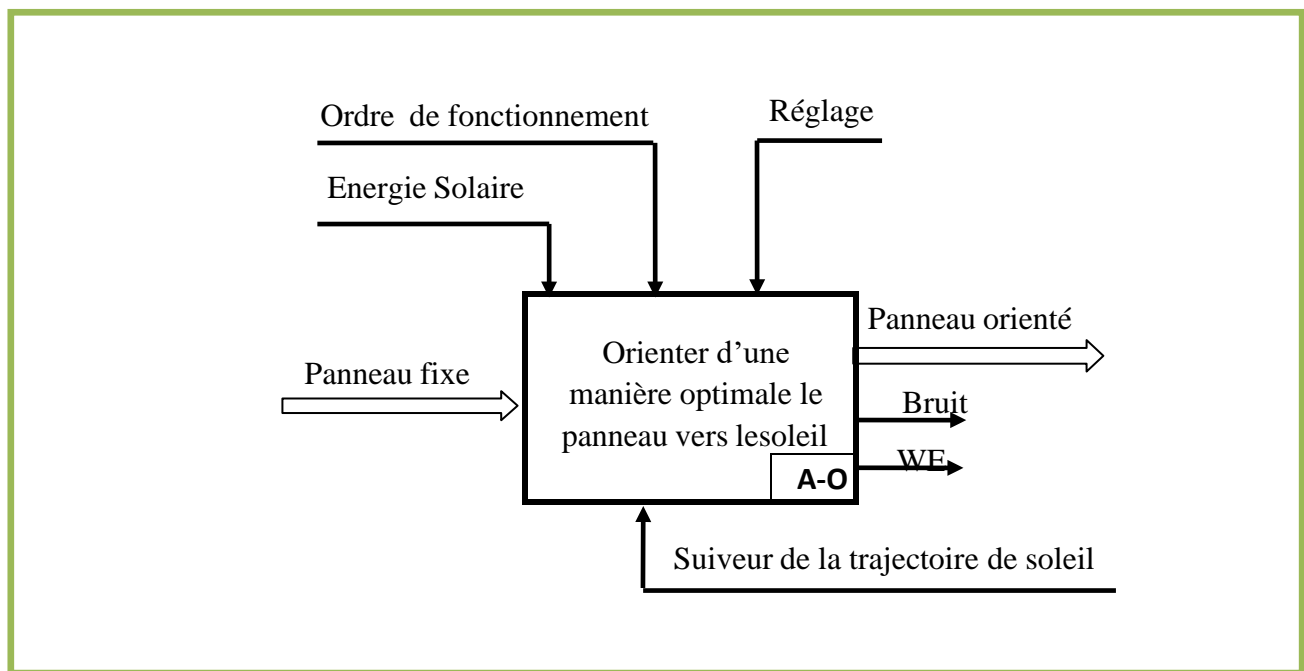


Figure 2 : Actigramme (A-0)

I.4.3 Analyse fonctionnelle descendante (SADT) :

I.4.3.1 Définition:

Ce type d'analyse permet de modéliser et de décrire graphiquement des systèmes notamment des flux de matière d'œuvre (produit, énergie, information...). On procède par l'analyse successive descendante, c'est-à-dire en allant du plus générale au plus détaillé en fonction des besoins.

I.4.3.2 Diagramme Niveau A0 :

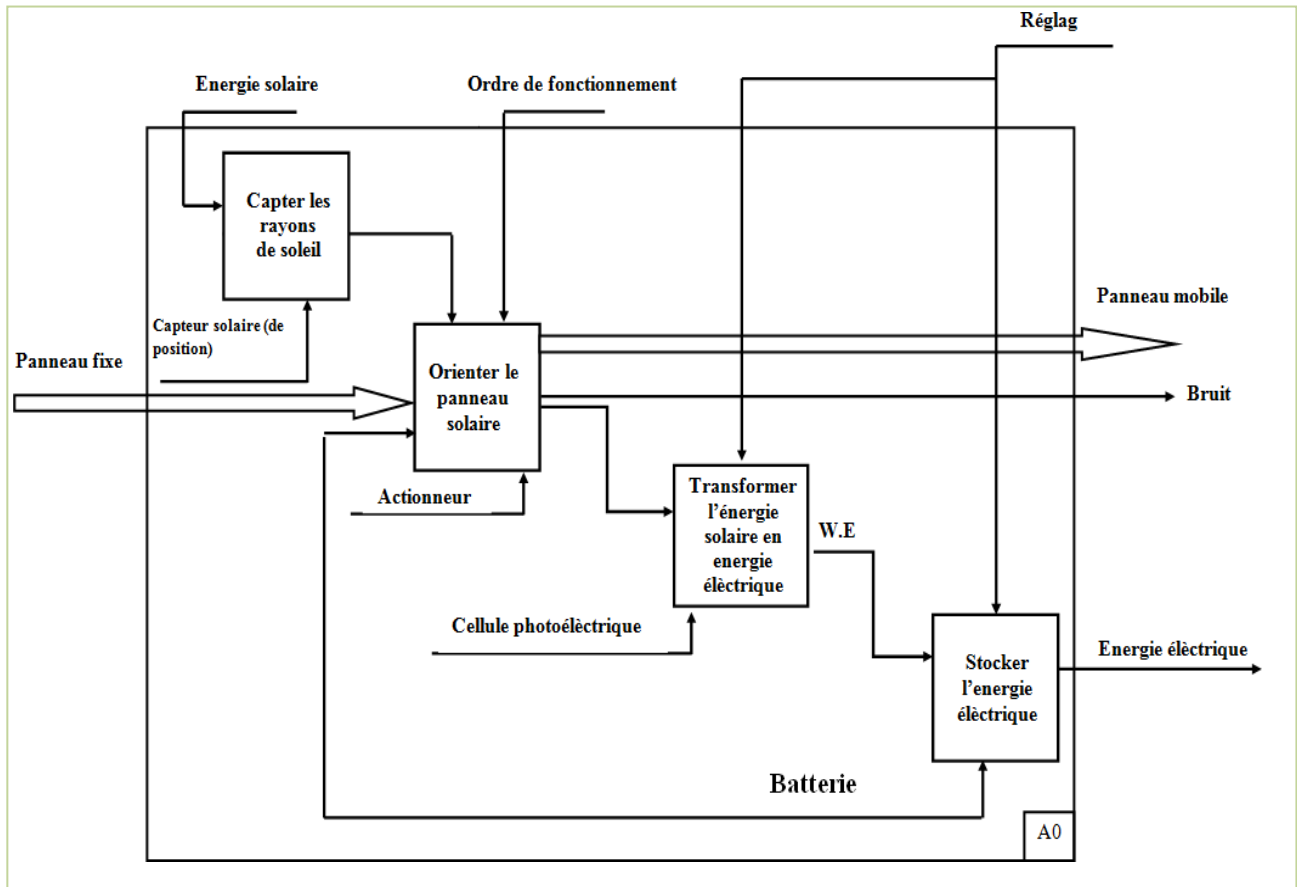


Figure 3 : Diagramme Niveau A0

I.4.4 Etude de la faisabilité :

➤ Recensement des fonctions de service (Diagramme Pieuvre) :

Pour recenser les différentes fonctions de service entrant en jeux dans notre système, on a recours à utiliser le diagramme suivante (Figure 4) :

➤ **Diagramme « Pieuvre » :**

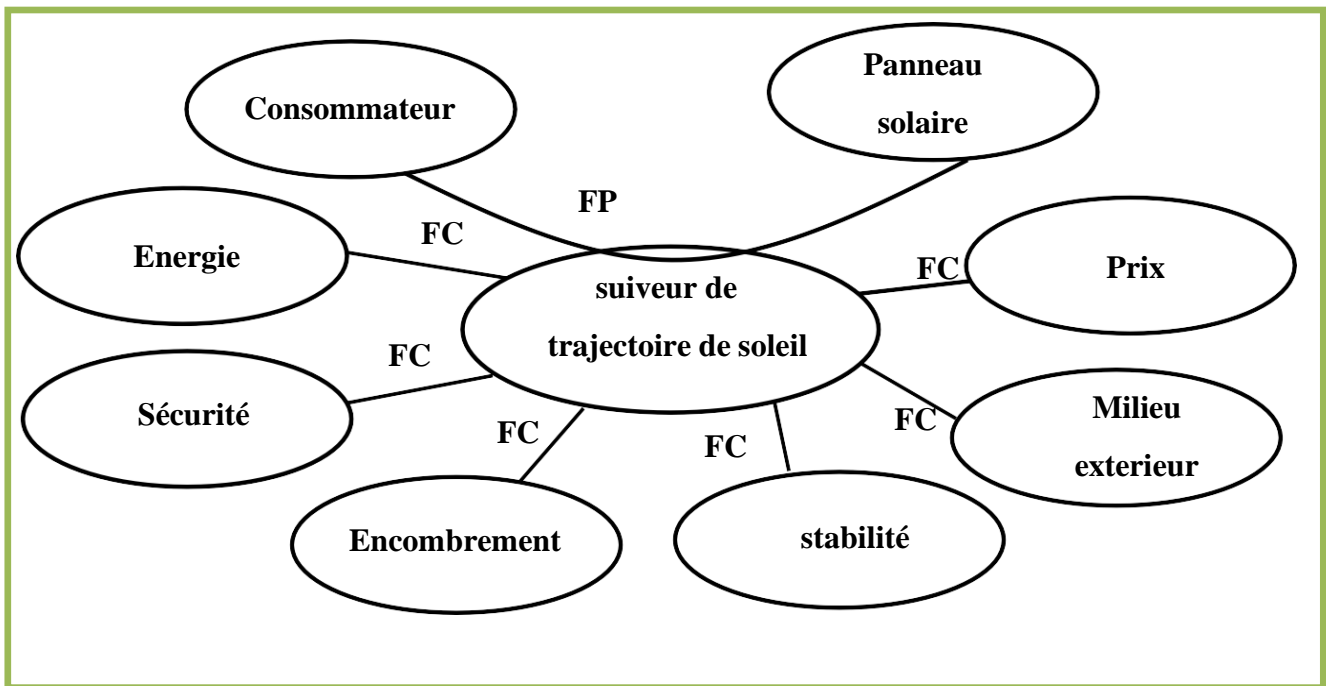


Figure 4 : Diagramme « Pieuvre »

➤ **Formulation des fonctions de service:**

- ✓ FP : Orienter d'une manière optimale le panneau vers le soleil.
- ✓ FC1 : Etre exposé au rayons solaires (S'adapter avec l'énergie source).
- ✓ FC2 : Placer le panneau solaire en position de sécurité pendant la nuit ou pendant un vent violent.
- ✓ FC3 : Avoir un encombrement réduit.
- ✓ FC4 : Etre stable.
- ✓ FC5 : Résister aux agressions du milieu extérieur.
- ✓ FC6 : Avoir un prix abordable.

➤ **Valorisation de différentes fonctions de service :**

On utilise l'outil appelé « tri croisé » permettant de comparer les fonctions de service une à une et attribuer à chaque fois une note de supériorité allant de 0 à 3 :

- 0 : pas de supériorité.
- 1 : légèrement supérieur.
- 2 : moyennement supérieur.
- 3 : nettement supérieur.

➤ **Tableau n°1.1 : Tri Croisé :**

	FC1	FC2	FC3	FC4	FC5	FC6	Points	Souhaits Réels (%)	Souhaits Corrigés (%)
FP1	FP1 (2)	FP1 (2)	FP1 (3)	FP1 (2)	FP1 (3)	FP1 (3)	15	38	37
	FC1	FC1 (1)	FC1 (2)	FC1 (1)	FC1 (2)	FC1 (2)	8	21	21
		FC2	FC2 (2)	FC2 (1)	FC2 (2)	FC2 (2)	7	18	18
			FC3	FC4 (2)	FC3 (1)	FC3 (1)	2	5	5
				FC4	FC4 (2)	FC4 (2)	6	15	15
					FC5	FC5 (1)	1	3	3
						FC6	0	0	1
						Total	39	100	100

➤ **Hiérarchisation des fonctions de service :**

C'est un histogramme qui permet de :

- Distinguer dans un ensemble de facteurs ceux qui sont les plus importants.
- Effectuer des choix.
- Etablir des priorités.

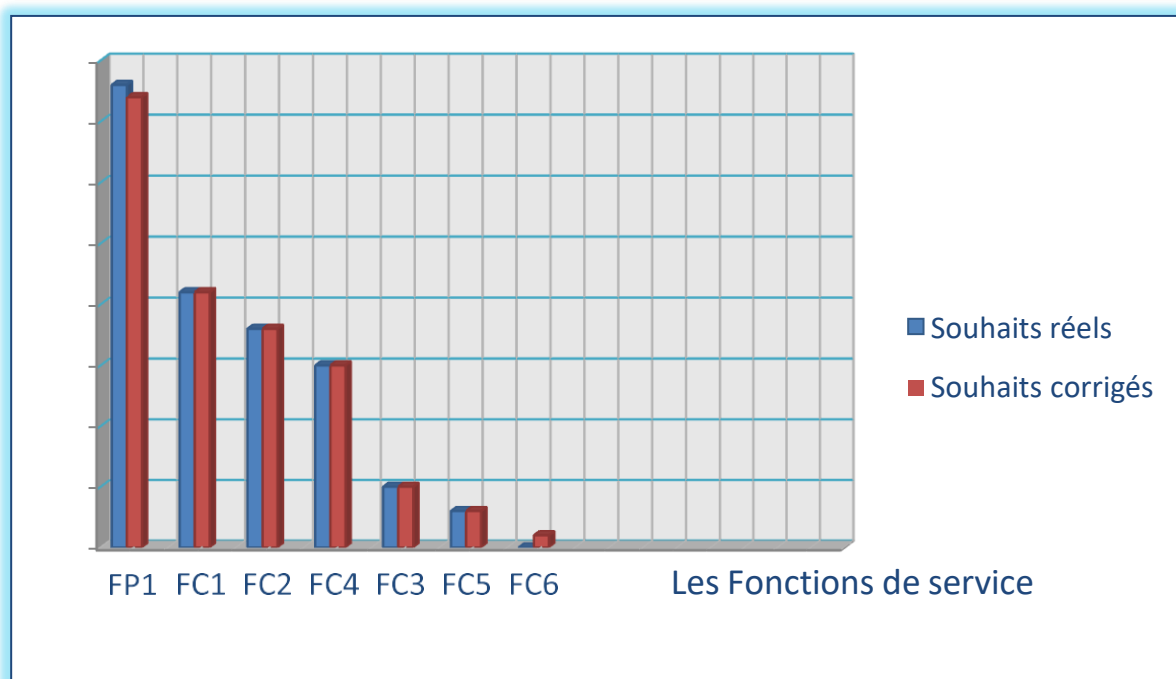


Figure 5 : Histogramme de souhaits

I.5 Conclusion :

En conclusion de ce premier chapitre, nous avons dressé un panorama complet des suiveurs solaires, essentiels dans le domaine des énergies renouvelables. En explorant les généralités, nous avons posé les bases de notre compréhension de leur fonctionnement. L'évolution historique a mis en lumière les progrès significatifs dans leur conception. La diversité des types examinés nous a permis de comprendre les différentes approches adoptées. Enfin, l'analyse fonctionnelle a disséqué leur mécanisme interne.

Cette exploration prépare parfaitement le terrain pour le prochain chapitre, où nous plongerons dans une étude théorique approfondie des trackers solaires. Ces bases solides nous permettront d'aborder avec rigueur les principes sous-tendant leur fonctionnement, ouvrant ainsi la voie à une compréhension plus approfondie de cette technologie novatrice.

:

Chapitre 2

Étude Théorique

I. Introduction

L'exploitation de l'énergie solaire et l'optimisation de sa collecte par les collecteurs solaires (photovoltaïques ou thermiques) exige une connaissance exacte de la distribution de l'irradiation solaire, qui est fonction de plusieurs paramètres à savoir ; les paramètres géographiques, météorologiques et astronomiques. Ce chapitre présente certaines notions fondamentales sur notre étoile (le soleil), des rappels sur l'énergie solaire, ainsi que les différents modes d'exploitation de cette énergie.

II. Soleil

Le soleil est l'étoile du Système solaire la plus proche de la terre qui se situe aux environs de 150 millions de km de celle-ci. D'une masse d'environ 1.9891×10^{30} kg, le soleil est composé principalement d'hydrogène (75% de la masse ou 92% du volume) et d'hélium (25% de la masse ou 8% du volume). Il représente à lui seul environ 99.854% de la masse du Système solaire. Sa lumière met environ 8 mn à nous atteindre.

Le soleil a une importance primordiale car il est à l'origine de la vie sur terre, en lui fournissant d'énormes quantités d'énergie estimées à 1.5×10^{18} kWh par an. L'énergie solaire permet la présence de l'eau à l'état liquide et la photosynthèse des végétaux. Le rayonnement solaire est aussi responsable du climat et des phénomènes météorologiques.

III. Rayonnement solaire

Le rayonnement solaire est l'énergie émise sous forme d'ondes électromagnétiques, dans toutes les directions de l'espace suite à la réaction de fusion de l'hydrogène contenu dans le soleil. Ce rayonnement constitue un spectre continu allant des ultra-violets à l'infra-rouge en passant par le visible où il émet avec le maximum d'intensité. Les rayonnements émis par le soleil se propagent à la vitesse de la lumière C ; il lui faut donc, en moyenne, 499 secondes, soit 8 minutes et 19 secondes, pour atteindre notre atmosphère. Le rayonnement solaire atteignant la surface de la Terre varie au cours de la journée, en fonction des saisons et dépend de la nébulosité, de l'angle d'incidence et de la réflexion des surfaces.

III.1 Rayonnement extraterrestre

Le rayonnement solaire extraterrestre est le rayonnement reçu au sommet de l'atmosphère, il couvre un très large domaine de longueur d'ondes et ne dépend d'aucun paramètre

météorologique, mais il est fonction de quelques paramètres astronomiques et géographique tel que: la latitude du lieu (φ), la déclinaison solaire(δ), et l'angle horaire au coucher du soleil (ω_0).

L'énergie hors atmosphère reçue sur un plan horizontal au cours de la journée est donnée par l'équation suivante:

$$H_0 = (24 \cdot 3600 / \pi \cdot 10^6) g_n^e [\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_0 + (\pi / 180) \omega_0 \sin \delta \sin \varphi] \quad (I-1)$$

Où,

$$g_n^e = G_{sc} [1 + 0.033 \cos(360 n / 365)] \quad (I-2)$$

g_n^e est le rayonnement extraterrestre reçu sur un plan normal au rayonnement solaire le $n^{\text{ième}}$ jour de l'année, exprimé en W/m^2 ,

G_{sc} est la constante solaire estimée à $1367 W/m^2$.

III.2 Irradiation solaire incidente

L'énergie solaire interceptée à la surface de l'atmosphère terrestre est égale à $1367 W/m^2$ (c'est la constante solaire). Cependant, en traversant l'atmosphère, des parties du rayonnement solaire sont réfléchies, absorbées ou diffusées, ce qui réduit significativement la valeur de cette énergie (rayonnement) à la surface de la terre (voir la Figure I.1). La diminution de l'intensité du rayonnement solaire est d'autant plus forte que la couche d'atmosphère est importante. Ainsi, l'énergie que nous transmet le Soleil est fonction de plusieurs facteurs tels que l'épaisseur de l'atmosphère où l'on se trouve ou encore la position du Soleil.

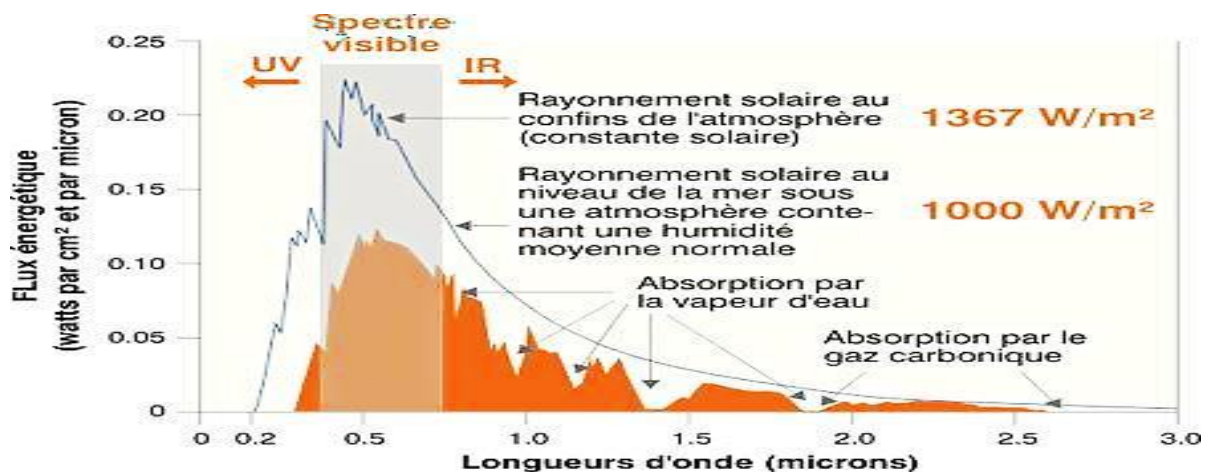


Figure 6 : Rayonnements solaires extraterrestre et incident.

Le rayonnement total reçu sur une surface, appelé irradiation solaire incidente (ou encore éclairement énergétique global) est la quantité d'énergie reçue par celle-ci. Ainsi, dans les meilleurs conditions, l'irradiation solaire incidente sur Terre varie de 900 à 1000 W/m².

L'irradiation solaire incidente qui s'exprime en J/m² ou kWh/m² est définie par la somme de trois composantes à savoir ; l'irradiation directe, diffuse et réfléchi. Elle dépend de nombreux facteurs, dont principalement la couverture nuageuse, la durée du jour, l'instant considéré dans la journée, l'orientation et l'inclinaison de la surface, la latitude du lieu, et son degré de pollution. La combinaison de tous ces paramètres produit la variabilité dans l'espace et dans le temps de l'irradiation solaire incidente.

III.3 Composantes du Rayonnement solaire incident

III.3.1 Rayonnement direct

Le rayonnement direct se définit comme étant le rayonnement provenant du seul disque solaire, il est donc nul lorsque le soleil est occulté par les nuages (Figure I.2).

III.3.2 Rayonnement diffus

Dans sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé par les molécules de l'air et les particules en suspension, en d'autres termes ; le rayonnement diffus est le rayonnement reçu par la Terre de la voûte céleste, hors rayonnement direct. Le rayonnement solaire diffus peut atteindre 50 % du rayonnement global reçu, lorsque le Soleil est bas sur l'horizon, 100 % pour un ciel entièrement couvert et il n'est nul que la nuit (Figure I.2).

III.3.3 Rayonnement réfléchi

Ce rayonnement correspond au rayonnement réfléchi par l'environnement extérieur, en particulier le sol, dont le coefficient de réflexion est appelé "albedo" (Figure I.2).

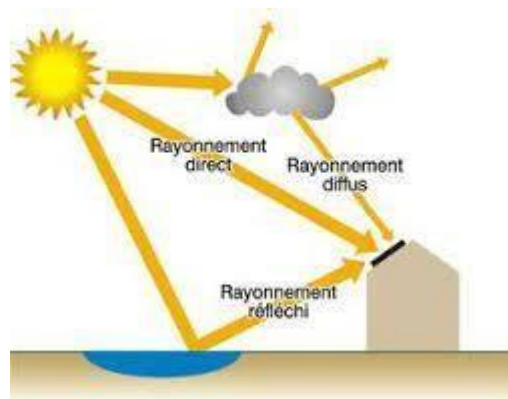


Figure 7 : Composantes du rayonnement solaire incident.

III.3.4 Indice de clarté K_T

Le rapport entre le rayonnement incident et le rayonnement extraterrestre est appelé indice de clarté. L'indice de clarté, K_T , est défini par :

$$K_T = H/H_0$$

Où:

H est l'irradiation solaire reçue sur un plan horizontal.

Selon la définition donnée plus haut, on peut définir l'indice de clarté K_T journalier, mensuel et annuel. Cet indice, qui décrit l'état du ciel, varie selon les endroits et les saisons, généralement entre 0,3 (pour les régions de saisons pluvieuses) et 0,8 (pour des saisons sèches et ensoleillées) [4]

III.3.5 Durée d'insolation

La durée d'insolation correspond au nombre d'heures dans la journée, entre le lever et le coucher du soleil, où celui-ci est bien visible. Ainsi, seuls les moments où le soleil est bien visible sont enregistrés; on parle alors de durée d'insolation réelle ou effective et dépend du fait que le soleil levé soit visible du point d'observation ou caché par les nuages. [5] En absence permanente de nuages, la durée d'insolation est pratiquement égale à la durée du jour. Elle est définie par:

$$S_0 = 2 * \omega_0 / 15$$

(I-4) Avec : ω_0 : L'angle horaire au coucher de soleil ($^\circ$), S_0 : La durée du jour (h).

III.4 Trajectoire solaire

L'énergie solaire exposée sur une surface hors atmosphère est régie uniquement par des lois astronomiques et géométriques. Ces lois faisant intervenir la latitude du lieu, la déclinaison solaire, l'heure du jour et l'orientation de la surface réceptrice. La position du soleil dépend du temps solaire est des jours de l'année, elle est exprimée par différents angles.

III.5 L'angle d'Altitude ou l'élévation solaire

Est défini comme étant l'angle entre le rayon central du soleil et le plan horizontal (figure I.3)

Elle est donnée par l'équation suivante :

$$a = \text{Arcsin}(\sin \phi * \sin \delta + \cos \phi * \cos \delta * \cos \omega)$$

Avec :

g: Latitude de lieu.

δ : Déclinaison solaire.

ω : Angle horaire.

Ou:

La latitude est représentée par une valeur angulaire. Elle représente l'angle d'inclinaison, par au plan de l'équateur, de la demi-droite allant du centre de la terre et passant par le lieu géographique considéré. Cet angle, s'étendant 0° à l'équateur à 90° aux pôles.

La longitude est une valeur angulaire aussi, expression du positionnement est ouest d'un point sur terre, dont la référence est le méridien de Greenwich

(avec une étendue de -180° (180° Ouest) à $+180^\circ$ (180° Est))

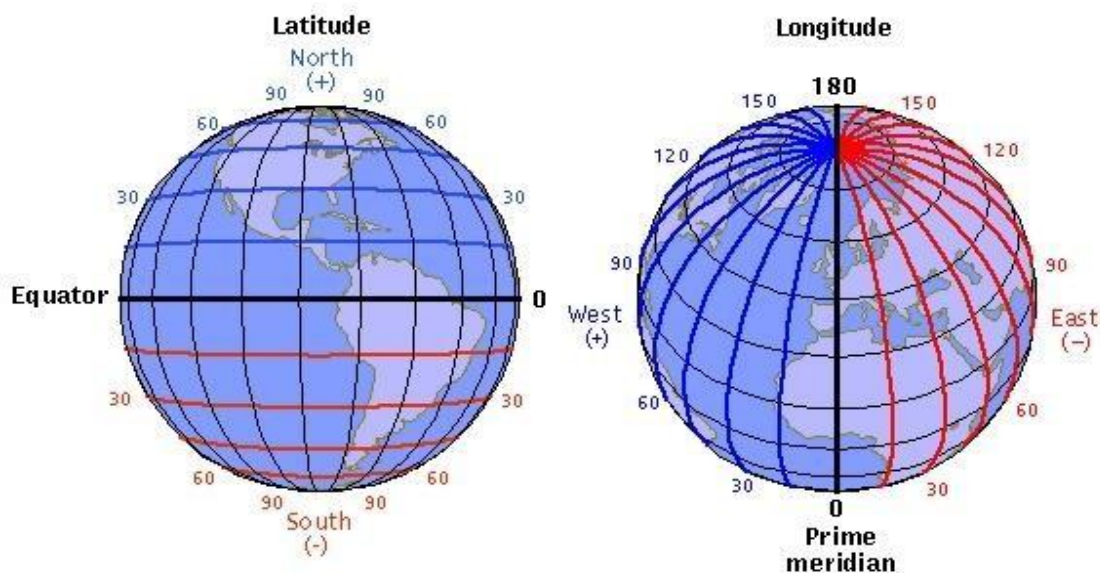


Figure 8 : Représentation de latitude et longitude

III.5.1 La déclinaison solaire ($^\circ$)

Est l'angle entre la direction du centre du disque solaire mesurée à partir du centre de la terre et le plan équatorial. La déclinaison est une fonction du temps qui varie continuellement.

III.5.2 Angle d'Azimut Az en (°)

On désigne par AZIMUT l'angle Az entre le nord local de la station et le vecteur u ou encore entre le plan méridien de la station et le plan P défini précédemment. Cette angle est mesuré positivement entre 0 et 360° dans le sens horaire autour de la verticale locale, l'angle azimut solaire est donné par la relation:

$$Az = \text{Arcsin}(\sin \Omega * \cos \delta / \cos \alpha)$$

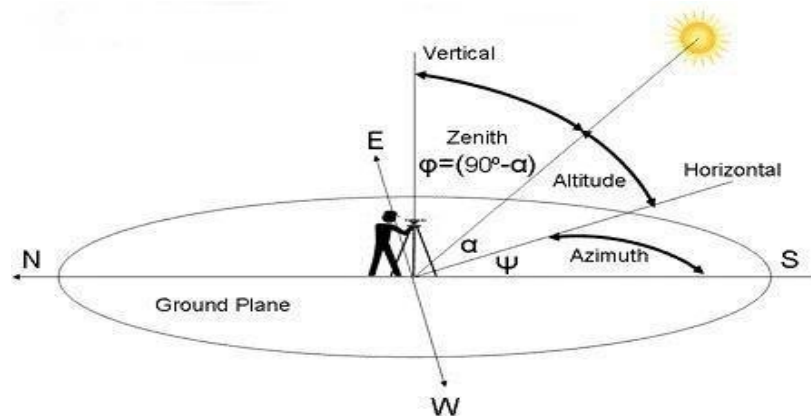


Figure 9 : Représentation des angles solaires

III.6 Mouvements de la Terre

La Terre est dotée d'un mouvement de rotation, dans le sens inverse des aiguilles d'une montre, autour de son axe, qui relie le pôle Nord au pôle Sud. Cette rotation est effectuée en moyenne en 23 h 56 min et 4,1 s. L'axe de rotation de la Terre est incliné sur l'écliptique en moyenne de 23° 26' ; cette inclinaison est responsable des saisons.

Ce mouvement ne doit pas être confondu avec la révolution de la Terre, mouvement de translation elliptique de la Terre autour du Soleil qui s'effectue également dans le sens inverse des aiguilles d'une montre en 365,2422 jours (voir la Figure I.5).

Lorsque le Soleil reste longtemps levé et culmine haut dans le ciel, il chauffe davantage le sol (saison chaude). En revanche, lorsqu'il reste bas au-dessus de l'horizon et que la durée de la journée est courte, son apport thermique est plus limité (saison froide). Les variations saisonnières sont ainsi expliquées essentiellement par l'inclinaison de l'axe de rotation de la Terre par rapport au plan de l'orbite terrestre (associée à la rotation de la Terre autour du Soleil et à la rotation de la Terre autour de son axe).

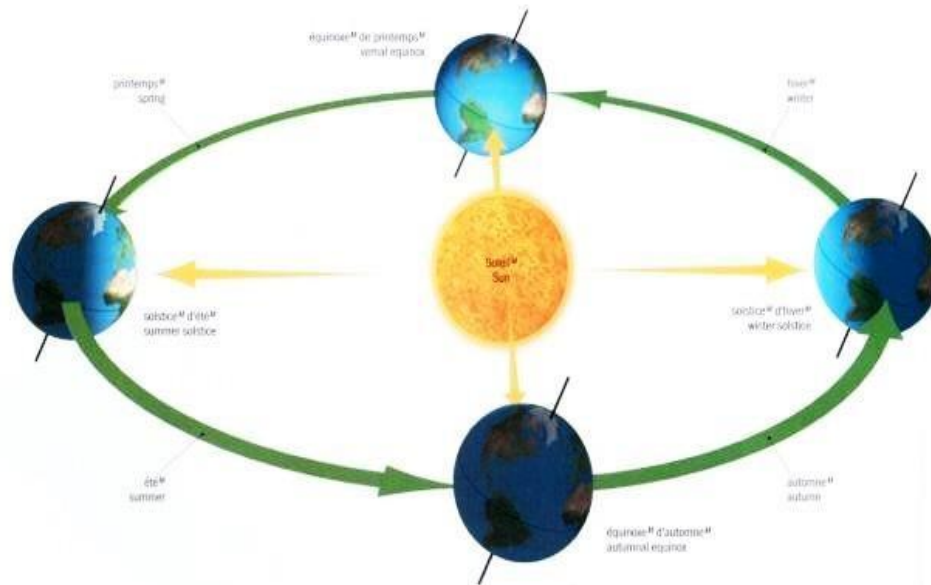


Figure 10 : Mouvements de la Terre.

III.7 Energie solaire

L'énergie solaire est une source d'énergie transmise par le Soleil sous la forme de lumière et de chaleur. Elle est propre, n'émet aucun gaz à effet de serre et sa matière première, le soleil bien que distant de plus de 150 millions de kilomètres de nous, est gratuite, inépuisable et disponible partout dans le monde au moins à l'échelle des temps humains.

L'énergie solaire peut être utilisée directement par l'Homme pour s'éclairer (fenêtres, puits de lumière), se chauffer et cuisiner (chauffe-eau solaire, four solaire) ou pour produire de l'électricité à partir de panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil captée par des panneaux solaires.

Indirectement, l'énergie solaire est aussi à l'origine de la plupart des énergies renouvelables et des hydrocarbures fossiles. Elle est en effet responsable de la mise en mouvement des masses d'eau (énergies marines) et d'air (énergie éolienne), du cycle de l'eau (énergie hydraulique) et de la photosynthèse (biomasse et hydrocarbures). Seuls trois types d'énergie ne découlent pas de l'énergie solaire : -l'énergie marémotrice ; -l'énergie géothermique ; - l'énergie nucléaire.

III.7.1 Modes d'exploitation de l'énergie solaire

Il existe principalement trois grandes voies d'exploitation de l'énergie solaire, soit elle est convertie directement en électricité grâce à la technologie photovoltaïque, ou bien indirectement à l'aide des concentrateurs solaires, soit elle est convertie en chaleur grâce aux collecteurs thermiques à basse température.

III.7.2 Electricité solaire thermodynamique

L'énergie solaire thermodynamique est l'un des modes de valorisation du rayonnement solaire direct. Cette technologie consiste à concentrer le rayonnement solaire à l'aide de collecteurs pour chauffer un fluide à haute température et produire ainsi de l'électricité (Figure I.10) ou alimenter en énergie des procédés industriels nécessitant des hautes températures.

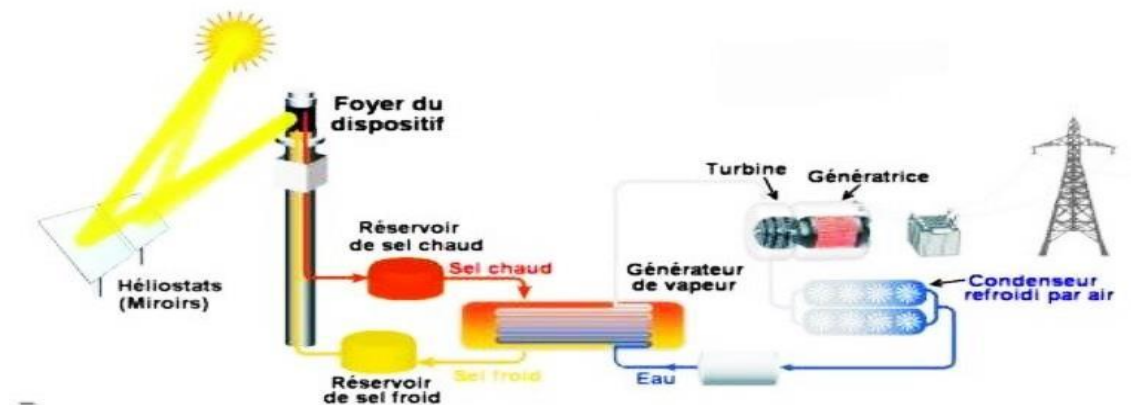


Figure 11 : Centrale solaire thermique

III.7.3 Energie solaire thermique

Le solaire thermique permet de récupérer la chaleur du rayonnement par la mise en œuvre de capteurs solaires qui transforment l'énergie solaire en chaleur transmise à son tour à un fluide caloporteur (de l'air, de l'eau, etc.). Ce fluide restitue la chaleur dans un ballon de stockage d'eau chaude par l'intermédiaire d'un échangeur. L'eau chaude ainsi produite et stockée dans le ballon tampon, peut être utilisée de jour comme de nuit (voir la Figure I.11)

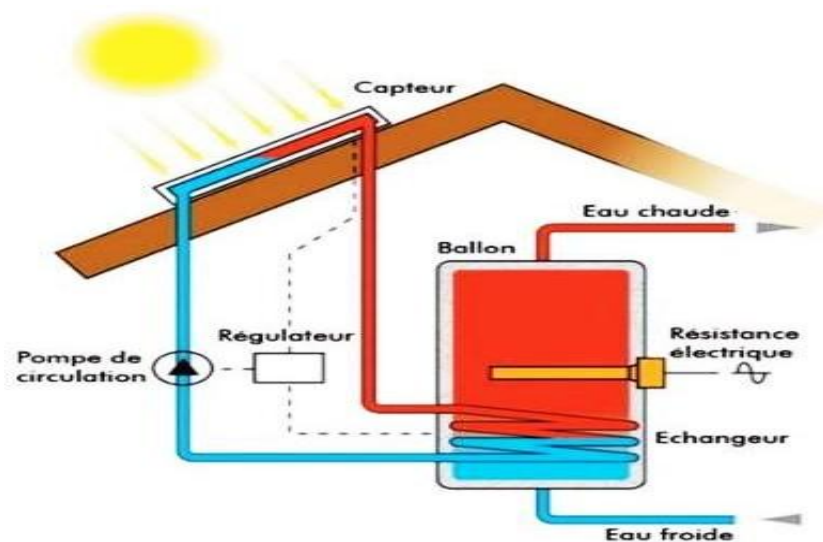


Figure 12 : Chauffe-eau solaire.

III.7.4 Electricité photovoltaïque

Les cellules solaires transforment les rayons du soleil en énergie électrique, sans déchets, sans bruit, et sans pollution. Cette technique s'appelle « photovoltaïque ». Elle représente un élément important de l'approvisionnement en énergie du futur (voir la Figure I.12).

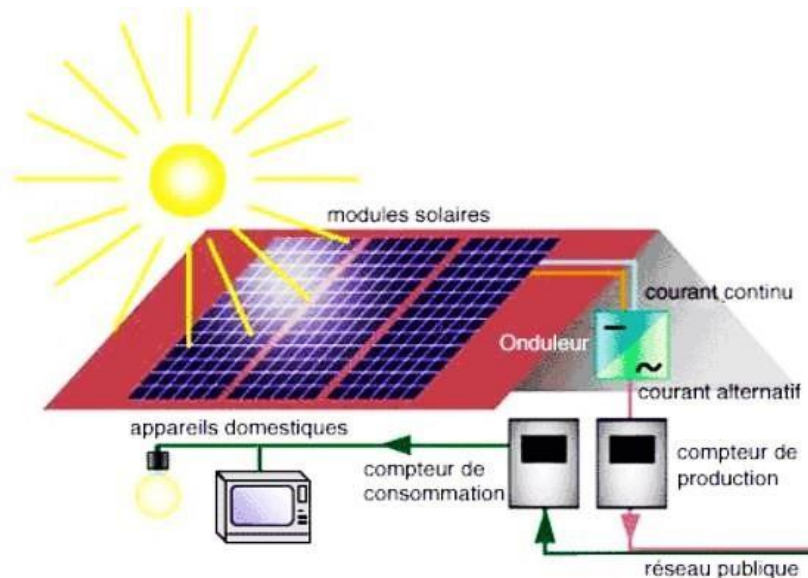


Figure 13 : Panneaux photovoltaïques.

Plusieurs cellules reliées entre elles forment un module ou capteur solaire photovoltaïque et ces modules regroupés entre eux forment une installation solaire. L'énergie solaire photovoltaïque (ou énergie photovoltaïque ou EPV) est une énergie électrique produite grâce à des panneaux ou des centrales solaires photovoltaïques. En fin de vie, le panneau photovoltaïque aura produit 20 à 40 fois l'énergie nécessaire à sa fabrication et à son recyclage. L'électricité produite est soit consommée ou stockée sur place, soit transportée par le réseau de distribution et de transport électrique.

IV. Conclusion :

L'énergie solaire est une source renouvelable abondante qui utilise la lumière du soleil pour produire de l'électricité sans émissions de gaz à effet de serre. Elle contribue à réduire la dépendance aux combustibles fossiles et à atténuer les impacts environnementaux du secteur énergétique. De plus, l'énergie solaire est largement disponible et peut être déployée efficacement dans de nombreuses régions du monde. Son adoption croissante favorise la création d'emplois verts et stimule l'innovation technologique pour rendre cette source d'énergie encore plus compétitive et accessible.

:

Chapitre 3

Conception et mise en œuvre d'un système de suivi solaire

I. Introduction

Dans cette partie nous présentons la procédure de réalisation de notre tracker solaire a base de la carte Arduino. Le dispositif électronique comprend deux servomoteurs, un circuit de commande Arduino MEGA. Le système d'orientation est basé sur la programmation en logiciel Arduino du déplacement du panneau solaire a des intervalles de temps prédéfinis (entre le lever et le coucher du soleil) conformément à la trajectoire du soleil au cours de la journée, de manière à garder la surface active du panneau perpendiculaire aux radiations solaires (angles incidence nulle).

I.1 Descriptions des composants du système solaire

I.1.1 Les Moteurs

I.1.1.1 Servomoteur

Les servomoteurs sont des moteurs un peu spécifiques, qui peuvent tourner avec liberté d'environ 180 degré et garder de manière relativement précise l'angle de rotation que l'on souhaite obtenir. On utilise des servomoteurs couramment en modélisme pour contrôler des systèmes mécaniques (gouverne d'avion, accélérateur de moteur thermique, etc.). les servomoteurs sont aussi couramment utilisés en robotique pour faire des minirobots, des actionneurs ou des indicateurs rotatifs. Il existe divers types de servomoteurs, de taille, poids et couple (force) différents.



Figure 14 : Servo moteur MG995

- **Composition d'un servomoteur**

Le servo-moteur MG995 est un composant électronique largement utilisé dans les applications de robotique, de modélisme et d'automatisation. Voici une description détaillée de sa composition :

- **Moteur à courant continu** : Le MG995 est équipé d'un moteur à courant continu (DC) qui fournit la puissance nécessaire pour entraîner le mécanisme interne.
- **Train d'engrenages** : Il contient un train d'engrenages métalliques qui réduit la vitesse de rotation du moteur tout en augmentant le couple de sortie. Cela permet d'obtenir un mouvement précis et puissant.
- **Circuit de commande électronique** : Le servo-moteur intègre un circuit de commande électronique qui interprète les signaux de commande (généralement des signaux PWM - modulation de largeur d'impulsion) pour ajuster la position de sortie.
- **Capteur de position (potentiomètre)** : Il dispose d'un capteur de position, souvent un potentiomètre, qui fournit une rétroaction sur la position actuelle de l'arbre de sortie. Cette rétroaction permet au circuit de contrôle de corriger toute erreur de positionnement.
- **Boîtier robuste** : Le servo-moteur est logé dans un boîtier robuste qui protège les composants internes contre les dommages physiques et environnementaux.
- **Connecteur de sortie** : À l'extérieur du boîtier, il y a généralement un connecteur à trois fils pour la connexion au système de contrôle. Ces fils sont généralement le fil de signal (PWM), le fil d'alimentation (pour le moteur) et le fil de mise à la terre.

I.1.1.2 Apparence :

On en trouve de toutes les tailles et de toutes les puissances. La plupart du temps la sortie peut se positionner entre 0 et 180 degrés. Il en existe également dont la sortie peut se débattre sur seulement 90 degrés et d'autres, ayant un plus grand débattement, sur 360 degrés. Ceux qui ont la possibilité de faire plusieurs tours sont souvent appelés **servo-treuils**. Enfin, les derniers, qui peuvent faire tourner leur axe sans jamais buter, sont appelés servomoteurs à rotation continue. Il est composé de plusieurs éléments visible tels que :

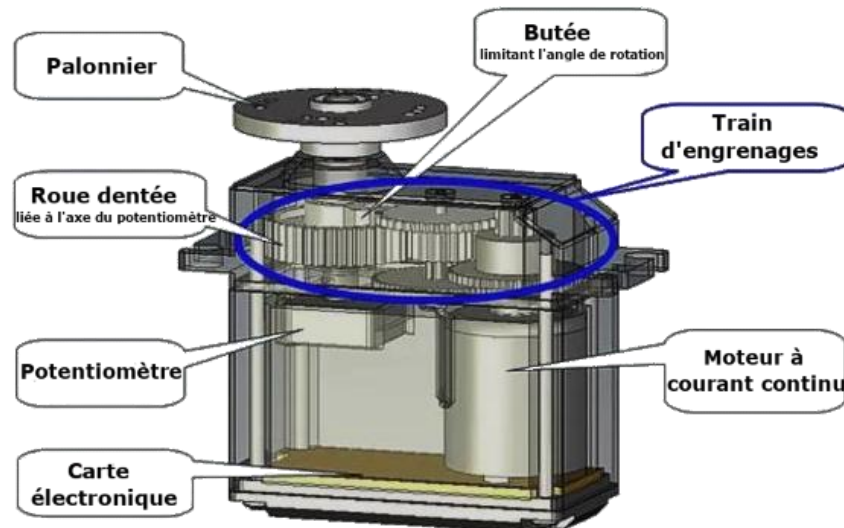


Figure 15 : Servomoteur MG995

Weight: 55 g

Dimension: 40.7 x 19.7 x 42.9 mm approx.

Stall torque: 8.5 kgf·cm (4.8 V), 10 kgf·cm (6 V)

Operating speed: 0.2 s/60° (4.8 V), 0.16 s/60° (6 V)

Operating voltage: 4.8 V to 7.2 V

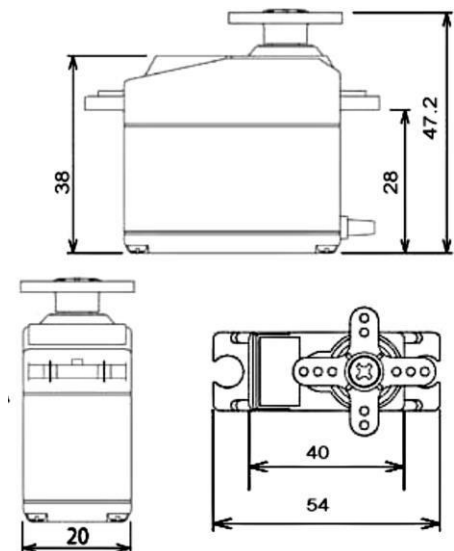
Dead band width: 5 μs

Stable and shock proof double ball bearing design

Temperature range: 0 °C – 55 °C

Rotation Angle: 120deg. (+- 60 from center)

Metal Gears for longer life



I.1.2 Les capteurs LDR

Les photorésistances trouvent leurs applications principales dans la détection d'une différence de lumière plutôt que dans la mesure précise du niveau de flux reçu (impulsions lumineuses, variation d'éclairage par exemple). La mesure en photométrie nécessite une détermination précise et une stabilisation des caractéristiques.

Cette stabilisation ainsi que la détermination de ces caractéristiques passent par un étalonnage rigoureux et l'intégration de la photorésistance dans un conditionneur de capteurs résistifs. Cependant, le type de rayonnement détectable dépend du type de semi-conducteur composant

la photorésistance. Par exemple, les photorésistances au CdSe (sélénure de cadmium) permettent de détecter un rayonnement dans les proches IR et le visible alors que celles de ZnO (oxyde de zinc) permettent de détecter un rayonnement UV. L'utilisation de ce type de détecteur est très variée.



Figure 16 : Capteur LDR et son symbole

➤ Principe de LDR.

Les capteurs LDR (Light Dependent Resistors) sont des dispositifs dont la résistance varie en fonction de l'intensité de la lumière incidente. Ce changement de résistance est dû à l'effet photoconducteur des matériaux semi-conducteurs utilisés, tels que le sulfure de cadmium (CdS) ou le sélénium (Se). Lorsque la lumière frappe le capteur LDR, les photons absorbés par le matériau libèrent des électrons dans la bande de conduction, réduisant ainsi la résistance du capteur. En conséquence, à faible luminosité, la résistance est élevée, tandis qu'à forte luminosité, la résistance diminue. Cette relation entre la résistance et l'intensité lumineuse suit généralement une courbe logarithmique. Les capteurs LDR sont utilisés dans diverses applications telles que les circuits d'éclairage automatique, les systèmes de contrôle de luminosité, les capteurs de lumière ambiante pour les dispositifs électroniques, et les systèmes de sécurité à détection de lumière. Ces capteurs offrent une solution simple et économique pour détecter et mesurer l'intensité lumineuse dans différents environnements.

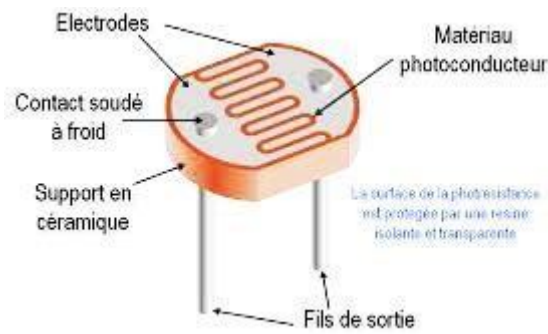


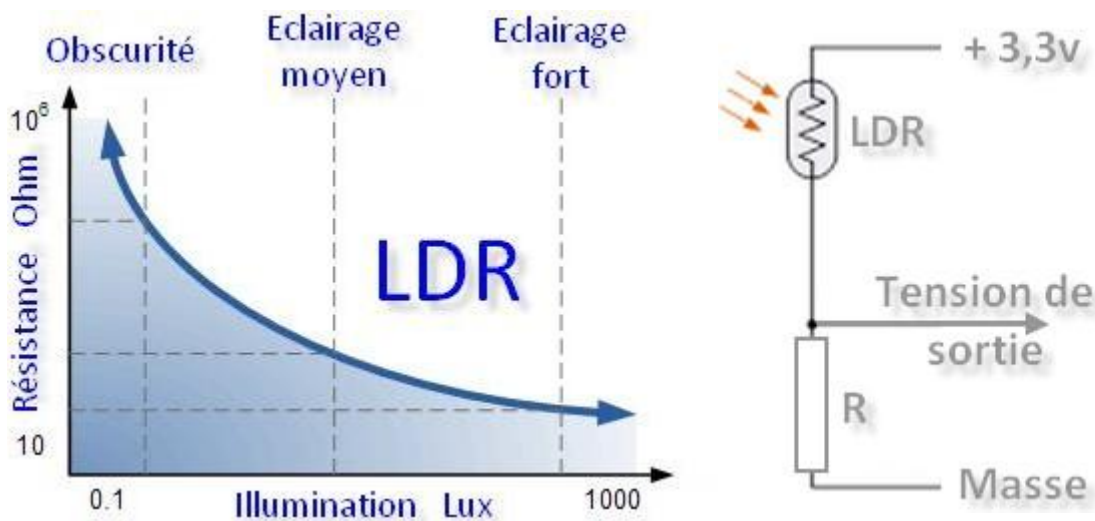
Figure 17 : Composants LDR

Une photorésistance est composée d'un semi-conducteur à haute résistivité. Deux électrodes sont séparées par ce matériau photoconducteur (en général du CdS sulfure de cadmium). La piste de CdS prend la forme d'un ruban présentant de nombreux virages, pour allonger la zone réagissant à la lumière. Ceci améliore la réponse de la photorésistance LDR.

Au-delà d'un certain niveau propre au matériau, les photons absorbés par le semi-conducteur communiquent aux électrons assez d'énergie, abaissant la résistance du matériau. Lorsque le photon incident est suffisamment énergétique, la production des paires électron-trou est d'autant plus importante que le flux lumineux est intense. La résistance évolue donc comme l'inverse de l'éclairement.

Les matériaux utilisés dans les photorésistances sont le plus souvent des composés des colonnes II-VI de la classification périodique des éléments. Pour une utilisation dans le domaine visible et à faible coût, on utilise le plus souvent le sulfure de cadmium (CdS) ou le séléniure de cadmium (CdSe). Pour des utilisations dans l'infrarouge on utilise le sulfure de plomb (PbS).

Variation de résistance



Dans l'obscurité, la résistance d'une LDR est proche de 1 M Ω . Avec un éclairage intense, la résistance chute fortement (quelques K Ω). Un pont diviseur permet de récupérer une tension qui sera directement le reflet de la lumière arrivant sur la LDR.

I.1.3 Les Cartes électroniques

I.1.3.1 Les cartes Arduino

Les cartes Arduino sont des plates-formes de développement matériel open-source largement utilisées pour créer des projets interactifs en électronique et programmation. Elles intègrent des microcontrôleurs et offrent des entrées/sorties numériques et analogiques pour interagir avec des composants externes tels que des capteurs, des actionneurs et des périphériques. L'IDE (Integrated Development Environment) convivial permet aux utilisateurs de programmer facilement les cartes Arduino en utilisant le langage C/C++. Les cartes Arduino sont accompagnées de nombreuses extensions appelées "shields" qui ajoutent des fonctionnalités supplémentaires comme le contrôle de moteurs, la communication sans fil ou l'affichage. Grâce à leur facilité d'utilisation, leur documentation détaillée et leur grande communauté, les cartes Arduino sont utilisées dans une variété d'applications, de l'apprentissage et l'expérimentation à des projets professionnels avancés en robotique, IoT, automatisation et plus encore.

➤ **Présentation de la carte Arduino :**

La carte Arduino Mega est une plateforme de développement matériel basée sur un microcontrôleur ATmega2560. Elle offre une variété d'entrées/sorties (E/S) numériques et analogiques, ainsi que des fonctionnalités étendues par rapport à l'Arduino Uno, ce qui en fait un choix idéal pour les projets nécessitant une grande quantité d'E/S ou des capacités de traitement plus avancées. Voici une présentation détaillée de la carte Arduino Mega :

- **Caractéristiques :** Elle dispose de 54 broches numériques d'E/S (dont 15 peuvent être utilisées comme sorties PWM), 16 entrées analogiques, 4 ports UART (interfaces de communication série), un port USB, un connecteur d'alimentation, un oscillateur en céramique, et bien plus encore.
- **Mémoire :** La mémoire flash de l'ATmega2560 est de 256 Ko, avec 8 Ko utilisés par le bootloader. Elle dispose également de 8 Ko de mémoire SRAM et 4 Ko de mémoire EEPROM pour le stockage de données.
- **Extensions :** La carte Arduino Mega est compatible avec de nombreux shields (cartes d'extension) conçus pour l'Arduino Uno, ce qui permet d'étendre ses fonctionnalités avec des modules supplémentaires tels que des capteurs, des actionneurs, des écrans, etc.
- **Tension de fonctionnement :** La carte Arduino Mega fonctionne à une tension de 5 volts, ce qui est compatible avec la plupart des composants électroniques couramment utilisés.
- **Applications :** La carte Arduino Mega est adaptée à une variété d'applications, y compris les projets robotiques, les systèmes de contrôle automatisés, les applications IoT (Internet des objets), les simulateurs de vol, les imprimantes 3D et d'autres projets nécessitant un grand nombre d'E/S et une puissance de traitement supérieure.

En résumé, la carte Arduino Mega est une plateforme puissante et polyvalente adaptée aux projets électroniques avancés nécessitant de nombreuses entrées/sorties et une capacité de traitement étendue. Son microcontrôleur ATmega2560 et ses nombreuses fonctionnalités en font un outil précieux pour les makers et les ingénieurs travaillant sur des projets complexes et ambitieux.

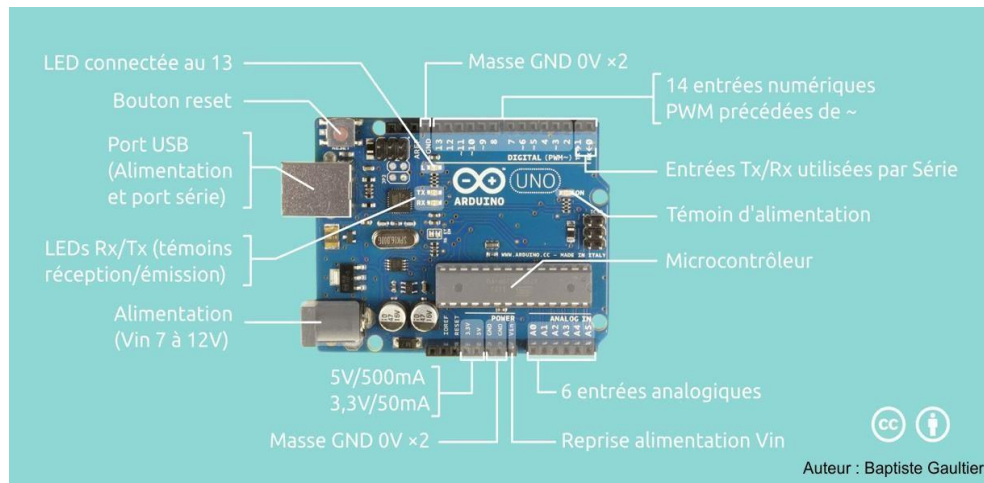


Figure 18 : Arduino Uno

➤ Le microcontrôleur :

C'est le cerveau de notre carte. Il va recevoir le programme que nous allons créer et va le stocker dans sa mémoire avant de l'exécuter. Grâce à ce programme, il va savoir faire des choses, qui peuvent être : faire clignoter une LED, afficher des caractères sur un écran, envoyer des données à un ordinateur, mettre en route ou arrêter un moteur. La carte Arduino Mega est basée sur le microcontrôleur ATmega2560, qui fonctionne à une tension de 5 volts.

I.1.4 Alimentation

I.1.4.1 Les câbles

Les câbles jumper, également appelés fils de pontage ou fils dupont, sont des fils électriques courts munis de connecteurs à chaque extrémité. Ils sont souvent utilisés pour établir des connexions temporaires entre différents points sur une carte électronique ou un breadboard (plaque d'expérimentation). Voici leur définition, leur rôle et leurs applications :

I.1.4.2 Définition :

Les câbles jumper sont des fils isolés munis de connecteurs à chaque extrémité, généralement des connecteurs mâles de type broches (comme des connecteurs Dupont). Ces fils sont flexibles et faciles à manipuler, ce qui les rend idéaux pour les connexions temporaires et les prototypages électroniques.

I.1.4.3 Rôle :

Le rôle principal des câbles jumper est d'établir des connexions électriques temporaires entre différents composants électroniques tels que des microcontrôleurs, des capteurs, des LED, des

résistances, etc. Ils permettent de relier facilement les broches de ces composants sans avoir besoin de souder, ce qui facilite le prototypage et les tests.

- **Applications :**

- **Prototypage électronique :** Les câbles jumper sont largement utilisés lors du prototypage de circuits électroniques sur un breadboard. Ils permettent de connecter rapidement et de manière réversible les composants entre eux pour tester des concepts et des designs.
- **Connexions temporaires :** Ils sont utilisés pour effectuer des connexions temporaires entre différents modules électroniques lors du développement de projets, permettant ainsi de réorganiser facilement les connexions en cas de besoin.
- **Dépannage et tests :** Les câbles jumper sont utiles pour effectuer des tests et des mesures sur des circuits électroniques en reliant différents points de test ou en court-circuitant des sections spécifiques du circuit.
- **Éducation et apprentissage :** Les câbles jumper sont largement utilisés dans les environnements éducatifs pour enseigner les concepts d'électronique et de prototypage aux étudiants, car ils simplifient le processus de création de circuits sans nécessiter de compétences avancées en soudure.

En résumé, les câbles jumper sont des outils polyvalents et indispensables pour les ingénieurs, les makers et les amateurs d'électronique. Leur facilité d'utilisation et leur capacité à établir rapidement des connexions électriques temporaires en font un élément essentiel dans le processus de développement et de test de projets électroniques.

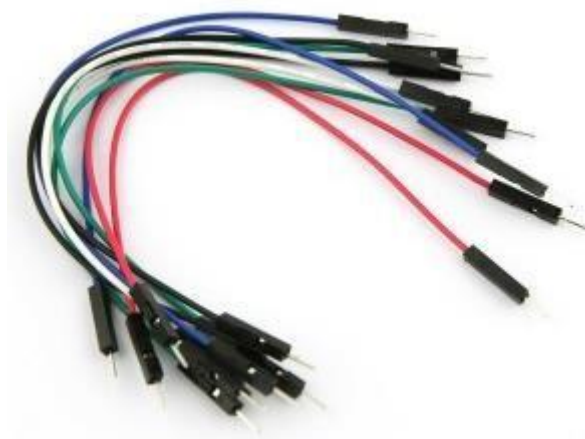


Figure 19 : Jumper câble

I.1.5 La plaque de test :

Une plaque de test électronique, également appelée breadboard, est un outil essentiel pour les ingénieurs électroniques et les hobbyistes. Une plaque de test électronique est un dispositif sans soudure utilisé pour assembler des circuits électroniques temporaires. Elle est composée d'une base en plastique avec des rangées de petits trous métalliques connectés électriquement sous la surface. Ces trous permettent d'insérer et de connecter facilement des composants électroniques tels que des résistances, des condensateurs, des transistors, des LED, etc., sans nécessiter de soudure.

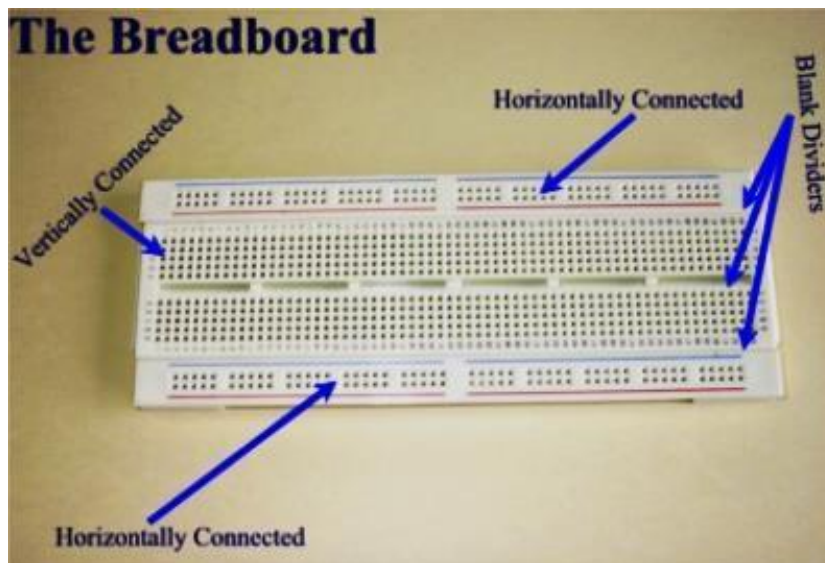


Figure 20 : Breadboard

I.2 Simulation d'un prototype sur Proteus 8 pro

I.2.1 Circuit de commande sur ISIS

Pour la réalisation du prototype, Nous nous sommes servis de la carte électroniques Arduino MEGA 2560, des fils jumper, une platine d'essai et un petit panneau solaire de 2V, Cette carte est incluse dans le logiciel Arduino IDE. Nous avons utilisé quatre LDR dont deux pour le réglage de l'angle d'inclinaison et les deux autres pour le réglage de l'angle d'azimut. Nous avons également utilisé deux servomoteurs TOWER PRO MG995 dont l'un pour l'angle d'inclinaison et l'autre pour l'angle d'azimut. Le circuit de commande réalise sur le logiciel est le suivant :

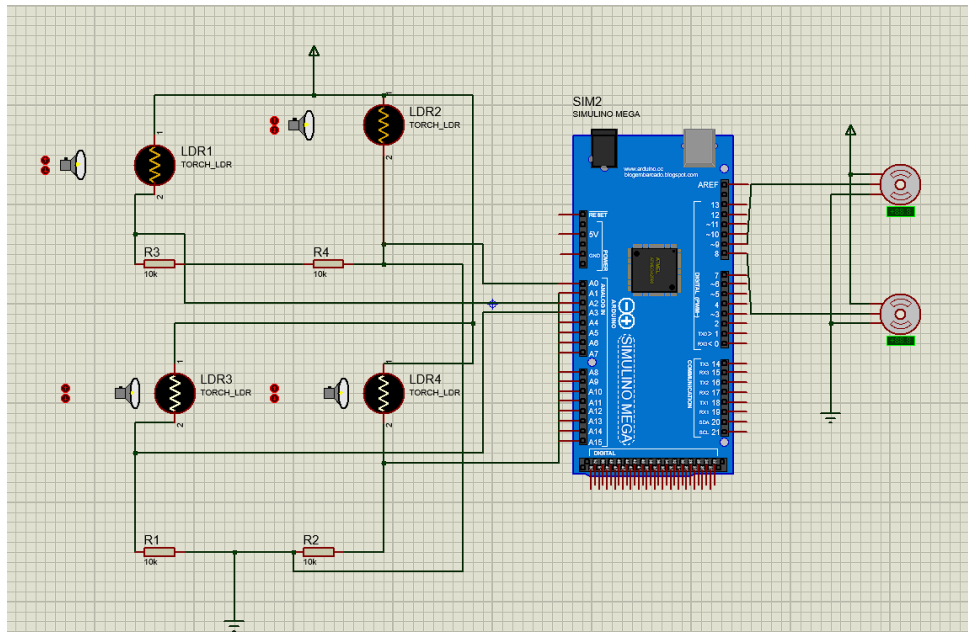


Figure 21 : Conception sur ISIS

I.2.2 Conception mécanique sur Catia V5

Nous avons utilisé le logiciel Catia pour la conception du mécanisme. Pour faciliter sa compréhension par d'autres techniciens nous avons effectué des dessins selon la norme ISO des différentes pièces suivant différentes directions d'observation. Le mécanisme que nous avons conçu est en fonction des dimensions de notre panneau.

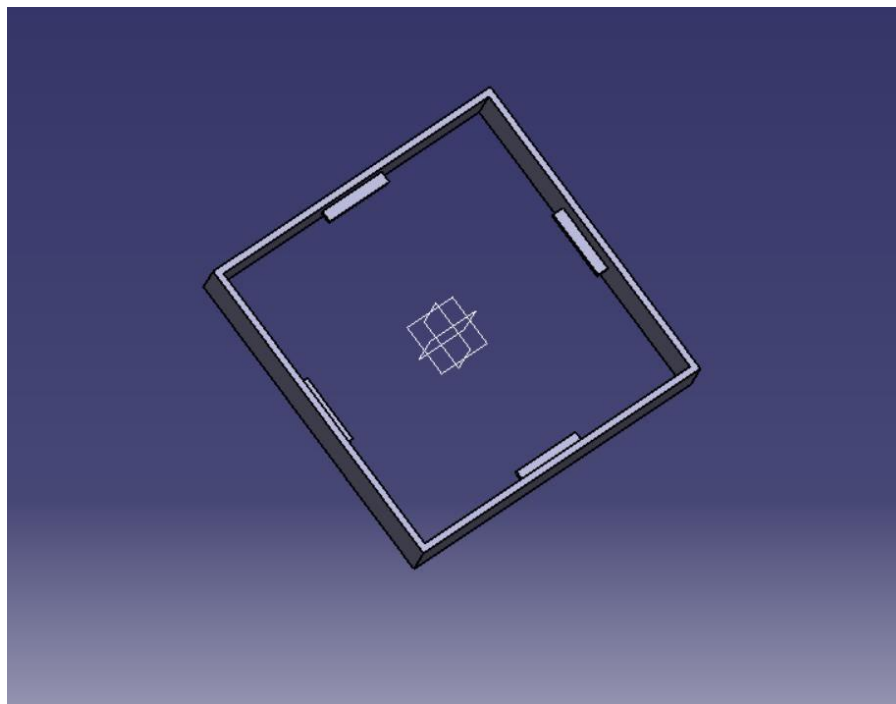


Figure 22 : Dessin 3D du Cadre de panneau solaire

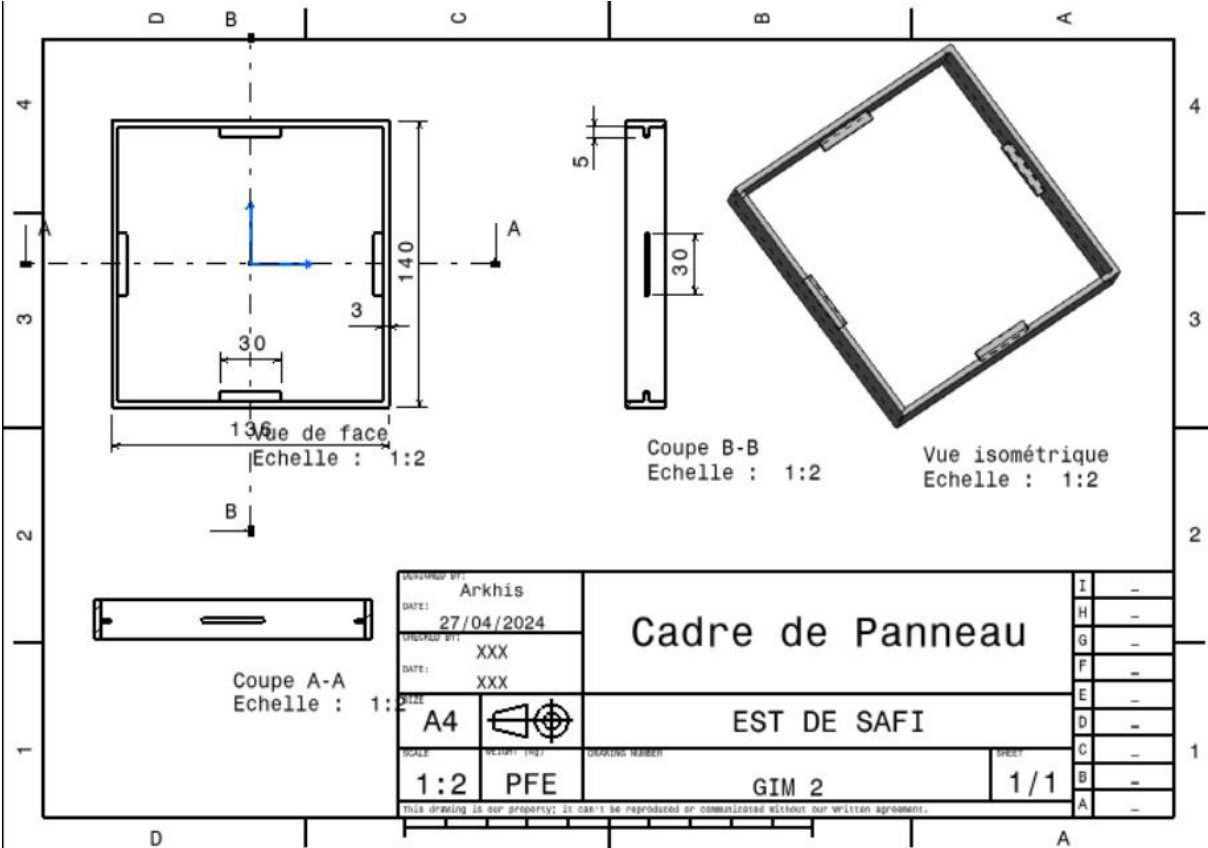


Figure 23 : Dessin de cadre

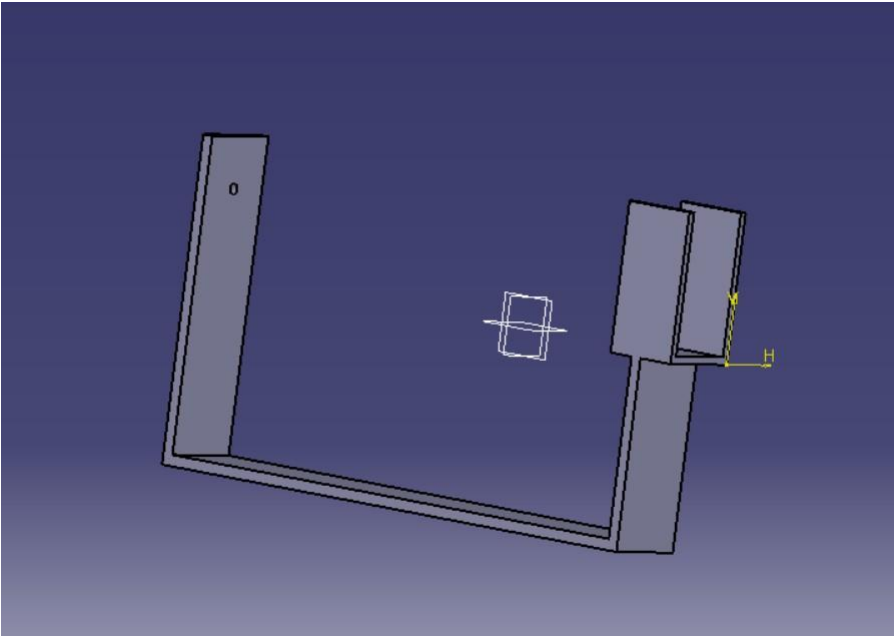


Figure 24 : Dessin 3D du Support de servo 1

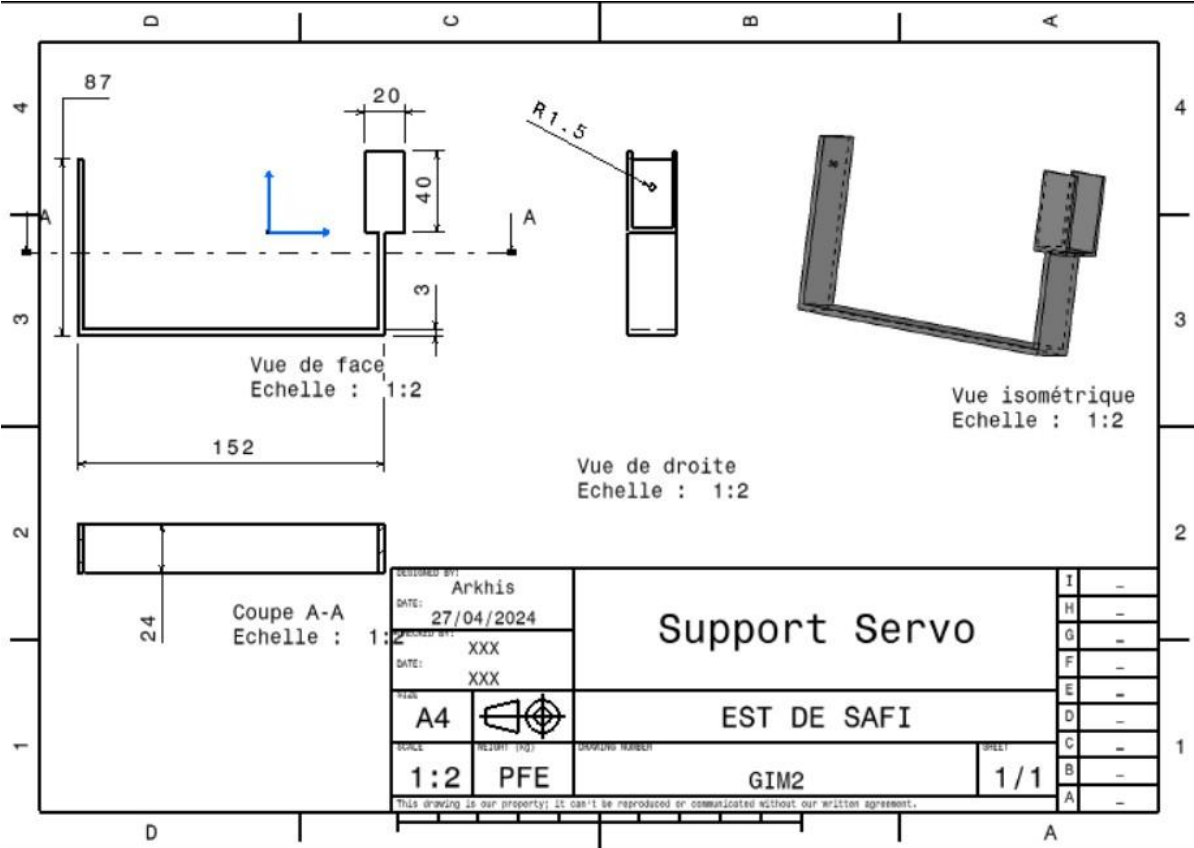


Figure 25 : Dessin du support

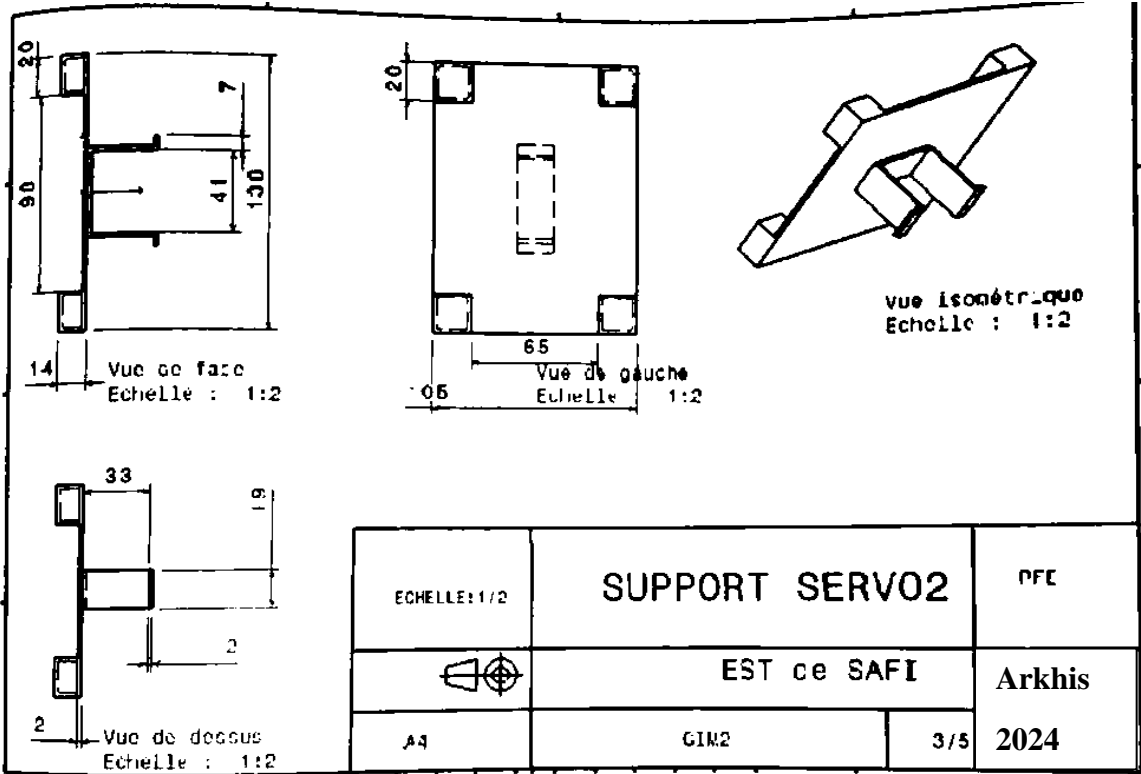


Figure 26 : Support Servo 2

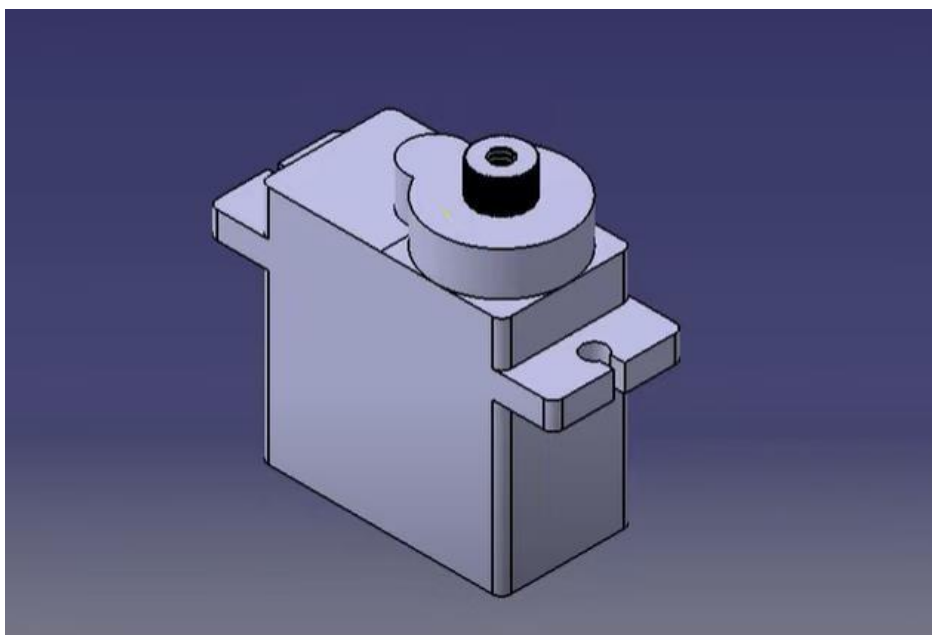


Figure 27 : Serrvomoteur MG995

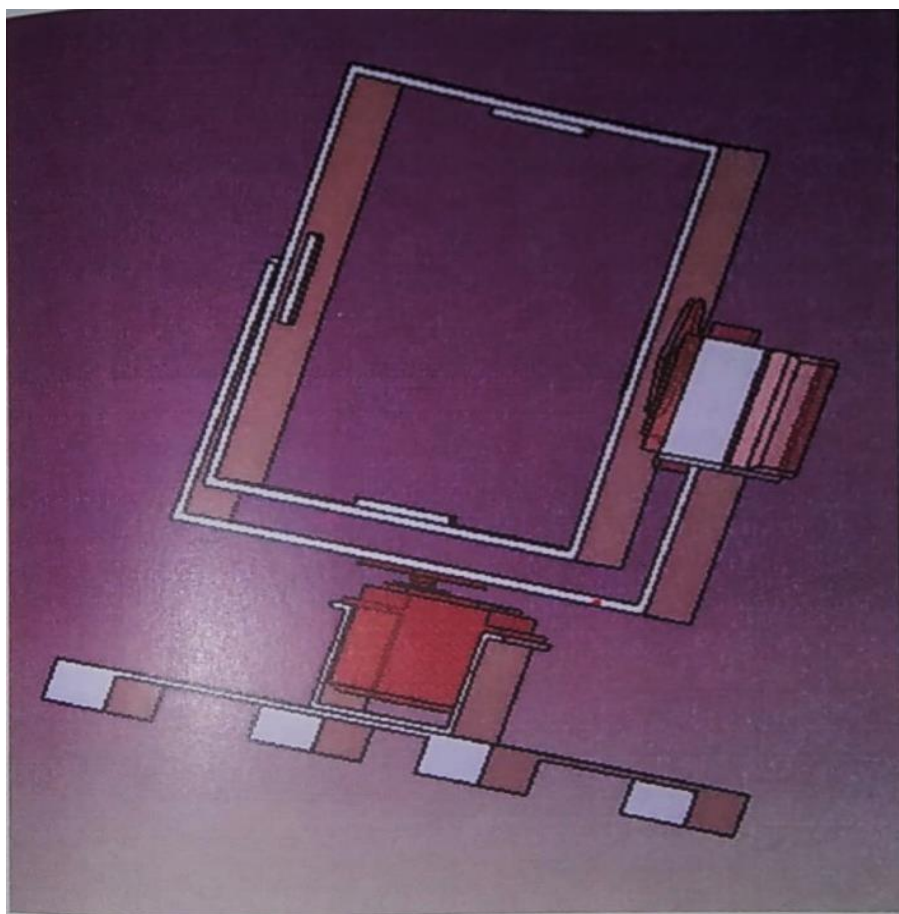


Figure 28 : Tracker solaire double axes

I.3 Réalisation de la mécanisme tracker solaire

I.3.1 Mécanisme réaliser

Après avoir réalisé la partie commande, nous avons conçu un mécanisme simple qui puisse supporter notre panneau et nous permettre de réaliser les différents mouvements nécessaires pour le suivi du soleil. Pour cette réalisation nous avons utilisé une barre plane d'acier d'épaisseur 3mm et aussi une tôle en acier d'épaisseur 2mm dont les dimensions sont décrites dans le dessin de définition.

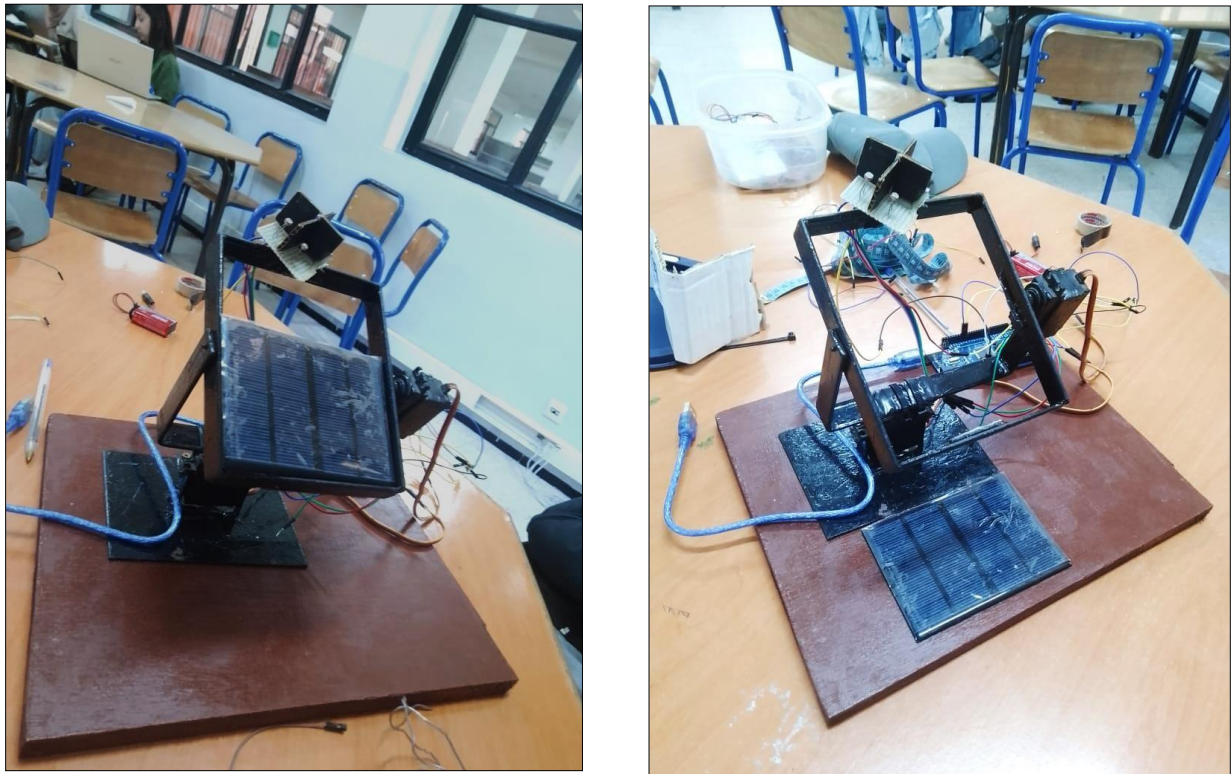


Figure 29 : Tracker solaire

I.3.2 Les composants utilisés pour le tracker

N°	DESIGNATION	Quantité	Description	Prix (MAD)
1	Carte Arduino MEGA	01	Tension 3.3-5V	220
2	Photorésistance	04	100kΩ	10

3	Résistance	04	10k Ω	6
4	Servomoteur	02	MG995 Tension : 4.8-6.6V Poids : 55g Vitesse : 60deg/0.16s Couple : 9.4kg.cm(4.8V) Puissance max : 7.2 w	160
5	Plaque d'essai	01	300 pts	25
6	Panneau solaire	01	Tension : 2V Puissance : 1W	

Tableau 1 : Composants du tracker solaire

II. Conclusion

La réalisation du tracker solaire nécessite un bon choix du composant électronique utilisé pour ne pas compliquer le principe de commande et pour réduire la consommation de l'énergie consommée par le tracker. Pour conclure, nous pouvons dire que nous avons réussi à réaliser le principal objectif de ce projet, soit monter et faire fonctionner un tracker solaire, s'adaptant aux trajectoires de lumière afin d'en récupérer le maximum possible.

CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce rapport porte sur la « Réalisation d'un Tracker Solaire à Base d'une carte Arduino MEGA 2560 >> à l'aide des composants électroniques programmable gérés par un microcontrôleur. Le but de ce travail réside dans la mise en œuvre d'une solution technique permettant de transformer un panneau photovoltaïque fixe en un panneau mobile afin d'améliorer son rendement. Pour cela, le système que nous avons pu réaliser s'est avéré capable de suivre la position du soleil et fonctionnel aux environ de 100% ou avec quelques imperfections, malgré les problèmes rencontrés durant la réalisation. Ce projet de fin d'études était pour nous l'occasions pour examiner les connaissances acquises au cours de notre cursus et de faire un travail multidisciplinaire, associant l'instrumentation, l'électronique, la mécanique, la programmation et les énergies renouvelables et même le travail en collaboration avec des étudiants d'autre département. En perspective, on souhaite d'améliorer notre instrument on lui ajoutant des systèmes de protection contre le changement brusque du climat et qu'il soit autonome.

BIBLIOGRAPHIE

➤ Les sites web

- * <https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/le-developpement-durable/l-epuisement-des-ressources>
- * <https://energieplus-lesite.be/theories/climat8/ensoleillement-d8/>
- * Jean jacques, Beziane (18 Nov.2012) - L'énergie solaire,
- * K. Kassmi, M. Hamdaoui et F.Olivie, «Conception et modélisation d'un système photovoltaïque adapté par une commande MPPT analogique Université Mohamed Boudiaf, Oran, Décembre 2007.
- * Thomas B. Greenslade, Jr., « Heliostats», Jules-Célestin Jamin - « Cours de physique de l'École polytechnique. Tome 3 - Fasc. 2» Gauthier-Villars et fils(Paris)-1885-1906.
- * Mr Arafa Kaddouri, « Conception et réalisation d'un suiveur solaire à deux axes». Projet de fin d'étude, Université sidi Mohammed ben Abdallah, Fès, Maroc 2015.
- * DHARYF ILIAS, « Optimisation du rendement énergétique d'un panneau solaire par un support suiveur » Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, Fès, Maroc, 2014.
- * DHARYF ILIAS, « Optimisation du rendement énergétique d'un panneau solaire par un support suiveur Université Sidi Mohamed Ben Abdallah, Fès, Maroc, 2014.
- * < <https://www.energieplus-lesite.be/index.php?id=16690> ».
- * http://arduino.education/wp-content/uploads/2018/01/Arduino_cours.pdf
- * <https://www.technologuepro.com/cours-circuits-numeriques/Chapitre4%20CN.pdf>
- * https://www.carnetdumaker.net/uploads/img_attachments/large/P1000500_recadre.jpg
- * <http://ericaeromodelisme974.unblog.fr/2011/06/04/le-servomoteur/>
- * https://zestedesavoir.com/tutoriels/686/arduino-premiers-pas-en-informatique-embarquee/747_le-mouvement-grace-aux-moteurs/3438_un-moteur-qui-a-de-la-tete-le-servomoteur/#1-10705_principe-du-servomoteur
- * M.TABOUI, « commande d'éclairage public avec afficheur de température », PFE Licence, ISET, 2010
- * [Dfp.in2p3.fr/Debat/Debat-energie/web SFP/livet-elect-htlm](http://Dfp.in2p3.fr/Debat/Debat-energie/web_SFP/livet-elect-htlm)

ANNEXE

Programme Sur Arduino IDE :

```
#include <Servo.h>

Servo myservo1, myservo2;
int LDR1 = A0, LDR2 = A1, LDR3 = A2, LDR4 = A3;
int rRDL1 = 0, rRDL2 = 0, rRDL3 = 0, rRDL4 = 0;
int max1=0, max2=0, max3=0;
int ser1 = 80, ser2=0;

void setup() {
  myservo1.attach(9);
  myservo2.attach(8);

  Serial.begin(9600);
  myservo1.write(ser1);
  myservo2.write(100);
}

void loop() {

  rRDL1 = analogRead(LDR1) / 100;
  rRDL2 = analogRead(LDR2) / 100;
  rRDL3 = analogRead(LDR3) / 100;
  rRDL4 = analogRead(LDR4) / 100;

  max1 = max(rRDL1, rRDL2);
  max2 = max(rRDL3, rRDL4);
  max3 = max(max1, max2);

  //Serial.println(String(max3));
  //Serial.println(String(rRDL1) +", "+String(rRDL2) +", "+String(rRDL3) +", "+String(rRDL4));

  if(rRDL1<max3 && rRDL2<max3)
  {
    if(ser1<140)
      ser1+=1;
    myservo1.write(ser1);
  }
  if(rRDL3<max3 && rRDL4<max3)
  {
    if(ser1>0)
```

```
        ser1-=1;
        myservo1.write(ser1);
    }

    if(rRDL2<max3 && rRDL3<max3)
    {
        Serial.println("servo2 +" + String(ser2));
        if(ser2<180)
            ser2+=1;
        myservo2.write(ser2);
    }
    if(rRDL1<max3 && rRDL4<max3)
    {
        Serial.println("servo2 -" + String(ser2));
        if(ser2>0)
            ser2-=1;
        myservo2.write(ser2);
    }
    delay(15)
```