



République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Kasdi Merbah - Ouargla
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Mécanique



Mémoire présentée pour l'obtention du diplôme de

Master Académique

Domaine : Sciences et techniques

Filière : Electromécanique

Spécialité : Maintenance Industrielle

Thème

CONTRIBUTION A LA REDUCTION DU COUT DES CHAMPS SOLAIRE

Présenté par :

Abdellah MIDOUN

Abdessettar GHETTAS

Soutenu publiquement le : 25 Juin 2019

Devant le jury :

Président	Mr Abdelaziz KHEIREDDINE	MCB	UKM Ouargla
Examineur	Mr Moussa GUEBAILIA	MCA	UKM Ouargla
Encadreur	Mr Mehdi KHALFI	MAA	UKM Ouargla

Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à ma mère et mon père
pour tout ce qu'ils ont fait pour que je puisse arriver
à ce niveau.*

*Je le dédie à mes frères et sœurs, et je les remercie
pour leurs encouragements et leurs aides, et à toute
ma grande famille.*

A tous mes amis sans citer les noms.

*A tous ceux qui aiment Abdessettar GHETTAS et
ceux que Abdessettar aime.*

GHETTAS Abdessettar

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à toutes les personnes qui m'ont aidé de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire de master plus particulièrement :

- *A mes très chers parents, tout mon respect et affection en témoignage de leur soutien, sacrifice, patience, ainsi que pour leurs conseils et orientations dans ma vie.*
- *A mes chers frères, A mes chères sœurs.*
 - *Toute la famille MIDOUN.*
 - *A tous mes enseignants.*
 - *A tous mes amis sans citer les noms.*
- *La promotion de 2^{ème} année master Maintenance Industrielle, sa présence, ces précieux moments.*

MIDOUN Abdellah

Remerciements

Le travail présenté dans ce mémoire a été effectué au département génie Mécanique de l'université KASDI MERBAH-OUARGLA

Nos remerciements vont tout premièrement à Dieu tout puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

Nous tenons également à exprimer no vif remerciement à notre encadreur Mr. Mehdi KHALFI pour avoir d'abord proposé ce sujet, pour le suivi continue tout au long de la réalisation de ce mémoire et qui n'a pas cessé de nous prodiguer ses conseils et remarques.

Nos sincères remerciements à messieurs les membres du jury, Mr. Moussa GUEBAILEIA et Mr. Abdelaziz KHEIREDDINE pour l'honneur qu'ils nous ont fait en participant au jugement de ce travail.

Nos remerciements vont aussi à tous les enseignants du département de Génie Mécanique qui ont contribué à notre formation.

Sans oublier de remercier Mr. El-arbi MIDOUN pour sa contribution à la réalisation des pièces de tournage, ses conseils et son temps précieux qui nous a donné malgré ses occupations.

Enfin, nous tenons à exprimer notre reconnaissance à tous nos amis et collègues pour leur soutien moral et matériel.

.

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I SOURCES D'ENERGIES ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX	3
I.1 INTRODUCTION	3
I.2 ENERGIES NON-RENOUVELABLES	3
I.2.1 Le Charbon	4
I.2.2 Le Pétrole	5
I.2.3 Le gaz naturel	5
I.2.4 L'énergie nucléaires	5
I.3 IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX DES ENERGIES FOSSILES.....	6
I.3.1 L'effet de serre.....	6
I.3.2 Les pluies acides	7
I.3.3 Destruction de la couche d'ozone	7
I.4 LES ENERGIES RENOUVELABLES	8
I.4.1 Energie éolienne	8
I.4.2 La Biomasse	8
I.4.3 L'énergie solaire	9
I.4.3.1 Les centrales solaires à tour	9
I.4.3.2 Energie solaire photo thermique	9
I.4.3.3 Energie solaire photovoltaïque	10
I.4.3.4 Avantages et inconvénients de l'énergie solaire	10
I.5 LA RESSOURCE SOLAIRE.....	11
I.5.1 Le mouvement du globe terrestre	11
I.5.2 La sphère céleste.....	12
I.5.3 Les coordonnées géographiques terrestres	12
I.5.3.1 La latitude (φ)	12
I.5.3.2 La longitude (l)	12
I.5.4 La position du soleil.....	13
I.5.4.1 Les coordonnées équatoriales	13
I.5.4.2 Les coordonnées horizontales	14
I.5.5 Les temps solaires	15

I.5.5.1	Le temps solaire vrai (TSV)	15
I.5.5.2	Le temps solaire moyen (TSM)	15
I.5.5.3	Le temps universel (TU).....	16
I.5.5.4	Le temps légal (TL).....	16
I.6	LE RAYONNEMENT SOLAIRE AU NIVEAU DU SOL.....	16
I.6.1	Le rayonnement direct.....	17
I.6.2	Le rayonnement diffus	17
I.6.3	Le rayonnement dû à l'albédo	17
I.6.4	Le rayonnement global.....	17
I.7	L'ENERGIE SOLAIRE EN ALGERIE	18
CHAPITRE II	ETAT DE L'ART DES HELIOSTATS	20
II.1	INTRODUCTION	20
II.2	DEFINITIONS.....	20
II.2.1	Héliostat.....	20
II.2.2	Champ d'héliostats.....	20
II.3	HISTOIRE DE L'HELIOSTAT	21
II.4	PRINCIPAUX COMPOSANTS DE L'HELIOSTAT	21
II.4.1	Miroirs (Reflétant)	22
II.4.2	Structure de support	22
II.4.3	Pylône et fondation	23
II.4.4	Systèmes de contrôle.....	23
II.4.5	Système d'entraînement	23
II.5	TYPE DES HELIOSTATS	25
II.5.1	Selon la nature des mouvements.....	25
II.5.2	Selon le type du récepteur	25
II.5.2.1	L'héliostat ponctuelle.....	25
II.5.2.2	L'héliostat linéaire	26
II.6	CONCEPTION MECANIQUE D'HELIOSTATS	27
II.6.1	Les différents états d'un héliostat en cours de fonctionnement	27
II.6.2	L'angle héliostat/récepteur	28
II.6.3	Erreurs et facteurs de perte	28
II.7	QUELQUE HELIOSTATS DEJA EN SERVICE.....	30
II.7.1	Héliostat ASUP 140	30
II.7.2	Héliostat d'eSolar.....	31

II.7.3	Héliostat de suspension (Solaflect Energy).....	32
II.7.4	Héliostat de Google.....	32
II.7.5	Héliostat de l'URAER.....	33
II.7.6	Héliostat de SENER.....	33
II.7.7	Héliostat de CSIRO.....	34
CHAPITRE III ETUDE ET CONCEPTION D'UN NOUVEL HELIOSTAT.....		35
III.1	INTRODUCTION.....	35
III.2	LA CONCEPTION ASSISTE PARAMETRIQUE.....	35
III.3	NOUVELLE CONCEPTION PROPOSEE.....	36
III.3.1	Cahier des charges.....	36
III.3.2	La conception proposée.....	37
III.3.2.1	Idées principales.....	37
III.3.2.2	Avantages et points forts.....	38
III.3.3	Dessin des différentes pièces sous SolidWorks.....	39
III.3.3.1	Fondation et Pylône.....	39
III.3.3.2	Le Corps.....	40
III.3.3.3	Le Support du miroir.....	41
III.3.3.4	Pièces auxiliaires.....	41
III.3.3.5	Assemblage global.....	42
III.3.4	Analyse de la résistance de la structure.....	43
III.3.5	L'entraînement.....	47
III.3.6	Les tendeurs.....	49
III.3.7	Les capteurs d'angle.....	50
III.3.8	Algorithme de fonctionnement.....	51
III.3.9	Détermination des temps d'actionnement des motoréducteurs.....	54
III.3.9.1	Mouvement d'élévation.....	54
III.3.9.2	Mouvement azimut.....	54
CHAPITRE IV REALISATION D'UN PROTOTYPE.....		56
IV.1	INTRODUCTION.....	56
IV.2	PIECES REALISER PAR SOUDAGE :.....	56
IV.3	FABRICATION DES PIECES DE REVOLUTION PAR TOURNAGE :.....	57
IV.4	LES PIECES D'ACHAT.....	57
IV.5	L'ASSEMBLAGE GLOBAL.....	58
IV.6	PRIX DE REVIENT APPROXIMATIF.....	59

IV.7 CONCLUSION	59
Conclusion Générale.....	60
Bibliographie	62
Annexes	65

Liste des figures

Figure I.1 : Production d'énergie mondiale	4
Figure I.2 : Centrale à tour.....	9
Figure I.3 : Variation saisonnière du rayonnement solaire.....	12
Figure I.4 : Coordonnées géographiques.....	13
Figure I.5 : Coordonnées équatoriales.....	14
Figure I.6 : Coordonnées horizontales.....	15
Figure I.7 : Equation de temps.....	16
Figure I.8 : Différents types de rayonnement	18
Figure II.1 : Un champ d'héliostats.....	21
Figure II.2 : Différent composants de l'héliostat	22
Figure II.3 : Mécanisme d'entraînement SENER pour l'héliostat Gemasolar.....	23
Figure II.4 : Un actionneur linéaire, rotatif pour les commandes de conception de suivi solaire	24
Figure II.5 : Distribution des contraintes dans un héliostat, système d'entraînement azimutal. ...	24
Figure II.6 : Type des mouvements de l'héliostat.....	25
Figure II.7 : Héliostat à central à tour (à gauche) et parabolique (à droite).....	26
Figure II.8 : l'héliostat à central solaire cylindro-parabolique et à miroirs de Fresnel	26
Figure II.9 : le schéma cinématique d'un héliostat azimut-élévation.....	27
Figure II.10 : Les pertes dans le flux incident.....	29
Figure II.11 : Représentation des effets des facteurs de pertes.....	29
Figure II.12 : Les principaux paramètres influant sur le rendement de l'héliostat.....	30
Figure II.13 : héliostat ASUP 140 : vue de face et vue arrière	31
Figure II.14 : Héliostats d'eSolar de 2 m ²	31
Figure II.15 : héliostat Solaflect	32
Figure II.16 : concept de Google d'un héliostat à fils	32
Figure II.17 : Héliostat d'URAER	33

Figure II.18 : Héliostat de SENER de 175.7 m ²	34
Figure II.19 : Entraînement linéaire pour l'héliostat de CSIRO.....	34
Figure III.1 : Les trois concepts de base SolidWorks.....	36
Figure III.2 : Esquisse expliquant la conception proposée.	38
Figure III.3 : L'ensemble Pylône avec une vue éclatée.....	40
Figure III.4 : Les différentes parties du Corps en vue éclatée	41
Figure III.5 : Support miroir	41
Figure III.6 : Pièces auxiliaires ; de gauche à droite : Palier, Poulie et Bague inférieure.	42
Figure III.7 : Assemblage globale.	42
Figure III.8 : Le maillage.....	45
Figure III.9 : Résultats sur les contraintes.	45
Figure III.10 : Résultats des déplacements.	46
Figure III.11 : Résultats des déformations.....	46
Figure III.12 : Résultats des déplacements.	47
Figure III.13 : Motoréducteur lève-vitre Mazda	48
Figure III.14 : Le couple d'engrenage Roue 36 dents et pignon 14 dents.....	49
Figure III.15 : Différence entre la longueur du câble et les parcours de ses points de fixation au Support miroir	49
Figure III.16 : Capteur d'angle sans contact CALT-P3015.	51
Figure III.17 : Carte Arduino Uno WiFi V2 ABX00021-R	51
Figure III.17 : Algorithme de fonctionnement.....	52
Figure III.19 : Cinématique du mouvement azimut	55
Figure IV.1 : Pièces réalisées par soudure.....	56
Figure IV.2 : Pièces de révolution réalisées par tournage.	57
Figure IV.3 : Les pièces "Achat".....	58
Figure IV.4 : Assemblage final	58

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Potentiel Solaire de l'Algérie	18
Tableau I.2 : Les températures d'Ouargla [12].....	19
Tableau III.1 : Le déplacement imposé	44
Tableau III.2 : Chargement du modèle	44

INTRODUCTION GENERALE

Les énergies renouvelables continuent à se déployer de plus en plus dans le monde vu leurs avantages par rapport aux énergies fossiles. Cependant, d'après l'agence internationale de l'énergie, ces énergies ne représentent que 10% l'énergie consommée mondialement en 2017.

L'Algérie est l'un des états qui possède des moyennes climatiques importants en énergies renouvelables parmi lesquelles figure l'énergie solaire, l'exploitation de celle-ci peut couvrir les besoins du pays en électricité voir même l'exporté vers d'autre pays africains et/ou européens.

Malgré tous les inconvénients et surtout le risque sur l'environnement que représentent les énergies fossiles, ainsi que les avantages de l'énergie solaire, cette dernière ne représente que 0.7% de production mondiale en énergie ; cela revient principalement au coût de réalisation relativement très important.

Ce problème à pousser plusieurs chercheurs vers des études dont le but est de minimiser les coûts de réalisation de tels projets, par exemple en retrouve dans la littérature des travaux dont le but est d'améliorer les performances des cellules photovoltaïques, d'autres ont travaillé sur l'amélioration des absorbeurs des récepteurs solaires, il existe aussi des travaux réaliser dans le but d'optimiser les champs d'héliostat.

Dans les champs photovoltaïques ainsi que les champs d'héliostats des tours solaires, le coût de réalisation des héliostats peut dépasser les 40% du cout globale d'un projet d'énergie renouvelable.

La réduction des prix de revient de ces éléments (héliostats) est devenue une nécessité pour favorisée l'utilisation de l'énergie solaire d'où vient d'idée d'une Contribution à la réduction du coût des champs solaire, une contribution basé sur la proposition d'une conception d'un héliostat simple et efficace dont les coûts de réalisation doivent serrant considérablement minimisés.

Pour atteindre ce but ; nous avons muni une recherche représentant la partie théorique de notre travail composée de deux chapitres. Dans le premier chapitre en présente un bref aperçu sur les énergies fossiles avec leurs impacts sur l'environnement ainsi que les différentes énergies

renouvelables avec plus de détails sur l'énergie solaire et sa source solaire, à la fin du chapitre, on représente quelques données concernant le rayonnement en Algérie.

Le deuxième chapitre représente l'état de l'art des héliostats, on donne une description générale des héliostats avec leurs différents composants principaux, un bref l'historique, ses différents types, des notions sur leur conception mécanique, les facteurs d'erreurs et de pertes liées leur rendement, et finalement nous présenterons quelques héliostats déjà réalisé et/ou en service actuellement.

Concernant la deuxième partie qui représente la partie pratique de notre travail, elle aussi est composée de deux chapitres, un troisième dédié à l'étude et la conception d'un héliostat, et un dernier pour la réalisation.

Le troisième chapitre est consacrer à la présentation une nouvelle conception depuis le croquis, passant par la conception assistée par ordinateur où en va dessiner les différente pièces à l'aide du logiciel connu SolidWorks, suivi d'une simulation pour vérification de la résistance, et une explication du mode de fonctionnement à la fin.

Le dernier chapitre est donc réservé au suivi du processus de réalisation. Finalement, nous terminons notre travail par une conclusion générale

Chapitre I

SOURCES D'ENERGIES ET IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX

I.1 Introduction

L'énergie est la base du développement actuel que rencontre le monde entier et cela dans tous les domaines, une énergie dont les sources sont principalement le charbon, le pétrole et l'énergie nucléaire, malheureusement ; elles sont des énergies non renouvelables ce qui l'un de leurs majeurs inconvénients, de plus, elles possèdent de graves répercussions à l'environnement, d'où l'apparition des énergies renouvelables comme solution de rechange, à savoir l'énergie solaire et l'énergie éolienne.

Aujourd'hui ; l'énergie solaire est devenu un besoin fondamental au développement économique et à la préservation de l'environnement en même temps. Grâce à la lumière captée sur terre depuis cet astre (qui est la seule étoile du système solaire proche de la terre), il est possible de produire une électricité propre et cela depuis une source renouvelable.

I.2 Energies non-renouvelables

Une énergie non renouvelable est une source d'énergie dont la capacité à se renouveler est faible voire inexistante à l'échelle humaine. Son utilisation est limitée car la consommation de cette source d'énergie par l'homme est plus rapide que sa régénération à l'inverse des sources renouvelables.

Les énergies non renouvelables représentent 89% de l'énergie consommée en 2017 d'après l'agence internationale de l'énergie.

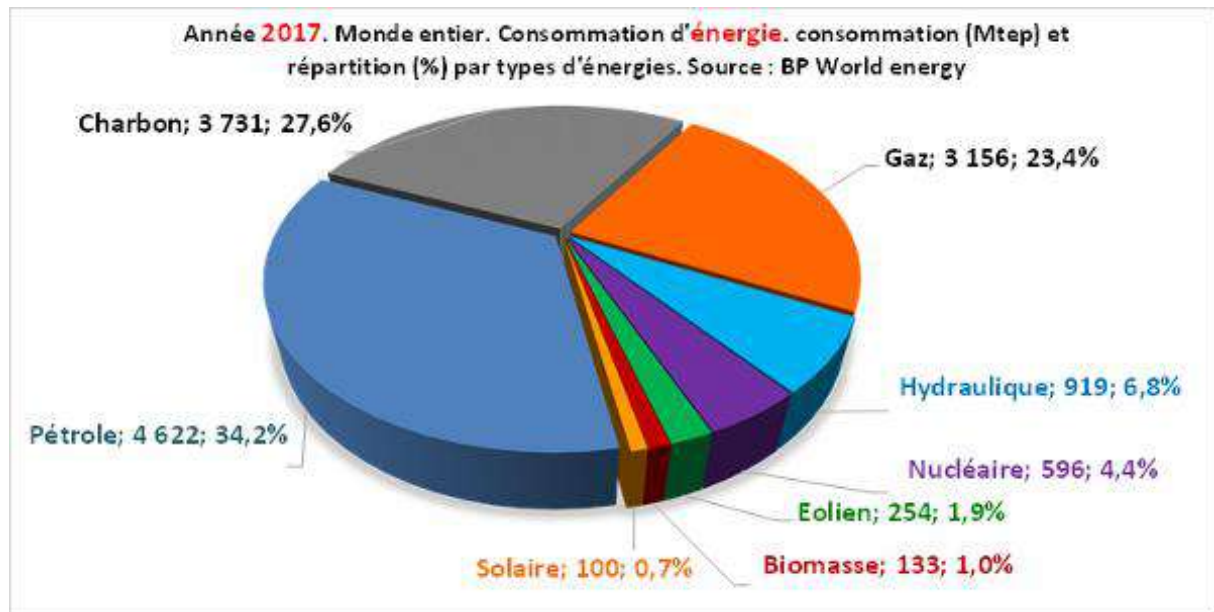


Figure I.1 : Production d'énergie mondiale

On distingue généralement les types suivant d'énergie non renouvelable :

I.2.1 Le Charbon

Le charbon est le combustible fossile le plus anciennement utilisé. Il a rendu possible la première révolution industrielle à la fin du 18^{ème} siècle en Angleterre et fourni les bases énergétiques essentielles de la seconde à la fin du 19^{ème} siècle. Bien que la concurrence du pétrole et du gaz naturel aient fait progressivement baisser sa contribution à la fourniture d'énergie dans le monde, il est encore la deuxième énergie primaire utilisée derrière le pétrole et devant le gaz naturel. On peut également citer le fait qu'il est à l'origine de sous-produits utilisés dans l'industrie pharmaceutique, l'industrie des colorants, les plastiques et les produits de synthèse textiles, les engrais, etc. Enfin, il est également utilisé pour la consommation domestique (chauffage, cuisson des aliments) dans certains pays [1].

Ses inconvénients sont généralement :

- Une pollution importante lors de sa combustion suit au dégagement d'impuretés ; le soufre notamment,
- Comme tout carburant fossile, sa combustion libère du dioxyde de carbone dans l'atmosphère, phénomène à l'origine de l'accroissement de l'effet de serre atmosphérique,
- Une énergie non-renouvelable et coûteuse à extraire.

I.2.2 Le Pétrole

Le pétrole est un liquide visqueux qui tire son nom du latin Petra - oléum : l'huile de roche. Sa couleur lui vaut le surnom d'or noir. Connue depuis la nuit des temps, il a d'abord été utilisé pour le calfatage des embarcations puis comme lubrifiant et comme carburant d'éclairage (lampes à pétrole, torches). Ce n'est qu'à partir des années 1860 environ que l'on commence à rechercher le pétrole, en Allemagne et surtout aux États-Unis d'Amérique [2].

Au début du 19^{ème} siècle, le pétrole représentait environ 40% de la consommation mondiale d'énergie.

Son transport est à l'origine de nombreuses pollutions, en particulier des "marées noires" mais aussi d'incendies, ce qui est l'un de ses inconvénients majeurs, en plus, et comme pour le charbon, sa combustion produit du dioxyde de carbone qui, libéré dans l'atmosphère, participe à l'accroissement de l'effet de serre [3].

I.2.3 Le gaz naturel

Ce que l'on désigne sous l'expression gaz naturel est un gaz hydrocarboné provenant du sous-sol terrestre. Composé en grande majorité de méthane (CH_4), le gaz naturel libère son énergie chimique par combustion en émettant relativement peu de substances polluantes. Ses gisements sont souvent liés à ceux du pétrole et l'exploitation de champs pétrolifères amène généralement à une production simultanée de pétrole et de gaz naturel.

Il peut devenir explosif lorsque certaines conditions de concentration et de température sont remplies. Cependant, il n'y a généralement pas de risque.

Il faut impérativement odoriser le gaz naturel car il est incolore et inodore ; donc indétectable par les sens humains. Le mercaptan ou le Tetrahydrothiophène (THT) sont les substances généralement employées à cet effet [4].

I.2.4 L'énergie nucléaires

Elle est produite par les noyaux des atomes qui subissent des transformations : lorsqu'un neutron percute le noyau de certains atomes lourds, le noyau impacté se scinde en deux noyaux plus légers. Cette réaction, appelée fission nucléaire, se traduit par un dégagement d'énergie très important. Elle donne lieu à une réaction en chaîne entre les noyaux des autres atomes, qui

dégage une énergie cinétique récupérée sous forme de chaleur dans les réacteurs nucléaires et transformée en électricité [5].

Utilisant généralement l'uranium, les gisements de ce dernier sont peu nombreux et donc très recherchés. En plus ; les déchets produits par l'industrie de l'uranium et les centrales nucléaires forment la majeure partie des déchets radioactifs terrestres. Ces déchets sont très dangereux pour les êtres vivants qui peuvent se trouver en contact ou à proximité d'eux.

I.3 Impacts environnementaux des énergies fossiles

I.3.1 L'effet de serre

Il existe différents types de gaz à effet de serre. Ce sont les structures des molécules de ces gaz qui les rendent aptes à rabattre vers le sol les rayons infrarouges solaires. Tous ces gaz n'ont pas le même impact sur le réchauffement de la Terre.

Les responsabilités humaines sont très importantes en ce qui concerne l'effet de serre. Naturellement, les concentrations des gaz à effet de serre dans l'atmosphère sont très faibles. Par exemple le plus abondant, le dioxyde de carbone ne représente que 0,03% en volume, soit 600 fois moins que le dioxygène. Les concentrations de dioxyde de carbone ou de méthane ont considérablement augmenté depuis le début de l'ère industrielle.

La principale source d'émission des gaz à effet de serre est la combustion des énergies fossiles pour la production d'électricité, le fonctionnement des usines et dans les usages domestiques. La seconde cause est la déforestation car en temps normal les forêts assurent une modulation naturelle de l'effet de serre en absorbant une partie du dioxyde de carbone présent dans l'atmosphère.

Les conséquences de l'effet de serre sont de tous ordres : elles touchent bien sûr d'abord l'environnement, mais peuvent aussi bien être alimentaires que sanitaires ou géopolitiques. La première conséquence est bien sûr favorable à la Terre : l'effet de serre assure une température moyenne de 15 °C au lieu de - 18 °C et permet la vie telle que nous la connaissons. Toutefois, de manière générale, les conséquences paraissent plutôt négatives.

Une élévation de température trop importante provoquerait :

- une élévation du niveau de la mer due à la fonte des grandes masses glaciaires avec par exemple des inondations dans des régions peu élevées telles que les Pays-Bas, le Bangladesh ou la disparition d'îles telles que les Maldives,

- un déplacement des zones climatiques propres à tel ou tel type de culture, d'élevage ou de forêt, et donc une modification des écosystèmes et de la végétation,
- un risque de recrudescence des maladies infectieuses comme le paludisme ou la fièvre jaune [3].

I.3.2 Les pluies acides

Les pluies acides sont des pluies dont le pH est très inférieur à 5,6. Elles sont dues à la transformation chimique, dans l'atmosphère, d'oxydes d'azote (NO et NO₂) et de soufre (SO₂) en acide nitrique (HNO₃) et sulfurique (H₂SO₄). Les pluies acides contribuent au dépérissement des forêts. Elles mettent aussi en danger la vie dans les lacs. En effet, lorsque le pH de l'eau devient inférieur à 4,3 le lac meurt. Elles dégradent aussi les pierres (surtout celles contenant du calcaire) des statues et des monuments ainsi que d'autres matériaux de construction.

I.3.3 Destruction de la couche d'ozone

En grande quantité, l'ozone est déplaisant, il a une odeur forte qui irrite les yeux et les poumons. Il contribue à certaines maladies respiratoires telles que l'asthme et aux maladies cardio-vasculaires. La couche d'ozone, comme une paire de bons verres fumés, représente un filtre naturel qui retient la plus grande partie des rayons ultra-violet (UV) nocifs du soleil.

Sans la couche d'ozone, un plus grand nombre de personnes souffriraient de coups de soleil, de cancers de la peau, de cataractes et de cécité. Les plantes et les animaux seraient également touchés. C'est pourquoi on peut penser à la couche d'ozone comme si elle était le pare-soleil de notre planète.

Cette couche d'ozone dans la stratosphère renferme presque tout l'ozone qui existe sur terre. C'est le "bon" ozone parce qu'il nous protège des rayons du soleil.

A la surface terrestre, à cause des émissions de polluants, provenant de l'automobile par exemple, il y a ce que nous appelons le "mauvais" ozone. Cet ozone résulte de l'action de la lumière du Soleil sur les gaz d'échappement des véhicules. Au cours de l'été, le "mauvais" ozone cause le smog dans les grandes villes. Malheureusement, l'ozone de surface augmente tandis que l'ozone stratosphérique diminue. Il nous est impossible de faire monter l'ozone de surface pour contribuer à la couche d'ozone stratosphérique. La meilleure solution est de continuer de diminuer toutes les sources de pollution qui affectent notre atmosphère et notamment l'utilisation des chlorofluorocarbones (CFC).

Ces dernières années, on a vu se former chaque printemps un grand "trou" dans la couche d'ozone au-dessus de l'Antarctique. Un phénomène comparable d'appauvrissement de l'ozone, quoique moins marqué, est également observé au-dessus de l'Arctique. On a aussi enregistré un amincissement de la couche d'ozone au-dessus des latitudes moyennes. Au-dessus de la région sud du Canada, la couche d'ozone s'est amincie d'environ six pour cent en moyenne depuis la fin des années 70, c'est-à-dire depuis que l'activité humaine a commencé à avoir des répercussions sur la haute atmosphère [3].

I.4 Les énergies renouvelables

I.4.1 Energie éolienne

Par définition, l'énergie éolienne est l'énergie produite par le vent. Elle est le fruit de l'action d'aérogénérateurs, de machines électriques mues par le vent et dont la fonction est de produire de l'électricité.

Une hélice entraînée en rotation par la force du vent permet la production d'énergie mécanique ou électrique en tout lieu suffisamment venté. L'énergie du vent captée sur les pales entraîne le rotor qui, couplé à une génératrice, convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. La quantité d'énergie produite par une éolienne dépend principalement de la vitesse du vent mais aussi de la surface balayée par les pales et de la densité de l'air [6].

I.4.2 La Biomasse

La biomasse est la matière végétale dérivée de la photosynthèse, réaction entre le CO₂ dans l'air, l'eau et la lumière du soleil. Typiquement, la photosynthèse convertit moins de 1% de la lumière du soleil disponible [7].

Cette énergie est stockée dans les liaisons chimiques des végétaux. Plus récemment, la biomasse fossilisée (charbon et pétrole) a été exploitée.

Brûler des combustibles fossiles en utilisant de la biomasse « âgée » en relâchant du « nouveau CO₂ » ; contribue à l'effet de serre et épuise une ressource non-renouvelable alors que brûler une « nouvelle » biomasse n'y contribue pas, parce que la croissance de nouvelles plantations assure que le CO₂ est absorbé par la nouvelle plante [8].

I.4.3 L'énergie solaire

Le soleil est une source quasiment inépuisable d'énergie qui envoie à la surface de la terre un rayonnement qui représente chaque année environ 8400 fois la consommation énergétique.

Cela correspond à une puissance instantanée reçue de 1 kilowatt crête par mètre carré (KWc/m²) répartie sur tout le spectre, de l'ultraviolet à l'infrarouge. Les déserts de notre planète reçoivent en 6 heures plus d'énergie du soleil que n'en consomme l'humanité en une année.

I.4.3.1 Les centrales solaires à tour

Les centrales solaires thermiques sont parmi les options prometteuses pour couvrir la demande énergétique croissante. Dans les centrales solaires à tours (Figure I.2), la lumière solaire est concentrée par des miroirs (héliostats) qui suivent le soleil sur deux axes. Les héliostats reflètent les rayons du soleil au sommet d'une tour. Dans le sommet de la tour se trouve un récepteur qui absorbe le rayonnement et fournit une énergie thermique à un cycle de puissance, l'énergie est utilisée pour la production de l'électricité.



Figure I.2 : Centrale à tour

I.4.3.2 Énergie solaire photo thermique

Les panneaux solaires thermiques transforment la lumière en chaleur, le plus souvent pour des chauffe-eaux. Pour cela, les rayons du soleil passent d'abord par une plaque de verre transparente à la lumière. Sous ce verre, un absorbeur noir (plaque de métal recouverte d'une fine couche de chrome) absorbe 80 à 90% des rayons lumineux. L'absorbeur transforme ces rayons lumineux en chaleur, grâce au transfert thermique par rayonnement.

En s'échauffant, l'absorbeur émet des infrarouges. Ces infrarouges sont bloqués entre la plaque de métal et la plaque de verre, c'est le principe de l'effet de serre. Ainsi, l'air entre les deux plaques s'échauffe et améliore le rendement. Par conduction, l'énergie thermique ou chaleur de l'absorbeur est transmise à un circuit d'eau (c'est le liquide caloporteur). Celle-ci s'échauffe et est ensuite acheminée vers un ballon d'eau chaude à l'aide d'une pompe, ou bien par la simple gravité [7].

1.4.3.3 Energie solaire photovoltaïque

L'énergie solaire photovoltaïque provient de la transformation directe d'une partie du rayonnement solaire en énergie électrique. Cette conversion d'énergie s'effectue par le biais d'une cellule dite photovoltaïque (PV) basée sur un phénomène physique appelé effet photovoltaïque qui consiste à produire une force électromotrice lorsque la surface de cette cellule est exposée à la lumière. La tension générée peut varier en fonction du matériau utilisé pour la fabrication de la cellule.

1.4.3.4 Avantages et inconvénients de l'énergie solaire

On peut compter les avantages suivants de l'utilisation de l'énergie solaire :

- Par rapport aux combustibles fossiles, les énergies renouvelables ne produisent pas de pollution préservant ainsi l'environnement et la couche d'ozone et diminuant le réchauffement climatique.
- Les énergies renouvelables peuvent assurer de l'électricité aux zones qui ne font pas partie du réseau national.
- Dans l'espace, l'utilisation de cellules solaires à haut rendement est le meilleur choix pour alimenter les satellites.
- Pour les régions éloignées, l'installation de panneaux solaires est beaucoup moins chère que la pose des fils de haute tension.
- Dans les villes, les panneaux peuvent tout simplement être installés sur les toits de sorte qu'il n'est pas nécessaire de trouver un espace pour les placer.
- La production de l'électricité se fait généralement sans générateurs bruyants, donc pas de pollution sonore.
- A long terme, les énergies renouvelables deviennent économiques car une fois installé, on obtient une source libre de l'électricité pour les années à venir, seules les coûts de maintenance sont compter.

Cependant ; elle présente les inconvénients suivants :

- Les coûts de réalisation et d'installation sont très chers.
- Cette énergie ne peut être recueillie au cours de la lumière du jour. Cela signifie que pendant la nuit, on n'est pas mesure de produire de l'électricité. Il est nécessaire de procéder au stockage malgré ses coûts élevés.
- L'efficacité peut être affectée par la météo précisément en temps nuageux.

I.5 La ressource solaire

La ressource de base la plus importante pour tous les potentiels énergétiques renouvelables est l'énergie solaire. La terre reçoit une importante quantité d'énergie solaire au cours de l'année. Le rayonnement est atténué lors de la traversée de l'atmosphère par absorption et diffusion, suivant les conditions météorologiques [9].

Pour exploiter cette ressource énergétique, il est nécessaire de connaître la quantité de flux disponible à une région spécifique. Pour cela nous présentons dans cette partie une notion générale sur les coordonnées géographiques, ainsi que l'énergie captée sur une surface donnée et les différentes relations entre les valeurs horaires.

I.5.1 Le mouvement du globe terrestre

La terre décrit autour du soleil une orbite elliptique quasi circulaire avec une période de 365,25 jours. Le plan de cette orbite est appelé plan de *l'écliptique*. C'est au solstice d'hiver (21 décembre) que la terre est la plus proche du soleil, et au solstice d'été (22 juin) qu'elle en est la plus éloignée [9].

La terre tourne sur elle-même avec une période de 24h. Son axe de rotation (l'axe des pôles) a une orientation fixe dans l'espace. Il fait un angle $d = 23^{\circ}27'$ avec la normale au plan de l'écliptique.

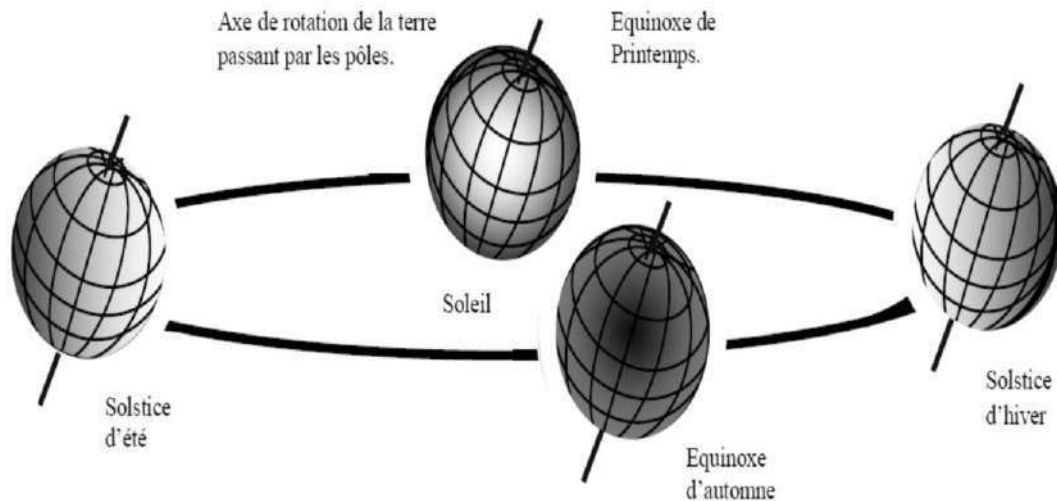


Figure I.3 : Variation saisonnière du rayonnement solaire.

I.5.2 La sphère céleste

La sphère céleste est une sphère imaginaire de rayon indéfini, établie dans les cieux et ayant comme centre l'œil d'un observateur terrestre. La sphère est la base du système de coordonnées employé pour déterminer les positions des astres. Elle est également utilisée pour désigner les intervalles de temps [10].

I.5.3 Les coordonnées géographiques terrestres

L'axe du monde traverse la terre au pôle Nord et Sud, l'équateur céleste coupe la terre suivant l'équateur terrestre. Le demi-cercle limité à l'axe des pôles et passant par A (voir figure I.4) est le méridien terrestre de A on définit deux coordonnées : la latitude est la longitude.

I.5.3.1 La latitude (φ)

La latitude d'un lieu φ correspond à l'angle avec le plan équatorial, que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu. L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égale à 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et le pôle sud par la latitude -90° . Cette convention de signe affecte le signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe (-) à tous les lieux de l'hémisphère sud [10].

I.5.3.2 La longitude (l)

La longitude d'un lieu l correspond à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien retenu comme origine. On a choisi pour méridien (origine 0°) le plan passant par l'observatoire de Greenwich.

Par convention on affecte du signe (+) les méridiens situés à l'est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'ouest [10].

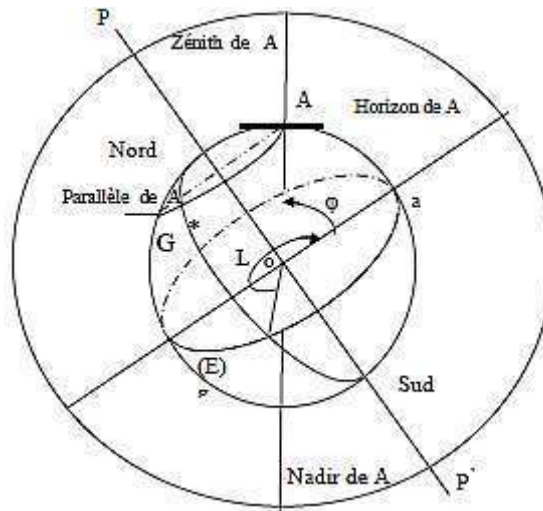


Figure I.4 : Coordonnées géographiques.

I.5.4 La position du soleil

Le soleil apportait, grâce à l'étude de son rayonnement comme une sphère incandescente de plasma dont la température d'émission serait de 5800 K. Son diamètre angulaire est de l'ordre d'un demi-degré ce qui fixe le rayon du soleil à 700000 Km en prenant comme distance moyenne terre-soleil 150 millions de Km (8 minute lumière),

La position du soleil est repérée à chaque instant de la journée et de l'année par deux systèmes de coordonnées différents :

I.5.4.1 Les coordonnées équatoriales

Le mouvement du soleil est repérée par rapport au plan équatorial de la terre par deux angles (δ, ω).

La déclinaison du soleil (δ) : L'angle que fait le plan de l'équateur terrestre avec la direction terre-soleil est appelé déclinaison δ , cet angle varie tout au long de l'année de façon symétrique de $-23^{\circ}26'$ à $+23^{\circ}26'$ sa valeur peut être calculée par la formule [11] :

$$\delta = 23.45 \times \sin[0.980 (j + 284)] \quad (III-1)$$

Où j est le nombre du jour de l'année à partir de premier janvier.

L'angle horaire du soleil (ω) : C'est l'angle compris entre le Meridian origine passant par le sud et la projection du soleil sur le plan équatorial, il mesure la course du soleil dans le ciel.

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

TSV : est le temps solaire vrai en heures et chaque heure est égale à 15^0 de longitude [11].

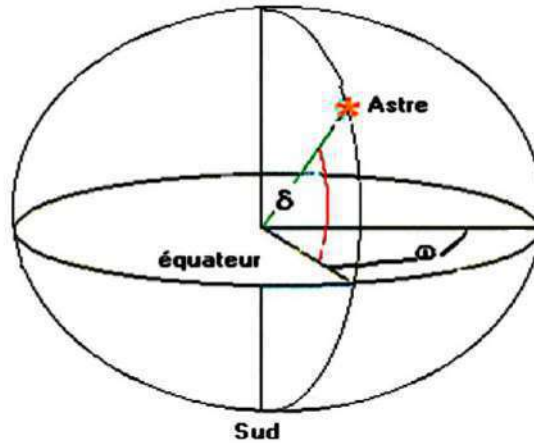


Figure I.5 : Coordonnées équatoriales.

1.5.4.2 Les coordonnées horizontales

Le repère horizontal est formé par le plan de l'horizon astronomique et la verticale du lieu. Dans ce repère, les coordonnées sont la hauteur h et l'azimut a .

La hauteur du soleil (h) : C'est l'angle formé par la direction du soleil et sa projection sur le plan horizontale, il est particulièrement égal à :

$$\sin(h) = \sin(\varphi)\sin(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(\omega) \quad (III-3)$$

L'azimut du soleil (a) : C'est l'angle compris entre la projection de la direction du soleil sur le plan horizontale et la direction du Sud,

$$\sin(a) = \frac{\cos(\delta)\sin(\omega)}{\cos(h)} \quad (III-4)$$

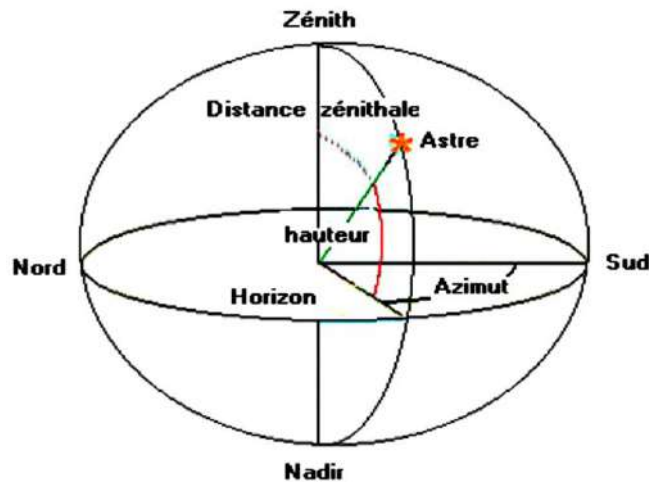


Figure I.6 : Coordonnées horizontales.

I.5.5 Les temps solaires

Pour les applications de l'énergie solaire, il faut faire intervenir le temps solaire vrai, qui est calculé en tenant compte de l'écart entre le temps solaire moyen et le temps local [11].

I.5.5.1 Le temps solaire vrai (TSV)

Il est donné par relation [11] :

$$TSV = 12 + \omega/15 \quad (III-5)$$

$TSV = 12h$ Si $\omega = 0^\circ$,

ω : est compté positivement l'après-midi.

I.5.5.2 Le temps solaire moyen (TSM)

Le temps solaire moyen diffère peu du temps solaire vrai, cette différence est définie par l'équation du temps E_t

$$E_t = TSV - TSM \quad (III-6)$$

E_t : étant la correction du TSV par rapport au TSM ; est exprimé en minutes et fraction décimales de minutes.

$$E_t = 9.87 \sin 2 \cdot \frac{360}{365} (j - 81) - 7.53 \cos \frac{360}{365} (j - 81) - 1.5 \sin \frac{360}{365} (j - 81) \quad (III-7)$$

Où j est le nombre du jour de l'année à partir de premier janvier,

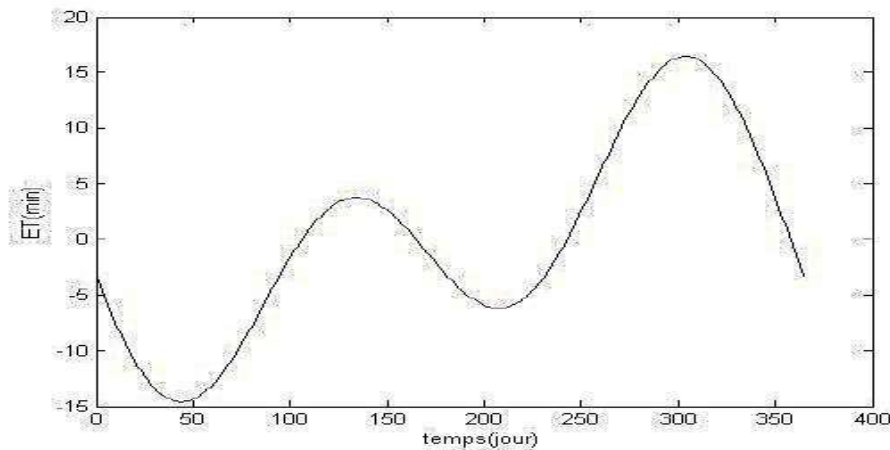


Figure I.7 : Equation de temps.

I.5.5.3 Le temps universel (TU)

En un lieu de longitude donnée, le temps universel est lié au temps solaire moyen (local) par la relation :

$$TU = TSM \pm \frac{L}{15} \quad (III-8)$$

(+) pour longitudes EST, (-) pour longitude OUEST.

Le temps universel se calcule donc par :

$$TU = TSV + E_t \pm \frac{L}{15} \quad (III-9)$$

I.5.5.4 Le temps légal (TL)

C'est le temps officiel de l'état :

$$TL = TU + \Delta H \quad (III-10)$$

ΔH : étant le décalage horaire entre le méridien de Greenwich et l'état considéré, ($\Delta H = 1$ heure pour l'Algérie).

I.6 Le rayonnement solaire au niveau du sol

On s'intéresse seulement à l'énergie captée sur une surface donnée, les quantités seront, exprimées en kWh/m² de surface réceptrice [9].

Le rayonnement solaire subit un certain nombre d'altérations et d'atténuation aléatoire en traversant l'atmosphère : réflexion sur les couches atmosphériques, absorption moléculaire, diffusion moléculaire et diffusion par les aérosols.

Au niveau du sol, à cause de la diffusion, une partie du rayonnement est diffusée, c'est à dire isotrope. L'autre partie, dite directe, est anisotrope. On subdivise le rayonnement solaire parvenant au sol en trois composantes principales qui sont :

I.6.1 Le rayonnement direct

Le rayonnement direct est reçu directement du soleil, sans diffusion par l'atmosphère. Ses rayons sont parallèles entre eux, il forme donc des ombres et peut être concentré par des miroirs [9].

I.6.2 Le rayonnement diffus

Le rayonnement diffus est constitué des photons diffusés par l'atmosphère (air, nébulosité, aérosols). Sa structure varie avec les conditions météorologiques. Par temps couvert, on admet qu'il est isotrope, c'est-à-dire qu'on reçoit un rayonnement identique de toutes les directions de la voûte céleste [9].

I.6.3 Le rayonnement dû à l'albédo

L'albédo est la partie réfléchiée par le sol. Il dépend de l'environnement du site. La neige, par exemple, renvoie énormément de rayons lumineux alors qu'un asphalte n'en renvoie pratiquement aucun. Il faudra en tenir compte pour évaluer le rayonnement sur plans inclinés [9].

I.6.4 Le rayonnement global

Le rayonnement global est tout simplement la somme de ces diverses contributions comme le montre la figure I.8.

$$G=S+D \quad (III-19)$$

Avec : G : rayonnement global

S : Rayonnement diffus

D : rayonnement direct.

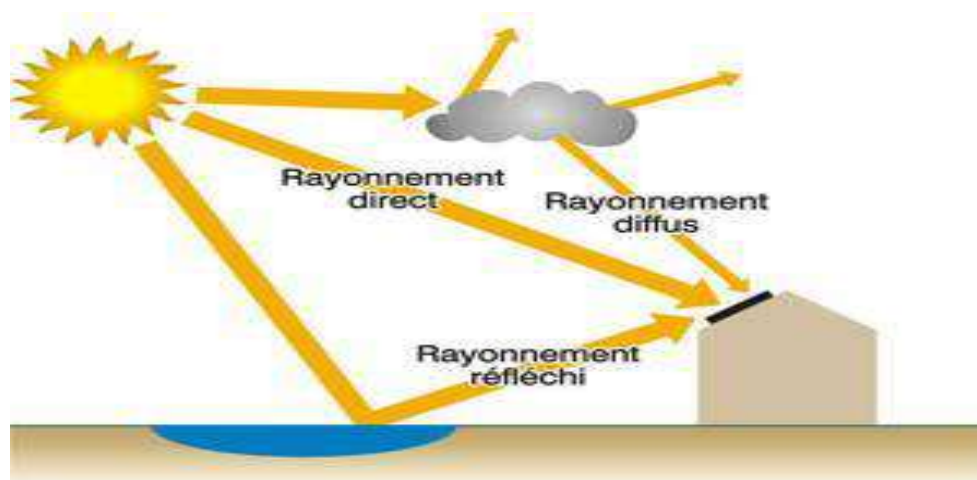


Figure I.8 : Différents types de rayonnement

I.7 L'énergie solaire en Algérie

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus élevés au monde 2200 KWh/m²/an. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et peut atteindre les 3900 heures (Sahara). L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1m² est de l'ordre de 5 KWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 KWh/m²/an au nord et 2263 KWh/m²/an au sud du pays.

Tableau I.1 : Potentiel Solaire de l'Algérie

Région	Région côtière	Hauts Plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'ensoleillement (heures/an)	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue (KWh/m²/an)	1700	1900	2650

La connaissance de la température est décisive pour l'étude et l'utilisation de tout système solaire. Les données des températures de la wilaya de Ouargla calculées sur dix années d'observation (de 2004 à 2014) sont représentées sur le tableau I.2, ce dernier montre l'année en deux saisons, l'une froide avec une moyenne minimale au mois de janvier (5.11 °C), et l'autre chaude avec une moyenne maximale au mois de juillet (43.71 °C) [12].

Tableau I.2 : Les températures d'Ouargla [12]

Mois (°C)	T_{max} (°C)	T_{min} (°C)	$(T_{max}+T_{min})/2$(°C)	$(T_{max}-T_{min})$ (°C)
Jan	18.77	5.11	11.94	13.67
Fév	21.08	6.83	13.96	14.25
Mar	25.81	10.99	18.4	14.81
Avr	30.38	15.26	22.81	15.12
Mai	34.89	19.75	27.32	15.13
Jun	40.28	24.81	32.54	15.47
Juil	43.71	28.21	35.96	15.5
Août	42.84	27.54	35.20	15.3
Sep	37.75	23.51	30.63	14.23
Oct	32.18	17.61	24.89	14.57
Nov	24.16	10.46	17.31	13.7
Déc	19.23	6.02	12.62	13.21

Chapitre II

ÉTAT DE L'ART DES HELIOSTATS

II.1 Introduction

Vu que notre contribution à la réduction des couts des champs solaire sera présentée par une conception d'un héliostat, nous avons consacré ce chapitre à la présentation des héliostats de plusieurs cotés : leur définition, ses différents type, leur histoire, mode de fonctionnement, ... et quelque exemple d'héliostats déjà en service dans des projets d'exploitation ou réalisés suit à des recherches.

II.2 Définitions

II.2.1 Héliostat

Les héliostats sont des assemblages de miroirs motorisés qui suivent le soleil et qui se déplace continument toute la journée en azimuth et en élévation de façon à réfléchir les rayons provenant du soleil vers un récepteur solaire [13].

II.2.2 Champ d'héliostats

En général un champ d'héliostats a pour fonction de diriger les rayons du soleil reçus par chaque héliostat vers une cible unique. L'accumulation de tous les rayonnements réfléchis vers la cible produit alors une concentration du rayonnement solaire sur la cible. La cible peut être un capteur solaire photovoltaïque ou thermique ou chimique [14].



Figure II.1 : Un champ d'héliostats

II.3 Histoire de l'héliostat

La plus ancienne mention d'un héliostat se trouve dans un livre datant de 1742 du physicien néerlandais Willem Jacob's Gravesande, mais ce dernier n'en est pas l'inventeur. Dans cet héliostat, la rotation du miroir est assurée par un mécanisme d'horlogerie.

La première utilisation de la concentration solaire est attribuée à Archimède, qui réussit à incendier et détruire, depuis la terre ferme, les bateaux romains qui assiégeaient le port de Syracuse en Sicile (212-214 av JC). Pour cela, il aurait utilisé un grand nombre de petits miroirs plans manœuvrés par des soldats, qui réfléchissaient la radiation solaire sur un seul point de la coque en bois des bateaux ennemis, permettant ainsi l'inflammation du bois et préfigurant le principe de fonctionnement des centrales solaires à tour [15].

Quelques siècles plus tard en 1515, Léonard de Vinci propose la concentration via un miroir parabolique pour produire de la chaleur industrielle, mais aucune réalisation concrète n'est alors réalisée.

La première réalisation de système concentrateur industriel arrive ensuite en 1747 avec Georges Louis Leclerc (1707-1788) qui développe et expérimente un miroir composé de 168 glaces d'environ 20 cm de côté. Chacune de ces glaces, mobile en tout sens, renvoyant la lumière vers un point unique défini par l'utilisateur. Il réussit ainsi à fondre un morceau d'argent (Température de fusion 1044°C).

II.4 Principaux composants de l'héliostat

La Figure II.2 présente les principaux composants des héliostats qui sont :

- Réflétant de la lumière du soleil (Miroirs).

- Structure de support de miroir.
- Mise à la terre (Pylône et Fondation).
- Détermination de l'orientation (Système de contrôle).
- Rotation du miroir (Système d'entraînement de mouvement) [16].

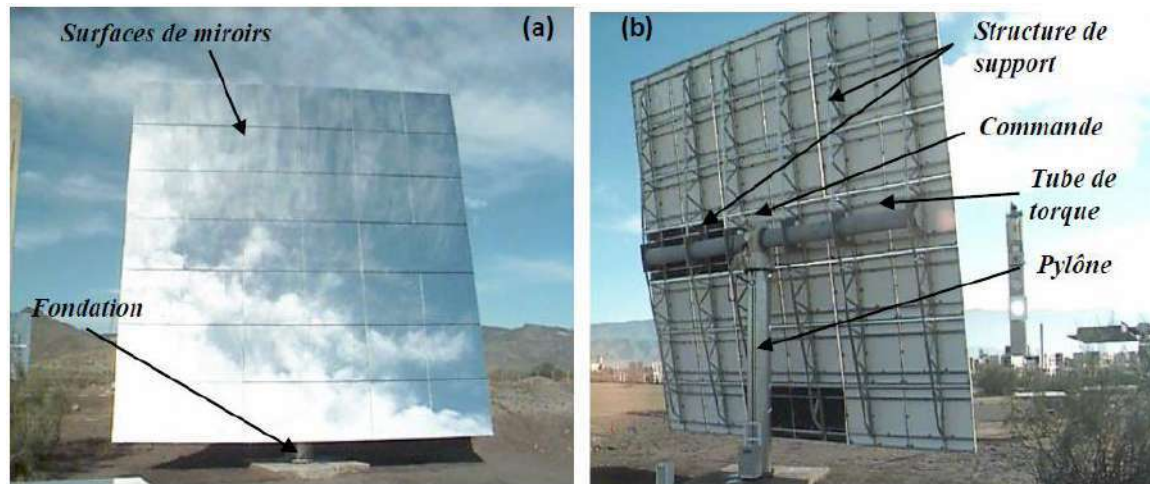


Figure II.2 : Différents composants de l'héliostat

II.4.1 Miroirs (Reflétant)

La réflectivité des rayons solaires peut être effectuée par des miroirs en verre, films réfléchissants, miroirs en plastique et métaux polis. Quel que soit le type utilisé de ces réflecteurs le taux de la réflectivité (réflectance) est inférieur à 100%, selon l'étude de Coventry et al. les deux premiers types des miroirs sont les options actuelles les plus appropriées pour les réflecteurs des héliostats, parce qu'ils possèdent actuellement de réflectance adéquate par rapport aux autres [16].

II.4.2 Structure de support

Les centrales solaires à tour utilisent principalement des héliostats de type T avec une structure métallique et des facettes en verre. La structure de support de miroir en acier est souvent constituée de plusieurs traverses qui sont montées sur un tube d'élévation horizontal. Le tube d'élévation et le pylône forment ensemble un «T» et sont reliés l'un à l'autre par le système d'entraînement pour le mouvement d'azimut et d'élévation (Fig. 3). La déformation de la structure de l'héliostat qui est dû par la gravité et les charges de vent a un impact important sur le rendement énergétique annuel de la centrale solaire à tour [17]. Pour cette raison, la structure des héliostats doit être suffisamment rigide [16].

II.4.3 Pylône et fondation

Le pylône est fabriqué en tube d'acier et fixé au sol par une fondation en béton. Cette solution de fixation est la plus répandue surtout pour les grands héliostats.

II.4.4 Systèmes de contrôle

Systèmes de contrôle sont des cartes électroniques et des algorithmes de contrôle qui sont utilisés pour fournir les signaux aux moteurs d'entraînement pour maintenir la position de concentration par rapport au soleil. Un système de réflexion des rayons solaire idéalement devrait faire le point de concentration sur la cible sans erreur. En réalité, les systèmes de réflexion ne sont pas parfaits, et ne pointeront pas toujours l'image solaire exactement au point désiré sur la cible. Cette erreur de concentration généralement est dû par plusieurs paramètres par exemple l'effet du vent et la température sur toute la structure d'héliostat et les jeux des articulations et des moteurs et les calculs mathématiques. Cette erreur peut être contrôlée par des caméras. Ces caméras peuvent capter les erreurs ensuite les transformer à la carte de contrôle pour corriger la position finale [16].

II.4.5 Système d'entraînement

Selon l'aperçu de Coventry et al [18] sur les principaux systèmes d'entraînement de mouvement de l'héliostat, les systèmes d'actionnement ont longtemps été l'un des principaux facteurs de coût des héliostats. Le système d'entraînement azimutal (Figure II.3) monté sur un piédestal a été l'un des principaux moteurs des héliostats de plus grande taille. Cependant, certains développeurs de technologie pensent que les systèmes linéaires (Figure II.4) sont moins chers et peuvent remplacer complètement les actionneurs azimutaux [16].



Figure II.3 : Mécanisme d'entraînement SENER pour l'héliostat Gemasolar

Des systèmes d'entraînement alternatifs, tels que des actionneurs de jante avec des câbles, ont été proposés pour éviter le coût des systèmes montés sur des socles. Les systèmes d'entraînement hydrauliques ont été utilisés de manière rentable sur les grands héliostats.



Figure II.4 : Un actionneur linéaire (à gauche) et un autre rotatif (à droite) pour les commandes de conception de suivi solaire

Concernant le système d'entraînement azimutal monté sur piédestal, selon une étude réalisée par Bo Gong [19], les contraintes maximales sont enregistrées au niveau du système d'entraînement azimutal, ce qui induit à des coûts élevés de l'héliostat.

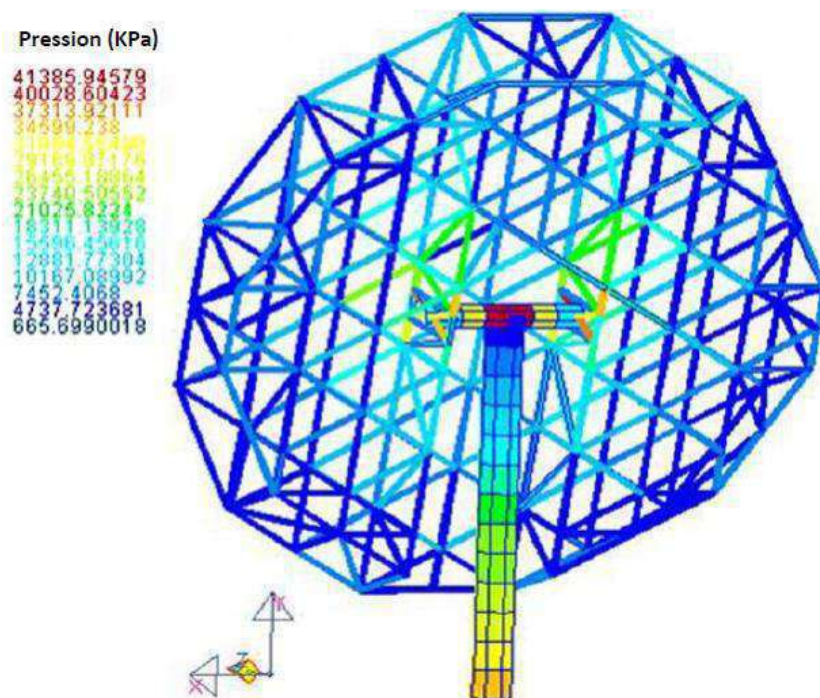


Figure II.5 : Distribution des contraintes dans un héliostat entraîné par un système d'entraînement azimutal [19].

II.5 Type des héliostats

II.5.1 Selon la nature des mouvements

Les héliostats peuvent être classés en série ou en parallèle, selon le montage des actionneurs. En remarque l'existence de trois types comme le montre la figure II.2, ce sont :

- L'héliostat de mouvement azimut-élévation,
- L'héliostat de mouvement aligné cible,
- L'héliostat de mouvement parallèle.

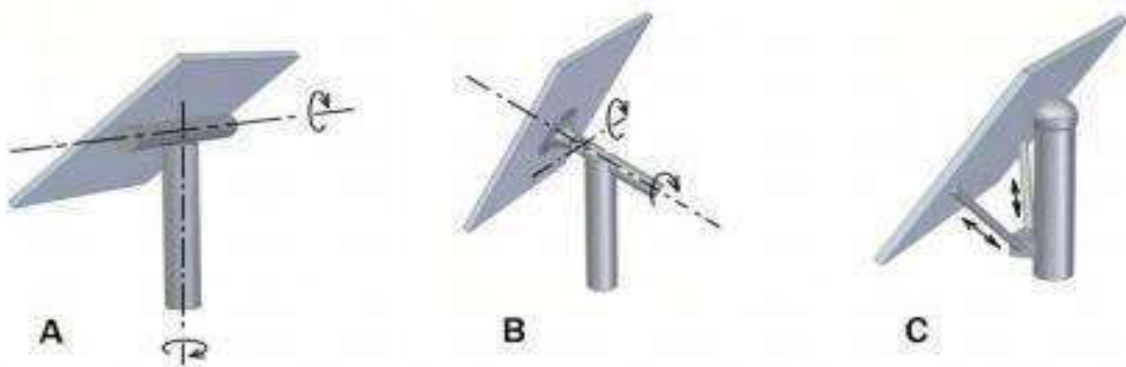


Figure II.6 : Type des mouvements de l'héliostat :

A) Héliostat de mouvement azimut-élévation

B) Héliostat de mouvement aligné cible

C) Héliostat de mouvement parallèle

Tous ces concepts ont été proposés pour la tour d'énergie solaire à échelle d'utilité, et jusqu'à présent, le mouvement azimut-élévation est le concept standard et le seul concept qui a été mis en œuvre dans des projets plus importants [20].

II.5.2 Selon le type du récepteur

Il y a deux types d'héliostat qui réfléchit les rayons solaires au récepteur : ponctuelle ou linéaire.

II.5.2.1 L'héliostat ponctuelle

Ce type qui réfléchit précisément en direction en point du récepteur et nous avons deux systèmes de l'héliostat ponctuel :

L'héliostat à central à tour : Sont des miroirs qui concentrent les rayons solaires vers une chaudière située au sommet d'une tour. Chaque héliostat est orientable, et suit le soleil

individuellement et le réfléchit précisément en direction du receveur au sommet de la tour solaire [21].

L'héliostat à central parabolique : Sont des miroirs (de la même forme que les paraboles de réception satellite). Ils s'orientent automatiquement et suivent le soleil sur deux axes qui concentrent les rayons solaires vers un point de convergence appelé foyer [21].

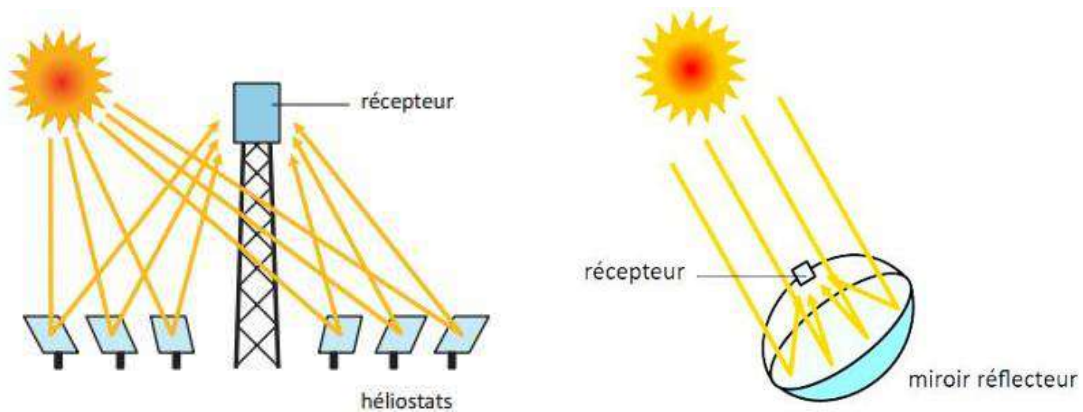


Figure II.7 : Héliostat à central à tour (à gauche) et parabolique (à droite)

II.5.2.2 L'héliostat linéaire

Ce type qui réfléchit précisément en direction d'un récepteur linéaire et nous avons deux systèmes de l'héliostat linéaire :

L'héliostat à central cylindro-parabolique : Sont des miroirs rangés parallèles de longs miroirs cylindro-paraboliques qui tournent autour d'un axe horizontal pour suivre la course du soleil. Les rayons solaires sont concentrés sur un tube récepteur horizontal [21].

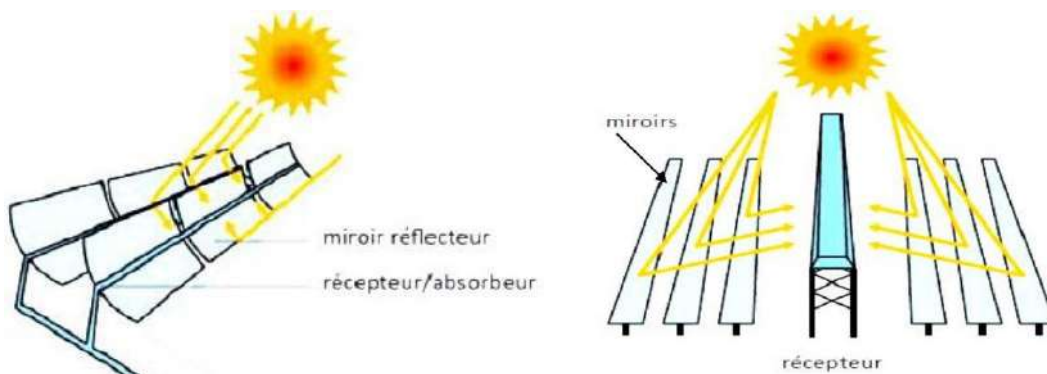


Figure II.8 : l'héliostat à central solaire cylindro-parabolique (à gauche) et à miroirs de Fresnel (à droite)

L'héliostat à central solaire à miroirs de Fresnel : Sont des miroirs plans, Chacun des miroirs peut pivoter en suivant la course du soleil pour rediriger et concentrer en permanence les rayons solaires vers un tube ou un ensemble de tubes récepteurs linéaires fixes [21].

II.6 Conception mécanique d'héliostats

Lors de la conception d'un héliostat de type azimut-élévation, en doit tenir compte de deux mouvements de rotation, le premier est le mouvement de rotation azimut effectué par le pylône qui permet aux miroirs de suivre le soleil horizontalement, et le deuxième mouvement de rotation c'est l'élévation des miroirs pour suivre le soleil verticalement.

Le schéma cinématique d'un héliostat de type azimut-élévation (voir figure II.5A) est présenté dans la figure II.8 où le mouvement d'azimut est présenté par la liaison pivot d'élévation (O_1, y_1) et le mouvement d'élévation est présenté par la liaison pivot d'élévation (O_2, z_2)

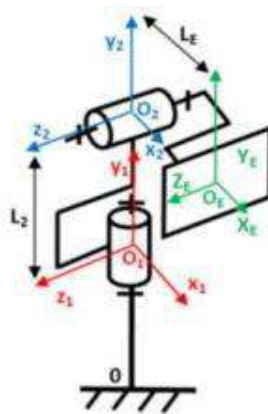


Figure II.9 : le schéma cinématique d'un héliostat azimut-élévation

Les héliostats d'une centrale solaire tour reflètent le rayonnement solaire incident direct sur leur surface de miroir et le concentrent sur un récepteur situé jusqu'à 1 km de distance. La surface de la cible du récepteur est faible par rapport à la distance des héliostats, exigeant une grande précision sur la forme du miroir et du système de poursuite [22].

II.6.1 Les différents états d'un héliostat en cours de fonctionnement

Les charges pendant la phase d'opération, qui définissent le design du mécanisme de poursuite de l'héliostat sont principalement déterminées par les charges dues au vent pendant le fonctionnement.

Les charges de tempête pour les héliostats en position "stow" définissent généralement la conception de la structure. Les fortes charges de tempête peuvent être évitées par une position d'arrêt avec le miroir au niveau du sol. Les positions "suivi" et "stow" peuvent être distinguées comme suit :

- **Suivi** : L'angle azimutal et d'élévation de l'héliostat est suivi en fonction de sa position dans le champ et les angles solaires. Pour maintenir l'efficacité optique à des niveaux élevés, les déformations et déviations du système de suivi ne doivent pas dépasser des petites tolérances.
- **Stow** : L'héliostat est situé dans une position « protégée », qui fournit au vent une surface d'attaque minimale. Cette position est prise une fois que la vitesse du vent dépasse la vitesse maximale admissible en opération. Les charges maximales se produisent à des vitesses de vent élevées, ce qui explique la conception de la structure de telle sorte qu'aucune défaillance totale n'est prévue en cas de tempête

II.6.2 L'angle héliostat/récepteur

L'angle entre l'héliostat et la tour engendre une modification de la forme de la tâche solaire sur la cible ainsi que des pertes supplémentaires dues à l'accroissement des pertes par effet cosinus en comparaison avec un héliostat dans l'axe du récepteur. En effet, les héliostats des centrales solaires à tour ne pointent pas le soleil mais sont orientés de sorte à renvoyer le flux solaire vers le récepteur situé en haut de la tour solaire, offrant ainsi une surface apparente de miroir inférieure à la surface réelle de miroir. Les pertes par effet cosinus sont calculées à partir de l'angle entre le vecteur normal à l'héliostat et le vecteur solaire [23].

II.6.3 Erreurs et facteurs de perte

Pratiquement, il existe cinq facteurs de pertes sur un champ d'héliostat, ils sont illustrés sur la figure II.9, ce sont :

- **L'ombrage** : généré par un obstacle entre le rayonnement incident et l'héliostat,
- **Le blocage** : généré par un obstacle entre l'héliostat et le récepteur,
- **L'effet cosinus** : généré par l'angle entre la normale à l'héliostat et le rayonnement incident,
- **Le coefficient de réflexion** des héliostats,
- **Les débordements au récepteur** : générés par les erreurs de visée [24].

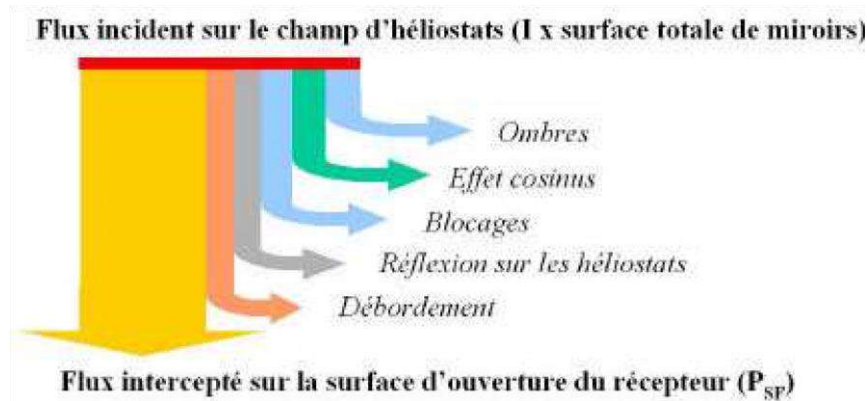


Figure II.10 : Les pertes dans le flux incident

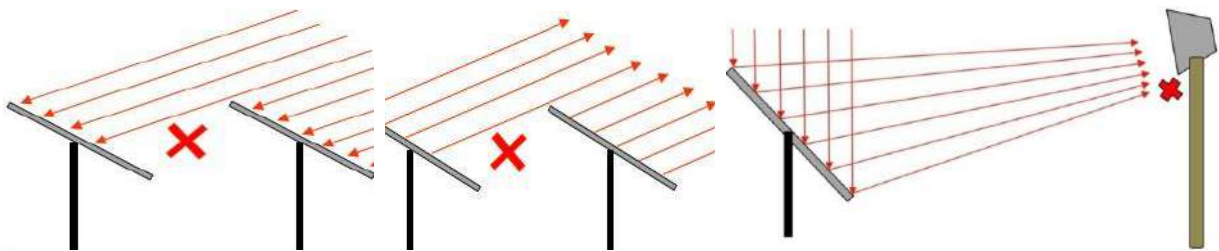


Figure II.11 : Représentation des effets des facteurs de pertes
(de gauche à droite : ombrage, blocage et débordements au récepteur)

D'un autre côté ; l'élargissement de la tâche solaire sur le plan focal d'un concentrateur héliostats tour est généralement le résultat des imperfections de la surface réfléchissante des miroirs ; ces imperfections se divisent en trois grandes catégories [25] :

- **des erreurs de pointage** : issues des erreurs dues aux actionneurs (existence du jeu), et à cause du temps de rafraîchissement des calculs de position effectués à un intervalle de quelques secondes. Ces erreurs entraînent un décalage du centre de la tâche par rapport à son point de visée théorique (le centre du récepteur).
- **des erreurs de réglage** : commises généralement au moment de montage des modules qui constituent la surface réflectrice de l'héliostat.
- **des erreurs de courbure** : dues aux imperfections de la surface du miroir, parfois appelées ondulations.

D'autres paramètres influents sur le rendement de l'héliostat sont :

- La hauteur du récepteur,
- La forme du champ d'héliostats,
- Les dimensions des héliostats du champ,
- L'état de surface des héliostats,
- L'angle d'inclinaison de la cible,

- Le dénivelé du champ d'héliostats,
- La position des héliostats dans le champ,
- La position du soleil dans le ciel en fonction de l'heure et du jour,
- La qualité de l'atmosphère [25].



Figure II.12 : Les principaux paramètres influant sur le rendement de l'héliostat

II.7 Quelques héliostats déjà en service

Plusieurs héliostats de différent design sont réalisés dans le monde. Par exemple, On trouve des héliostats de différentes taille de 1 à plus que 200 m², des héliostats de différents forme de la zone réfléchive (carré, rectangle, cercle ...) et des héliostats de différents système de d'entraînement de mouvement (moteur avec réducteur vis sans fin, vérins, moteur avec réducteur en chaine, système de jante...).

II.7.1 Héliostat ASUP 140

En raison de la tendance actuelle à réduire les coûts de production d'électricité, Abengoa a développé en 2012 le nouvel héliostat ASUP 140 de 138,7 m² avec des facettes combinées en une feuille de verre de 2 mm avec un support en panneaux sandwich (Figure II.12).

Grâce au mécanisme d'entraînement hydraulique breveté, une rotation azimutale complète est possible. Les paliers de l'axe d'élévation sont en dessous du tube de torsion continu pour éviter les grandes dimensions des paliers. L'ASUP 140 a été validée grâce à un processus exhaustif qui comprenait des essais en soufflerie, des essais structurels et optiques et un fonctionnement sur le terrain des prototypes à la Solúcar Solar Platform. Le nouvel héliostat est installé à centrale solaire à tour commerciale Khi Solar 1 en Afrique du Sud [26].



Figure II.13 : héliostat ASUP 140 : vue de face et vue arrière [26]

II.7.2 Héliostat d'eSolar

Les détails de l'héliostat eSolar (Figure II.13) ont été présentés par Ricklin et al. La partie réfléchissante est un miroir de surface 2 m^2 . Le design héliostatique est le plus petit disponible dans le marché. Les miroirs plats sont suivis individuellement à l'aide d'un système de moteur pas à pas hybride, et montés sur un support fabriqué en tube d'acier. Les héliostats sont supportés sur une structure en treillis, lestés et partagés avec d'autres héliostats.

Le poids (à l'exclusion de la fondation) est de 20 kg/m^2 . La vitesse maximale du vent est de 49 m/s . La structure rigide du trépied réduit les charges sur les pylônes et les fondations. Les héliostats eSolar n'ont pas été installés entièrement dans une centrale solaire commerciale, mais eSolar a démontré sa technologie à la Sierra Sun Tower de 5 MWe , qui est opérationnelle depuis 2009 [27].



Figure II.14 : Héliostats d'eSolar de 2 m^2 [27].

II.7.3 Héliostat de suspension (Solaflect Energy)

Solaflect héliostat est composé de 16 facettes de verre de 1 m² maintenues en position par des câbles tendus à partir d'un poteau perpendiculaire et central aux miroirs (Figure II.14). L'absence de traverses (poutrelles) et le tube d'élévation horizontal entraîne la réduction du poids et les charges sur le pylône et les actionneurs de mouvement. La tension du câble est ajustée via des tiges filetées. L'inconvénient de la conception est que le nettoyage conventionnel des miroirs n'est pas possible ; les robots de nettoyage pourraient être une solution [28].



Figure II.15 : héliostat Solaflect [28]

II.7.4 Héliostat de Google

Google corporation a mené son propre projet de développement d'héliostat en 2010 dans le but de trouver de nouvelles solutions innovantes pour leur propre centrale à énergie solaire. Le projet a été arrêté en 2011, et ils ont publié leurs résultats. Leur proposition était un héliostat de 6m², actionné par deux fils en acier inoxydable, entraînés par des moteurs à vis sans fin.

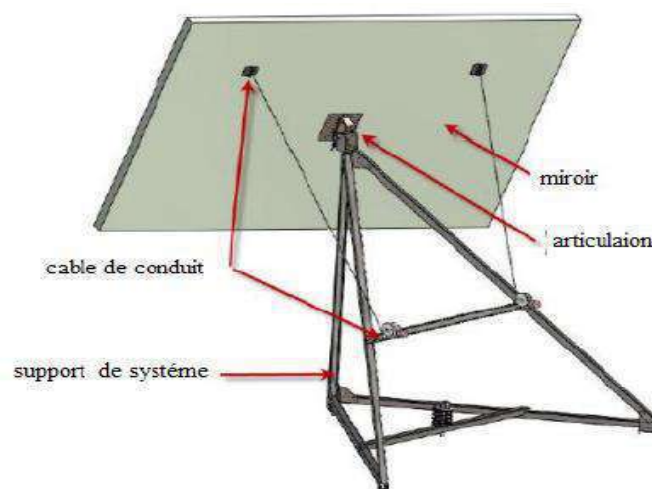


Figure II.16 : concept de Google d'un héliostat à fils

II.7.5 Héliostat de l'URAER

L'Unité de Recherche Appliquée aux Energies Renouvelables (URAER) de Ghardaïa en Algérie a conçu et fabriqué pour son installation d'essai de mini centrale solaire à tours des héliostats de 1.44 m² de surface de miroir (Figure II.16). L'héliostat est principalement caractérisé par son faible coût qui est moins de 200 USD/m² compris tous ses composants sans la fondation. Aussi bien que la facilité et la rapidité de sa fabrication. La structure de support est composée d'un tube de torsion, d'un socle et d'un cadre supportant le miroir. Le pylône et le tube de torsion sont en tube d'acier.

Deux actionneurs linéaires utilisés pour le mouvement horizontal et vertical de l'héliostat. La conception des actionneurs linéaires et la petite taille de la surface réfléchive permettent de réduire les charges de vent sur différent composants, ainsi que la réduction des coûts [16].



Figure II.17 : Héliostat d'URAER

II.7.6 Héliostat de SENER

En 2015, SENER a commencé d'installer des héliostats de nouvel design dans le central solaire à tour NOOR III, Ouarzazate, Maroc. Les héliostats de SENER sont à 54 facettes réfléchives de surface totale d'environ 175,7 m². Les facettes réfléchives sont des miroirs de 3mm d'épaisseur renforcé d'un support en acier embouti, galvanisé et collé à la face arrière du miroir. Le pylône des héliostats est en béton. Les mouvements azimute et élévation sont actionnés par des actionneurs hydrauliques précis [29].



Figure II.18 : Héliostat de SENER de 175.7 m² [29]

II.7.7 Héliostat de CSIRO

L'héliostat du CSIRO est basé sur une seule facette et deux actionneurs linéaires. La taille originale de l'héliostat CSIRO était de 4.5m² mais peut aujourd'hui atteindre 7.22 m², représentant la plus grande feuille de verre encore transportable par conteneur d'expédition, mais flexible aux options du fournisseur. Le premier axe de rotation est horizontal pour obtenir une plage d'angle requise inférieure à 120°. Par conséquent, pour ce type héliostat, des entraînements linéaires de faible coût peuvent être utilisés pour les deux axes [30]



Figure II.19 : Entraînement linéaire pour l'héliostat de CSIRO [30]

Chapitre III

ETUDE ET CONCEPTION

D'UN NOUVEL HELIOSTAT

III.1 Introduction

En propose dans ce chapitre une nouvelle conception d'un héliostat qui doit être plus simple et résistant, et moins coûteux que les héliostats existents, assurant en même temps une précision dans l'orientation du panneau PV ou de la surface réfléchissante, améliorant ainsi le rendement des champs solaire.

III.2 La conception assisté paramétrique

Actuellement la conception de nouveaux produit se fait généralement à l'aide des différents logiciel de conception assisté par ordinateur tel que ; AutoCAD, Catia, 3D Max,...

Dans notre travail en utilisera le logiciel de conception assisté par ordinateur SolidWorks dans sa version SP0 2016. L'intérêt de l'utilisation d'un tel logiciel se présente au avantages de la conception paramétrique qui permet au concepteur (contrairement à la méthode de conception classique) de procéder au dessin des différents pièces du produit avant même de calculer les charge, il peut par la suite modifier n'importe quel dimension, voir même une pièce entière, après avoir effectué une simulation pour vérification de la résistance.

Comme bref présentation, on peut indiquer que SolidWorks est un outil de conception de modélisation volumique paramétrée basée sur des fonctions, en effet un modèle SolidWorks est formé d'éléments individuels appelés fonctions telles que les bossages, les enlèvements de matière, les perçages, les congés, les chanfreins...

Créé en 1993 par l'éditeur américain éponyme, SolidWorks a été acheté le 24 juin 1997 par la société Dassault Systèmes. Parmi les plus grandes organisations utilisant SolidWorks, on peut citer Michelin, AREVA, Patek Philippe, Mega Bloks, Axiome, ME2C, SACMO, Le Boulch et Robert Renaud.

Modeleur 3D utilisant la conception paramétrique, SolidWorks génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés. Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une maquette numérique.

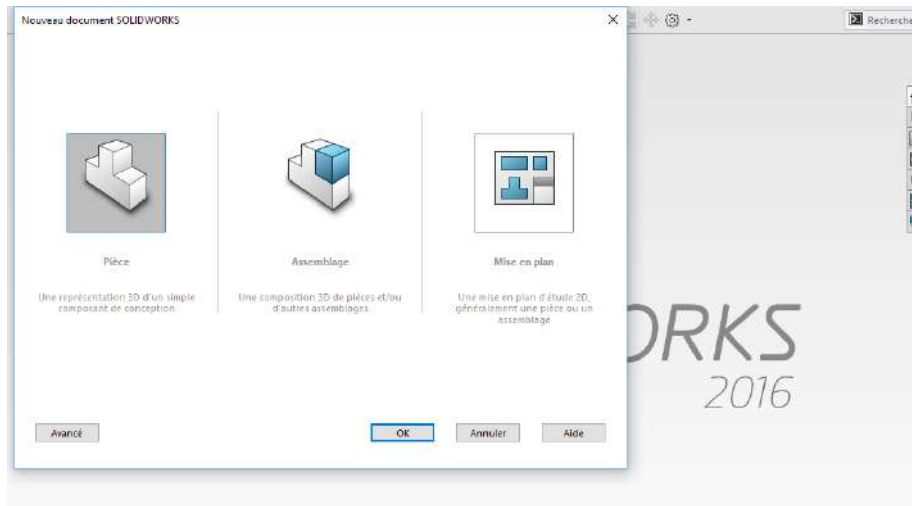


Figure III.1 : Les trois concepts de base SolidWorks.

III.3 Nouvelle conception proposée

III.3.1 Cahier des charges

Généralement ; un héliostat doit être capable d'orienter le rayement du soleil vers un point fixe connu avec un maximum de précision, en plus il doit supporter différentes charges tels que les poids de ses éléments ainsi que la force engendrer éventuellement par des vents.

Dans un tel cas la surface de réflexion (de superficie minimale de 1 m²), doit être au mieux en position horizontale pour minimiser ou éliminer les forces dû aux vents. Cela sera pris en considération dès que la vitesse des vents dépasse les 40 km/h.

En doit alors s'assurer que l'héliostat peut atteindre cette position "horizontale" lorsque la vitesse des vents dépasse une valeur définie ; on la prend égale 50 km/h pour être sûr que l'héliostat résistera à la consigne de 40 km/h.

En raison de simplifier le processus de nettoyage et/ou la maintenance des surfaces réfléchtrices, il serait mieux de prendre en considération une position "verticale".

Si l'héliostat est du type azimute-élévation, le mouvement azimute doit couvrir un intervalle de 180° de l'est vers l'ouest, le temps que pour le mouvement d'élévation ce dernier doit couvrir 90° ; ceci est assuré automatiquement si l'on respecte les deux positions : horizontale (lié à l'état sécurisé en cas des vitesses élevées du vent) et verticale (lié au nettoyage et à la maintenance).

III.3.2 La conception proposée

III.3.2.1 Idées principales

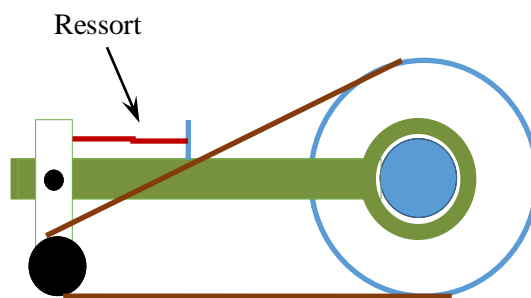
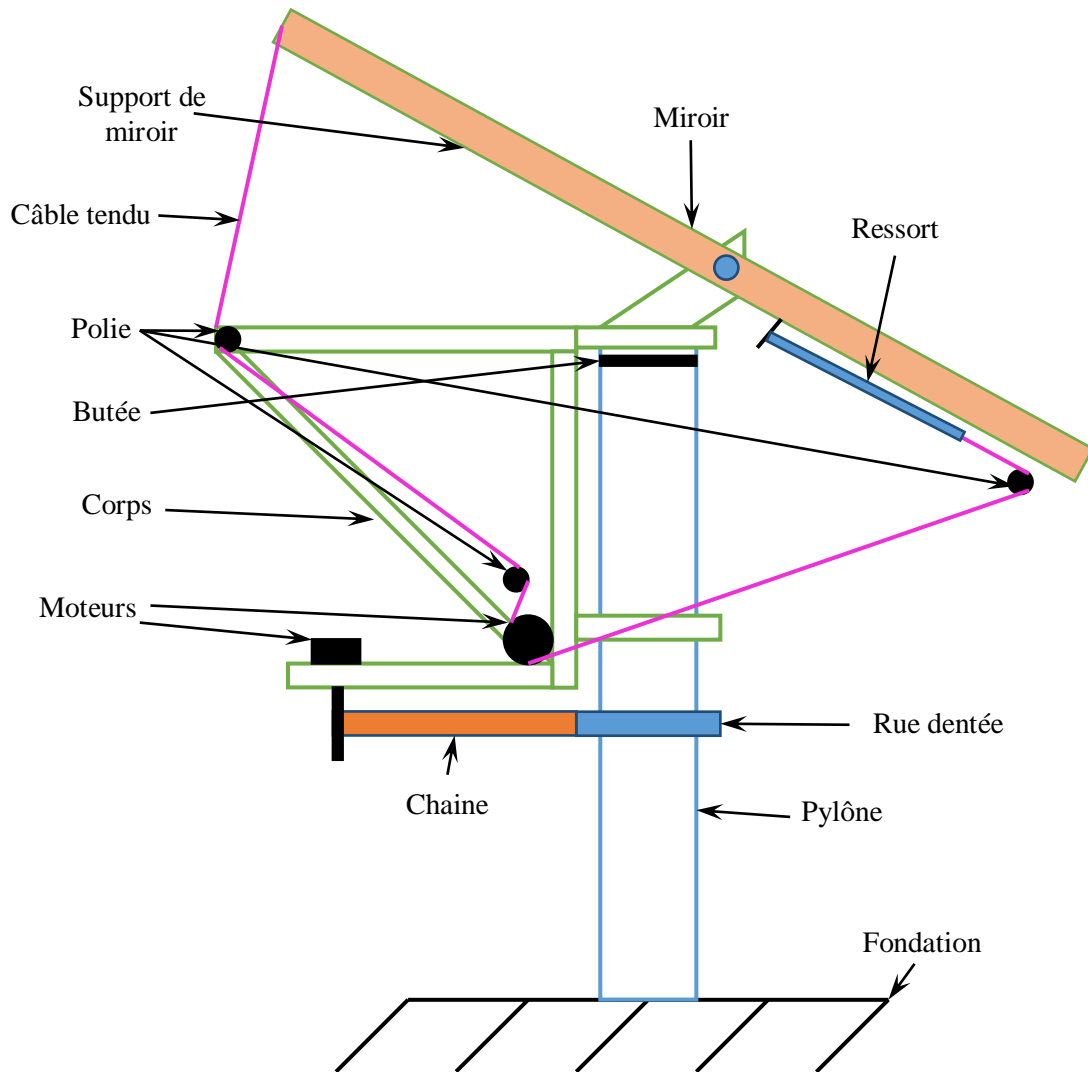
Sachant qu'on a opté pour un héliostat du type azimut élévation vu sa simplicité ; notre idée sur l'héliostat repose sur un pylône en tube cylindrique dont le diamètre sera déterminé suite aux différents calculs ou par simulation (utilisant un logiciel de CFAO), ce pylône sera encastré au sol et dont dépend le reste des éléments comme le montre le croquis présenté dans la page suivante par la figure III.2

Un corps rigide en cornières soudées associé à deux paliers tournera au tour du pylône assurant ainsi le guidage du mouvement azimut ; l'entraînement sera assuré par un motoréducteur à vis sans fin qui – en faisant tourner un pignon associé à une roue dentée au moyen d'une chaîne – permettra de commander le corps en rotation (à savoir que la roue est solidaire du pylône). Le palier supérieur doit bloquer aussi le déplacement du corps suivant l'axe azimut.

Un support de la surface réfléchissante sous forme de rectangle construit en cornière soudée sera capable de tourner autour d'un axe horizontal réalisé par deux autres paliers fixés au corps précédent, ce mouvement représente l'élévation. L'entraînement en élévation sera assuré par un deuxième motoréducteur à vis sans fin qui, en entraînant un câble en acier fixé aux extrémités du support, pivotera ce dernier autour de l'axe horizontal.

Un miroir carré de 1 m de côté sera fixé ensuite au support pour utilisation dans le cas des tours solaires, ou remplacé par un panneau PV dans le cas d'un champ d'énergie photovoltaïque.

Le contrôle sera assuré par une carte Arduino dont le programme assurera une orientation adéquate de l'héliostat en fonction de l'emplacement de l'héliostat, de l'emplacement du récepteur, de la position du soleil et principalement des lectures en temps réel des valeurs des angles d'azimut et d'élévation provenant de deux capteurs d'angle associés aux axes de rotation de l'héliostat. L'emploi de ces capteurs d'angle pour la lecture de l'azimut ainsi que l'élévation provient du fait que les motoréducteurs ne seront pas du type pas à pas.



Vue de haut du système d'entraînement azimutale

Figure III.2 : Esquisse expliquant la conception proposée.

III.3.2.2 Avantages et points forts

Un héliostat respectant cette conception sera capable de fonctionner dans n'importe quelle région dans le monde puisqu'il peu couvrir un angle de 360° pour le mouvement azimutal, il peu même tourner sans limite si l'alimentation du système de commande est assurée au moyen d'un connecteur adéquat. La couverture d'un angle de 90° pour le mouvement d'élévation contribue aussi à ce bénéfice.

La surface de réflexion est certainement petite mais, cela permettra de mieux commander la réflexion des rayons du soleil, une surface de réflexion grande donne une grande image sur la cible (récepteur) posant ainsi un problème de débordements au récepteur. En plus, la petite taille de l'héliostat aide à sa maintenance.

Par rapport aux systèmes d'entraînement azimutal (Figure II.3) monté sur piédestal, l'emploi des motoréducteurs aide grandement à la réduction du prix de revient de l'héliostat.

Le maintien du Support miroir en position par un câble fixé à des endroits loin de l'axe de rotation horizontale contribue à la réduction des contraintes que subi le système d'entraînement azimutal (figure II.5).

III.3.3 Dessin des différentes pièces sous SolidWorks

III.3.3.1 Fondation et Pylône

Sur la base des travaux précédents, nous avons estimé que le Pylône doit avoir un diamètre de 34mm à peu près vu la dimension de l'héliostat qu'on propose et surtout la taille de sa surface réfléchissante. Bien sûr ; cette valeur va être vérifiée par simulation.

A l'extrémité supérieure, une Butée est fixée sur le Pylône dont le rôle est de bloquer le mouvement vers le haut ainsi qu'en bas du Corps et lui permettant de tourner en même temps autour de l'axe azimut. Une autre Bague inférieure assistera au guidage du Corps autour de la verticale. A cette bague (solidaire au pylône) est associée une roue dentée de 36 dents.

La figure III.3 représente l'ensemble de ces pièces avec une vue éclatée pour plus de détails ; on doit seulement indiquer que toutes ces pièces sont fixe par rapport à la fondation et donc toujours statique.

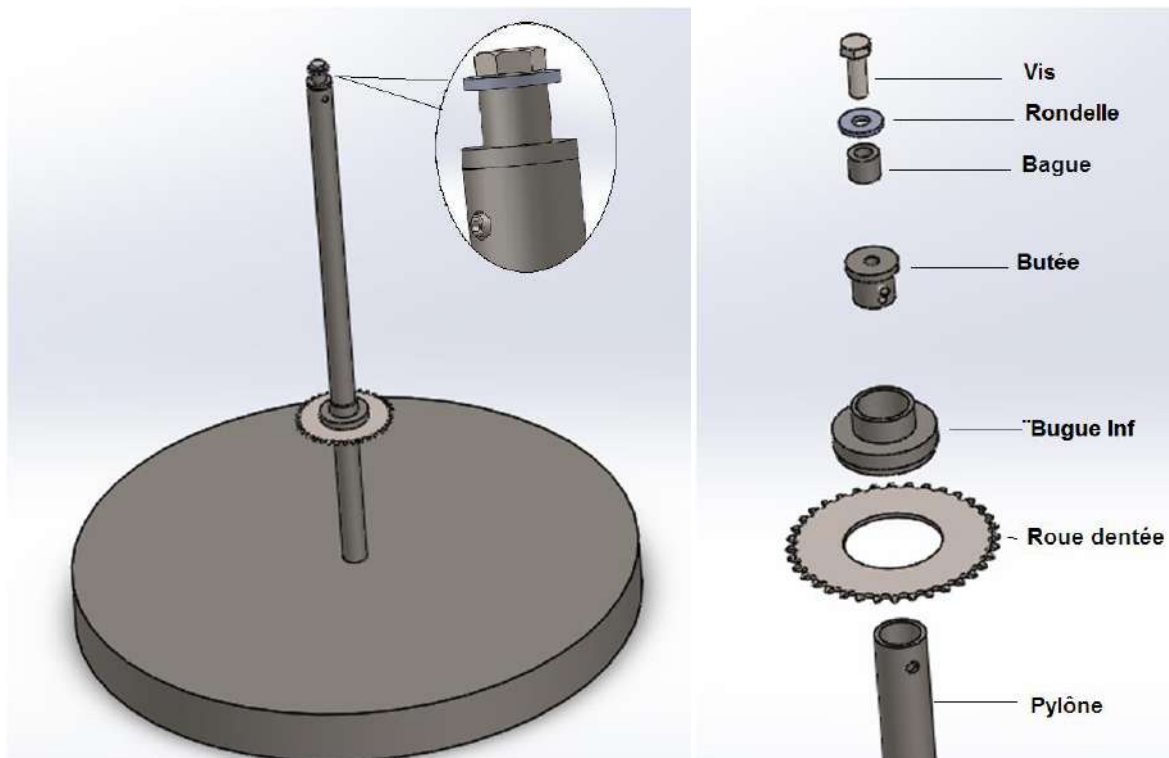


Figure III.3 : L'ensemble Pylône avec une vue éclatée

III.3.3.2 Le Corps

De notre point de vue, on croit que l'utilisation de profile standardisé dans la conception des différents éléments de l'héliostat permettra de réduire le prix de revient globale de l'héliostat, vue leurs disponibilité sur le marché, c'est pour cela qu'on a choisi un simple tube rond pour le Pylône, de même ; la conception di Corps repose de l'utilisation de cornières de même profile 25×25 ; la structure du Corps est basée sur des triangles pour assurer une rigidité vu que les triangles sont des éléments indéformables.

La figure III.4 représente l'assemblage des différentes parties du Corps avec une vue éclatée. Deux parties principales forment le Corps ; la première (sous forme de trapèze) sert à l'entraînement du Support du miroir en rotation au tour de l'azimut, le temps que la deuxième (de forme triangulaire) est nécessaire pour le maintien des éléments assurant le mouvement d'élévation à savoir le motoréducteur et les poulies de guidage du câble.

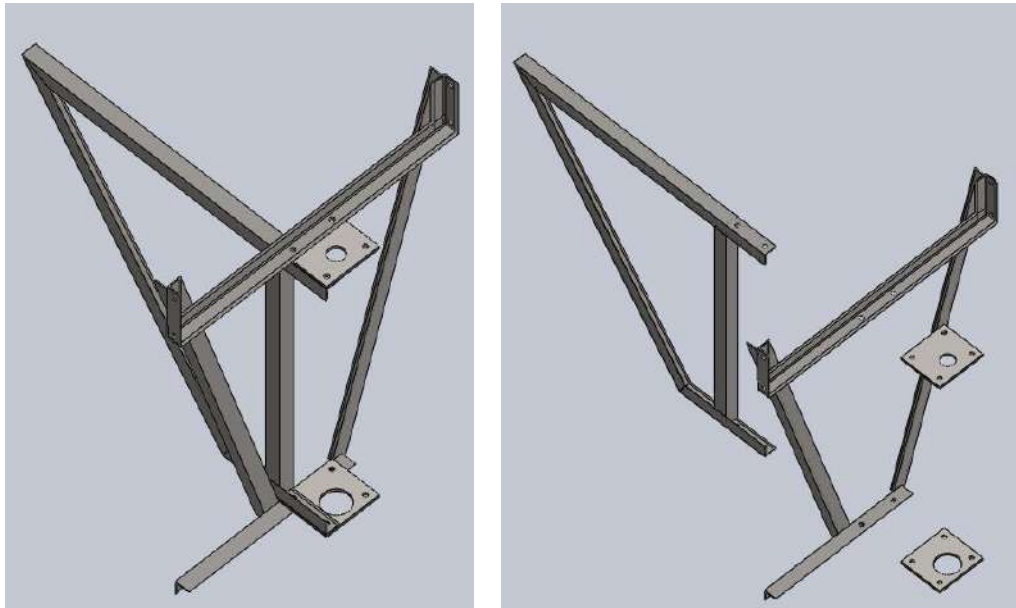


Figure III.4 : Les différentes parties du Corps en vue éclatée

III.3.3.3 Le Support du miroir

Sous forme de rectangles de dimensions $1\text{m}\times 0.8\text{m}$ et construit par des cornières 25×25 , le Support du miroir sera capable de tourner autour d'une horizontale à l'aide de deux paliers fixés en haut du Corps.

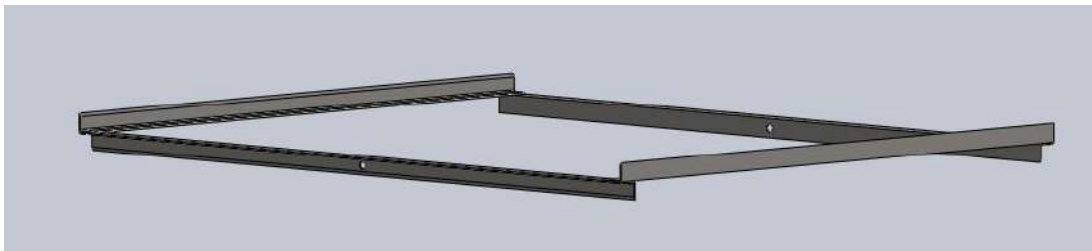


Figure III.5 : Support miroir

III.3.3.4 Pièces auxiliaires

En plus de ces trois parties principales, des pièces supplémentaires nécessaires au fonctionnement de l'héliostat sont représentés aux figures suivantes :

- Deux Paliers servant comme liaison entre le Corps et le Support miroir et assurant une rotation autour d'un axe horizontale (Figure III.6 à gauche).
- Trois petites Poulies servant au guidage du câble d'entraînement du Support miroir (Figure III.6 au milieu).
- Une Bague pour le guidage du Corps par rapport au Pylône (Figure III.6 à droite).

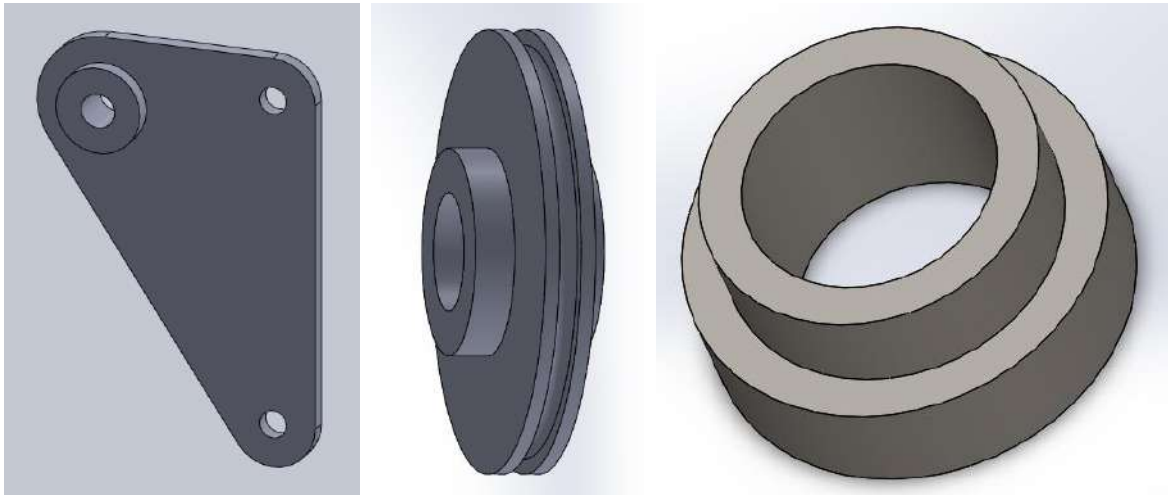


Figure III.6 : Pièces auxiliaires ; de gauche à droite : Palier, Poulie et Bague inférieure.

III.3.3.5 Assemblage global

Les pièces ont été toutes rassemblées dans un seul fichier assemblage, le résultat obtenu est représenté à la figure III.7 de différents points de vues.

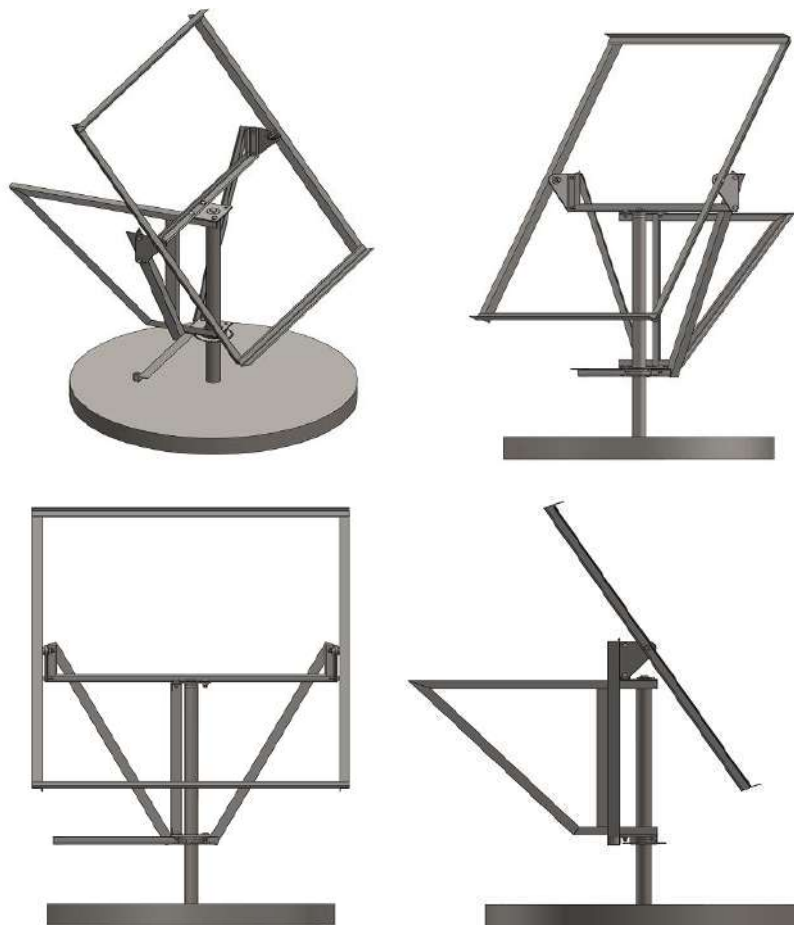


Figure III.7 : Assemblage globale.

III.3.4 Analyse de la résistance de la structure

Afin de pouvoir vérifier par simulation la résistance de l'héliostat, on doit tout d'abord déterminer les différentes sollicitations exercées sur notre structure, et cela avec prise en considération de la situation la plus défavorable. On peut dire qu'une telle situation est équivalente au cas où les sollicitations suivantes auront action sur l'héliostat :

- La force engendrée par la pression des vents dont la vitesse est égale à 40 km/h, et l'orientation est totalement normale à la surface de réflexion ;
- Le poids du miroir ;
- Le poids de la structure avec les motoréducteurs et l'ensemble des pièces de l'héliostat.

Lors de la conception sous SolidWorks le matériau peut être défini comme le montre l'exemple de la Bague inférieure présenté avec ces propriétés à la figure ci-dessous. Ainsi, les poids des différentes pièces sont connus par le simulateur et prisent en considération dans les sollicitations lors de la simulation, donc il n'est pas nécessaire de les calculer ; il ne reste que déterminer la force du vent qui peut être calculée par l'équation suivante :

$$F_{vent} = \frac{\rho S C\alpha}{2} V^2$$

Où : ρ la masse volumique de l'air.

S la section s'opposant aux vents.

$C\alpha$ coefficient dépendant de l'orientation des vents par rapport à la section S .

V vitesse des vents.

Selon le cahier des charges, la vitesse des vents peut atteindre 40km/h en mode de fonctionnement « suivi », si la vitesse dépasse les 40 km/h, l'héliostat passe en mode « tempête » où le miroir prend une position horizontale éliminant ainsi toutes forces des vents. Nous allons considérer une vitesse des vents égale à 50 km/h juste pour en être sûr de la résistance de la structure si un héliostat ne passe pas en mode « tempête », cela permettra de corriger les éventuels problèmes avant que la vitesse des vents dépasse les 50 km/h.

$$V = 50km/h = \frac{50 \times 1000}{60 \times 60} = 13.89 \cong 14m/s$$

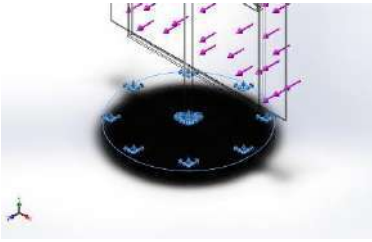
Concernant le coefficient $C\alpha$, le cas le plus défavorable se révèle quand le vent applique une pression normale à la surface du miroir lorsque ce dernier est en position verticale pour la maintenance, ou proche de la verticale en mode « suivi », dans ce cas le coefficient $C\alpha = 1$.

La section s'opposant aux vents est celle de un miroir, donc $S = 1m^2$. Alors :

$$F_{\text{vent}} = \frac{1.341 \times 1 \times 1}{2} 14^2 = 131.41N$$

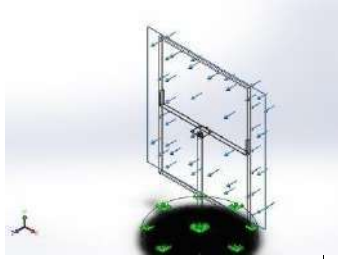
Après définition de cette force, on a procédé à la simulation statique de la résistance du modèle en commençant par imposé un déplacement nul au niveau de la fondation pour fixé celle-ci.

Tableau III.1 : Le déplacement imposé

Nom du déplacement imposé	Image du déplacement imposé	Détails du déplacement imposé		
Fixe-1		Entités: 1 face(s) Type: Géométrie fixe		
Forces résultantes				
Composants	X	Y	Z	Résultante
Force de réaction(N)	-0.0061591	-0.097071	-131.932	131.932
Moment de réaction(N.m)	0	0	0	0

Ensuite ; une charge normale à la surface du miroir est appliquée.

Tableau III.2 : Chargement du modèle

Nom du chargement	Image du chargement	Détails du chargement		
Force-1		Entités: 1 face(s) Type: Force normale Valeur: 132 N		

Le solveur de SolidWorks a pris 6 secondes pour créer un maillage de type volumique avec 37710 nœuds pour un nombre total de 20195 éléments volumique.

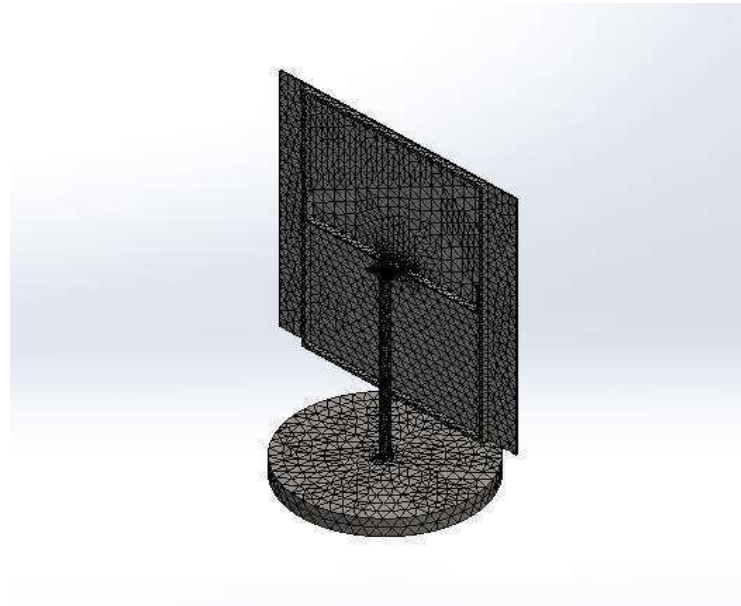


Figure III.8 : Le maillage.

Les résultats ont montrés que les contraintes maximales sont enregistrées au niveau de l'encastrement d'une valeur égale à 39 MPa ; une contrainte maximale admissible vu que la limite d'élasticité est égale à 180 MPa .

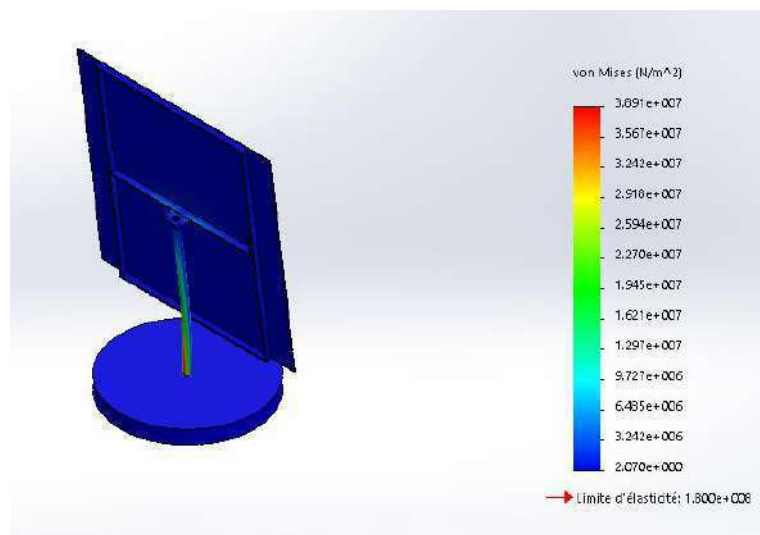


Figure III.9 : Résultats sur les contraintes.

Quand aux déplacements, un maximum de 4 mm est enregistré au sommet de l'héliostat ; on peut dire que c'est un déplacement faible par rapport aux dimensions de l'héliostat et que son influence va se présentée sous forme d'un décalage de l'image des rayons réfléchis du soleil (à étudier).

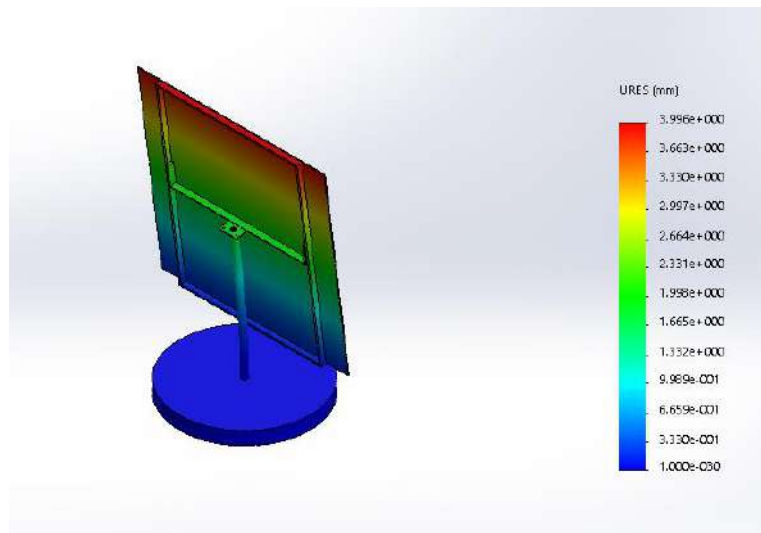


Figure III.10 : Résultats des déplacements.

Concernant les déformations, une valeur maximale de 1.493×10^{-4} mm est enregistrée à l'encastrement. Comme indiqué aux résultats des contraintes.

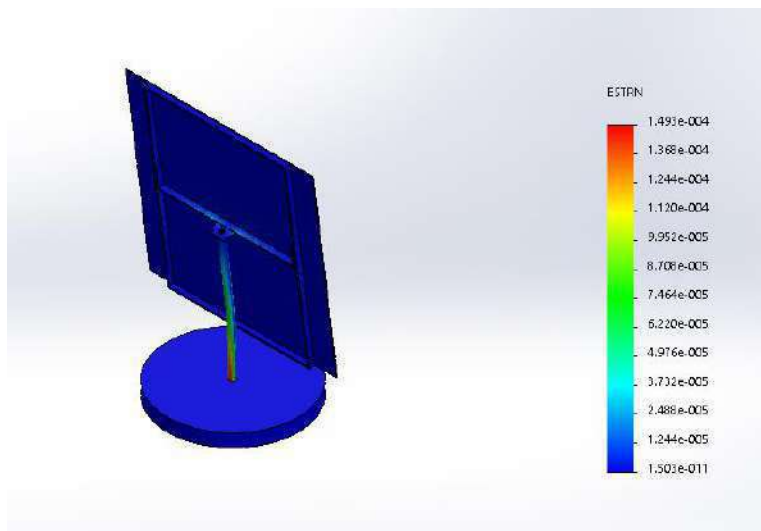


Figure III.11 : Résultats des déformations.

Pour le coefficient de sécurité, une valeur minimale de 4.626 est enregistrée. Cela signifie que la structure va travailler dans les conditions déclarées au cahier des charges en toute sécurité.

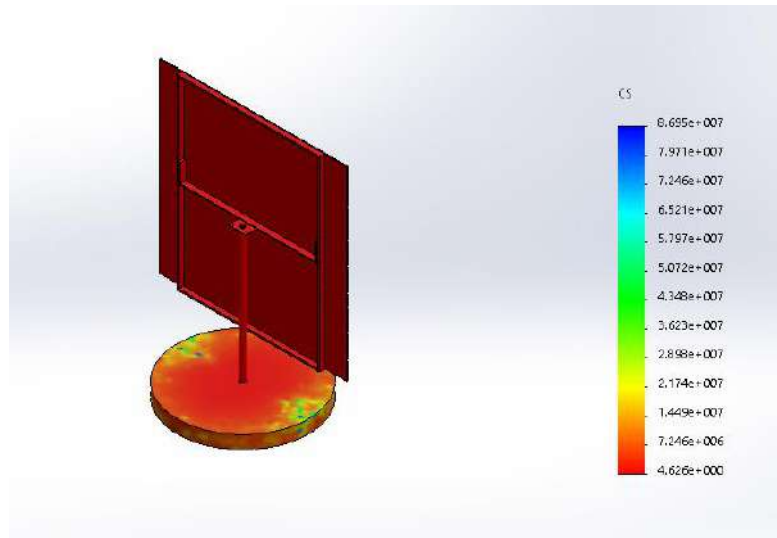


Figure III.12 : Résultats des déplacements.

On peut réduire ce coefficient encore pour arriver à une limite de 2 ou même 1.5 (qui sont les valeurs habituelles) en raison de diminuer le volume des pièces et gagner par conséquent sur le prix de revient ; but principale de notre travail mais au cause de temps limité, on s'est obligé à passé directement vers la réalisation.

Il faut rappeler que la dimension de départ dont dépend presque toute la structure est celle du diamètre extérieur du pylône a était choisie par estimation sur la base de conceptions similaires précédentes.

III.3.5 L'entraînement

On a choisi des motoréducteurs à vis sans fin pour assurer l'entraînement des les deux mouvements : azimut et élévation. Les réducteurs à vis sans fin sont connus par leur rapport de réduction élevé, chose importante pour nous, car un héliostat tourne à vitesse très faible ; la rotation autour de l'azimut est de l'ordre un tour par jour (0.014 tr/mn), une vitesse qui peut augmenter un peu selon l'intervalle de temps de mise à jour de la position de l'héliostat (le mouvement n'est pas continu).

Sur le marché existe une grande variété de motoréducteur à vis sans fin, parmi eux on trouve des lève-vitres des automobiles, qui sont principalement alimentés en 12V et tournent dans les deux sens. On a pu récupérer deux lève-vitres d'une MAZDA.626 pour 3000 DA mais nous ne les avons pas trouvés en navigant sur le web pour plus d'informations sur leurs caractéristiques.

Ce choix est justifié par le fait que ce modèle possède un axe de rotation long nous permettant ainsi d'adapter nos pièces d'entraînement facilement.



Figure III.13 : Motoréducteur lève-vitre Mazda

La puissance n'est pas un paramètre très important car la structure est en état d'équilibre, donc les couples de torsion qui vont assurer le fonctionnement sont moindres.

On doit rappeler qu'une vis sans fin est un cylindre comportant des cannelures hélicoïdales, la faisant ressembler à une tige filetée. Associée à une roue, elle constitue un engrenage gauche (les deux axes ne sont pas dans le même plan), dans lequel elle se comporte comme une roue à une dent (ou plus, selon le nombre de cannelures). On appelle aussi parfois ce système roue et vis sans fin.

Cet engrenage gauche a la propriété d'un frein, c'est-à-dire que la vis peut entraîner la roue en rotation mais l'inverse est impossible, un couple quelconque sur la roue sera résisté par les cannelures de la vis sans fin.

On va assurer l'entraînement du support miroirs par rapport au corps au moyen d'un câble en acier dont l'une des deux extrémités est fixée au Support miroir, le câble est ensuite enroulé sur presque la totalité du périmètre d'une roue accouplée au motoréducteur de commande du mouvement d'élévation, puis renvoyé à l'aide de trois petites poulies vers un ressort pour assurer une tension en permanence (voir figure III.2).

Cependant, l'entraînement autour de l'azimut sera assuré par un ensemble pignon-chaîne-roue d'un rapport de réduction de 36/14.



Figure III.14 : Le couple d'engrenage Roue 36 dents et pignon 14 dents

III.3.6 Les tendeurs

Pour éliminer les jeux qui peuvent se présenter entre les pièces, on assure des tensions permanentes sur le câble ainsi que la chaîne.

Un ressort attaché à l'extrémité du câble (dont l'autre est attachée au Support miroir) permet de rattrapé la déformation entre la longueur du câble et les parcours de ses points de fixations au Support miroir ; le câble droit sur ses parties tendues en simule pas les parcours en quarts de cercles.

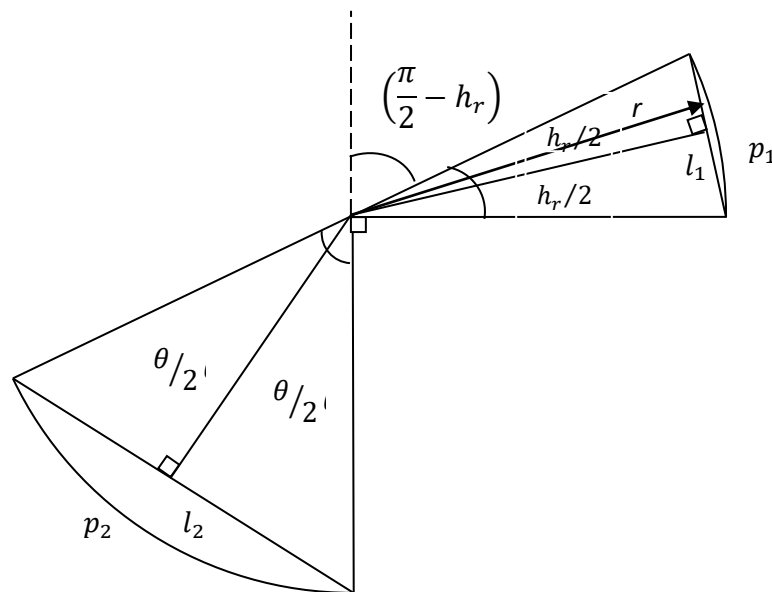


Figure III.15 : Différence entre la longueur du câble et les parcours de ses points de fixation au Support miroir

On a :

$$P = p_1 + p_2 = h_r \times r + \theta \times r = h_r \times r + \left(\frac{\pi}{2} - h_r\right) \times r = \frac{\pi}{2} \times 500 = 785.398mm$$

$$L = l_1 + l_2 = 2 \times r \times \sin \frac{h_r}{2} + 2 \times r \times \sin \frac{\theta}{2} = 2 \times r \left(\sin \frac{h_r}{2} + \sin \left(\frac{\pi}{4} - \frac{h_r}{2} \right) \right)$$

Donc la différence est clairement dépendante de l'angle d'élévation (variant entre 0° et 90°). A l'aide d'un tableur, on a enregistré une valeur maximale de cette différence égale à : $78,29 \text{ mm}$ correspondante à aux angles 0° et 90° , et une autre minimale de $20,03 \text{ mm}$ correspondante à un angle de 45° (voir annexe A).

Donc, une course de $58,26 \text{ mm}$ doit être prise en charge par le ressort toute en assurant une tension même pour le cas correspondant aux élévations 0° et 90° .

Ce même ressorte permet d'avoir une résultante sur le Support miroir qui élimine n'importe quel jeu au niveau des articulations du Support miroir même après usure des paliers correspondants.

Un deuxième ressort placé au niveau du motoréducteur tire ce-dernier avec son pignon de façon à assurer une tension sur la chaîne, éliminant ainsi tous jeux sur le système d'entraînement azimutal.

III.3.7 Les capteurs d'angle

On prévoit une commande du système par une carte Arduino qui permet le contrôle des motoréducteurs et l'héliostat par conséquent sur la base d'un programme intégré et des informations concernant les angles d'orientation de l'héliostat qui seront fournis par des capteurs de position angulaire en temps réel.

Notre choix a ainsi tombé sur un capteur d'angle sans contact P3022-V1-CW360 de la marque PandAuto dont les principales propriétés, et sur lesquelles notre choix est basé, sont :

- Des petites dimensions (voir figure III.16),
- Une résolution de $360^\circ/4096 = 0.088^\circ$,
- Un poids égal à $25g$,
- Un angle effectif de 360° ,
- Une tension d'alimentation de $5V$,
- Une température de travail entre -30°C et 85°C .

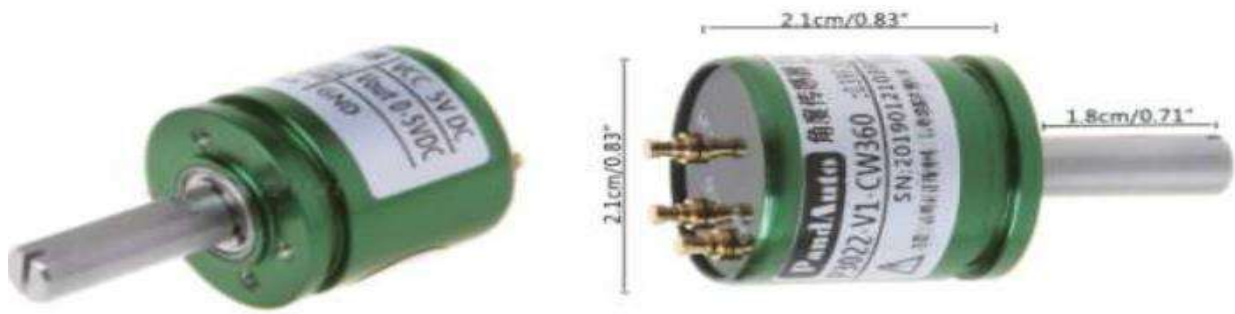


Figure III.16 : Capteur d'angle sans contact PandAuto-P3022.

Concernant la carte Arduino, il existe le modèle Uno WiFi V2 ABX00021-R. On a opter pour ce modèle car il s'alimente en 12 V (même alimentation que pour les motoréducteurs), en plus, l'option WiFi permettra de communiquer les informations entre la salle de commande et l'ensemble des héliostats.

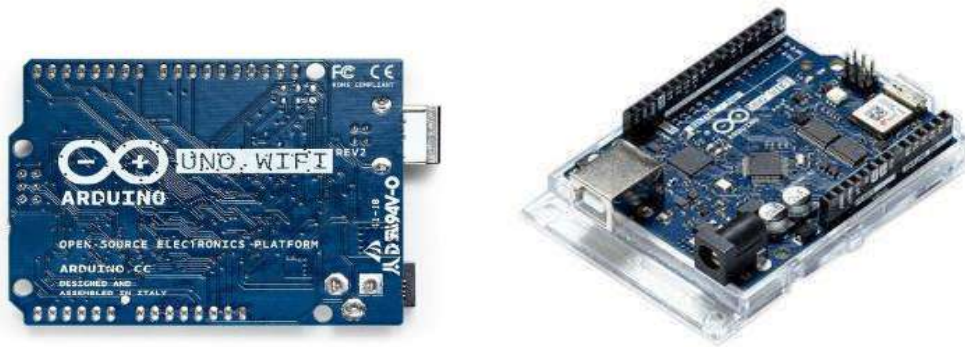


Figure III.17 : Carte Arduino Uno WiFi V2 ABX00021-R

III.3.8 Algorithme de fonctionnement

Pour un héliostat quelconque dans un champ, sa position ainsi que la position du récepteur sont bien définis, donc ils seront pour nous des données stockés disponibles au début avec bien sûr le parcours du soleil.

Le fonctionnement commence par la lecture de la vitesse du vent depuis un capteur installer sur le champ, si la valeur enregistrée est égale ou supérieure à 40km/h , on calcule la différence entre h_r qui représente l'angle d'élévation réel du Support miroir fournie par le capteur installer sur l'axe de rotation horizontale, et la position horizontale du miroir équivalente à un angle de 90° ; si cette différence est supérieure à une tolérance donnée ε , on calcul le temps nécessaire au système d'entraînement azimutale pour amener le miroir à sa position horizontale, puis on alimente le moteur correspondant avec du courant pendant le temps t (calculé) dans un sens antihoraire, cela doit théoriquement prendre le miroir à l'état horizontale.

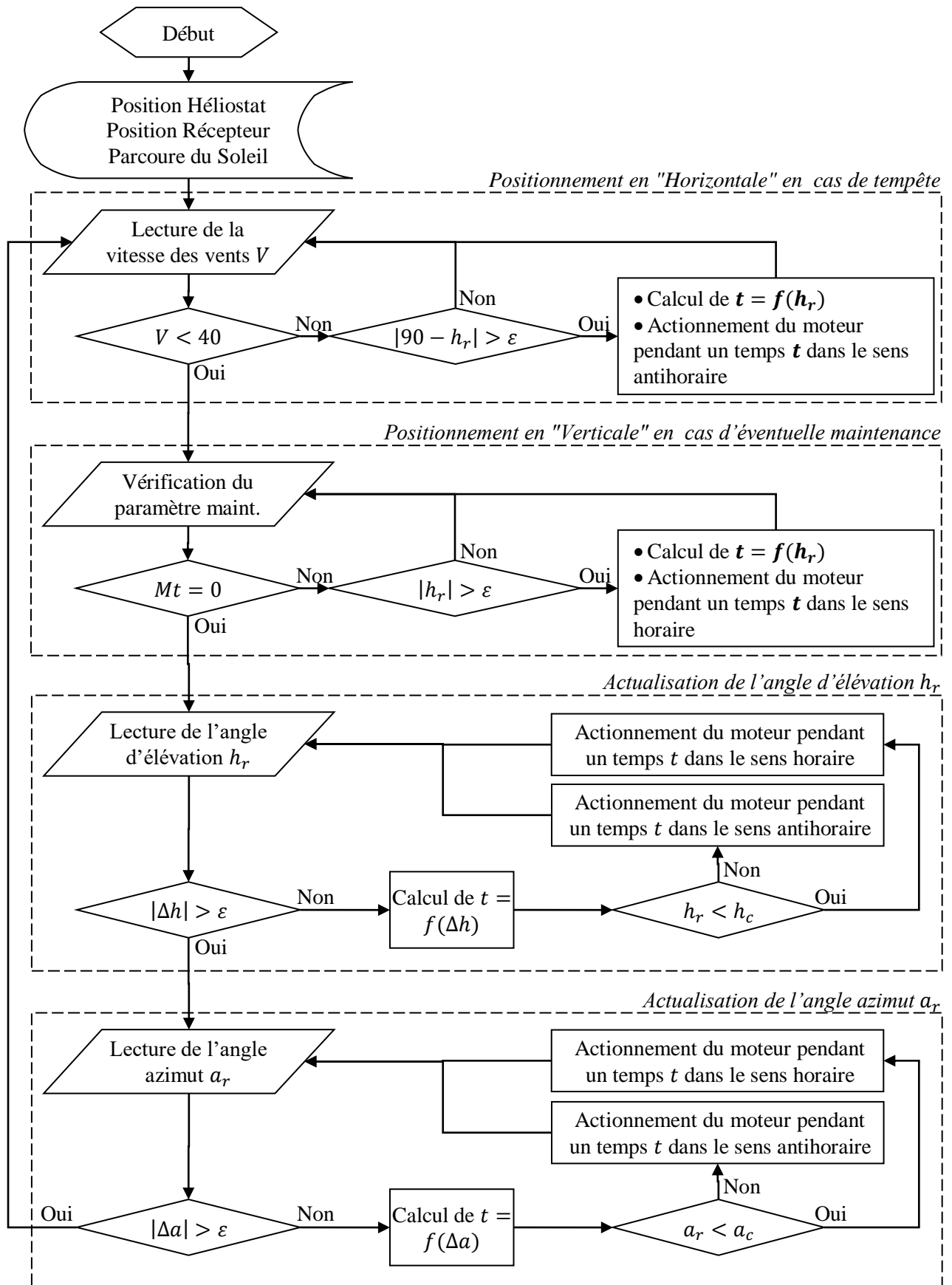


Figure III.18 : Algorithme de fonctionnement

Le retour sera vers la lecture de la vitesse du vent. Ainsi l'héliostat reste en position horizontale tant que le capteur de la vitesse du vent n'a pas indiqué une valeur inférieure à 40km/h . En cas contraire, on passe à la vérification de Mt qui est pour nous un paramètre indiquant si l'héliostat est opérationnel ou en état de maintenance (y compris le nettoyage), un paramètre commandé depuis une salle de contrôle ou à l'aide d'un bouton sur l'héliostat. Ce paramètre prend une des deux valeurs : 0 ou 1.

Si la valeur de $Mt = 1$ donc l'héliostat doit être en position verticale, pour cela, on procède presque de la même façon précédente ; on calcule la différence entre h_r et la position verticale du miroir équivalente à un angle zéro degré ; si cette différence est supérieure à la tolérance ε . On calcule le temps nécessaire au système d'entraînement azimutale pour amener le miroir à sa position verticale, puis on alimente le moteur avec du courant pendant le temps calculé t dans un sens horaire, cela doit théoriquement déplacer le miroir jusqu'à qu'il soit verticale.

Ailleurs des deux cas, l'héliostat est en mode suivi, donc il va actualiser ses orientations en fonction de l'heure. A chaque fois, et après le passage d'un Δt , le programme vérifie la différence entre l'élévation réelle h_r lue à partir du capteur de position angulaire positionner entre le Corps et le Support miroir, et celle de consigne h_c calculer à partir des données stockées (position héliostat, position du récepteur et l'heure d'actualisation correspondante à une position du soleil). Si la différence est supérieure à la tolérance ε , une autre vérification est effectuée entre h_r et h_c pour définir dans quel sens il faut tourner le moteur. Pour une différence $h_r - h_c < 0$, le moteur doit tourner dans le sens horaire et vice-versa. Le temps d'activation du motoréducteur est calculé en fonction de la différence Δh .

L'actualisation de l'orientation azimut ce fait de la même façon sur la base de la lecture que donne le capteur de position angulaire placer entre le Pylône et le Corps sur la valeur réelle de l'angle azimut a_r .

Puisque le parcours du soleil est de l'est vers l'ouest, la consigne a_c est toujours supérieur à a_r , le motoréducteur va tourner toujours dans le sens horaire, mais ; au couché du soleil, la différence enregistrée est de signe négatif, donc l'entraînement va être dans le sens opposé.

III.3.9 Détermination des temps d'actionnement des motoréducteurs

A l'essai, nous avons enregistré une vitesse de rotation à l'axe de sortie du motoréducteur égale à 92 tr/min . Cette vitesse moyennement faible sera encore réduite sur les deux mouvements de l'héliostat : azimut et élévation.

III.3.9.1 Mouvement d'élévation

Sachant que le câble est fixé au Support miroir à une distance de 500 mm de l'axe de rotation, et que la poulie accouplé au motoréducteur de commande du mouvement d'élévation a un rayon de 20 mm ; un rapport de réduction équivalent à $R_h = 20/500 = 0.04$ est enregistré. Ainsi la vitesse de rotation du Support miroir est égale à :

$$\omega_{sm} = R_h \omega_{mr} = 0.04 \omega_{mr} = 0.04 \times 92 = 3.68 \text{ tr/min}$$

Par simple conversion, elle devient :

$$\omega_{sm} = 3.68 \times 360 = 1324.8^\circ \text{ min}^{-1}$$

$$\omega_{sm} = 1324.8/60 = 22.08^\circ \text{ s}^{-1}$$

Une différence entre l'élévation réelle et celle de consigne est donnée par l'équation :

$$\Delta h = h_r - h_c = \omega_{sm} \Delta t$$

$$\Rightarrow \Delta t = \Delta h / \omega_{sm} = \Delta h / 22.08$$

C'est-à-dire qu'une impulsion de courant électrique de 45 ms va tourner le Support miroir d'un angle de 1° .

III.3.9.2 Mouvement azimut

Pour déterminer le rapport de réduction dans le système d'entraînement azimutale en a mis en place le schéma cinématique de la figure III.9.

Il est claire que la roue dentée de 36 dents est solidaire du pylône, donc elle est statique, cependant, le bras de 270 mm de long associer au trapèze du Corps tourne autour du point O (axe verticale) avec une vitesse de rotation ω_{corps} .

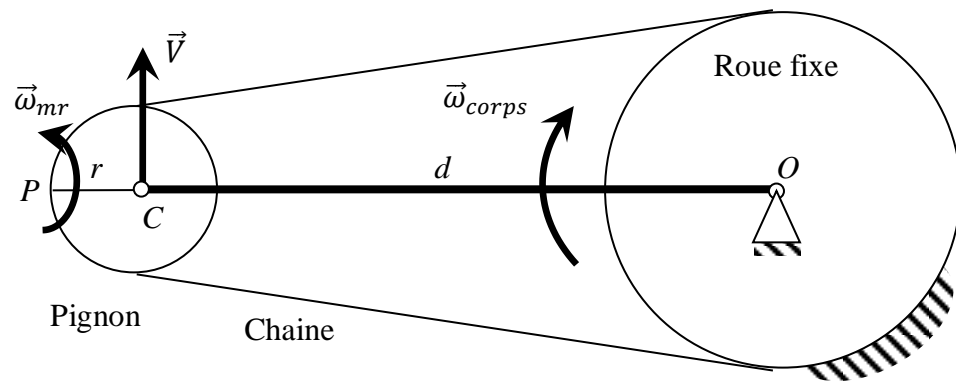


Figure III.19 : Cinématique du mouvement azimut

Similaire à un système d'engrenage planétaire, le pignon (comme un satellite) tourne autour du point P son CIR (centre instantané de rotation) avec la vitesse ω_{mr} .

La vitesse du point C est commune entre les deux solides : bras et pignon est égale à :

$$V = \omega_{mr} \times r = \omega_{corps} \times d$$

Donc le rapport de réduction pour le mouvement azimut est de l'ordre de

$$R_a = \omega_{corps} / \omega_{mr} = r/d = 27/270 = 0.1$$

Ainsi

$$\omega_{corps} = R_a \omega_{mr} = 0.1 \omega_{mr} = 0.1 \times 92 = 9.2 \text{ tr/min}$$

Après conversion elle devient :

$$\omega_{corps} = 9.2 \times 360 = 3312^\circ/\text{min}$$

$$\omega_{corps} = 3312/60 = 55.2^\circ \text{ s}^{-1}$$

Une différence entre l'angle azimut réel et celui de consigne est donnée par l'équation :

$$\Delta a = a_r - a_c = \omega_{corps} \Delta t$$

$$\Rightarrow \Delta t = \Delta a / \omega_{corps} = \Delta a / 55.2$$

Donc ; pour 1° de rotation autour de l'azimut, on doit actionner le motoréducteur correspondant durant 18ms .

Pour un temps donné pour une actualisation des angles, la différence qui peut être enregistrée pour Δa est clairement plus grande que celle enregistrée pour Δh , c'est pourquoi on juge les rapports de réduction choisis comme raisonnables.

Chapitre IV

REALISATION D'UN PROTOTYPE

IV.1 Introduction

Sur la base de l'étude élaborée au chapitre précédent, nous avons procédé à la réalisation d'un prototype. La réalisation est répartie sur trois sections : la fabrication des pièces de révolution par tournage, la découpe et l'assemblage par soudure des éléments du Corps et du Support miroir, puis l'assemblage finale. Sans oublier l'achat des pièces entrant dans l'assemblage de l'héliostat.

IV.2 Pièces réaliser par soudage :

La Après découpe de la cornière 25×25 selon les différentes démenassions, on a précédé à la soudure de ces dernières dans un atelier de soudure avec des moyens modérés.

Les sous-ensembles obtenus sont représentés à la figure IV.1 dont : a et b sont les deux sous-ensembles qui forment le Corps. La longueur totale de la cornière utilisée est moins de $9m$ obtenue pour 1200.00 DZD.



a) Trapèze du corps

b) Triangle du corps

c) Support miroir

Figure IV.1 : Pièces réalisées par soudure.

IV.3 Fabrication des pièces de révolution par tournage :

La fabrication des pièces de révolution a eu lieu dans un atelier de tournage de Saïd KHAEIT sis à la rue de la Palestine, Ouargla pour un coût total matière première et main-d'œuvre de 3500.00 DZD. La figure IV.2 regroupe les images des pièces réalisées.



a) Butée

b) Bague sup. extérieure

c) Bague sup. intérieure



d) Rectangles

e) Bague inf. extérieure

f) Bague inf. intérieure

Figure IV.2 : Pièces de révolution réalisées par tournage.

IV.4 Les pièces d'achat

Ces pièces sont principalement la boulonnerie servant à l'assemblage des différentes parties l'une à l'autre, les couple Roue et pignon avec chaîne, les graisseurs, le ressort, le câble, les capteurs de position angulaire ainsi que la carte de contrôle Arduino.

De chez un détaillant de pièces pour motos, on a acheté les couple Roue et pignon avec chaîne pour une somme de 1100.00 DZD, la boulonnerie à coûter 400.00 DZD, le temps que les capteurs de position angulaire vaux 3680.88 DZD pour une paire.



Figure IV.3 : Les pièces "Achat".

Concernant la carte de contrôle, une Arduino Uno WiFi V2 ABX00021-R peut être obtenue via le store arduino sur internet pour 5268.66 DZD. Pour les motoréducteurs, on les a obtenus les deux pour 3000.00 DZD, et finalement 1m² de miroir coûte 600DZD.

IV.5 L'assemblage global :

Le montage des différentes pièces l'une aux autres nous donne le résultat de la figure ci-dessous représentant l'assemblage de l'héliostat en deux vues.



Figure IV.4 : Assemblage final

IV.6 Prix de revient approximatif :

D'après les tarifs déclarés dans les paragraphes précédents, on est arrivé à une dépense totale égale à 18749.54 *DZD*. Donc ; le coût d'après le taux de change *DZD – USD* du 21/6/2019 est moins de 157.75 $\$/m^2$ (puisque la surface de réflexion est 1 m^2).

A noter que ce montant est approximative puisque on pas eu le temps de munir une étude de coût bien détaillée, par exemple, on n'a pas pris en considération la préparation de site. Cependant, ce montant sera encore réduit si l'obtention de pièces se fait par lancement d'un appel d'offre pour un champ et non pas pour un seul héliostat, l'achat en gros joue un rôle important dans la réduction des prix de revient.

IV.7 Conclusion :

Après la réalisation d'un prototype sur la base de l'étude élaboré au chapitre 3, nous avons remarqué que le prototype fonctionne comme prévu. Le coût de ce prototype est arrivé à 157.75 $\$/m^2$ qui est un chiffre acceptable en comparaison avec les héliostats existant sur le marché. Ce chiffre peut être encore réduit par l'agrandissement du miroir ; cela est possible car on a enregistré un coefficient de sécurité supérieur à 4.

Une augmentation de 23cm sur chaque côté du miroir va augmenter la surface de réflexion de 50% ; le prix par mètre carré sera donc diminuer vers 105 $\$/m^2$. Bien sûr, ces limites doivent faire l'objet d'une "ré-simulation" pour vérifier de nouveau la résistance de la structure.

Conclusion Générale

Ces dernières décennies, les énergies renouvelables ont connues un véritable développement, soit du côté technologie ou bien du côté exploitation, cependant, elles ne représentent que 10% l'énergie consommée mondialement.

Avec une superficie de plus de deux millions de kilomètres carré ; l'Algérie dispose d'un gisement solaire parmi les plus élevés au monde équivalent à 2200 KWh/m²/an, sa région Sahara représente 86% de la surface totale du pays. L'exploitation d'une telle énergie peut couvrir les besoins du pays en électricité voir même l'exporté vers d'autre pays africains et/ou européens.

Il est donc devenu indispensable de maîtrisé cette technologie qui est nécessaire au développement économique. Un inconvénient majeur de l'exploitation de l'énergie solaire est le coût élevé des réalisations, ces bénéfices ne se révèlent qu'à long terme surtout avec la présence des énergies fossiles plus simple pour l'exploitation mais néfaste sur l'environnement.

Pour les projets d'énergie solaire, le coût de réalisation d'un champ d'héliostats représente plus que 50% du coût global, d'ici, nous nous somme engagé au travail présenté dans ce mémoire dans le but de contribuer à la réduction des coûts de réalisation de ces champs ; un travail qui est réparti en deux parties : une première théorique où on a abordé les différentes sources d'énergie utilisées actuellement avec leurs impacts sur l'environnement ainsi que le développement de l'exploitation de l'énergie solaire surtout celle qui repose sur l'emploi des héliostats.

Nous avons consacré un chapitre à ces derniers pour parler de leur histoire, composants, différents types ..., et indiquer quelques modèles en cours d'exploitation.

A la deuxième partie signée pratique, nous avons proposé une nouvelle conception ; sur la base d'un cahier de charges, nous avons mis en place un croquis pour un héliostat qu'on a supposé fonctionnel, simple en réalisation, précis et moins coûteux que les modèles existant sur le marché.

A l'aide du logiciel de CAO SolidWorks, nous avons conçu l'héliostat avec ses différentes partie et pièces, puis on a vérifié l'héliostat à la résistance par une simulation. Les

résultats en montrés que la structure est résistante au charge considérées, avec un coefficient de sécurité minimal équivalent à 4.6.

Sur la base de cette étude, nous avons procédé à la fabrication des différentes pièces et réalisé un prototype. Les essais ont montrés que les deux mouvements d'élévation et azimut sont assurés en toute souplesse et cela en respectant le cahier des charge.

Par rapport aux héliostats disponibles sur le marché ou réalisé dans le cadre des projets en cours de production d'énergie, le coût de notre prototype est vraiment faible et égale en unité de surface de réflexion : $157.75 \$/m^2$, sans oublier que c'est un « prototype » (il est connu que les prototypes sont plus cher que les produits finaux).

Pour $157.75 \$/m^2$, notre prototype est capable de couvrir un angle de 360° en azimut et 90° entre la verticale et l'horizontale ce qui permet de l'utilisé n'importe où dans le monde entier au contraire des héliostats utilisant des actuateurs linéaires.

Malgré que la surface de réflexion est petite, un intérêt important ce trouve dans l'emploi de petits héliostats du côté à savoir "le contrôle de l'image de réflexion sur récepteur" (pour éviter le problème de débordements au récepteur), et d'un autre côté très important qui est la maintenance.

La surface de réflexion peut même être sujet d'une augmentation permettant de réduire encore son prix par unité de surface vers $105 \$/m^2$. Ceci doit bien sûr faire l'objet d'une étude qui est facile puisque le modèle numérique en 3D est mis en place, et c'est ça l'intérêt de la CAO et la conception paramétrique.

Le système d'entraînement basé l'emploi des motoréducteurs aide grandement à éviter les concertations de contraintes enregistrées pour les systèmes d'entraînement azimutal monté sur piédestal ; ces derniers sont très coûteux et leur remplacement aide à la réduction du prix de revient de l'héliostat.

Le système d'entraînement mis en place élimine automatiquement les jeux ce qui permet de garder un rendement constant de l'héliostat avec le temps et minimise la fréquence de maintenance.

Finalement, et à cause du manque de temps, l'étude de prix de revient n'était pas bien détaillée, ainsi on recommande de poursuivre l'étude du coût et de tester le prototype sur le champ pour prouver son efficacité et déterminer son rendement réel.

Bibliographie

- [1] G. B. - A. Sanière, Charbon : ressources, réserves et production, Manuscrit: Innovation Energie Environnement., 2007.
- [2] E. T. Christine TRAVERS, Technique de l'ingénieur, [BE 8520] , 2008.
- [3] http://www4.ac-nancy-metz.fr/physique/ancien_site/Nouvprog/prem_L/docs/enjeux_planet/Energies-fossiles&pollution-CH.pdf, LES ENERGIES FOSSILES ET LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE, Metz-france.
- [4] L. R. "Eco-Logiques", L'Énergie fossile, Grenoble, 2016.
- [5] J. R. e. M. S. Jean-Louis Bascdevant, Energie Nucléaire, les éditions de L'école polytechnique, janvier 2002.
- [6] S. d. G. Sonelgaz, Programme des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique, le ministère de l'énergie et des mines, Mars 2011.
- [7] <http://www.tpepanneauxsolaires.fr/fonctionnement.html>.
- [8] F. n. K. Djamila, Contribution à la valorisation énergétique de la biomasse, mémoire de DOCTORAT. Univ Abu Bakr Belkaid Tlemcen..
- [9] D. Laplaze, Le rayonnement solaire estimation et mesures,, La Garenne-colombes, France, 1990.
- [10] M. Daguinet, Les séchoirs solaires, théorie et pratique Unesco, Paris, 1985.
- [11] M. Capderou, Atlas solaire de l'Algérie, Modèles théoriques et expérimentaux, Alger, 1988.
- [12] Station Météo Ouargla, l'ONM, 2004-2015.
- [13] A. Montenon, Analyse, mutualisation et optimisation par la commande de la consommation énergétique des héliostats autonomes des centrales à concentration solaire'', TOULOUSE.: Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse) ;Thèse Doctorat , 21/05/2013.

- [14] W. 2. Al, Héliostat pourvu d'un dispositif pour l'actionner selon deux axes avec un seul moteur'', 2013.
- [15] Adrien SALOMÉ, Développement d'un outil de contrôle de la répartition du flux solaire concentré sur un récepteur de centrale à tour : Application à la centrale de, Thèse de Doctorat, Université de Perpignan, 2007.
- [16] Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, DEVELOPPEMENT DES HELIOSTATS DANS LES CENTRALES SOLAIRES A TOUR AU COURS DES DERNIERES ANNEES, Ghardaïa – Algeria: URAER, 24 - 25 Octobre 2018.
- [17] E. B. R. P. A. B. G. K. J. Teufel, Dimensioning of heliostat components under wind and gravity load: the map approach. In: Proc. SolarPACES 2008 Conference,, Las Vegas, Nevada., 2008.
- [18] J. C. J. X. Y. H. C. K. J. P. J. B. G. L. D. N. G. A. M. S. W. B. M. B. J. D. M. L. W. B. A. Coventry, «Heliostat Cost Down Scoping Study – Final Report. ANU Document Reference:», STG-3261 Rev 01, ASTRI, 2016.
- [19] C. e. a. Zang, Experimental wind load model for heliostats. Applied energy, 2012.
- [20] S. A. a. S. Nijmeh, Two Axes Sun Tracking System with PLC Control, Energy Conversion and Management, Vol. 45, N°11-12, pp. 1931 – 1939,, 2004.
- [21] S. d. é. renouvelables, Principe de fonctionnement du solaire thermodynamique.
- [22] Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, l'Influence des angles d'attaques du vent sur un héliostat installé dans le Sud Algérien, Ghardaïa – Algérie: URAER, 13 et 14 Octobre 2014.
- [23] D. B. e. M. A. e. Malek, étude d'un système de commande d'un héliostat d'une tour solaire., diplôme de MASTER Université Kasdi Merbah–Ouargla, 2011/2012.

- [24] Y. Noureddine, Comparative study of receiver performance in solar power tower, UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES: Thèse de Doctorat, 2017.
- [25] E. CLERC, Optimisation multi-échelles d'un champ d'héliostat pour centrale à concentration de petite puissance, institut international d'ingénierie de l'eau et de l'environnement, 2011.
- [26] I. p. Report, «http://www.abengoa.com/export/sites/abengoa_corp/resources/pdf/en/gobierno_corporativo/informes_anuales/2012/2012_Volume1_AR_8.pdf,» 2012. [En ligne].
- [27] P. S. M. R. D. H. R. Ricklin, Commercial readiness of esolar next generation heliostat., Energy Procedia, 2014.
- [28] C. B. S. D. Bender W, Suspension heliostat material efficiency. In: 2011 annual SolarPACES symposium., Granada, 2011.
- [29] SENER, «Central receiver plant NOORo III,» [En ligne]. Available: <http://www.poweroilandgas.sener/projects/central-receiver-plant-nooro-iii>.
- [30] C. CSIRO, «<https://www.csiro.au/en/Research/EF/Areas/Solar/Solar-thermal/China-solar>,» 2017. [En ligne]. Available: <https://www.csiro.au/en/Research/EF/Areas/Solar/Solar-thermal/China-solar>.

Annexes

A. Différence entre la longueur du périmètre et la longueur du câble $P - L$

h_r [°]	L [mm]	$P - L$ [mm]			
0	707,106781	78,2912188	46	765,337722	20,0602781
1	709,6358	75,7622002	47	765,250296	20,1477044
2	712,110777	73,2872231	48	765,104593	20,2934074
3	714,531524	70,866476	49	764,900624	20,4973761
4	716,897857	68,5001432	50	764,638405	20,7595949
5	719,209595	66,188405	51	764,317956	21,080044
6	721,466563	63,9314374	52	763,939301	21,4586988
7	723,668588	61,7294122	53	763,50247	21,8955305
8	725,815503	59,5824973	54	763,007494	22,3905059
9	727,907144	57,4908559	55	762,454413	22,9435873
10	729,943352	55,4546476	56	761,843268	23,5547325
11	731,923973	53,4740272	57	761,174105	24,223895
12	733,848854	51,5491457	58	760,446976	24,9510239
13	735,71785	49,6801496	59	759,661936	25,7360638
14	737,530819	47,8671813	60	758,819045	26,5789549
15	739,287621	46,1103788	61	757,918367	27,479633
16	740,988124	44,4098759	62	756,959971	28,4380295
17	742,632198	42,7658021	63	755,943929	29,4540714
18	744,219717	41,1782827	64	754,870319	30,5276814
19	745,750562	39,6474384	65	753,739222	31,6587777
20	747,224614	38,173386	66	752,550726	32,8472742
21	748,641762	36,7562376	67	751,30492	34,0930803
22	750,001899	35,3961012	68	750,001899	35,3961012
23	751,30492	34,0930803	69	748,641762	36,7562376
24	752,550726	32,8472742	70	747,224614	38,173386
25	753,739222	31,6587777	71	745,750562	39,6474384
26	754,870319	30,5276814	72	744,219717	41,1782827
27	755,943929	29,4540714	73	742,632198	42,7658021
28	756,959971	28,4380295	74	740,988124	44,4098759
29	757,918367	27,479633	75	739,287621	46,1103788
30	758,819045	26,5789549	76	737,530819	47,8671813
31	759,661936	25,7360638	77	735,71785	49,6801496
32	760,446976	24,9510239	78	733,848854	51,5491457
33	761,174105	24,223895	79	731,923973	53,4740272
34	761,843268	23,5547325	80	729,943352	55,4546476
35	762,454413	22,9435873	81	727,907144	57,4908559
36	763,007494	22,3905059	82	725,815503	59,5824973
37	763,50247	21,8955305	83	723,668588	61,7294122
38	763,939301	21,4586988	84	721,466563	63,9314374
39	764,317956	21,080044	85	719,209595	66,188405
40	764,638405	20,7595949	86	716,897857	68,5001432
41	764,900624	20,4973761	87	714,531524	70,866476
42	765,104593	20,2934074	88	712,110777	73,2872231
43	765,250296	20,1477044	89	709,6358	75,7622002
44	765,337722	20,0602781	90	707,106781	78,2912188
45	765,366865	20,0311353		MAX	78,2912188
				MIN	20,1477044

01 1) Sandrine corniere 25x25
 02 1) 3 corps
 03
 04 2) 2 triangle
 05 3) 3 pied

06
 07
 08
 09
 10

سعداء بزيارتكم - بالر
 Soude 3500,00

Bon Pour Mr Le 20.....

01 04 Bague + Butée
 02 06 Rectangle avec perçage

03
 04
 05 Total = 3500,00

06
 07
 08
 09
 10

سعداء بزيارتكم - بالر
 Soude 3500,00

اسهام في خفض تكاليف الحقول الشمسية

ملخص:

باختصار، الطاقات المتجددة هي طاقة المستقبل، إلا أن الطاقة الشمسية – والتي هي واحدة من أهم هذه الطاقات – تسجل نسبة تطبيق منخفضة رغم التطور الذي تشهده. السبب الرئيسي خلف هذا يعود الى قيمة الاستثمار المرتفعة اللازمة لمثل هذه المشاريع.

كحل لهذا الاشكال بالنسبة لمشاريع الأبراج الشمسية والتي تركز اشعة الشمس نحو مستقبل حراري لاستغلالها في إنتاج الكهرباء، نقترح من خلال هذه الدراسة نموذج أولي لجهاز تتبع الشمس والذي سيساهم من خلال بساطته وكفاءته في خفض تكاليف إنجاز الحقل والتي تمثل غالباً 50% من التكلفة الإجمالية لمشروع طاقة شمسية.

الكلمات المفتاحية: طاقة شمسية، أجهزة تتبع الشمس، تخفيض التكلفة.

A contribution to reduce solar fields cost

Abstract

In brief, renewable energies are those of the future, however; solar energy which one of these energies records a low rate of application and this despite its development. The major problem in this is the high investment costs.

To remedy this problem in the case of solar towers, we propose in this work a heliostat prototype able by its simplicity to reduce the costs of the heliostats field representing almost 50% of the overall investment cost in an energy project solar.

Keywords : Solar energy, heliostat, cost reduction.

Contribution à la réduction du coût des champs solaire

Résumé

En bref, les énergies renouvelables sont celles du futur, cependant ; l'énergie solaire qui l'une de ces énergies enregistre un faible taux d'application et cela malgré son développement. Le problème majeur dans ça est les coûts d'investissement élevés.

Pour remédier ce problème dans le cas des tours solaire, nous proposant dans ce travail un prototype d'héliostat capable par sa simplicité de diminuer les coûts du champ d'héliostats représentant presque 50% du coût d'investissement globale dans un projet d'énergie solaire.

Mots clés: Energie Solaire, héliostat, réduction de coût.