

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane MIRA de Bejaia
Faculté de technologie
Département de Génie Electrique

Mémoire de Fin de Cycle

En vue de l'obtention du diplôme de master II en électrotechnique
Option : électromécanique

Thème

**Etude et réalisation d'un mécanisme de
poursuite solaire pour un concentrateur
cylindro-parabolique**

Réalisé par :

Mr : YAHI Kamel

Mr : TIFAOU Ali

Encadré par :

Promoteur Mr : Y.MEBARKI

Co-promoteur Mr: O.Guenounou

Jury:

Mr: R.ALKAMA

Mr: A.MELLAHI

Année : 2013-2014

Remerciements

Le présent travail a été effectué à l'université de de Béjaia, faculté de technologie département de génie électrique.

Un grand merci au bon dieu de m'avoir guidé vers le bon chemin de la lumière et du savoir.

Je tiens à remercier vivement , Monsieur Mebarki youcef et monsieur O.gunounou pour leur suivi, leur assistance et leurs conseils précieux le long de ma formation. Leurs compétences ainsi que leurs expériences dans le domaine m'ont été d'une grande utilité.

J'exprime ma reconnaissance à tous les membres de jury d'avoir accepté de lire ce manuscrit et d'apporter les critiques nécessaires à la mise en forme finale de cet ouvrage.

Nos vifs remerciements vont aussi à l'ensemble des employés de l'atelier Hall de Technologie pour leurs collaborations et leurs sympathies et de nous avoir ouvert les portes de l'atelier afin qu'on puisse effectuer notre projet d'étude.

Mes remerciements vont également à idir mon ami qui ma bien aidé, pour ces conseils et de sa disponibilité sans limite.

Enfin, mes remerciements vont aussi à tous mes collègues de master, comme je remercie tous ceux qui ont aidés de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Yahí kamel

Tífaouí alí

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes très chers parents, votre courage, vos sacrifices ont été pour moi le meilleur soutien durant ce long parcours, veuillez trouver dans ce travail une grande reconnaissance pour ce que vous avez entrepris à mon égard, et un fruit de toutes vos prières et vos efforts.

A mes chers frères et soeurs.

A tous mes amis.

A tous mes collègues.

A tous ma famille.

yahí

Dédicaces

Au nom de dieu qui j'éprouve à chacune des personnes qui m'entourent et qui m'ont toujours solidement soutenu le long de ce long parcours.

A mes **chers parents** qui m'ont toujours éclairé le chemin de la vie en me tendant la main tout au long de mes années d'études « que dieu me les garde ».

A toute ma **famille**.

A tous mes **amis**.

A tous ceux qui m'ont aimé, m'aiment et m'aimeront pour moi même, je dédie ce modeste travail.

Tífaouí

Sommaire

Sommaire

Chapitre I

Considération générale sur le système étudié

I. Introduction	3
I.1-Les énergies renouvelables	3
I.2-les différents types d'énergie renouvelable	3
I.2.1-L'énergie hydraulique	3
I.2.2-L'énergie éolienne	4
I.2.3-L'énergie biomasse	4
I.2.4-L'énergie géothermique :	5
I.2.5-L'hydrolienne :	5
I.2.6-L'énergie solaire :	6
I.3-Mouvement de la terre :	6
I.3.1-Paramètres de position	6
I.3.1.1-Les coordonnées géographiques terrestres (φ, L).....	6
I.3.1.2-Les coordonnées horaires	7
I.3.1.3-Les coordonnées horizontales (h, a).....	8
I.3.1.4-Angle horaire de coucher du soleil.....	9
I.4-Rayonnement solaire :	9
I.4.1-Le rayonnement global:.....	10
I.4.1.1-le rayonnement solaire direct :	10
I.4.1.2-Le rayonnement solaire diffus:.....	10
I.4.2-L'Albédo :	10
I.5-Mesure et calcul des rayonnements solaires	11
I.5.1-La mesure directe	11
I.5.2-Le calcul analytique	11
I.5.2.1-Le rayonnement direct (S).....	11
I.5.2.2-Le rayonnement diffus (D) :	12
I.5.2.3-Le rayonnement global (G)	12

I.5.3-Taux d'ensoleillement	12
I.5.4-Potentiel solaire	13
I.6-les applications de l'énergie solaire	14
I.6.1-L'énergie solaire passive.....	14
I.6.2-L'énergie solaire active	14
I.6.3-L'électricité solaire.....	14
I.7-Le système solaire photovoltaïque	15
I.8-le solaire thermique	16
I.9- les capteurs solaire	16
I.9.1-Les différentes composants d'un capteur solaire	16
I.9.1.1-L'absorbeur.....	16
I.9.1.2-le fluide caloporteur	17
I.9.1.3-Un isolant thermique	17
I.9.2-Principaux paramètres caractérisant un capteur	17
I.9.3-Orientation et inclinaison des capteurs solaires	18
I.9.4-les différentes modes de captation d'énergie solaire.....	18
I.9.4.1-captation sans concentration	18
I.9.4.2-captation avec concentration	18
I.10-Les capteurs statiques.....	19
I.11-Les capteurs mobiles	19
I.11.1-Capteurs cylindro-parabolique (1 axe).....	20
I.11.2-Capteurs à lentille de Fresnel (1 axe).....	20
I.11.3-Parabole de révolution (2 axes).....	21
I.11.4-Tour solaire	21
I.12-les différents types du concentrateurs	22
I.12.1-Concentrateur stationnaire	22
I.12.2-Concentrateur avec poursuite solaire	22
I.13-Description d'un poursuiveur.....	23
I.13.1 Principe de fonctionnement.....	23
Conclusion.....	23

Chapitre II

Les différentes modes de transfert thermique

II. Introduction.....	24
II.1-Les notions fondamentales en transferts thermiques	24
II.1.1- Notion de température:	24
II.1.2-Notion de chaleur:.....	26
II. 2-Conduction.....	26
II.2.1- Loi de Fourier	27
II.2.2- Résistance thermique	27
II.1.3-Equation générale de la chaleur	28
II.3 - Convection	28
II.3.1- Nombres sans dimension	29
II.3.1.1- Nombre de Prandtl.....	29
II.3.1.2- Nombre de Nusselt :	30
II.3.1.3- Nombre de Grashof.....	30
II.3.1.4- Nombre de Rayleigh	30
II.3.1.5 - Nombre de Reynolds	31
II.3.2 - Flux de chaleur en convection forcée	31
II.3.3 - Le flux de chaleur en convection naturelle.....	31
II.4 - Transfert de chaleur par rayonnement	32
II.4.1- L'émissance (totale)	32
II.4.2 - Le corps noir.....	32
II.4.3 -Loi du rayonnement thermique.....	32
II.4.3.1 - Loi de Planck : émittance monochromatique du corps noir :	32
II.4.3.2 - Loi de Stefan Boltzmann	33
II.4.4 - Transfert par rayonnement entre surface	33
II.4.5 - Réception du rayonnement par un solide.....	34
Conclusion.....	34

Chapitre III

Réalisation du concentrateur et le système de poursuite

Introduction	35
III.1-Etude théorique du concentrateur cylindro-parabolique	35
III.1.1-Performances optique d'un concentrateur cylindro-parabolique.....	35
III.1.1.1-Le taux de concentration.....	35
III.1.1.2-Angle d'ouverture	36
III-1-1-3 Rayon local de miroir	37
III.1.2 Performances thermique du concentrateur cylindro-parabolique	37
III.1.2.1 Température de sortie de fluide caloporteur (T_{sortie}).....	37
III.1.2.2 Rendement du concentrateur solaire (η)	37
III.1.2.3 Les pertes de charge.....	37
III.2 Réalisation du concentrateur cylindro-parabolique	38
III.2.1 Description du prototype	38
III.2.2 Principe de fonctionnement	38
III.2.3 Dimensionnement de la courbe	39
III.2.4 Réalisation du réflecteur.....	40
III.2.5 L'axe de rotation.....	40
III-3-Mecanisme de poursuite.....	44
III-3-1- Définition du vérin électrique.....	44
III-3-2-Sa composition	44
III-3-3-Les différents composants.....	44
III-3-3-1-Moteur a courant-continu	45
III-3-3-2-Réducteur	45
III.3.3.3-Vis et écrou	45

III.3.3.3.1-Différents types de vis	45
III.3.3.3.2-Vis à billes	46
III.3.3.3.3-Vis a filet trapézoïdale	46
III.3.3.4-Fin de course	46
III.3.3.5-Ecrou de sécurité	46
III.4-Dimensionnement et caractéristiques du vérin électrique	47
III.4.1-Paramètres pour le choix d'un vérin	47
III.4.1.1-Charges a déplacer et vitesse de translation	47
III.4.1.2-Facteur de service et environnement	47
III.4.1.3-Course utile du vérin	47
III.4.1.4-Tension moteur	48
III.4.1.5-Irréversibilité / Réversibilité.....	48
III.4.1.6-Les caractéristiques du vérin utilisé	48
III.4.2.1-Moteur du vérin.....	48
III.4.2.2-Etude du réducteur du vérin utilise.....	49
III.4.2.3-Fin de course	50
III.4.2.4-Tige	50
III.4.2.4.1-Type de vis utilisée.....	50
III.4.2.4.2-Ecrou de sécurité	51
III.4.2.4.2-Mise en place du vérin	51
III.5.1-Calcul du centre de gravité d'un segment de parabole $G(x,y)$	52
III.5.2-Position théorique initiale du vérin.....	52
III.5.1.2-Détermination géométrique de la force statique du vérin et de la réaction de l'axe de rotation	54
III.5.1.3-Trajectoire d'un point quelconque.....	57
III.6-Identification du moteur du vérin utilise	57
III.6.1-Essai en génératrice (à vide).....	57

III.6.2-Mesure de la résistance d'induit.....	58
III.7-Modélisation du moteur électrique à courant continu et a aimants permanents	59
III.7.1-Equations électriques et mécaniques	59
Conclusion.....	60

Chapitre IV

Réalisation de la carte de commande

IV. Introduction	61
IV.1 Schémas globale de la réalisation.....	61
IV.2-le capteur de lumière.....	61
IV.2.1.1 Principe d'une photodiode.....	62
IV.2.1.2-Action d'un champ extérieur	63
IV.3- La partie de commande :	65
IV.3.1-les circuit intégrés CD4013	65
IV.3.1.1- les bascule D	65
IV.4- Partie puissance	66
IV.5-Alimentation	67
IV.5.1- Principe de fonctionnement d'une alimentation stabilisée.....	67
IV.5.1.1-transformateur	68
IV.5.1.2-Redresseur	68
IV.5.1.3-Filtrage	69
IV.5.1.4-Régulation.....	69
IV.5.1.5-Stabilisation.....	69
IV.5.1.6-Carte d'alimentation réalisée	69
Conclusion.....	71

Chapitre V

Etude expérimentale

V. Introduction.....	72
V.1-Description de l'expérience.....	72
IV.1.1-Essai avec écoulement :	72
V.1.2-Essai sans écoulement :	72
V.2 Relevés et interprétation	72
V.2.1.Essai sans écoulement.....	72
V.2.2-Essai avec un débit constant	74
Conclusion	76

Liste des figures

FigureI.1-principe de fonctionnement d'une centrale hydraulique.....	4
FigureI.2-exemple de l'énergie éolienne.	4
FigureI.3- Exemple de l'énergie biomasse.	5
FigureI.4-le principe de la géothermique.....	5
FigureI.5-Exemple de l'hydrolienne.	5
FigureI.6-Mouvement de la terre autour du soleil.	6
FigureI.7-les coordonnées géographique terrestre.....	7
FigureI.8- La déclinaison du soleil en fonction des jours.....	8
Figure I.9- les coordonnées horaires.....	8
Figure 1.10- Les coordonnées horizontales..	9
Figure I.11-Répartition spectrale de rayonnement solaire.....	10
FigureI.12- Répartition de rayonnement solaire.	11
Figure I.13-pyranomètre a thermopile	11
Figure I.14- le pyréliomètre	11
Figure I.15. la répartition de potentiel d'énergie dans le continent africain	13
Figure I.16- Plan de l'utilisation de l'énergie solaire.....	15
Figure I.17- fonctionnement de la cellule photovoltaïque	20
Figure I.18- Schéma de principe d'un capteur à concentration cylindro-parabolique.....	20
Figure I.19- Schéma de principe d'un capteur à concentration à lentille de Fresnel.....	21
Figure I.20- Schéma de principe d'une parabole de révolution.....	22
Figure I.21-CCentrale à tour solaire	22
Figure I.21- Concentrateur stationnaire	21
Figure I.22-Concentrateur avec poursuite solaire	23
Figure II.1-Echange de chaleur par conduction.....	26
Figure II.2-Résistance thermique.....	28
Figure.II.3-Transfert de chaleur par convection.....	29
Figure.II.4 -Transfert de chaleur par rayonnement.....	33
FigureII.5- Réception du rayonnement.....	34
Figure III.1-surface d'ouverture.....	35

Figure.III.2-Relation entre le taux de concentration et la température de récepteur	36
Figure III.3-Dimensionnement du concentrateur et angle d'ouverture.	36
Figure.III.4-schéma de l'installation.....	38
Figure.III.5-concentration géométrique des miroirs paraboliques.....	39
Figure.III.6-La courbe parabolique du concentrateur.	39
Figure.III.7-le réflecteur.....	40
Figure.III.8-axe de rotation.	41
Figure.III.9-absorbeur.	41
Figure.III.10-Système de circulation de l'eau.....	42
Figure.III.11-vue d'un tube hermétique et non hermétique.	42
Figure.III.12-vue du concentrateur réalisé sans languettes de miroir.....	43
Figure III.13-le concentrateur réalisé avec des languette de miroir.	43
Figure.III.14-Composition générale d'un vérin électrique.	44
Figure III.15-Les différents types vis utilisées dans les vérins électriques.....	46
Figure III.16-Le rotor (induit)	49
Figure III.17-Le stator.....	49
Figure III.18-le réducteur de vitesse.	49
Figure III.19-Fin de course du vérin.	50
Figure III.20-La vis a filet trapézoïdale.	50
Figure III.21-Ecrou de sécurité.	51
Figure III.22-différentes positions du concentrateur.	51
Figure III.23-Centre de gravité.	52
Figure III.24-Répartition des forces qui agissantes sur le concentrateur.....	53
Figure III.25-triangle des forces à l'échelle.....	54
FigureIII.26-triangle des forces sur échelle pour une rotation de 55° du concentrateur.....	57
Figure III.27-Trajectoire d'un point quelconque.	57
Figure III.28-accouplement du moteur a la perceuse.....	57
Figure IV.1-schémas globale de la réalisation.	60
FigureIV.2-le principe du photoresistance.....	61
FigureIV.3- Symbole normalisé d'une photodiode.....	62
Figure IV.4- Photodiode utilisée en capteur optique.....	62
Figure IV.5-la caractéristique courant tension.	63

Figure IV.7-Principe de la lunette realise.	64
Figure IV.8-la carte de commande sous ISIS.	65
FigureIV.9-la carte de puissance.....	65
FigureIV.10-l'ensemble de carte de puissance et de carte carte de puissance.....	66
FigureIV.11-schéma synoptique de la carte d'alimentation stabilisée.	67
FigureIV.12-schémasReprésentant un transformateur.....	67
FigureIV.13-chéma representatif du pont redresseur.....	68
Figure IV.14- la carte d'alimentation.....	69
Figure IV.15-le circuit d'alimentation sur la plaque d'essai.....	69
Figure V.1-Variation de température d'eau en fonction du temps (sans écoulement)	73
Figure V.2 : Relevés des températures du 29 juin2013 (sans écoulement).....	74
Figure V.2 : variation de la temperature en fonction du temps (essai avec écoulement).	75

Listes des tableaux

Tableau I.1-Valeurs des coefficients de trouble du ciel.....	12
Tableau I.2-Caractéristiques thermo-physiques de matériaux métalliques.	16
Tableau I.3-Propriétés thermiques de quelques matériaux isolants.	17
Tableau III.1-les caractéristiques du vérin.	48
Tableau III.2-Résultats des essais en génératrice du moteur du vérin.	58
Tableau III.3-Résultats de détermination de la résistance d'induit.....	58
Tableau V.1-Relevés des températures du 29 juin 2014 (sans écoulement).	73
Tableau V.2-Relevées des températures du 30 juin 2014 (essai avec écoulement)....	75

Nomenclature

A : le coefficient de trouble du ciel	
A₀ : Surface d'ouverture	(m ²)
A_r : Surface d'absorbeur	(m ²)
B : le coefficient de trouble du ciel	
c : Vitesse de la lumière	(m/s)
C_p : Pouvoir calorifique	(J/ kg. K)
D : Diamètre	(m)
D : Rayonnement solaire diffus	W/m ²
f : Distance focale	(m)
g : Accélération de la gravité	(m/s ²)
h : Constante de Planck	
h_c : Coefficient de convection	(W/K. m)
i : l'angle entre le rayon incident et la normale au plan récepteur	
K : Conductivité thermique	(W/K. m)
L : Longueur de l'absorbeur	
Nu : Nombre de Nusselt	
P : pression atmosphérique au niveau du sol	(Pa)
P : la production de chaleur	w/m ³
Pr : Nombre de Prandtl	
q : Flux thermique	(W)

r : Rayon local du miroir	(m)
R_a : La résistance d'induit	(Ω)
Re : Nombre de Reynolds	
RaL : Nombre de Rayleigh	
S : Aire de la surface	(m ²)
S : Rayonnement direct	W/m ²
SS : Durée effective d'ensoleillement	Heure
SS₀ : Durée maximale d'ensoleillement.	Heure
T : Température	(K)
T_p : Température de surface du solide	(°C)
T_∞ : Température de fluide loin de la surface du solide	(°C)
V : Vitesse	(m/s)
v : Fréquence	(Hz)
α : Ascension droite	(°)
δ : Déclinaison solaire	(°)
λ : Longitude	(°)
μ : Latitude	(°)
ω : Angle horaire	(°)
Δ : Hauteur angulaire du soleil	(°)
Φ : Flux de chaleur transmis par convection	(w)
Φ_a : Le flux absorbé	(w/m ²)
φ_r : Angle d'ouverture	(°)
Φ_t : Le flux transmis	(w/m ²)
σ : Constante de Stefan Boltzmann	(m)
μ : Viscosité	(m ² /s)

λ : Longueur d'onde (μ)

q_m : Débit massique (kg/s)

σ : Taux d'ensoleillement

ε : Emissivité

λ : Coefficient des pertes de charge

η : Rendement

ρ : Densité

β : Coefficient volumétrique de dilatation thermique

Abréviations

TSV : Le temps solaire vrai.

TM : Le temps solaire moyen.

E : La correction du temps.

GMT : Le temps moyen de GREENWICH.

TU : Le temps universel.

TL : Le temps légal.

C : Le décalage entre le méridien de GREENWICH et le lieu considéré.

Mtep : million de tonnes d'équivalent pétrole.

ET :équation de temps

Introduction Générale

Introduction générale

L'augmentation brutale du prix du pétrole survenue en 1973 a conduit pour la première fois, l'homme à s'intéresser à des sources d'énergie de substitution telles que les énergies renouvelables, représentées par l'énergie solaire. Les principales caractéristiques de l'énergie solaire ayant suscité l'engouement des chercheurs à cette époque étaient sa gratuité, sa disponibilité sur une grande partie du globe terrestre et l'absence du risque d'épuisement connu par les ressources d'énergie fossiles [1].

On s'est vite aperçu que l'énergie solaire, contrairement à une idée répandue, n'est partout à fait gratuite : son utilisation nécessite un investissement de départ souvent plus lourd que pour les énergies conventionnelles et nombre d'installations solaires sont aujourd'hui à l'arrêt faute d'avoir un budget destiné à la maintenance des équipements.

Toutefois, sans être totalement gratuite, l'énergie solaire présente des coûts de fonctionnement réduits et offre, dans certains cas, une alternative économiquement rentable par rapport aux sources d'énergie conventionnelles.

Le développement de l'utilisation de l'énergie solaire sera lié non seulement à ses avantages économiques, qui augmenteront au fur et à mesure que les réserves d'énergie fossile diminueront, mais surtout pour des considérations liées à la protection de l'environnement : pas le rejet de certains polluants tels que les fumées contenant du CO₂ et du NO, issues des centrales thermiques, pas de danger radioactif et de déchets encombrants issus des centrales nucléaires, possibilité de limitation de l'emploi des CFC issus de la production de froid solaire par adsorption.

Ses applications sont nombreuses et variées dans divers domaines tels que le chauffage des locaux et des piscines, des serres, la production d'eau chaude sanitaire, la distillation de l'eau et le pompage de l'eau ou la production d'électricité.

La capacité installée des centrales solaires thermiques de concentration est de l'ordre 500 MW. Les premières centrales furent installées en Californie à la fin des années 80 et au début des années 90 (354 MW, miroirs cylindro-paraboliques, avec gaz naturel comme source secondaire). Plusieurs projets sont actuellement en cours d'implantation ou de développement (Espagne, Grèce, États-Unis, Égypte, Maroc, Algérie, etc.) Cumulant une capacité de plus de 3 000 MW au total dans le monde une fois ces projets achevés, dont plus de 2 000 MW en Espagne [2].

Dans ce travail, nous allons nous intéresser à l'étude et à la réalisation du mécanisme de poursuiveur solaire en vue de l'orientation d'un capteur solaire

Introduction générale

cylindro-parabolique qui exploite l'énergie solaire par voie thermique. Différents systèmes d'orientation commerciaux sont disponibles et proposent conformément à leurs fiches de présentation des gains de l'ordre de 20-30 % selon les techniques et les technologies employées. Les techniques sont diverses mais peuvent être principalement subdivisées en deux catégories, les unes basées sur l'asservissement, les autres sur la pré-programmation de la trajectoire.

Dans le premier chapitre nous allons faire Une étude bibliographique sur l'énergie solaire et l'autre sur les différents types et composants des capteurs solaires.

Le deuxième Chapitre donne un aperçu sur les différentes modes de transfert thermique.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude et à la réalisation de concentrateur cylindro-parabolique et le système de poursuite solaire.

Le quatrième chapitre est la partie électronique où nous allons faire la réalisation de la carte de commande.

Le cinquième chapitre c'est la partie expérimentale où nous allons tester l'ensemble de concentrateur et le système de poursuite.

Finalement nous allons clôturer notre mémoire par une conclusion générale.

Chapitre I

Considération Générale Sur

Le Système à Etudié

I. Introduction :

La production d'énergie électrique utilise principalement des combustibles fossiles et fissiles (nucléaire). Un recours systématique aux carburants fossiles, tels que le pétrole, le charbon ou le gaz naturel, permet d'avoir de faibles coûts de production mais conduit à un dégagement massif de gaz polluant et de gaz à effet de serre. La production électrique à partir de combustibles fossiles est à l'origine de 40% des émissions mondiales de CO₂. L'énergie d'origine nucléaire qui ne rejette pas directement de gaz carbonique, souffre généralement d'une mauvaise image médiatique à cause des risques importants encourus. Certes, les risques d'accident liés à leur exploitation sont très faibles mais les conséquences d'un accident seraient désastreuses [1].

L'épuisement des ressources fossiles, à plus ou moins long terme, et la flambée des coûts du brut, la lutte contre les émissions de gaz à effet de serre rendent urgentes la maîtrise des consommations et la diversification des sources d'énergie, l'utilisation et le développement des énergies renouvelables[2].

I.1-Les énergies renouvelables :

On considère qu'une énergie est renouvelable, toute source d'énergie qui se renouvelle assez rapidement pour être considérée comme inépuisable (d'où son nom) à l'échelle de l'homme mais aussi dans certains cas de l'humanité (solaire par exemple). Les énergies renouvelables sont issues de phénomènes naturels réguliers provoqués principalement par le Soleil (l'énergie solaire mais aussi hydraulique, éolienne et biomasse...), la Lune (énergie marémotrice, certains courants : énergie hydrolienne...) et la Terre (géothermique profonde...).

I.2-les différents types d'énergie renouvelable :**I.2.1-L'énergie hydraulique :**

L'énergie hydraulique est l'énergie mise en jeu lors du déplacement ou de l'accumulation d'un fluide incompressible telle que l'eau douce ou l'eau de mer. Ce déplacement va produire un travail mécanique qui est utilisé Directement où converti sous forme d'électricité [3]. que l'on illustre dans la figure suivante :

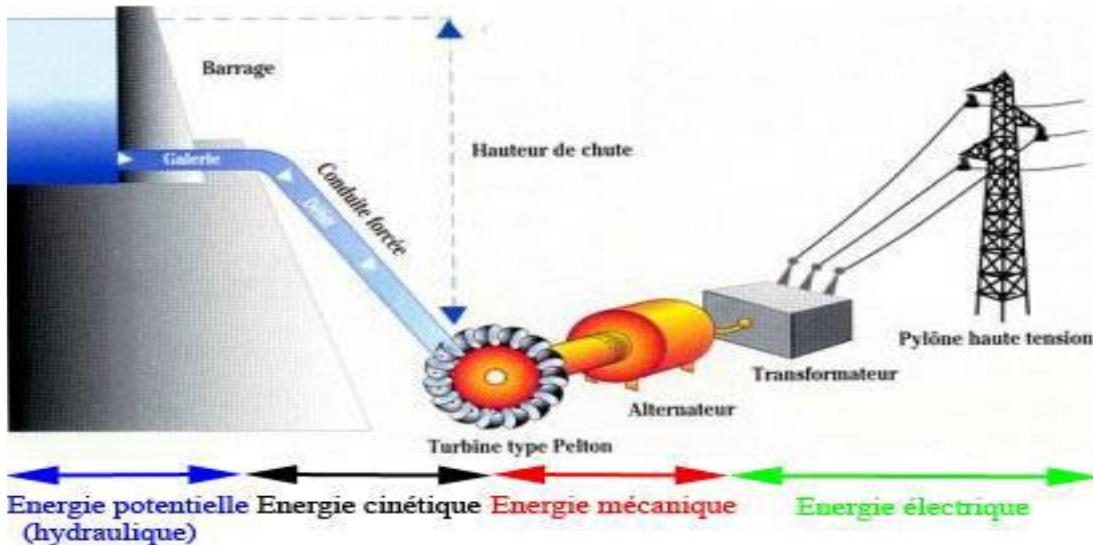


Figure I.1-Principe de fonctionnement d'une centrale hydraulique

I.2.2-L'énergie éolienne :

L'énergie éolienne est une énergie obtenue en captant l'énergie du vent, Mais comme de nombreuses énergies renouvelables elle provient en fait du Soleil. C'est une des plus anciennes sources d'énergie. Le vent fait ainsi partie des sources naturelles d'énergies renouvelables. L'énergie mécanique qu'il fournit permet ensuite la mise en mouvement d'une Génératrice par l'intermédiaire du mouvement des pales d'une éolienne et Produire de cette manière de l'électricité [4].



Figure I.2-Exemple de l'énergie éolienne.

I.2.3-L'énergie biomasse :

La « biomasse » est un terme général qui fait référence aux matières organiques et qui Englobe les plantes, les arbres, les résidus agricoles tels que les tiges de maïs et la paille de Blé, les déchets organiques des municipalités, et les résidus des opérations forestières, Y compris la sciure¹ de bois, les rémanents d'exploitation et les résidus de sciage. Il y a Plusieurs façons de transformer la biomasse en chaleur et en électricité, dont la combustion directe, la digestion anaérobie, la cuisson simultanée, la pyrolyse et la gazéification.

¹La poudre qui tombe d'un corps qu'on scie (outil pour couper le bois, les métaux, la pierre).



Figure I.3- Exemple de l'énergie biomasse [4].

I.2.4-L'énergie géothermique :

La géothermie consiste à capter la chaleur contenue dans la croûte terrestre pour produire du chauffage ou de l'électricité [5].

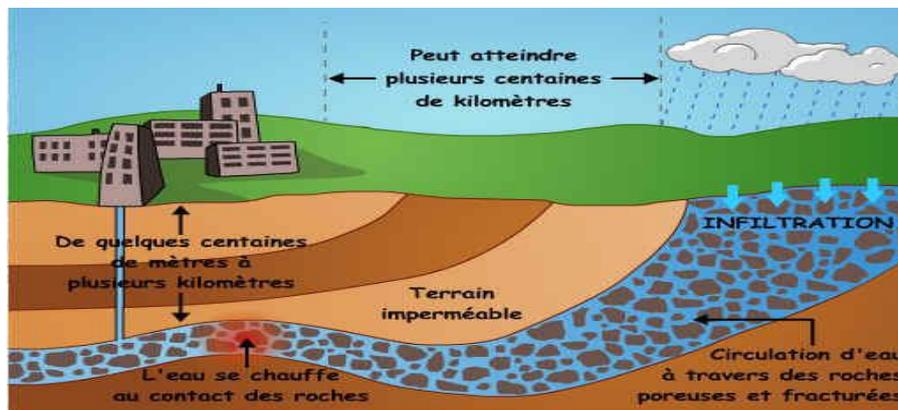


Figure I.4-Le principe de la géothermique.

I.2.5-L'hydrolienne :

Les courants marins représentent une énergie fabuleuse qui contrairement aux vents sont constants et prévisibles. [5]

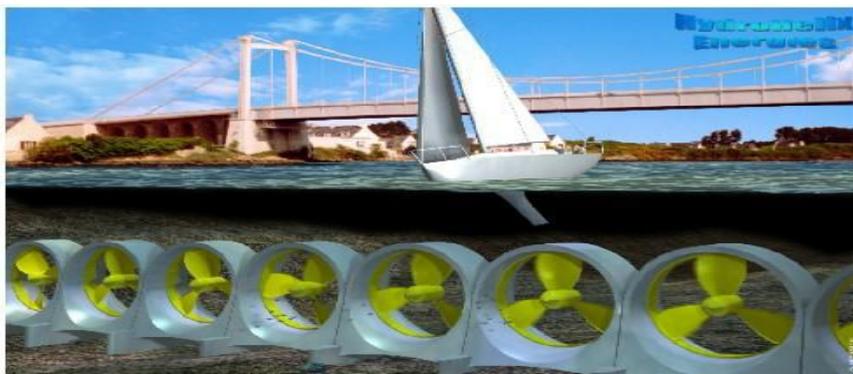


Figure I.5-Exemple de l'hydrolienne.

I.2.6-L'énergie solaire :

L'énergie solaire présente certains avantages non négligeable sur les autres sources énergétiques, elle est : locale, gratuite, propre, silencieuse et durable. L'énergie solaire peut être utilisée sur toute la surface de la terre ou presque, il suffit de capter celle-ci et de l'utiliser.

Nous concentrons dans ce chapitre sur l'énergie solaire de façon plus détaillé (son exploitation, les méthodes de captages.....etc.)[6].

I.3-Mouvement de la terre :

La trajectoire de la terre autour du soleil est une ellipse dont le soleil est l'un des foyers. Le plan de cette ellipse est appelé l'écliptique. L'excentricité de cette ellipse est faible, il en résulte que la distance terre-soleil ne varie que de $\pm 1.7\%$ par rapport à la distance moyenne qui est de 149,597.106 km (figure I.6). La position de la terre à l'équinoxe de printemps est appelée point vernal g. La révolution complète de la terre autour du soleil s'effectue en une année, on distingue :

- L'année tropique est l'intervalle de temps qui sépare deux équinoxes de printemps successifs. Elle est de 365j, 5h, 48min, 46s.
- L'année sidérale est le temps mis par le soleil pour que sa longitude céleste augmente de 360° à partir d'un équinoxe fixe. Elle est de 365j, 6h, 9min, 10s.

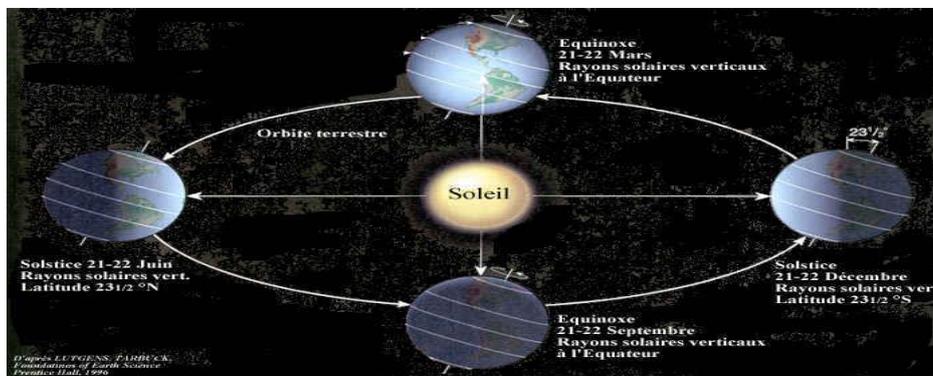


Figure I.6-Mouvement de la terre autour du soleil [7].

I.3.1-Paramètres de position :

Pour définir la position terre-soleil à un instant donné, on utilise les coordonnées suivantes:

I.3.1.1-Les coordonnées géographiques terrestres (φ , L) :

Les coordonnées géographiques terrestres permettent le repérage d'un point sur la terre à savoir :

La longitude :

La longitude d'un lieu « λ » correspond à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien retenu comme origine.

La latitude :

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.

Pour Bejaïa on a :

Longitude = 5°5'3 E

Latitude = 36°45'21 N

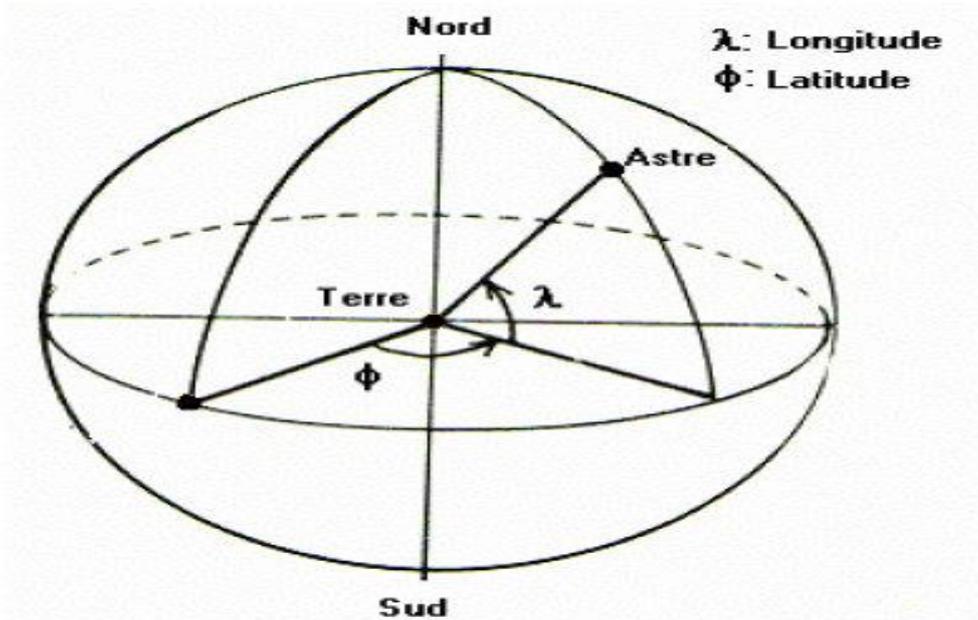


Figure I.7-Les coordonnées géographiques terrestres [8].

I.3.1.2-Les coordonnées horaires :

Les coordonnées horaires sont :

➤ **L'angle horaire (ω) :**

Qui est l'angle que fait le plan contenant le cercle horaire du soleil avec le plan contenant le méridien céleste, il est compté positivement l'après-midi.

➤ **La déclinaison (δ) :**

Est l'angle formé par la direction du soleil avec le plan équatorial. Elle varie au cours de l'année entre -23.45° et $+23.45^\circ$. Elle est nulle aux équinoxes (21 mars et 21 septembre), maximale au solstice d'été (21 juin) et minimale au solstice d'hiver (21 décembre). La valeur de la déclinaison peut être calculée par la relation:

$$\delta = 23.45 \sin[0.980(j+284)] \tag{I.1}$$

Où j est le numéro du jour de l'année.

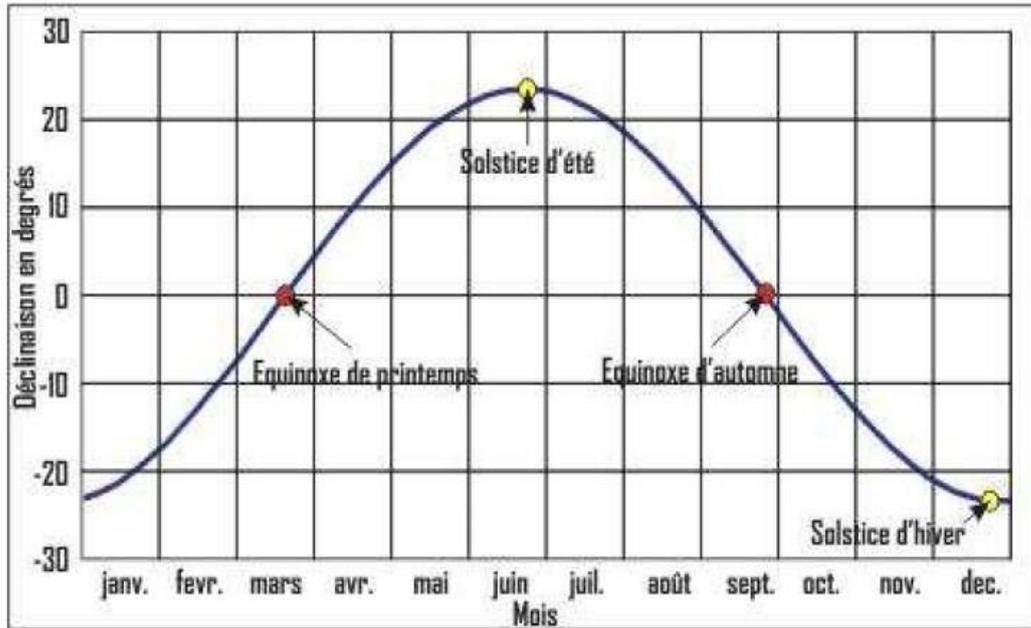


Figure I.8- La déclinaison du soleil en fonction des jours.

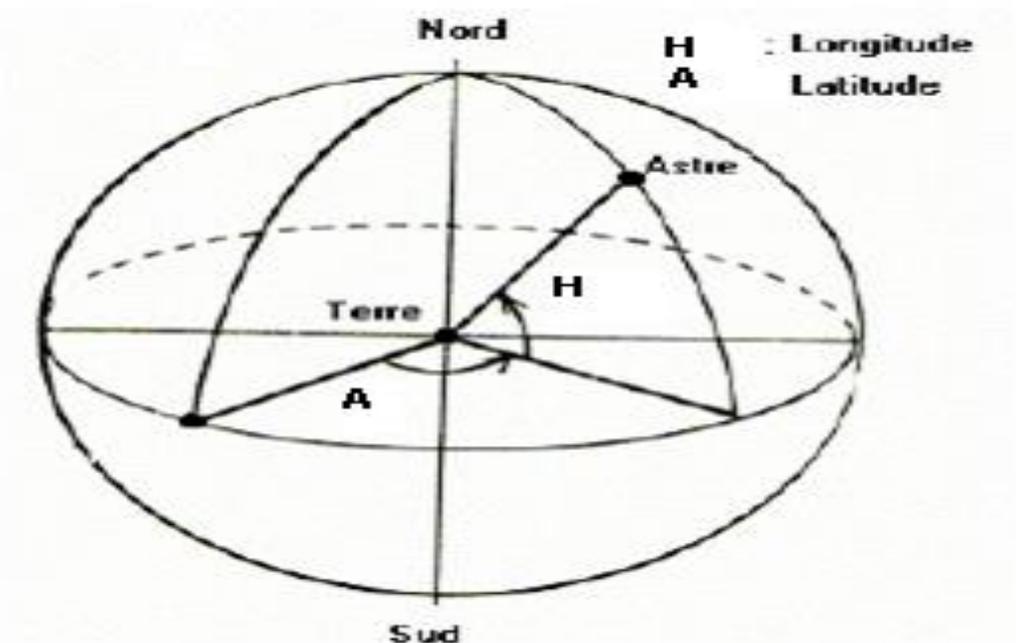


Figure I.9-les coordonnées horaires.

I.3.1.3- Les coordonnées horizontales (h, a) :

Déterminant la projection du soleil sur l'horizon du lieu (figure I.10), et sont définies comme suit :

- **Hauteur angulaire (h) :** C'est l'angle que fait la direction du soleil avec le plan horizontal c'est-à-dire tangent au sol.

- **Azimut (a)** : Correspondant à l'angle que fait le plan du méridien local avec le plan vertical passant par le soleil; a est compté négativement vers l'est et positivement vers l'ouest.

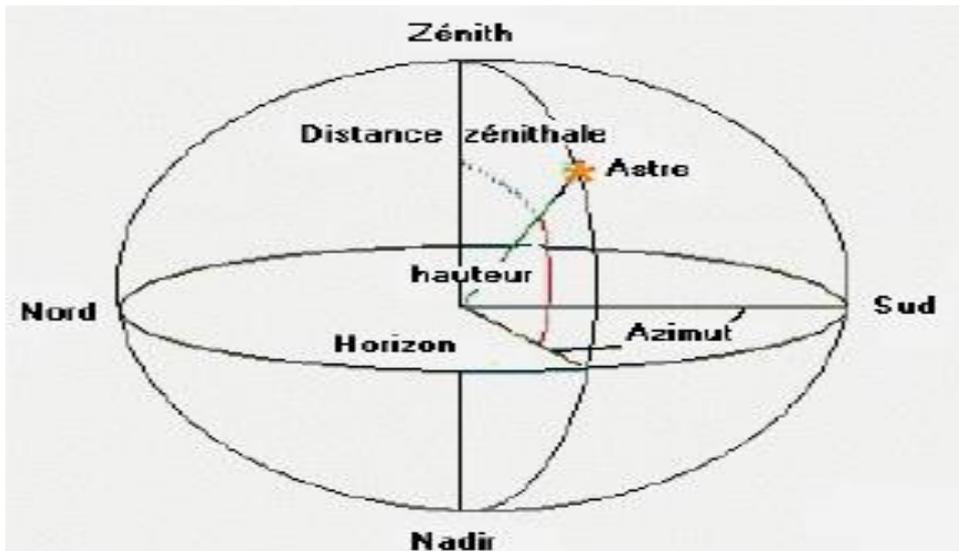


Figure I.10-Les coordonnées horizontales.

On peut écrire trois expressions scalaires appelées formules de Gauss reliant entre elles les Coordonnées a, h, ω et δ pour une latitude donnée [8]:

$$\cos(h) \cdot \sin(a) = \cos(\delta) \cdot \sin(\omega) \tag{I.2}$$

$$\cos(h) \cdot \cos(a) = \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \cdot \sin(\varphi) - \sin(\delta) \cdot \cos(\varphi) \tag{I.3}$$

$$\sin(h) = \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) \cdot \cos(\varphi) + \sin(\delta) \cdot \sin(\varphi) \tag{I.4}$$

I.3.1.4-Angle horaire de coucher du soleil :

L'angle horaire du soleil est le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire. Dans sa course d'est en ouest, par rapport au méridien local. Il est donné par l'équation (I.5) suivante :

$$\omega_s = \arccos(-\tan(A) \tan(\delta)) \tag{I.5}$$

δ : Déclinaison solaire

A: Latitude

I.4-Rayonnement solaire :

Les réactions thermonucléaires qui se produisent au sein du soleil, provoquent l'émission d'onde électromagnétique de très forte puissance ou rayonnement thermique solaire.

Le rayonnement ou spectre solaire se présente sensiblement comme celui d'un corps noir à 5 800°K. L'énergie solaire reçue par la terre en dehors de l'atmosphère est environ 1 370 W/m².

Cette grandeur est appelée constante solaire [5].

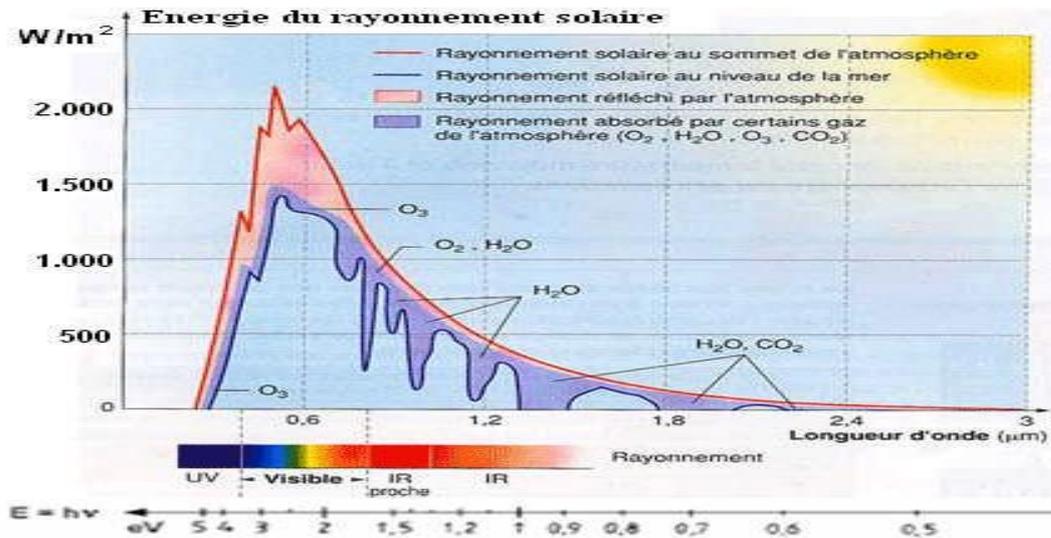


Figure 1.11-Répartition spectrale du rayonnement solaire.

Le rayonnement solaire est ainsi composé de deux types de rayonnement (la proportion du rayonnement dû à l'albédo étant très faible).

I.4.1-Le rayonnement global:

C'est la somme des rayonnements direct et diffus :

I.4.1.1-Le rayonnement solaire direct :

Est défini comme étant le rayonnement provenant du seul disque solaire, Il est donc nul lorsque le soleil est occulté par les nuages.

I.4.1.2-Le rayonnement solaire diffus:

Correspondant au rayonnement dispersé dans l'atmosphère par la brume, le ciel lui même, et les nuages. Le rayonnement solaire diffus n'est donc nul que la nuit.

Le rayonnement solaire global est alors la somme des deux types de rayonnements direct et diffus et dont l'intensité est variable d'un endroit à un autre et d'une heure à l'autre [9].

I.4.2-L'Albédo :

En réalité la terre n'est pas un corps noir, une partie du rayonnement solaire incident est réfléchi par l'atmosphère (principalement par les nuages) et par le sol terrestre. Cette quantité est appelée le flux d'albédo. On définit généralement l'albédo comme étant le rapport de l'énergie solaire réfléchi par une surface sur l'énergie solaire incidente. On utilise une échelle graduée de 0 à 1, correspondant respectivement au noir, pour un corps avec aucune réflexion, et au miroir parfait, pour un corps qui diffuse dans toutes les directions et sans absorption de tout le rayonnement visible qu'il reçoit. [10]

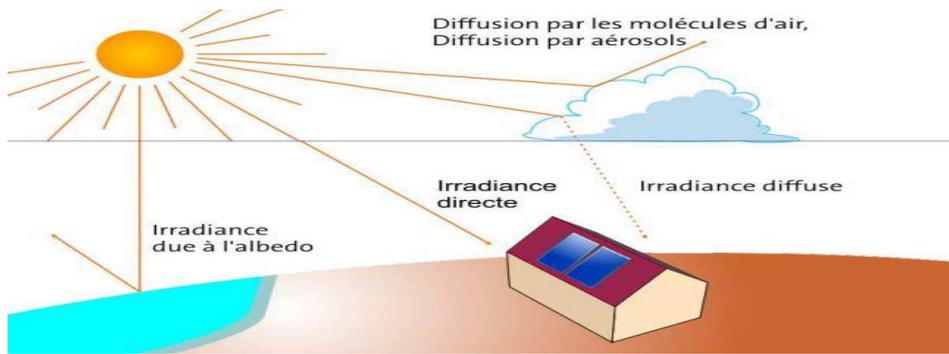


Figure I.12-Répartition de rayonnement solaire.

I.5-Mesure et calcul des rayonnements solaires :

Le rayonnement solaire peut être déterminé de plusieurs manières en fonction de données disponibles, on distingue notamment :

I.5.1-La mesure directe :

Elle se fait avec un instrument (le rayonnement direct est mesuré par un pyrhéliomètre et le rayonnement global par un pyranomètre) [11].



Figure I.13-pyranomètre a thermopile.



Figure I.14-le pyrhéliomètre.

I.5.2-Le calcul analytique :

Quand on ne dispose d'aucune mesure. L'estimation des différentes composantes du rayonnement solaire s'effectue par des relations analytiques.

I.5.2.1-Le rayonnement direct (S) :

Il est donné par la relation :

$$S = I \cdot A \cdot \exp \left[\frac{B}{\sin(h)} \cdot \frac{P}{100} \right] \cdot \cos(i) \tag{I.6}$$

I est la valeur du rayonnement solaire reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires.

i: l'angle entre le rayon incident et la normale au plan récepteur.

P : pression atmosphérique au niveau du sol.

A et *B* étant les coefficients de trouble du ciel. Quelques valeurs des coefficients *A* et

B sont données par le tableau I.4 :

	Ciel pur	Conditions normales	Zones industrielles
A	0,87	0,88	0,91
B	0,17	0,26	0,43

Tableau I.1-Valeurs des coefficients de trouble du ciel.[12]

I.5.2.2-Le rayonnement diffus (D) :

Le flux diffus reçu par la surface d'un capteur se caractérise par deux composantes du flux à savoir :

➤ **Le flux émis par la voûte céleste D_v :**

On suppose qu'une surface faisant un angle β avec l'horizontale regarde une portion du ciel sous l'angle solide : $1+\cos(\beta)/2$

$$D_v = Dh \cdot \frac{1+\cos(\beta)}{2} \tag{I.7}$$

Dh étant le rayonnement diffus sur une surface horizontale donné par la relation :

$$Dh = I \cdot \sin(h) \cdot \left(0.271 - 0.2939 \cdot \exp\left[\frac{B}{\sin(h)} \cdot \frac{P}{1000} \right] \right) \tag{I.8}$$

➤ **Le flux émis par le sol D_s Le flux émis par le sol :**

$$D_s = \rho \cdot \left(I \cdot A \cdot \exp\left[\frac{B}{\sin(h)} \cdot \frac{P}{1000} \right] \cdot \sin(h) + Dh \right) \cdot \frac{1-\cos(\beta)}{2} \tag{I.9}$$

L'albédo du sol.

A et B sont donnés par le tableau I.4.

Le flux diffus est la somme de D_v et D_s :

$$D = D_v + D_s \tag{I.10}$$

I.5.2.3-Le rayonnement global (G) :

C'est la somme des rayonnements direct et diffus:

$$G = S + D \tag{I.11}$$

On peut écrire pour un plan horizontal :

$$G = I \cdot \sin(h) + D \tag{I.12}$$

I.5.3-Taux d'enseillement :

Par ciel clair, sans nuages, le sol reçoit le rayonnement solaire direct pendant toute la durée du jour, ou plus précisément pendant la durée maximale d'enseillement SS_0 . On appelle taux d'enseillement σ , le rapport entre la durée effective et la durée maximale d'enseillement [7]:

$$\sigma = \frac{SS}{SS_0} \tag{I.13}$$

I.5.4-Potentiel solaire :

La quantité d'énergie solaire disponible est évidemment dépendante des conditions météorologiques, de la saison et de la localisation sur la planète terre. Le soleil est une étoile que les astrophysiciens qualifient de (naine jaune). Son diamètre est 100 fois supérieur à celui de la terre .1.5 million de kilomètres contre 12800 km. Situé à 150 millions de kilomètres de la terre, il est vue sous la forme d'un disque d'un demi degré en environ (32°). En imaginant une terre grosse comme une orange, le soleil serait une boule de feu de 10m de diamètre placée à un kilomètre. La terre ne reçoit donc qu'une toute petite partie du rayonnement émis par le soleil, ce qui fait quand même 178 milliards de MW (méga watt ou million de watts) en permanence sur l'hémisphère éclairé. Ce flux reçu assure les conditions thermiques indispensables à la vie, il est à l'origine de la formation des réserves d'énergies fossiles et les flux d'énergies renouvelables que nous utilisons.[13]

L'énergie reçu annuellement sur les continents, environ 24 millions de Mtep (million de tonnes d'équivalent pétrole), est plus de 2500 fois supérieure à la consommation d'énergie du monde, 8800Mtep.

Voici par exemple une figure récapitulative de la répartition de potentiel d'énergie dans le continent africain et les rives de la méditerrané :

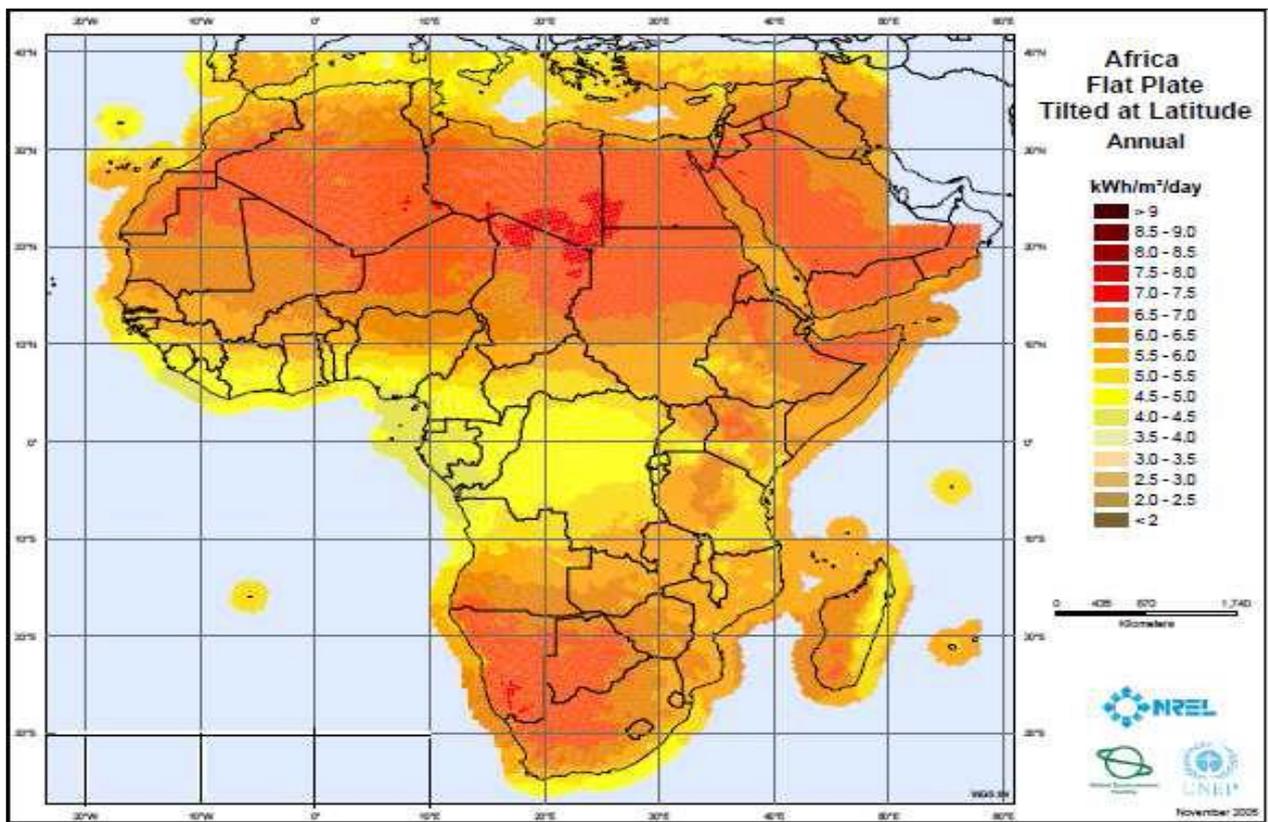


Figure I.15-La répartition de potentiel d'énergie dans le continent africain.

I.6-les applications de l'énergie solaire :

Aujourd'hui nous utilisons l'énergie solaire pour produire de l'électricité, et faire chauffer les maisons et l'eau :

I.6.1-L'énergie solaire passive :

Le terme « passif » renvoie aux techniques utilisées pour capter l'énergie, ces techniques misent sur la conception des immeubles et le type de matériaux utilisés pour les construire.

La conception solaire passive n'est pas nouvelle. Depuis un siècle des familles mettaient une couche de peinture noire sur les réservoirs et les plaçaient au soleil pour chauffer leur eau. Les surfaces noires absorbaient la chaleur qui était transférée du métal des réservoirs à l'eau. Cette méthode est toujours utilisée dans les chauds.

Aujourd'hui cette conception utilise les éléments fondamentaux d'un immeuble, les murs, la toiture, pour contrôler l'énergie solaire absorbée et dissipée. [14]

I.6.2-L'énergie solaire active :

Le système d'énergie solaire active utilise des capteurs solaires pour capter l'énergie qui provient du soleil et produire de l'électricité afin d'alimenter des pompes et des ventilateurs qui distribuent de l'eau et de l'air chaud, tels que les systèmes à chauffe-eau solaire qui utilisent les capteurs plans vitrés ou sous vide pour chauffer l'eau, les locaux ou pour la ventilation solaire. Un autre exemple est celui qui utilise les centrales solaires thermodynamiques. [14]

I.6.3-L'électricité solaire :

Le processus photovoltaïque transforme l'énergie solaire en courant continu. Le physicien Antoine Becquerel a découvert l'effet en 1839, mais ce n'est que vers la fin des années 1950 que les cellules photovoltaïques pratiques ont été commercialisées [14].

La figure suivante nous montre les différents modes d'utilisation de l'énergie solaire.

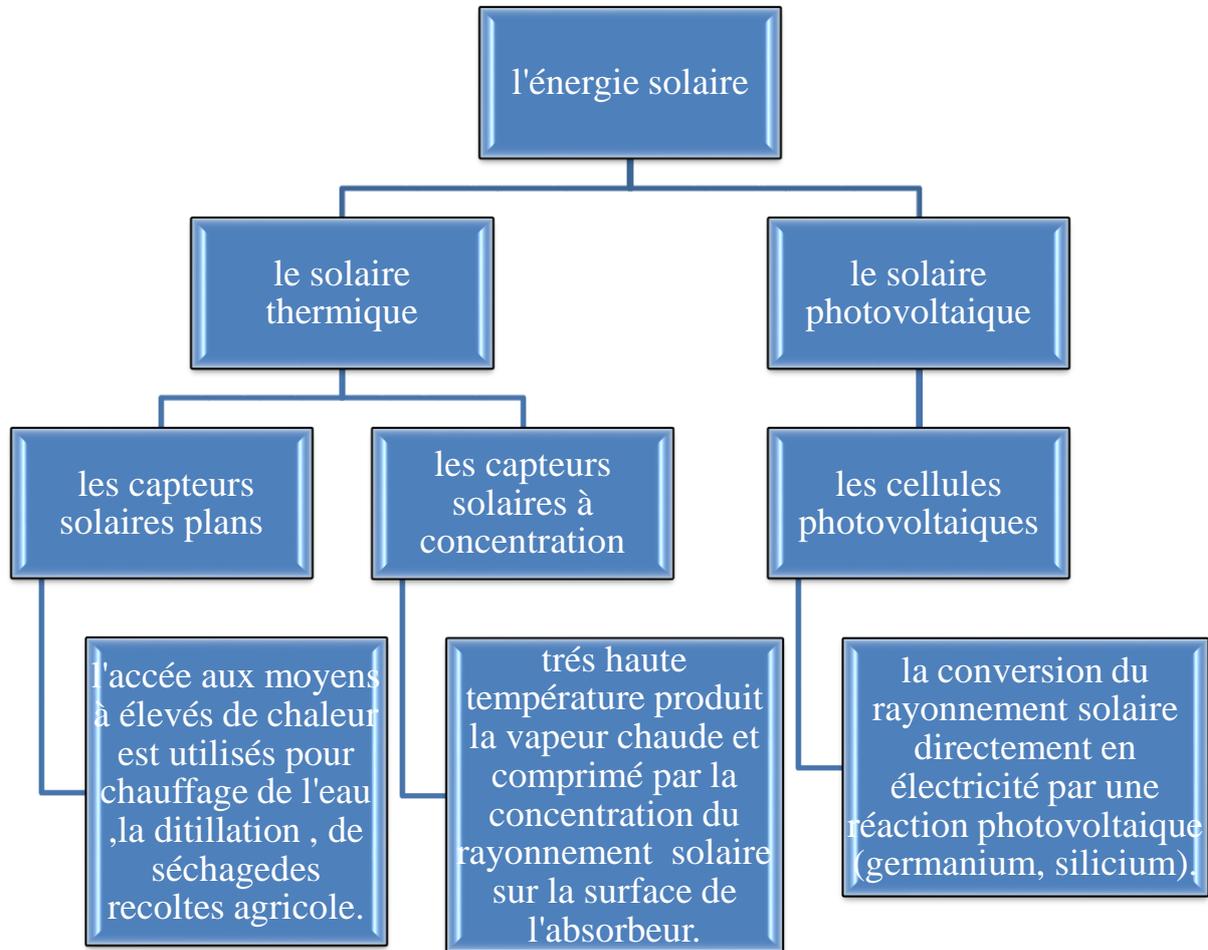


Figure I.16-Plan de l'utilisation de l'énergie solaire.

I.7-Le système solaire photovoltaïque :

Le solaire photovoltaïque permet de récupérer et de transformer directement lumière du soleil en électricité par des panneaux photovoltaïques. La conversion directe de l'énergie solaire en électricité se fait par l'intermédiaire d'un matériau semi-conducteur. [15]

I.8-Le solaire thermique :

Le principe de l'énergie thermique consiste à transformer le rayonnement solaire en énergie thermique grâce à un fluide qui circule dans des panneaux exposés au soleil, cette forme de conversion d'énergie peut être directe si on veut uniquement chauffer de l'eau sanitaire. Par contre, si on veut générer de l'électricité, il faudra utiliser des générateurs qui convertissent L'énergie thermique générée en électricité (par exemple, moteur à air chaud) [16].

I.9- Les capteurs solaire :

Les capteurs solaires thermiques transmettent directement le rayonnement solaire sous forme de chaleur à un fluide caloporteur, liquide (généralement de l'eau avec ou sans antigel) ou gazeux (généralement de l'air), ou diphasique (technologie DSG : Direct Stream Generation)². Parmi les technologies de capteurs solaires thermiques, deux grandes catégories se distinguent, les capteurs plans (statiques) avec ou sans faible concentration du flux solaire et les capteurs mobiles à grande concentration (orientés en fonction de la position du soleil). [17].

I.9.1-Les différents composants d'un capteur solaire :

I.9.1.1-L'absorbeur :

Il a pour fonction d'absorber le rayonnement solaire incident, de le convertir en chaleur et de transmettre celle-ci à un fluide caloporteur, tout en minimisant les pertes. En général, l'absorbeur n'est qu'une plaque plane en métal dont la couche superficielle donnant sur le soleil, doit être douée d'un coefficient d'absorption le plus élevé possible. Les meilleurs coefficients sont de l'ordre de 0,95. Il importe que la plaque soit métallique car seuls les métaux ont de bons coefficients de conduction de la chaleur (tableau I.2) :

Métal	Conductivité thermique (w/m.K)	Chaleur massique (j/kg.K)	Masse volumique (kg/m ³)	Diffusivité (10s)
Cuivre	384	398	8900	108
Acier Inoxydable	14	460	7800	4
Aluminium	204	879	2700	86

Tableau I.2-Caractéristiques thermo-physiques de matériaux métalliques [18].

I.9.1.2-Le fluide caloporteur :

Pour évacuer la chaleur emmagasinée par la surface absorbante, on utilise habituellement soit l'air, soit l'eau, des mélanges eau glycol sont aussi employés à cause des conditions climatiques, ces mélanges ont une chaleur spécifique inférieure à celle de l'eau pure. Par rapport à l'eau, l'air n'a pas de problème de gel l'hiver ou d'ébullition l'été et il n'y a pas de problème de corrosion [18].

²Production directe de vapeur

I.9.1.3-Un isolant thermique :

Limiter les pertes par transmission vers l'extérieur du capteur est primordial si on cherche à optimiser les performances de ce dernier. Nombreux sont les produits isolants qui peuvent convenir pour l'isolation arrière et latérale. On place une ou plusieurs couches d'isolant du type, laine de verre, polystyrène...etc. (Tableau I.3), subsidiairement un coffrage étanche à l'eau et un système de support mécanique de l'ensemble, mais il faut veiller à leur tenue à la température car une coupure de circulation peut faire monter la température intérieure du capteur à plus de 150 °C en été.

Matériau	Conductivité thermique (w/m.K)	Masse Volumique (kg/m ³)	Chaleur massique (j/kg.K)	Diffusivité (10 ⁻⁷ m ² /s)
Air (à 20°C)	0.025	1.2	1003	208
Mousse de Polyuréthane	0.029	30	1600	6.0
Laine de verre	0.036	40	840	10.7
Polystyrène Expansé	0.040	20	1500	13.3
Papier journal Comprimé	0.105	130	1340	6.0
Bois de pin	0.118	500	1210	1.95

Tableau I.3-Propriétés thermiques de quelques matériaux isolants [19].

I.9.2-Principaux paramètres caractérisant un capteur :

Le fonctionnement d'un capteur solaire est caractérisé par de nombreux paramètres dont les plus importants sont :

- Le rendement

Le rendement d'un capteur est le rapport entre l'énergie extraite par le fluide caloporteur pendant un intervalle de temps donné et le produit de l'irradiation solaire pendant le même intervalle de temps, sur le capteur par sa superficie, dans les conditions de l'état stationnaire.

- La superficie

La superficie d'entrée est l'aire maximale de la section droite du rayonnement pouvant atteindre le volume contenant l'absorbeur, directement ou par réflexion.

- La stagnation

La stagnation est l'état d'un capteur ou d'un système sans circulation du fluide caloporteur. La température de stagnation se réfère généralement à la température du fluide caloporteur sans circulation où les déperditions thermiques sont égales au flux du rayonnement solaire incident.

I.9.3-Orientation et inclinaison des capteurs solaires :

Les capteurs solaires sont orientés et inclinés suivant l'utilité que l'on désire donner au système. En général, l'orientation des capteurs dans l'hémisphère nord doit être pleine sud, car le soleil suit chaque jour une trajectoire apparente Est-sud-ouest, à l'encontre dans l'hémisphère sud où l'orientation doit être vers le nord [11].

Beaucoup d'études ont été menées pour déterminer ou du moins estimer, le meilleur angle de l'inclinaison des capteurs solaires. En pratique, la règle générale pour un utilisation annuelle est : $\varphi + 10^\circ$, tel que φ est la latitude du lieu, alors que certains chercheurs suggèrent deux valeurs pour l'angle optimal de l'inclinaison, un pour l'été ($\varphi-20$) et l'autre pour l'hiver ($\varphi+ 20$), Dans les dernières années, les programmes informatiques ont été utilisés et les résultats ont montré que l'angle optimum de l'inclinaison est presque égal à la latitude φ du lieu [20].

I.9.4-Les différentes modes de captation d'énergie solaire :**I.9.4.1-Captation sans concentration :**

Le rayonnement solaire peut être transformé en chaleur à basse température, par des capteurs plans utilisant conjointement l'absorbeur, surface sélective et l'effet de serre créé par le vitrage, Ces capteurs ont l'avantage d'utiliser aussi bien les rayons directs du soleil que les rayons diffusés, c'est à dire que même par temps couvert, le liquide caloporteur de capteur parvient à s'échauffer. L'autre avantage est qu'il n'est pas nécessaire d'orienter le capteur suivant le soleil [21].

I.9.4.2-Captation avec concentration :

Ce type de capteur solaire réfléchit et focalise le rayonnement solaire reçu directement sur l'absorbeur de manière à accroître l'intensité des rayons solaires. Par conséquent, l'usage de ce type de capteur permet d'obtenir des températures supérieures à celles que peut réaliser le capteur plan.

On distingue deux types de concentration :

1) Les systèmes qui peuvent concentrer le rayonnement autour d'une ligne appelés concentration linéaire ou concentrateurs à deux dimensions. Il s'agit pour l'essentiel des lentilles cylindriques réfléchissantes réglées.

2) Les systèmes pouvant concentrer la lumière autour d'un point, appelés concentrateurs ponctuels ou concentrateurs à trois dimensions. Ces systèmes présentent une symétrie de révolution autour d'un axe.

Les systèmes à concentration présentent un certain nombre d'inconvénients :

- Les pertes optiques peuvent être importantes. Elles sont dues aux phénomènes de réflexion et de réfraction et aux caractéristiques géométriques du système ;
- le rayonnement diffus est très mal utilisé dans les systèmes à forte concentration, seul le rayonnement direct est concentré ;
- Les systèmes à forte concentration nécessitent des montages optiques précis et par conséquent relativement chers ;
- Il faut aussi maintenir les qualités optiques du système (contre l'oxydation,);
- L'absorbeur est soumis à de grandes variations de température lors des passages nuageux ;
- Les systèmes à forte concentration ont un champ étroit. Il est donc nécessaire de pointer pour capter le rayonnement direct et ceci demande des mécanismes d'orientation.
- Dans la plupart des cas, le flux n'est pas distribué de façon uniforme sur l'absorbeur.[22]

I.10-Les capteurs statiques :

Pour produire de la chaleur grâce à l'énergie solaire à des niveaux de température faible, c'est-à-dire jusqu'à 100-120°C, les capteurs plans sont les plus adaptés. Il existe aujourd'hui, du fait des avancées techniques, tout un panel de modèles et de fabricants.

I.11-Les capteurs mobiles [23] :

Lorsque les capteurs plans ne sont plus adaptés aux niveaux de températures souhaités (>120°C), il est nécessaire d'utiliser des capteurs permettant une concentration du rayonnement émis par le soleil. Le flux solaire est reçu par une surface de grande taille appelée surface d'ouverture, puis dirigé vers un absorbeur de surface plus petite par l'intermédiaire de réflexions (sur des miroirs) ou par des réfractions (à travers des prismes ou lentilles). Le taux de concentration géométrique est défini par le rapport entre ces deux surfaces. Ces capteurs permettent une réduction des pertes thermiques (proportionnelles à la surface du récepteur) et par conséquent d'obtenir de meilleurs rendements et de plus hautes températures. Mais ils n'utilisent que le rayonnement direct du soleil et nécessitent un système de pointage plus ou moins évolué en fonction de la technologie.

Leur rendement optique est réduit du fait des techniques de concentration utilisées et ils ont besoin de plus d'entretien pour maintenir un état de propreté indispensable à leur bon fonctionnement. Les solutions pour concentrer le flux solaire sont très nombreuses, et sont présentées ci-dessous.

I.11.1-Capteurs cylindro-parabolique (1 axe):

Il s'agit de la technologie la plus utilisée dans les grandes centrales solaires thermodynamiques de production d'électricité. Le miroir concentrateur est un cylindre de section parabolique et ne comporte qu'une seule direction de courbure (figure I.18). La concentration a lieu sur la ligne où est placé le récepteur tubulaire dans lequel circule le fluide caloporteur (eau ou huile) qui peut être chauffé jusqu'à 450°C. [19]

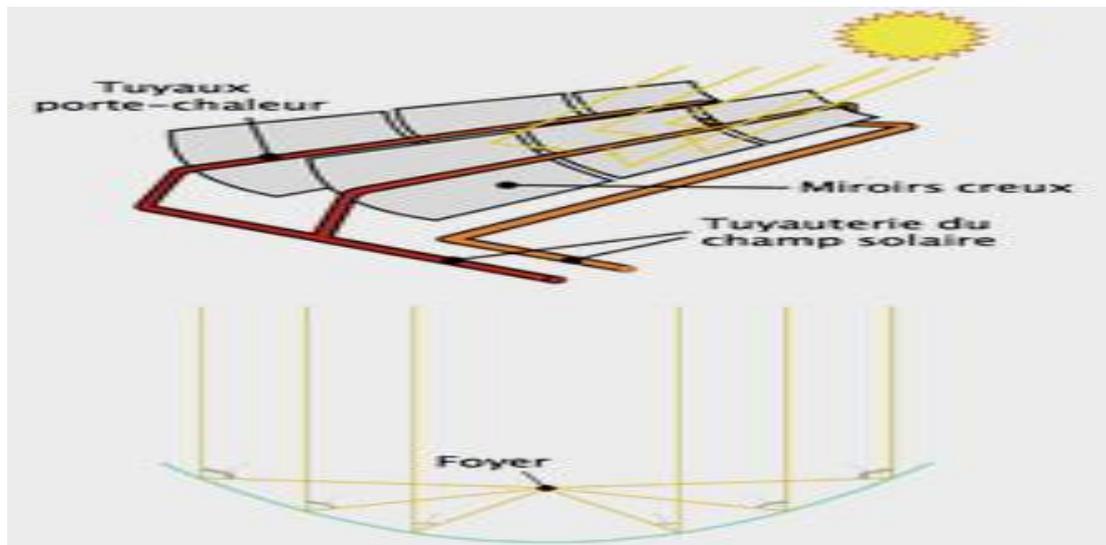


Figure I.17-Schéma de principe d'un capteur à concentration cylindro-parabolique.

I.11.2-Capteurs à lentille de Fresnel (1 axe) [19] :

Les collecteurs à miroirs de Fresnel offrent une solution alternative aux capteurs cylindro-paraboliques.

Ce système utilise des miroirs plans disposés en lamelles parallèles qui s'inclinent de manière à suivre le soleil et à concentrer les rayons sur l'absorbeur tubulaire placé au-dessus (Figure I.19). Le fluide caloporteur (eau, huile, vapeur) circulant dans l'absorbeur peut être chauffé jusqu'à 400-450°C.

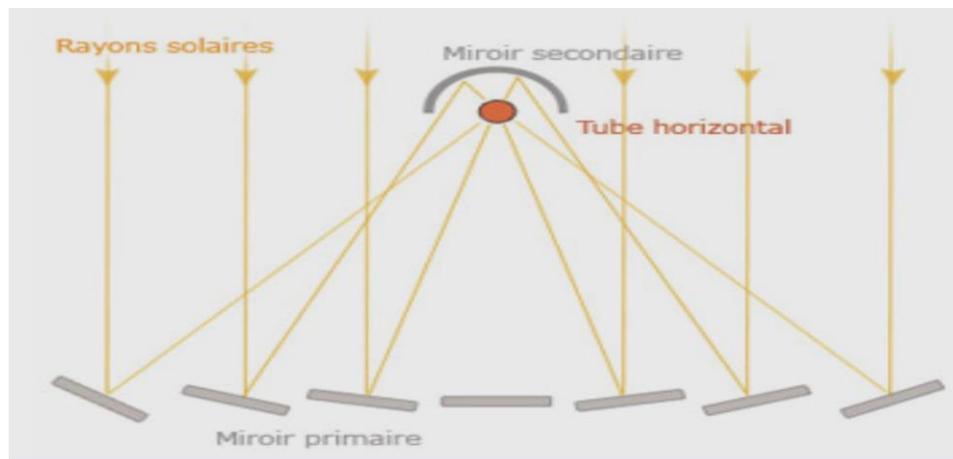


Figure I.18-Schéma de principe d'un capteur à concentration à lentille de Fresnel [19].

Ils sont plus simples et meilleur marché, mais moins performants en termes de concentration, d'une puissance de 800 kW thermique.

I.11.3-Parabole de révolution (2 axes) [19] :

Il est le concentrateur idéal pour concentrer les rayons du soleil (figure I.20). Par contre, il est indispensable d'orienter l'axe de la parabole dans la direction du soleil, afin que les rayons solaires réfléchis convergent vers le foyer (zone de concentration maximale).

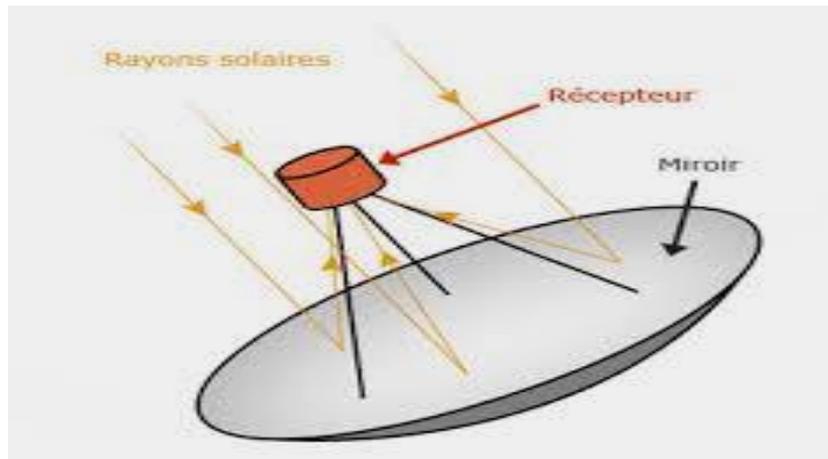


Figure I.19-Schéma de principe d'une parabole de révolution[19].

La nécessité de mobiliser la parabole selon deux axes de rotation pour assurer la poursuite du soleil entraîne une limitation de la dimension unitaire de ce type d'installation. Par conséquent, la surface courante de ces paraboles est de 50 à 100 m² (la plus grande réalisée faisant 500 m²). Le facteur de concentration moyen obtenu au foyer dépasse généralement le millier et permet d'atteindre de très hautes températures (plus de 800°C).

I.11.4-Tour solaire [19] :

Ce type de centrale (figure I.21) est constitué de nombreux miroirs appelés héliostats dont la fonction est de concentrer les rayons solaires vers une chaudière située au sommet d'une tour. L'avantage de la tour solaire par rapport aux capteurs cylindro-paraboliques est que les pertes à l'ambiance sont inférieures car la surface exposée est limitée. Le facteur de concentration varie de 600 à plusieurs milliers, ce qui permet d'atteindre des températures importantes, de 800 °C à 1000 °C. Malgré son caractère attrayant, on se doute que ce type de technologie n'est pas adapté à notre projet. En effet, elle est surtout utilisée pour produire de grandes puissances (de l'ordre du MW) à des températures bien supérieures à ce que nous désirons, le tout avec des frais d'investissements élevés.

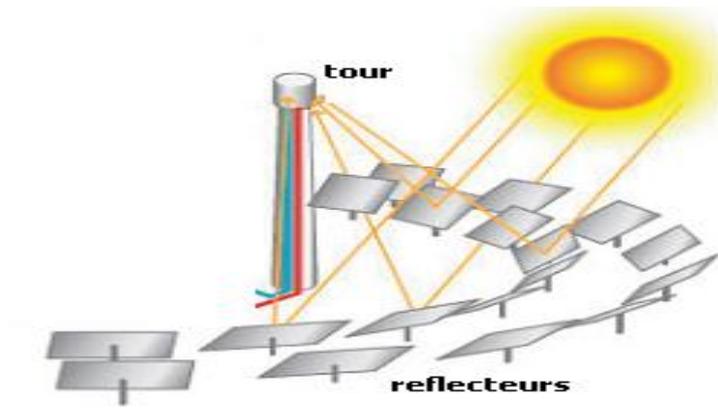


Figure I.20-Centrale à tour solaire.

Pour notre étude on va ce basée sur le concentrateur cylindro-parabolique.

I.12-Les différents types des concentrateurs :

I.12.1-Concentrateur stationnaire :

L'installation d'un concentrateur cylindro-parabolique sans dispositif de poursuite solaire exige une inclinaison optimale du concentrateur, généralement égale à la latitude du lieu et une orientation vers le sud en horizontal [24].

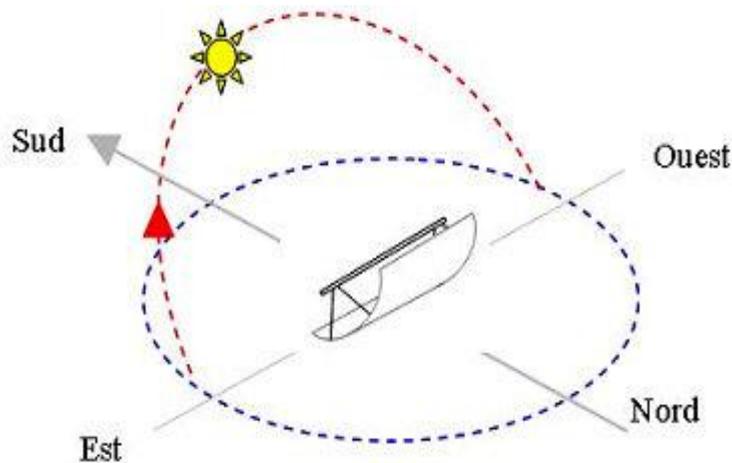


Figure I.21-Concentrateur stationnaire [24].

I.12.2-Concentrateur avec poursuite solaire :

L'installation d'un concentrateur cylindro-parabolique avec dispositif de poursuite solaire exige une inclinaison optimale du concentrateur, généralement égale à la latitude du lieu et une orientation vers le sud en vertical [25]. Le positionnement du concentrateur ce fait d'une manière automatisé grâce au système de poursuite qui repositionne le concentrateur son

inclinaison optimale, La poursuite s'effectue d'Est en Ouest.

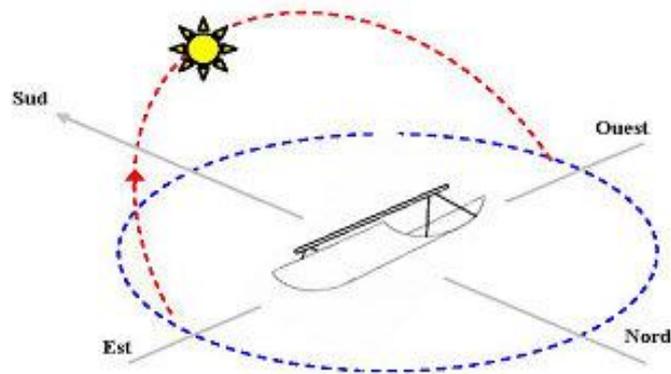


Figure I.22-Concentrateur avec poursuite solaire [24].

I.13-Description d'un poursuiveur :

Pour avoir une position optimale du concentrateur à chaque instant, on doit poursuivre la trajectoire du soleil en utilisant un mécanisme de poursuite.

I.13.1 Principe de fonctionnement :

L'optimisation par poursuite de la trajectoire du soleil est une technique qui permet de mieux exploiter l'énergie solaire. En effet, beaucoup de travaux centrent leur intérêt sur la poursuite du soleil afin de maximiser l'ensoleillement en gardant inclinaison optimale du concentrateur.

Différents systèmes d'orientation commerciaux sont disponibles et proposent conformément à leurs fiches de présentation des gains de l'ordre de 20 à 30 % selon les techniques et les technologies employées [26].

Dans notre étude nous avons choisie un vérin électrique, ce choix étant basé sur les critères suivants : la puissance, le fonctionnement en milieu hostile, moteur à courant continue, système de blocage mécanique, les butées de fin de course.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons rassemblé quelques généralités sur les énergies renouvelables et la trajectoire de soleil, nous avons fait un aperçu sur les capteurs solaire (les capteurs statiques et les capteurs mobiles) ainsi que le système de poursuite solaire.

chapitre II

**les différentes modes de
transfert thermique**

Introduction :

Les transferts thermiques font partie des Sciences de base de l'ingénieur, tant il est vrai qu'il est peu de domaines industriels où la thermique ne joue un rôle petit ou grand. Au minimum, l'ingénieur doit:

- connaître les principes fondamentaux,
- être capable d'évaluer leur importance dans un problème particulier,
- dégager les ordres de grandeur par une modélisation simple.

Les deux notions fondamentales en transferts thermiques sont la température et la chaleur. Le langage courant introduit souvent une confusion entre elles. Nos réactions physiologiques en sont en partie responsables : toucher du bout des doigts une porte en bois ou sa poignée métallique ne procure pas la même sensation ; la seconde paraît plus froide alors que toutes deux sont à la même température. Ceci parce que nos organes du toucher enregistrent le flux thermique qu'ils reçoivent ou cèdent. La poignée semble plus froide parce que son métal est plus émissif que le bois. [27]

Dans ce chapitre, nous présentons un certain nombre de définitions et théories relatives aux différents modes de transfert de chaleur (conduction, convection et rayonnement).

II.1-Les notions fondamentales en transferts thermiques :**II.1.1- Notion de température :**

C'est une variable d'état qui du point de vue de la structure de la matière, caractérise le degré d'agitation de ses particules. Elle résulte donc de la détermination d'une moyennée, de ce fait, il est impossible en toute rigueur de définir la température en un point géométrique. Les moyens d'observation explorent un domaine fini (de l'ordre du mm³ ou même moins). Ce domaine très restreint contient encore un nombre de particules suffisant pour que les considérations statistiques aient un sens. C'est donc toujours la température d'une boule au voisinage d'un point que l'on mesure, et que l'on désigne par «température en ce point".

On dit qu'à l'instant t la température d'un corps est uniforme si, en cet instant, tous les appareils de mesure indiquent la même valeur T quelle que soit leur position. Nous dirons en outre qu'elle est constante si T est indépendante de l'instant d'observation. Si ces deux conditions ne sont pas réalisées, nous dirons que la température est une fonction $T(x.y.z.t)$ des coordonnées du repère d'espace-temps. A l'intérieur d'un corps homogène, on peut donc définir à chaque instant t des surfaces isothermes caractérisées par $T(x.y.z,t) = cste$. L'unité de température est définie officiellement comme suit (J.O. 23/12/75) : "Le Kelvin (K) est la

fraction $1/273,16$ de la température thermodynamique du point triple de l'eau". On utilise fréquemment la température Celsius¹ définie par la différence $T-T_0$ entre deux températures thermodynamiques T et T_0 avec $T_0 = 273,15 K$. Une différence de température peut s'exprimer soit en Kelvins, soit en degrés Celsius. [27]

➤ **Les échelles de température:**

La plus utilisée et la plus répandue est l'échelle Celsius. Elle est basée sur deux critères facilement reproductibles et constants :

- La température de l'eau de la glace fondante : on lui a attribué la valeur 0 ;
- La température à laquelle l'eau bout à la pression atmosphérique : On lui a attribué la valeur 100 ;

On a divisé l'intervalle obtenu en degrés et éventuellement en sous-multiples du degré, ce dernier correspondant au centième de l'intervalle défini ci-dessus. Bien entendu on a prolongé les graduations de part et d'autre de la plage de température 0-100.

D'autres échelles sont ou ont été utilisées : l'échelle Fahrenheit en particulier, toujours en usage dans les pays anglo-saxons. On peut facilement passer d'une échelle à l'autre par un calcul simple ou des tables de correspondance. [28]

Les formules de transformation des degrés Celsius en Fahrenheit sont :

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F}-32) \times 5/9, \quad ^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \times 9/5) + 32 \quad \text{II.1}$$

L'échelle utilisée par les scientifiques est l'échelle Kelvin. Elle part du zéro absolu qui serait le niveau de température atteint si l'on pouvait retirer d'un corps la totalité de l'énergie calorifique qu'il contient. Le zéro absolu correspond à -273°C . La formule de transformation est donc :

$$T \text{ (Kelvin)} = t^{\circ}\text{C} + 273 \quad \text{II.2}$$

¹Anders Celsius établit en 1742 une échelle à 2 points fixes. Il posa 100 degrés pour le point de congélation de l'eau et 0 degré pour l'ébullition. Après sa mort en 1744, on inversa l'échelle (0 pour le point de congélation et 100 pour l'ébullition). La division en 100 donna le nom de degré centigrade ; l'échelle ne prit le nom de degré Celsius qu'en 1948. Depuis 1954, l'échelle Celsius est définie différemment : par un seul point fixe (point triple de l'eau) et une graduation déduite du Kelvin. Le point triple de l'eau est posé à $0,01^{\circ}\text{C}$.

II.1.2-Notion de chaleur:

Définition :

C'est une forme d'énergie au même titre que le travail d'un système de forces au cours d'UN déplacement. On ne peut donc pas parler de la "chaleur d'un corps", ni même de la «chaleur contenue dans un corps», car la prise en compte d'une quantité de chaleur Implique une situation évolutive. Il s'agit forcément d'un échange d'énergie entre plusieurs corps (ou entre plusieurs domaines d'un même corps) au cours d'un laps de temps déterminé. L'unité est le Joule [J]. Sa valeur est petite, ce qui fait qu'on communément recours au kilo Joule [kJ]. Si, entre deux instants t et t' , l'interaction étudiée s'accompagne d'un échange de chaleur dQ , on appelle flux thermique moyen la quantité $dQ/(t-t')$ et, par un passage à la limite, on peut définir :

- Un flux thermique (c'est une puissance – heat transfer rate) instantanée en Watts [W]
- ramenée à l'unité de surface on parle de densité de flux thermique [W/m^2]. On nomme flux-mètre l'appareil de mesure correspondant. [29]

II. 2-Conduction :

C'est un mode de transfert de chaleur au sein d'un milieu solide, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température. La propagation de la chaleur par conduction à l'intérieur d'un corps s'effectue selon deux mécanismes distincts :

- une transmission par les vibrations des atomes ou molécules.
- une transmission par les électrons libres.

Chocs multiples qui provoquent la propagation de l'énergie du corps chaud vers le corps froid

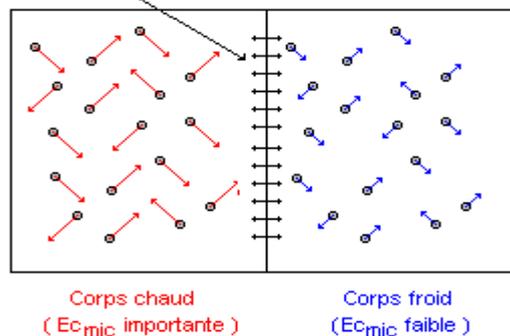


Figure II.1-Echange de chaleur par conduction.

La théorie de la conduction repose sur l'hypothèse de Fourier [30]

II.2.1- Loi de Fourier :

Il existé une relation linéaire entre la densité de flux thermique et le gradient de température. En tout point d'un milieu isotrope, la densité de flux thermique instantanée est proportionnelle à la conductivité thermique λ du milieu .et au gradient de température [30].

$$\Phi = -\lambda.grad(T) \tag{II.3}$$

Ou sous la forme suivante :

$$\Phi = \lambda. S \frac{\partial T}{\partial x} \tag{II.4}$$

Avec :

Φ : Flux de chaleur transmis par conduction (w)

λ : Conductivité thermique du milieu (w. m⁻¹. °C⁻¹)

X : Variable d'espace dans la direction du flux (m)

S : Aire de la section de passage du flux de chaleur (m²)

Pour un milieu isotrope, la conductivité thermique λ est une grandeur scalaire positive, caractéristique du milieu, fonction en général de T . pour un milieu isotrope et homogène λ ne dépend pas de T . dans de nombreux cas pratiques, lorsque les écarts de température ne sont pas trop élevés, on peut considérer, avec une précision suffisante, λ comme une constante pour un milieu donné.

II.2.2- Résistance thermique :

Considérant l'intersection d'un tube de courant par deux surfaces isothermes de températures $T1$ et $T2$, on définit la résistance thermique par la relation:

$$T_1-T_2 =R \Phi \tag{II.5}$$

On reconnaît dans cette équation la forme générale de la loi d'Ohm [30]:

$$E_1-E_2 = R.I \tag{II.6}$$

Dans laquelle les potentiels E sont remplacés par les températures et l'intensité I parle flux Φ

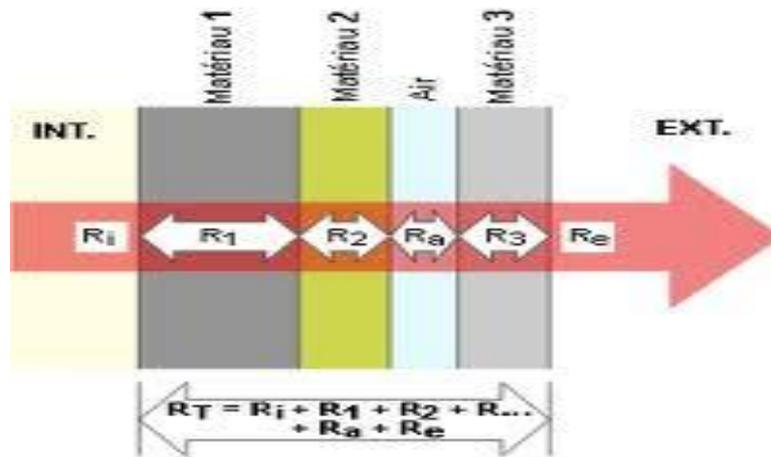


Figure II.2-Résistance thermique.

II.2.3-Equation générale de la chaleur :

Cette équation qui exprime la conservation d'énergie d'un élément infinitésimal de matière s'écrit :

$$\text{Div}(\lambda.\text{grad } T) + P = \rho.Cp. (\partial T/ \partial t) \quad \text{II.7}$$

Où

P : représente la production de chaleur en w/m^3

Cp : chaleur massique en $(J/kg. ^\circ k)$

ρ : masse volumique en (kg/m^3)

II.3 - Convection :

C'est le transfert de chaleur entre un solide et un fluide, l'énergie étant transmise par déplacement du fluide [31].

En d'autre terme

C'est un transfert qui résulte d'un mouvement d'ensemble du matériau le supportant. La convection a donc lieu dans les fluides (gaz ou liquides). Elle est souvent caractéristique de l'échange à la frontière entre un solide et un fluide et est donc très liée à l'écoulement fluide mais aussi aux géométries d'échange et aux états de surface si un solide intervient. Il convient de distinguer la convection forcée dans laquelle le fluide est mis en mouvement par un apport d'énergie mécanique extérieur (pompe, ventilateur, ...) de la convection naturelle dans laquelle le fluide prend, en son sein, l'énergie nécessaire au mouvement (variation de masse volumique associée à une variation de température par exemple). De façon macroscopique elle est décrite par la loi de Newton (1701). [32]

$$\Phi = h S (T_p - T_\infty) \quad \text{II.8}$$

Avec

Φ : Flux de chaleur transmis par convection (w)

h : Coefficient de transfert de chaleur par convection (W m⁻² °C⁻¹)

T_p : Température de surface du solide (°C)

T_∞ : Température du fluide loin de la surface du solide (°C)

S : Aire de la surface de contact solide/fluide (m²)

La valeur du coefficient de transfert de chaleur par convection h est en fonction de la nature du fluide, de sa température, de sa vitesse et des caractéristiques géométriques de la surface de contact solide/fluide.

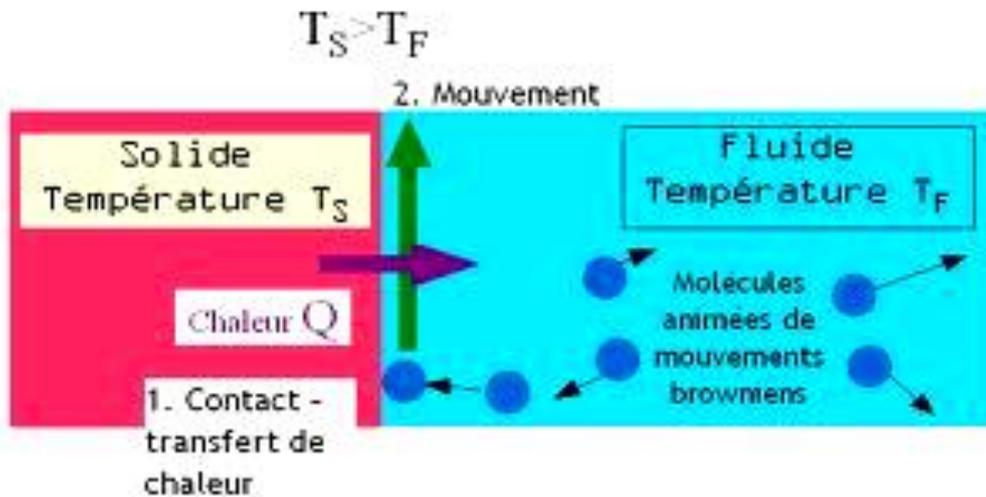


Figure. II.3-Transfert de chaleur par convection

II.3.1- Nombres sans dimension :

Nous définirons ci-dessous les nombres sans dimension rencontrés en transfert thermique par convection [12-31] :

II.3.1.1- Nombre de Prandtl :

Ce nombre représente le rapport de la diffusivité mécanique ν à la diffusivité thermique a

Un fluide peu visqueux mais bon conducteur thermique, aura un Pr très faible et vice-versa

$$Pr = \frac{\mu c_p}{\lambda} \tag{II.9}$$

Avec :

λ : Conductivité thermique du milieu (w m⁻¹ °C⁻¹)

μ : viscosité dynamique en (PI)

C_p : chaleur massique en (J/kg.k).

II.3.1.2- Nombre de Nusselt :

Ce nombre exprime le rapport entre le flux de chaleur par convection dans le fluide et le flux par conduction, λ_f ici la conductivité du fluide. Contrairement au Pr, Nu dépend non seulement de la nature du fluide à travers λ_f , mais aussi de la géométrie de l'écoulement à travers la dimension caractéristique L et de champ de la vitesse dans la couche limite à travers sa dépendance sur h . Tout comme pour h , on définit un nombre de Nusselt moyen Nu et un nombre de Nusselt local [33].

$$N_u = \frac{h \cdot L}{\lambda_f} \quad \text{II.10}$$

Avec

L : dimension caractéristique (m)

$$N_u = \frac{h_l \cdot L}{\lambda_f} \quad \text{II.11}$$

II.3.1.3- Nombre de Grashof :

Ce nombre exprime le rapport entre les forces de gravité multipliées par les forces d'inertie et le carré des forces de viscosité.

$$G_r = \frac{g \beta \Delta T L_c^3 \rho^2}{\mu^2} \quad \text{II.12}$$

D'où

$$\Delta T = T - T_f$$

II.3.1.4- Nombre de Rayleigh [30] :

Il s'écrit sous la forme suivante :

Où il caractérise l'écoulement en convection naturelle.

$$R_a = \frac{g \beta}{\nu \alpha} (T_s - T_\infty) L_c^3 = G_r \cdot P_r \quad \text{II.13}$$

Avec

β : coefficient de dilatation du fluide (k^{-1})

L : dimension caractéristique de la surface d'échange (m)

g : accélération de la pesanteur (m/s^2)

μ : viscosité dynamique du fluide (kg/m.s)

ν : viscosité cinématique (m²/s)

ρ : masse volumique en (kg/m³)

a : Diffusivité thermique en (m²/s)

II.3.1.5 - Nombre de Reynolds :

Ce nombre exprime le rapport des forces d'inertie sur les forces de viscosité [12].

$$\mathbf{Re} = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu} = \frac{V \cdot L}{\nu} \quad \text{II.14}$$

II.3.2 - Flux de chaleur en convection forcée :

L'application de l'analyse dimensionnelle montre que la relation liant le flux de chaleur transféré par convection aux variables dont il dépend peut être recherchée sous la forme d'une relation entre trois nombres adimensionnels, $Nu = f(Re, Pr)$.

Avec

Nu : nombre de Nusselt,

Re : nombre de Reynolds

Pr : nombre de Prandtl Le calcul d'un flux de chaleur transmis par convection forcée s'effectue donc de la manière suivante :

1. Calcul des nombres adimensionnels de Reynolds et de Prandtl ;
2. Suivant la valeur de Re et la configuration → choix de la corrélation ;
3. Calcul de Nu par application de cette corrélation ;
4. Calcul de h (Coefficient de transfert de chaleur)

$$\begin{cases} h = \lambda Nu/d \\ \Phi = h S (T_p - T) \end{cases} \quad \text{II.15}$$

II.3.3 - Le flux de chaleur en convection naturelle :

L'application de l'analyse dimensionnelle montre que la relation liant le flux de chaleur transféré par convection aux variables dont il dépend peut être recherchée sous la forme d'une relation entre trois nombres adimensionnels ; $Nu = f(Gr, Pr)$.

Avec :

Nu : nombre de Nusselt

Pr : nombre de Prandtl

Gr : nombre de Grashof

Le flux de chaleur transmise par convection naturelle s'effectue donc de la manière suivante:

1. Calcul des nombres adimensionnels de Grashof et de Prandtl ;
2. Suivant la valeur de Gr et la configuration → choix de la corrélation ;
3. Calcul de Nu par application de cette corrélation ;
4. Calcul de h (Coefficient de transfert de chaleur)

$$\begin{cases} h = \lambda \text{Nu}/D \\ \Phi = h S (T_p - T) \end{cases} \quad \text{II.16}$$

II.4 - Transfert de chaleur par rayonnement :

Contrairement aux deux autres modes d'échange qui sont la conduction et la convection, le rayonnement ne nécessite pas l'existence d'un support matériel. Il se propage dans l'espace, comme dans tout type de milieu. Si ce milieu est homogène, il se propage en ligne droite.

Le rayonnement c'est un transfert d'énergie électromagnétique entre deux surfaces(même dans l'espace).

II.4.1- L'émittance (totale) :

C'est le flux total émis par unité de surface de la source. On considère globalement la puissance $d\Phi$ émise par un élément de surface dS dans l'ensemble des directions où il peut rayonner (hémisphère limite par le plan tangent à dS en son centre), et on divise ce flux par l'aire de dS . L'émittance est notée par M. Son unité est le w/m^2 :

$$M = \frac{d\Phi}{dS} \quad \text{II.17}$$

II.4.2 - Le corps noir :

C'est un corps idéal vis-à-vis du rayonnement qui, par définition, absorbe tout le rayonnement qu'il reçoit quelque soit la fréquence et la direction de rayonnement. A l'équilibre thermique, il émet autant de rayonnement qu'il en absorbe de sorte qu'un corps noir rayonne le maximum d'énergie de façon uniforme dans toutes les directions.

II.4.3 -Loi du rayonnement thermique :

II.4.3.1 - Loi de Planck : émittance monochromatique du corps noir :

L'émittance monochromatique d'un corps noir $M_{\lambda,T}^\circ$ à la longueur d'onde λ et la température T, est donnée par la loi de Planck [34]:

$$M_{\lambda,T}^\circ = \frac{c_1 \lambda^{-3}}{e^{\frac{c_2}{T\lambda}} - 1} \quad \text{II.18}$$

Où $M_{\lambda,T}^\circ$ est le flux énergétique émis par la surface dans tout l'hémisphère et ramène à l'unité de longueur d'onde λ , la surface étant à la température T . $M_{\lambda,T}^\circ$ est exprimé en w/m^3

ou, dans le cas où λ est exprimé en microns (μm), $M_{\lambda,T}^\circ$ sera en $w/(m^2.\mu m)$.

Les constantes c_1, c_2 sont égale à :

$$c_1 = 3,74.108 w.\mu m^4/m^2$$

$$c_2 = 1,44.10^4 \mu m^\circ k$$

II.4.3.2 - Loi de Stefan Boltzmann [33] :

Cette loi fournit l'émittance totale du rayonnement du corps noir dans l'espace en fonction de sa température absolue (sur tout le spectre de longueur d'onde). Elle s'écrit :

$$M^\circ = \sigma T^4 (w/m^4) \tag{II.19}$$

Avec

σ : est la constante de Stefan Boltzmann

$$\sigma = 5,67.10^{-8} (w/(m^2.k^4))$$

II.4.4 - Transfert par rayonnement entre surface :

- 1) petit objet convexe placé dans une enceinte large ($S_1 \ll S_2$)

$$\phi = \sigma . \epsilon_p S (T_p^4 - T_\infty^4) \tag{II.20}$$

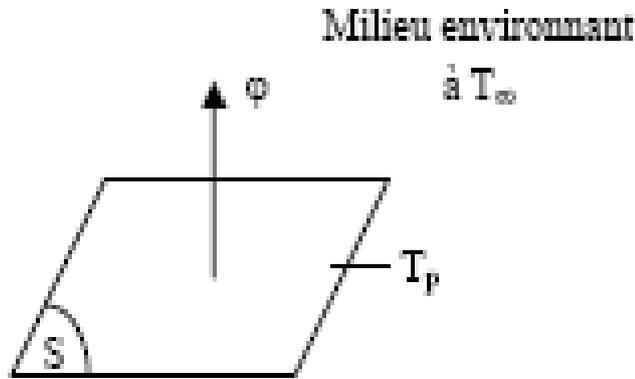


Figure.II.4 -Transfert de chaleur par rayonnement

- 2) deux plans parallèles infinis :

$$\sigma \times (T_1^4 - T_2^4) \tag{II.21}$$

Avec :

Φ_r : Flux de chaleur transmis par rayonnement exprimé en W

σ : Constante de Stephan ($5,67.10^{-8} W.m^{-2}K^{-4}$)

ϵ_p : Facteur d'émission de la surface

T_p Température de la surface en K

T_{∞} : Température du milieu environnant la surface en K

S : Aire de la surface en m^2

II.4.5 - Réception du rayonnement par un solide :

Quand un rayon d'énergie incident Φ_i frappe un corps à la température T , une partie Φ_r de l'énergie incidente est reflétée par la surface S , une autre partie Φ_a est absorbée par le corps qui s'échauffe et le reste Φ_t transmis et continue son chemin [32]

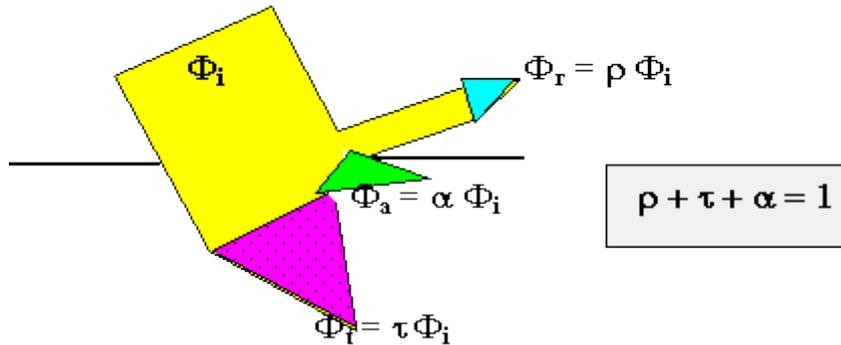


Figure II.5- Réception du rayonnement.

Φ_r : le flux reflété en w/m^2

Φ_a : le flux absorbé en w/m^2

Φ_i : le flux incident en w/m^2

Φ_t : le flux Transmis en w/m^2

On a évidemment :

$$\Phi_t = \Phi_r \rho + \Phi_a \alpha + \Phi_T \tau \tag{II.22}$$

Avec :

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \tag{II.23}$$

Conclusion :

Ces notions trouvent naturellement leur application dans l'expérience de mesure des phénomènes thermiques (conduction, rayonnement, convection)

Plus généralement, il semble que les besoins croissants en maîtrise de l'énergie, dus aux enjeux environnementaux, ainsi que la course mondiale à l'efficacité industrielle vont nécessiter des efforts encore considérables pour comprendre et contrôler les transferts d'énergie. Le domaine des nanosciences semble apte à livrer un certain nombre d'avancées.

Chapitre III

Réalisation du

concentrateur et le

système du poursuite

Introduction :

Dans ce chapitre nous nous intéressons essentiellement à la partie théorique et nous présentons les différentes étapes de réalisation du concentrateur solaire.

III.1-Etude théorique du concentrateur cylindro-parabolique :**III.1.1-Performances optique d'un concentrateur cylindro-parabolique :****III.1.1.1-Le taux de concentration :**

La définition la plus commune du taux de concentration est basée sur la notion de surface. Elle est donnée comme étant le rapport de la surface de l'ouverture sur la surface de l'absorbeur. De ce fait le taux de concentration du flux est défini comme le rapport du flux moyen d'énergie de la surface du récepteur sur le flux d'énergie moyen de la surface de l'ouverture.[41]

$$C = \frac{A_0}{A_r} \quad \text{III.1}$$

A_0 : surface d'ouverture avec $A_0 = f \cdot a$

A_r : surface d'absorbeur.

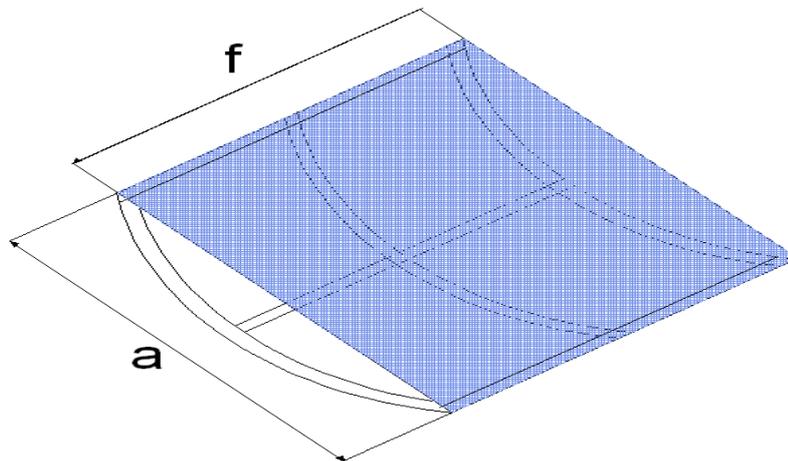


Figure III.1-surface d'ouverture.

Le paramètre de concentration détermine de façon directe la température d'utilisation

(Figure III-2) on peut distinguer :

- Les faibles concentrations ($1 < C < 10 \Rightarrow T_c \sim 150^\circ\text{C}$)
- Les moyennes concentrations ($10 < C < 100 \Rightarrow T_c \sim 300^\circ\text{C}$)
- Les fortes concentrations ($C \geq 100 \Rightarrow T_c \sim 300^\circ\text{C}$)

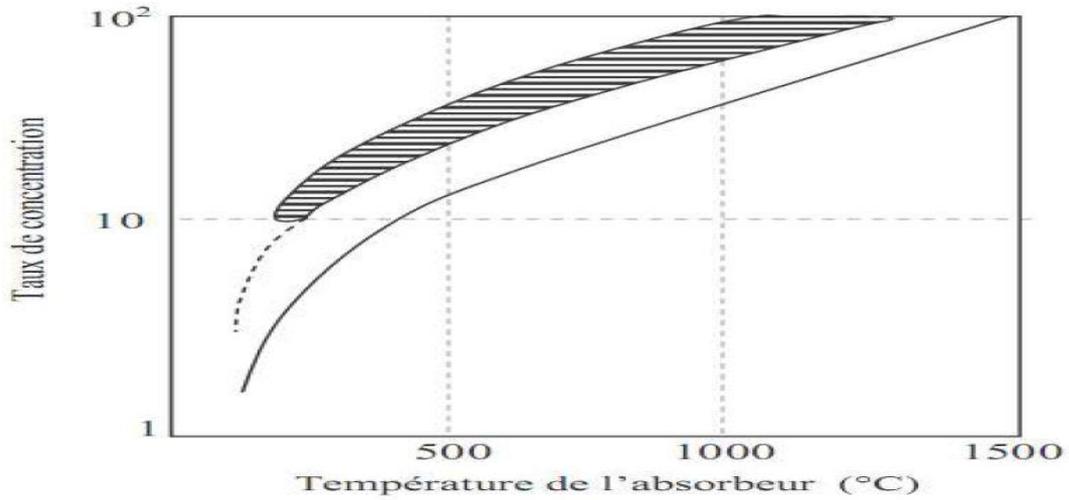


Figure.III.2-Relation entre le taux de concentration et la température de récepteur[45]

- La limite minimale : lorsque les pertes thermiques sont égale à l'énergie absorbée.
- ▨ La zone hachurée correspond à l'intervalle de fonctionnement du concentrateur.

III.1.1.2-Angle d'ouverture :

L'ouverture est (a), et (f) la longueur focale (la distance du point focale au sommet)
 Le faisceau du rayonnement solaire incident sur le réflecteur au point (B) ou le rayon (r) est au maximum, est égal à (r_r) et fait un angle de (φ_r)[45], décrit par AFB est donnée par la figure (III-3)

$$\phi_r = \tan^{-1} \left[\frac{8 \cdot \left(\frac{f}{a}\right)}{16 \cdot \left(\frac{f}{a}\right)^2 - 1} \right] = \sin^{-1} \left[\frac{a}{2r_r} \right] \quad \text{III.2}$$

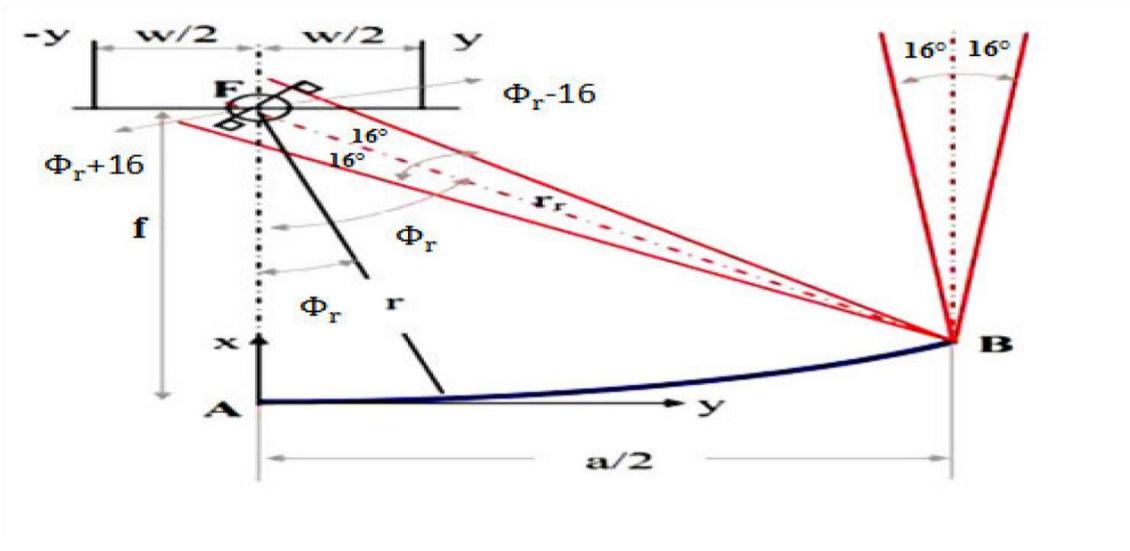


Figure III.3-Dimensionnement du concentrateur et angle d'ouverture.

II-1-1-3 Rayon local de miroir :

Pour n'importe quel point du réflecteur parabolique le rayon du miroir est :

$$r = \frac{2.f}{1+\cos \phi} \quad \text{III.3}$$

III.1.2 Performances thermique du concentrateur cylindro-parabolique :**III.1.2.1 Température de sortie de fluide caloporteur (T_{sortie}) :**

Pour calculer la température de sortie nous avons l'équation suivante

$$T_s = T_e + \frac{q_{\mu}}{q_m \cdot c_p} \quad \text{III.4}$$

T_s : température de sortie.

T_e : température d'entrée.

q_m : Débit massique.

c_p : pouvoir calorifique.

III.1.2.2 Rendement du concentrateur solaire (η) :

Pour calculer le rendement nous avons utilisé l'équation suivante :

$$\eta = \frac{q_{\mu}}{EA_0 \gamma} \quad \text{III.5}$$

E : rayonnement incident (W/m^2).

γ : Facteur optique du collecteur. [42]

III.1.2.3 Les pertes de charge :

Les pertes de charge que nous rencontrons sont de deux types :

- **Pertes linéaires** : elles sont dues au frottement de l'eau sur la paroi interne de la tuyauterie. L'utilisation de la tuyauterie lisse permet d'atténuer ce frottement.
- **Pertes singulières** : elles sont dues aux accidents de parcours (coudes, raccordement de tubes).

La tuyauterie dont nous disposons est en cuivre (12/14)

- **Expression des pertes de charges :**

Nous calculons les pertes de charges globales en utilisant la notion de longueur équivalente :

$$H = \lambda \frac{LV^2}{2Dg} \quad \text{III.6}$$

λ : Coefficient de perte de charge linéaire dépend du nombre de Reynolds ; $\lambda = \frac{64}{Re}$

L : longueur du tronçon du tube augmentée d'une longueur équivalente aux pertes de charges singulières sur le même tronçon.

D : diamètre du tube sur le tronçon.

V : vitesse du fluide dans le tronçon.

$g = 9.81 \text{ N/Kg}$: accélération de la pesanteur.

Puisque le réservoir a été placé le plus près possible du capteur, la longueur de la tuyauterie utilisée n'est pas importante, les pertes de charges seront faibles et négligées.

III.2 Réalisation du concentrateur cylindro-parabolique :

III.2.1 Description du prototype :

Le prototype réalisé pour effectuer les tests comporte essentiellement :

Un réflecteur solaire qui est une tôle inoxydable sous forme de parabole cylindrique qui est l'élément essentiel du concentrateur cylindro-parabolique, cette dernière est recouverte par des languettes de miroir en verre d'une longueur de 1.5m et un absorbeur de longueur de 1,5 m qui constituera le foyer au niveau duquel se concentreront les rayons du soleil.

des capteurs de températures seront placés au niveau du système pour permettre l'acquisition des données.

III.2.2 Principe de fonctionnement :

La figure (III -4) représente le schéma de l'installation réalisée :

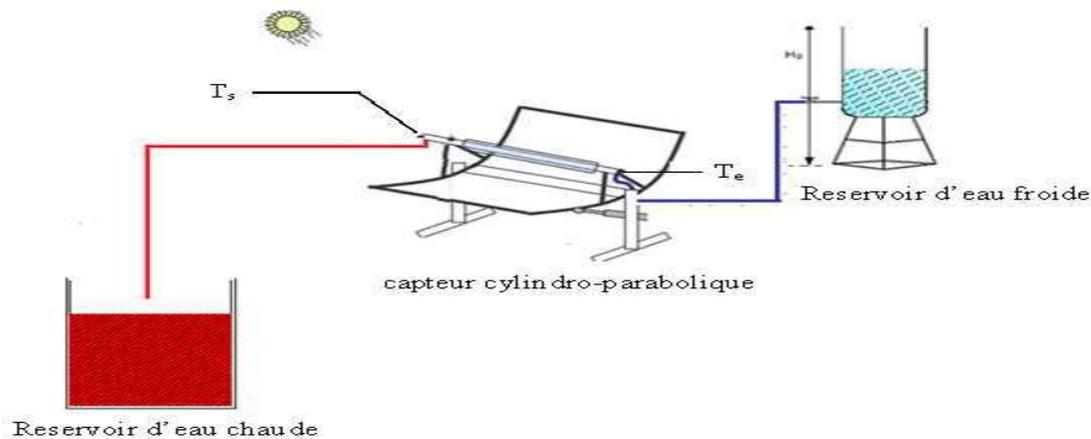


Figure.III.4-schéma de l'installation.

Le concentrateur cylindro-parabolique est orienté vers l'est dès le lever du soleil.

La focalisation du rayonnement se fait sur le foyer central pour chauffer le fluide caloporteur (l'eau).

Dans notre installation nous optons pour le système directe avec circulation naturelle (par gravité), le réservoir d'eau froide est placé plus haut que le capteur solaire qui est parallèle à l'axe nord sud. Pour mesurer le débit volumique de l'eau nous utilisons un chronomètre et un bidon gradué par litres placé à la sortie du capteur solaire.

III.2.3 Dimensionnement de la courbe :

Avant d'entamer la phase de réalisation nous avons procédé au dimensionnement du concentrateur solaire, dans le but de déterminer les différents paramètres géométriques du concentrateur, avec la meilleure concentration possible. D'une manière générale le réflecteur doit permettre de transmettre le plus de chaleur possible au fluide.

Nous avons pris une tôle inoxydable disponible d'une taille 1,5 x 1,5m et d'épaisseur de 1mm. Le prototype du capteur solaire aura alors une surface d'ouverture de 2,25 m² Ainsi que nous avons pris une plaque de miroir de 1.72 x1.5m et d'épaisseur de 3mm puis nous l'avons coupées a des languette de 150 x5cm.

Un miroir parabolique a la propriété d'être stigmatique pour un point situé à l'infini sur son axe (figure III-5) c'est -à-dire que l'image de ce point est un point appelé le foyer.[43]

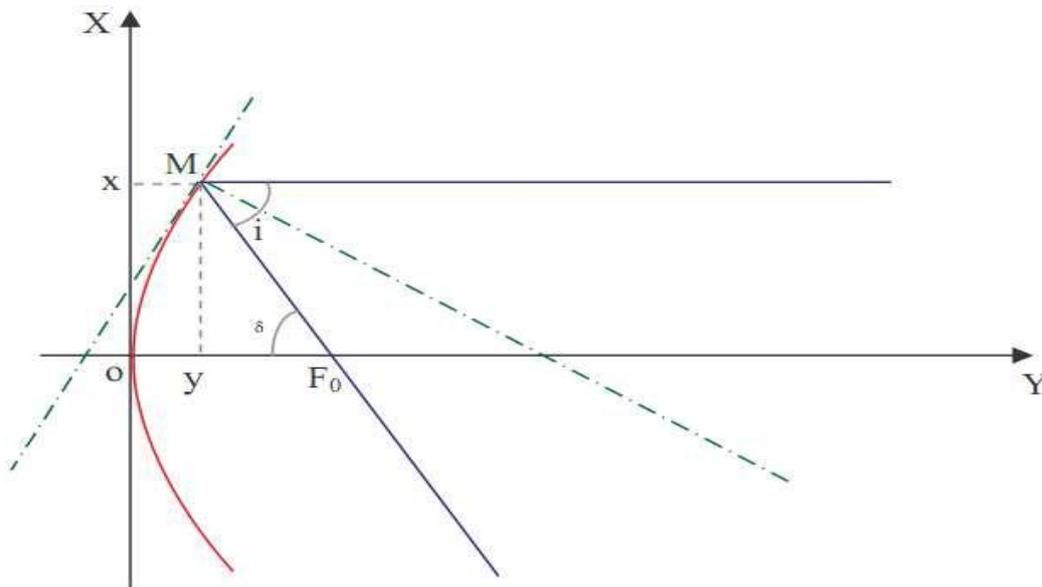


Figure.III.5-concentration géométrique des miroirs paraboliques.

Considérons un rayon parallèle à l'axe et qui frappe le miroir en un point (M) de coordonnées (x,y). Il est réfléchi et coupe l'axe (oy) en (F₀). (Figure III-7)

$$\text{On a: } Y = ax^2$$

$$\text{D'où : } a = \frac{1}{4.F}$$

$$\text{Donc : } Y = \frac{1}{4.F}x^2$$

III.7

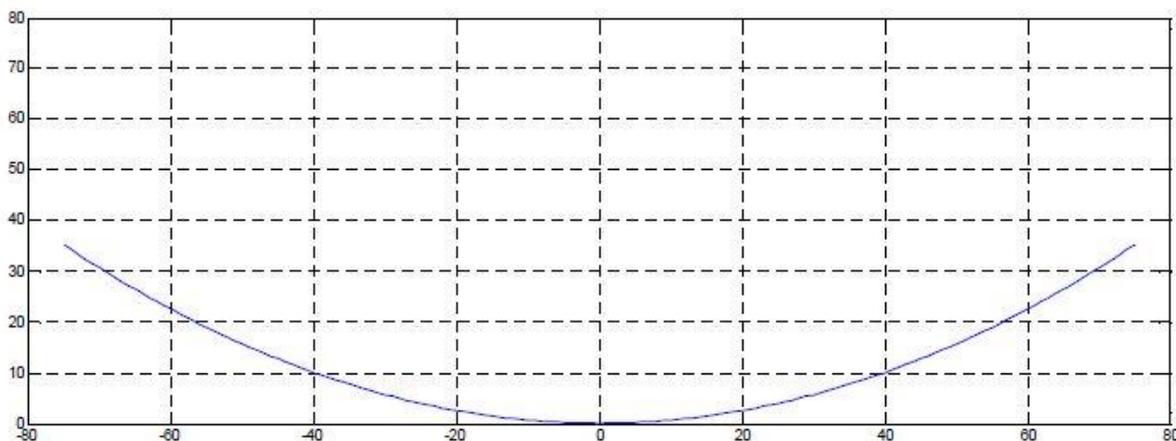


Figure.III.6-La courbe parabolique du concentrateur.

III.2.4 Réalisation du réflecteur :

En utilisant l'équation III-7 et pour donner la forme parabolique à la tôle nous avons réalisé des arcades en bois, la tôle y fixée là-dessus à l'aide des boulons.



Figure.III.7-le réflecteur.

III.2.5 L'axe de rotation :

Le pivotement du concentrateur est assuré par un arbre réalisé avec un tube carré ayant les dimensions suivantes, longueur 150 cm, la largeur 5 cm, la hauteur 3 cm et de deux roulements à billes .Pour assurer la fixation de l'arbre sur les arcades en bois nous avons utilisé des brides soudées sur ce dernier comme le montre la figure suivante.



Figure.III.8-axe de rotation.

Absorbeur :

C'est un tube en verre d'un diamètre extérieur de 4,7 cm, d'un diamètre intérieur de 3,2 cm et d'une longueur de 150 cm.

Le tube est mis sous vide (entre les deux parois)

L'absorbeur reçoit un traitement sélectif pour pouvoir absorber le maximum d'énergie tout en réémettant le minimum.



Figure.III.9-absorbeur.

Notre absorbeur est un tube sous vide récupéré d'un chauffe-eau solaire, ce tube n'est ouvert que d'un seul côté et pour les besoins de l'expérience on a effectué quelques modifications sur le tube. On a réalisé un bouchon en téflon ou on a mis deux orifices l'une pour assurer l'entrée de l'eau l'autre pour la sortie comme le montre la figure suivante :

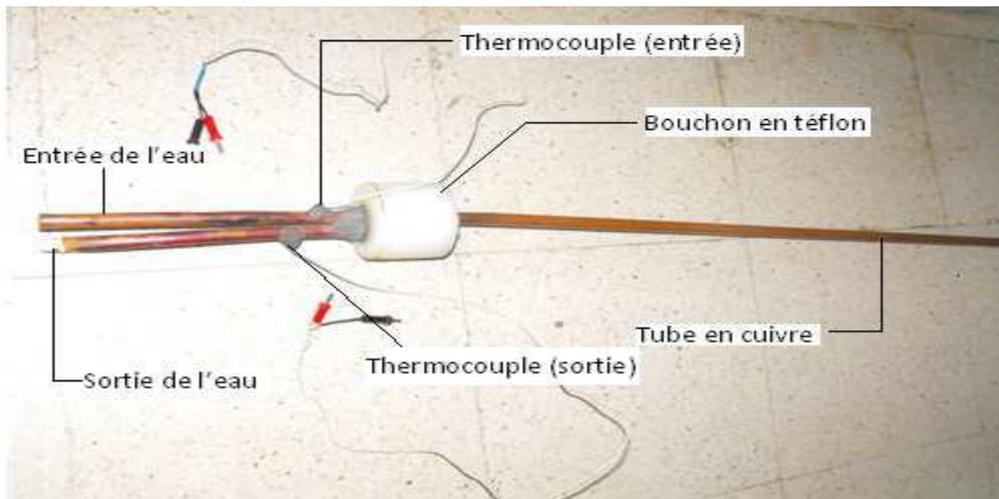


Figure.III.10-Système de circulation de l'eau.

Un tube devient inutile s'il n'est pas totalement hermétique et il faut le changer pour préserver la performance de l'ensemble du capteur.

Afin de visualiser cette éventualité, les tubes sont munis d'un témoin en baryum, qui dépose une couche métallisée sur l'intérieur du tube pendant la fabrication. Cette couche argentée de baryum devient blanc en contact avec l'air et ainsi sert de témoin à la perte de vide. [44]



Figure.III.11-vue d'un tube hermétique et non hermétique.

Illustration : le bout du tube est argenté si le vide est effectif, sinon il devient blanc



Figure.III.12-vue du concentrateur réalisé sans languettes de miroir.



Figure III.13-le concentrateur réalisé avec des languette de miroir.

III-3-Mecanisme de poursuite :

Pour le mécanisme de poursuite solaire nous allons utiliser un vérin électrique. A cause, de la simplification du mécanisme et la possession d'un système de freinage qui est très utile dans la poursuite.

III-3-1- Définition du vérin électrique :

Les vérins électriques utilisent le principe de la transformation d'un mouvement de rotation créée par un moteur électrique en un mouvement de translation grâce à un système mécanique de transformation de mouvement. La vitesse linéaire de la tige du vérin dépend donc de la vitesse de rotation du moteur et du pas du système de transformation de mouvement [49].

III-3-2-Sa composition :

Un vérin électrique se compose d'un moteur électrique à courant continu, alternatif, pas à pas ou d'un motoréducteur couplé à un système de transformation de mouvement rotatif en linéaire de type vis à billes ou vis à filet trapézoïdal irréversible.

La grande diversité du choix du moteur, confère à ce type d'actionneur un domaine d'application assez vaste allant du simple déplacement linéaire à partir d'un signal électrique jusqu'au positionnement précis sur certaines machines à commande numérique [50].

III-3-3-Les différents composants :

Les vérins électriques sont conçus généralement de la même façon et des mêmes composants comme le montre la figure III.14 :

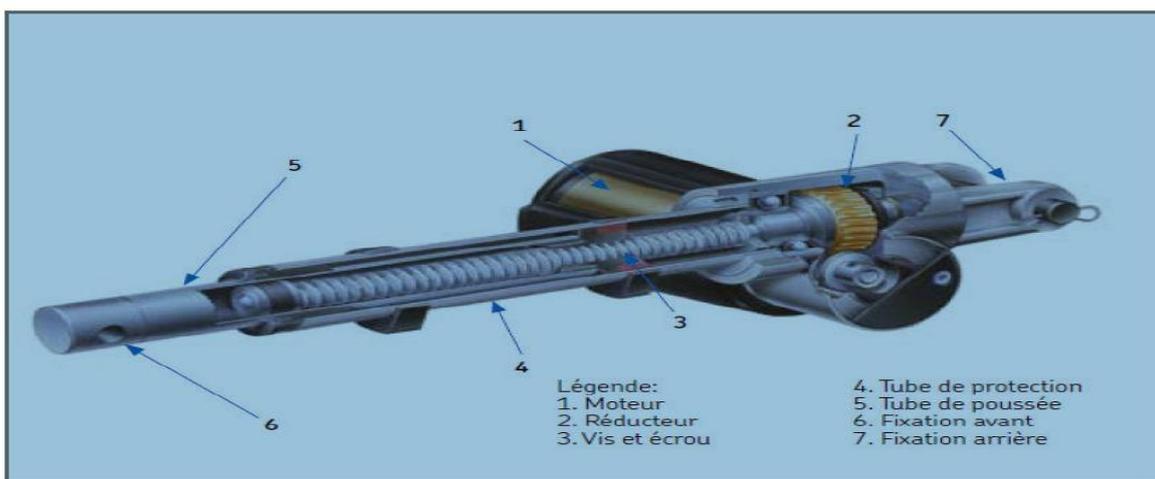


Figure.III.14-Composition générale d'un vérin électrique.

III-3-3-1-Moteur a courant-continu :

La classe des moteurs à courant continu n'intègre que les moteurs a collecteurs alimentés en courant continu. Elle exclut les moteurs alternatifs a excitation série, dits universels, qui utilisent la même structure a collecteur, ainsi que les structures « brushless », ou le collecteur devient électronique [46].

III-3-3-2-Réducteur :

Un réducteur mécanique a pour but de modifier le rapport de vitesse et le couple entre l'axe d'entrée et l'axe de sortie d'un mécanisme.

On distingue plusieurs types de réducteurs :

- réducteur a vis sans fin en acier traité et roue hélicoïdale en delrin¹ ou en bronze : Ces matériaux permettent une meilleure performance (durée de vie, faible jeu, etc.) et un très bas niveau sonore.
- réducteur planétaire : Souvent utilisé pour des applications avec facteur de service élevé grâce à son haut rendement [50].

III.3.3.3-Vis et écrou :**III.3.3.3.1-Différents types de vis :**

Il existe en général deux types de vis, la vis a filet trapézoïdale et la vis à bille.

III.3.3.3.2-Vis à billes :

Les vis à billes tout en acier sont constituées d'un arbre à vis et d'un écrou à billes avec un système de recirculation a billes pour convertir le mouvement rotatif en un mouvement linéaire souple comme le montre la Figure III.14, précis et réversible (c'est-à-dire convertir un couple en une poussée). La rangée d'éléments roulants circulaires est contenue de manière autonome dans un système fermé entre l'écrou et la vis, ce qui permet d'obtenir une conception aux coefficients de frottement extrêmement faibles. La faible résistance de frottement minimise l'usure, améliore l'efficacité et réduit la température de fonctionnement, prolongeant ainsi la durée de service. Les vis à billes peuvent supporter des charges extrêmes, atteindre des cycles de service élevés, fonctionnent sur une large plage de températures et fournissent la précision nécessaire pour équiper des vérins fonctionnant pendant de longues périodes a des vitesses élevées et exigeant une haute capacité dynamique. En général, des freins sont spécifiés pour les vérins a vis à billes afin d'empêcher l'entraînement en arrière [50].

¹Derlin ils possèdent une haute résistance et durabilité, assurant un usage sûr, prolongé et professionnel, pour réduire le frottement entre l'écrou et la barre de levage, laquelle indique également le couple

III.3.3.3-Vis a filet trapézoïdale :

Ces vis transmettent le couple en un mouvement linéaire par l'intermédiaire d'un frottement de glissement direct. Un montage type est constitué d'une vis en acier et d'un écrou en plastique comme le montre la figure (III-15). Certains produits sont équipés de vis trapézoïdale présentant un coefficient de frottement relativement élevé et donc idéal pour une application autobloquante. Les vérins a vis trapézoïdale supportent des charges statiques élevées, résistent a des vibrations excessives, fonctionnent sans bruit et sont très économiques [50].

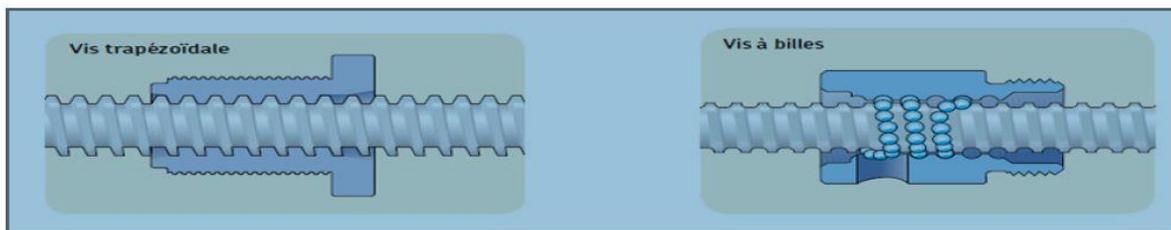


Figure III.15–Les différents types de vis utilisées dans les vérins électriques.

Le rendement des vis à bille est de 98%, il est très supérieure à celui des vis a filet trapézoïdal avec un rendement de 50% .Mais par rapport à un système vis-écrou classique, les vis à billes sont d'un prix élevé et leur montage est plus complexe mais améliore le rendement; c'est le cas par exemple, des systèmes d'axes à commande numérique.

III.3.3.4-Fin de course :

Son rôle est de limiter le mouvement ou la course du vérin dans un sens particulier. Lorsqu'il est active, l'interrupteur ouvre ou ferme un contact électrique. Lorsque le contact est ferme, le courant passe à travers l'interrupteur et lorsque le contact est ouvert, aucun courant ne traverse l'interrupteur. Ces dispositifs empêchent les vérins d'entrer en contact avec les butées mécaniques et peuvent permettre le réglage de la longueur de course [47].

III.3.3.5-Ecrou de sécurité :

Ceci empêche le vérin de s'effondrer en cas de défaillance de l'écrou d'entraînement. L'écrou de sécurité est généralement en métal et fait preuve d'une plus grande résistance au cisaillement que l'écrou d'entraînement. Il n'entre en contact qu'avec les filets de la broche, en cas de défaillance des filets de l'écrou d'entraînement. L'écrou de sécurité porte la charge et peut être capable de la réduire (ce qui indique qu'une réparation est nécessaire).

III.4-Dimensionnement et caractéristiques du vérin électrique :

III.4.1-Paramètres pour le choix d'un vérin :

Le choix du vérin que nous allons utiliser nécessite de connaître certains paramètres :

- Charge dynamique (masse déplacé).
- Vitesse de déplacement.
- Facteur de service.
- Environnement, ambiance extérieure du vérin.
- Course utile.
- Tension d'alimentation du moteur.
- Irréversibilité du vérin sous sa charge (moteur frein ou non).

III.4.1.1-Charges a déplacer et vitesse de translation :

La charge à déplacer est très faible, parce que tout le réflecteur est pose sur un axe de Rotation, la charge est répartie sur 3 appuis donc on a une faible charge.

La vitesse dont on a besoin et très faible, le vérin qu'on doit choisir doit comporter un grand rapport de réduction [48].

III.4.1.2-Facteur de service et environnement :

- Le facteur de service est défini en pourcentage du temps de travail sur une durée de 10 mn.
- Les conditions de travail (air ambiant, humidité, expositions aux intempéries, poussières,... etc.) peuvent avoir une influence sur le choix de la protection IP du vérin ou des matériaux utilisés (inox, etc...), pour l'endroit et lieux humide et pas de présence de goutte d'eau donc tous les IP nous convient.
- Le facteur de service standard est généralement fixe entre 30% et 40% (soit 3 a 4 mn de travail sur 10 mn de fonctionnement).
- La plage de températures est de -30°C à +50°C
- Un facteur de service supérieur peut être obtenu, soit par choix d'un vérin de force supérieure, soit par utilisation d'une vis à billes.
- La plage de températures peut aussi être élargie par l'utilisation principalement de graisses spécifiques.

III.4.1.3-Course utile du vérin :

La course du vérin (en standard par multiples de 50 mm) doit essentiellement respecter des limites de charges (flambage) lorsque le vérin travail en compression.

En outre, prévoir par précaution, et afin d'éviter tout risque de venue en butée mécanique, 25 mm de sur course vérin rentré, et 25 mm vérins sorti, soit 50 mm au total. En cas de course longue (à partir de 20 x O de la vis de levage).Une sur course supplémentaire peut être réalisée [50].

Pour notre réalisation on aura besoin d'une grande course.

III.4.1.4-Tension moteur :

Pour un système économique en consommation de l'énergie électrique, on aura besoin d'une tension assez faible (12 a 24V), donc le moteur du vérin qu'on va utiliser doit être un petit moteur, de faible puissance pour un meilleur rendement de notre installation.

III.4.1.5-Irréversibilité / Réversibilité :

Pour notre réalisation l'irréversibilité du vérin est primordiale, donc le vérin qu'on utilisera doit comporter une vis à filet trapézoïdal.

III.4.1.6-Les caractéristiques du vérin utilisé :

Le vérin qu'on a utilisé est destiné aux antennes paraboliques, vu qu'il répond aux exigences imposées par le concentrateur, c'est un vérin 12 pouces JAEGER SUPERJACK série régulière, pour une très bonne robustesse. Ces caractéristiques sont résumées dans le tableau III.1

La course utile	12 pouces
Taille suggérée du plat	1.2 - 1.5 m
Capacité de charge	2500N
Charge statique	4500N
Vitesse (chargement complet)	4,2mm/s
Tension d'entrée	24/36 VOLTS CONTINU
Sonde	Commutateur tubulaire
Puissance utile du vérin	10,4 W

Tableau III.1-les caractéristiques du vérin.

III.4.2.1-Moteur du vérin :

Le vérin utilise comporte un moteur à courant continu à aimants permanents avec un arbre qui comporte 8 filets.



Figure III.16-Le rotor (induit)



Figure III.17-Le stator (inducteur)

III.4.2.2-Etude du réducteur du vérin utilise :

Le réducteur du vérin super jack a vis sans fin à 8 filets en acier traité et une roue hélicoïdale de 33 dents avec un angle d'inclinaison de 26° .

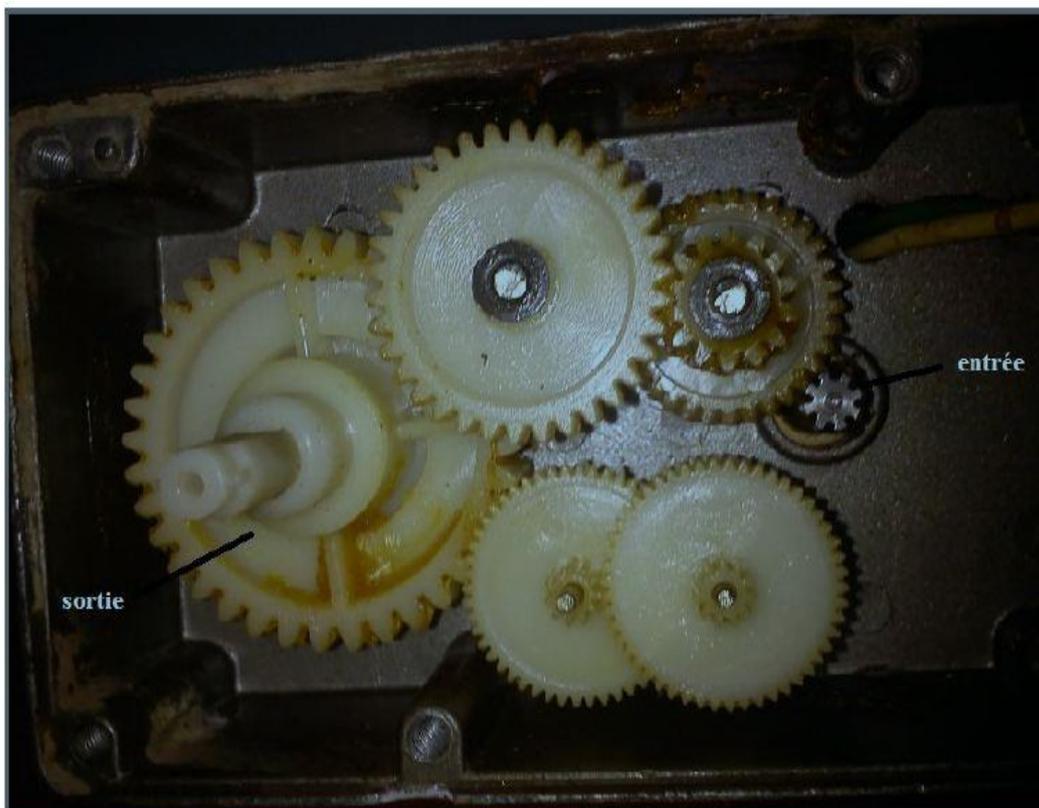


Figure III.18-le réducteur de vitesse.

a- Les roues menantes :

- L'arbre (il comporte 8 filets).
- Engrenage à dents droites (1^{er} à 14 dents, 2^{ème} à 10 dents)

b-Les roues menées :

- Engrenage a dents hélicoïdales (il comporte 33 dents avec un angle d'inclinaison de 26°).
- Engrenage a dents droites (1^{er} a 34 dents, 2^{eme} a 36 dents).

Ce qui nous donne un rapport de réduction de la vitesse de rotation déduit par l'équation III.2

$$r = (-1)^n \times \frac{\text{roue menante}}{\text{roue menée}}$$

n: nombre de contacts extérieurs.

$$r = (-1)^3 \frac{8 \cdot 14 \cdot 10}{33 \cdot 34 \cdot 36} = -0.0346$$

Le signe (-) veut dire que la rotation a la sortie du réducteur est inversée

III.4.2.3-Fin de course :

Nous avons réglé la fin de course du vérin, pour avoir le maximum de sa course (voir figure III.18), la course du vérin vaut 290 mm, mais on a perdue 20 mm suite à la modification apportée à la tige, on a soudé une rotule en acier a la place de la rotule d'origine faite en plastique, pour une meilleure résistance.



Figure III.19-Fin de course du vérin.

III.4.2.4-Tige :

La tige du vérin comporte une vis et un écrou plus un écrou de sécurité.

III.4.2.4.1-Type de vis utilisée :

Le vérin utilise comporte une vis a filet trapézoïdal comme le montre la figure III.19, donc on n'aura pas de problème d'irréversibilité (pas besoin d'un mécanisme de blocage), de ce cote la aussi le vérin répondra nos exigence.

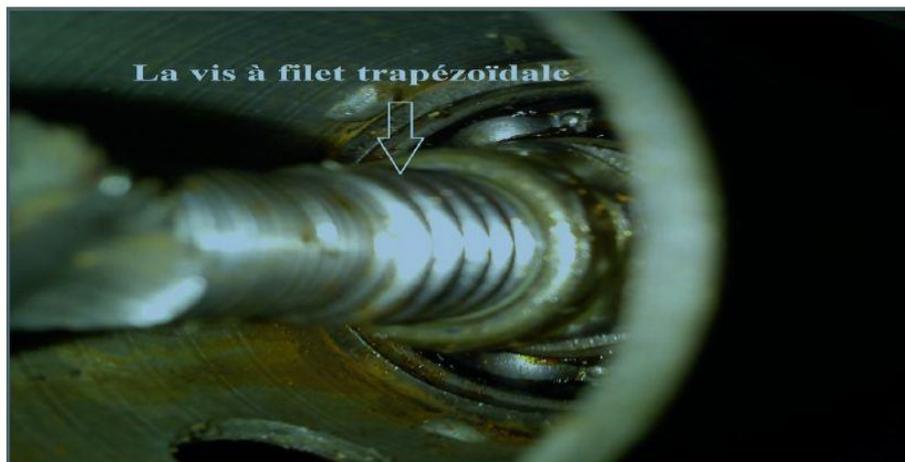


Figure III.20-La vis a filet trapézoïdale.

III.4.2.4.2-Ecrou de sécurité :

L'écrou de sécurité est illustre sur la figure III.20

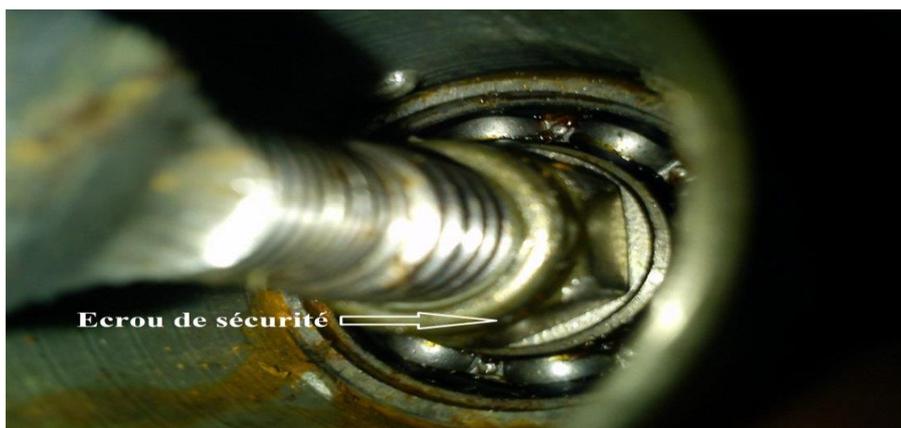


Figure III.21-Ecrou de sécurité.

III.4.2.4.2-Mise en place du vérin :

Sur la figure III.21, on donne les positions du concentrateur en fonction de l'état du vérin, et on constate qu'il faut avoir deux articulations pour la fixation du vérin, l'une au niveau du capteur et l'autre au niveau de la structure porteuse.



Figure III.22-différentes positions du concentrateur.

III.5.1-Calcul du centre de gravité d'un segment de parabole G(x,y) :

Pour avoir le centre de gravité du segment de la parabole $y = a \cdot x^2$ (voir figure III.22), compris entre l'origine, l'abscisse et l'origine d'un point quelconque de l'arc, les coordonnées ce point sont X, Y.

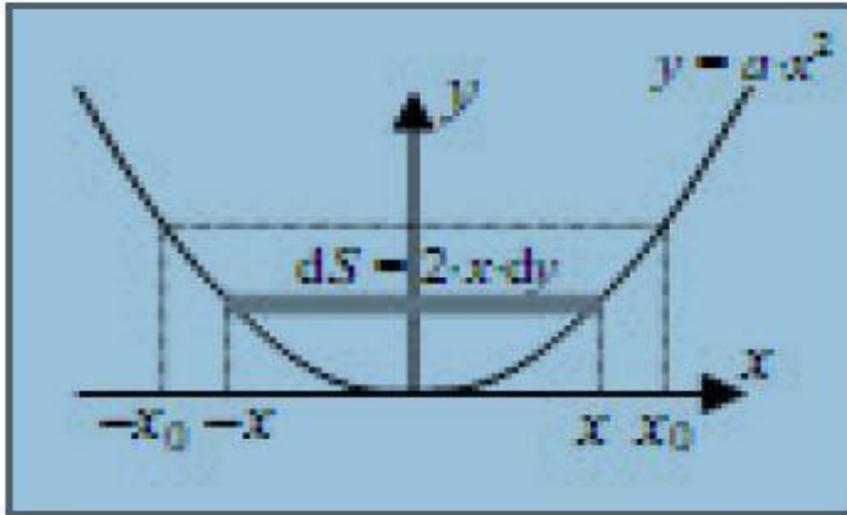


Figure III.23-Centre de gravité.

$$S = 2x_0y_0 - \int_{-x_0}^{x_0} a x^2 dx = \frac{4}{3} * a * x_0^3 = \frac{4}{3} x_0y_0$$

$$Y = \frac{1}{S} \int_0^{y_0} y^2 x dx = \frac{3}{4x_0y_0} \int_0^{y_0} y^2 \sqrt{\frac{y}{a}} dy = \frac{3}{5} y_0$$

$$y = \frac{3}{5} y_0$$

$$y = \frac{3}{5} * 34 = 20.4 \text{ cm}$$

donc : G(20.4,0)

III.5.2-Position théorique initiale du vérin :

La position théorique initiale du vérin est en fonction de la position théorique initiale du collecteur au lever du soleil, ce dernier fait un angle de -90° avec le méridien de Greenwich (voir chapitre I) et le vérin fait un angle $\beta = 25^\circ$, les forces agissantes sur le vérin sont représentées sur la figure III.23.

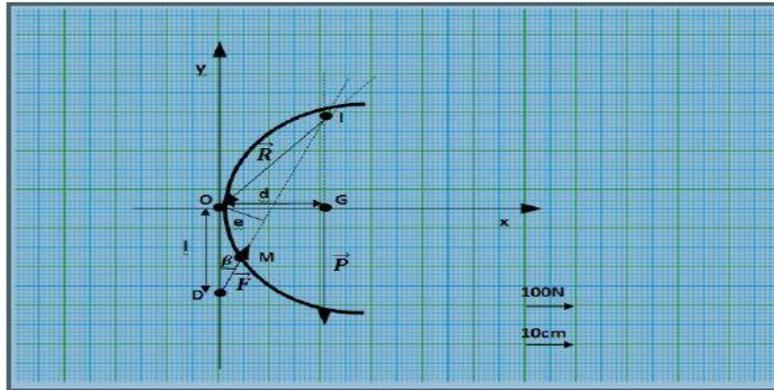


Figure III.24-Répartition des forces qui agissent sur le concentrateur.

P : poids du concentrateur.

F : force statique du vérin.

R : réaction du vérin.

O : axe de rotation.

I : point d'intersection des portées des trois forces concourantes.

D : point de fixation du vérin.

M : point de fixation du vérin au concentrateur.

e : bras de levier de la force F.

l : distance entre l'axe et le point de fixation du vérin.

d : bras de levier du poids « P ».

α : Angle du vérin avec l'axe OX (ou avec le sol).

β : Angle du vérin avec l'axe OY.

On utilisant le principe fondamental de la statique on obtient.

$$\sum_{F_{ext}} \vec{F} = \vec{0} \tag{III.8}$$

$$\vec{R} + \vec{P} + \vec{F} = \vec{0} \tag{III.9}$$

Par projection sur l'axe OX on aura

$$F \cos(\alpha) - R_x = 0 \tag{III.10}$$

Par projection sur l'axe OY on aura

$$F \sin \alpha - p - R_y = 0 \tag{III.11}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum \vec{M} = \vec{0} \\ \vec{M}_F + \vec{M}_P + \vec{M}_{Ra} \end{array} \right. \tag{III.12}$$

$$MF - M_P = 0 \tag{III.13}$$

À partir de III.13 on aura

$$(F \times e) - (P \times d) = 0$$

$$F = \frac{P \times d}{e} \tag{III.14}$$

$$\text{Ou } R = l \times \tan \beta \tag{III.15}$$

De (III.14) et (IV.15) on aura

$$F = \frac{p \times d}{l \times \tan \beta}$$

AN:

$$F = \frac{300 \times 20.4}{22.5 \times \tan 25} = 583,3 \text{ N}$$

En remplaçant F dans (III.10) et (III.11)

On obtient:

$$R_x = F \times \cos \alpha = 583.3 \times \cos 65 = 246.2 \text{ N}$$

$$R_y = F \sin \alpha - p = 583.3 \times \sin 65 - 300 = 228.65 \text{ N}$$

Vu la lenteur de cette méthode analytique, on utilisera une méthode géométrique pour déterminer ces forces pour d'autres positions

III.5.1.2-Détermination géométrique de la force statique du vérin et de la réaction de l'axe de rotation :

Pour la détermination des forces agissantes sur le concentrateur, nous avons utilisé une méthode géométrique ou nous avons dessiné ces forces sur une échelle (1 unité → 100N pour les forces et 1 unité → 10hi pour les coordonnées des points « O, I et D »).

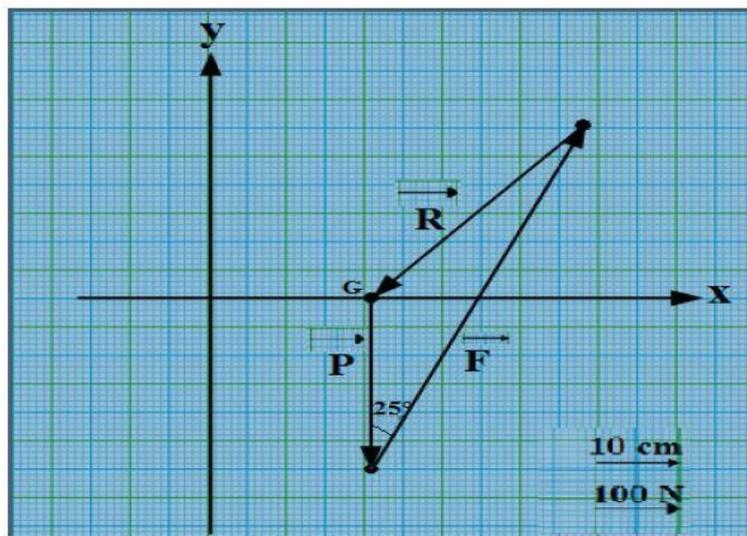


Figure III.25-triangle des forces à l'échelle

D'après la figure III.24, nous avons déterminé la force de réaction de l'axe et la force statique du vérin et ça, en connaissant l'angle M (entre le vérin et l'axe de rotation) et le poids du capteur qui vaut à 300 N et nous avons obtenu :

➤ **Réaction de l'axe de rotation :**

$$R_x=230 \text{ N et } R_y=230 \text{ N}$$

Ce qui nous fait une réaction de $R=325 \text{ N}$

➤ **Force statique du vérin :**

Nous avons obtenu une force statique du vérin qui vaut :

$$F_x = 230 \text{ N}$$

$$F_y=530 \text{ N}$$

Ce qui nous fait : $F= 578 \text{ N}$

➤ **Vérification avec le principe fondamental de la statique :**

$$\Rightarrow \sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \qquad \vec{R} + \vec{P} + \vec{F} = \vec{0}$$

➤ **Projection selon l'axe OX :**

$$F_x - R_x = 230 - 230 = 0 \text{ Vérifiée}$$

➤ **Projection selon l'axe OY :**

$$F_y - R_y - P = 530 - 230 - 300 = 0 \text{ Vérifiée.}$$

Les résultats obtenus avec cette méthode sont très proches si on compare avec la méthode analytique à une différence de 5 N près.

La figure suivante est obtenue lorsque le concentrateur tourne d'un angle $\gamma = 55^\circ$.

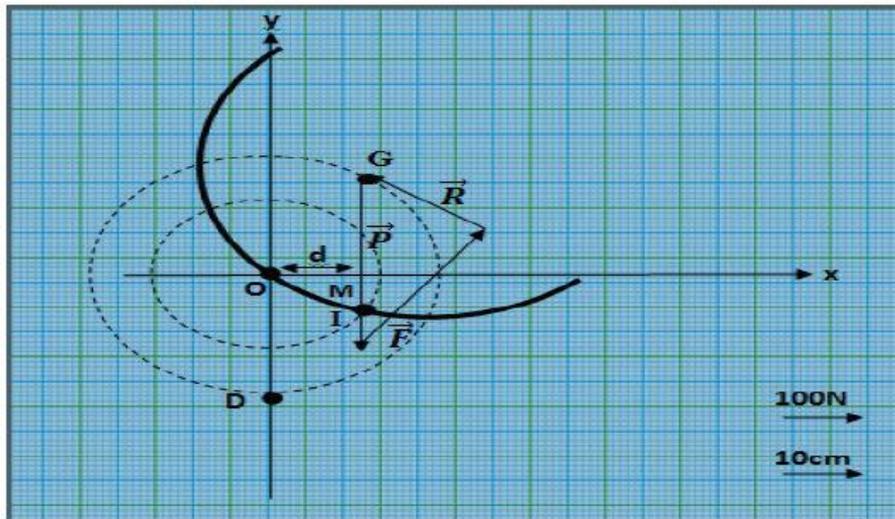


Figure III.26-triangle des forces sur échelle pour une rotation de 55°du concentrateur.

Pour une rotation de 55° nous avons suivis la même méthode pour la détermination des forces agissantes sur le concentrateur .les forces et la trajectoire des deux points M et G sont représenté sur la figure précédente.

A partir du dessin on a :

➤ Par projection sur l'axe OX :

$$F_x = 145 \text{ N}$$

$$R_y = 145 \text{ N}$$

➤ Par projection sur l'axe OY :

$$F_y = 210 \text{ N}$$

$$R_y = 90 \text{ N}$$

Ce qui nous fait : $F = \sqrt{145^2 + 210^2} = 255 \text{ N}$ et $R = \sqrt{145^2 + 90^2} = 170 \text{ N}$

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{0} \Rightarrow \sum \vec{P} + \vec{F} + \vec{R} = \vec{0}$$

➤ SELON OX :

$$F_x - R_x = 145 - 145 = 0 \text{ Vérifiée}$$

➤ SELON OY :

$$F_y + R_y - P = 210 = 90 - 300 = 0 \text{ Vérifiée}$$

Avec cette méthode, on pourra à chaque instant déterminer la répartition des forces agissantes sur le concentrateur.

III.5.1.3-Trajectoire d'un point quelconque :

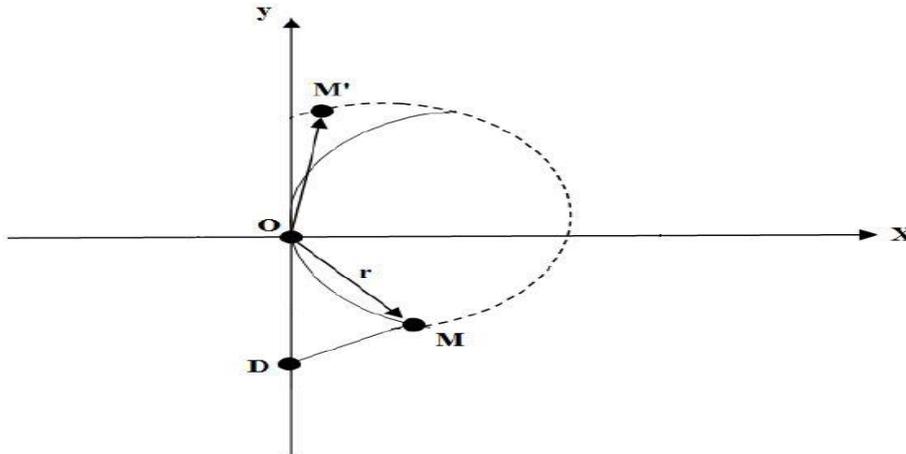


Figure III.27-Trajectoire d'un point quelconque.

La trajectoire du point (M) par rapport l'axe de rotation (A), est un arc $(MM') = r * Dx$ de rayon $r = (AM)$, ce qui est représenté sur la figure III.26.

La trajectoire du point (M) par rapport au point de fixation du vérin (A') suit la même trajectoire du point (M) par rapport à l'axe de rotation.

III.6-Identification du moteur du vérin utilise :

Pour l'identification du moteur, nous avons procédé des testes pour déterminer les caractéristiques internes du moteur.

III.6.1-Essai en génératrice (à vide) :

Pour cet essai nous avons couple notre moteur a une perceuse électrique a vitesse de rotation variable (voir figure III.27), mais pour l'accouplement, nous avons fabriqué une tige en acier dont le bout est identique à celui de la tige du vérin. Et pour les différentes vitesses mesurées à l'aide d'un stroboscope, nous avons mesuré la tension induite du moteur. Le tableau III.2 nous donne les résultats obtenus.

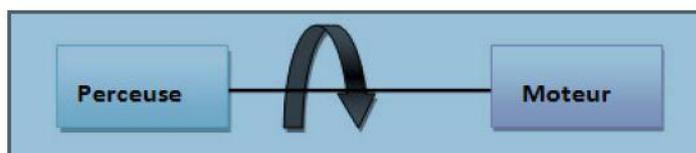


Figure III.28-accouplement du moteur a la perceuse.

Vitesse sans multiplicateur tour/min	Vitesse avec multiplicateur en tour/min	Vitesse en rd/s	Vitesse en rd/s Tension induite en volt (V)	Rapport $K_{ef}=U/\omega$
82	2460	257,48	46	0,178
142	4260	445,88	73	0,163
220	6600	690,8	120	0,173
316	9480	992,24	160	0,161

Tableau III.2-Résultats des essais en génératrice du moteur du vérin.

D'après les résultats obtenus on aura une constante de tension :

$$K_e = \frac{0,178+0,163+0,161}{4} = 0,168$$

III.6.2-Mesure de la résistance d'induit :

Pour mesurer la résistance d'induit, nous avons utilisé la méthode voltampèremétrique. On a réalisé un montage aval de l'alimentation et sa avec des tensions faibles, les résultats des testes son motionnes sur le tableau III.3.

Tension d'alimentation	Le courant I(A)	La tension V (V)	La résistance R (Ω)
5v	0,1	0,2	2
6v	0,13	0,2	1,53
7v	0,21	0,3	1,425

Tableau III.3-Résultats de détermination de la résistance d'induit.

D'après les résultats on aura la résistance d'induit :

$$R_a = \frac{2+1,53+1,425}{3} = 1,65 \Omega$$

Le moteur du vérin en charge fait appelle à un courant de 0,6 A sous une tension de 24 V ce qui donne :

$$P_a = U \times I = 24 \times 0,6 = 14,4 \text{ Watts}$$

Ce qui donne un rendement :

$$\eta = \frac{p_u}{p_a} = \frac{10,4}{14,4} = 0,72 = 72 \%$$

III.7-Modélisation du moteur électrique à courant continu et a aimants permanents :

Pour l'étude et la réalisation de la carte de commande pour le moteur, on a besoin de sa modélisation, pour avoir sa fonction de transfert, nous avons modélise le moteur et on a déduit sa fonction de transfert pour la simulation sous matlab. Dans un moteur a excitation séparée, l'inducteur et l'induit sont alimentés par deux sources distinctes. Les cas fréquents ou la tension d'excitation est constante sont équivalents à ceux des moteurs a aimants permanents, dont le flux est constant, pour cela on va étudier un moteur a excitation séparée et constante.

III.7.1-Equations électriques et mécaniques :

Un moteur électrique à courant continu est régit par les équations physiques découlant de ses caractéristiques électriques, mécaniques et magnétiques. En utilisant le théorème du moment cinétique et des équations d'électromagnétiques, on obtient un système d'équations différentielles linéaires :

On recherche les équations d'un moteur a excitation indépendante et a flux constant (on suppose donc i_c constant). En tenant compte de la résistance de l'induit et de son inductance propre on a :

- **Equation électrique :**

$$U = -e + Ri + L \frac{di}{dt} \text{ avec } e = \Phi_0 \omega \quad \text{III.16}$$

$$\Rightarrow U = \Phi_0 \omega + Ri + L \frac{di}{dt} \quad \text{III.17}$$

- **Equation mécanique :**

On l'obtient par application du théorème du moment cinétique pour le système en rotation autour de l'axe note Δ .

- soit J le moment d'inertie du rotor et de la charge mécanique par rapport à l'axe Δ
- soit Γ_r le moment des forces, soit de frottements, soit dues à la charge mécanique (on suppose que ce moment ne dépend que de la vitesse de rotation) $T_r = T_r(\omega)$.
- le théorème du moment cinétique donne :

$$j \frac{d\omega}{dt} = \sum \Gamma_{\Delta} = \Gamma_r \quad \text{III.18}$$

$$\Rightarrow j \frac{d\omega}{dt} = \Phi_0 i + \Gamma_r \quad \text{III.19}$$

En reportant l'équation mécanique électrique on obtient:

$$\Rightarrow i = \frac{1}{\Phi_0} \left(j \frac{d\omega}{dt} - \Gamma_r \right) \quad \text{III.18}$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow u &= \Phi_0 \omega + Ri + L \frac{di}{dt} = \Phi_0 \omega + R \left[\frac{1}{\Phi_0} \left(j \frac{d\omega}{dt} - \Gamma_r \right) \right] + L \frac{d \left[\frac{1}{\Phi_0} \left(j \frac{d\omega}{dt} - \Gamma_r \right) \right]}{dt} \\ &\Rightarrow Lj \frac{d^2\omega}{dt^2} + \left(Rj - L \frac{d\Gamma_r}{d\omega} \right) \frac{d\omega}{dt} + \Phi_0^2 \omega + R\Gamma_r = \Phi_0 u = u(t) \text{ et } \Gamma_r = \Gamma_r(\omega) \end{aligned} \quad \text{III.19}$$

Un moteur à excitation indépendante et à flux constant est donc un système d'ordre 2. Ce système n'est linéaire que si le moment du couple résistant est une fonction affine de la vitesse car dans ce cas : $\frac{d\Gamma_r(\omega)}{d\omega} = cst.$

Les phénomènes d'induction propre sont négligeables, on obtient un système linéaire d'ordre 1 régi par l'équation différentielle suivante :

$$Rj \frac{d\omega}{dt} + \Phi_0^2 \omega - R\Gamma_r(\omega) = \Phi_0 u(t) \quad \text{III.20}$$

Si le moment du couple résistant Γ_r est une fonction de la vitesse, le système est linéaire :

$$Rj \frac{d\omega}{dt} + (\Phi_0^2 + Rf)\omega = \Phi_0 u(t) + R\Gamma_0 \text{ avec } \Gamma_r = -f\omega + \Gamma_0 \quad \text{III.21}$$

Conclusion :

Dans cette partie du mémoire, on a fait un aperçu sur la partie pratique du travail en commençant par une étude théorique du concentrateur cylindro-parabolique. Ensuite nous avons procédé à la réalisation du concentrateur.

Chapitre IV

Réalisation de la carte de commande

IV. Introduction :

Dans ce chapitre nous allons consacrer à l'étude de la partie commande pour le système de poursuite solaire.

Tout abord nous allons présenter un schémas figurant le circuit global de la carte électronique pour le système de suiveur solaire.

IV.1 Schémas globale de la réalisation :

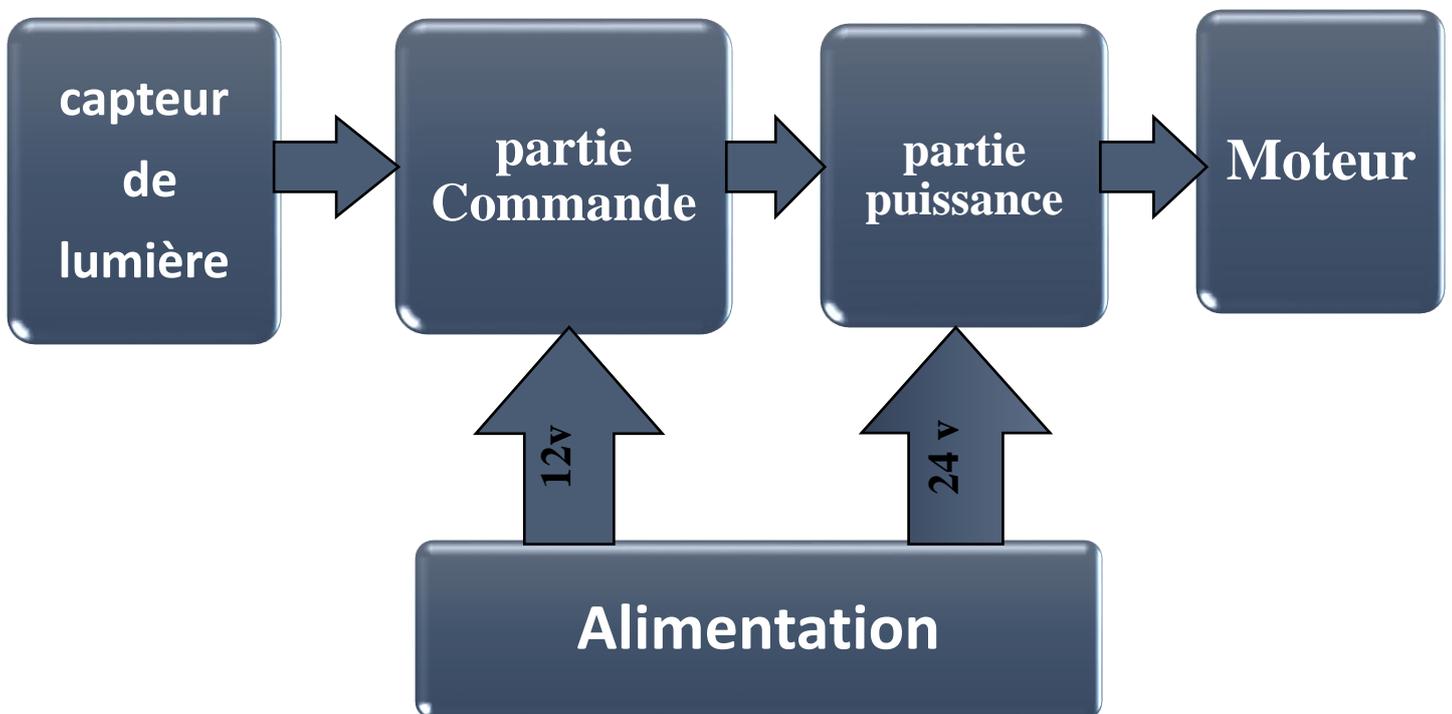


Figure IV.1-schémas globale de la réalisation.

Le système de commande est basé sur le principe du contrôle photoélectrique, le détecteur de la position est un système à base de photos éléments (photodiode) a connexion, de telle sorte que les rayons du soleil soient perpendiculaires au tube caloporteur, si la photodiode détecte pas la lumière le moteur sera actionner.

IV.2-Le capteur de lumière :

le capteur de lumière est en relation avec l'éclairage relié à le circuit de commande, il détecte la lumière sa résistance augmente proportionnellement avec l'intensité du lumière

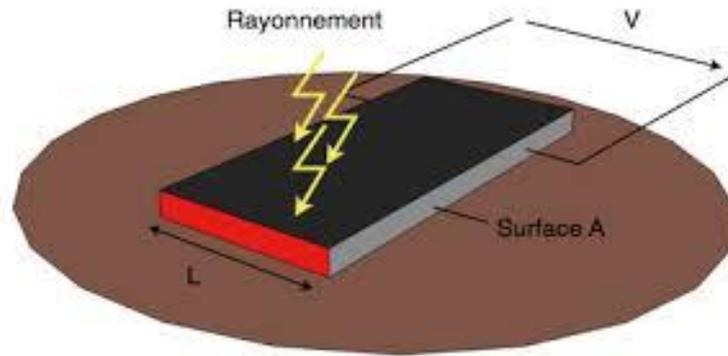


Figure IV.1-Le principe du photorésistance.

Avec le changement d'intensité du soleil(Φ), la caractéristique $R=f(d)$ et $E=f(d)$ est déterminée par une famille de courbes

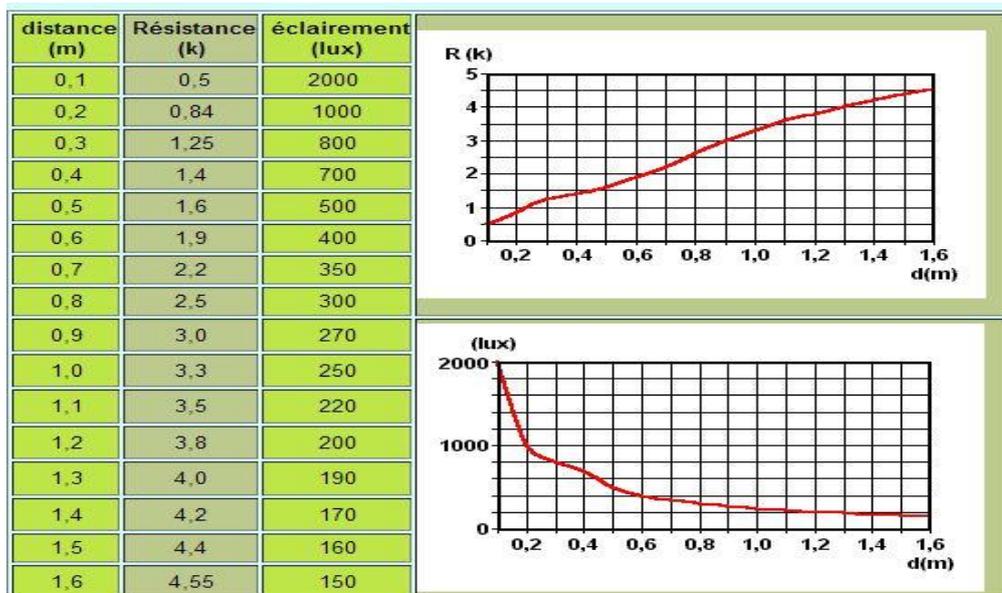


Figure IV.2- Caractéristique $R=f(d)$ et $E=f(d)$ du capteur.

IV.2.1.1 Principe d'une photodiode :

Une photodiode est une jonction PN formée par un cristal semi-conducteur (Si, Ge) qui est transparent à la lumière. Exposée à un éclairage la photodiode émet par effet photoélectrique un courant qui est en général proportionnel à l'éclairage incident. On dispose alors d'un détecteur de lumière.

Le courant inverse d'une jonction n'est pas tout à fait nul : il existe un courant de fuite. Ce dernier augmente sensiblement lorsque l'on éclaire la jonction. Ce phénomène est exploité dans les photodiodes : ce sont simplement des diodes au

silicium dont la jonction peut être éclairée. On les représente par leur symbole normalisé (figure IV.3). On polarise la photodiode en inverse (figure IV.4).

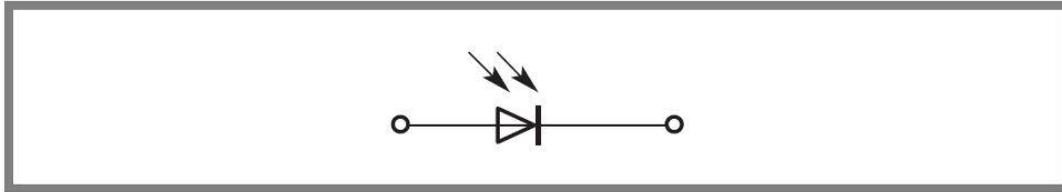


Figure IV.3– Symbole normalisé d’une photodiode.

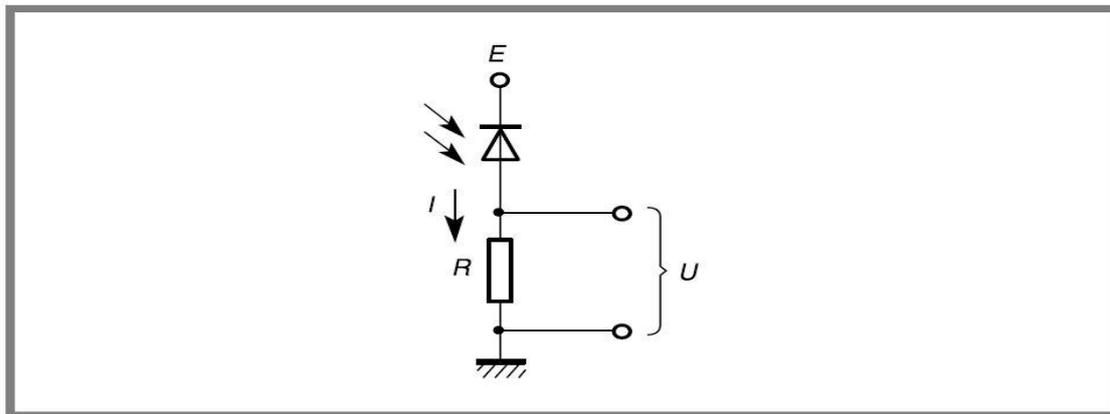


Figure IV.4– Photodiode utilisée en capteur optique.

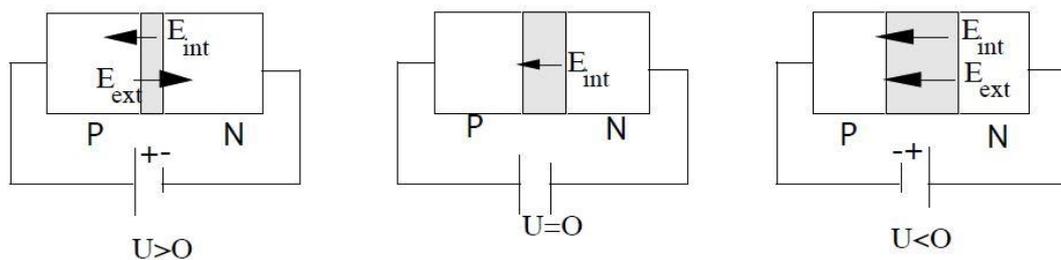
Le courant inverse I est proportionnel à l’éclairement reçu. La tension prise aux bornes de la résistance R est l’image du courant ($U=RI$).

On a donc réalisé un capteur optique.

IV.2.1.2-Action d'un champ extérieur :

Si on applique une tension extérieure U à la diode on la polarise soit en direct $U>0$ (pôle +appliqué du côté P) soit en inverse $U<0$. Dans le cas de la polarisation directe le champ externe E_{ext} associé à la tension U appliquée s'oppose au champ interne et réduit la largeur de la zone de transition. Le courant de diffusion des porteurs majoritaires augmente. Si on polarise la diode en inverse ce courant diminue.

Polarisation Sans Polarisation Polarisation inverse



Le courant des porteurs majoritaires I_d dépend de la tension appliquée U et on admettra qu'il est donné par l'expression suivante:

$$I_d(U) = I_d(U = 0)e^{\frac{qU}{kT}}$$

On admettra également que le courant des porteurs minoritaires I_s n'est pas affecté par la présence du champ externe et que pour une jonction donnée il ne dépend que de la température. On a $I_s = I_d(U = 0)$. Le courant total $I(U)$ circulant dans la diode sous l'action d'une tension externe est la somme des courants minoritaire et majoritaire et est donné par:

$$I(U) = I_d(U) - |I_s| = I_d(U = 0)e^{\frac{qU}{kT}} - |I_s| = |I_s| \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right)$$

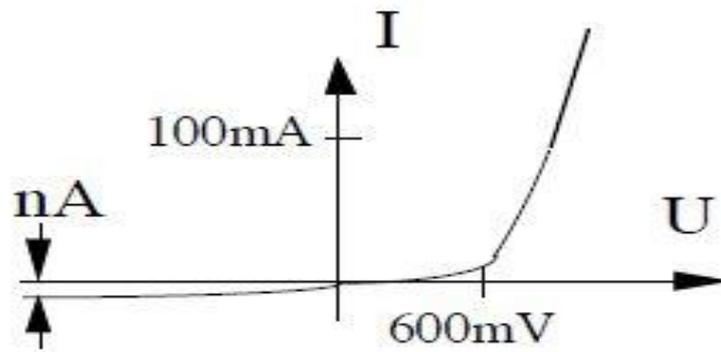


Figure IV.5—La caractéristique de la tension en fonction du courant d'une diode.

la caractéristique de la jonction à l'allure suivante en l'absence d'éclairement.

Quand la tension appliquée est négative la hauteur de la barrière est forte et est telle que le courant $I(U)$ est un courant lié aux porteurs minoritaires (qui est de l'ordre du nA), la diode est alors bloquée.

Quand la tension est positive la barrière s'abaisse et le courant est dominé par la diffusion des porteurs majoritaires (le terme exponentiel devient prépondérant dans l'équation donnant la valeur du courant circulant dans la diode). On dit que la diode est passante.

I_s : courant des porteurs minoritaires.

I_d : courant des porteurs majoritaires.

Nous avons réalisé une lunette sur laquelle nous avons positionné la photodiode (voir figure), la lunette est positionnée au même niveau de tube caloporteur pour une meilleure détection des rayons solaires (voir figure).

L'ensemble étant solidaire avec le concentrateur cylindro-parabolique.

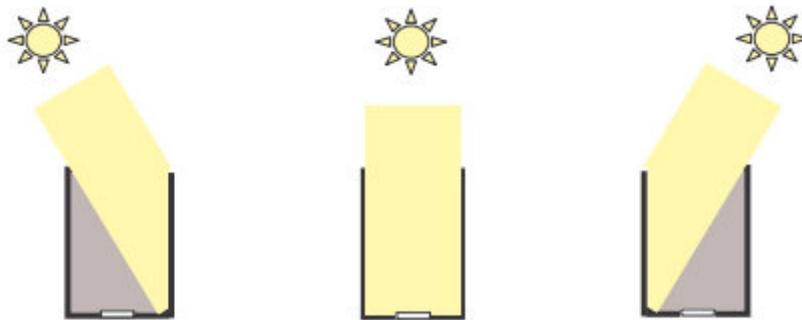


Figure IV.6-Principe de la lunette réalisé.

IV.3- La partie de commande :

Dans cette partie nous avons utilisés un circuit intégré CD4013 et un transistor de type 2N2222 et des boutons poussoires.

IV.3.1-Les circuit intégrés CD4013 :

Le circuit intégré **CD4013** renferme deux bascules **D** «positive edge triggered» avec entrées de remise à **0** et de remise à **1**.

IV.3.1.1- Les bascule D :

Les bascules possèdent deux entrées pour positionner la bascule à un état déterminé. L'une R permettrait de mettre la bascule à 0 (position RESET), l'autre S permettrait de mettre la bascule à 1 (position SET).

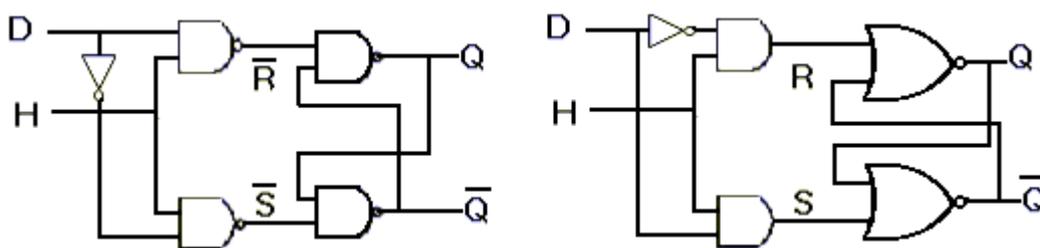


Figure IV.7-Bascule de type « D ».

et a l'aide du logiciel ISIS (voir la figure IV.9) nous avons fait la simulation après a l'aide du logiciel ARES nous avons extrait le circuit imprimé qu'on a réalisé ensuite.

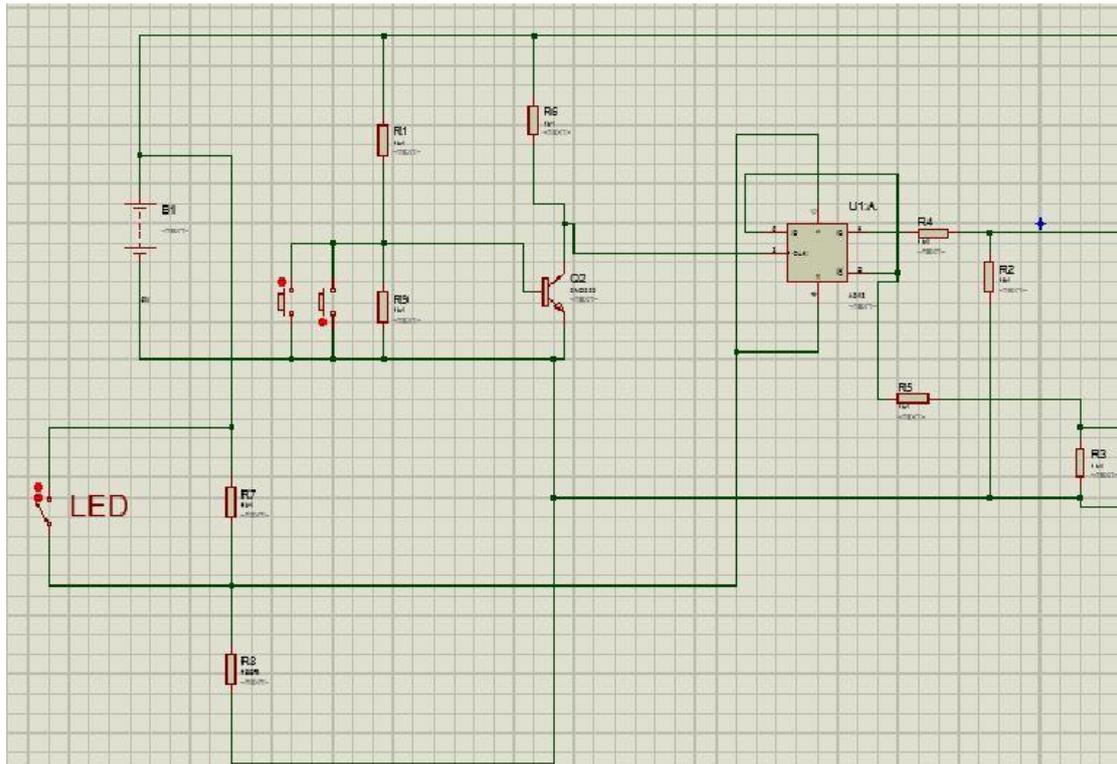


Figure IV.8-La carte de commande sous ISIS.

IV.4- Partie puissance :

Cette partie comporte les contacts des relais, comme on la déjà souligné chaque relais a deux contacts ouvert au repos. Fonctionnant avec une tension d'alimentation de 5V. pour la simulation nous avons réalisé le montage de la figure III.18 sous «ISIS ». Après a l'aide du logiciel «ARES », nous avons dessiné le circuit imprimé.

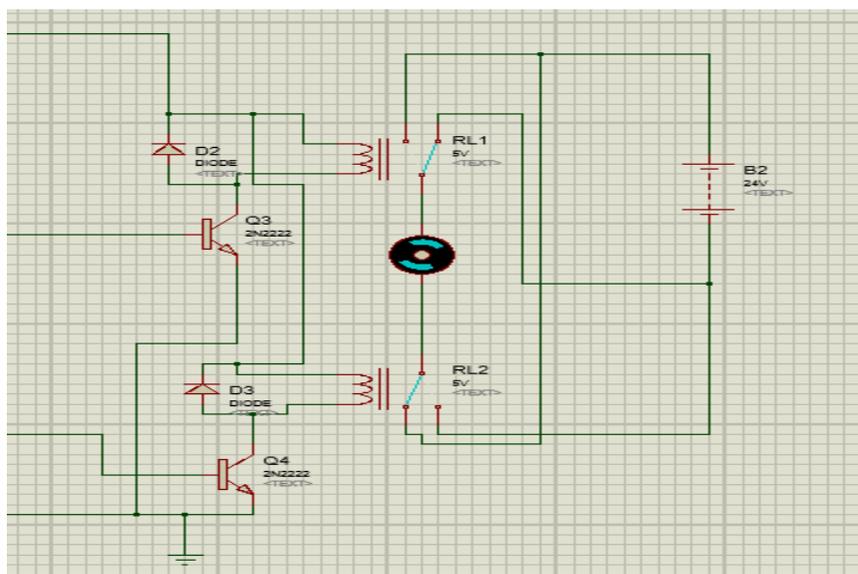


Figure IV.9-La carte de puissance.

L'ensemble de la partie de commande et de puissance est représenté sur une seule carte.

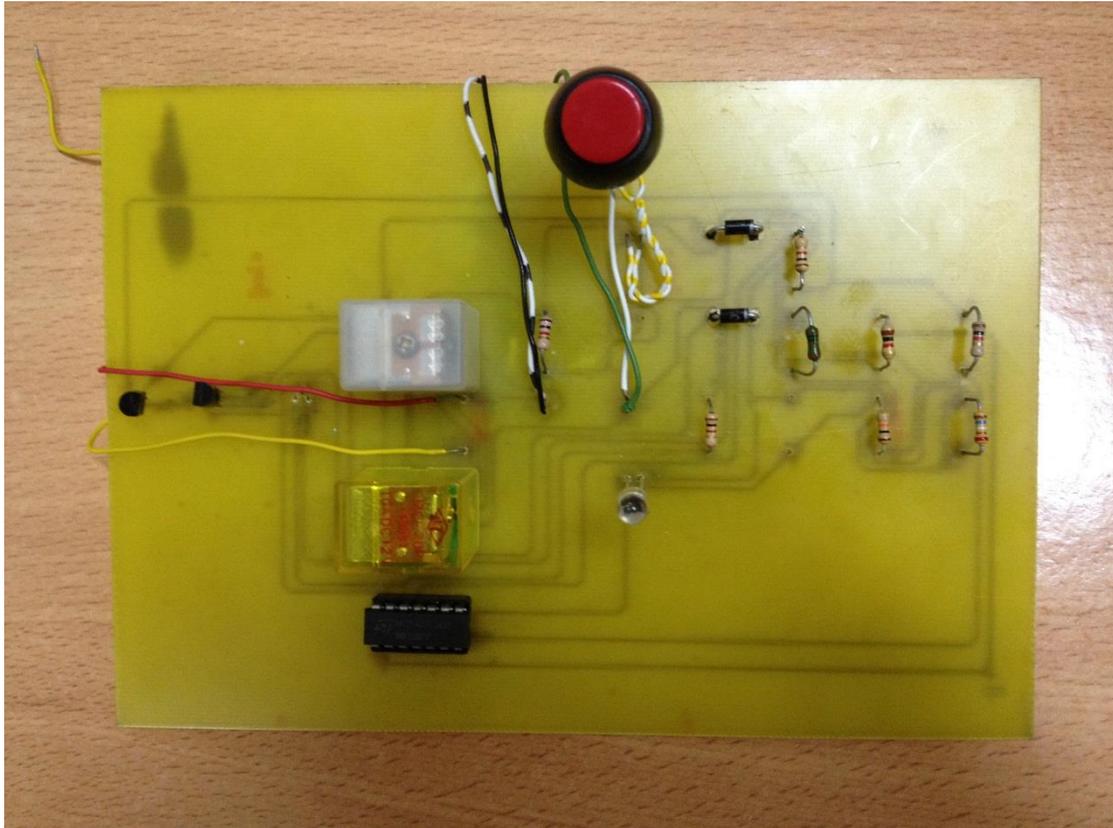


Figure IV.10-L'ensemble de carte de puissance et de commande.

IV.5-Alimentation :

Pour l'alimentation des deux cartes réalisées, nous avons été entraînés à réaliser une carte d'alimentation pour avoir les tensions souhaitées :

- ❖ 12V pour l'alimentation de la carte de commande.
- ❖ 24 V pour l'alimentation du moteur.

IV.5.1- Principe de fonctionnement d'une alimentation stabilisée :

Une alimentation est un montage transformant la tension alternative du secteur en une tension continue.

Une alimentation secteur est composée d'un transformateur, d'un redresseur, d'un filtre et d'une stabilisation/régulation selon les besoins (voir figure III.16). Nous allons étudier les différents composants de l'alimentation.

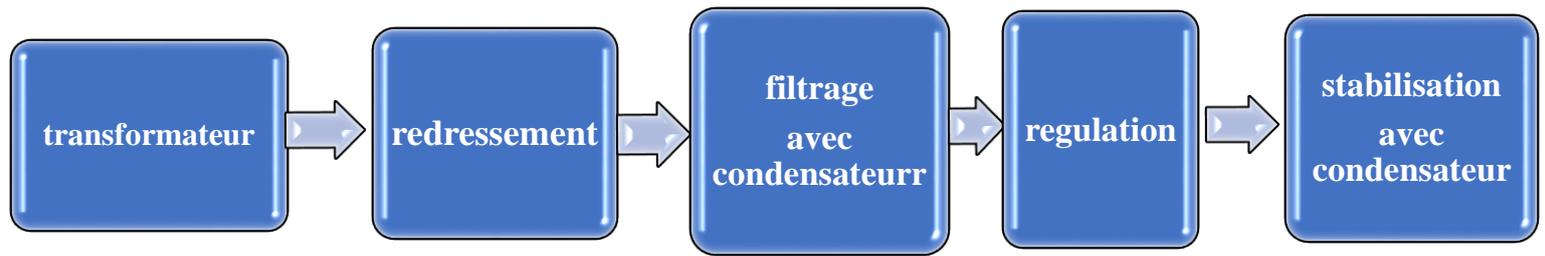


Figure IV.11-schéma synoptique de la carte d'alimentation stabilisée.

IV.5.1.1-Transformateur :

Un transformateur est un appareil statique à induction qui remplit deux fonctions :

- isolement galvanique entre l'équipement et le secteur.
- transformation de la tension alternative du réseau, déterminée par le rapport entre le nombre de spires (tours) du secondaire et du primaire.

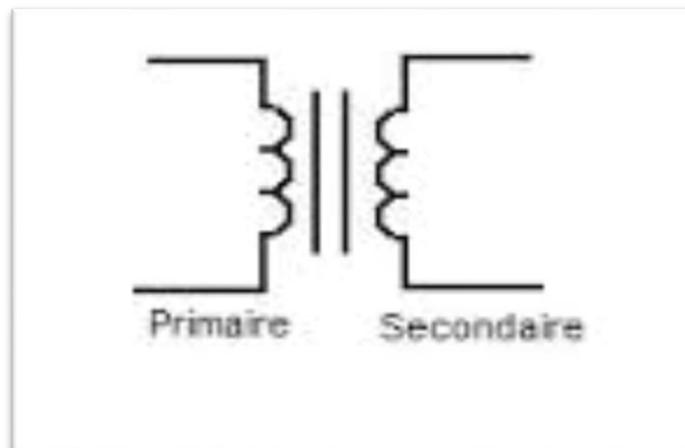


Figure IV.13-schémas représentant un transformateur.

Pour notre réalisation on a utilisé un transformateur à point milieu 220 V–24V.

IV.5.1.2-Redressement:

Le redresseur convertit la tension alternative du secondaire du transformateur en impulsions unidirectionnelles du courant (courant continu). Pour un meilleur redressement de la tension

On utilisera un pont de redresseur (voir figure IV.13). Pour notre réalisation nous avons utilisé un pont redresseur double alternance.

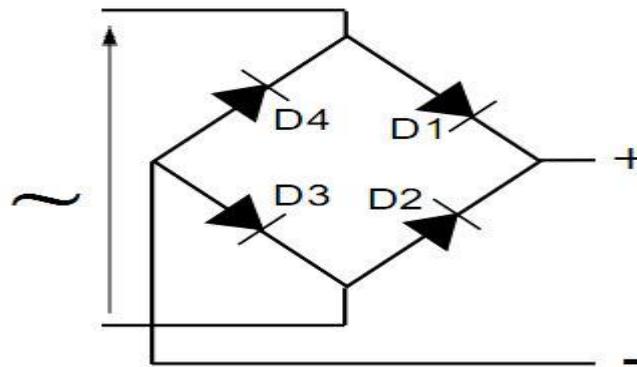


Figure IV.14-Schéma représentatif du pont redresseur.

IV.5.1.3-Filtrage :

Il sert à lisser le courant redressé brute fourni par le redresseur sous forme de tension pulsée. Sur nos matériels de faible puissance, on utilise des filtres à capacité d'entrée (condensateur).

IV.5.1.4-Régulation :

La fonction d'un régulateur de tension est de convertir une tension ayant une certaine ondulation en une tension particulièrement stable. Il doit maintenir ces conditions de stabilité dans une large gamme de variation du courant de charges mais également des fluctuations de la tension d'entrée.

Pour notre réalisation nous, avons utilise trois régulateurs (voir annexe) :

- Le régulateur 7812 pour la tension 12 V
- Le régulateur 7824 pour la tension 24 V

IV.5.1.5-Stabilisation :

Nous avons utilise un couple de condensateurs montes en parallèle (1^{er}ceramique,2eme chimique) et sa a la sortie de chaque régulateur pour la stabilisation.

IV.5.1.6-Carte d'alimentation réalisée :

Pour la réalisation de cette carte, nous l'avons tout d'abord simule sur ordinateur grâce au logiciel « ISIS » figure IV.14

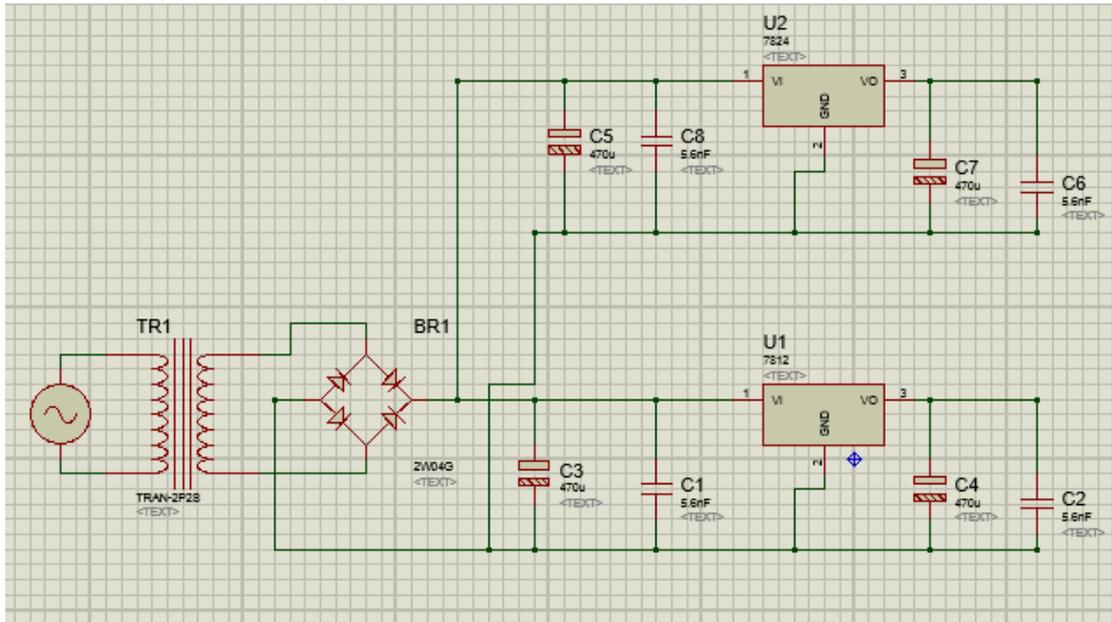


Figure IV.15- la carte d'alimentation

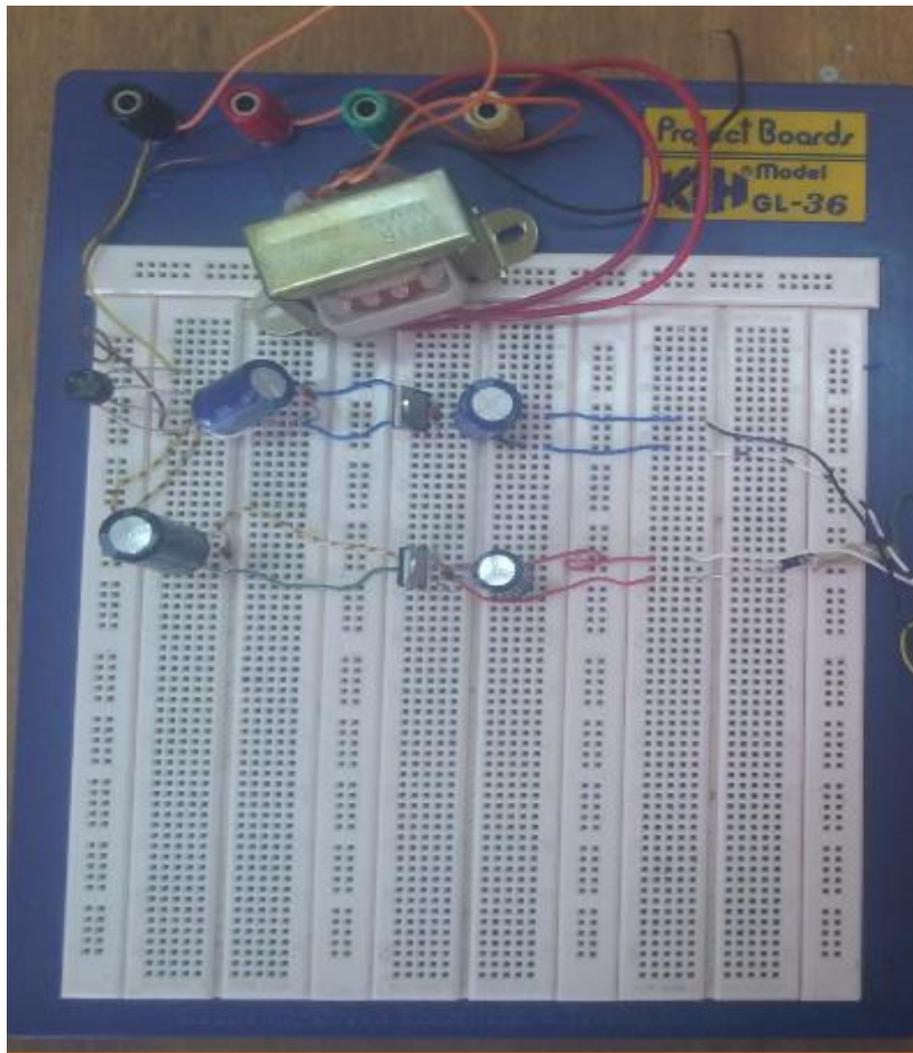


Figure IV.16-le circuit d'alimentation sur la plaque d'essai.

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons fait l'étude et la réalisation les cartes électronique que nous avons besoin pour une poursuite solaire automatique pour notre concentrateur Pour cela nous avons réalisés la carte d'alimentation de tel sorte sois apte a délivré des tension à la partie de commande et à la partie de puissance.

Chapitre V

Etude expérimentale

Introduction :

Dans ce chapitre nous allons faire une étude expérimentale sur notre concentrateur ou nous entamerons plusieurs essais de mesure de températures qui atteignent la surface d'ouverture de l'absorbeur durant les jours du 29 et 30 juin 2014 ainsi que l'influence de certains paramètres sur sa variation. Nous utilisons un concentrateur avec des languette de miroir.

V.1-Description de l'expérience :

Nous avons effectué deux types d'essais :

IV.1.1-Essai avec écoulement :**Débit volumique constant :**

Cet essai consiste à mesurer la température de l'eau à la rentrée et la sortie du concentrateur solaire en gardant le débit volumique de l'eau constant.

V.1.2-Essai sans écoulement :

Cet essai consiste à mesurer la température de l'eau dans le capteur solaire avec les deux vannes fermées

Les températures ont été mesurées à l'aide d'un thermocouple à affichage numérique. Le relevé de la température se fait toutes les 30 minutes.

V.2 Relevés et interprétation :**V.2.1.Essai sans écoulement :**

Cette essai a été réalisé le 29 juin 2014, les condition météo :

Température ambiante 34°.

Bon Temps

Les résultats sont représentés sur le tableau suivant :

Heure (H)	Température(°C)
14 :45	48
14 :48	57
14 :50	66
14 :53	78
14 :55	84
14:58	88
15 :00	97
15 :05	97

Tableau V.1-Relevés des températures du 29 juin 2014 (sans écoulement).

Les résultats obtenus sont représentés dans le graphe suivant :

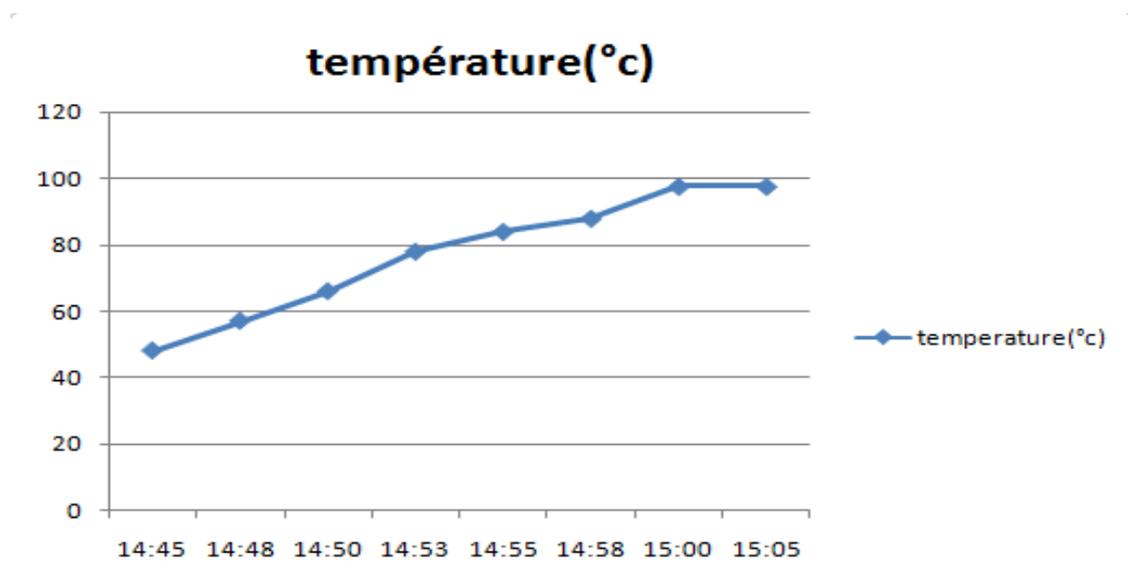


Figure V.1 Variation de température d'eau en fonction du temps (sans écoulement).



Figure V.2 : Relevés des températures du 29 juin 2013 (sans écoulement)

Interprétation :

On constate une augmentation rapide de la température allant de 48°C jusqu'à atteindre 97°C pendant un intervalle de temps de 20 mn. Cette augmentation est due au l'énergie cumulé sachant que la quantité d'eau est la même et à l'effet de serre.

V.2.2-Essai avec un débit constant :

Cet essai a été réalisé le 30 juin 2014, Les conditions météorologiques :

La température ambiante $T_a=32^\circ\text{C}$

Le débit volumique $q_v=0.007 \text{ l/s}$

Bon temps

Les températures relevées sont représentées dans le tableau suivant :

Heur (H)	Température entrée (°C)	Température sortie (°C)
10 :00	30	38
10 :30	30	50
11 :00	30	52
11 :30	32	55
12 :00	32	57
12 :30	33	62
13 :00	34	65
13 :30	34	68
14 :00	32	64
14 :30	30	61
15 :00	29	58
15 :30	29	49

Tableau V.2-Relevées des températures du 30 juin 2014 (essai avec écoulement).

Les résultats obtenus sont représentés dans le graphe suivant :

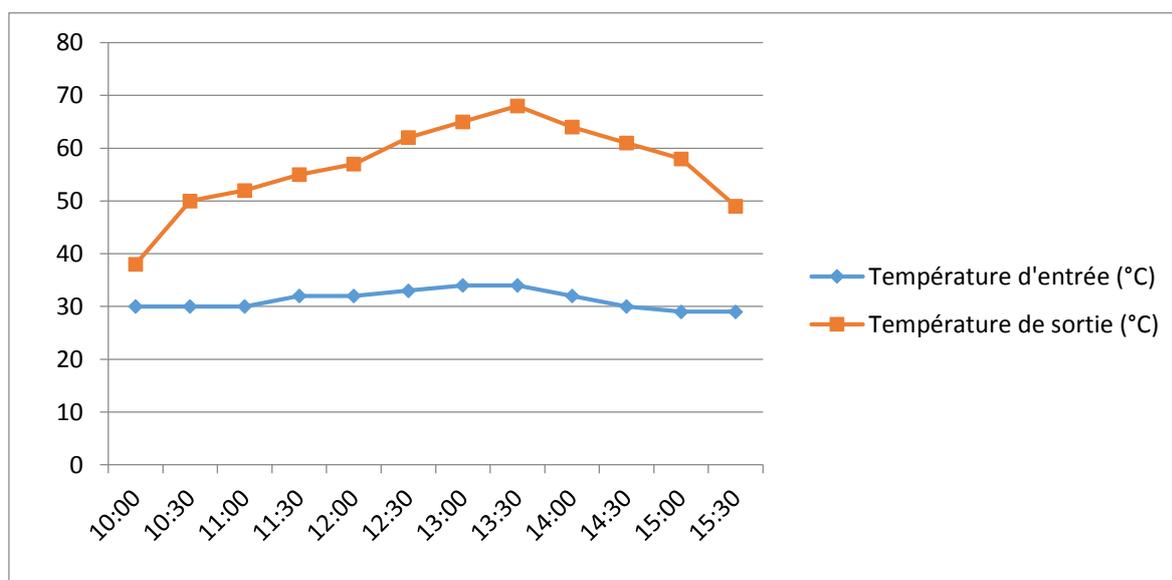


Figure V.2 : variation de la température en fonction du temps (essai avec écoulement).

Interprétation

Nous remarquons une augmentation de la température tout au long de la journée, où elle atteint le maximum à 14h00, puis elle diminue jusqu'à 15h30 où le mécanisme de poursuite atteint sa limite.

➤ comparaison

Si on fait une comparaison avec les résultats de l'année passé nous pouvons dire qu'il ya une amélioration parce que cette année on a utilisé un miroir qui a une réflexion de rayon solaire de 100%, ce qui nous une augmentation de température importante .

Tableau

Heure (H)	Température(°C)
14 :57	44
15 :00	54
15 :03	63
15 :05	74
15 :07	82
15 :10	86
15 :12	93
15 :15	93

Conclusion

Suite aux testes effectués pendant ce chapitre, nous avons saisie l'importance du positionnement du capteur, du rayonnement solaire et du débit sur la température de sortie de notre concentrateur.

Conclusion Générale

Conclusion générale

La technologie du concentrateur cylindro-parabolique est la plus économique et la plus même si les frais initiaux sont très élevés, le solaire s'avère moins cher à long terme que les autres centrales puisque le combustible d'une centrale solaire est gratuit et inépuisable.

L'implémentation géographique de ces systèmes sera vraisemblablement limitée aux pays de la ceinture solaire, l'investissement ne semblant pas justifié dans le court terme pour des pays moins ensoleillés.

La rapidité du développement des centrales solaires dépendra cependant de nombreux facteurs, tels que les aides publiques, la confiance des investisseurs, l'évolution du prix du CO₂, la possibilité de diversifier les débouchés (comme par exemple la production d'hydrogène), le prix des énergies primaires, etc.

Nous nous sommes proposé dans ce travail de faire l'étude et la réalisation pratique d'un tel concentrateur ayant une surface d'ouverture de 2,25 m².

Dans la partie essentielle de notre travail nous avons procédé à la réalisation du concentrateur et le système qui comporte le fluide caloporteur ainsi que le mécanisme du vérin qu'on a mis en place pour la poursuite solaire.

La partie suivante concerne la poursuite solaire, pour ce nous avons réalisé deux cartes comportant une carte d'alimentation et une carte qui rassemble la partie puissance et la partie commande. Tout ça pour la du vérin.

Les résultats de température obtenue à la sortie de l'absorbeur sont très encourageants, malgré la difficulté qu'on a eu pour avoir un débit constant.

Comme perspective nous demandons une meilleure maîtrise la réalisation, l'ajout d'une pompe pour le débit volumique désiré, la courbure du concentrateur est déformée donc il est préférable de le reconstruire pour avoir un bon taux de concentration.

**Référence
bibliographique**

Référence

[1] c. Alonso. « Contribution à l'optimisation, la gestion et le traitement de l'énergie » mémoire en vue de l'obtention l'habilitation à diriger les recherches. Université paul sabatier, Toulouse III. décembre 2003.

[2] énergie solaire photovoltaïque.doc/B flèche-d.delogue/juin 2007.

[3] Roger Cadiergues. LES ÉNERGIES RENOUVELABLES. (Guide RefCad : nR09.a)

[4] Institut National Polytechnique de Toulouse ENSAT – ENSEEIHT – ENSIACET
Année 2007-2008. Bureau d'étude Industriel Énergie Renouvelable Environnement
BEIERE Indépendance énergétique des PME : Application à l'entreprise Fonty, filature du
Rougnat

Par :

Marie-Célestine AYANOU

Martin AYESTARAN

Agathe CHOUIPPE

Ion ETXARRI SANGUESA

Florent LOBLIGEIS

Alberto SANCHEZ-ESTECHA

Olivier TEXIER

Le lien : <http://www.fonty.fr>

[5] Dr Marwan JARKAS. LES ÉNERGIES RENOUVELABLES

[6] : site internet: [http:// www.planete-energies.com](http://www.planete-energies.com) 2007.

[7] JANNOT, Y. *Thermique solaire*, (Janvier 2007).

[8] « Feuille de route Solaire Thermodynamique » guide de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) Version finale Juin 2010.

[9] D.R. di Valdalbero : 'La recherche énergétique européenne : pont de coopération sur la Méditerranée'. Liaison Énergie-Francophonie, N°71 (Énergie et développement durable en Méditerranée), 2e Trimestre 2006, Pages 71-76.

[10] Salima KARROUTE, « ETUDE THEORIQUE ET NUMERIQUE DES SYSTEMES COUPLES : DISTILLATEUR PLAN-CAPTEUR ET DISTILLATEUR HOT BOX-CAPTEUR », Mémoire, UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE. 2009.

[11] KHEDIM, A. *L'énergie solaire et son utilisation sous sa forme thermique et*

Référence

- Photovoltaïque, Une étude sur les énergies renouvelables.* Centre de publication, universitaire, Tunis (2003).
- [12] DAGUENET, M. *Les séchoirs solaires, théorie et pratique.* Unisco, Paris, (1985).
- [13] François PHARABAUD, l'énergie solaire que sais-je.
- [14] KHELIFA Abdelkarim « Etude numérique et modélisation d'un capteur solaire hybride pv/v, majester en physique, Université El-haj Lakhdar-batna, 2011.
- [15] Hatim EL YAZIDI et Younes CHOUKLAT. « SYSTEME ELECTROMECANIQUE DE POURSUITE POUR UN CONCENTRATEUR SOLAIRE THERMIQUE », mémoire, Université Ibn Zohr. faculte de polydiscipline Ouarzazate, maroc. le 29 Mai 2012
- [16]. L. de Schoulepnikoff et Gymnase Auguste Piccard « Quelle source d'énergie pour les vingt prochaines années? ». Travail de maturité Alexandra Catana, 3M7, 2009.
- [17]. R. Khezzar et al. « Comparaison entre les différents modèles électriques et détermination des paramètres de la caractéristique I-V d'un module photovoltaïque ». *Revue des Energies Renouvelables* Vol.13 N°3, pp 379-388, 2010.
- [18] DE NEYER, P. *Énergie solaire thermique. Extrait du guide des énergies renouvelables*, M R Wallonne (mars 2005).
- [19] BERNARD, J. *L'énergie solaire, calcul et optimisation.* Ellipses, (2004).
- [20] ELMINIR, K. GHITAS, E. EL-HUSSAINY, F. HAMID, R. BEHEARY, M. ABDEL-MONEIM, K. *Optimum solar flat-plate collector slope, case study for Helwan, Egypt* *Energy Conversion and Management* 47 (2006) 624–637
- [21] M. Audibert, la concentration du rayonnement solaire. International centre for theoretical physics ' 3 séminaire sur l' énergie solaire, 6-17 Septembre 1982.
- [22] ABDELKARIM BOURAS, « Etude et conception d'un convertisseur solaire pour la production d'eau chaude sanitaire » mémoire. SPECIALITE : ENERGETIQUE, option : PHOTOTHERMIQUE. UNIVERSITE MENTOURI CONSTANTINE, 2007.
- [23] A. Ferrière, Centrales solaires thermodynamiques, *Techniques de l'Ingénieur*, BE8903./ G. Flamant, Fours solaires, *Techniques de l'Ingénieur*, BE 8849,
- [24] R. Rezoug et A. Zaatri, 'Optimisation du rendement d'un système photovoltaïque par poursuite du soleil', 25 Juin 2009.
- [25] S. Abdallah and S. Nijmeh, 'Design, Construction and Operation of One Axis Sun Tracking System with PLC Control', *Jordan Journal Applied Science University*, pp. 45 – 53, 2002.

Référence

- [26] A.Gama, C.Larbes, A.Malek et F.Yettou, 'étude et réalisation d'un dispositif de poursuite solaire sensible destiné à un concentrateur cylindro parabolique', p 140, 02 juin 2010.
- [27] Dominique Marchio et Paul Reboux. « INTRODUCTION AUX TRANSFERTS THERMIQUES », École des mines de Paris, 2008
60, boulevard Saint-Michel -75272 Paris Cedex06 – France.
Email : presses@ensmp.fr
Http: //www.ensmp.fr/Presses.
- [28] GHRAIRI RACHID : Chef de projet du Secteur Froid et Génie Thermique
BOUJNANE MOHAMED : Coordonnateur de C D C du Secteur Froid et Génie Thermique.
« RESUME THEORIQUE & GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES »
<http://www.cours-ofppt.com>.
- [29] A.A.Sfeir, G.Guarracino, Ingénierie des systèmes solaires, application à l'habitat.
Technique et documentation 1981.
- [30] J.F. Sacadura, Initiation aux transferts thermiques, Technique et Documentation Paris 1982.
- [31] R. Giblin, Transmission de la chaleur par convection naturelle, Saint-germain Paris 1974.
- [32] Y. Jannot, Thermique solaire, cours libre 2003.
- [33] R. Marchal, Transmission de la chaleur par convection dans les tubes, Saint-germain, Paris 1974.
- [34] A. Gouffe, Transmission de la chaleur par rayonnement, Saint-germain Paris 1978.
- [35] J.M Chassériau, conversion thermique de rayonnement solaire, Bordas, Paris 1984.
- [36] Duffie, J.A, Beckman, W.A, Solar engineering of thermal processes. 1980, 2nd edition, Wiley-Interscience.
- [37] M. Li & L.L. Wang, Investigation of evacuated tube heated by solar trough concentrating system, energy conversion and Management, Avril 2006.
- [38] W. Chekirou, N. Boukheit et T. Kerbache, Revue des Energies Renouvelables ICRES-07 Tlemcen (2007) 21 – 28
- [39] <http://www.energie douce.com/conseils-faq-panneaux-capteurs-solaires-thermiques-aeau mon>.
- [40] www.ns7.freeherberg.com/~const59/cpo/cours/automatisme/verelec.pdf.
- [41] Groupe SKF 2005-2008, « la gamme vérins », PUB MT/P1 10060 FR, Novembre 2010.
- [42] François BERNOT Ingénieur de l'école Supérieure d'électricité Docteur en sciences pour l'ingénieur Maître de conférences à l'UTBM (Belfort)], technique de l'ingénieur

Référence

[43]Guide du dessinateur industriel – Chevalier, page 282

[44]Groupe SKF 2005-2008, Publication 5338 FR - 2008-01, 'vérins électromécaniques'

Annexe

Composants	Valeurs	Composants	Valeurs
R1 et R2	1 K Ω	C5et C7	470 μ F
R3 et R4	1 K Ω	C6 et C8	5.6nF
R5 et R6	1 K Ω	C9	1pF
R7 et R8	1 K Ω	D1 et D2	1N4007
R9	1 K Ω	T2 et T3 et T4	2N2222
TR	220V-24V	U1	7812
C1 et C2	5.6nF	U2	7824
C3 et C4	470 μ F	Bascule	CD4013

Liste des composants avec valeur et types utilisées

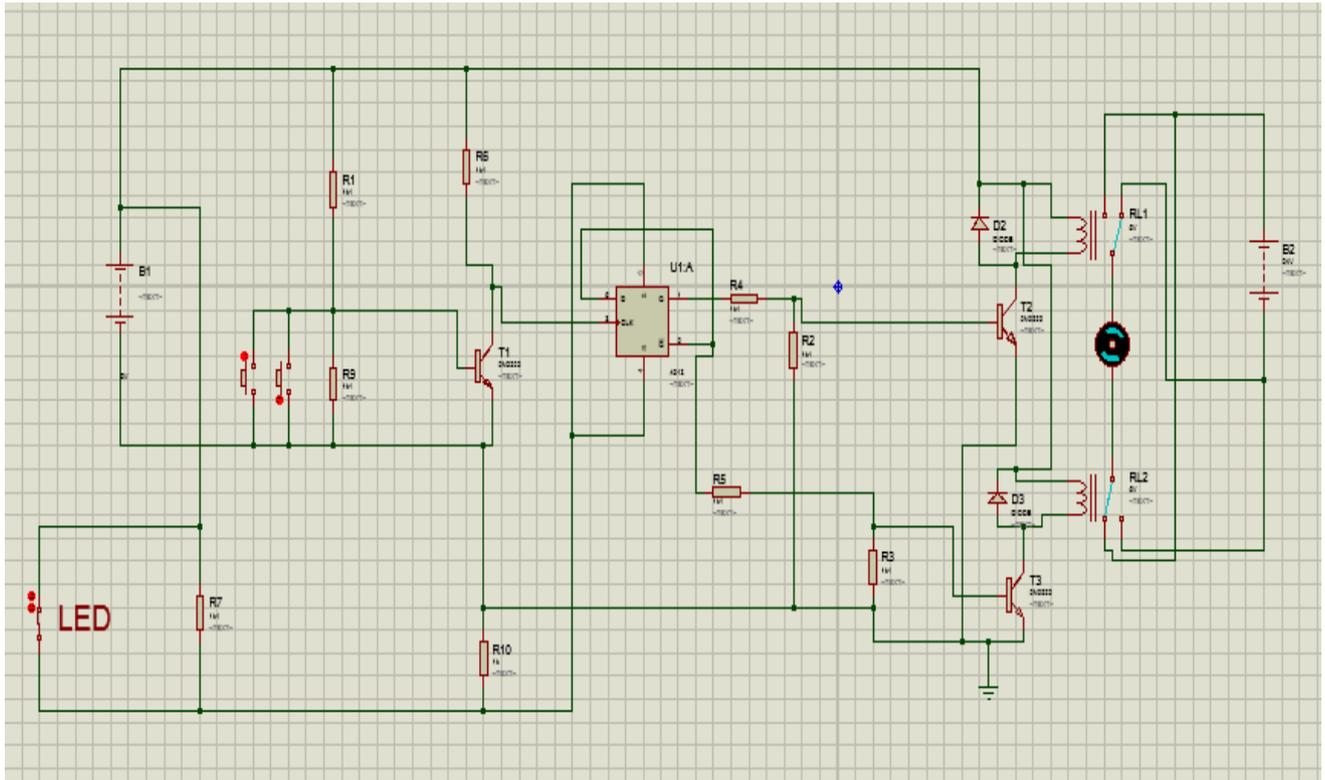


Figure I : Schémas de simulation sous ISIS

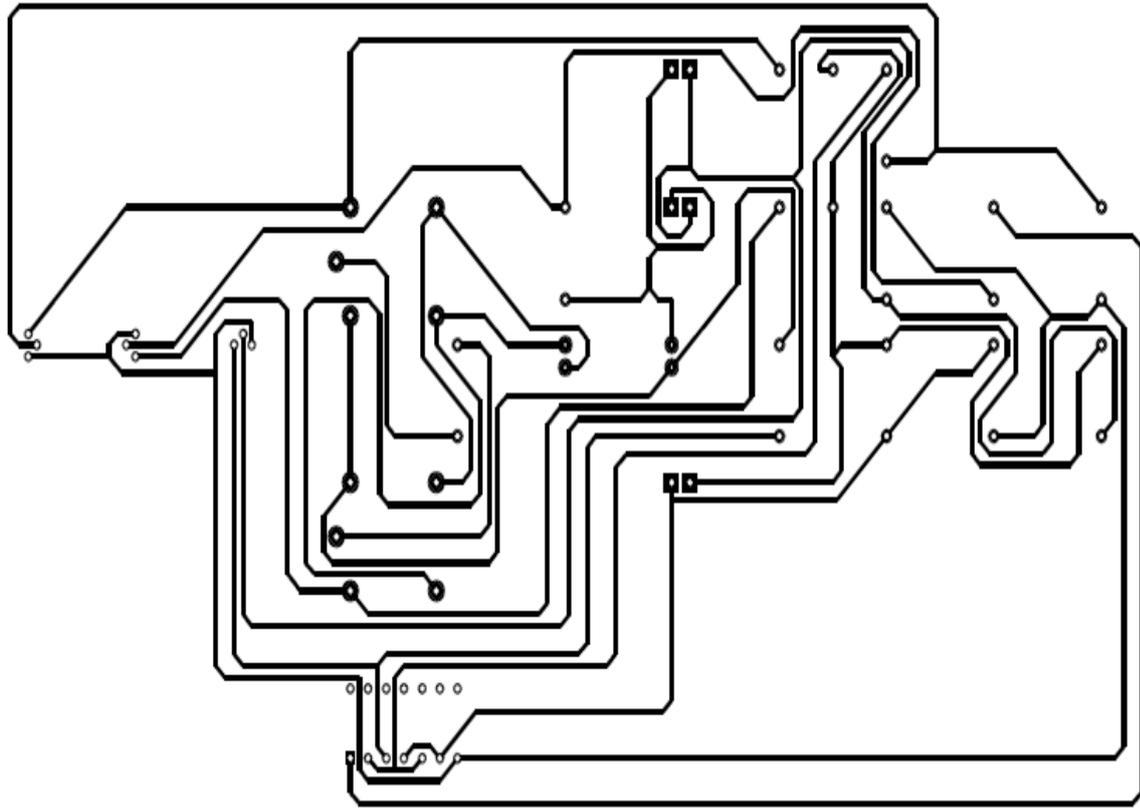


Figure II : Circuit imprimé de la carte de commande et de puissance

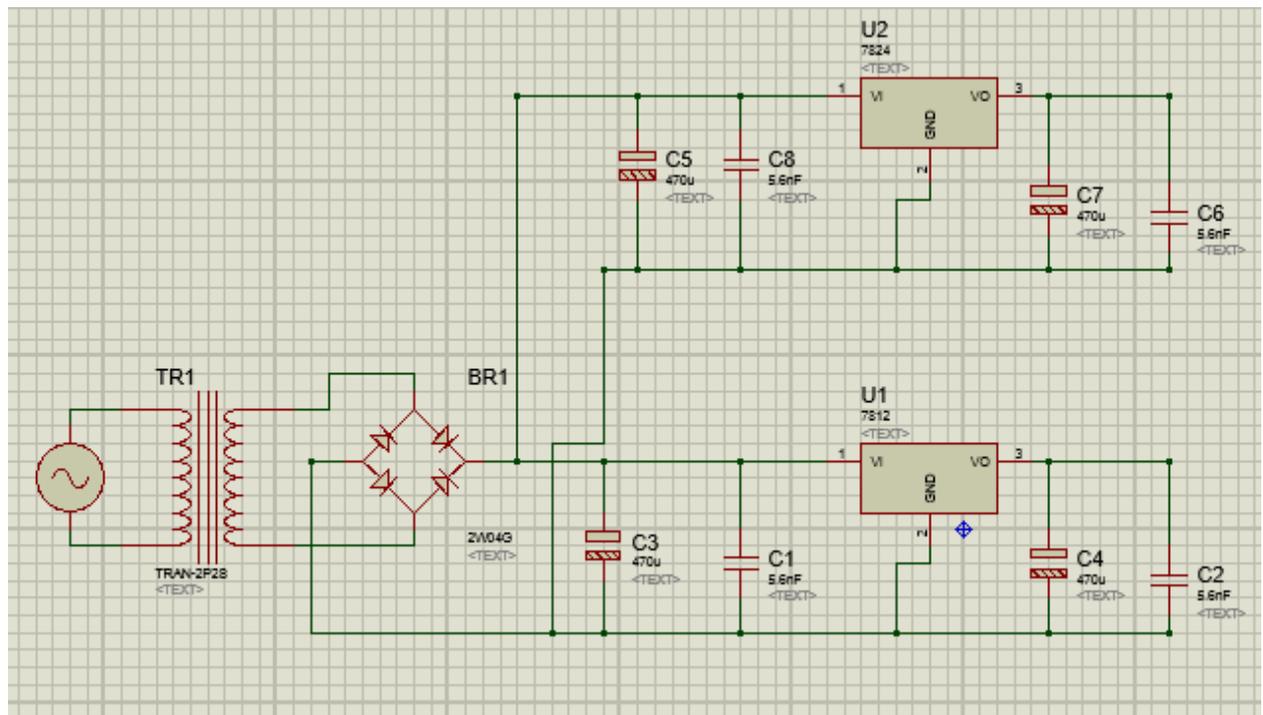


Figure III : Carte d'alimentation

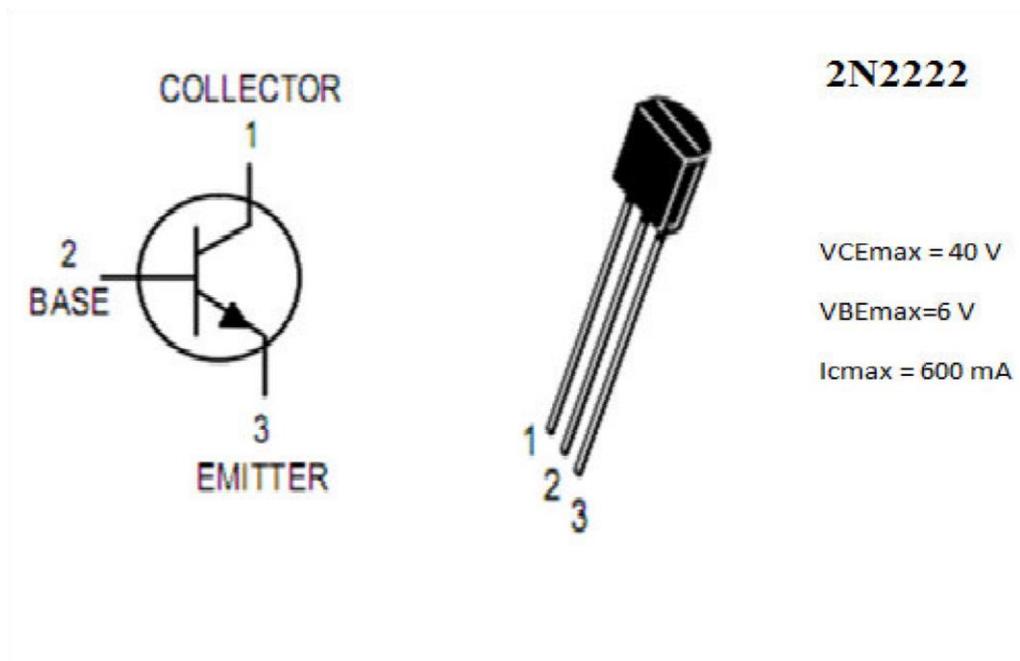
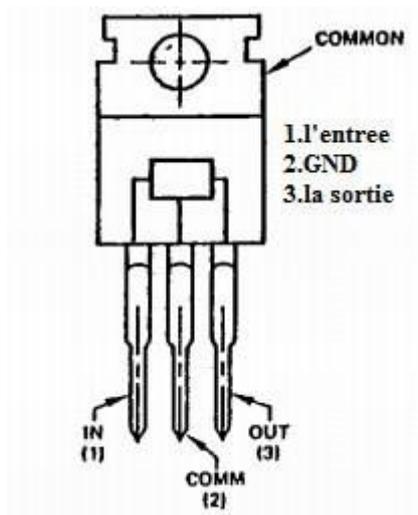


Figure IV : TRANSISTOR 2N2222



serie 7812:
tension d'entree: 14.5 - 35 V
tension de sortie: 11.5 - 12.5 V

serie 7824:
tension d'entree: 27 - 40 V
tension de sortie: 23 - 25 V

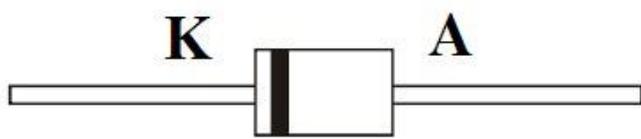
Figure V : Régulateur 12 V et 24 V



Tension d'entrée maximum de pont de RMS: 35 V

Tension de blocage de C.C: 50V

Figure VI : Pont redresseur AM 150



Tension de blocage de C.C : 1000 V

Opération et température ambiante
de stockage : -65 a 150 °c

Figure VIII : Diode 1N4007



Figure IX :Photodiode

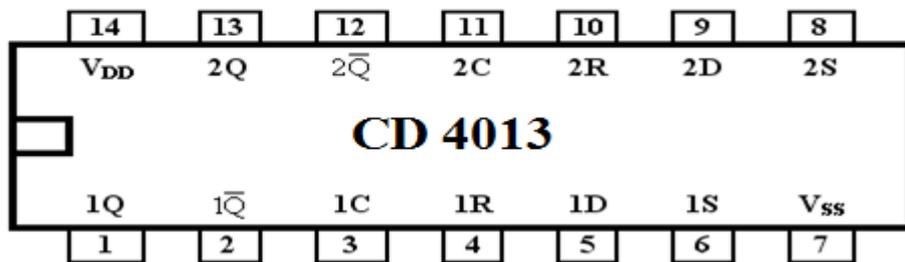


Fig. 2 Brochage

- D** entrée des données
- C** entrée de l'horloge (déclenchement sur le front montant L à H)
- S** entrée de remise à UN directe asynchrone (active à l'état haut)
- R** entrée de remise à ZERO directe asynchrone (active à l'état haut)
- Q** sortie vraie
- Q̄** sortie complémentaire

Figure X :Circuit intégré CD 4013

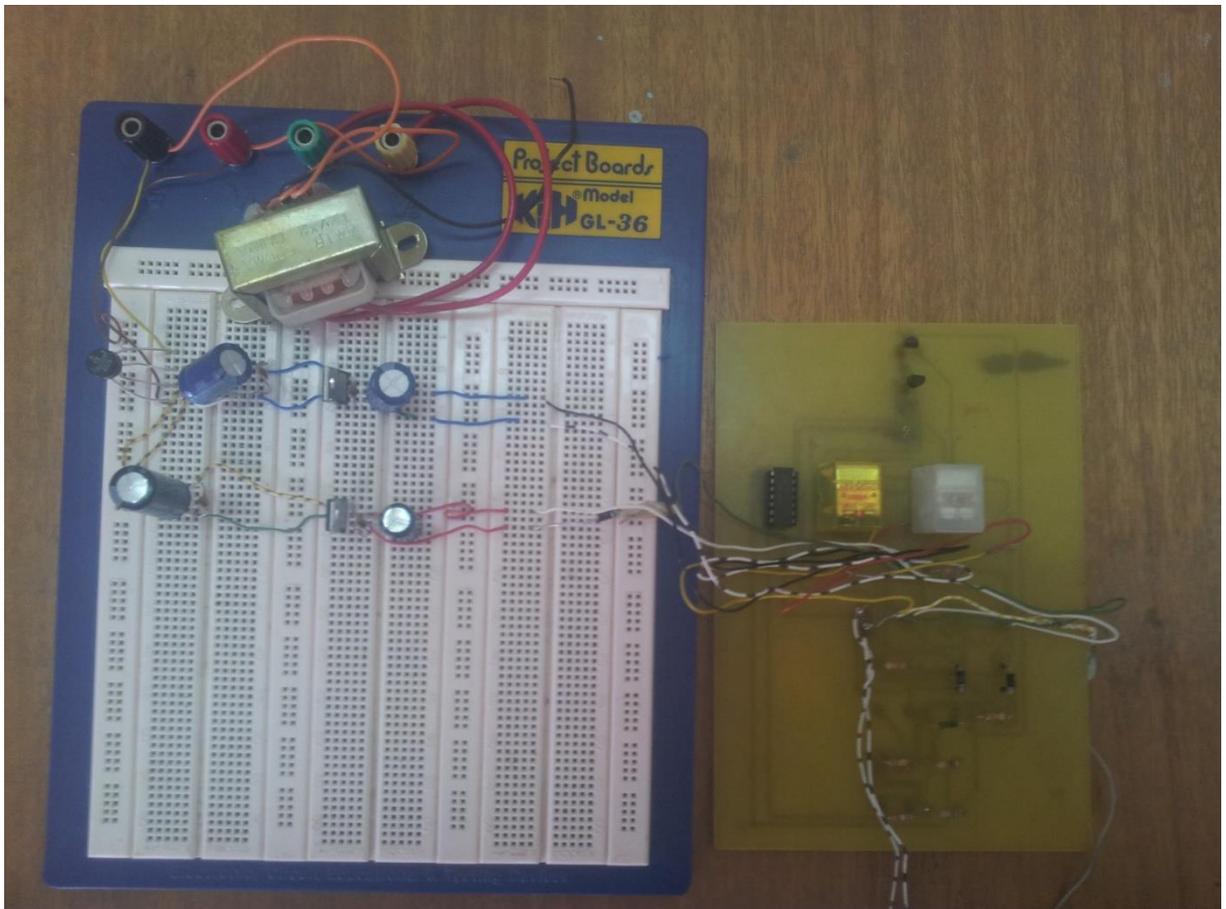


Figure XI : L'ensemble des cartes réalisées connecté