



جامعة بجاية
Tasdawit n'Bgayet
Université de Béjaïa

Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira -Bejaia
Faculté de Technologie
Département Génie Electrique

Memoire de fin d'étude

*En vue de l'obtention du diplôme Master recherches-en
Électrotechnique.
Option : électromécanique*

Thème

*« Etude et réalisation d'un concentrateur
parabolique avec une poursuite automatique*

Présenté par :

 *Mr. RACHIDIOU Lounis*

 *Mr. HAMROUN Azzeddine*

Invite: Mr. A.AMRI

Encadré par :

Promoteur: Mr. Y.MEBARKI

Co-promoteur: Mr. M.KACIMI

Devant le jury:

Mr. L.ALOUI

Mr. M.LARBA

2016/2017

Remerciement

Avant tout, on remercie le bon DIEU, le tout puissant de nous avoir donné la force nécessaire pour mener à terme ce travail.

Ensuite, nous voulons exprimer notre reconnaissance à nos promoteurs

Mr .Y.MEBARKI et Mr M.KACIMI pour leur encadrement efficace, leur soutien et leur disponibilité. Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

Sans oublier les jurys qui nous feront l'honneur de juger ce modeste travail.

Nous tenons à remercier l'Association Scientifique « LEFNAR » d'El Kseur pour leur soutien et leur encouragement.

Nous remercions vivement le responsable de Hall de Technologie « Mr Y. Rachid » et les techniciens notamment Abed Allah, Nour Dinne.

Nous tenons aussi à remercier nos collègues étudiants G M, pour leur maintien en particulier Rachidiou Ouarda et son conjoint Mouloud, Yacine, Abed Nour, Amar, djedjiga.

Notre remerciement vont vers tous ceux qui on contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire, de même que ceux qui ont participé à notre formation, qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

HAMROUNE ET RACHIDIOU

DÉDICACES

Je dédie ce travail :

*À mes parents, Ma Chère mère et mon noble père
qui m'ont toujours conseillé, encouragé.*

*À mes deux frères (Mahieddine, Tahar), et à toute
ma famille.*

*À Tous mes amis (Jijé, Nacer, Mouloud, Idir,
Dadé, Lynda, Kaci...)*

À nous petit prince et princesse

AYELAN ET ILINA

Sans oublier mon binôme Lounis.

AZZEDDINE

DÉDICACES

Je dédie ce modeste travail :

A mes parents et à toute ma famille,

A ma sœur Ouarda et son mari Mouloud

A mon Binôme Azzddine et sa famille

A tous les étudiants Maser II électromécanique

A tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à
la réussite de ce travail et ceux qui m'ont soutenue
durant tout mon cycle universitaire,

Je leur dis merci.

Lounis

Nomenclature-Abréviation

h	: Constante de Planck	
k	: Constante de Boltzmann	
c	: Célérité de la lumière	
T	: Température en Kelvin	
I	: Constante solaire	
H	: Longitude	[°]
A	: Latitude	[°]
δ	: Déclinaison solaire	[°]
ω	: Angle horaire	[°]
h	: Hauteur angulaire du soleil	[°]
α	: Azimut	[°]
TSV	: Temps solaire vrai	[h]
ET	: Equation du temps	[minutes]
TSM	: Temps solaire moyen	[h]
TU	: Temps universel	[h]
d	: Diamètre	[m]
f	: distance focale	[m]
Ψ	: angle d'ouverture de la parabole	[°]
A_0	: Surface d'ouverture	[m ²]
A_r	: Surface de l'absorbeur	[m ²]
d_2	: diamètre d'ouverture du récepteur	[m]
τ	: Coefficient de transmission du récepteur.	
α	: Coefficient d'absorption du récepteur.	

ρ : Coefficient de réflexion de la parabole.

η_{op} : rendement optique du concentrateur.

P_c : Poids du concentrateur [Kg]

P_a : Poids de l'absorbeur remplis [Kg]

μ : Coefficient de frottement

R_p : résistance pratique du matériau. [N/mm²]

FBD : Function Block Diagramme

LD : Ladder Diagramme (langage à contact)

Liste des figures

Chapitre I

Figure I.1. Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère	3
Figure I.2. Le corps noir à 5700 K et les spectres solaires AM0 et AM1	5
Figure I.3. Les ressources énergétiques solaires mondiales	6
Figure I.4. Le potentiel de l'Algérie en énergie solaire	7
Figure I.5. Mouvement de rotation de la terre	8
Figure I.6. Les coordonnées géographiques	9
Figure I.7. La déclinaison du soleil en fonction des jours	10
Figure I.8. Système de coordonnées horaires	10
Figure I.9. Système de coordonnées azimutales	11

Chapitre II

Figure II.1. Concentrateur parabolique	14
Figure II.2. Propriétés géométrique de la parabole	14
Figure II.3. Section d'une parabole possédant un foyer commun F	15
Figure II.4. Distance focale en fonction de l'angle d'ouverture d'une parabole $d=1m$	16
Figure II.5. Système optique d'une surface parabolique	17
Figure II.6. Paraboloïde de révolution	18
Figure II.7. Élément différentiel de surface parabolique	19
Figure II.8. Catégories des récepteurs	20
Figure II.9. Concentrateur solaire parabolique	21
Figure II.10. L'image ellipse	21
Figure II.11. Distance axiale arrière du point focal	22
Figure II.12. Concentration géométrique à différentes valeurs du récepteur (d_2)	23
Figure II.13. Réflexion d'un rayon parallèle	24

Chapitre III

Figure III.1. L'axe principal réalisé	30
Figure III.2. Support principal réalisé	31
Figure III.3. Pièce de fixation réalisé	31
Figure III.4. Support parabole réalisé	32
Figure III.5. L'arbre de rotation réalisé	32
Figure III.6. Réducteur de module 2 et de rapport 1.5	33
Figure III.7. Le mécanisme réalisé après l'assemblage de toutes les pièces	34

Chapitre IV

Figure IV.1 Schémas synoptique de la réalisation.....	37
Figure IV.2 Afficheur LCD.....	37
Figure IV.3 Vérin électrique.....	38
Figure IV.4 Moteur CC.....	39
Figure IV.5 Symbole d'une Photodiode.....	40
Figure IV.6 Symbole d'une Phototransistor.....	40
Figure IV.7 Circuit d'exploitation des LDRs.....	41
Figure IV.8 Symbole d'une Photorésistance.....	41
Figure. IV.9 Image de L'Arduino Méga 2560.....	42
Figure IV.10. Interface IDE Arduino.....	43
Figure IV.11 Positionnement des quatre capteurs utilisé.....	43
Figure IV.12. Organigramme Principal.....	44
Figure IV.13. Montage du système sous Proteus.....	45
Figure IV.14. Schéma synoptique de la carte d'alimentation stabilisée.....	46
Figure IV.15. Représentation schématique d'un transformateur.....	46
Figure IV.16 Schéma représentatif du pont redresseur.....	47
Figure IV.17 Circuit d'alimentation sous ISIS.....	48
Figure IV.18 Variation de sens du moteur par pont en H.....	48
Figure IV.19 Circuit d'alimentation Arduino sous ISIS.....	49

Liste des tableaux

Chapitre I

Tableau I.1 Répartition de l'énergie solaire dans les trois bandes du spectre de rayonnement thermique.....	5
---	---

Chapitre III

Tableau.III.1. Caractéristiques géométriques du réflecteur.....	27
Tableau.III.2. Caractéristiques de l'absorbeur.....	28

Chapitre IV

Tableau. IV.3. Caractéristiques du vérin.....	38
Tableau.IV.4. Caractéristiques du moteur	39

Table des matières

Nomenclature-abréviations.....	I
Liste des figures.....	III
Liste des tableaux.....	V
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Généralités sur le rayonnement solaire	
I.1. Introduction.....	3
I.2. Le soleil	3
I.2.1. Durée et taux d'enseillement.....	4
I.2.1.1 Durée d'enseillement	4
I.2.1.2 Taux d'enseillement	4
I.2.2. Le rayonnement solaire	4
I.2.2.1. Rayonnement solaire directe	6
I.2.2.2. Rayonnement solaire diffus.....	6
I.2.2.3. Rayonnement solaire global	6
I.2.3. Le potentiel solaire dans le monde	6
I.2.4. Les ressources solaires de l'Algérie	7
I.3. Mouvement de la terre autour du soleil	7
I.4. Direction du rayonnement solaire	8
I.4.1. Les coordonnées géographiques.....	8
I.4.1.1. Longitude	8
I.4.1.2. Latitude	9
I.4.2. Les coordonnées horaires	9
I.4.2.1. La déclinaison solaire.....	9
I.4.2.2 Angle horaire (ω).....	10
I.4.3 Les coordonnées horizontales	11
I.4.3.1 Hauteur angulaire du soleil (h).....	11
I.4.3.2 L'azimut (α).....	11
I.4.4 Angle horaire de couché du soleil	12
I.5. Les notion du temps	12
I.5.1 Le temps solaire vrai (TSV)	12
I.5.2 Le temps solaire moyen (TSM)	12

1.5.3 Le temps universel (TU).....	13
I.5.4 Temps légal (TL)	13
I.6 Conclusion	13

Chapitre II: Etude du concentrateur parabolique

II.1. Introduction	14
II .2. Concentrateurs parabolique	14
II.3. Propriétés du concentrateur parabolique	14
II.3.1. La géométrie parabolique	14
II.3.1.1. Définition.....	14
II.3.1.2. Angle d'ouverture d'une parabole [18].....	15
II.3.1.3. Taille d'une parabole	16
II.3.1.4 Surface d'une parabole	17
II.3.1.5. Longueur d'une parabole	17
II.3.2. Système optique d'une surface parabolique	17
II.3.3. Les composants d'un concentrateur solaire parabolique	18
II.3.3.1. Réflecteur (paraboloïde)	18
II.3.3.2 Récepteur (absorbeur).....	19
II.3.4 Dimensions du récepteur	21
II.4. La Concentration	22
II.4.1. Concentration géométrique	23
II.4.2. Concentration optique.....	23
II.5. L'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde	24
II.5.1 Puissance solaire absorbée par l'ouverture du récepteur	25
II.5.2 Puissance correspondant aux pertes thermiques.....	26
II.6. Conclusion.....	26

Chapitre III : Réalisation du mécanisme de poursuite

III.1. Introduction	27
III.2. Description des différentes parties du prototype.....	27
III.2.1. Le réflecteur	27
III.2.2. L'absorbeur.....	28
III.3. Réalisation du système de poursuite.....	28

III.3.1. modélisation des éléments du système de poursuite	29
III.3.1.1. Les étapes principales de la modélisation sous SOLID WORKS	29
III. 3.1.2. Représentation du système en 3D.....	29
III.3.3. Réalisation des éléments du système de poursuite	30
III.3.3.1. Axe principale	30
III.3.3.2. Support principale	31
III.3.3.3 Pièce de fixation	31
III.3.3.4. Support parabole	32
III.3.3.5. Arbre de rotation	32
III.3.3.6. Réducteur	33
III.4. principe de fonctionnement du mécanisme réalisé (suiveur solaire)	35
III.5. Conclusion	36
Chapitre IV. Commande du concentrateur parabolique	
IV.1. Introduction	37
IV.2. Structure des systèmes automatisés	37
IV.2.1. Interface homme machine	37
IV.2.2. Partie opérative	38
IV.2.2.1. Actionneur.....	38
IV.2.2.2 Le vérin électrique.....	38
IV.2.2.3 Le moteur azimutal	39
IV.3.2 Capteur	39
IV.3.2.1 Capteurs optique	39
IV.4. Partie commande.....	41
IV.4.1. Microcontrôleur Arduino	41
IV.4.1.1 Arduino MEGA.....	42
IV.4.2. L'environnement de programmation	42
IV.4.2.1 Structure générale du programme (IDE Arduino)	42
IV.5. Réalisation et implémentation	43
IV.5.1. Principe générale	43
IV.5.2. Programmation	44
IV.5.3. Test de programme sur logicielle de simulation (Proteus-ISIS)	45
IV.6. Alimentation	46
IV.6.1 Présentation des différents composants de l'alimentation	46

IV.6.1.1 transformateur	46
IV.6.1.2 Redresseur	47
IV.6.1.3 Filtrage	47
IV.6.1.4 Régulation	47
IV.6.1.5 Stabilisation.....	47
IV.6.2 Carte d'alimentationréalisée.....	48
IV.6.2.1 Alimentation des deux actionneurs	48
IV.6.2.2 Alimentation de la carte de commande arduino	49
IV.7. Conclusion	49
Conclusion générale.....	50
Références bibliographiques.....	I
Annexes.....	II

Introduction générale

Introduction générale

Le monde connaît depuis plus d'un siècle un important développement économique. Le développement industriel, l'augmentation du parc automobile et la multiplication des équipements domestiques ont provoqué une croissance importante de la demande énergétique.

Malheureusement, cette croissance de la demande a été majoritairement couverte par la surexploitation de sources d'énergies fossiles, motivée par des considérations économiques. D'autres facteurs comme les émissions de CO₂, le caractère limité de nos réserves fossiles, et l'indépendance énergétique nationale n'ont pas été pris en compte.

Comme alternative à ces préoccupations, le développement et l'implémentation des énergies renouvelables est incontournable. Des ressources énergétiques illimitées et abondamment disponibles existent et doivent être exploitées. Certaines, comme l'énergie éolienne ou hydraulique connaissent déjà un développement technique et commercial important et sont économiquement compétitives. D'autres, comme l'énergie solaire et thermoélectrique, sont techniquement disponibles, mais leur compétitivité nécessite une plus grande confiance de la part des entreprises privées et des institutions publiques afin de favoriser l'implémentation de ce type de systèmes et de favoriser une diminution des coûts par les économies d'échelle.

Dans l'optique de la production d'électricité, l'énergie solaire est une source d'énergie propre et inépuisable. Actuellement les technologies de concentration solaire sont celles qui présentent le plus de possibilités pour une exploitation commerciale. Ces technologies se basent sur des collecteurs qui concentrent la radiation solaire et réchauffent à haute température un fluide caloporteur. Ce fluide peut ensuite être utilisé pour la génération d'électricité, par exemple au moyen d'un cycle de Rankine.

Les énergies renouvelables possèdent généralement une limitation due à leur caractère intermittent à leur difficulté de stockage. Si la limitation due au stockage est importante pour des énergies comme l'énergie éolienne ou photovoltaïque, elle l'est moins pour la concentration solaire, qui utilise généralement des systèmes de stockage de chaud ou qui peut être hybridée avec d'autres sources énergétiques (gaz naturel, biomasse, etc).

Avec près de 2000 MW de projets dans le monde, les concepts de centrales solaires thermodynamiques ouvrent aujourd'hui de grandes possibilités de développement, grâce notamment aux politiques incitatives qui se mettent en place dans quelques pays [1].

L'Algérie avec son gisement solaire très important commence à penser à l'exploitation de cette énergie et à investir dans ces centrales, avec un projet hybride solaire-gaz de 150 MW qui sera réalisé à Hassi Rmel au sud du pays. Ce genre de projet nous a incités à étudier un prototype de suiveur adapté pour un concertateur solaire parabolique afin de connaître et d'identifier ses différents paramètres de fonctionnement et de réalisation.

Notre étude est composée de deux parties :

- la première partie s'étale sur faisabilité de PFE 2014 (AMMAR Md Ameziane, ALLOUACHE Elbadaoui). Dont nous avons apporté des modifications majeure de l'étude et ensuite nous avons réalisé le mécanisme de poursuite.

- la deuxième partie concerne le choix de la commande de la poursuite solaire du concentrateur parabolique.

Le premier chapitre est consacré à l'introduction des différentes relations régissant le rayonnement solaire, qui nous permettent la détermination de la position solaire durant toute la journée.

Le deuxième chapitre est dédié à l'étude de l'influence des caractéristiques géométriques du concentrateur parabolique sur ses performances optiques.

Le troisième chapitre est réservé à la conception des différentes pièces du mécanisme de poursuite sous le logiciel SOLID WORKS ainsi la réalisation de tous les pièces, ensuite on a procédé à leur montage afin d'obtenir le mécanisme de poursuite souhaité.

Le quatrième chapitre traite la commande du système et le choix du matériel complémentaire au circuit de commande et de puissance, et la réalisation du système de commande.

En fin le mémoire est clôturé par une conclusion générale.

Premier chapitre

Généralités sur le rayonnement solaire

I.1 Introduction

La ressource de base la plus importante pour tous les potentiels énergétiques renouvelables est l'énergie solaire, c'est le rayonnement émis dans toutes les directions par le soleil, Afin d'exploiter au mieux cette ressource énergétique et pour un bon dimensionnement des installations solaires, il est nécessaire de connaître la quantité de l'énergie solaire disponible à un endroit spécifique à chaque instant de la journée et de l'année.

Pour cette raison, on a jugé nécessaire de présenter dans ce chapitre une notion générale sur les coordonnées célestes ainsi que le rayonnement solaire.

I.2 Le soleil

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1 391 000 km (100 fois celui de la Terre), sa masse est de l'ordre de 2.10^{27} tonnes. Toute l'énergie du Soleil provient de réactions thermonucléaires qui s'y produisent. Elles transforment à chaque seconde 564.10^6 tonnes d'hydrogène en 560.10^6 tonnes d'Hélium, la différence de 4 millions de tonnes est dissipée sous forme d'énergie ($E = mC^2$), ce qui représente une énergie totale de 36.10^{22} kW. La Terre étant à une distance de 150.10^6 km du Soleil, elle reçoit une énergie de $1,8.10^{17}$ W. La valeur du flux de rayonnement solaire E reçu par une surface perpendiculaire aux rayons solaires placée la limite supérieure de l'atmosphère terrestre (soit à environ 80 km d'altitude) varie au cours de l'année avec la distance Terre/Soleil. Sa valeur moyenne E_0 est appelée la constante solaire, elle vaut

$$E_0 = 1353 \text{ W.m}^{-2}.$$

En première approximation, on peut calculer la valeur de E en fonction du numéro du jour de l'année j par :

$$E = E_0 [1 + 0,033 \cos (0,984j)] \quad [1] \quad (I.1)$$

On trouvera sur la figure I.1 la répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère.

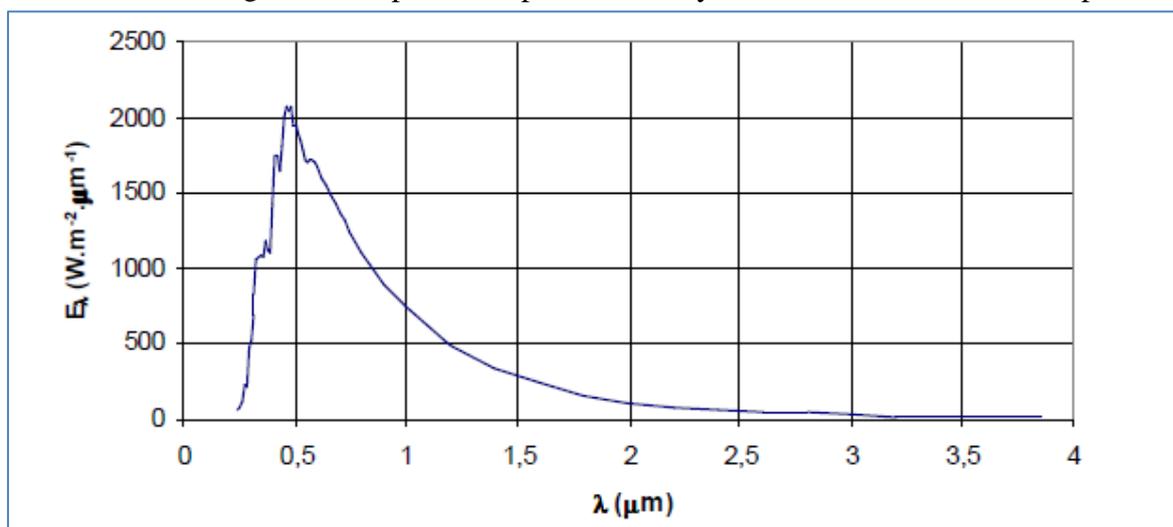


Figure I.1 Répartition spectrale du rayonnement solaire hors atmosphère. [1]

I.2.1 Durée et taux d'ensoleillement

I.2.1.1 Durée d'ensoleillement

Selon les conditions atmosphériques, le ciel peut être plus ou moins couvert de nuages au cours d'une journée. Ceux-ci occultent le Soleil, totalement ou partiellement, empêchant ainsi le rayonnement d'atteindre directement le sol. On dit que la nébulosité est plus ou moins importante selon qu'il y a beaucoup ou peu de nuages. On appelle durée effective d'ensoleillement ou insolation (SS) le temps pendant lequel, au cours d'une journée, le rayonnement solaire direct a atteint le sol du lieu considéré. On appelle rayonnement direct le rayonnement qui atteint la surface terrestre sans avoir subi de déviation depuis son émission par le Soleil.

I.2.1.2 Taux d'ensoleillement

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'ensoleillement SS_0 . On appelle taux d'ensoleillement ou taux d'insolation le rapport entre la durée effective et la durée maximale d'ensoleillement. :

$$\sigma = \frac{SS}{SS_0} \quad (I.2)$$

La durée maximale d'ensoleillement (SS_0) pour un site dégagé peut être prise égale à la durée du jour calculée par la formule (I.2). La durée maximale d'ensoleillement (SS_0) pour un site dégagé peut être prise égale à la durée du jour calculée par la formule (I.2). [1]

I.2.2 Rayonnement solaire

L'énergie solaire qui se manifeste donc principalement par la chaleur diffusée vers la terre, se propage de trois façons différentes (conduction, convection et rayonnement). En première approximation, le soleil rayonne comme un corps noir suivant la loi de Planck et la distribution spectrale s'exprime en fonction de la fréquence ν sous la formule suivante :

$$B_\nu(T) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \left[\exp\left(\frac{h\nu}{kT} - 1\right) \right]^{-1} \quad [2] \quad (I.3)$$

Où de la longueur d'onde ; $\lambda = \frac{c}{\nu}$

$h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ j.s: Constante de Planck

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ j/degré : Constante de Boltzmann

$c = 3,8 \cdot 10^8$ m/s : Célérité de la lumière T : Température en Kelvin

Les mesures effectuées par satellite à la limite supérieure de l'atmosphère terrestre confirment ces hypothèses et la (Figure I.2) met en évidence les légères différences entre le spectre solaire et celui du corps noir à 5700°K. Les écarts les plus importants se situent dans le domaine des rayonnements (ultra-violet, visible, infrarouge) [2].

Spectre	% E solaire	% E corps noir à 5762°K
Ultra-violet $\lambda < 0.38 \mu\text{m}$	7%	9.9%
Visible $0.38 < \lambda < 0.78$	47.3%	46.4%
Infrarouge $0.78 < \lambda < 15$	45.1%	43.6%

Tableau (I.1) : Répartition de l'énergie solaire dans les trois bandes du spectre de rayonnement thermique

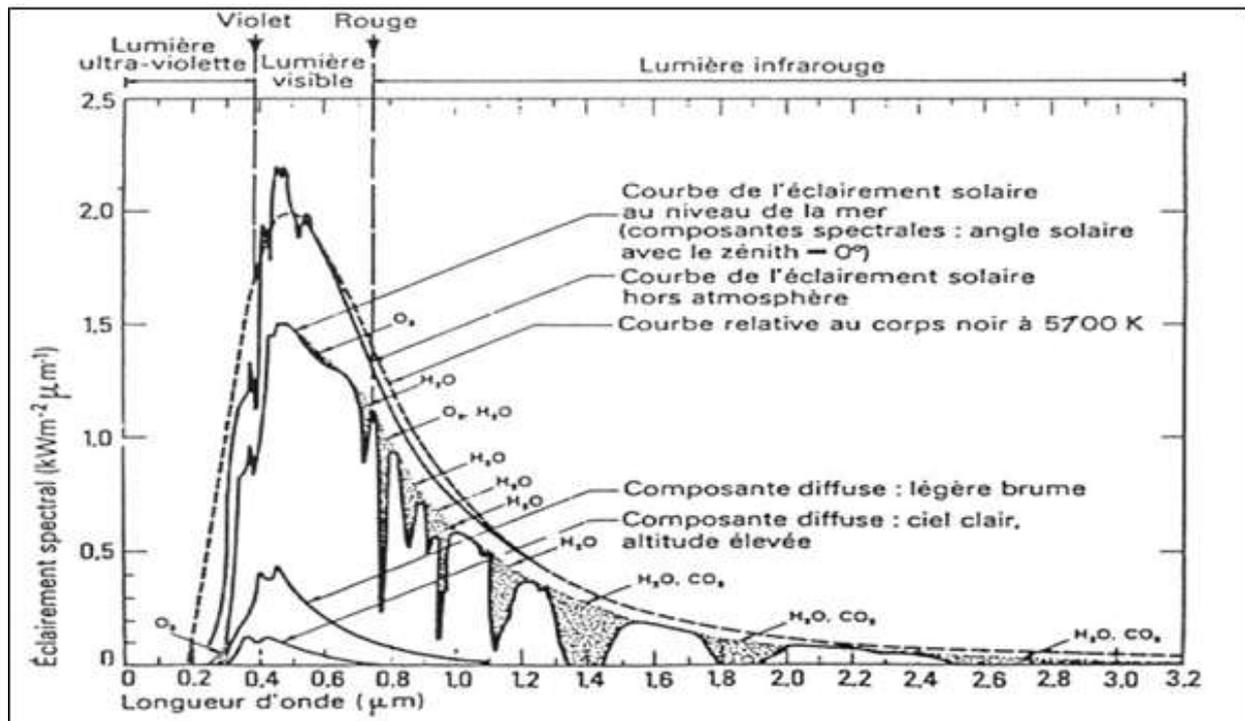


Figure I.1. Le corps noir à 5700° k et les spectres solaires

I.2.2.1 Rayonnement solaire direct

C'est le rayonnement provenant du seul disque solaire, il est donc nul en présence de nuages qui occultent le soleil. Il est mesuré à l'aide d'un pyrhéliomètre constamment dirigé vers le soleil.

I.2.2.2 Rayonnement solaire diffus

C'est la partie du rayonnement solaire incident diffusée par les molécules de l'atmosphère, ainsi que par les particules en suspension. Le rayonnement diffus comprend la totalité du rayonnement solaire parvenant sur un plan récepteur excepté sa composante directe.

Il est mesuré à l'aide d'un pyranomètre auquel on adjoint un écran destiné à occulter le disque solaire.

I.2.2.3 Rayonnement solaire global

Il comprend l'ensemble des composantes directe et diffus. Il est mesuré à l'aide d'un pyranomètre.

I.2.3 Potentiel solaire dans le monde

Les technologies solaires utilisant les systèmes à concentration pour la production électrique exigent l'ensoleillement normal direct. En conséquence, les endroits d'exploitation appropriés (Figure I.3) sont situés dans les régions arides ou semis arides de notre planète [3].

Les sources d'énergie renouvelable dans les pays au bord de la méditerranée à elles seules peuvent faire face à la croissance de la demande énergétique mondiale. En effet, la ressource d'énergie la plus importante dans ces pays est l'irradiation solaire, avec un potentiel qui peut satisfaire la demande en électricité du monde entier. [4]

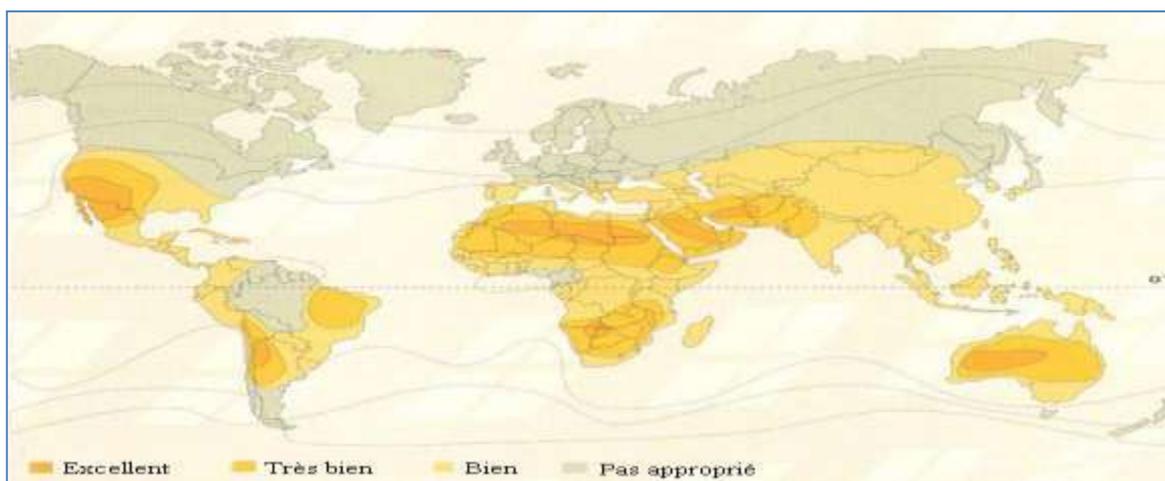


Figure I.3. Les ressources énergétiques solaires mondiales.

I.2.4 Ressources solaires de l'Algérie

Avec 2 381741 km² de surface, l'Algérie est le pays le plus vaste de la zone méditerranéenne. Selon une étude de l'agence aérospatiale allemande DLR [4], l'Algérie offre les possibilités les plus intéressantes à long terme, pour investir dans les centrales thermiques solaires. En effet, l'Algérie est l'un des pays de la méditerranée qui dispose d'un potentiel solaire énorme (Figure I.4) et d'après les données d'ensoleillement [5], l'Algérie est comptée parmi les plus ensoleillé dans le monde. Le potentiel des ressources solaires de notre pays est donc optimal pour l'exécution des projets des concentrateurs solaires.

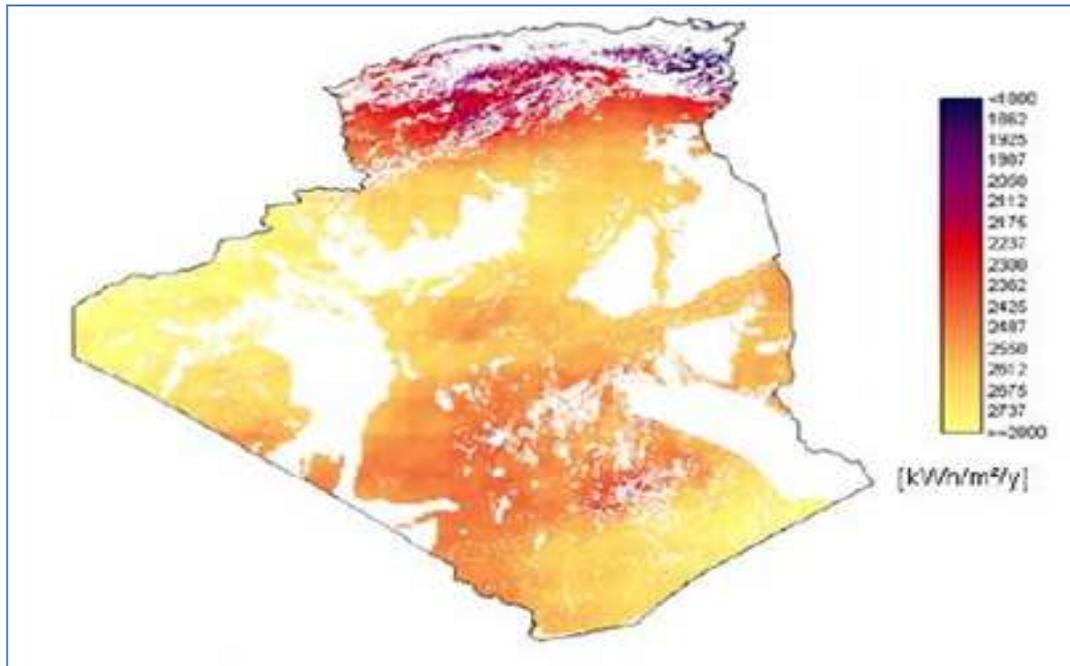


Figure I.4. Le potentiel de l'Algérie en énergie solaire [4]

I.3 Mouvement de la terre autour du soleil

La Terre se déplace sur une orbite elliptique autour du Soleil, Une année correspond au temps mis par la Terre pour effectuer un tour complet autour du Soleil, soit environ 365 jours.

La terre tourne autour de son axe de rotation en un jour, soit 23 h 56 min 41s d'ou l'alternance du jour et de la nuit et fait un angle de 23.27° avec la normale au plan de l'écliptique. Un point de l'équateur tourne à une vitesse légèrement supérieure à 1600 km/h et un point situé à 45° de latitude nord tourne à environ 1073 km/h. En raison de la force centrifuge due à la rotation de la Terre, notre planète n'est pas une sphère parfaite. En effet, elle est légèrement aplatie dans la direction des axes polaires : son diamètre équatorial (environ 12756 km) est supérieur à son diamètre polaire (environ 12 713 km).

La terre est enveloppée par l'atmosphère, couche gazeuse de 1100km d'épaisseur, 70,8% de la surface terrestre est recouverte d'eau [6]. Cette partie superficielle est appelée hydrosphère. Les deux plans de l'écliptique et de l'équateur céleste se recoupent en deux points de l'orbite terrestre, qui correspondent aux équinoxes et marquent le début du printemps et de l'automne, respectivement le 21 mars et le 23 septembre dans l'hémisphère Nord. À mi-chemin entre les équinoxes se situent les solstices d'hiver et d'été, le 22 décembre et le 21 juin, c'est au solstice d'hiver que la terre est la plus proche du soleil (147 millions de km) et au solstice d'été qu'elle est la plus éloignée (152 millions de km) (FigureI.5).

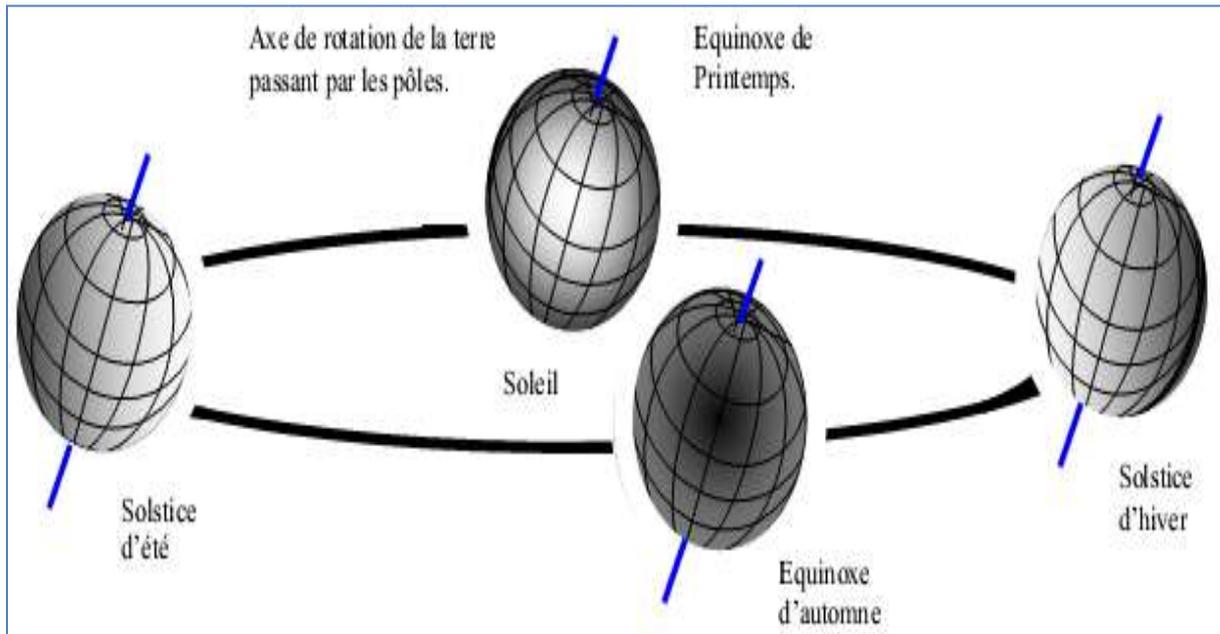


Figure I.5. Mouvement de rotation de la terre.

I.4 Direction du rayonnement solaire

Pour faciliter notre étude et notre approche de la trajectoire, on prendra le référentiel terrestre comme étant fixe et celui du soleil comme mobile.

Tout site sur surface du globe terrestre peut être répertorié par ses coordonnées astronomiques.

I.4.1 Les coordonnées géographiques

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

I.4.1.1 Longitude

La longitude d'un lieu (H) correspond à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien retenu comme origine voir figure (I.6). On a choisi pour méridien (origine 0°) le plan passant par l'observatoire de Greenwich. Par convention on affecte du signe (+) les méridiens situés à l'est de ce méridien, et du signe (-) les méridiens situés à l'ouest [7], [9].

I.4.1.2 Latitude

La latitude d'un lieu (A) correspond à l'angle avec le plan équatorial, que fait le rayon joignant le centre de la terre à ce lieu. L'équateur terrestre est donc caractérisé par une latitude égale à 0° , le pôle nord par la latitude $+90^\circ$ et le pôle sud par la latitude -90° . Cette convention de signe affecte le signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe (-) à tous les lieux de l'hémisphère sud (Figure I.6) [7], [8].

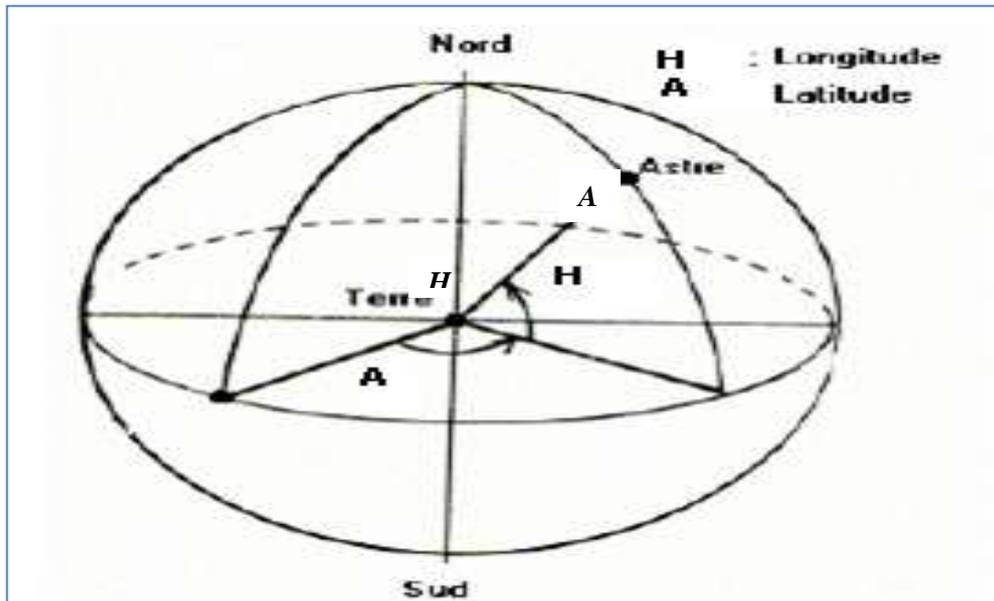


Figure I.6. Les coordonnées géographiques [9]

I.4.2 Les coordonnées horaires

I.4.2.1 La déclinaison solaire

C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. (Figure I.7) Elle varie tout au long de l'année, entre deux valeurs extrêmes : $-23^\circ 27'$ et $+23^\circ 27'$ environ et elle s'annule aux équinoxes de printemps et d'automne, sa valeur peut être calculée par la formule, [8] :

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360 \times (284 + J)}{365}\right) \quad (\text{I. 4})$$

J : Numéro du jour dans l'année.

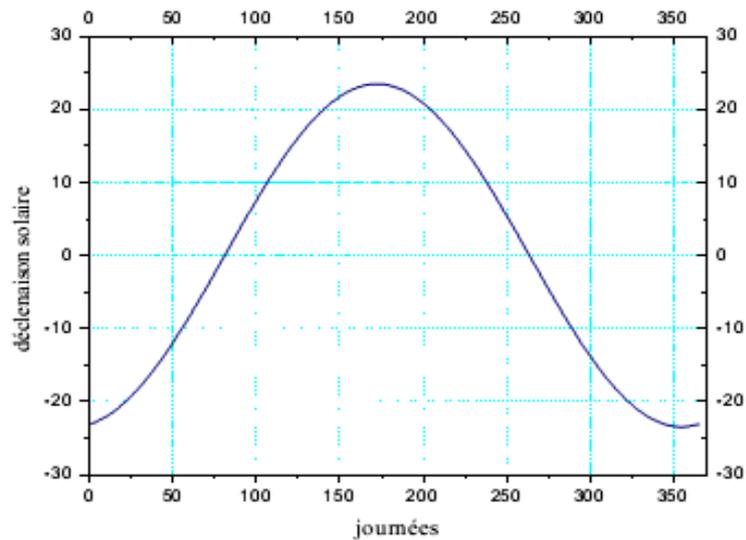


Figure I.7. La déclinaison du soleil en fonction de jour

I.4.2.2 Angle horaire (ω)

L'angle horaire du soleil est l'angle formé par le plan méridien du lieu et celui qui passe par la direction du soleil si l'on prend comme origine le méridien de Greenwich, l'angle horaire est compris entre 0° et 360° . La valeur de l'angle horaire est nulle à midi solaire, négative le matin, positive dans l'après-midi et augmente de 15° par heure (Figure I.8), [7], [8].

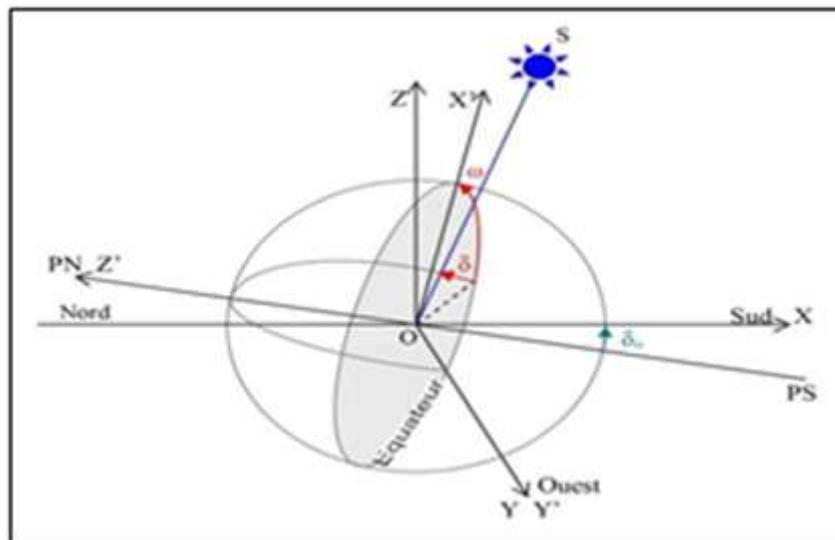


Figure I.8. Systeme de coordonnées horaires

I.4.3 Les coordonnées horizontales

Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles :

I.4.3.1 Hauteur angulaire de soleil (h)

Angle compris entre l'horizon astronomique et l'axe issu du point considéré du soleil. Il est compte de 0° à $+90^\circ$ si le soleil se trouve dans l'hémisphère Nord (Zénith), et de 0° à -90° si le soleil se trouve dans l'hémisphère Sud.

En pratique on exprime l'angle (h) en fonction de la latitude du lieu, la déclinaison et l'angle horaire du soleil :

$$\sin(h) = \cos(A) \times \cos(\delta) \times \cos(\omega) + \sin(A) \times \sin(\delta) \quad (\text{I.5})$$

I.4.3.2 L'azimut (α)

Angle entre la projection de la direction du soleil (OS), sur le plan horizontal et le Sud, il est compté positivement vers l'Ouest et négativement vers l'Est. En pratique on exprime l'angle (α) en fonction de la hauteur du soleil, la déclinaison et l'angle horaire du soleil :

$$\sin(\alpha) = \frac{\sin(\delta) \times \sin(\omega)}{\cos(h)} \quad (\text{I.6})$$

Et si l'on souhaite exprimer l'azimut indépendamment de la hauteur (h) on peut utiliser la formule suivante :

$$\text{tg}(\alpha) = \frac{\sin(\omega)}{\sin(A) \times \cos(\omega) - \cos(A) \times \text{tg}(A)} \quad (\text{I.7})$$

Les angles (h) et (α) varient au cours de la journée à cause de la rotation de la terre sur elle-même, c'est pour cette raison qu'un second système de coordonnées a été défini et axe sur la direction des pôles, c'est le système des coordonnées horaires (Figure I.9). [7], [8]

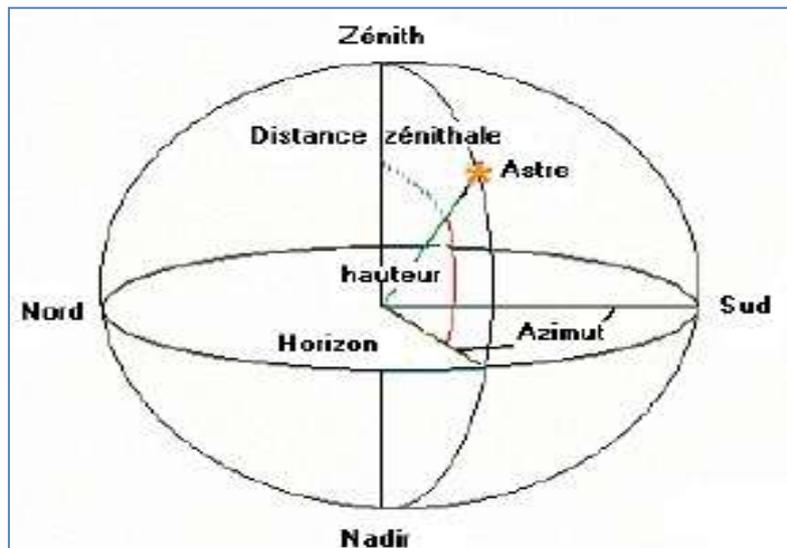


Figure I.9. Système de coordonnées azimutales

I.4.4 Angle horaire au 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 suivante [7], [8] :

$$\omega_s = ar \cos(-\tan(A) \tan(\delta)) \quad (I.8)$$

δ : Déclinaison solaire

A: Latitude

I.5 Les notions du temps

1.5.1 Le temps solaire vrai (TSV)

Le temps solaire vrai est défini à partir de la rotation de la terre sur elle-même, il est donc lié à l'angle horaire. L'intervalle du temps entre deux passages du soleil au méridien est de (24h), il est midi à (12h) lorsque le soleil est à son zénith, le moment où le soleil atteint son sommet c'est le midi solaire vrai du lieu.

$$TSV = 12 + \frac{\omega}{15} \quad (I.9)$$

Un jour solaire vrai n'est pas constant car l'orbite de la terre est elliptique et inclinée sur l'équateur. La vitesse de la terre sur son orbite n'est pas constante au cours de l'année, c'est pour cela qu'on définit le temps solaire moyen.

I.5.2. Le temps solaire moyen

La rotation régulière de la terre sur elle-même autour de l'axe des pôles introduit la notion du temps solaire moyen (TSM). La journée solaire moyenne est le temps qui sépare, en moyenne, deux passages successifs du soleil au méridien d'un lieu. Par définition, la journée solaire moyenne a une durée de 1 jour = 24h, cependant il n'y a pas exactement 24h entre deux passages successifs du soleil au méridien du lieu puisque la vitesse de rotation de la terre par rapport au soleil varie sensiblement au cours de l'année, c'est pour cela qu'on définit le TSV par une correction dite équation du temps (ET) tel que :

$$TSV = TSM + ET \quad (I.10)$$

Cette équation du temps est donnée par la relation suivante :

$$ET = -0,0002 + 0,4797 \cdot \cos(\beta) - 7,3509 \cdot \sin(\beta) - 3,2265 \cdot \cos(2\beta) - 9,3912 \cdot \sin(2\beta) - 0,0903 \cdot \cos(3\beta) - 0,3361 \cdot \sin(3\beta) \quad (I.11)$$

Avec ; $\beta = \frac{360}{366}D_j$ en degré et ET : en minutes

I.5.3 Le temps universel

C'est le temps standard, fondé sur le temps solaire, fut adopté en 1883, au terme d'un accord international. L'objectif était d'éviter des difficultés de correspondance entre horaires de chemins de fer, lorsque chacun utilisait son temps solaire local. La terre fut dès lors divisée en 24 fuseaux horaires qui correspondent au décalage d'une heure. Le méridien de référence, de longitude 0, passe par l'observatoire royal de Greenwich (au sud de l'Angleterre). Les fuseaux horaires sont définis par leur distance à l'est ou à l'ouest de Greenwich. L'heure est la même à l'intérieur de la totalité d'un fuseau donnée. En théorie, chaque fuseau horaire couvre 15° de longitude. Dans la pratique, les limites de ces fuseaux horaires tiennent compte des frontières des pays afin de faciliter les activités commerciales.

Certains pays changent souvent de fuseau lorsqu'ils adoptent l'heure d'été ou l'heure d'hiver. En navigation, les horaires sont souvent calés sur le temps local de Greenwich, appelé temps moyen de Greenwich (GMT). Les astronomes utilisent généralement le même système mais ils emploient l'expression de temps universel (TU).

$$\text{TSM} = \text{TU} - \frac{L_{\text{ref}} - L}{15} \quad (\text{I.12})$$

Avec (L en degré)

L_{ref} : représente la longitude servant de référence au temps légal, généralement le centre du fuseau ($L_{\text{ref}} = 0$)

I.5.4 Le temps légal

Pour des raisons évidentes de commodités, il est bon que les horloges d'un même pays indiquent la même heure. On définit ainsi le temps des horloges de façon arbitraire pour tout un territoire. Cela existe dans les grands pays comme par exemple aux USA le territoire s'étend sur 4 fuseaux horaires.

$$\text{TL} = \text{TU} + C \quad (\text{I.13})$$

C ; étant le décalage entre le méridien de Greenwich et l'état considéré (C=1 heure pour l'Algérie).

I.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu sur le gisement solaire. Vu l'importance de cette étude pour la détermination de la position du soleil, au cours d'une journée ou d'une année pour un endroit bien choisit, surtout pour les suiveurs programmés qui nécessitant des calculs de trajectoire solaire.

Deuxième chapitre

Etude du concentrateur parabolique

II.1 Introduction

L'énergie solaire peut être exploitée sous deux formes principales : la conversion photo thermique qui consiste en une transformation directe du rayonnement solaire en chaleur et la conversion photovoltaïque pour la production d'électricité.

Nous traiterons dans le cadre de ce travail seulement la première voie de conversion.

II.2 Concentrateurs parabolique

Est un système à réflecteur parabolique (figure II.1), utilise des miroirs paraboliques pour concentrer le rayonnement solaire sur un récepteur situé à son foyer. Ce dernier contient un fluide qui absorbe le rayonnement réfléchi, et atteint une température de 750 à 1000°C. Ce fluide très chaud est ensuite utilisé pour produire de l'électricité dans un petit moteur fixé au récepteur [10]

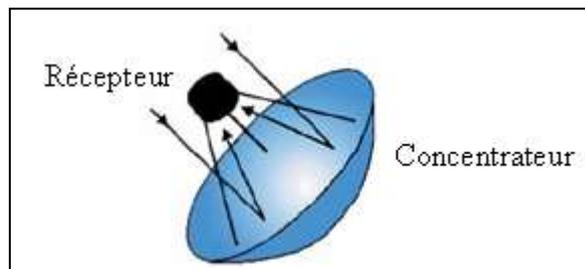


Figure II.1. Concentrateur parabolique

II.3 Propriétés du concentrateur parabolique

II.3.1 La géométrie parabolique

II.3.1.1 Définition

Une parabole est l'ensemble des points situés à distance égale d'une droite fixe (D) appelée directrice, et un point fixe (F) appelé foyer. L'intersection de la parabole et de son axe est le sommet (V), qui est exactement intermédiaire entre le foyer et la directrice, Figure (II.2). [11]

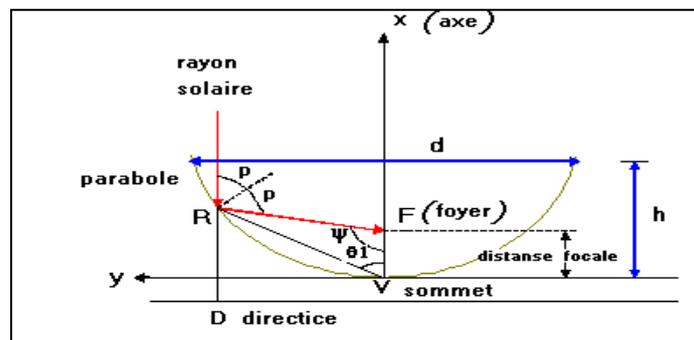


Figure II.2. Propriétés géométrique de la parabole

L'équation de la parabole est [12] :

$$Y^2 = 4. f. x \tag{II.1}$$

f la distance focale FV

$$p = \frac{2f}{1+\cos\Psi} \tag{II.2}$$

p : rayon parabolique, distance (RF) entre le foyer (f) et la courbe de la parabole.

Ψ : angle mesuré à partir de ligne (VF) et le rayon parabolique (P).

II.3.1.2 Angle d'ouverture d'une parabole [13]

$$\tan\Psi_p = \frac{(f/d)}{2(f/d)^2 - \frac{1}{8}} \tag{II.3}$$

d : diamètre d'ouverture de la parabole.

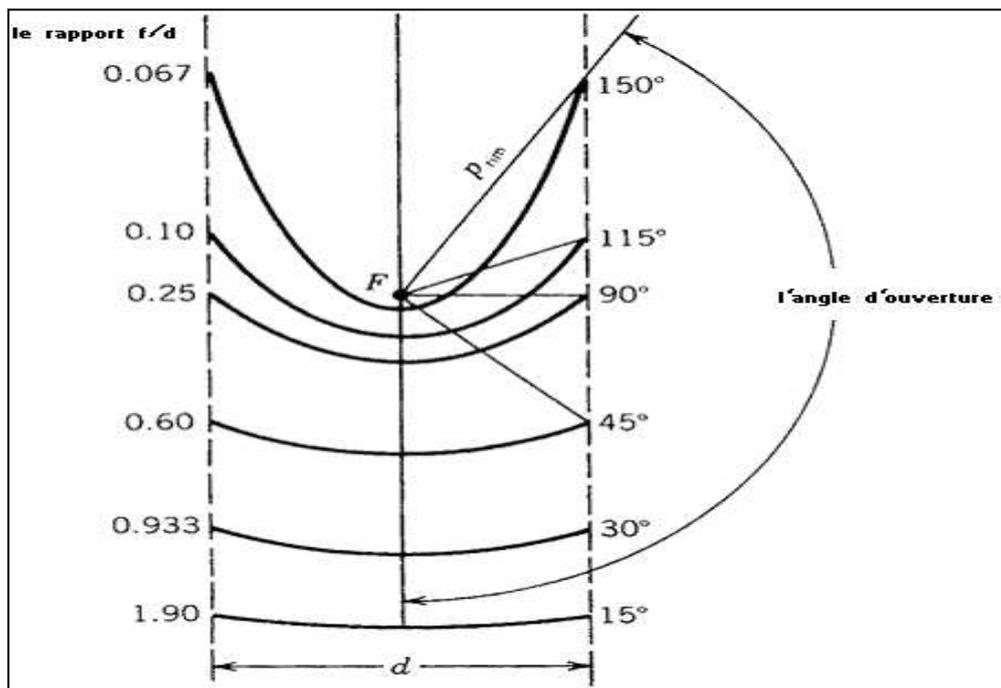


Figure. II.3. Section d'une parabole possédant un foyer commun F et le même diamètre d'ouverture d .

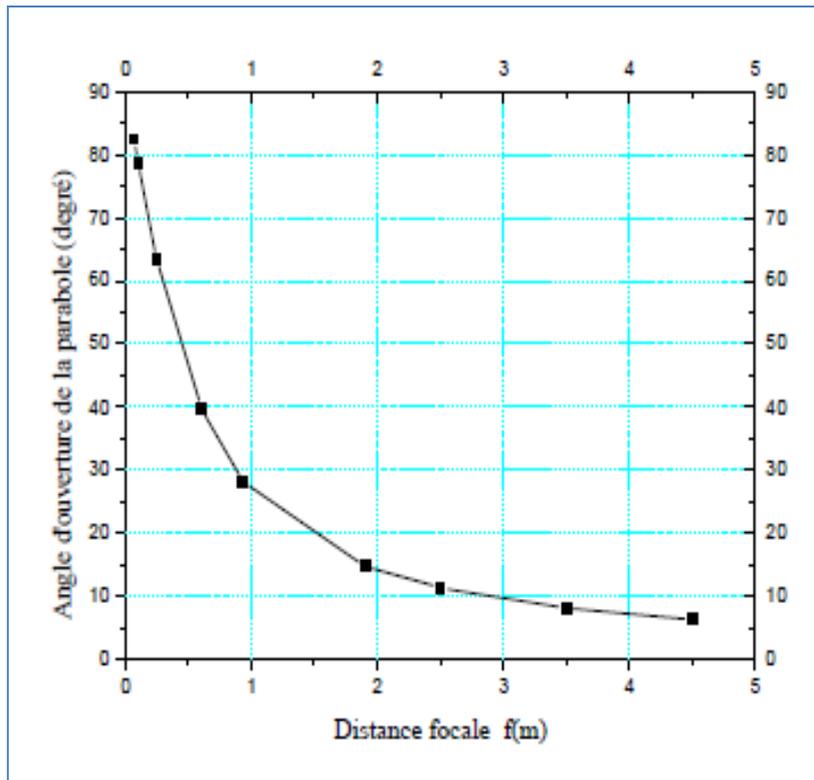


Figure II.4. Distance focale en fonction de l'angle d'ouverture d'une parabole d = 1m

On peut voir qu'une parabole avec un petit angle d'ouverture est relativement plate et l'augmentation de ce dernier amoindrit la distance focale.

II.3.1.3 Taille d'une parabole

La taille de la courbe parabolique h peut être définie comme la distance maximale du sommet à une ligne à travers l'ouverture de la parabole, elle est définie par : **[14]**

$$h = \frac{d^2}{16f} \tag{II.4}$$

De façon semblable, l'angle d'ouverture peut être trouvé en fonction des dimensions d'une parabole :

$$\tan \Psi_p = \frac{1}{\left(\frac{d}{8h}\right) - \left(\frac{2h}{d}\right)} \tag{II.5}$$

II.3.1.4 Surface d'une parabole

C'est l'espace inclut entre une parabole et une ligne à travers son ouverture, elle est indiquée par [13] :

$$A_x = \frac{2}{3} d \cdot h \quad (\text{II.6})$$

II.3.1.5 Longueur d'arc d'une parabole

La longueur d'arc d'une parabole peut être trouvée en intégrant une équation de cette courbe (l'équation II.1) , en appliquant les limites $X= h$ et $Y= d/2$, on trouve [15]

$$s = \left[\frac{d}{2} \sqrt{\left(\frac{4h}{d}\right)^2 + 1} + 2f \ln\left[\frac{4f}{d} + \sqrt{\left(\frac{4h}{d}\right)^2 + 1}\right] \right] \quad (\text{II.7})$$

II.3.2 Système optique d'une surface parabolique

D'après les lois de réflexion, tout rayon lumineux parallèle à l'axe de la parabole est réfléchi par la parabole suivant une droite passant par le foyer. Donc la parabole focalise tous les rayons réfléchit en un point appelé « foyer ». [12]

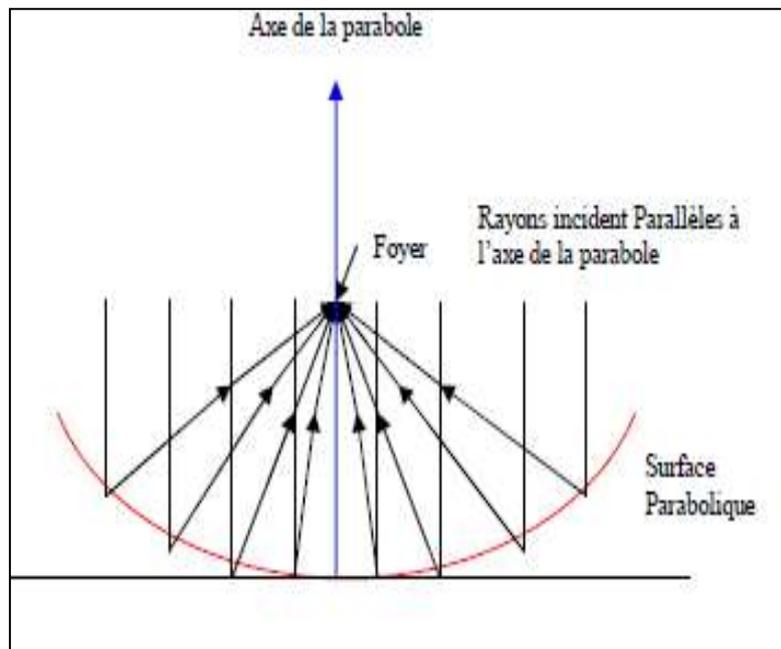


Figure II.5. Système optique d'une surface parabolique

II.3.3 Les composants d'un concentrateur solaire parabolique

Le concentrateur solaire parabolique est composé des éléments suivants :

II.3.3.1 Réflecteur (paraboloïde)

On obtient un paraboloïde par rotation de la parabole autour de son axe.

L'équation pour le paraboloïde de révolution en coordonnées rectangulaires avec l'axe (Z) comme axe de symétrie. est : [14], [15]

$$X^2+Y^2= 4 \cdot f \cdot Z \tag{II.8}$$

$$Z = \frac{a^2}{4f} \tag{II.9}$$

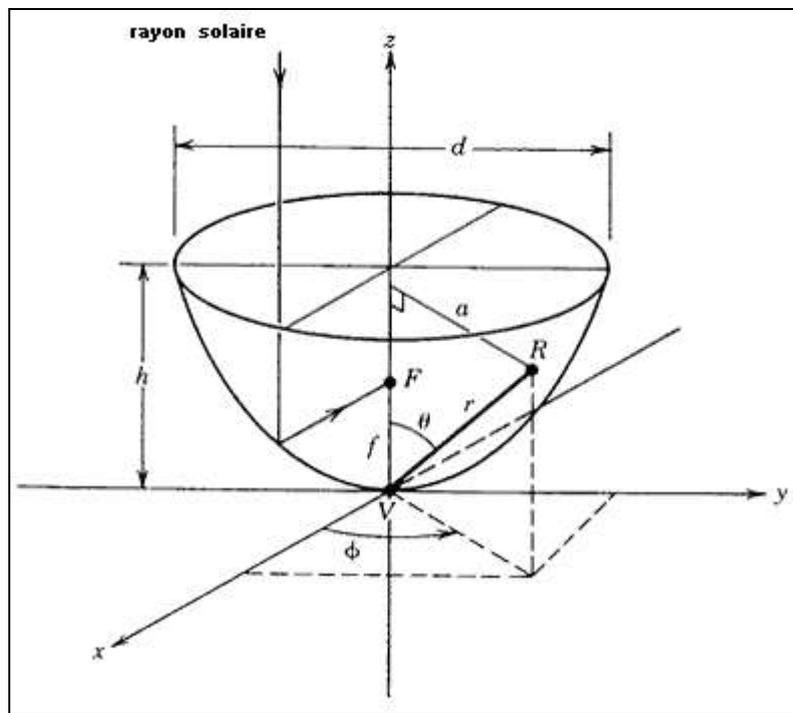


Figure II.6. Paraboloïde de révolution

La surface du paraboloïde peut être trouvée en intégrant l'équation (II.11), Nous pouvons définir une bande différentielle circulaire d'une surface sur le paraboloïde comme représenté sur la figure (II.7).

$$dA_s= 2 \cdot \pi \cdot a \sqrt{dz^2 + da^2} \tag{II.10}$$

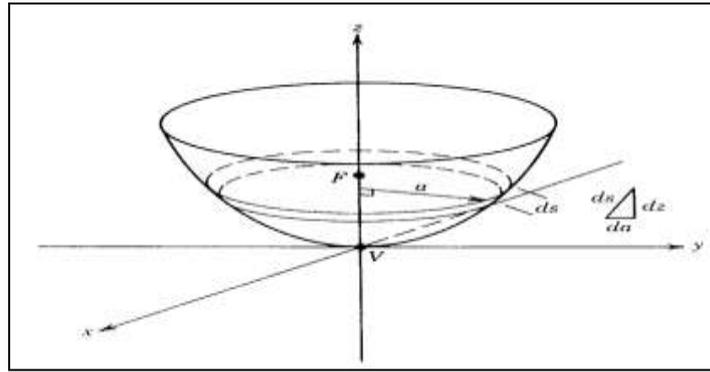


Figure II.7. Elément différentiel de surface parabolique.

$$dA_s = 2.\pi.a \sqrt{\left(\frac{a}{2f}\right)^2 + 1} da \tag{II.11}$$

La surface d'un parabolöide dont la distance focale est f et le diamètre d'ouverture est d est donnée par [15] :

$$A_s = \int_0^d dA_s = 8.\pi.f^2 \left\{ \left[\left(\frac{d}{4f}\right)^2 + 1 \right]^{3/2} - 1 \right\} \tag{II.12}$$

La surface d'ouverture d'un parabolöide est :

$$A_a = \frac{\pi.d^2}{4} \tag{II.13}$$

En utilisant l'équation (II.2), nous trouvons :

$$A_a = \frac{\pi}{4} (2. \pi. \sin\Psi_p)^2 \tag{II.14}$$

$$A_a = 4. \pi .f^2 . \frac{\sin^2\Psi_p}{1+\cos\Psi_p} \tag{II.15}$$

II.3.3.2 Récepteur (absorbeur)

Le récepteur doit absorber autant de flux solaire concentré possible, et le convertir en énergie thermique, cette chaleur est transférée dans un fluide d'un certain type (liquide ou gaz).

En fonction de leur surface de transfert, on classe les récepteurs solaires en deux catégories :

1- Surface externe :

Il y a plusieurs configurations possibles : plane, cylindrique, conique ou sphérique, dépendantes de la répartition, de l'intensité du flux, de la température et de l'application.

Ce genre de récepteur s'applique généralement dans la gamme température de l'ordre 300-400°C maximum.

2- Surface interne ou cavité :

Ce type de récepteur est bien adapté pour le cas où l'intensité du flux et la température de travail sont élevées. Le flux énergétique concentré entre dans le récepteur par l'ouverture dont la surface est généralement 5 à 10 fois inférieure à celle de la surface de transfert dans la cavité. C'est un moyen efficace pour augmenter le coefficient d'absorption et diminuer les pertes [16].

La surface du récepteur doit avoir les caractéristiques suivantes :

- Une bonne conductivité et diffusion thermique.
- Un facteur d'absorption aussi voisin que possible de l'unité.
- Une bonne résistance chimique vis à vis du fluide utilisé.

Il est important que le récepteur soit métallique car seuls les métaux ont de bons coefficients de conduction de la chaleur (cuivre : 360 w/m.k, aluminium : 200 w/m.k, acier 60 w/m.k) [10]. Plus le coefficient de conduction est faible et plus l'absorbeur doit être épais, ce qui augmente le prix et l'inertie de l'absorbeur.

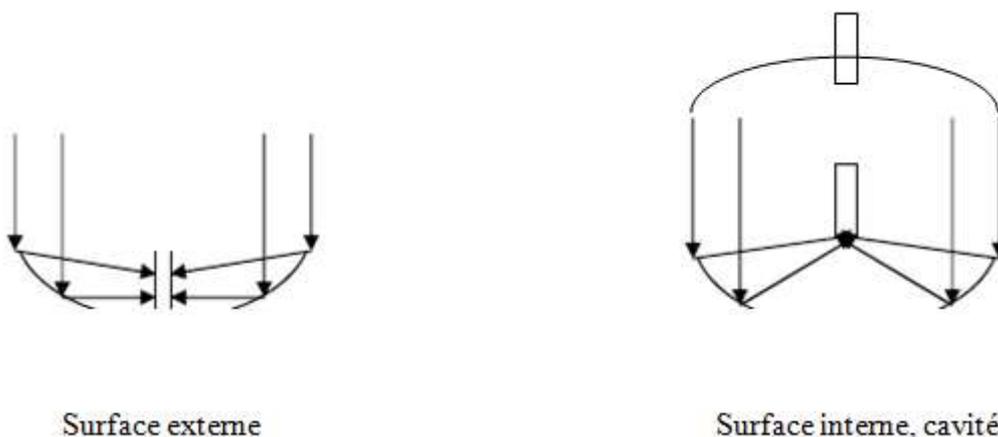


Figure. II.8. Catégories des récepteurs

Notre étude est concernée par des températures élevées, nous allons donc étudier un récepteur type cavité sous forme cylindrique.

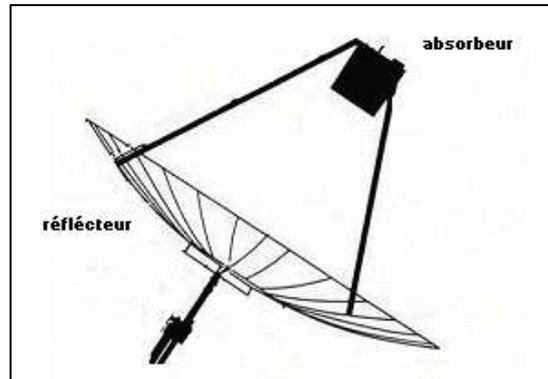


Figure II.9. Concentrateur solaire parabolique.

II.3.4 Dimensions du récepteur

Nous avons vu que la parabole réfléchit tous les rayons lumineux parallèles à son axe en un point foyer. En raison de la taille angulaire finie du disque solaire θ_s est égal à 0.0093 m rad [17].

Quand l'angle d'ouverture d'une parabole en parfait état est aligné vers le soleil, la réflexion des rayons forme une image circulaire (tache solaire) centrée au point focal sous forme d'ellipse. Le petit rayon s_f et le grand rayon r_f de l'ellipse sont indiqués comme suit : [17], [18]

$$S_f = \frac{f \cdot \theta_s}{1 + \cos \psi} \tag{II.16}$$

$$r_f = \frac{f \cdot \theta_s}{(1 + \cos \psi) \cos \psi} \tag{II.17}$$

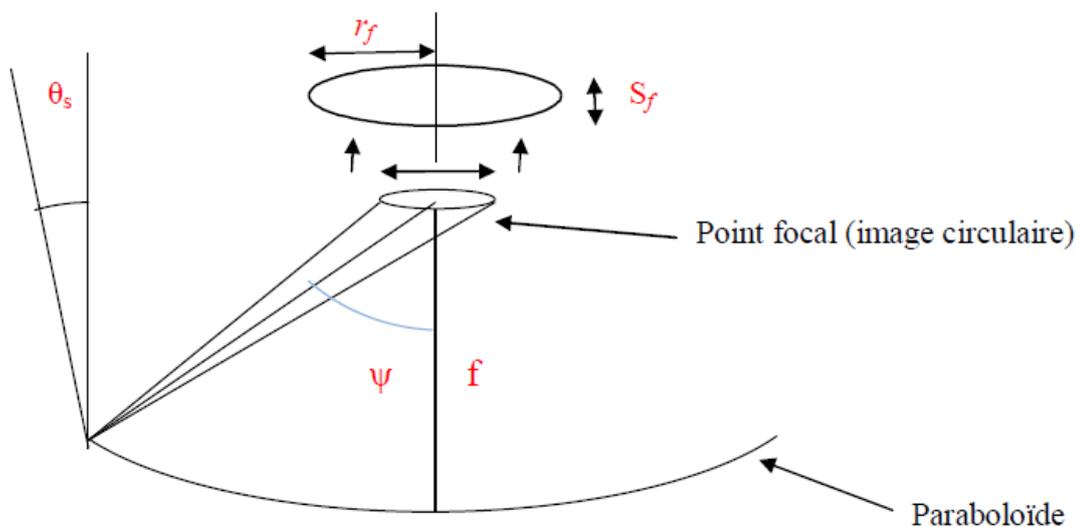


Figure II.10. L'image ellipse

r_f : Diamètre minimum de l'image circulaire centrée au point focal en négligeant l'erreur de poursuite du soleil et l'erreur de focalisation du l'absorbeur. Pour que l'ouverture du récepteur capte tous les rayons du champ arrivant au foyer, le récepteur doit avoir un rayon minimum égal à la taille de la tache solaire. Comme en application solaire, son diamètre est petit, on peut augmenter ce diamètre qui varie selon la distance axiale arrière de point focal (L), Le diamètre d'ouverture du récepteur est donné par :

$$d_2 = \frac{d \cdot L}{f - h} \quad (\text{II.18})$$

d_2 : diamètre d'ouverture du récepteur.

L : distance axiale arrière du point focal.

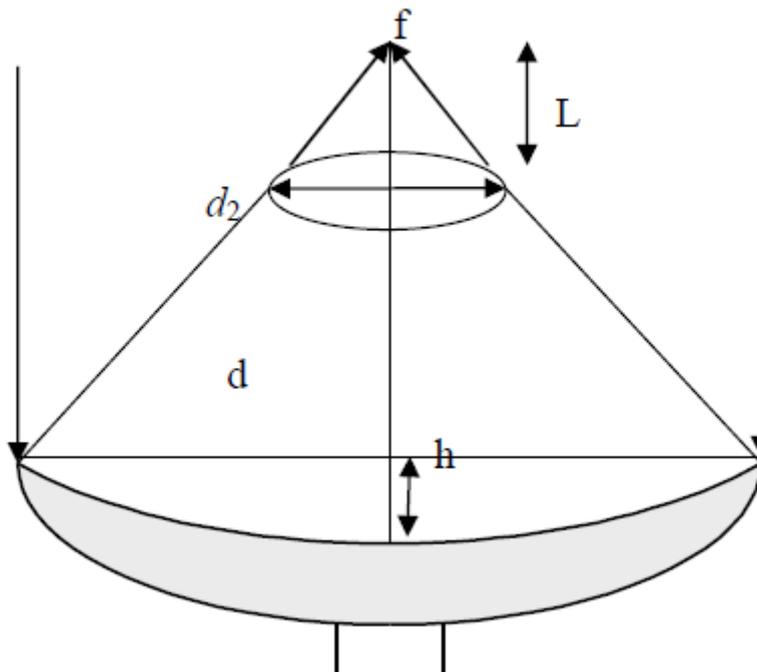


Figure II.11. Distance axiale arrière du point focal

A distance axiale arrière nulle, le diamètre de l'ouverture du récepteur équivalant à la tache solaire vaut 5 mm, l'augmentation du diamètre de l'ouverture est linéaire.

II.4 La Concentration

Ce paramètre indique la quantité de concentration légère d'énergie réalisée par un collecteur donné, Les deux définitions normales de la concentration solaire sont la concentration géométrique (surface) et la concentration système optique (flux).

II.4.1 Concentration géométrique

C'est le rapport de la surface de l'ouverture du collecteur A_a celle du récepteur A_r

$$C_g = \frac{A_a}{A_r} \tag{II.19}$$

II.4.2 Concentration optique

$$C_o = \frac{I_r}{I_a} \tag{II.20}$$

I_r : L'énergie reçue à l'ouverture du récepteur.

I_o : L'énergie reçue à l'ouverture du paraboloïde.

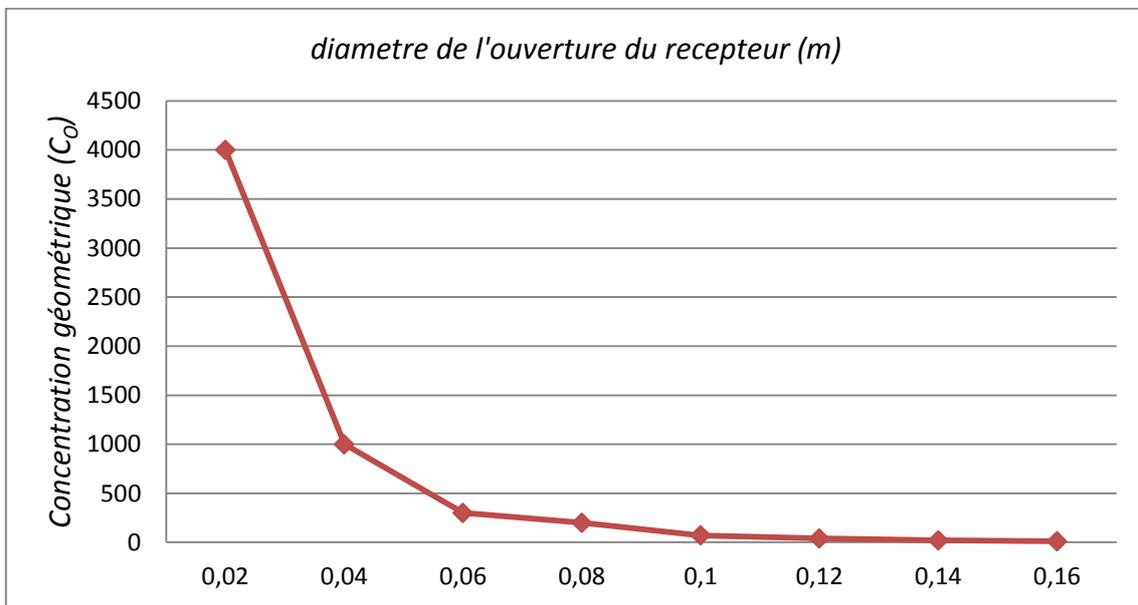


Figure II.12. Concentration géométrique à différentes valeurs du récepteur (d_2)

On remarque que l'optique peut délivrer des concentrations théoriques supérieures à 100000, ce qui est considérable. Dans la pratique on réalise des concentrateurs paraboliques dont les rapports réalisables de la concentration sont beaucoup plus petits, en tenant compte de la contribution des erreurs sur la qualité géométrique des surfaces, de l'erreur de poursuite du soleil et l'erreur de focalisation du récepteur, on peut obtenir de sconcentrations de l'ordre de 40000. [19]

On peut définir la concentration d'un concentrateur parabolique par ; [17]

$$C = \frac{4\sin^2\Psi}{\theta_s^2} \tag{II.21}$$

La concentration maximale $C_{max} = 46250$ pour $\Psi = 90^\circ$

II.5 L'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde

Supposons un rayon solaire incident, avec l'intensité I_b parallèle à l'axe de la parabole, ce rayon sera reflète au foyer f . Puisque nous voudrions calculer toute la quantité des rayons reflétés par la surface entière de la parabole, il est commode que nous considérons un secteur différentiel qui peut être intégré au-dessus de la surface entière de la parabole.

La surface différentielle est définie comme : [11]

$$dA_s = I ds \tag{II.22}$$

ds = longueur différentielle d'arc de la parabole.

I = longueur d'une bande différentielle sur la surface d'une cuvette parabolique.

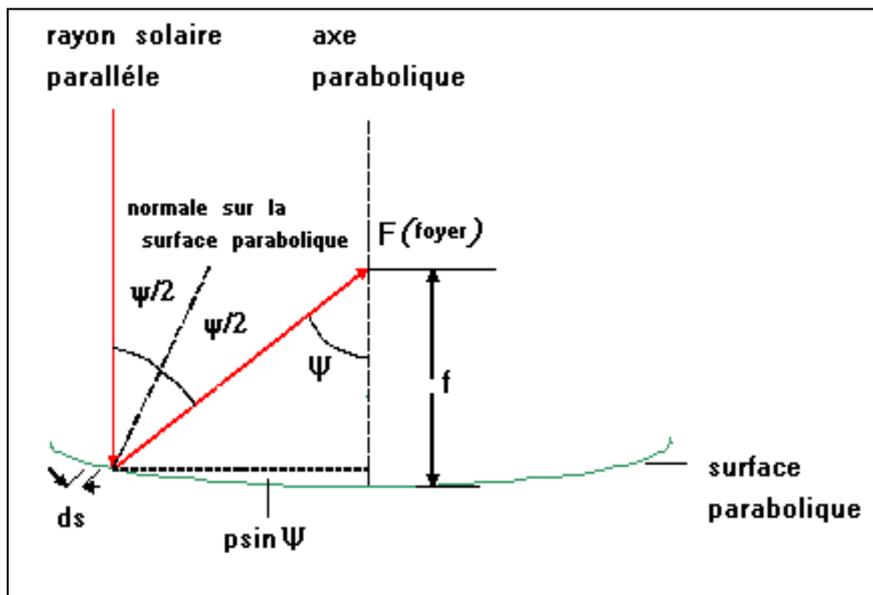


Figure II.13. Réflexion d'un rayon parallèle.

$$dS = \frac{p \sin(d\psi)}{\cos \psi/2} \tag{II.23}$$

L'angle $d\psi$ est petit, $\sin d\psi = d\psi$ donc l'équation (II.23) réduite à :

$$dS = \frac{p(d\psi)}{\cos \psi/2} \tag{II.24}$$

$$dA_s = \frac{I \cdot p \cdot (d\psi)}{\cos \psi/2} \tag{II.25}$$

Tout le flux radiant reflété (dI_a) de ce secteur différentiel (n'assumant aucune perte de réflectivité) au point de foyer est [11] :

$$dI_a = dA_s I_b \cos(\Psi/2) = I_b \cdot P \cdot d\Psi \quad (\text{II.26})$$

En remplaçant (p) par sa valeur, on trouve :

$$dI_a = \frac{2 \cdot f \cdot I_b \cdot d\Psi}{(1 + \cos\Psi)} \quad (\text{II.27})$$

Où $I = 2 \times \pi \times p \times \sin\Psi$

$$I = \frac{4 \cdot f \cdot \pi \cdot \sin\Psi}{1 + \cos\Psi} \quad (\text{II.28})$$

L'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde est : [12]

$$I_a = \int \frac{8 \cdot \pi \cdot f^2 \cdot I_b \cdot \sin\Psi \cdot d\Psi}{(1 + \cos\Psi)^2} \quad (\text{II.29})$$

II.5.1 Puissance solaire absorbée par l'ouverture du récepteur

L'énergie reçue à l'ouverture d'un paraboloïde, en arrivant sur l'ouverture du récepteur, est réduite à cause des pertes. La puissance absorbée est donnée par la formule suivante : [11]

$$Q_a = I_b \cdot A_a \cdot \alpha \cdot \rho \cdot \tau \quad (\text{II.30})$$

Ou : $\eta_{op} = \alpha \cdot \rho \cdot \tau \cdot A_a$

L'équation (II.30) devient ;

$$Q_a = \eta_{op} \cdot I_b \cdot A_a \quad (\text{II.31})$$

η_{op} : rendement optique du concentrateur.

I_b : énergie reçue à l'ouverture du concentrateur.

τ : Coefficient de transmission du récepteur.

α : Coefficient d'absorption du récepteur.

ρ : Coefficient de réflexion de la parabole.

II.5.2 Puissance correspondant aux pertes thermiques

Une fois que l'énergie solaire passe vers la surface d'ouverture du récepteur, elle relève sa température au-dessus de la température ambiante, cette variation de température provoque un processus des pertes de chaleur, ce sont des pertes par convection, par rayonnement et par conduction. La puissance correspondant aux pertes thermiques est donnée par l'expression suivante [20]:

$$Q_p = Q_{p.cv} + Q_{p.r} + Q_{p.cd} \quad (\text{II.32})$$

Q_p : puissance correspondant au perte thermique

$Q_{p.cv}$: pertes par convection

$Q_{p.r}$: pertes par rayonnement

$Q_{p.cd}$: pertes par conduction

II.6 Conclusion

Ce chapitre nous a permis d'identifier les différents paramètres constitutifs du concentrateur et l'influence des différentes dimensions de ce dernier sur son efficacité.

On a aussi constaté que l'erreur de poursuite influe considérablement sur le rapport de concentration, on en conclue donc que l'efficacité du concentrateur dépend aussi de la précision du mécanisme de poursuite.

Troisième chapitre

Réalisation du concentrateur parabolique

III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons présenter les différentes étapes de la réalisation du concentrateur solaire parabolique conçu conformément au modèle théorique étudié au chapitre précédent. Notre travail a été réalisé au niveau de hall technologique de l'Université Abderrahmane MIRA de *Bejaïa*.

III.2 Description des différentes parties du prototype

III.2.1 Le réflecteur

Il est constitué d'une parabole du récepteur satellitaire couverte en papier d'aluminium qui couvre la surface intérieure du réflecteur. Le papier d'aluminium devrait avoir son côté brillant face au soleil. La parabole est reposée sur un support rigide, attachée au sol.

L'aluminium a un coefficient de réflexion égal à 0.8

<i>Caractéristiques géométriques du réflecteur</i>	
Diamètre	$d = 0.9 \text{ m}$
Taille	$h = 0.08 \text{ m}$
L'angle d'ouverture	$\Psi_p = 38.95^\circ$
Distance focale	$f = 0.6328 \text{ m}$
Surface d'ouverture	$A_a = 0.6361 \text{ m}^2$
<i>Masse</i>	$m = 4.3 \text{ kg}$

Tableau.III.1. Caractéristiques géométriques du réflecteur

III.2.2 L'absorbeur

Le métal du récepteur doit avoir une bonne conductivité, nous avons choisi le cuivre comme matériaux du dispositif absorbant (d'une conductivité thermique de l'ordre de $360 \text{ W/}^\circ\text{K.m}^2$). Il s'agit d'un tube en cuivre de 6mm de diamètre et 2m de longueur. L'absorbeur recouvert d'une mince couche de peinture noire pour diminuer la réflexion des rayons solaires, placé dans la zone focale de la parabole face au réflecteur. Le serpentin en cuivre est mis dans un boîtier isolé par sa face exposée au soleil où nous avons utilisé la laine de verre comme isolant.

<i>Caractéristiques de l'absorbeur</i>	
<i>Diamètre</i>	$d_2 = 0.1 \text{ m}$
<i>Longueur</i>	$l_2 = 0.15 \text{ m}$
<i>Surface de captation</i>	$A_r = 0.00785 \text{ m}^2$
<i>Masse du récepteur vide</i>	$M_a = 0.5 \text{ Kg}$

Tableau.III.2. Caractéristiques de l'absorbeur

La concentration géométrique de ce modèle est de :

$$C_g = \frac{A_a}{A_r} = \frac{0.6361}{0.00785} = 81.03 \quad (\text{III.1})$$

III.3 Réalisation du système de poursuite

Comme nous l'avons constaté, la poursuite azimutale est mécaniquement plus abordable. Ce qui donc nous a incités au dimensionnement et à la conception d'un mécanisme de poursuite azimutale.

III.3.1 modélisation des éléments du système de poursuite

La modélisation des éléments du système suiveur a été réalisée à l'aide du logiciel de conception mécanique SolidWorks, en modélisant chaque pièce à part, puis les assembler en se basant sur les contraintes données afin d'obtenir le mécanisme souhaité.

Les plans de toutes les pièces et leur assemblage sont présentés dans l'annexe de ce mémoire.

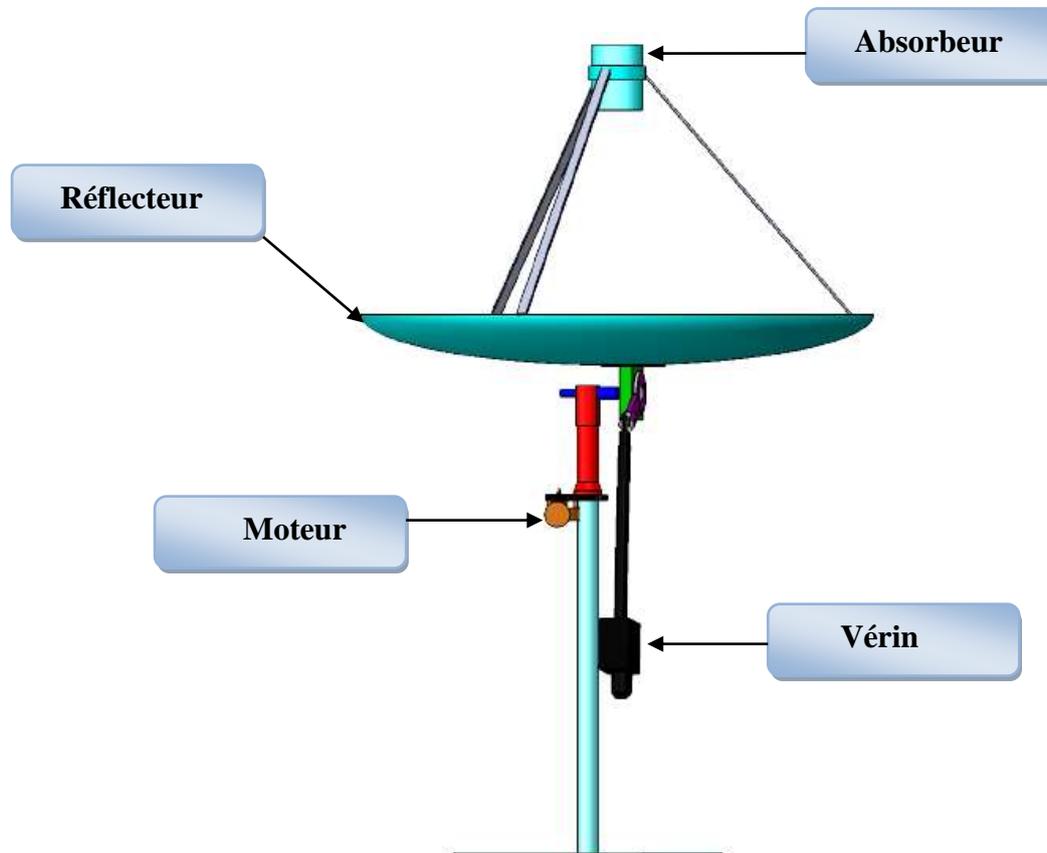
III.3.1.1 Les étapes principales de la modélisation sous SOLID WORKS

Les étapes suivies dans notre démarche de conception se sont organisées comme suit :

- Esquisser chacune des pièces de différentes manières possibles.
- Dessin de chaque pièce en 3D, pour réaliser un assemblage des pièces.
- Faire la mise en plan de chaque pièce finie (conception et dimensionnement).
- Faire l'assemblage en vue d'obtenir le mécanisme.

III.3.1.2 Représentation du système en 3D

Une fois la modélisation de chaque pièce en 3D achevée, on passe à l'assemblage afin de mieux comprendre le fonctionnement du mécanisme (voir annexes).



III.3.3 Réalisation des éléments du système de poursuite

La réalisation des éléments du système de suiveur s'est déroulée au niveau du Hall Technologie au sein de l'université de BEJAIA, à l'aide des machines conventionnelles: tour, fraiseuse, perceuse,...etc.,

On représente dans ce qui suit le rôle des différentes pièces réalisées:

III.3.3.1 Axe principale

C'est l'élément pivot dans cette réalisation (Figure III.1) dont il supporte tout le poids du mécanisme tel que la parabole, le vérin, le moteur,...etc.

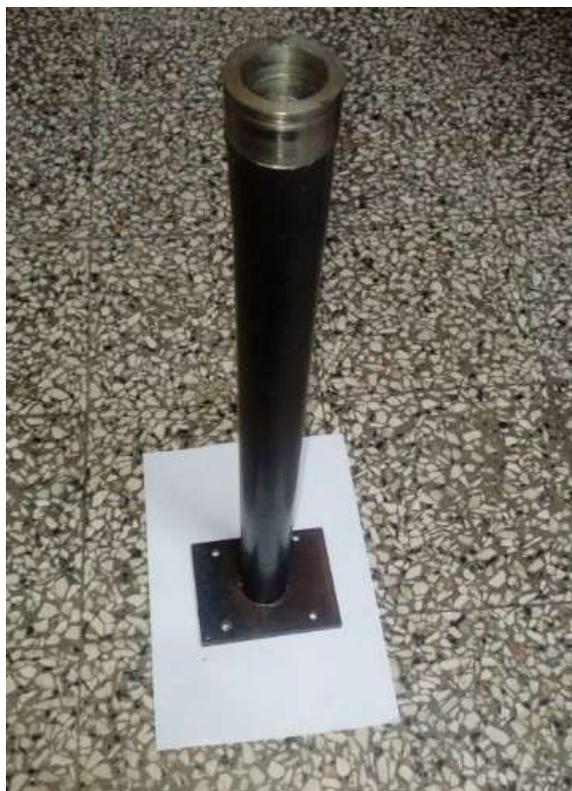


Figure III.1. L'axe principal réalisé.

III.3.3.2 Support principale

Comme l'élément précédent, cette pièce est très importante également, lorsqu'elle fait la rotation alimenté par le moteur à travers un engrenage qui est fixé à elle. (Figure III.2)



Figure III.2. Support principale réalisée.

III.3.3.3 Pièce de fixation

Cet élément assure le maintien et la fixation du support principale dans l'axe principal (figure III.3), il est situé entre le roulement et l'engrenage qui sont monté sur le support.



Figure III.3. Pièce de fixation réalisée.

III.3.3.4 Support parabole

C'est la pièce qui est en contact avec la parabole (figure III.4). Elle est fixée au support principal à l'aide de l'arbre de rotation. Son rôle est d'assurer l'inclinaison de la parabole et cela à l'aide d'un vérin électrique.



Figure III.4. Support parabole réalisé.

III.3.3.5 Arbre de rotation

Au niveau de l'arbre de rotation que le support parabole est fixé via un roulement de co-axialité pour assurer l'inclinaison de la parabole. (Figure III.5)



Figure III.5. L'arbre de rotation réalisé.

III.3.3.6 Réducteur

Son rôle est de réduire la vitesse du moteur et d'assurer une bonne rotation de la parabole. (Figure III.6)

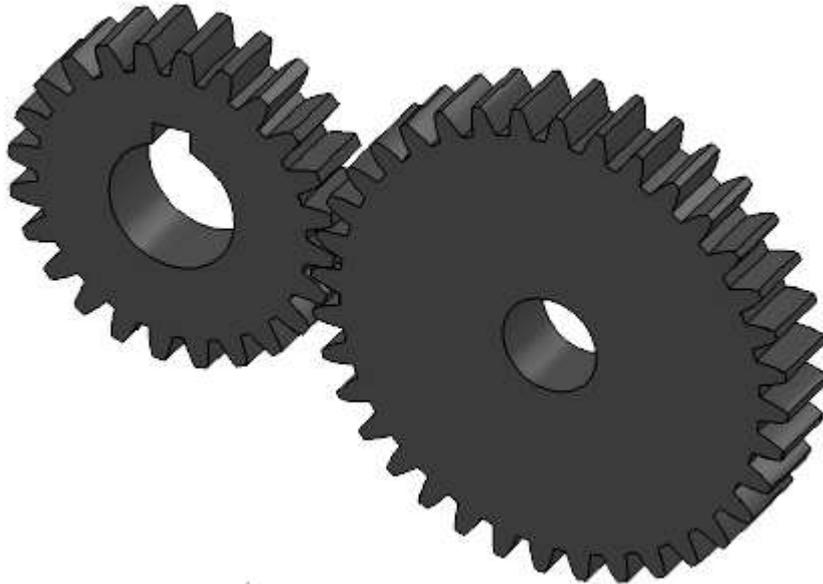
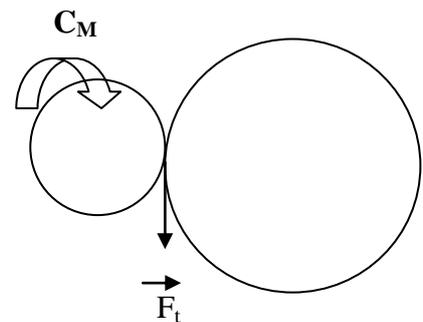


Figure III.6. Réducteur de module 2 et de rapport 1.5

- Le réducteur du système

- Rapport de réduction 3/2
- Diamètre du pignon 26.
- Diamètre de la roue 38.
- Angle de pression 20°.
- Module 2.
- Nombre de dents Z du pignon 24.
- Nombre de dents de la roue 36.
- Diamètre primitif du pignon = $M \cdot Z = 2 \cdot 24 = 48$.
- $K = 6$.



Le couple transmis par le pignon est le couple du moteur principal, dont on prendra la valeur maximale pour la vérification.

$$C_M = 6 \text{ N.m} \Rightarrow F_t = \frac{C_M}{D_p/2} = \frac{6}{0,024} = 250 \text{ N.m} \quad (\text{III.2})$$

$R_p \geq (2,3)^2 \frac{F_t}{K.M^2}$; tel que R_p est la résistance pratique du matériau.

$$R_p \geq 55,1 \text{ N/mm}^2$$

Donc le matériau utilisé pour la construction du réducteur doit être doté d'une résistance pratique supérieure à $55,10 \text{ N/mm}^2$, et pour cela on a choisi Nylons (polymides) $R_p=80 \text{ N/mm}^2$

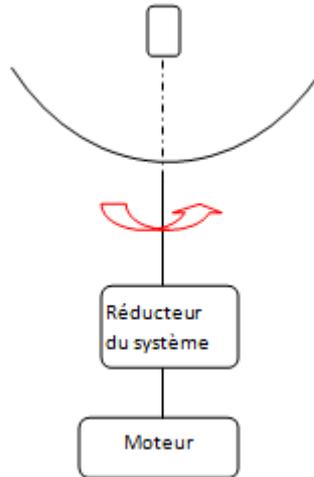


Fig.III.14. Accouplement du motoréducteur

Remarque : Les deux éléments : Roulement de co-axialité et la buté à bille ont été acheté directement au marché.

III.4 principe de fonctionnement du mécanisme réalisé (suiveur solaire).

Après avoir terminé de la réalisation de toutes les pièces précédentes, on passe directement à leurs assemblages, afin d'aboutir à un mécanisme ayant pour but de suivre le soleil. (Figure III.7)



Figure III.7. Le mécanisme réalisé après l'assemblage de toutes les pièces

Le fonctionnement de notre mécanisme s'articule sur deux principes :

1. La rotation de la parabole afin de suivre la trajectoire circulaire du soleil et cela à l'aide d'un moteur azimutale.
2. Assurer l'inclinaison de la parabole à l'aide d'un vérin électrique lui permettant ainsi de suivre la trajectoire allongée du soleil.

III. 5 Conclusion

Après avoir terminé de la partie modélisation des pièces de mécanisme de poursuite sous le logiciel de modélisation et de conception mécanique **solidworks** , nous avons passé à l'étape de réalisation qui est l'usinage de ces pièces et leur assemblage afin d'avoir le mécanisme souhaité.

Dans ce qui suit une partie très intéressante dans notre travail qui est la commande de système.

Quatrième chapitre

Commande du concentrateur parabolique

IV.1 Introduction

Le système suiveur est constitué d'une partie mécanique qui sert à supporter la parabole et la diriger vers le rayonnement perpendiculaire du soleil et d'une partie électronique constituée de capteurs solaires, un microcontrôleur Arduino et des moteurs électriques, pour but d'établir une poursuite automatique.

IV.2 Structure des systèmes automatisés

La figure IV.1 donne le schéma synoptique du montage a réalisé

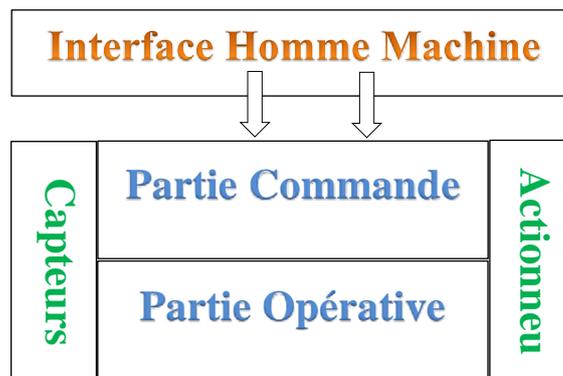


Figure IV.1. Schémas synoptique de la réalisation

IV.2.1 Interface homme machine

L'interface homme-machine (IHM) est l'interface utilisateur qui relie l'opérateur au dispositif de commande d'un système et elle comprend des composants électroniques de signalisation et de contrôle du système automatisé, dans notre cas on a utilisé des boutons et un écran LCD, (Figure IV.2)



Figure IV.2. Afficheur LCD

IV.2.2 Partie opérative

La partie opérative d'un automatisme est le sous-ensemble qui effectue les actions physiques (déplacement, émission de lumière...), mesure des grandeurs physiques (température, humidité, luminosité...) et rend compte à la partie commande. Elle est composée d'actionneurs et de capteurs.

IV.2.2.1 Actionneur

La poursuite en hauteur est assurée par le vérin électrique et le déplacement azimutal est assuré par le moteur à courant continu.

IV.2.2.2 Le vérin électrique

Les vérins électriques utilisent le principe de la transformation d'un mouvement de rotation créé par un moteur électrique en un mouvement de translation grâce à un système mécanique. La vitesse linéaire de la tige du vérin dépend donc de la vitesse de rotation du moteur et du pas du système de la transformation de mouvement. [21]

Le vérin pris en considération pour notre cas est un vérin super power jack de 18 pouces série régulière, conçus pour des paraboles de 120 cm à 180 cm, (Figure IV.3) Dont les caractéristiques sont illustrées dans le tableau IV.1



Figure IV.3. Vérin électrique

Tableau .IV.1. Caractéristiques du vérin

Course du vérin	35 cm
Taille suggéré de la parabole	1,2 à 1,8 m
Capacité de charge	2500 N
Charge statique maximale	4500 N
Vitesse à pleine charge	4,2 mm/s
Tension d'alimentation	24/ 36 V DC
Puissance utile	Environ 70 W

La course maximale que devra entreprendre le vérin est d'environ 31 cm, mais pour éviter tout risque de venue en butée mécanique, nous avons prévue 40 mm de course supplémentaire.

La hauteur du soleil passe de 0° à environ 80° le jour du solstice d'été et le vérin parcourt environ 12 cm de sa course et ceci en environ 6 heures. Nous concluons donc d'après les caractéristiques du vérin que les exigences en vitesse de l'installation sont vérifiées.

Comme la visse du vérin choisis est à filet trapézoïdal, le vérin est donc irréversible mécaniquement permettant le blocage du concentrateur en position voulue quand le moteur du vérin n'est pas alimenté.

IV.2.2.3 Le moteur azimutal

L'entraînement du concentrateur par le moteur ne peut s'effectuer qu'à faible vitesse. Or, on sait qu'un moteur électrique doit tourner à une vitesse proche de sa vitesse à vide. Pour satisfaire ces deux exigences, on est amené à utiliser un moteur CC avec un réducteur de vitesse. (Figure IV.4)

Le couple résistant perçus par le moteur azimutal est essentiellement dus aux frottements au niveau de la butée à billes.

Le moteur électrique possède les caractéristiques suivantes ;



Figure IV.4. Moteur CC

Tableau IV.2. Caractéristiques de moteur

Courant max	3A
Puissance utile (W)	30 W
Tension d'alimentation (V)	12 DC

IV.3.2 Capteur

Est un dispositif transformant l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable, telle qu'une tension électrique.

IV.3.2.1 Capteurs optique

Un capteur optique est un dispositif capable de détecter l'intensité ou la longueur d'onde des photons. On trouve dans cette famille de capture : les photodiodes et les phototransistors et les photorésistances.

➤ **Photodiodes**

Les photodiodes sont des diodes au silicium qui exploitent l'effet photoélectrique. Sous éclairement, les photons libèrent des paires électrons-trous. Sa polarisation en inverse produit un courant (IR) qui augmente proportionnellement à l'intensité lumineuse (Figure.IV.5), [22]

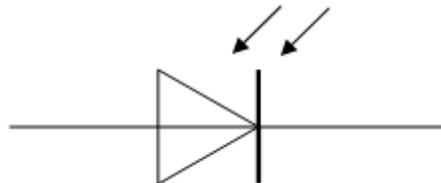


Figure.IV.5. Symbole d'une Photodiode

Comme pour les photorésistances, la sensibilité spectrale dépend du type de diode : Une diode infrarouge ne détectera que très mal une lumière rouge par exemple

➤ **Les phototransistors**

Le faible courant électrique transmis par les photodiodes a poussé les constructeurs de semi-conducteurs à rajouter à ce composant un transistor donnant ainsi naissance au phototransistor, (Figure.IV.6) [22]

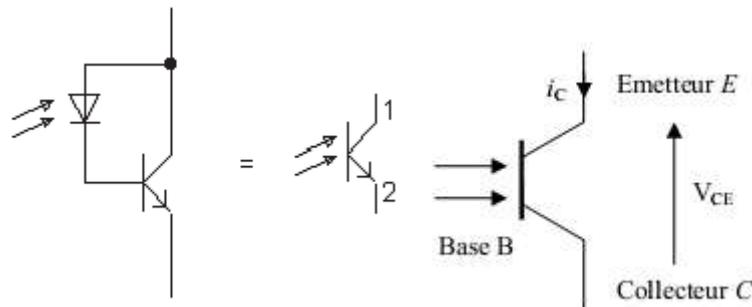
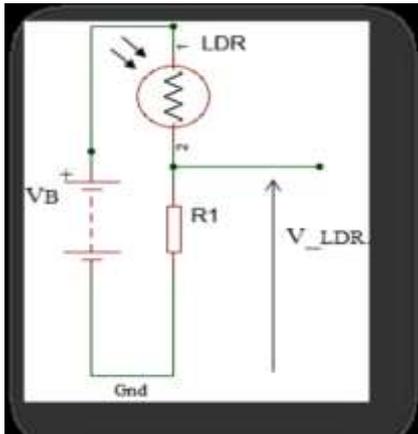


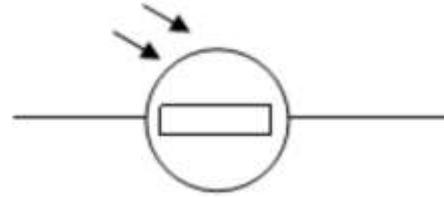
Figure.IV.6. Symbole d'une Phototransistor

➤ **La photorésistance**

Une photorésistance est réalisée à partir d'un élément semi-conducteur dont la résistance varie en fonction de l'éclairement. Dans l'obscurité la résistance est élevée, à la lumière du jour elle est beaucoup plus faible. Les photorésistances sont des capteurs très utilisés en particulier comme détecteur de lumière ou d'obscurité. C'est un transducteur qui offre une grande sensibilité, une faible variation lumineuse se traduit par une variation importante de la résistance, (Figure.IV.7) et (Figure. IV.8). [22]



*Figure.IV.7. Circuit d'exploitation
des LDRs*



*Figure.IV.8. Symbole d'une
Photorésistance*

Le capteur qu'on a utilisé est la photorésistance ou LDR. Le choix s'est porté sur cette dernière vu que son temps de réponse est beaucoup plus court par rapport à la photodiode et phototransistor.

IV.4 Partie commande

La partie commande est le centre de décision qui donne des ordres à la partie opérative. Dans notre cas on a utilisé la carte (Arduino méga) comme une carte de commande.

IV.4.1 Microcontrôleur Arduino

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation. Arduino est utilisé dans beaucoup d'applications comme l'électrotechnique industrielle et embarquée, Chaque module d'Arduino possède un régulateur de tension +5 V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonateur céramique dans certains modèles). Pour programmer cette carte, on utilise l'logiciel IDE Arduino. [23]

IV.4.1.1 Arduino MEGA

L'Arduino Mega 2560 est un panneau de microcontrôleur basé sur l'ATmega2560 Il comporte 54 broches d'entrée / sortie numériques (dont 15 peuvent être utilisées comme sorties PWM), 16 entrées analogiques, 4 UART (ports série matériels), une connexion USB, une prise de courant, un en-tête ICSP, Et un bouton de réinitialisation. Il contient tout le nécessaire pour supporter le microcontrôleur; Il suffit de le connecter à un ordinateur avec un câble USB ou de l'alimenter avec un adaptateur AC-DC ou une batterie pour démarrer, (Figure.IV.9). [23]

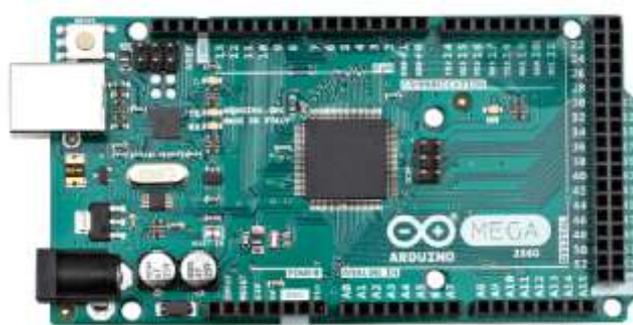


Figure.IV.9. Image de L'Arduino Méga 2560

IV.4.2 L'environnement de programmation

Le logiciel de programmation de la carte Arduino sert d'éditeur de code (langage proche du C). Une fois, le programme tapé ou modifié au clavier, il sera transféré et mémorisé dans la carte à travers la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information, ce programme appelé IDE Arduino.

IV.4.2.1 Structure générale du programme (IDE Arduino)

Comme n'importe quel langage de programmation, une interface souple et simple est exécutable sur n'importe quel système d'exploitation Arduino basé sur la programmation En C, (Figure.IV.10)

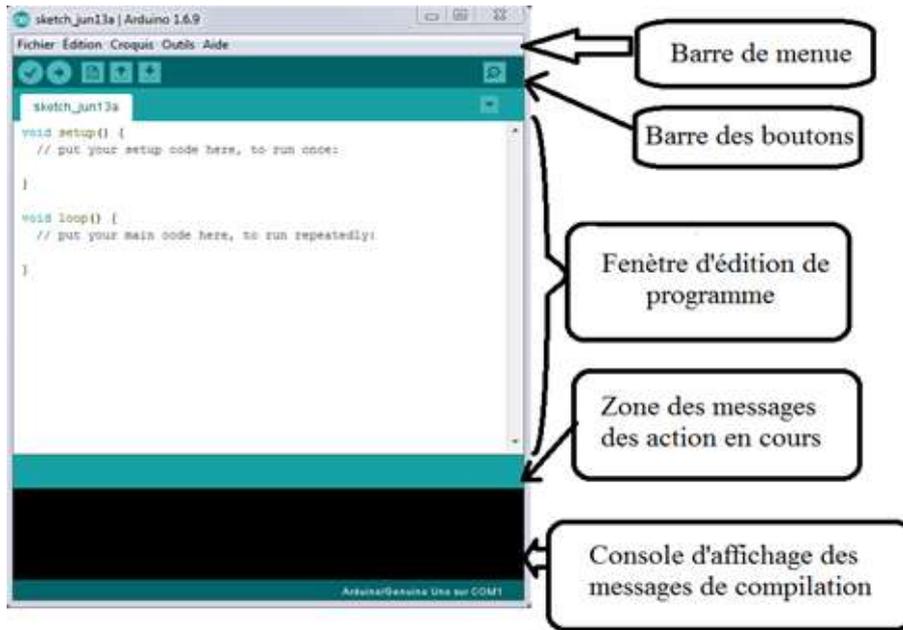


Figure.IV.10.Interface IDE Arduino.

IV.5 Réalisation et implémentation

Avent de présenté les différente étapes de la réalisation de cette partie de projet, on va introduire d’abord le principe générale de poursuite automatisée conçue.

IV.5.1 Principe générale

Le Principe repose sur la différence d’éclairement incident sur les capteurs de lumière photorésistance, ou on a utilisé quatre capteurs dont deux capteurs sont placé en horizontale et deux autres en verticale sur la parabole, (Figure.IV.11).

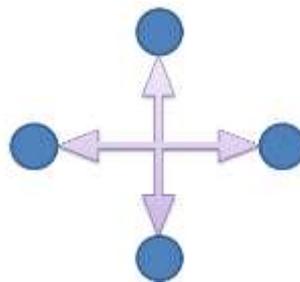


Figure.IV.11. Positionnement des quatre capteurs utilisé

Tan que le circuit de contrôle et de commande assure la fonction de comparaison des signaux émis par les capteurs vert l’arduino, ce dernier calcule leur différence puis renvois des impulsions au moteur et au vérin pour repositionnée la parabole perpendiculairement au rayons solaire.

IV.5.2 Programmation

Pour bien illustré le programme on a réalisé un organigramme qui explique le déroulement des différentes séquences (Figure.IV.12):

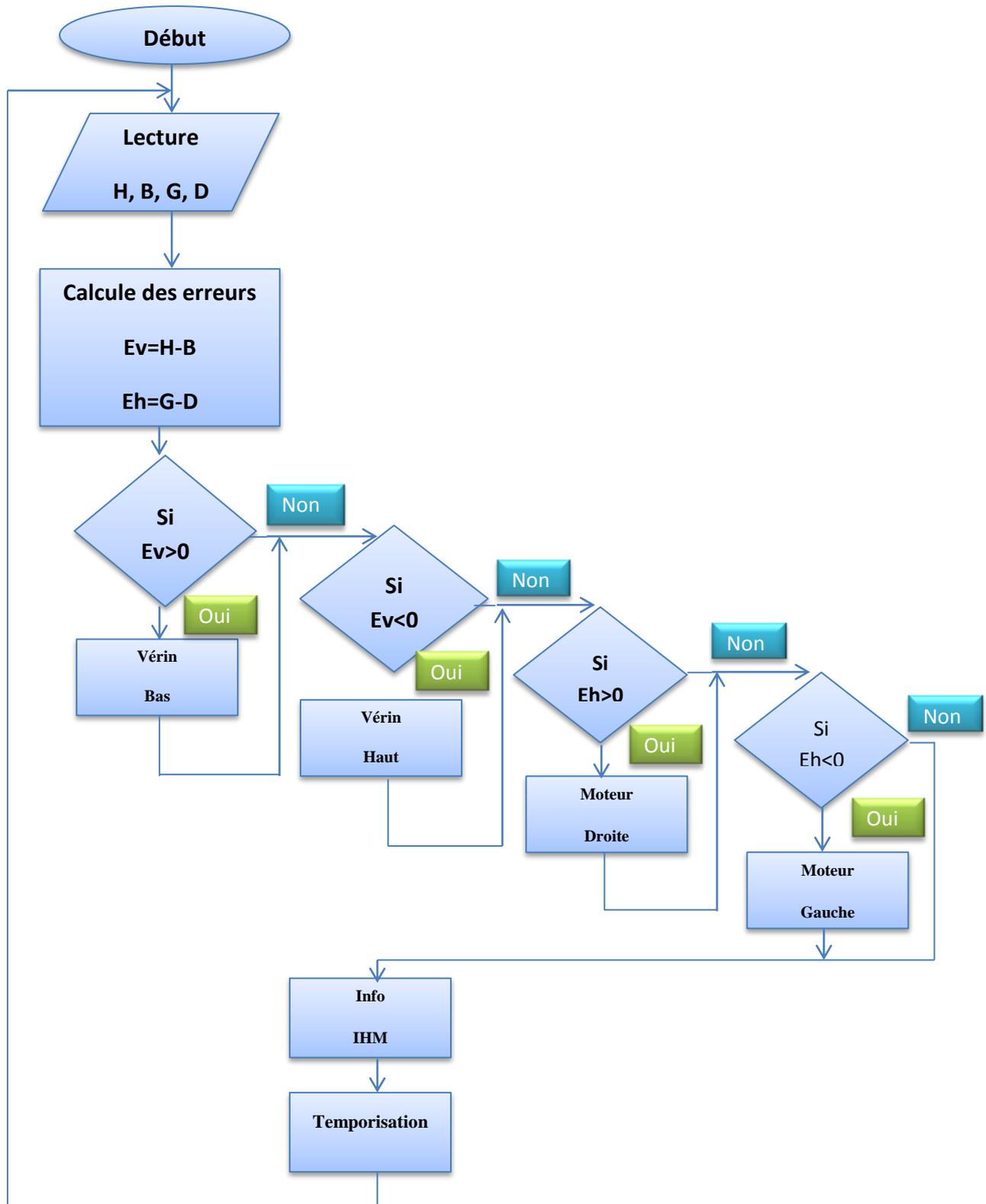


Figure IV.12. Organigramme Principal

IV.5.3 Test de programme sur logicielle de simulation (Proteus-ISIS)

La simulation de notre montage a été faite à l'aide du logicielle Proteus-ISIS qui permette de tester et récupérer en temps réel les résultats de la simulation, pour cela on mit six LED remplacent le vérin et le moteur deux LED pour la direction gauche-droite de moteur et deux autre LED pou l'inclinaison haut et bas de vérin et pour indiquer le stop une LED pour chacun de ces actionneurs, (Figure.IV.13)

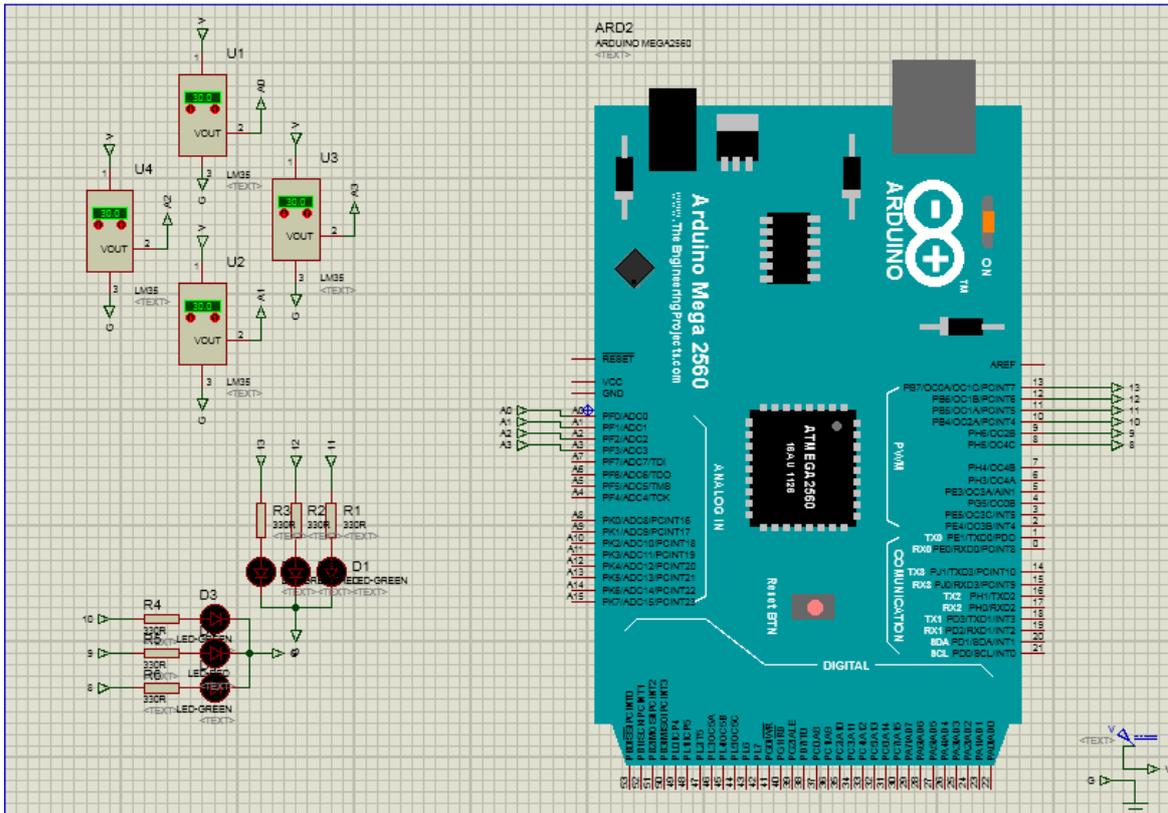


Figure.IV.13.Montage du système sous Proteus.

IV.6 Alimentation des actionneurs et de la carte arduino

L'alimentation de ces éléments est un montage transformant la tension alternative du secteur en une tension continue.

- 36 V DC pour l'alimentation de vérin
- 12V DC pour l'alimentation de moteur
- 12V DC pour l'alimentation de la carte de commande arduino

IV.6.1 Présentation des différents composants de l'alimentation

Une alimentation secteur est composée d'un transformateur, d'un redresseur, d'un filtre et d'une stabilisation/régulation selon les besoins. Nous allons étudier les différents composants de l'alimentation. (Figure.IV.14)



Figure.IV.14.Schéma synoptique de la carte d'alimentation stabilisée

IV.6.1.1 transformateur

Un transformateur est un appareil statique à induction qui remplit deux fonctions, (Figure.IV.15) :

- ✓ 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.

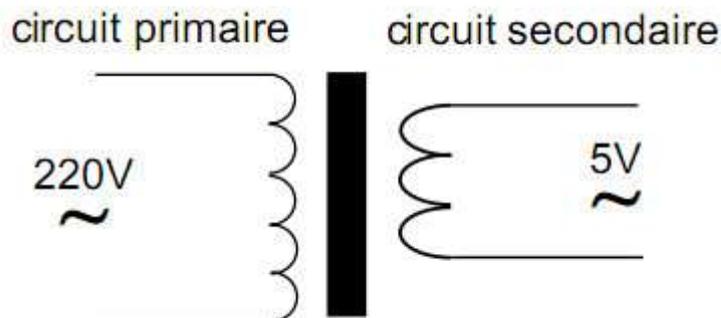


Figure.IV.15. Représentation schématique d'un transformateur

IV.6.1.2 Redresseur

Le redresseur convertit la tension alternative du secondaire du transformateur en impulsions unidirectionnelles du courant (courant continu), (Figure.IV.16).

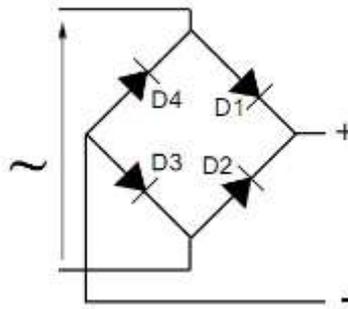


Figure.IV.16. Schéma représentatif du pont redresseur

IV.6.1.3 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.6.1.4 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.

IV.6.1.5 Stabilisation

On utilise un couple de condensateurs montés en parallèle (1er céramique ,2eme chimique) et sa a la sortie de chaque régulateur pour la stabilisation.

IV.6.2 Carte d'alimentation réalisée

IV.6.2.1 Alimentation des deux actionneurs

Pour les deux actionneurs on a utilisé juste un transformateur et un pont de diode L2W005G (voir l'annexe) et des capacités de filtrage, nous l'avons tout d'abord simulé sur logiciel PROTEUS-ISIS, (Figure.IV.17).

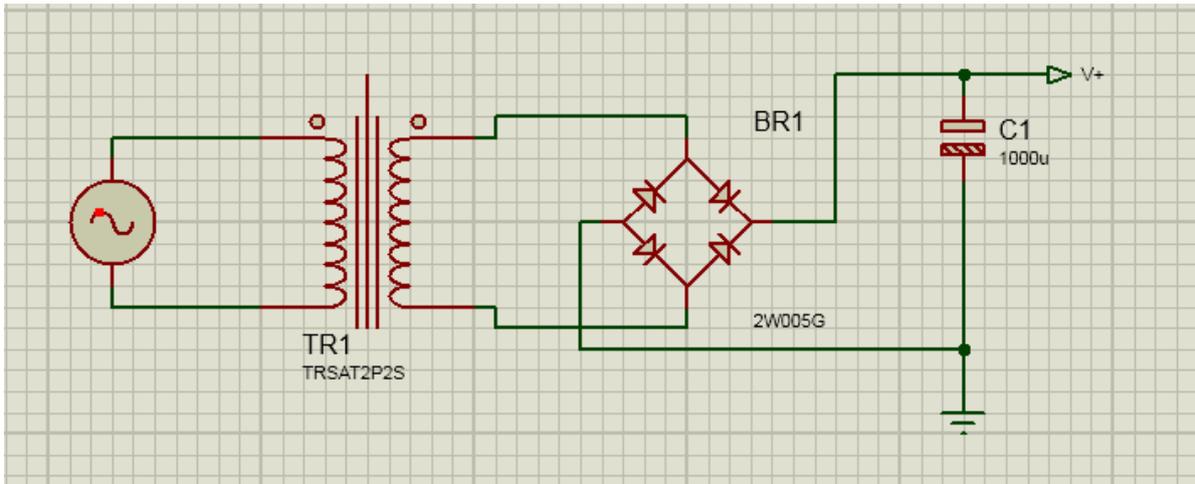


Figure.IV.17. Circuit d'alimentation sous ISIS

Pour la commande de moteur dans les deux sens de rotation on a utilisé un circuit de puissance L239D (pont en H), (voir l'annexe) , (figure.IV.18)

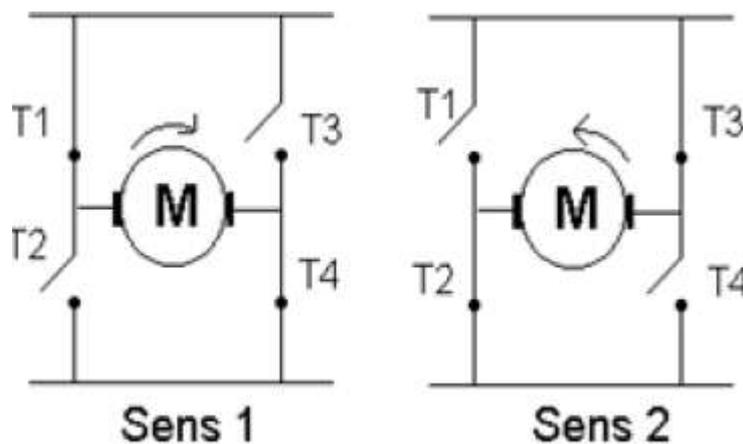


Figure.IV.18. Variation de sens du moteur par pont en H

IV.6.2.2 Alimentation de la carte de commande arduino

Pour l'alimentation de la carte arduino on a utilisé un transformateur 220V/24V et un pont de diode et deux capacité de filtrage et deux autre en céramique et un régulateur 7812 (voir l'annexe) et cela pour but d'avoir une tension 12 V stable, (Figure.IV.19).

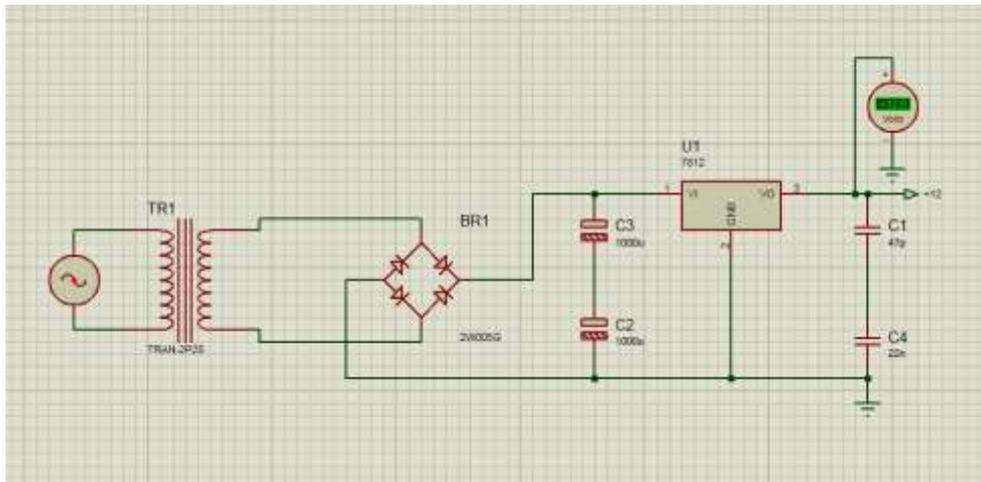


Figure.IV.19. Circuit d'alimentation Arduino sous ISIS

IV.7 Conclusion

La réalisation du suiveur de soleil nécessite un bon choix du composants électronique utilise pour ne pas compliqué le principe de commande et pour réduire la consommation de l'énergie consommé par le suiveur.

Dans ce même chapitre on a effectué des testés par lampe électrique les résultats ont été magnifique et notre système suit la lumière avec fidélité.

L'importance de ce système est de capter le rayonnement solaire parallèle venant directement du disque solaire (rayonnement direct). Donc nous obtenons une nette amélioration du niveau de l'éclairément solaire tout au long de la journée en utilisant ce système.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce projet de fin d'étude est la conception et la réalisation de concentrateur parabolique avec une poursuite automatique.

Notre but réside dans la mise en œuvre d'une solution technique permettant de transformer un suiveur solaire manuel en un suiveur automatique afin de rendre le système de poursuite autonome d'une part et d'améliore son rendement d'autre part.

Pour cela une analyse critique a été faite sur le modèle de poursuite intitulé (étude de concentrateur parabolique, promotion 2014) suivi par des modifications majeure dans la partie mécanique afin d'améliorer les performances de système et sa faisabilité. Et de même la modification touche aussi la partie commande lorsqu'ils ont proposé une poursuite aveugle grâce à un automate programmable basé sur l'implantation des équations de prédéfinition de l'azimut et de la hauteur du soleil dans un système qui pourra simultanément déterminer la position du soleil, en tenant compte de la longitude, la latitude, l'heure et la date du lieux en question, mais cette méthode a des inconvénient comme :

- la dépendance des données géographiques de chaque lieu.
- La trajectoire de soleil change à long terme.

Et pour cette raison on a choisi une autre méthode qui est la poursuite sensible qui consiste à détecter la variation de la position du soleil à l'aide des composant électronique programmable géré par un microcontrôleur ARDUINO qui est très modulaire et laisse aux concepteurs la possibilité d'exprimer leur créativité par la mise en œuvre rapide d'un prototypage grâce à l'offre très riche des SHIELDS proposés par les fabricants.

Notre suiveur peut être utilisé dans toutes les applications ayant besoin de la poursuite solaire notamment le photovoltaïque.

Ce projet de fin d'études était pour nous l'occasion précieuse de faire un travail multidisciplinaire, associant l'instrumentation, l'électronique, l'automatique, la mécanique, le transfert thermique, la programmation et les énergies renouvelables.

En perspective, on souhaite d'améliorer notre suiveur on lui ajoutant des systèmes de protection contre le changement brusque du climat, et de couvrir cette surface parabolique par un miroir qui la corresponde à fin d'amélioré le rendement, et d'ajouté des options de commande comme le contrôle à distance.

Bibliographie

Références bibliographiques

- [1] : site internet : <http://www.thermique55.com/principal/thermiquesolaire.pdf>
- [2] : M.P.Thekackora Solar Energy-14-1973
- [3] : J. BENEMANN, “Status Report on solar through power plant”, Pilkington Solar International GmbH, Germany, 1996.
- [4] : Rapport, “Concentrating solar power for the Mediterranean Region”, Germany Aerospace center (DLR), Germany, A-4, 2005.
- [5] : M.Geyer, “Report on the solar PACES, START Mission to Algeria”, IEA Solar PACES, USA, 2003.
- [6] : Microsoft Encarta 2009.
- [7] : Document, “Contrôle des Systèmes DEGERtraker”, DEGERenergie GmbH, 72160 Horb/Germany. <http://www.degerenergie.de>
- [8]: European office: Solenergy Europe St. Petersburg, Russia, Universal solar tracker Sunflower St.
- [9] : M. Haddadi, “Elaboration d’une Commande pour Héliostat”, Revue des Energies Renouvelables, Numéro Spécial, pp. 153 – 157, 2003.
- [10] : K. Ogilvie, “L’abc de technologie de l’énergie renouvelable, pollution probe”, Canada, septembre 2003.
- [11] : B.Stine ,Michael Geyer, “Power from the sun”, Lyle centre for regenerative studies 2001.
- [12] : U.H.Kurzweg , J.P.Benson ,”Iso-Intensity absorber Configurations For parabolic Concentrators” , Solar energy .Vol.29,No.2,pp167-174,1982.
- [13] : Dan dye, Byard Wood, “Non-imaging devices for uniform irradiation on Planar Surface For parabolic Concentrators”, Semi-Annual Technical Progress Report August 2002-April 2003. Nevada. Report 41164R03.
- [14] : M.Srinivasan, L.V.Kulkarni, “A simple technique of fabrication of parabolic Concentrators” . Solar energy, volume 22, pp 463-465.Novembre 1978.
- [15] : B.Stine ,Michael Geyer, “Power from the sun”, Lyle centre for regenerative studies 2001.
- [16] ; M. Kayouche, “système de poursuite du soleil, bilan énergétique et optimisation de Réglage”. Thèse de Magister. Université de Constantine ,1996 .

- [17] : D. Kedwards, L. Marlot, “Capteurs Solaires”, Edition S C M, Paris 1979.
- [18] : J.E .Braun et J.C .Mitchell, “Solar geometry for fixed and tracking surface”. Solar Energy, vol.31.N°.pp394-444 ,(1983).
- [19] : Paul De Neyer, “Energie solaire thermique”, Guide des Energies Renouvelables, mai 2003.
- [20] : D.Kedwards, L.Marlot, Capteurs Solaires, Edition S C M, Paris 1979.
- [21] : Site internet : www.ns7.freeherberg.com/~const59/cpo/cours/automatusme/verelec.pdf
- [22] : PFE : 2011-2012 : Thème Etude d’un système de suiveur solaire pour un concentrateur cylindro-parabolique, Université Abderrahmane MIRA de Bejaia
- [23] : <http://www.arduino.org/products/boards/arduino-mega-2560>

Annexes

4

3

2

1

F

F

E

E

D

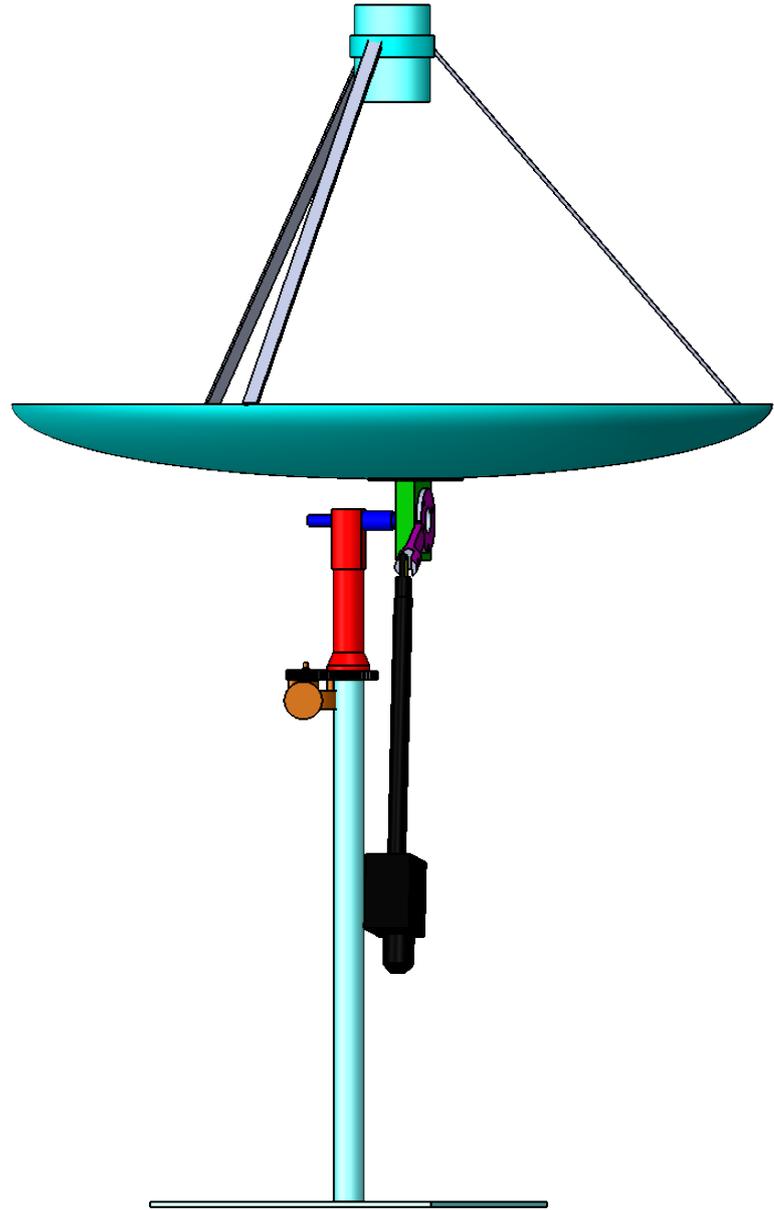
D

C

C

B

B



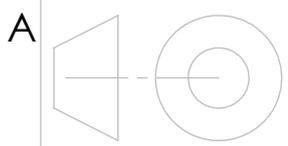
UNIVERSITE A-Mira de bejaia

Mastre ELM

ECHELLE 1:10

Assemblage final

20/05/2017



RACHIDIOU ET HAMROUNE

Suiveur solaire

4

3

2

1

A

A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

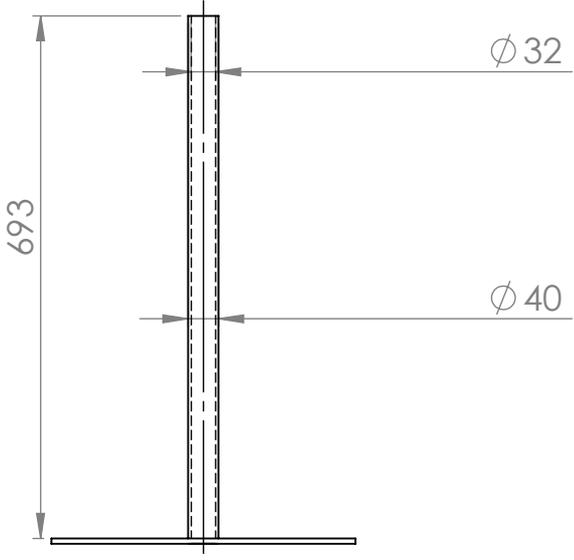
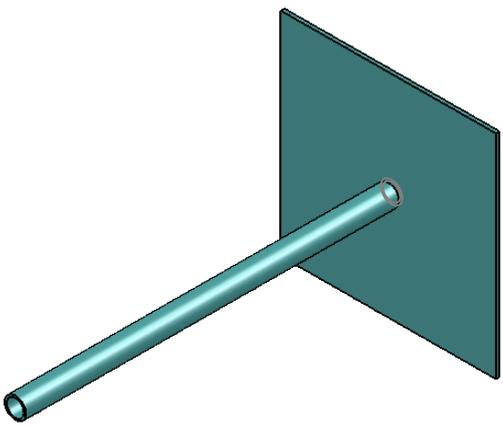
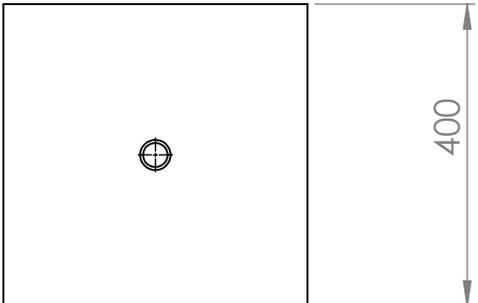
D

C

C

B

B



UNIVERSITE A-Mira de bejaia

Mastre ELM

ECHELLE 1:10

Axe principal

20/05/2017

A

A



RACHIDIOU ET HAMROUNE

Suiveur solaire

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

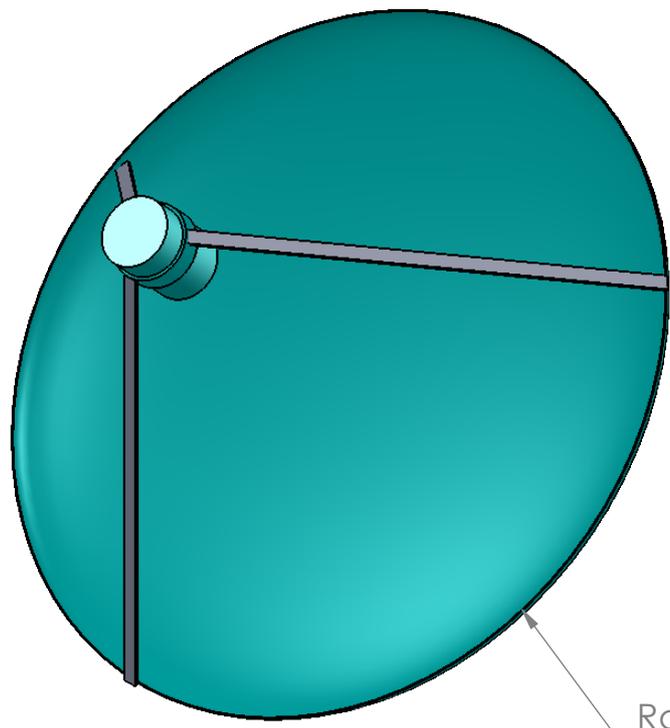
D

C

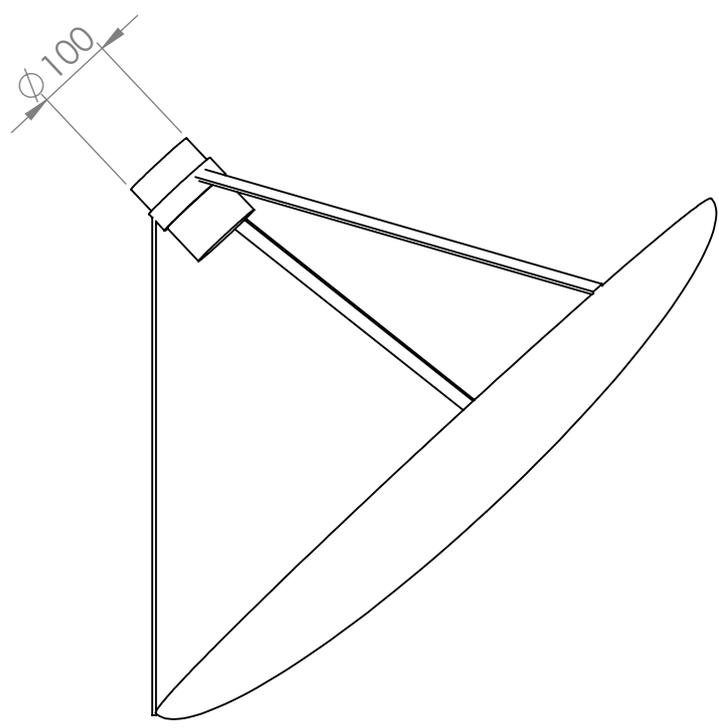
C

B

B



Rayon vrai 500



$\phi 100$

UNIVERSITE A-Mira de bejaia

Mastre ELM

ECHELLE 1:10

Concentrateur parabolique

20/05/2017

A

A



RACHIDIOU ET HAMROUNE

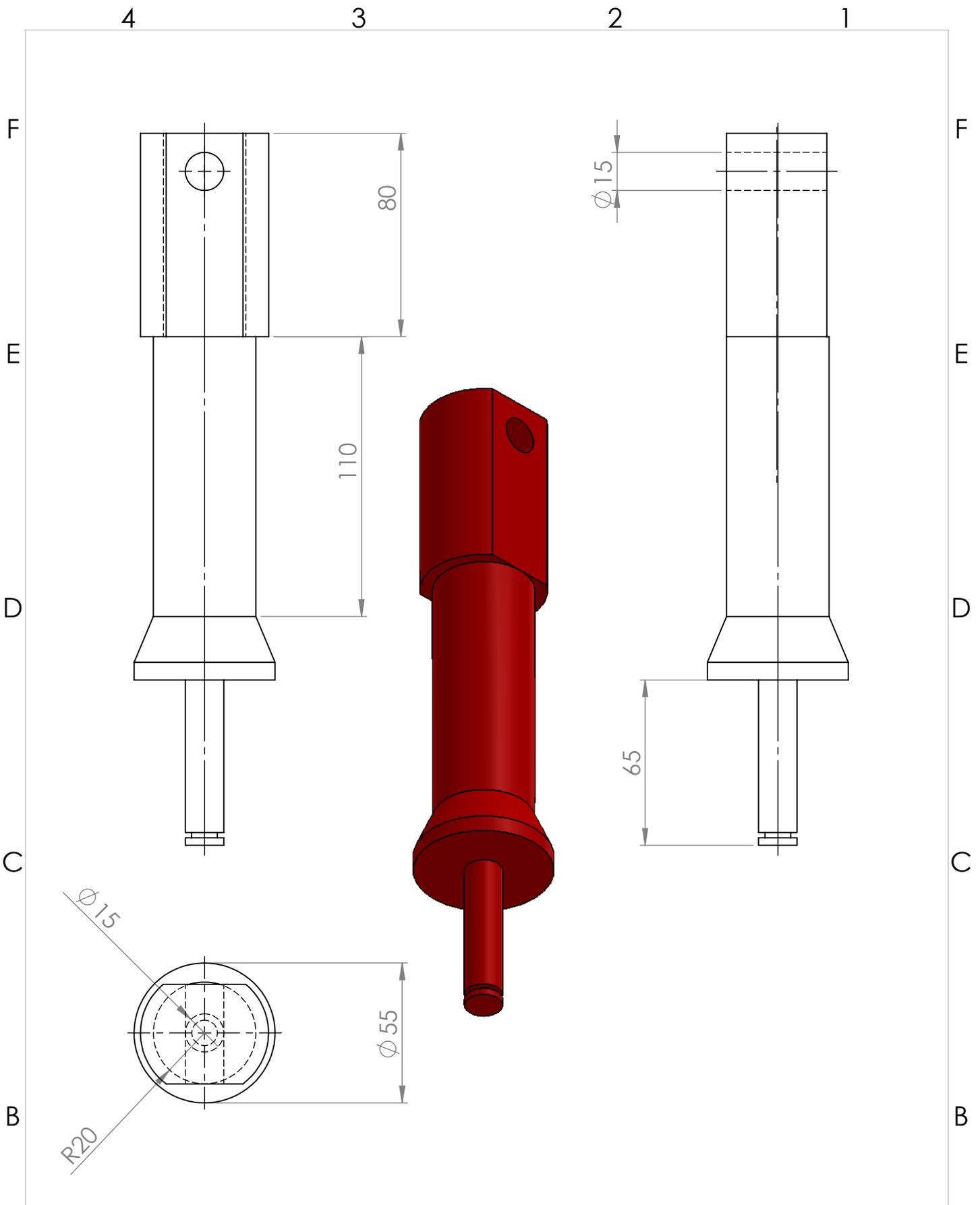
Suiveur solaire

4

3

2

1



UNIVERSITE A-Mira de bejaia

Mastre ELM

ECHELLE 1:10

Support principal

20/05/2017



RACHIDIOU ET HAMROUNE

Suiveur solaire

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

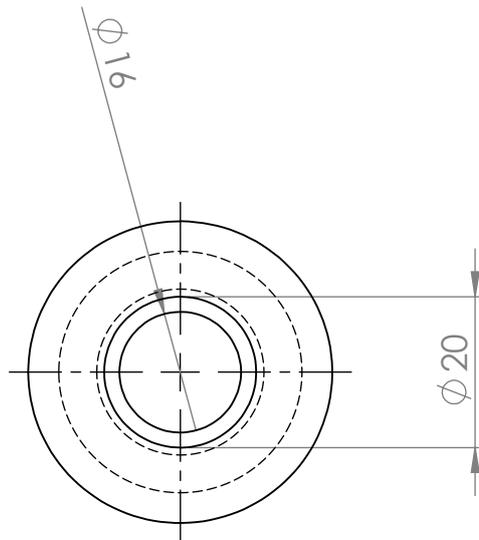
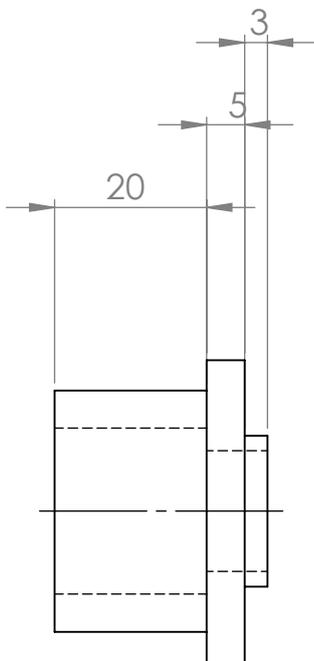
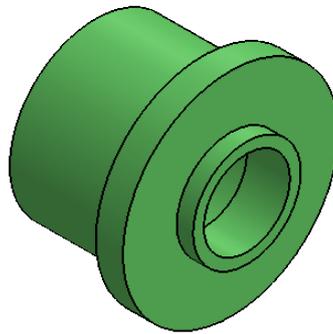
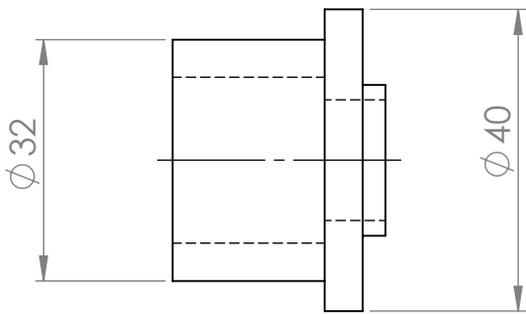
D

C

C

B

B



UNIVERSITE A-Mira de bejaia

Mastre ELM

ECHELLE 1:1

Pièce de fixation

20/05/2017

A

A



RACHIDIOU ET HAMROUNE

Suiveur solaire

4

3

2

1

4

3

2

1

F

F

E

E

D

D

C

C

B

B

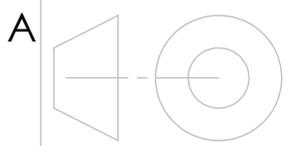
UNIVERSITE A-Mira de bejaia

Mastre ELM

ECHELLE 2:1

Roulement 1532

20/05/2017



RACHIDIOU ET HAMROUNE

Suiveur solaire

4

3

2

1

A

A

4

3

2

1

F

F

E

E

D

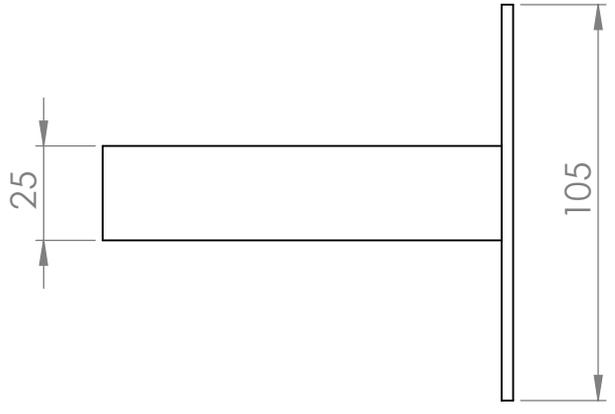
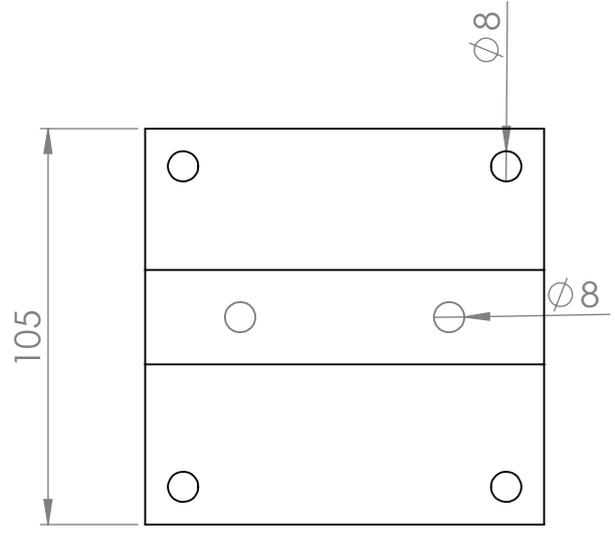
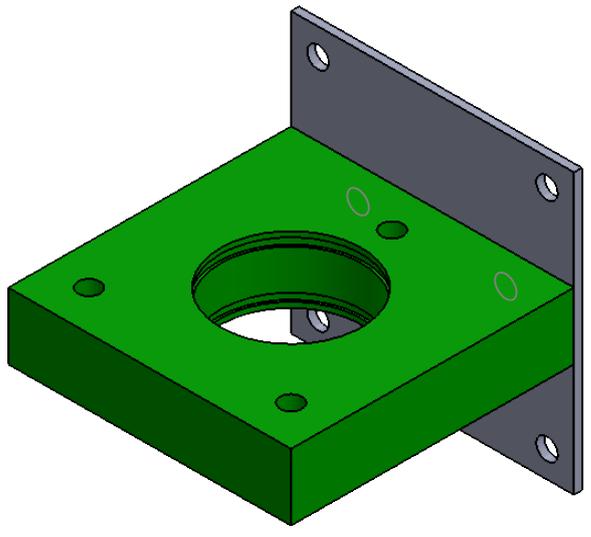
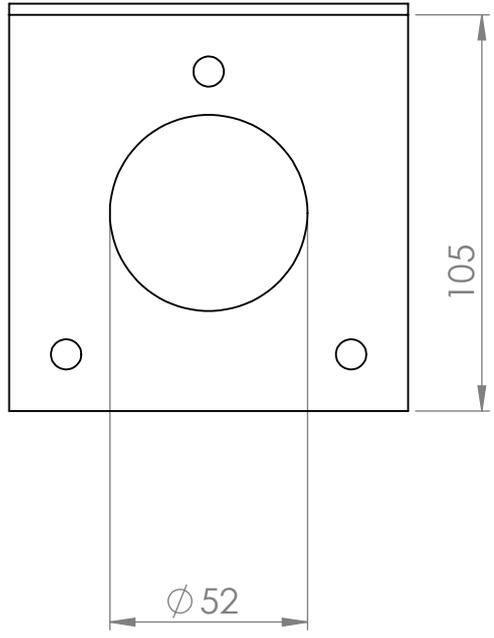
D

C

C

B

B



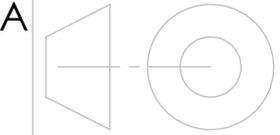
UNIVERSITE A-Mira de bejaia

Mastre ELM

ECHELLE 1:2

Spport parrabole

20/05/2017



RACHIDIOU ET HAMROUNE

Suiveur solaire

4

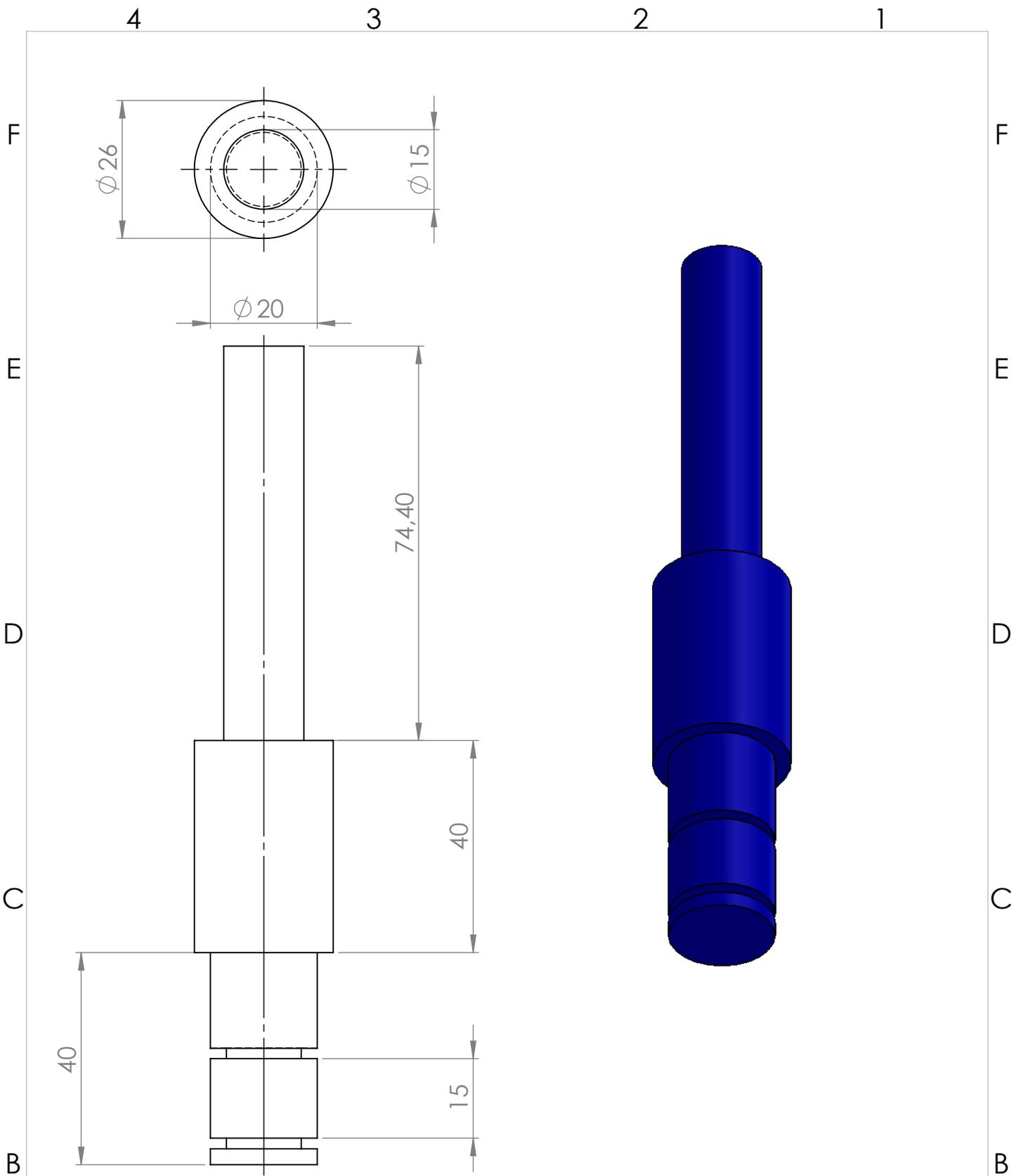
3

2

1

A

A



UNIVERSITE A-Mira de bejaia

Mastre ELM

ECHELLE 1:1

Arbre principal

20/05/2017



RACHIDIOU ET HAMROUNE

Suiveur solaire

4

3

2

1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

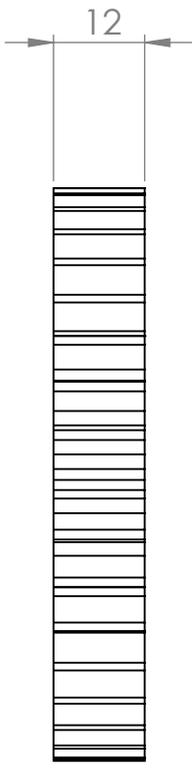
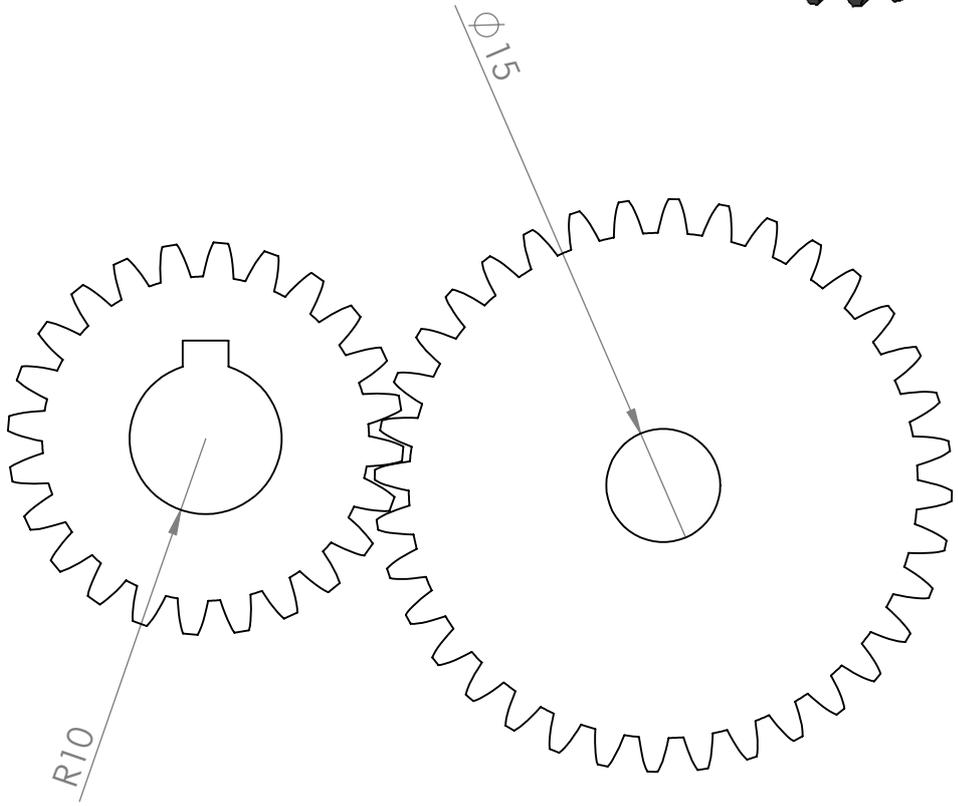
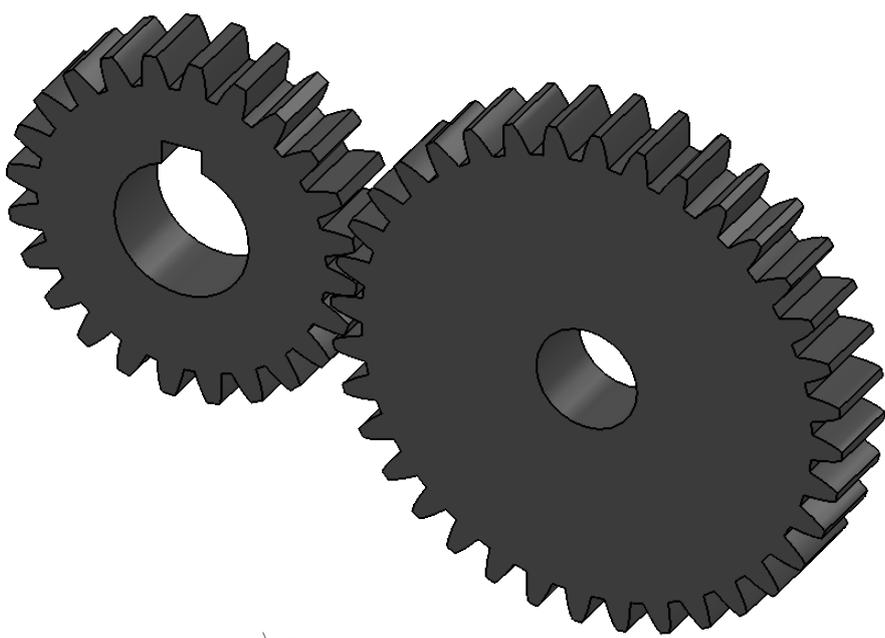
D

C

C

B

B



UNIVERSITE A-Mira de bejaia

Mastre ELM

ECHELLE 1:1

Reducteur de modul 2 et de rapport 1.5

20/05/2017

A

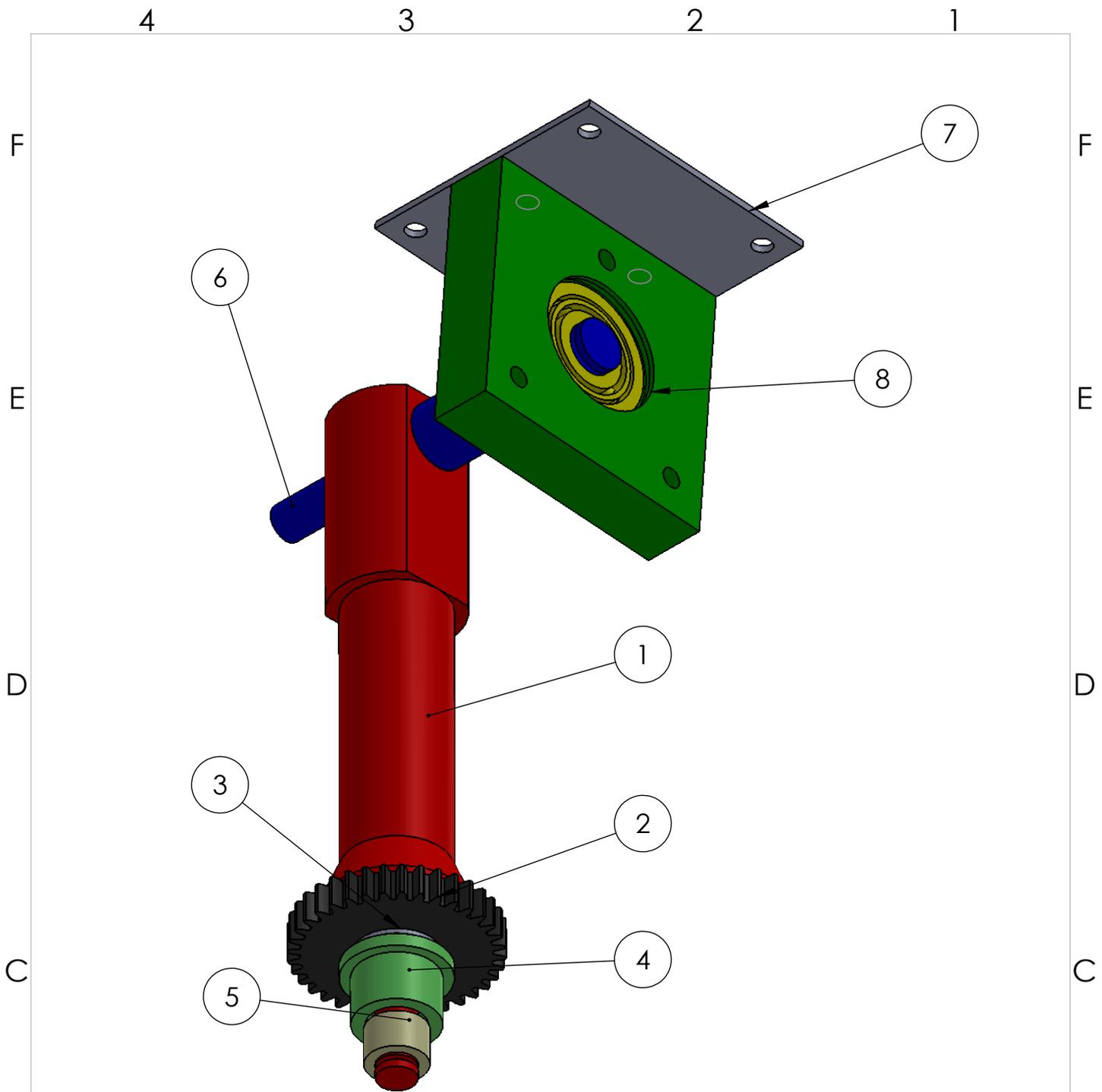
A



RACHIDIOU ET HAMROUNE

Suiveur solaire

4 3 2 1



N° pièce	Pièce	Liaison
1	Support principale	/
2	Roue	Serrage à l'axe du support
3	Butée	Sur la pièce de fixation
4	Pièce de fixation	Sur l'axe principal
5	roulement de coaxialité, 1532 Série de base 10	Sur l'axe principal
6	Arbre de retation	serrage a l'axe principale
7	Support parrabole	Serrage a l'arbre de retaiion
8	Roulement , 2052 série de base 10	Serrage entre l'arbre de retation et support parrabole

- Programme sous ARDUINO :

```
poursuite_solaire_pfe_M1_2017_arduino_uno
//-----
// Phase 1: definition de variables
//-----
int capteur_haut=0;           // Déclaration Entrée analogique du capteur Haut
int capteur_bas=1;           // Déclaration Entrée analogique du capteur Bas
int capteur_droit=2;         // Déclaration Entrée analogique du capteur Droit
int capteur_gauche=3;        // Déclaration Entrée analogique du capteur Gauche
int moteur_gauche=11;        // Déclaration Sortie Numérique du Moteur Gauche
int moteur_stop=12;          // Déclaration Sortie Numérique du Moteur Stop
int moteur_droit=13;         // Déclaration Sortie Numérique du Moteur Droit
int verin_haut=10;           // Déclaration Sortie Numérique du Verin haut
int verin_stop=9;            // Déclaration Sortie Numérique du Verin Stop
int verin_bas=8;             // Déclaration Sortie Numérique du Verin Bas

void setup() {
//-----
// Phase 2: Configuration des pins digitale:
//-----

pinMode(moteur_droit, OUTPUT);
pinMode(moteur_stop, OUTPUT);
pinMode(moteur_gauche, OUTPUT);
pinMode(verin_haut, OUTPUT);
pinMode(verin_stop, OUTPUT);
pinMode(verin_bas, OUTPUT);
analogReference(INTERNAL1V1);
}
```

```

void loop() {
//-----
// Phase 3: lecture des capteurs (en tension 5V):
//-----
float VH = (analogRead(capteur_haut)/1024.0)*5000;
float VB = (analogRead(capteur_bas)/1024.0)*5000;
float VG = (analogRead(capteur_gauche)/1024.0)*5000;
float VD = (analogRead(capteur_droit)/1024.0)*5000;

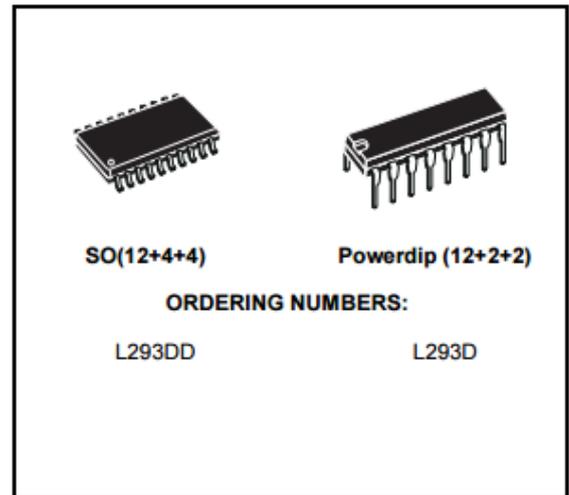
//-----
// calcul de l'erreur
//-----
float E_verticale=VH-VB;
float E_horizontale=VG-VD;
..

//-----
// phase 4: Poursuite Point Equilibre
// 1. Orientation Verticale
//-----
if(E_verticale>0){
digitalWrite(verin_haut, HIGH);
digitalWrite(verin_stop, LOW);
digitalWrite(verin_bas, LOW);}
else if(E_verticale<0){
digitalWrite(verin_haut, LOW);
digitalWrite(verin_stop, LOW);
digitalWrite(verin_bas, HIGH);}
else if(E_verticale==0){
digitalWrite(verin_haut, LOW);
digitalWrite(verin_stop, HIGH);
digitalWrite(verin_bas, LOW);}
..

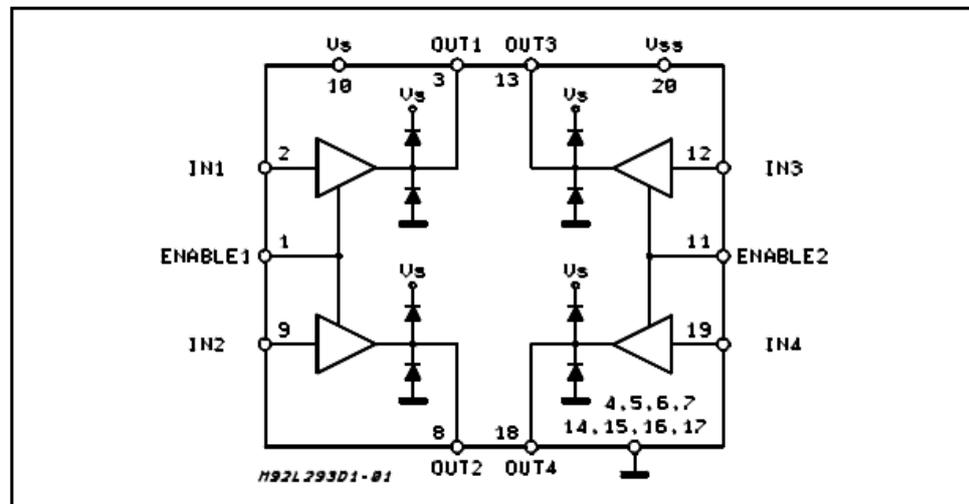
//-----
// 2. Orientation Horizontale
//-----
if(E_horizontale>0){
digitalWrite(moteur_gauche, HIGH);
digitalWrite(moteur_stop, LOW);
digitalWrite(moteur_droit, LOW);}
else if(E_horizontale<0){
digitalWrite(moteur_gauche, LOW);
digitalWrite(moteur_stop, LOW);
digitalWrite(moteur_droit, HIGH);}
else if(E_horizontale==0){
digitalWrite(moteur_gauche, LOW);
digitalWrite(moteur_stop, HIGH);
digitalWrite(moteur_droit, LOW);}
}
}

```


- 600mA OUTPUT CURRENT CAPABILITY PER CHANNEL
- 1.2A PEAK OUTPUT CURRENT (non repetitive) PER CHANNEL
- ENABLE FACILITY
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)
- INTERNAL CLAMP DIODES



BLOCK DIAGRAM

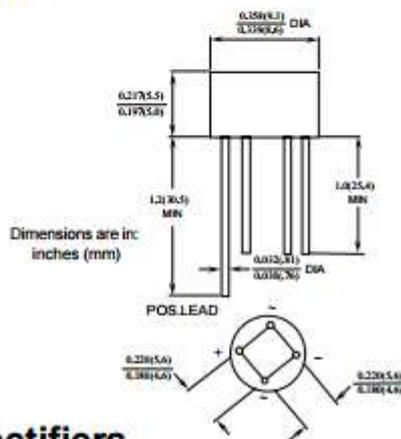


L293D
L293DD

2W005G - 2W10G

Features

- Glass passivated junction.
- Ideal for printed circuit board.
- Reliable low cost construction technique results in inexpensive product.
- High surge current capability.



2.0 Ampere Glass Passivated Bridge Rectifiers

Absolute Maximum Ratings*

$T_A = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
I_o	Average Rectified Current @ $T_A = 50^\circ\text{C}$	2.0	A
$I_f(\text{surge})$	Peak Forward Surge Current 8.3 ms single half-sine-wave Superimposed on rated load (JEDEC method)	60	A
P_D	Total Device Dissipation Derate above 25°C	3.13 25	W mW/ $^\circ\text{C}$
$R_{\theta JA}$	Thermal Resistance, Junction to Ambient,** per leg	40	$^\circ\text{C}/\text{W}$
$R_{\theta JL}$	Thermal Resistance, Junction to Lead,** per leg	15	$^\circ\text{C}/\text{W}$
T_{stg}	Storage Temperature Range	-55 to +150	$^\circ\text{C}$
T_J	Operating Junction Temperature	-55 to +150	$^\circ\text{C}$

T SUFFIX
PLASTIC PACKAGE
CASE 221A

Heatsink surface
connected to Pin 2.



Pin 1. Input
2. Ground
3. Output

Régulateur 7812