

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



جامعة بجاية  
Tasdawit n'Bgayet  
Université de Béjaïa

**Université Abderrahmane Mira-Bejaia**

**Faculté de la Technologie**

**Département de Génie Electrique**

# Mémoire de fin cycle

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

## Thème

---

**Etude et réalisation d'un mécanisme de  
poursuiveur solaire pour un concentrateur  
cylindro-parabolique avec carte de  
commande**

---

*Réalisé par :*

Mr. IFFOUZAR Koussaila

Mr. HANIFI Idir

*encadrée par :*

Mr. Y.MEBARKI

Mr. O.GUENOUNOU

*Promotion 2013*

# 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 O.GUENOUNOU pour leur encadrement efficace, leur soutien et leur disponibilité . Qu'ils trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude.

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

On tient à remercier vivement les membres de nos familles qui nous ont toujours encouragée et soutenue.

On remercie, 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.

Enfin, sans oublier on remercie les jurys Mr. HAMEL et Mr. AMRI qui nous feront l'honneur de juger ce travail.

HANIFI Idir

IFFOUZAR Koussaila

# *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail à :*

*Mes chers parents.*

*Mes sœurs.*

*Mon frère LAARBI.*

*Et à Tous mes amis : Samir, Toufik, Hamza, Adel, Sina, Said,  
yayut, Omar.*

*Sans oublié mon binôme Koussaila.*

*HANIFI Idir*

# *Dédicace*

*Je dédie ce travail*

*A mon père et a ma mère qui m'ont soutenue tout au long mes études*

*A mes sœurs*

*A tous mes proches*

*A tout mes amis a leur tête youyou, Saïd et a ma chère LILIA*

*Non oublié mon binôme DAIDIR*

*IFFOUZAR Koussaïla*

# ***Sommaire***

# Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

## Chapitre I : Généralités

I.1 Introduction.....	3
I.2 Rayonnement solaire.....	3
I.2.1 Rayonnement direct .....	3
I.2.2 Rayonnement solaire diffus.....	3
I.2.3 Rayonnement l'albédo .....	4
I.2.4 Rayonnement solaire global .....	4
I.2.5 Gisement solaire en Algérie .....	4
I.3 Mouvement du globe terrestre .....	7
I.4 Sphère céleste .....	7
I.5 Coordonnées célestes .....	8
I.5.1 Coordonnées géographiques .....	8
I.5.1.1 Longitude .....	8
I.5.1.2 L'altitude .....	8
I.5.2 Coordonnées horaires.....	9
I.5.2.1 Déclinaison solaire.....	9
I.5.2.2 Angle horaire ( $\omega$ ).....	10
I.5.3 Les coordonnées horizontales .....	11
I.5.3.1 Hauteur angulaire du soleil « $\Delta$ » .....	11
I.5.3.2 Azimut .....	11
I.5.4 Angle horaire de coucher du soleil .....	11
I.6 Généralité sur les systèmes de concentration solaire.....	11
I.6.1 Intérêt de la concentration.....	12
I.6.2 Systèmes concentrateurs .....	12
I.6.2.1 Tour solaire .....	12
I.6.2.2 Centrales à capteurs paraboliques.....	13
I.6.2.3 Concentrateur cylindro-parabolique .....	14
I.7 Positionnement du concentrateur cylindro-parabolique .....	15
I.7.1 Concentrateur stationnaire .....	15
I.7.2 Concentrateur avec poursuite solaire .....	15
I.8 Description d'un poursuiveur .....	16
I.8.1 Principe de fonctionnement .....	16

I.8.1.1	Déférentes techniques de poursuite solaire.....	16
I.8.1.2	Choix de la technique à utilisé.....	17
I.8.2	Choix technologique .....	17
	Conclusion.....	17

## **Chapitre II : étude et réalisation du concentrateur et du mécanisme de poursuite**

	Introduction .....	18
II.1	Etude théorique du concentrateur cylindro-parabolique.....	18
II.1.1	Performances optiques d'un concentrateur cylindro-parabolique .....	18
III.1.1	Taux de concentration .....	18
II.1.1.2	Angle d'ouverture.....	19
II.2	Réalisation du concentrateur cylindro-parabolique.....	20
II.2.1	Description du prototype .....	20
II.2.2	Principe de fonctionnement .....	20
II.2.3	Dimensionnement de la courbe .....	21
II.2.4	Réalisation du réflecteur .....	22
II.2.5	Axe de rotation .....	23
II.2.6	Absorbeur .....	23
II.2.7	Structure porteuse .....	25
II.3	Mécanisme de poursuite .....	25
II.3.1	Définition du vérin électrique.....	26
II.3.2	Composition d'un vérin électrique .....	26
II.3.3	Principaux composants d'un vérin électrique.....	26
II.3.3.1	Moteur à courant-continu .....	27
II.3.3.2	Réducteur .....	27
II.3.3.3	Vis et écrou.....	27
II.3.3.4	Fin de course .....	28
II.3.3.5	Ecrou de sécurité .....	29
II.4	Dimensionnement et caractéristiques du vérin électrique .....	29
II.4.1	Paramètres pour le choix d'un vérin .....	29
II.4.1.1	Charges à déplacer et vitesse de translation .....	29
II.4.1.2	Facteur de service et environnement .....	29
II.4.1.3	Course utile du vérin .....	30
II.4.1.4	Tension moteur.....	30
II.4.1.5	Irréversibilité / Réversibilité.....	30

II.4.2 les caractéristiques du vérin utilisé.....	30
II.4.2.1 Moteur du vérin utilisé.....	31
II.4.2.2 Etude du réducteur du vérin utilisé.....	31
II.4.2.3 Fin de course.....	32
II.4.2.4 Tige.....	33
II.5 Mise en place du vérin.....	34
II.5.1 Calcul du centre de gravité d'un segment de parabole $G(x,y)$ .....	34
II.5.2 Position théorique initiale du vérin.....	35
II.5.1.2 Détermination géométrique de la force statique du vérin et de la réaction de l'axe de rotation.....	37
II.5.1.3 Trajectoire d'un point quelconque.....	39
II.6 Identification du moteur du vérin utilisé.....	39
II.6.1 Essai en génératrice (à vide).....	40
II.6.2 Mesure de la résistance d'induit.....	41
II.7 Modélisation du moteur électrique à courant continu et à aimants permanents.....	42
II.7.1 Equations électriques et mécaniques.....	42
CONCLUSION.....	44

### **Chapitre III : réalisation de la carte de commande**

III Introduction.....	45
III.1 Schémas synoptique de la réalisation.....	45
III.2 Partie commande.....	46
III.2.1 Premier étage (capteur).....	46
III.2.1.1 Principe d'un phototransistor.....	47
III.2.2 Deuxième étage.....	49
III.2.2.1 Caractéristique des deux capteurs montés en différentiel.....	49
III.2.2.2 Amplificateur différentiel.....	50
III.2.3 Troisième étage.....	52
III.2.3.1 Amplificateur non-inverseur (Gain).....	52
III.2.3.2 Principe de fonctionnement.....	52
III.2.4 Quatrième bloc.....	54
III.3 Partie puissance.....	55
III.3.1 Cinquième étage.....	55
III.4 Alimentation stabilisé.....	56
III.5 Réalisation pratique.....	57

Conclusion.....	59
-----------------	----

## **Chapitre VI : Expérimentation**

Introduction .....	60
IV.1 Description de l'expérience .....	60
IV.1.1 Essai sans absorbeur.....	60
IV.1.2 Essais avec écoulement (débit volumique constant).....	60
IV.1.3 Essai sans écoulement .....	60
IV.2 Relevés et interprétation.....	60
IV.2.1 Essai sans absorbeur.....	60
IV.2.2.1 Essai avec un débit constant .....	62
IV.2.2.1 Essai avec un débit constant .....	64
IV.2.3 Essais sans écoulement .....	66
Conclusion.....	68
<b>Conclusion générale.....</b>	<b>69</b>

### **Annexe**

# Liste des figures

<b>Figure I.1</b> : Rayonnement solaire.....	4
<b>Figure I.2</b> : Carte du monde de l'enseillent moyen annuel [6] .....	5
<b>Figure I.3</b> : Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné la latitude du lieu [7] .....	6
<b>Figure I.4</b> : Répartition territoriale des stations météorologiques en Algerie [7] .....	6
<b>Figure I.5</b> : Variation saisonnière du rayonnement solaire [8] .....	7
<b>Figure I.6</b> : La sphère céleste [10] .....	8
<b>Figure I.7</b> : Les coordonnées géographiques [10].....	9
<b>Figure I.8</b> : La déclinaison du soleil en fonction des jours .....	10
<b>Figure I.9</b> : Les coordonnées horaires [9] .....	10
<b>Figure I.10</b> : Les coordonnées horizontales .....	11
<b>Figure I.11</b> : Différents types de concentrateurs [12].....	12
<b>Figure I.12</b> : Centrale à tour solaire.....	13
<b>Figure I.13</b> : Les centrales à capteur parabolique .....	13
<b>Figure I.14</b> : Concentrateur cylindro-parabolique [12].....	14
<b>Figure I.15</b> : Concentrateur stationnaire [14].....	15
<b>Figure I.16</b> : Concentrateur avec poursuite solaire [14] .....	15
<b>Figure II.1</b> : La surface d'ouverture.....	18
<b>Figure II.2</b> : Relation entre le taux de concentration et la température du récepteur.....	19
<b>Figure II.3</b> : Rayon local de miroir .....	20
<b>Figure II.4</b> : Schéma de l'installation .....	21
<b>Figure II.5</b> : Concentration géométrique des miroirs paraboliques .....	22
<b>Figure II.6</b> : La courbe parabolique du concentrateur .....	22
<b>Figure II.7</b> : Le réflecteur.....	23
<b>Figure II.8</b> : Axe de rotation .....	23
<b>Figure II.9</b> : Absorbeur .....	24
<b>Figure II.10</b> : Système de circulation de l'eau .....	24
<b>Figure II.11</b> : Vue d'un tube hermétique et non hermétique .....	25
<b>Figure II.12</b> : Vue du concentrateur réalisé .....	25
<b>Figure II.13</b> : Composition générale d'un vérin électrique.....	26
<b>Figure II.14</b> : Les différents types vis utilisées dans les vérins électriques .....	28
<b>Figure II.15</b> : Le rotor (induit) .....	31
<b>Figure II.16</b> : Le stator (inducteur) .....	31
<b>Figure II.17</b> : le réducteur de vitesse .....	32
<b>Figure II.18</b> : Fin de course du vérin .....	33
<b>Figure II.19</b> : La vis à filet trapézoïdale .....	33
<b>Figure II.20</b> : Ecrou de sécurité .....	34
<b>Figure II.21</b> : différentes positions du concentrateur .....	34
<b>Figure II.22</b> : Centre de gravité.....	35
<b>Figure II.23</b> : Répartition des forces qui agissent sur le concentrateur .....	35
<b>Figure II.24</b> : triangle des forces à l'échelle .....	37
<b>Figure II.25</b> : Triangle des forces sur échelle pour une rotation de 55° du concentrateur.....	38
<b>Figure II.26</b> : Trajectoire d'un point quelconque.....	39
<b>Figure II.27</b> : accouplement du moteur à la perceuse.....	40
<b>Figure II.28</b> : schémas bloc du moteur .....	43
<b>Figure II.29</b> : Résultat de la simulation sous matlab.....	44
<b>Figure III.1</b> : schémas synoptique de la réalisation .....	45

<b>Figure III.2</b> : Ecart angulaire .....	46
<b>Figure III.3</b> : Caractéristique $u(\theta)$ du capteur pour différentes valeurs de $\Phi$ .....	46
<b>Figure III.4</b> : Représentation équivalente d'un phototransistor .....	47
<b>Figure III.5</b> : Lunette réalisé .....	48
<b>Figure III.6</b> : Position de la lunette sur le concentrateur .....	48
<b>Figure III.7</b> : Principe de la lunette réalisé .....	48
<b>Figure III.8</b> : Phototransistors montés en différentiel .....	49
<b>Figure III.9</b> : Caractéristique $U_d(\Delta\theta)$ des deux capteurs montés en différentiel .....	49
<b>Figure III.10</b> : Schéma d'un amplificateur différentiel .....	50
<b>Figure III.11</b> : Circuit électrique de l'amplificateur différentiel réalisé .....	51
<b>Figure III.12</b> : Signal de sortie du différentiel .....	52
<b>Figure III.13</b> : Amplificateur non-inverseur (gain) .....	52
<b>Figure III.14</b> : Circuit électrique de l'amplificateur non-inverseur .....	53
<b>Figure III.15</b> : Signal de sortie de l'amplificateur non-inverseur (gain) .....	54
<b>Figure III.16</b> : Circuit du bloc de commutation sous PSIM .....	55
<b>Figure III.17</b> : Circuit des deux relais sous ISIS .....	56
<b>Figure III.18</b> : Schéma-bloc de la carte d'alimentation .....	56
<b>Figure III.19</b> : Circuit électrique de l'alimentation .....	57
<b>Figure III.20</b> : Carte de commande réalisée .....	58
<b>Figure III.21</b> : Carte de puissance .....	58
<b>Figure III.22</b> : Carte d'alimentation .....	59
<b>Figure IV.1</b> : Variation de la position en fonction du temps selon le teste du 02 juin 2013 .....	61
<b>Figure IV.2</b> : Représentation des relèves du 07 juin 2013 .....	63
<b>Figure IV.3</b> : Le rayonnement direct de la journée 7 juin 2013 .....	63
<b>Figure IV.4</b> : Représentation des relèves du 09 juin 2013 .....	65
<b>Figure IV.5</b> : le rayonnement solaire direct mesure pour la journée 09 juin 2013 .....	65
<b>Figure IV.6</b> : Relevés des températures du 10 juin 2013 (sans écoulement) .....	67
<b>Figure IV.7</b> : Variation de température d'eau en fonction du temps (sans écoulement) .....	67

# Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Ensoleillement reçu en Algérie par régions climatiques .....	5
<b>Tableau II.1</b> : les caractéristiques du vérin .....	31
<b>Tableau II.2</b> : Résultats des essais en génératrice du moteur du vérin .....	40
<b>Tableau II.3</b> : Résultats de détermination de la résistance d'induit .....	41
<b>Tableau IV.1</b> : Résultats du teste sans absorbeur du 02 juin 2013 .....	61
<b>Tableau IV.2</b> : Relevées des températures du 07 juin 2013 (essai avec écoulement) .....	62
<b>Tableau IV.3</b> : Relevés de températures du 09 juin 2013 (essai avec écoulement).....	65
<b>Tableau IV.4</b> : Relevés des températures du 10 juin 2013 (sans écoulement) .....	66

## Nomenclature

$\delta$ : Déclinaison solaire	(°)
$\lambda$ : Longitude	(°)
$\mu$ : Latitude	(°)
$\omega$ : Angle horaire	(°)
$\alpha$ : Ascension droite	(°)
$\Delta$ : Hauteur angulaire du soleil	(°)
$\nu$ : Fréquence	(Hz)
$c$ : Vitesse de la lumière	(m/s)
$\lambda$ : Longueur d'onde	( $\mu\text{m}$ )
$C$ : Taux de concentration	
$A_0$ : Surface d'ouverture	( $\text{m}^2$ )
$A_r$ : Surface d'absorbeur	( $\text{m}^2$ )
$\phi_r$ : Angle d'ouverture	(°)
$r$ : Rayon local du miroir	(m)
$f$ : Distance focale	(m)
$S$ : Aire de la surface	( $\text{m}^2$ )
$\emptyset$ : Diamètre	(m)
$R_r$ : Rapport de réduction	
$T$ : Température	(K)
$D$ : Diamètre	(m)
$r$ : Rayon	(m)
$R_a$ : Résistance de l'induit	( $\Omega$ )
$K_e$ : Constante électrique	(N.m)
$\Gamma_\Delta$ : Couple total	(N.m)

$\Gamma$ : Couple moteur

(N.m)

$\Gamma_r$ : Couple résistant

(N.m)

$\omega$ : Vitesse de rotation

(rad/s)

L : Inductance

(H)

$I_r$  : le courant de base

(A)

$I_p$  : courant d'éclairement

(A)

$I_0$  : courant d'obscurité

(A)

# Liste des abréviations

**ASA** : Agence Spatiale Allemande

**ONM** : Office National de la Météorologique

**Ts** : Température d'entrée

**Te** : Température de sortie

# **INTRODUCTION GENERALE**

# Introduction générale

---

Depuis la révolution industrielle au XIX<sup>ème</sup> siècle, l'utilisation de l'énergie a pris de l'ampleur, et l'exploitation de nouvelles formes d'énergie est devenue une nécessité pour assurer le niveau de vie actuel de l'humanité.

En effet, l'exploitation massive des énergies conventionnelles ne cesse de s'accroître, durant le XX<sup>ème</sup> siècle, la consommation d'énergie est multipliée par 10 avec une accélération à partir de 1945, ce qui a pour effet l'épuisement des ressources traditionnelles en matière d'énergie.

En outre, le réchauffement climatique est une autre conséquence de l'exploitation massive des hydrocarbures qui produisent de grandes quantités de gaz à effet de serre.

Au XX<sup>ème</sup> siècle, des scientifiques ont indiqué une augmentation de 0.6°C de la température moyenne de la planète et selon un rapport réalisé par le GIEC (groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat) en 2007, la température moyenne de la planète va augmenter de 1.8 à 4°C d'ici la fin du XXI<sup>ème</sup> siècle [1].

En 1973, suite au choc pétrolier, l'énergie solaire subit un essor considérable, c'est à partir de cette période que se développe le recours aux capteurs solaires à concentration.

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

Vu le manque de gain de la poursuite solaire manuelle, nous nous intéressons à l'étude et réalisation du mécanisme du poursuiveur solaire en vue de l'orientation d'un capteur solaire cylindro-parabolique qui exploite l'énergie solaire par voie thermique. Différents systèmes d'orientation commerciaux sont disponibles et proposent conformément à leurs fiches de présentation des gains de l'ordre de 20-30 % selon les techniques et les technologies employées [3]. Les techniques sont diverses mais peuvent être principalement subdivisées en deux catégories, les unes basées sur l'asservissement, les autres sur la pré-programmation de la trajectoire.

# Introduction générale

---

Le premier chapitre donne quelques généralités sur le rayonnement solaire, les différents types de capteurs solaires et une brève description du poursuiveur solaire .

Le deuxième chapitre est consacré aux réalisations du concentrateur et du mécanisme de poursuite.

Le troisième chapitre donne l'étude et la réalisation de la carte de commande du poursuiveur. Et des testes effectués sur les capteurs.

Le quatrième chapitre donne les résultats des tests effectués sur l'ensemble de l'installation concentrateur et poursuiveur.

# **Chapitre I**

## **généralité**

## I.1 Introduction

Le soleil est une « petite étoile » de rayon  $R_S = 696\,000$  km et de masse  $1,99 \cdot 10^{30}$  kg. Son noyau, à la température de 15 millions de degrés environ, est le siège permanent de réactions thermonucléaires de fusion. L'énergie dégagée est évacuée dans l'espace par rayonnement électromagnétique. Le soleil rayonne globalement de température  $T_S = 5\,800$  K en première et bonne approximation. Le résultat de ces réaction, lorsqu'il se répète est la fusion de quatre noyaux d'hydrogène en un noyau d'hélium avec émission d'énergie sous forme de rayonnements gamma et X.

Chaque seconde, 564 millions de tonnes d'hydrogène se transforment en 560 millions de tonnes d'hélium, cette différence de 4 millions de tonnes par seconde correspond à la différence d'énergie de liaison entre les protons d'hydrogène et ceux d'hélium donnant une énergie sous forme de rayonnement, estimée à  $3,7 \cdot 10^5$  J/s.

## I.2 Rayonnement solaire

C'est la partie de l'énergie rayonnée par le soleil dans l'espace sous forme d'ondes électromagnétique de différentes longueurs (0,25 à 4 microns) [4].

A la traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est affaibli par différentes causes, absorption proprement dite par les gazes et vapeurs de l'atmosphère, la diffusion moléculaire par ces gazes et vapeur l'affaiblissement par les particules de toutes sortes en suspension dans l'atmosphère. En dehors de l'atmosphère terrestre, il donne un éclaircissement énergétique à peu près constant égale à  $1367$  w/m<sup>2</sup>; appelé de ce fait constante solaire. Le rayonnement solaire est caractérisé par les composantes suivantes :

### I.2.1 Rayonnement direct

Le rayonnement solaire direct se définit comme étant le rayonnement provenant du seul disque solaire. Il est donc nul lorsque le soleil est occulté par les nuages. Il est mesuré à l'aide d'un pyrhéliomètre<sup>1</sup> constamment dirigé vers le soleil [4].

### I.2.2 Rayonnement solaire diffus

Dans sa traversée de l'atmosphère, le rayonnement solaire est diffusé par les molécules de l'air et les particules en suspension. Le rayonnement solaire diffus n'est donc

---

<sup>1</sup> Le **pyrhéliomètre** est un instrument destiné à la mesure de l'intensité du rayonnement solaire direct. Il est généralement constitué par une thermopile peinte en noir, donc très absorbante, montée sur un système de suivi. Ainsi cet instrument ne mesure que le rayonnement directement issu du soleil.

nul que la nuit. Il est mesuré à l'aide d'un pyranomètre<sup>2</sup> auquel on adjoint un écran destiné à occulter le disque solaire [4].

### I.2.3 Rayonnement l'albédo

C'est la partie réfléchiée par le sol. Il dépend de l'environnement du site.

### I.2.4 Rayonnement solaire global

Il comprend l'ensemble des composants direct et diffus. Il est mesuré à l'aide d'un pyranomètre. Donc d'après les différentes formes du rayonnement on peut déduire la formule du rayonnement global :

$$\text{Rayonnement global} = \text{Rayonnement direct} + \text{Rayonnement absorbé} + \text{Albédo}$$

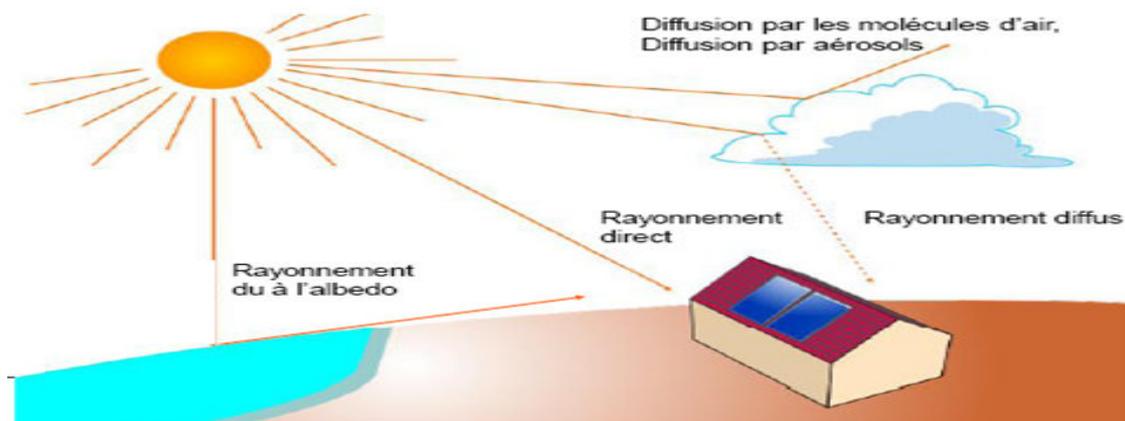


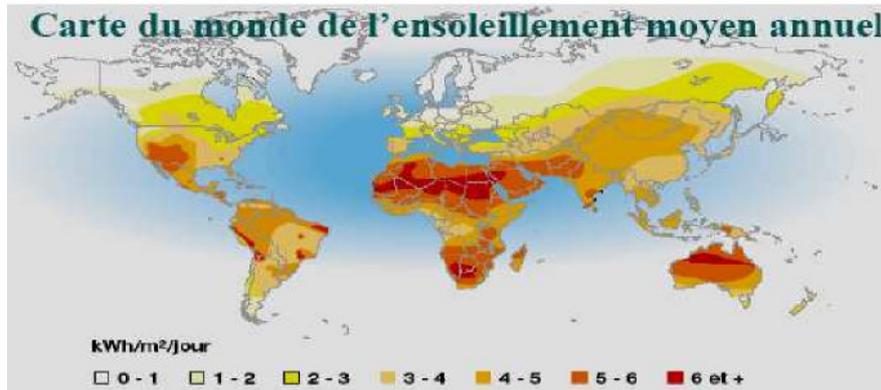
Figure I.1 : Rayonnement solaire

### I.2.5 Gisement solaire en Algérie

Le gisement solaire est un ensemble de données décrivant l'évolution du rayonnement solaire disponible au cours d'une période donnée. Il est utilisé pour simuler le fonctionnement d'un système énergétique solaire et faire un dimensionnement le plus exact possible compte tenu de la demande à satisfaire [5].

De par sa situation géographique, l'Algérie dispose d'un gisement solaire énorme comme le montre la figure I.2 :

<sup>2</sup> Le **pyranomètre** est un capteur de flux thermique utilisé pour la mesure de la quantité d'énergie solaire en lumière naturelle et est notamment utilisé en météorologie.



**Figure I.2 :** Carte du monde de l'enseillement moyen annuel [6]

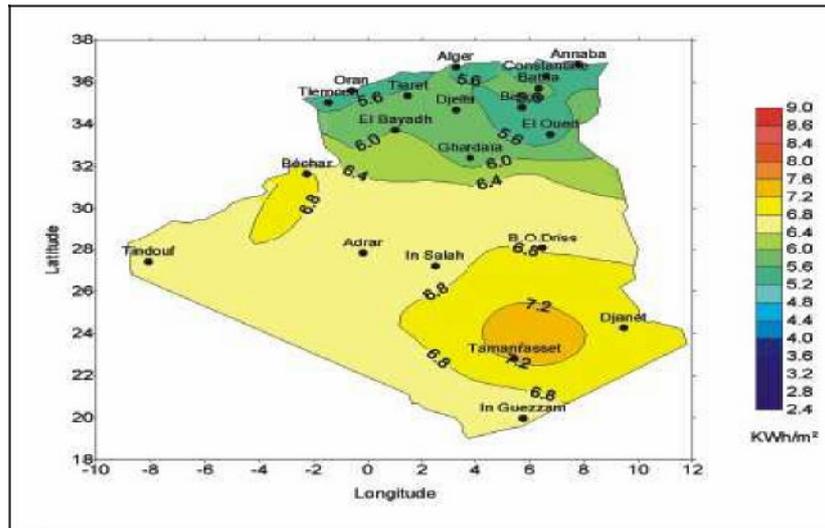
Suite à une évaluation par satellites, l'Agence Spatiale Allemande (ASA) a conclu, que l'Algérie représente le potentiel solaire le plus important de tout le bassin méditerranéen, soit 169.000 TWh/an pour le solaire thermique, 13,9 TWh/an pour le solaire photovoltaïque. Le potentiel solaire algérien est l'équivalent de 10 grands gisements de gaz naturel qui auraient été découverts à Hassi R'Mel. La répartition du potentiel solaire par région climatique au niveau du territoire algérien est représentée dans le tableau I.1 selon l'enseillement reçu annuellement [6] :

Régions	Régions côtières	Hauts plateaux	Sahara
Superficie (%)	4	10	86
Durée moyenne d'enseillement	2650	3000	3500
Energie moyenne reçue	1700	1900	2650

**Tableau I.1 :** Enseillement reçu en Algérie par régions climatiques

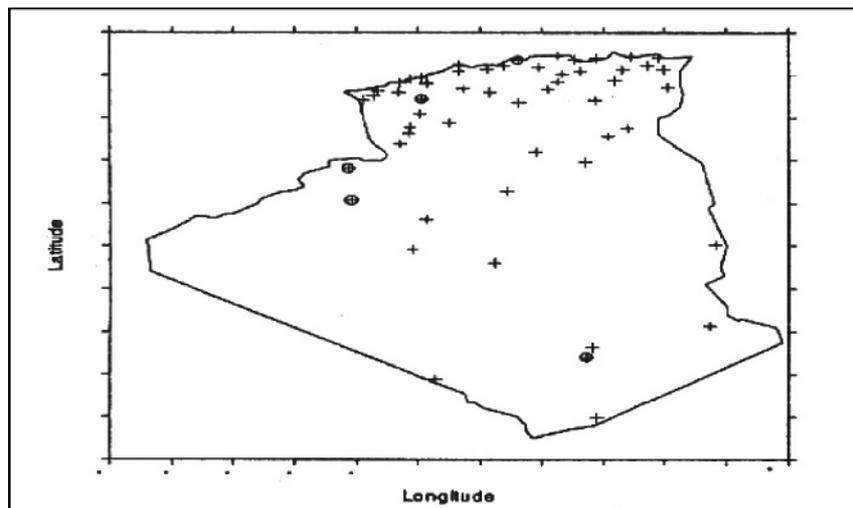
La durée d'insolation dans le Sahara algérien est de l'ordre de 3500h/an est la plus importante au monde, elle est toujours supérieure à 8h/j et peut arriver jusqu'à 12h/j pendant l'été à l'exception de l'extrême sud où elle baisse jusqu'à 6h/j en période estivale [6].

La région d'Adrar est particulièrement ensoleillée et présente le plus grand potentiel de toute l'Algérie (figure I.3).



**Figure I.3 :** Moyenne annuelle de l'irradiation solaire globale reçue sur un plan incliné la latitude du lieu [7]

En Algérie, il existe un réseau de 78 stations de mesure météorologiques de l'O.N.M réparties sur tout le territoire algérien (figure I.4) [2]. Cependant, seules 7 stations météorologiques assurent la mesure des composantes diffus et globales du rayonnement solaire reçu sur un plan horizontal en raison, soit du manque de fiabilité des appareils de mesure, ou bien, du coût élevé d'un tel appareillage. La durée d'insolation quant à elle, est mesurée par un héliographe<sup>3</sup> dans la majorité des stations de l'O.N.M à cause de la facilité de sa mise en œuvre.



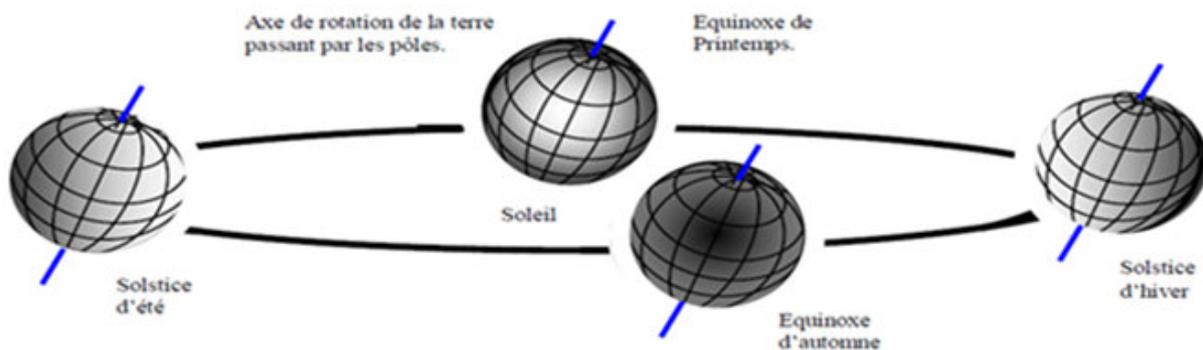
**Figure I.4 :** Répartition territoriale des stations météorologiques en Algérie [7]

<sup>3</sup> L'héliographe est un instrument qui permet de mesurer la durée de l'insolation en un point de la surface de la planète.

### I.3 Mouvement du globe terrestre

La terre décrit autour du soleil une orbite elliptique quasi circulaire avec une période de 365,25 jours. Le plan de cette orbite est appelé plan de l'écliptique. C'est au solstice d'hiver (21décembre) que la terre est la plus proche du soleil, et au solstice d'été (22juin) qu'elle en est la plus éloignée [8].

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



**Figure I.5 :** Variation saisonnière du rayonnement solaire [8]

### I.4 Sphère céleste

La sphère céleste est une sphère imaginaire d'un diamètre immense, avec la terre au centre. On considère que tous les objets visibles dans le ciel se trouvent sur la surface de la sphère céleste. On peut résumer les différentes caractéristiques sur la sphère elle même dans la figure (I.6).

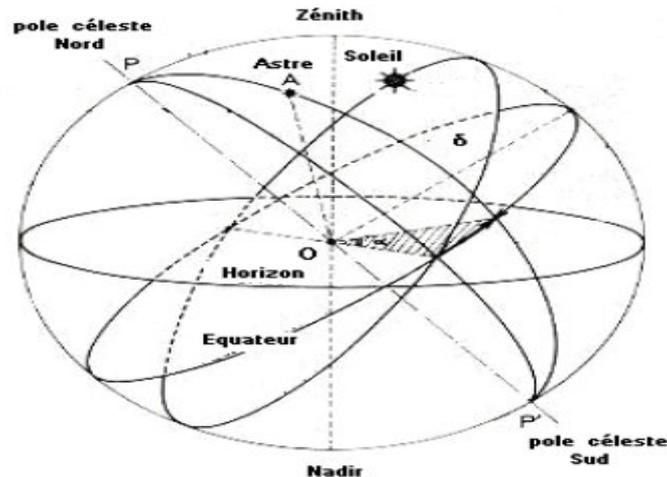


Figure I.6 : La sphère céleste [10]

La direction des objets peut être quantifiée de façon précise à l'aide d'un système de coordonnées célestes.

## I.5 Coordonnées célestes

### I.5.1 Coordonnées géographiques

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

#### I.5.1.1 Longitude

La longitude d'un lieu « $\lambda$ » correspond à l'angle que fait le plan méridien passant par ce lieu avec un plan méridien retenu comme origine. On a choisi pour méridien (origine  $0^\circ$ ) 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 [9], [10].

#### I.5.1.2 L'altitude

La latitude d'un lieu « $\varphi$ » 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  $0^\circ$ , le pôle nord par la latitude  $+90^\circ$  et le pôle sud par la latitude  $-90^\circ$ . Cette convention de signe (+) à tous les lieux de l'hémisphère nord et le signe(-) à tous les lieux de l'hémisphère sud [8], [9].

Pour Béjaïa on a :

Longitude =  $5^\circ 5' 3''$  E

Latitude =  $36^\circ 45' 21''$  N

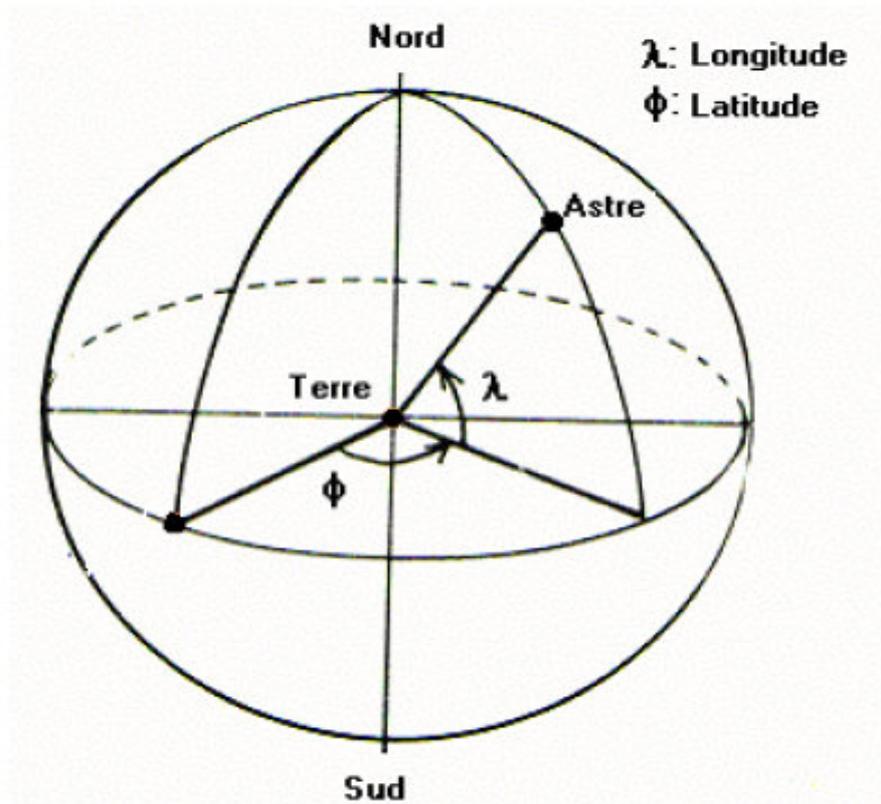


Figure I.7 : Les coordonnées géographiques [10]

**I.5.2 Coordonnées horaires**

**I.5.2.1 Déclinaison solaire**

C'est l'angle formé par la direction du soleil et le plan équatorial terrestre. Elle varie tout au long de l'année, entre deux valeurs extrêmes : -23,27° et +23,27° environ et elle s'annule aux équinoxes de printemps et d'automne, sa valeur peut être calculée par la formule [11].

$$\delta = 23.45 \sin\left(2\pi \frac{(284 + J)}{365}\right) \dots \dots \dots (I. 1)$$

J : Numéro du jour dans l'année.

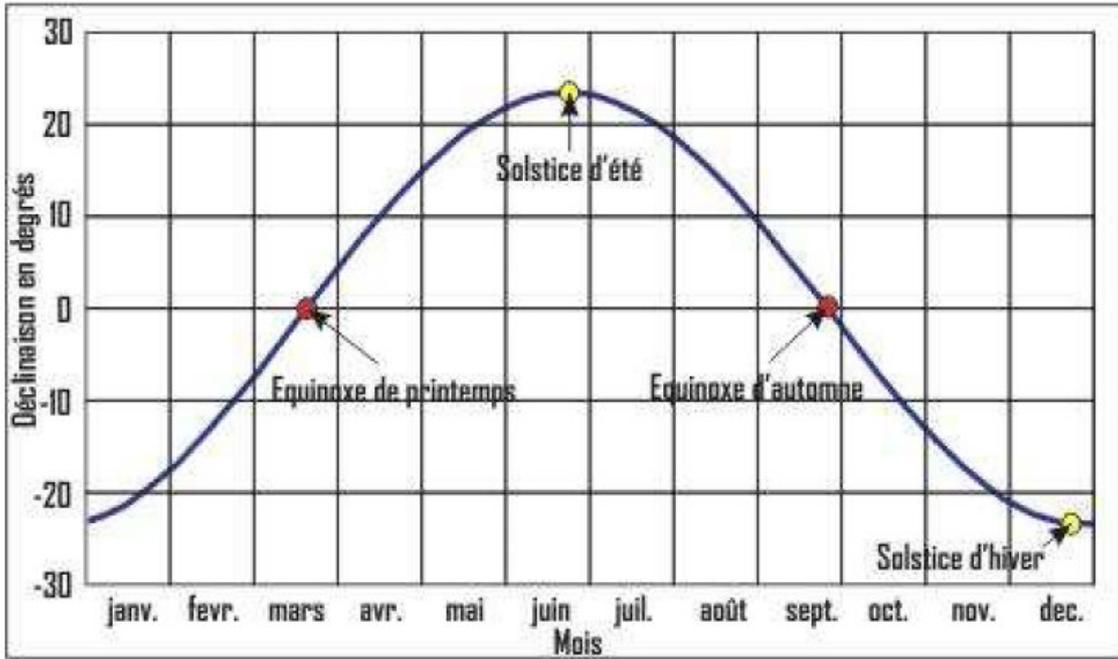


Figure I.8 : La déclinaison du soleil en fonction des jours

I.5.2.2 Angle horaire ( $\omega$ )

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  $0^\circ$  et  $360^\circ$ . La valeur de l'angle horaire est nulle à midi solaire, négative le matin, positive dans l'après midi et augmente de  $15^\circ$  par heure [8], [9].

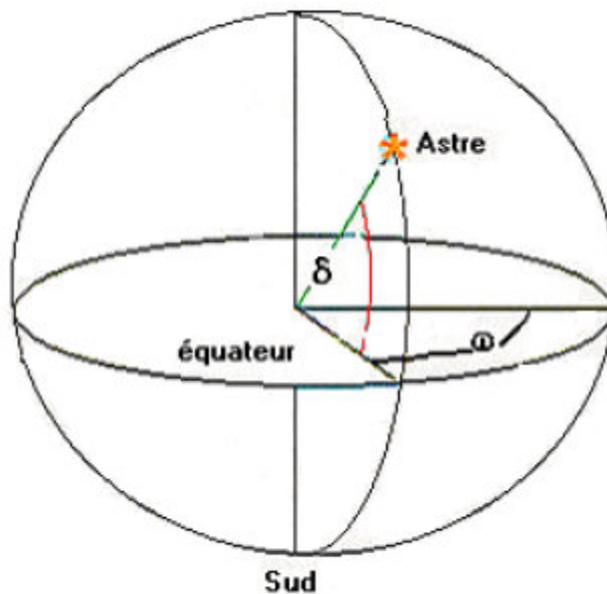


Figure I.9 : Les coordonnées horaires [9]

**I.5.3 Les coordonnées horizontales**

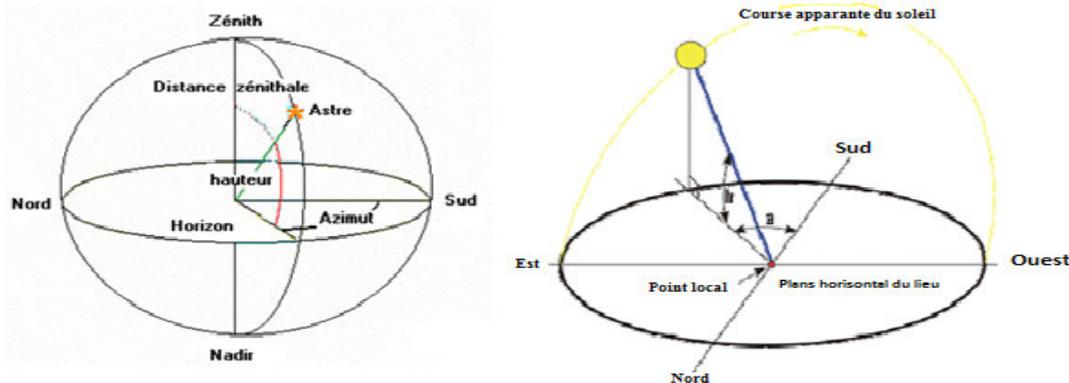
Le repérage du soleil se fait par l'intermédiaire de deux angles :

**I.5.3.1 Hauteur angulaire du soleil « Δ »**

C'est l'angle formé par le plan horizontal au lieu d'observation et la direction du soleil. Cette hauteur durant le jour peut varier de 0° (soleil à l'horizon) à 90° (soleil au zénith) [8], [9].

**I.5.3.2 Azimut**

C'est l'angle compris entre le méridien du lieu et le plan vertical passant par le soleil. La connaissance de l'azimut du soleil est indispensable pour le calcul de l'angle d'incidence des rayons sur une surface non horizontale [9].



**Figure I.10** : Les coordonnées horizontales

**I.5.4 Angle horaire de coucher du soleil**

L'angle horaire du soleil est le déplacement angulaire du soleil autour de l'axe polaire. Dans sa course d'est en ouest, par rapport au méridien local. Il est donné par l'équation suivante [11]:

$$\omega_s = \arccos(-\tan(\varphi) \tan(\delta)) \dots \dots \dots (I. 2)$$

δ : Déclinaison solaire

**I.6 Généralité sur les systèmes de concentration solaire**

Pour une très grande concentration des rayons solaires on utilise des concentrateurs de différentes formes géométriques.

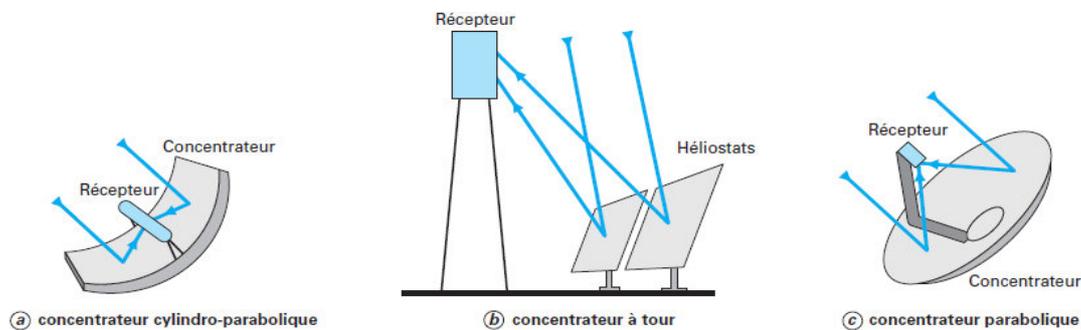
### I.6.1 Intérêt de la concentration

La concentration du rayonnement solaire permet d'élever la température de l'absorbeur de plusieurs centaines de degrés par rapport à la température d'équilibre obtenue sans concentration [12].

### I.6.2 Systèmes concentrateurs

Parmi les très nombreux dispositifs optiques permettant de dévier les rayons du soleil pour les concentrer, nous ne considérons ici que ceux qui se prêtent à une mise en œuvre industrielle pour des puissances moyennes ou fortes et qui conduisent à la production de chaleur à une température supérieure à 250 °C. Ces dispositifs optiques mettent en œuvre des surfaces réfléchissantes constituées de miroirs. La nature géométrique des surfaces mises en œuvre et la complexité des structures supportant les miroirs définissent les systèmes concentrateurs. On distingue trois familles de concentrateur solaires [12] :

- Les concentrateurs cylindro-paraboliques pour atteindre des températures entre 300 et 350 °C.
- Les concentrateurs paraboliques pour atteindre des températures de 1000°C ou plus.
- Les concentrateurs à tour pour atteindre 1000 °C.



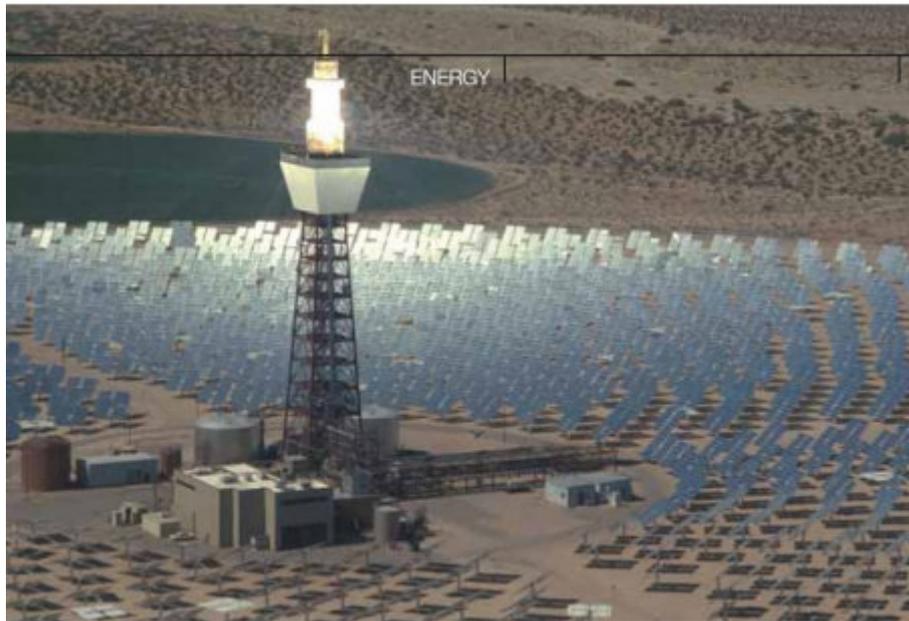
**Figure I.11** : Différents types de concentrateurs [12]

#### I.6.2.1 Tour solaire

Ce type de centrales est constitué de nombreux miroirs concentrant les rayons solaires vers une chaudière située au sommet d'une tour. L'avantage de la tour solaire par rapport aux capteurs cylindro-paraboliques est que les pertes à l'ambiance sont inférieures car la surface exposée est limitée.

Les miroirs uniformément répartis sont appelés héliostats. Chaque héliostat traque le soleil individuellement et le réfléchit en direction d'un récepteur au sommet de la tour solaire.

Le facteur de concentration varie de 600 à plusieurs milliers, ce qui permet d'atteindre des températures importantes, de 800 °C à 1000°C [13].



**Figure I.12 :** Centrale à tour solaire

### **I.6.2.2 Centrales à capteurs paraboliques**

Les capteurs paraboliques fonctionnent d'une manière autonome. Ils suivent le soleil sur 2 axes afin de concentrer le rayonnement solaire sur le foyer de la parabole réfléchissante. Le rapport de concentration est souvent supérieur à 2000 avec une température de 750°C.

De toutes les technologies solaires, les capteurs paraboliques ont démontré les meilleurs rendements solaire-électricité (29.4%).

Un de leurs principaux avantages est la modularité : ils peuvent en effet être installés dans des endroits isolés, non raccordés au réseau électrique. Ils possèdent donc également un important potentiel de développement, particulièrement dans des régions peu peuplées de certains pays du sud [13].



Figure I.13 : Les centrales à capteur parabolique

### I.6.2.3 Concentrateur cylindro-parabolique

Le système convertit l'énergie solaire en énergie thermique, le miroir concentrateur est un cylindre de section parabolique. Il ne comporte qu'une seule direction de courbure ; sa fabrication et mise en forme sont donc considérablement simplifiées. Installé le long de l'axe Nord-Sud, le miroir est animé d'un seul mouvement de rotation qui le fait basculer d'Est en Ouest de façon à être éclairé par le rayonnement solaire selon l'axe optique de la parabole. La concentration est obtenue sur une ligne, matérialisée par le récepteur tubulaire dans lequel circule le fluide caloporteur (figure I.12) [12]. On ajoute à ce concentrateur un système de guidage « sun tracking systems » pour optimiser la captation des rayons solaires, généralement on utilise des petits moteurs accompagnés d'un ensemble d'engrenage qui fait office de réducteur ou on utilise régulièrement des vérins pour leur simplicité de fonctionnement et leur maniabilité.

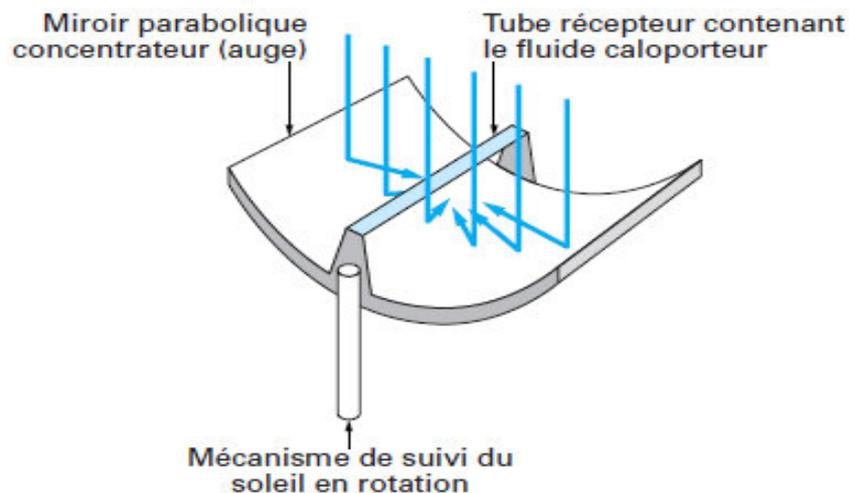


Figure I.14 : Concentrateur cylindro-parabolique [12]

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

### I.7 Positionnement du concentrateur cylindro-parabolique

Pour un rendement maximale le concentrateur doit être positionné dans une position optimale, une position où il captera le maximum de lumière ou d'énergie solaire.

#### I.7.1 Concentrateur stationnaire

L'installation d'un concentrateur cylindro-parabolique sans dispositif de poursuite solaire exige une inclinaison optimale du concentrateur, généralement égale à la latitude du lieu et une orientation vers le sud en horizontal [14].

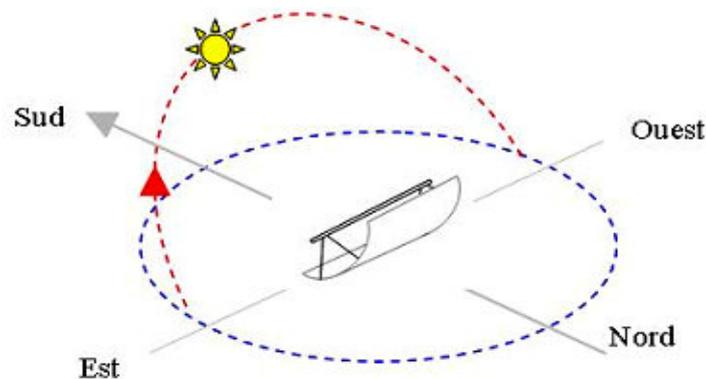


Figure I.15 : Concentrateur stationnaire [14]

#### I.7.2 Concentrateur avec poursuite solaire

L'installation d'un concentrateur cylindro-parabolique avec dispositif de poursuite solaire exige une inclinaison optimale du concentrateur, généralement égale à la latitude du lieu et une orientation vers le sud en vertical [13]. Le positionnement du concentrateur se fait d'une manière automatisée grâce au système de poursuite qui repositionne le concentrateur sur son inclinaison optimale. La poursuite s'effectue d'Est en Ouest.

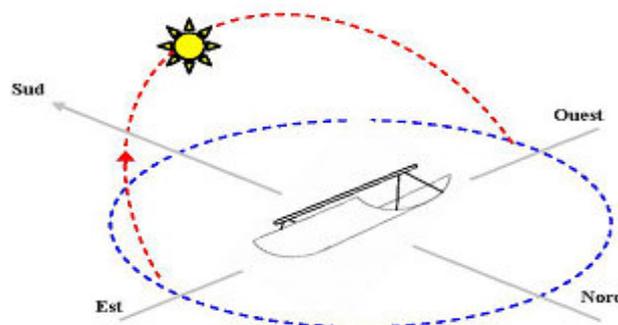


Figure I.16 : Concentrateur avec poursuite solaire [14]

## **I.8 Description d'un poursuiveur**

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

### **I.8.1 Principe de fonctionnement**

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

Différents systèmes d'orientation commerciaux sont disponibles et proposent conformément à leurs fiches de présentation des gains de l'ordre de 20 à 30 % selon les techniques et les technologies employées [15].

#### **I.8.1.1 Différentes techniques de poursuite solaire**

Les techniques sont diverses mais peuvent être principalement subdivisées en deux catégories, les unes basées sur l'asservissement, les autres sur la pré-programmation de la trajectoire [15].

##### **I.8.1.1.a Techniques de poursuite basé sur l'asservissement**

Cette catégorie compte sur des capteurs qui détectent en permanence la position optimale de l'irradiation solaire. Dans ce type de techniques, la poursuite s'effectue indépendamment de la zone dans laquelle le système sera situé. La poursuite est plus précise, mais il peut y avoir des pertes supplémentaires d'énergie dues à la consommation du système de commande qui est actif en permanence [15].

##### **I.8.1.1.b Techniques de poursuites basées sur la pré-programmation de trajectoire**

Cette catégorie est basée sur le fait que le soleil suit un trajet relativement périodique pour un observateur situé à un endroit donné sur la terre. La poursuite du soleil peut, dès lors s'effectuer par des techniques de pré-programmation de la trajectoire du soleil qui est gouvernée par des équations appelées 'équations du temps' Le programme fournit des commandes aux moteurs à des intervalles de temps réguliers afin d'assurer la poursuite du soleil. Les pertes d'énergie sont minimisées du fait que les commandes du poursuiveur peuvent être impulsionnelles [15].

### I.8.1.2 Choix de la technique à utilisé

Nous avons choisie la technique base sur l'asservissement par ce qu'elle est plus appropriée, plus économique et plus pratique que la technique base sur la pré-programmation. L'inconvénient de cette dernière c'est qu'on a besoin de deux alimentations une alimentation pour la partie commande (le micro ordinateur associé à une carte de commande) et une autre pour la partie puissance 24 V pour le moteur, nous avons besoin aussi de plus de matériel, une grande perte d'énergie à cause de l'alimentation du PC il doit rester allumé on permanence, sans dit qu'avec l'asservissement on aura besoin d'une seule source de 24 V qui alimentera le moteur on passant par une carte de commande.

### I.8.2 Choix technologique

Pour les technologies utilisable pour la poursuite solaire on dénombre plusieurs type d'actionneurs qui consiste principalement à des moteurs électriques à courant alternatif ou continu, aux quels on ajoute un système de réduction de vitesse et un système de blocage à la position souhaitée (système mécanique).

Généralement la meilleure solution pour une poursuite solaire est l'utilisation des moteurs pas à pas, qui assure une très grande précision et un freinage du système très rapide [16].

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

### Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons rassemblée quelque généralité sur l'irradiation solaire et la trajectoire du soleil, nous avons fait une petite approche sur le concentrateur cylindro-parabolique et le système de poursuite approprier.

**Chapitre II**  
**Réalisation du**  
**concentrateur et du**  
**mécanisme de poursuite**

## Introduction

Au cours de ce chapitre, nous allons étudier la réalisation du concentrateur cylindro-parabolique déjà conçu [16], pour récolter les données nécessaires pour le dimensionnement et la réalisation du mécanisme de poursuite.

### II.1 Etude théorique du concentrateur cylindro-parabolique

#### II.1.1 Performances optiques d'un concentrateur cylindro-parabolique

##### II.1.1.1 Taux de concentration

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

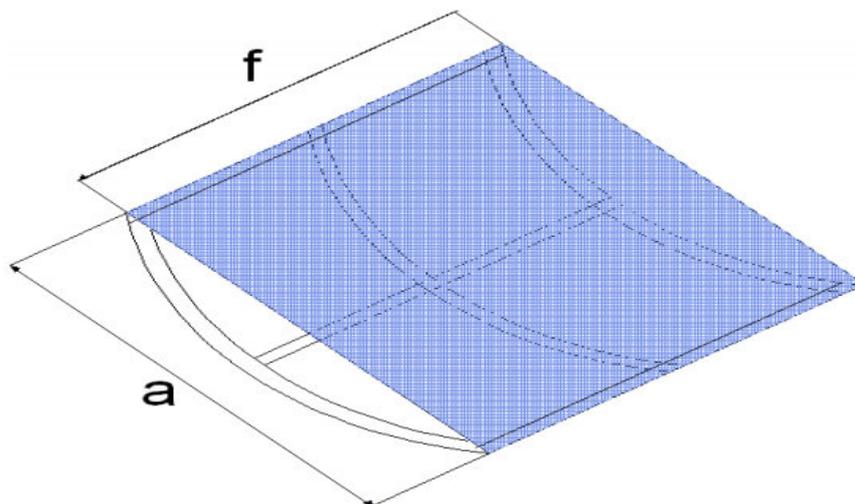
$$C = \frac{A_0}{A_r} \dots\dots\dots (II.1)$$

$A_0$  : surface d'ouverture

avec

$$A_0 = f \times a$$

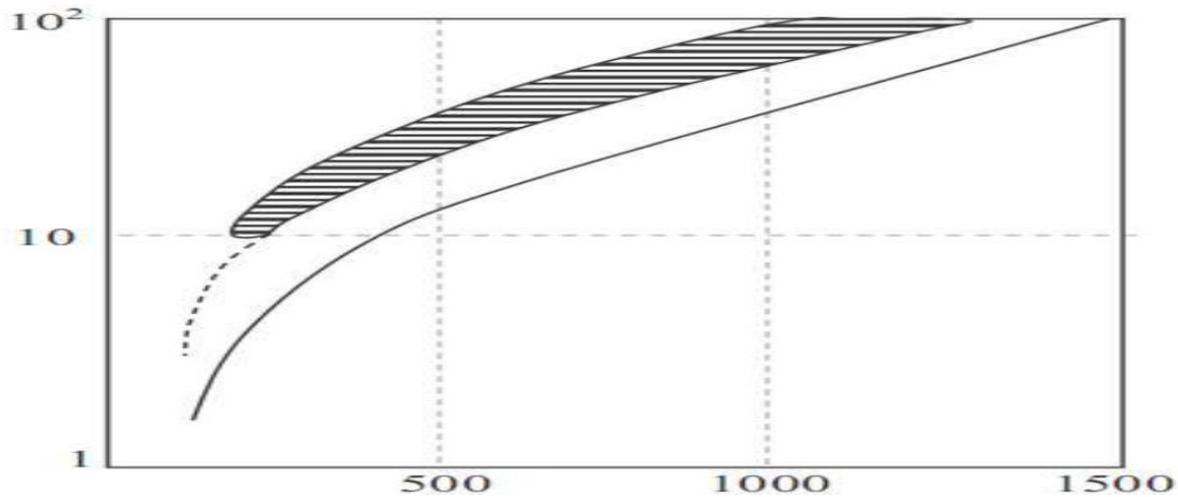
$A_r$  : surface d'absorbeur



**Figure II.1** : La surface d'ouverture

Le paramètre de concentration détermine de façon directe la température d'utilisation (Figure II.2), on peut distinguer :

- Les faibles concentrations ( $1 < C < 10 \Rightarrow T_c \approx 150^\circ\text{C}$ )
- Les moyennes concentrations ( $10 < C < 100 \Rightarrow T_c \approx 300^\circ\text{C}$ )
- Les fortes concentrations ( $C \geq 100 \Rightarrow T_c \geq 500^\circ\text{C}$ )



**Figure II.2 :** Relation entre le taux de concentration et la température du récepteur

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

**II.1.1.2 Angle d'ouverture**

L'ouverture est (a), et (f) la longueur focale (la distance du point focale au sommet) respectivement. Les faisceaux du rayonnement solaire incident sur le réflecteur au point (B) où le rayon (r) est au maximum, est égal à (r<sub>r</sub>) et fait un angle de (φ<sub>r</sub>), décrit par AFB est donnée par l'équation II.2.

$$\phi_r = \tan^{-1} \frac{8f}{16(\frac{f}{a})^2} = \sin^{-1}(\frac{a}{2r_r}) \dots \dots \dots (II.2)$$

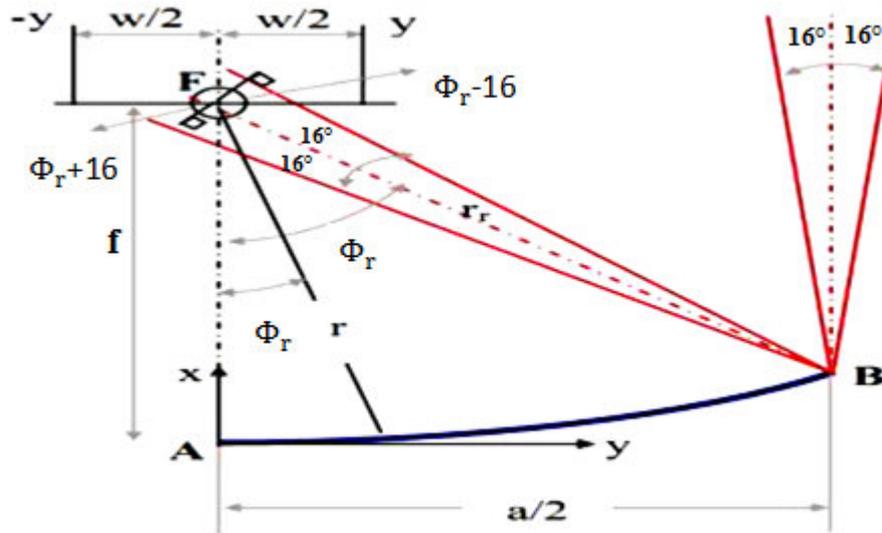


Figure II.3 : Rayon local de miroir

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

$$r = \frac{2.f}{1+\cos \phi} \dots \dots \dots (II.3)$$

## II.2 Réalisation du concentrateur cylindro-parabolique

### II.2.1 Description du prototype

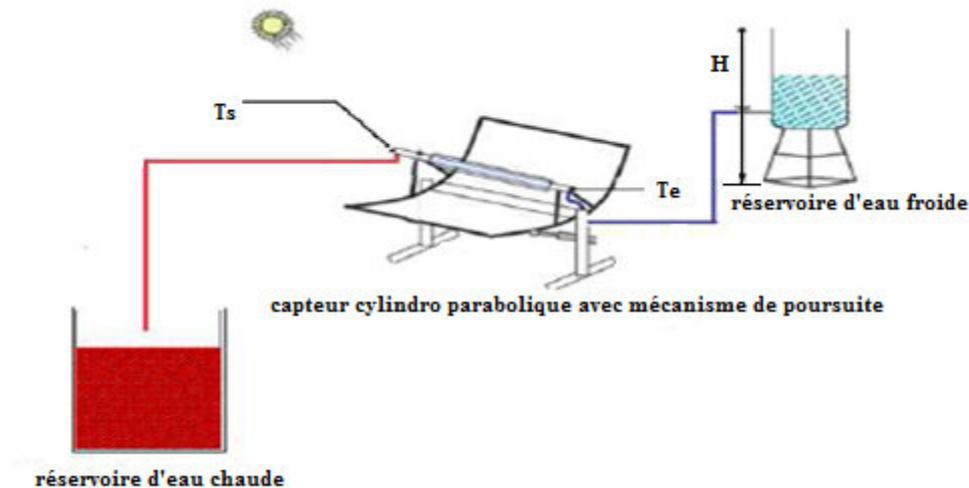
Le prototype réalisé pour effectuer les tests comporte essentiellement :

- Un réflecteur solaire qui est une tôle inoxydable sous forme de parabole cylindrique qui est l'élément essentiel du concentrateur cylindro-parabolique, et un absorbeur de longueur 1,5 m qui constituera le foyer au niveau duquel se concentreront les rayons du soleil. La poursuite se fera automatiquement grâce à un système de poursuite automatique sensible.

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

### II.2.2 Principe de fonctionnement

La figure II.4 représente le schéma de l'installation réalisée.



**Figure II.4 :** Schéma de l'installation

Le concentrateur cylindro-parabolique est orienté vers l'est dès le lever du soleil, la poursuite solaire sera assurée automatiquement.

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

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

### II.2.3 Dimensionnement de la courbe

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

Nous avons pris une tôle inoxydable disponible d'une taille de 1,5 x 1,5m ayant une épaisseur de 1mm. Le prototype du capteur solaire aura alors une surface d'ouverture de 2,25 m<sup>2</sup>.

Un miroir parabolique a la propriété d'être stigmatique pour un point situé à l'infini sur son axe (figure II.5), c'est -à-dire que l'image de ce point est un point appelé le foyer [17].

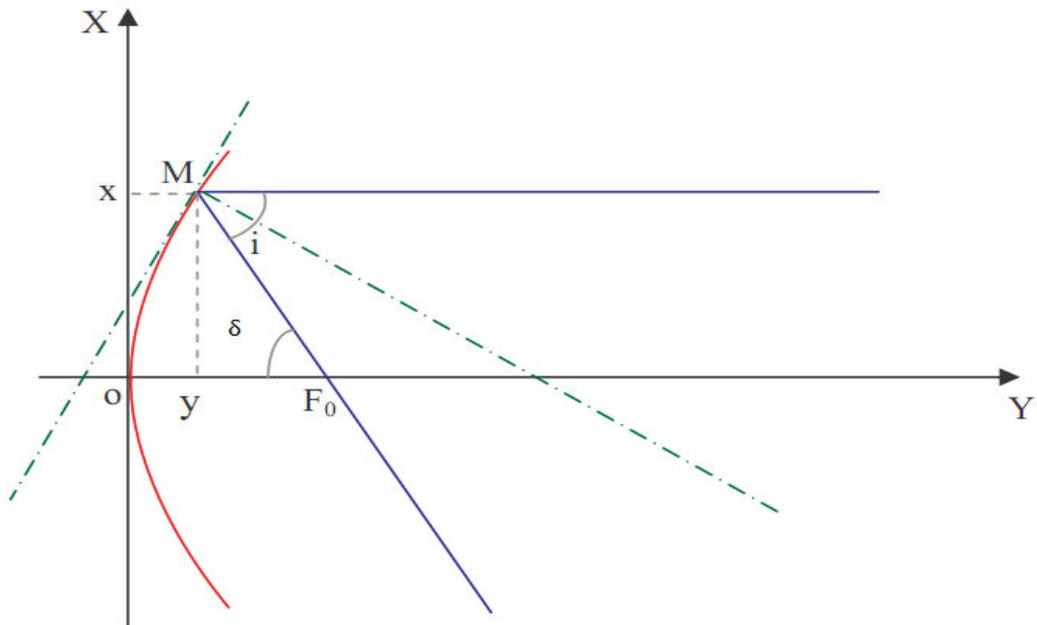


Figure II.5 : Concentration géométrique des miroirs paraboliques

Considérons un rayon parallèle à l'axe et qui frappe le miroir en un point (M) de coordonnées (x,y). Il est réfléchi et coupe l'axe (oy) en (F0). (Figure II.2).

On a:

$$y = a \cdot x^2 \text{ Avec : } a = \frac{1}{4.F} \implies Y = \frac{1}{4.F} x^2 \quad (\text{II.4})$$

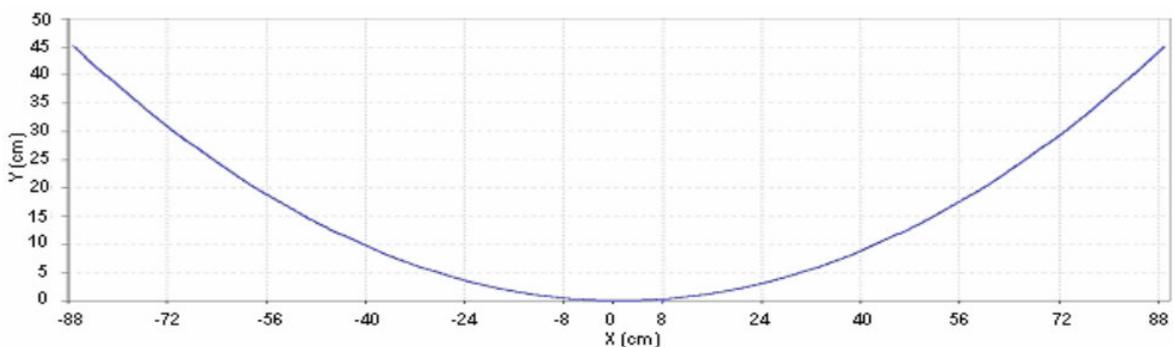


Figure II.6 : La courbe parabolique du concentrateur

### II.2.4 Réalisation du réflecteur

L'équation II.4, nous a permis de réaliser la forme parabolique de la tôle, en utilisant des arcades en bois. A l'aide des boulons, nous avons fixé la tôle sur les arcades et on a obtenue la forme parabolique désirée (voir figure II.7).

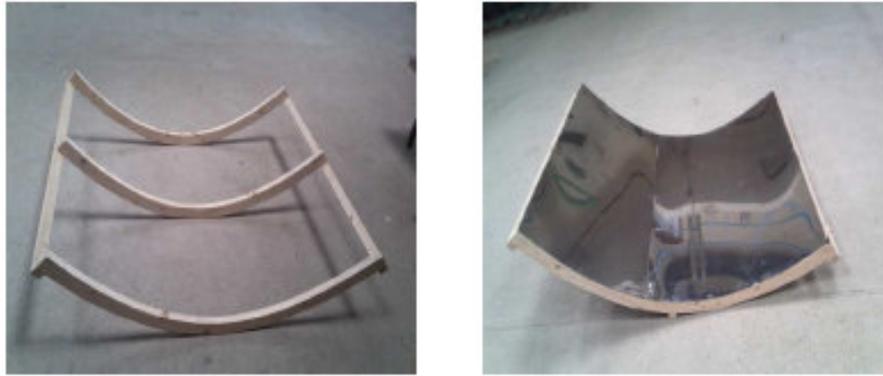


Figure II.7 : Le réflecteur

### II.2.5 Axe de rotation

Le pivotement du concentrateur est assuré par un arbre réalisé avec un tube carré ayant les dimensions suivantes, longueur 150 cm, la largeur 5 cm, la hauteur 3 cm et de deux roulements à billes. Pour assurer la fixation de l'arbre sur les arcades en bois, nous avons utilisé des brides soudées sur ce dernier comme le montre la (voir figure II.8) [16].

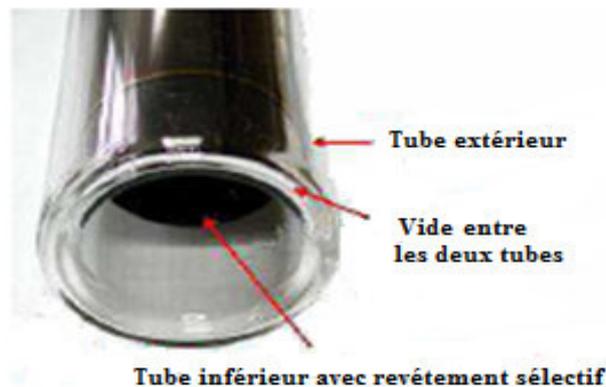


Figure II.8 : Axe de rotation

### II.2.6 Absorbeur

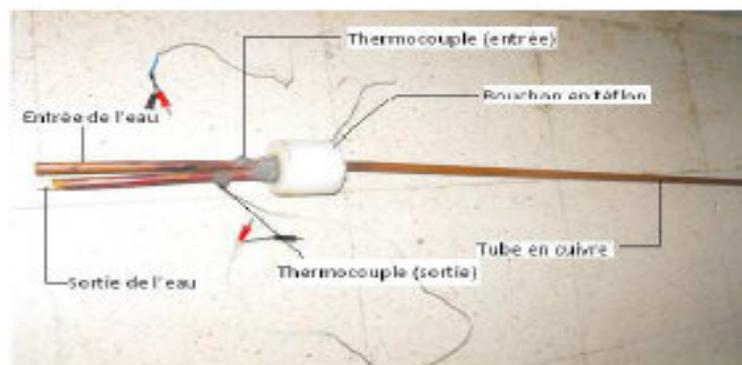
C'est un tube en verre d'un diamètre extérieur de 4,7 cm, d'un diamètre intérieur de 3,2 cm et d'une longueur de 150 cm. Le tube est mis sous vide (entre les deux parois) l'absorbeur reçoit un traitement sélectif pour pouvoir absorber le maximum d'énergie tout en réémettant le minimum [16]. En connaissant le diamètre extérieur du tube et sa longueur plus la surface d'ouverture du concentrateur, on a déterminé le taux de concentration selon l'équation II.1

$$C = \frac{A_0}{A_r} = \frac{2,25}{0,2213} = 10,16 \approx 10$$



**Figure II.9 :** Absorbeur

L'absorbeur utilisé dans notre réalisation est issu d'un chauffe-eau solaire, il ne comporte qu'un seul orifice, c'est pour cela que nous avons réalisé un système de circulation d'eau. Ce système comporte deux orifices, un pour assurer l'entrée de l'eau et l'autre pour assurer la sortie et pour la fixation et l'isolation on a réalisé un bouchon de téflon (voir figure II.10).



**Figure II.10 :** Système de circulation de l'eau

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

Afin de visualiser cette éventualité, les tubes sont munis d'un témoin en baryum, qui dépose une couche métallisée à l'intérieur du tube pendant la fabrication. Cette couche argentée de baryum devient blanche en contact avec l'air et ainsi sert de témoin à la perte de vide [18].



**Figure II.11 :** Vue d'un tube hermétique et non hermétique

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

### II.2.7 Structure porteuse



**Figure II.12 :** Vue du concentrateur réalisé

### II.3 Mécanisme de poursuite

Comme on l'a souligné dans le chapitre précédent nous allons utiliser un vérin électrique. A cause, de la simplification du mécanisme et la possession d'un système de freinage qui est très utile dans la poursuite.

### II.3.1 Définition du vérin électrique

Les vérins électriques utilisent le principe de la transformation d'un mouvement de rotation crée par un moteur électrique en un mouvement de translation grâce à un système mécanique de transformation de mouvement. La vitesse linéaire de la tige du vérin dépend donc de la vitesse de rotation du moteur et du pas du système de transformation de mouvement [19].

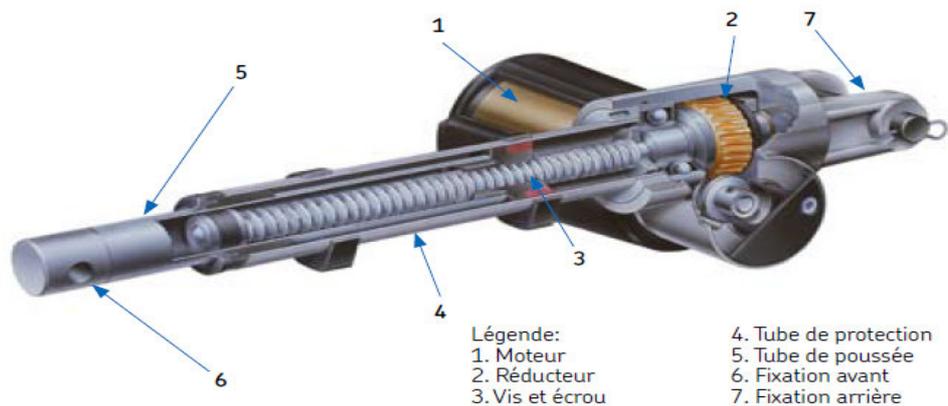
### II.3.2 Composition d'un vérin électrique

Un vérin électrique se compose d'un moteur électrique à courant continu, alternatif, pas à pas ou d'un moto-réducteur couplé à un système de transformation de mouvement rotatif en linéaire de type vis à billes ou vis à filet trapézoïdal irréversible [20].

La grande diversité du choix du moteur, confère à ce type d'actionneur un domaine d'application assez vaste allant du simple déplacement linéaire à partir d'un signal électrique jusqu'au positionnement précis sur certaines machines à commande numérique [20].

### II.3.3 Principaux composants d'un vérin électrique

Les vérins électriques sont conçus généralement de la même façon et des mêmes composants comme le montre la figure II.13 :



**Figure II.13 :** Composition générale d'un vérin électrique

### II.3.3.1 Moteur à courant-continu

La classe des moteurs à courant continu n'intègre que les moteurs à collecteurs alimentés en courant continu. Elle exclut les moteurs alternatifs à excitation série, dits universels, qui utilisent la même structure à collecteur, ainsi que les structures « brushless », où le collecteur devient électronique [22].

### II.3.3.2 Réducteur

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

On distingue plusieurs types de réducteurs :

- réducteur à vis sans fin en acier traité et roue hélicoïdale en délrin ou en bronze : Ces matériaux permettent une meilleure performance (durée de vie, faible jeu, etc.) et un très bas niveau sonore.
- réducteur planétaire : Souvent utilisé pour des applications avec facteur de service élevé grâce à son haut rendement [20].

### II.3.3.3 Vis et écrou

#### II.3.3.3.1 Différents types de vis

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

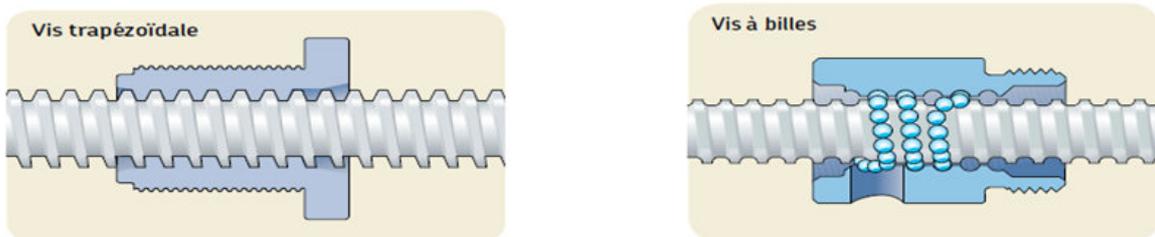
#### II.3.3.3.2 Vis à billes

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

périodes à des vitesses élevées et exigeant une haute capacité dynamique. En général, des freins sont spécifiés pour les vérins à vis à billes afin d'empêcher l'entraînement en arrière [20].

### II.3.3.3 Vis à filet trapézoïdale

Ces vis transmettent le couple en un mouvement linéaire par l'intermédiaire d'un frottement de glissement direct. Un montage type est constitué d'une vis en acier et d'un écrou en plastique comme le montre la figure II.14. Certains produits sont équipés de vis trapézoïdale présentant un coefficient de frottement relativement élevé et donc idéal pour une application autobloquante. Les vérins à vis trapézoïdale supportent des charges statiques élevées, résistent à des vibrations excessives, fonctionnent sans bruit et sont très économiques [20].



**Figure II.14 :** Les différents types vis utilisées dans les vérins électriques

Le rendement des vis à bille est de 98%, il est très supérieure à celui des vis à filet trapézoïdal avec un rendement de 50%. Mais par rapport à un système vis-écrou classique, les vis à billes sont d'un prix élevé et leur montage est plus complexe mais améliore le rendement ; c'est le cas par exemple, des systèmes d'axes à commande numérique [21].

### II.3.3.4 Fin de course

Son rôle est de limiter le mouvement ou la course du vérin dans un sens particulier. Lorsqu'il est activé, l'interrupteur ouvre ou ferme un contact électrique.

Lorsque le contact est fermé, le courant passe à travers l'interrupteur et lorsque le contact est ouvert, aucun courant ne traverse l'interrupteur. Ces dispositifs empêchent les vérins d'entrer en contact avec les butées mécaniques et peuvent permettre le réglage de la longueur de course [21].

### II.3.3.5 Ecrou de sécurité

Ceci empêche le vérin de s'effondrer en cas de défaillance de l'écrou d'entraînement. L'écrou de sécurité est généralement en métal et fait preuve d'une plus grande résistance au cisaillement que l'écrou d'entraînement. Il n'entre en contact qu'avec les filets de la broche, en cas de défaillance des filets de l'écrou d'entraînement. L'écrou de sécurité porte la charge et peut être capable de la réduire (ce qui indique qu'une réparation est nécessaire) [23].

## II.4 Dimensionnement et caractéristiques du vérin électrique

### II.4.1 Paramètres pour le choix d'un vérin

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

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

#### II.4.1.1 Charges à déplacer et vitesse de translation

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

La vitesse dont on a besoin est très faible, le vérin qu'on doit choisir doit comporter un grand rapport de réduction [23].

#### II.4.1.2 Facteur de service et environnement

- Le facteur de service est défini en pourcentage du temps de travail sur une durée de 10 mn.
- Les conditions de travail (air ambiant, humidité, expositions aux intempéries, poussières,... etc.) peuvent avoir une influence sur le choix de la protection IP du vérin ou des matériaux utilisés (inox, etc...), pour l'endroit et peut humide et pas de présence de goutte d'eau donc tous les IP nous conviennent.

- Le facteur de service standard est généralement fixé entre 30% et 40% (soit 3 à 4 mn de travail sur 10 mn de fonctionnement)
- La plage de températures est de -30°C à +50°C
- Un facteur de service supérieur peut être obtenu, soit par choix d'un vérin de force supérieure, soit par utilisation d'une vis à billes
- La plage de températures peut aussi être élargie par l'utilisation principalement de graisses spécifiques

#### **II.4.1.3 Course utile du vérin**

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

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

Pour notre réalisation on aura besoin d'une grande course (1m à 1,5m).

#### **II.4.1.4 Tension moteur**

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

#### **II.4.1.5 Irréversibilité / Réversibilité**

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

#### **II.4.2 les caractéristiques du vérin utilisé**

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

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

**Tableau II.1** : les caractéristiques du vérin

#### II.4.2.1 Moteur du vérin utilisé

Le vérin utilisé comporte un moteur à courant continue à aimants permanents avec un arbre qui comporte 8 filets.



**Figure II.15** : Le rotor (induit)



**Figure II.16** : Le stator (inducteur)

#### II.4.2.2 Etude du réducteur du vérin utilisé

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

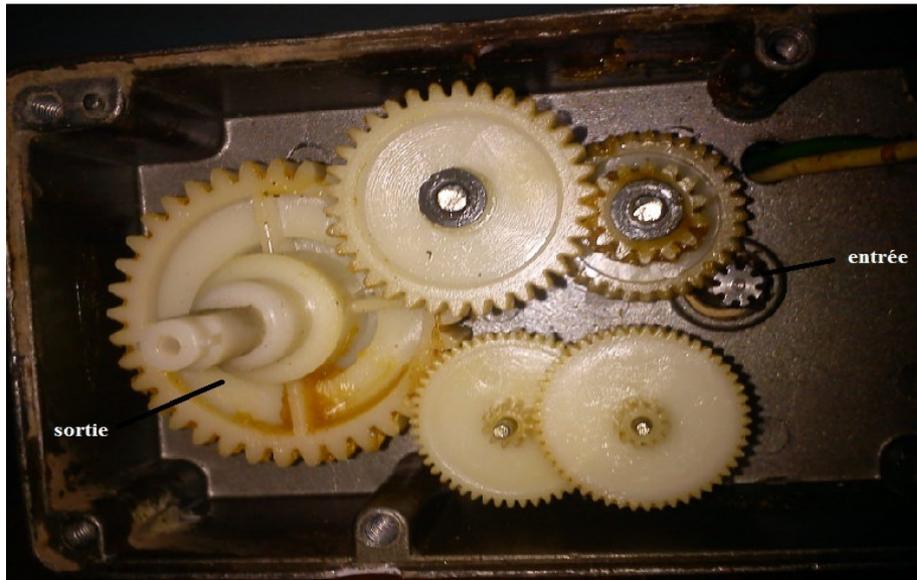


Figure II.17 : le réducteur de vitesse

**a) Les roues menantes**

- L'arbre (il comporte 8 filets)
- Engrenage à dents droites (1<sup>er</sup> a 14 dents, 2<sup>eme</sup> a 10 dents )

**b) Les roues menées**

- Engrenage à dents hélicoïdales (il comporte 33 dents avec un angle d'inclinaison de 26°)
- Engrenage à dents droites (1<sup>er</sup> a 34 dents, 2<sup>eme</sup> a 36 dents)

Ce qui nous fait un rapport de réduction de la vitesse de rotation donné par l'équation II.5

$$r = (-1)^n \times \frac{\text{rous menante}}{\text{rous menee}} \quad (II.5)$$

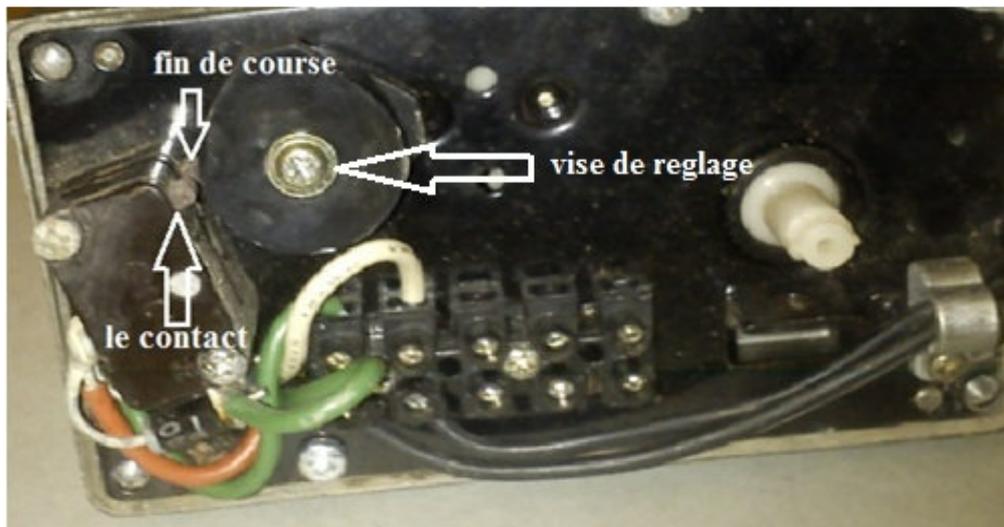
n : nombre de contacts extérieurs.

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

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

### II.4.2.3 Fin de course

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



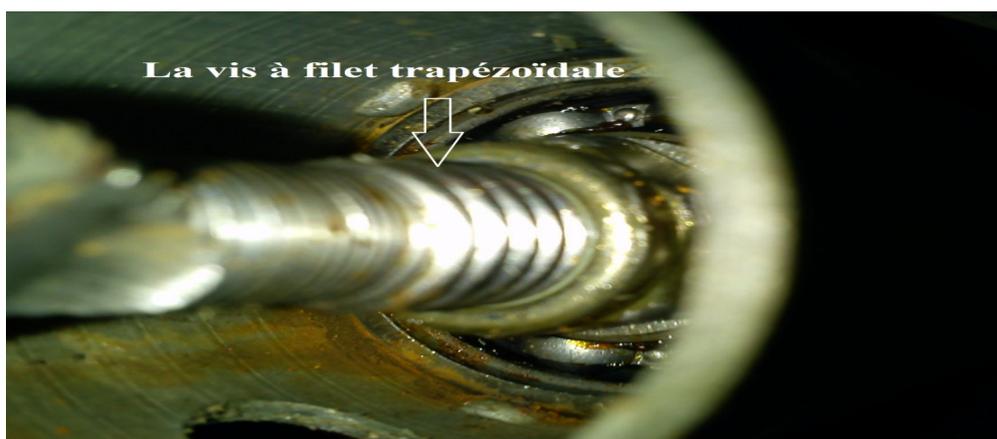
**Figure II.18 :** Fin de course du vérin

#### II.4.2.4 Tige

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

##### II.4.2.4.1 Type de vis utilisée

Le vérin utilisé comporte une vis à filet trapézoïdal comme le montre la figure II.19, donc on n'aura pas de problème d'irréversibilité (pas besoin d'un mécanisme de blocage), de ce côté là aussi le vérin répond à nos exigences.



**Figure II.19 :** La vis à filet trapézoïdale

#### II.4.2.4.2 Ecrou de sécurité

L'écrou de sécurité est illustré sur la figure II.20

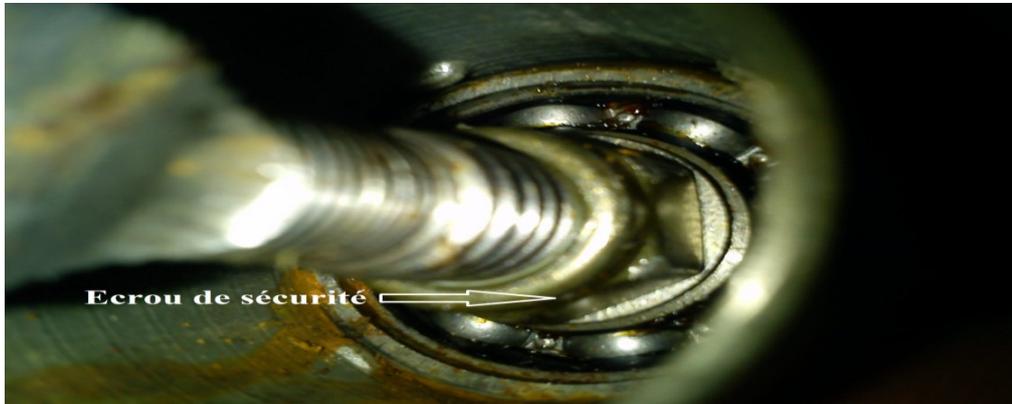


Figure II.20 : Ecrou de sécurité

#### II.5 Mise en place du vérin

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



Figure II.21 : différentes positions du concentrateur

##### II.5.1 Calcul du centre de gravité d'un segment de parabole $G(x,y)$

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

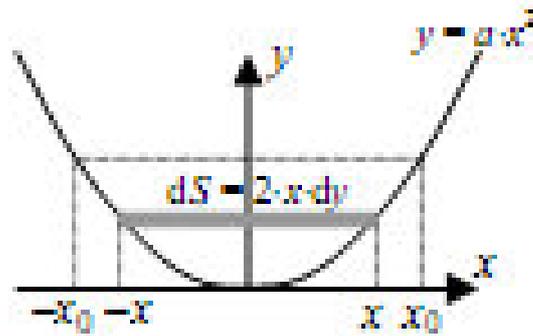


Figure II.22 : Centre de gravité

$$S = 2x_0 y_0 - \int_{-x_0}^{x_0} ax^2 dx = \frac{4}{3} * a * x_0^3 = \frac{4}{3} x_0 y_0$$

$$Y = \frac{1}{S} \int_0^{y_0} y 2x dy = \frac{3}{4x_0 y_0} \int_0^{y_0} y 2 \sqrt{y/a} dy = \frac{3}{5} y_0$$

$$y = 3/5 y_0$$

$$y = 3/5 * 34$$

$$y = 20.4 \text{ cm}$$

D'où : G (20.4 , 0)

### II.5.2 Position théorique initiale du vérin

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

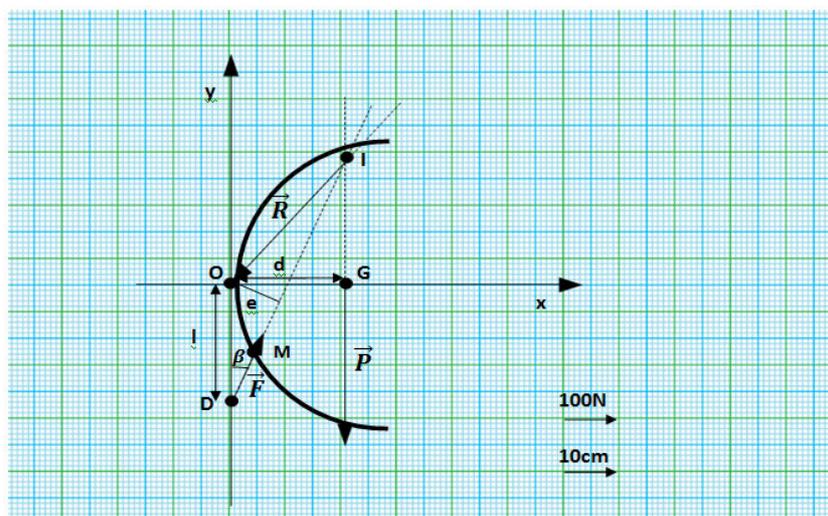


Figure II.23 : Répartition des forces qui agissantes sur le concentrateur

P : poids du concentrateur

F : force statique du vérin

R : réaction du vérin

O : axe de rotation

I : point d'intersection des porteuses des trois forces concourantes

D : point de fixation du vérin

M : point de fixation du vérin au concentrateur

e : bras de levier de la force F

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

d : bras de levier du poids « P »

$\alpha$  : Angle du vérin avec l'axe OX (ou avec le sol)

$\beta$  : Angle du vérin avec l'axe OY

On utilisant le principe fondamental de la statique on obtient

$$\sum \overrightarrow{F_{ext}} = \vec{0} \quad (\text{II.6})$$

$$\vec{R} + \vec{P} + \vec{F} = \vec{0} \quad (\text{II.7})$$

Par projection sur l'axe OX on aura

$$F \cos \alpha - R_x = 0 \quad (\text{II.8})$$

Par projection sur l'axe OY on aura

$$F \sin \alpha - P - R_y = 0 \quad (\text{II.9})$$

$$\sum \vec{M} = \vec{0} \quad (\text{II.10})$$

$$\overrightarrow{M_F} + \overrightarrow{M_P} + \overrightarrow{M_{R_a}} = \vec{0} \quad (\text{II.11})$$

À partir d'II.11 on aura

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

$$F = \frac{P \times d}{e} \quad (\text{II.12})$$

$$\text{Ou } e = l \times \tan \beta \quad (\text{II.13})$$

De II.12 et II.13 on aura

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

AN :

$$F = \frac{300 \times 20,4}{22,5 \times \tan 25} = 583,3 \text{ N}$$

En remplaçant F dans II.8 et II.9

On obtient:

$$R_x = F \times \cos \alpha = 583,3 \times \cos 65 = 246,5 \text{ N}$$

$$R_y = F \sin \alpha - P = 583,3 \times \sin 65 - 300 = 228,65 \text{ N}$$

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

### II.5.1.2 Détermination géométrique de la force statique du vérin et de la réaction de l'axe de rotation

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

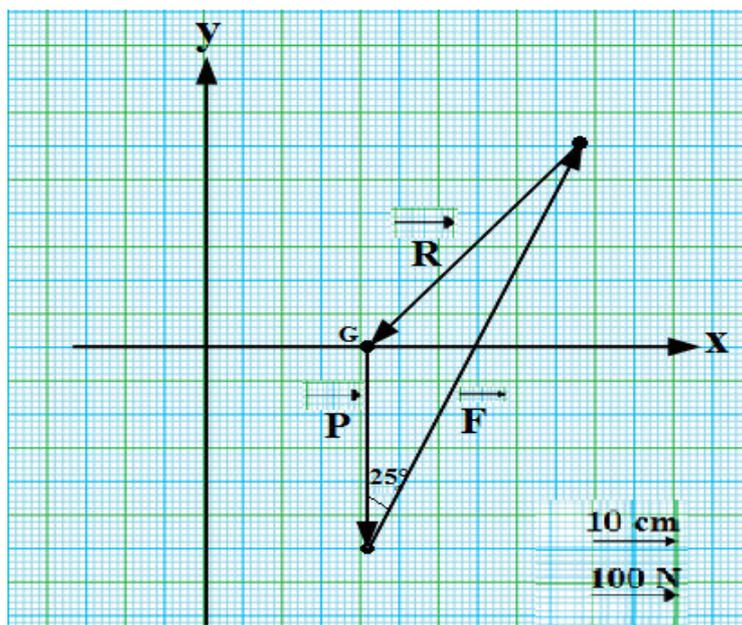


Figure II.24 : triangle des forces à l'échelle

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

- Réaction de l'axe de rotation

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

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

- Force statique du vérin

Nous avons obtenu une force statique du vérin qui vaut :

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

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

Ce qui nous fait :

F= 578 N

- **Vérification avec le principe fondamental de la statique**

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

- **Projection selon l'axe OX :**

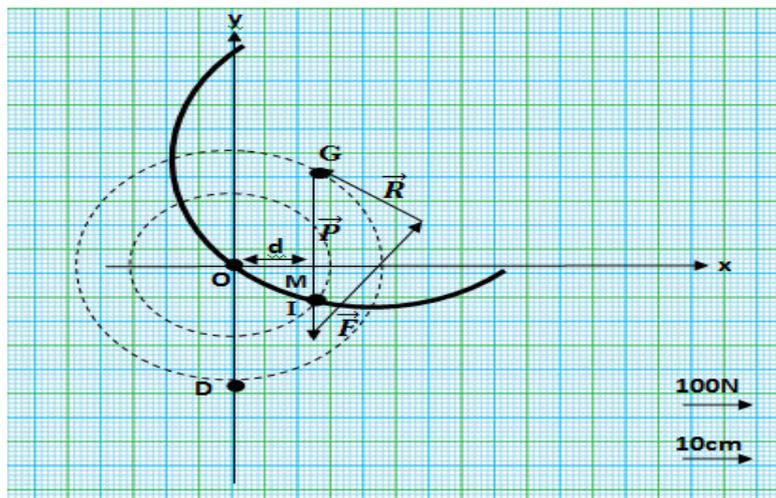
$$F_x - R_x = 230 - 230 = 0 \quad \text{Vérifiée}$$

- **Projection selon l'axe OY :**

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

On voit que les résultats obtenus avec cette méthode sont très proches en comparaison avec la méthode analytique à une différence de 5 N près.

La figure II.25 est obtenue lorsque le concentrateur tourne d'un angle  $\gamma = 55^\circ$ .



**Figure II.25 :** Triangle des forces sur échelle pour une rotation de  $55^\circ$  du concentrateur

Nous avons procédé avec la même méthode pour la détermination des forces agissantes sur le concentrateur lorsque ce dernier fait une rotation de  $55^\circ$ . Nous avons représenté les forces, la position et la trajectoire des deux points M et G.

A partir du dessin on a :

- **Par projection sur l'axe OX :**

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

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

- **Par projection sur l'axe OY :**

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

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

Ce qui nous fait :

$$F = \sqrt{145^2 + 210^2} = 255 \text{ N}$$

Et

$$R = \sqrt{145^2 + 90^2} = 170 \text{ N}$$

• **Vérification du principe fondamental de la statique**

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

Selon OX :

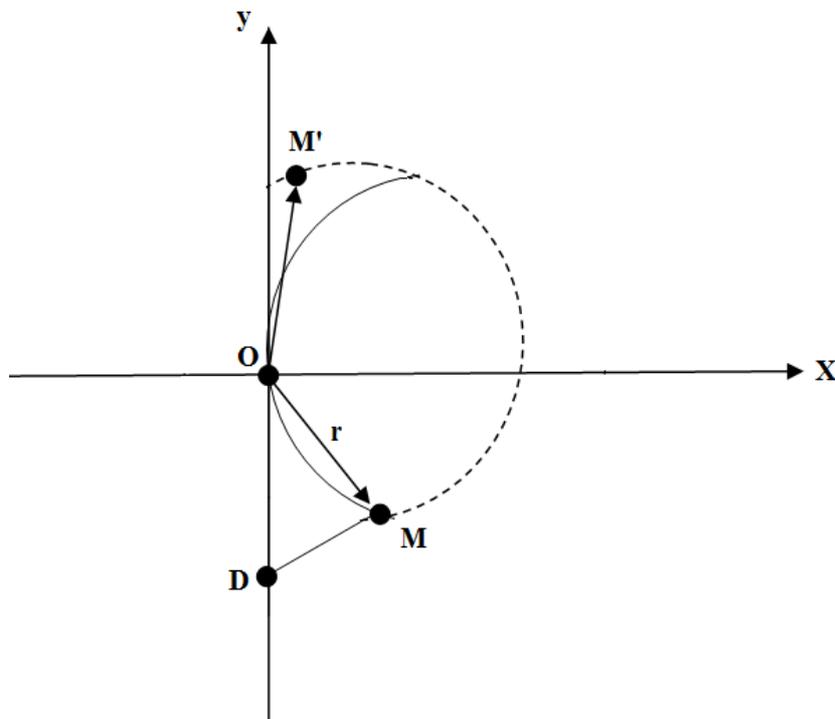
$$F_x - R_x = 145 - 145 = 0 \quad \text{Vérifiée}$$

Selon OY :

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

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

**II.5.1.3 Trajectoire d'un point quelconque**



**Figure II.26 :** Trajectoire d'un point quelconque

La trajectoire du point (M) par rapport à l'axe de rotation (A), est un arc (MM') =  $r \cdot d\theta$  de rayon  $r = (AM)$ , ce qui est représenté sur la figure II.26.

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

**II.6 Identification du moteur du vérin utilisé**

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

### II.6.1 Essai en génératrice (à vide)

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



Figure II.27 : accouplement du moteur à la perceuse

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

Tableau II.2 Résultats des essais en génératrice du moteur du vérin

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

$$K_e = \frac{0,178 + 0,163 + 0,173 + 0,161}{4} = 0,168$$

### II.6.2 Mesure de la résistance d'induit

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

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

**Tableau II.3** : Résultats de détermination de la résistance d'induit

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

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

Comme la machine et à aimants permanents, donc nous allons la considérer comme une machine à courant continu à excitation séparée et constante.

On aura donc  $K_e = K_t = \Phi_0$

Où :  $K_e$  : constante de tension et  $K_t$  : constante de couple

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

$$P_a = U \times I = 24 \times 0,6 = 14,4 W$$

Ce qui donne un rendement :

$$\mu = \frac{P_u}{P_a} = \frac{10,4}{14,4} = 0,72 = 72\%$$

## II.7 Modélisation du moteur électrique à courant continu et à aimants permanents

Pour l'étude et la réalisation de la carte de commande pour le moteur, on a besoin de sa modélisation, pour avoir sa fonction de transfert, nous avons modélisé le moteur et on a déduit sa fonction de transfert pour la simulation sous matlab.

Dans un moteur à excitation séparée, l'inducteur et l'induit sont alimentés par deux sources distinctes. Les cas fréquents où la tension d'excitation est constante sont équivalents à ceux des moteurs à aimants permanents, dont le flux est constant, pour cela on va étudier un moteur à excitation séparée et constante.

### II.7.1 Equations électriques et mécaniques

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

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

- **Equation électrique**

$$U = -e + Ri + L \frac{di}{dt} \quad \text{avec } e = -\Phi_0 \omega \quad (II.14)$$

$$\Rightarrow U = \Phi_0 \omega + Ri + L \frac{di}{dt} \quad (II.15)$$

- **Equation mécanique**

On l'obtient par application du théorème du moment cinétique pour le système en rotation autour de l'axe noté  $\Delta$ .

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

$$J \frac{d\omega}{dt} = \sum \Gamma_{\Delta} = \Gamma + \Gamma_r \quad (II.16)$$

$$\Rightarrow J \frac{d\omega}{dt} = \Phi_0 i + \Gamma_r \quad (II.17)$$

En reportant l'équation mécanique électrique on obtient:

$$(II.17) \Rightarrow i = \frac{1}{\Phi_0} \left( j \frac{d\omega}{dt} - \Gamma_r \right) \quad (II.18)$$

$$(II.15) \Rightarrow u = \Phi_0 \omega + Ri + L \frac{di}{dt} = \Phi_0 \omega + R \left[ \frac{1}{\Phi_0} \left( j \frac{d\omega}{dt} - \Gamma_r \right) \right] + L \frac{d \left[ \frac{1}{\Phi_0} \left( j \frac{d\omega}{dt} - \Gamma_r \right) \right]}{dt} \quad (II.19)$$

$$\Rightarrow Lj \frac{d^2\omega}{dt^2} + \left( Rj - L \frac{d\Gamma_r}{d\omega} \right) \frac{d\omega}{dt} + \Phi_0^2 \omega + R\Gamma_r = \Phi_0 u, \quad u = u(t) \text{ et } \Gamma_r = \Gamma_r(\omega) \quad (II.20)$$

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

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

$$Rj \frac{d\omega}{dt} + \Phi_0^2 \omega - R\Gamma_r(\omega) = \Phi_0 u(t) \quad (II.21)$$

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

$$Rj \frac{d\omega}{dt} + (\Phi_0^2 + Rf)\omega = \Phi_0 u(t) + R\Gamma_0 \text{ avec } \Gamma_r(\omega) = -f\omega + \Gamma_0 = cst \quad (II.22)$$

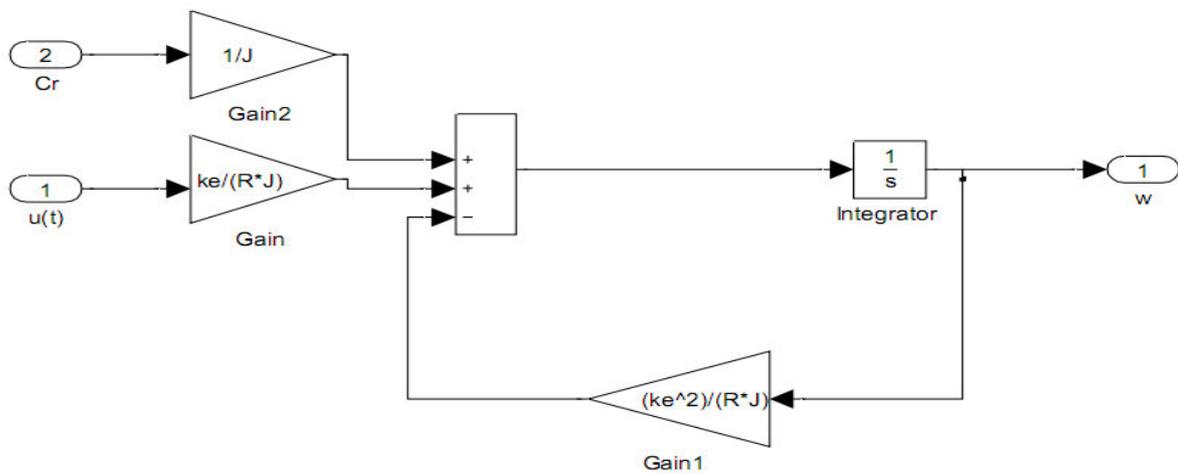
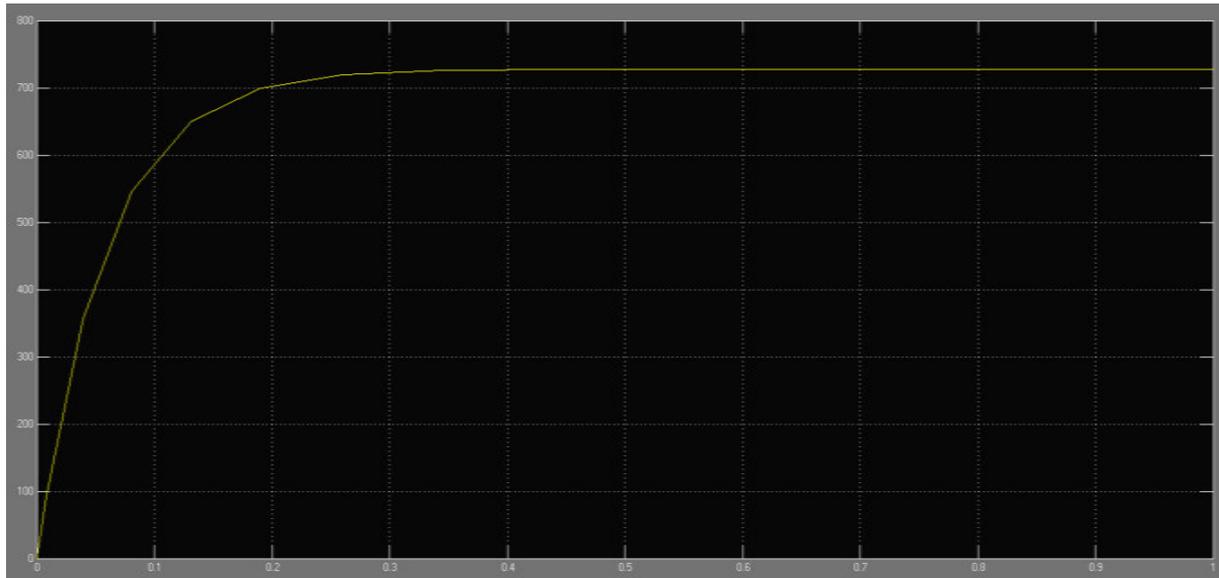


Figure II.28 : schémas bloc du moteur

La simulation nous a donnée comme résultat la figure II.29 qui nous montre la sortie (vitesse) en fonction du temps.



**Figure II.29** : Résultat de la simulation sous matlab

## CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons étudié la réalisation du concentrateur et réalisé le mécanisme de poursuite qu'on a mis en place, ce dernier a été modifié suite à la détérioration de la rotule d'origine du vérin qu'on a remplacé par une autre qui est faite en acier pour une grande robustesse. Cette modification nous a coûté deux centimètre de course utile du vérin. L'identification du moteur du vérin est un peu complexe vu que le moteur est inaccessible pour d'autres tests.

# **Chapitre III**

## **Réalisation de la carte de commande**

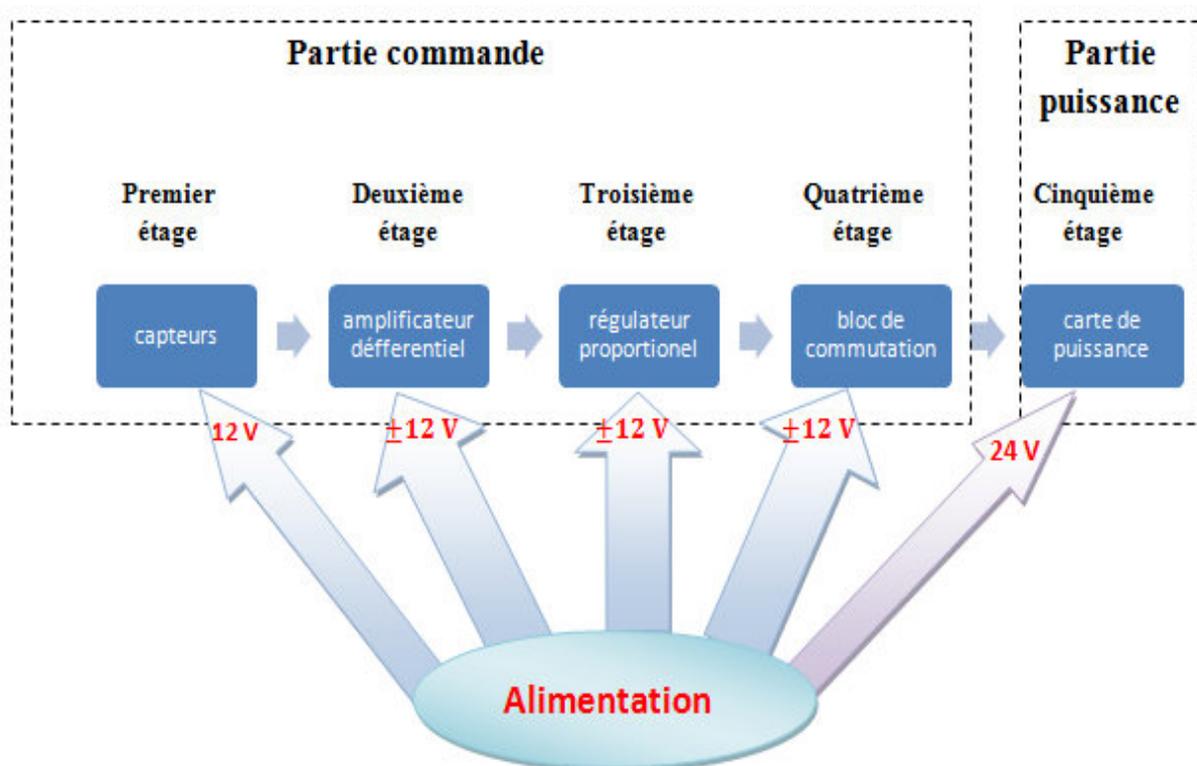
### III Introduction

Après avoir abordé dans le chapitre précédent le dimensionnement et la réalisation mécanique du poursuiveur, nous allons consacrer le présent chapitre à l'étude détaillée des différents étages du circuit de commande du poursuiveur.

Nous allons commencer par donner le schéma synoptique du montage, puis on procède à la description de chaque étage constituant ce montage.

#### III.1 Schémas synoptique de la réalisation

La figure III.1 donne le schéma synoptique du montage à réalisé



**Figure III.1** : schémas synoptique de la réalisation

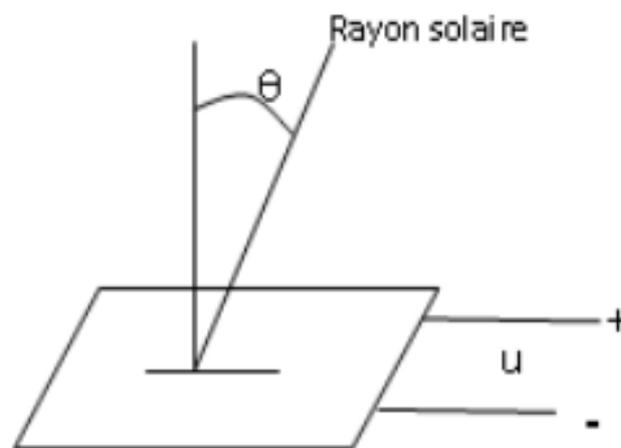
Le système de commande est basé sur le principe du contrôle photoélectrique, le détecteur de l'écart de position est un système à base deux photos éléments (phototransistors) à connexion différentielle, délivrant à la sortie une tension proportionnelle à l'écart angulaire entre les positions du soleil et du concentrateur cylindro-parabolique. Selon le signe de la tension le vérin sera actionné dans un sens ou dans un autre de façon à positionnée le concentrateur, de telle sorte que les rayons du soleil soient perpendiculaires au tube caloporteur. À ce moment les tensions de commande s'annulent, par conséquent le vérin s'arrête.

### III.2 Partie commande

Cette partie représente la carte de commande qui est constituée de quatre étages

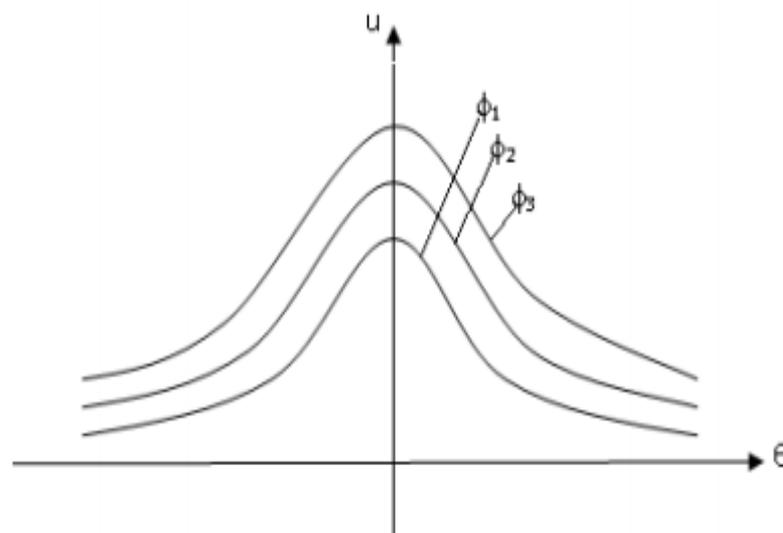
#### III.2.1 Premier étage (capteur)

Ce bloc est un capteur de position constitué de deux phototransistors montés en différentiel. Selon l'inclinaison «  $\theta$  » des rayons solaire sur l'un des phototransistors, on a à la sortie de ce dernier une tension bien déterminée (Figure III.2).



**Figure III.2 :** Ecart angulaire

Avec le changement d'intensité du soleil ( $\Phi$ ), la caractéristique  $u=f(\theta)$  est déterminée par une famille des courbes (voir figure III.3).

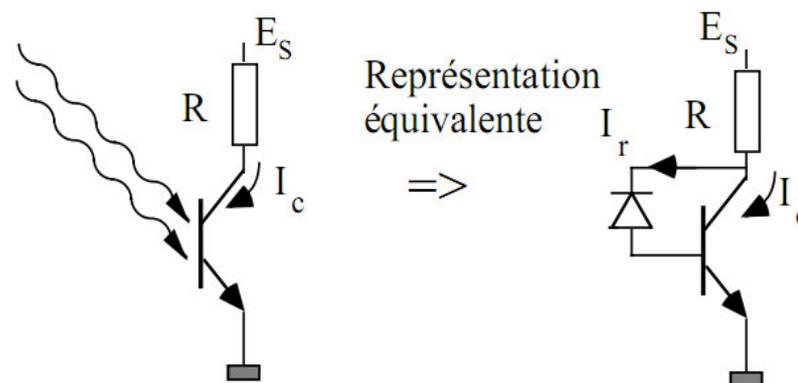


**Figure III.3 :** Caractéristique  $u(\theta)$  du capteur pour différentes valeurs de  $\Phi$

### III.2.1.1 Principe d'un phototransistor

Son fonctionnement est le même que celui d'un transistor bipolaire, l'intensité  $I_b$  est ici remplacée par l'intensité du flux lumineux reçu. On bénéficie ainsi du coefficient d'amplification propre au transistor, en revanche le temps de commutation sera plus long que pour la photodiode.

Ces transistors sont en général au silicium et de type NPN dont l'élément semi-conducteur constituant la base peut être éclairé.



**Figure III.4 :** Représentation équivalente d'un phototransistor

Lorsque la région voisine de la jonction base-collecteur est éclairée, elle se comporte comme une photodiode en mode photoconducteur dont le courant est :

$$I_r = I_p + I_0 \quad (\text{III.1})$$

Le courant du collecteur est donné par :

$$I_c = (\beta + 1)I_r \quad (\text{III.2})$$

avec :

- $\beta$  : le gain en courant du transistor en émetteur-commun
- $I_r$  : le courant de base
- $I_p$  : courant d'éclairement
- $I_0$  : courant d'obscurité

Nous avons réalisé une lunette sur laquelle nous avons positionné les deux phototransistors T1 et T2, le phototransistor T1 étant occulté par un tube noir et T2 sans occultation (voir figure III.5), l'ensemble étant solidaire avec le concentrateur cylindro-parabolique. Le principe de la lunette est illustré par la figure III.7, le phototransistor occulté T1 n'est soumis à la même intensité lumineuse que T2 que lorsque la lunette est

perpendiculaire aux rayons solaires. Nous avons utilisé des phototransistors de type BPX81 dont les caractéristiques électriques sont données en annexe.

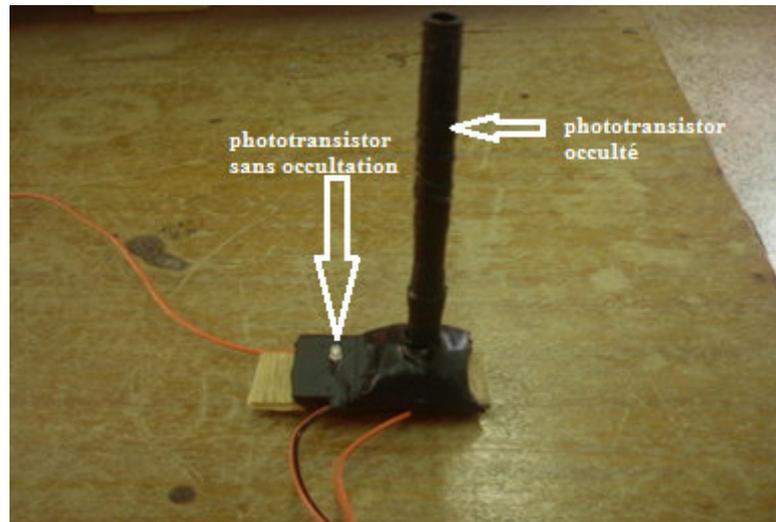


Figure III.5 : Lunette réalisé

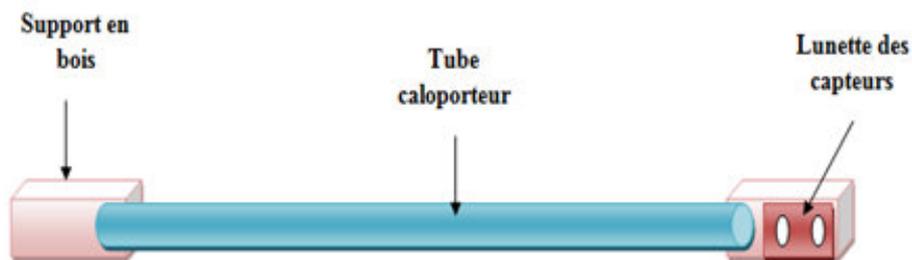


Figure III.6 : Position de la lunette sur le concentrateur

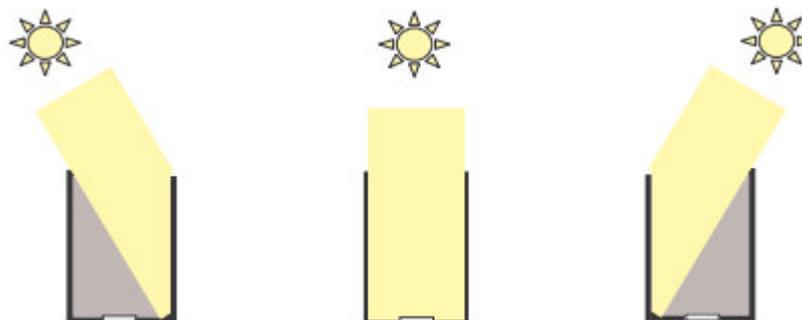
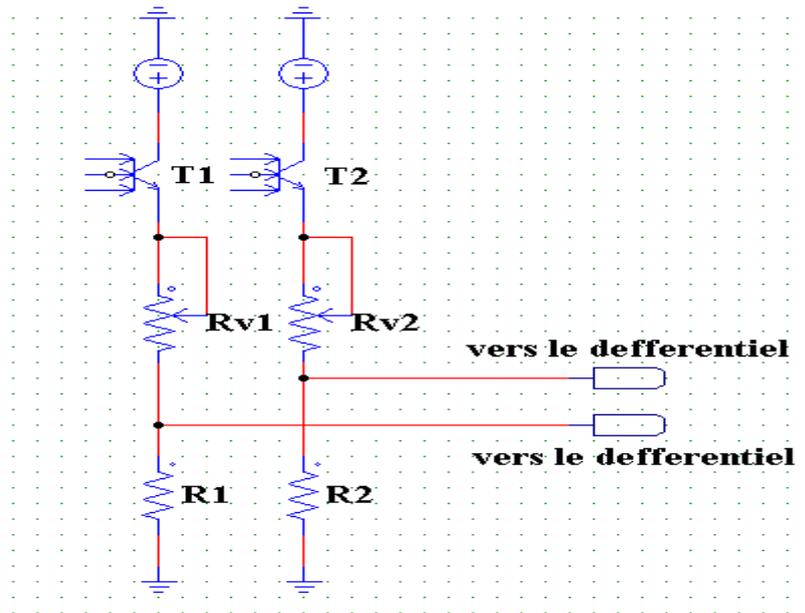


Figure III.7 : Principe de la lunette réalisé

Nous avons monté les deux phototransistors en différentiel tel qu'il est indiqué par la figure III.8 ci-dessous.



**Figure III.8 :** Phototransistors montés en différentiel

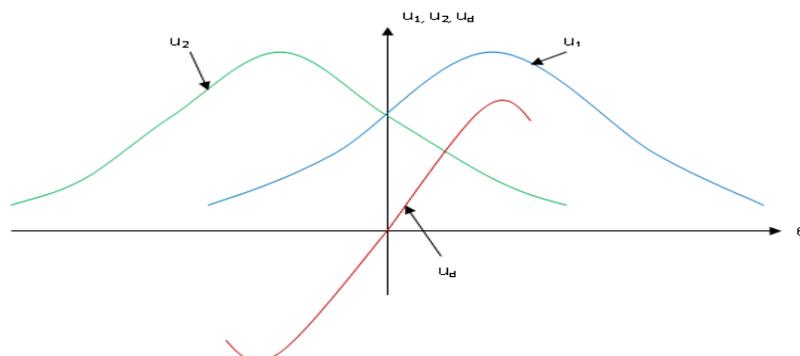
Les deux potentiomètres Rv1 et Rv2 nous permet d'avoir un réglage très précis des tensions injectées au différentiel.

### III.2.2 Deuxième étage

Le rôle de ce bloc consiste à récolter les tensions aux bornes des deux résistances R1 et R2 et à faire la différence entre ces deux tension elles mêmes, il s'agit donc d'un amplificateur différentiel.

#### III.2.2.1 Caractéristique des deux capteurs montés en différentiel

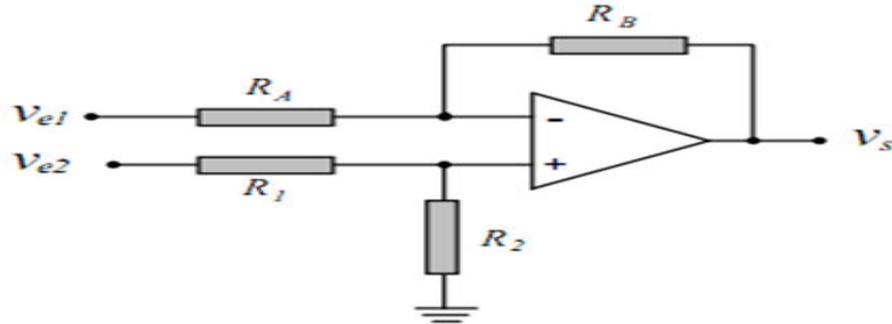
Comme nous l'avons déjà souligné, les deux capteurs son montés en différentiel, la figure (III.9) représente la différence de la tension  $U_d$  ( $\Delta\theta$ ) entre  $u_1$  et  $u_2$  des deux capteurs pour une valeur de l'intensité du soleil ( $\Phi$ ).



**Figure III.9 :** Caractéristique  $U_d$  ( $\Delta\theta$ ) des deux capteurs montés en différentiel

### III.2.2.2 Amplificateur différentiel

L'amplificateur différentiel est utilisé pour évaluer la différence entre les deux tensions «  $V_{e1}$  » et «  $V_{e2}$  » aux bornes des deux résistances  $R_1$  et  $R_2$  respectivement (voir figure III.10).



**Figure III.10 :** Schéma d'un amplificateur différentiel

Nous avons :

$$V^+ = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{e2} \quad (\text{III.3})$$

$$V^- = \frac{(R_B \times V_{e1}) + (R_A \times V_S)}{R_A + R_B} \quad (\text{III.4})$$

A partir de ces deux équations, on déduit la relation entre la tension de sortie  $V_S$  de l'amplificateur différentiel et les deux tensions  $V_{e1}$  et  $V_{e2}$  :

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{e2} = \frac{R_B \times V_{e1}}{R_A + R_B} + \frac{R_A \times V_S}{R_A + R_B} \quad (\text{III.5})$$

Ce qui donne :

$$V_S = \frac{R_A}{R_B} (V_2 - V_1) \text{ Si } \frac{R_A}{R_B} = \frac{R_1}{R_2}$$

Si en plus  $R_A = R_B$  on obtient :

$$V_S = V_2 - V_1 \quad (\text{III.6})$$

La figure III.11 donne le circuit électrique de l'amplificateur différentiel réalisé avec le logiciel PSIM afin de tester son bon fonctionnement avant de passer à la réalisation pratique.

Pour tester le circuit, nous avons utilisé comme il est illustré dans la figure III.12 des résistances de même valeur ( $R_1=R_2=R_A=R_B=100 \text{ K}\Omega$ ) et deux tensions  $V_{e1}=8\text{V}$  et  $V_{e2}=3\text{V}$ ,

la tension de sortie  $V_s$  résultante est égale à  $-5V$  (voir la figure III.12), elle correspond bien à la différence  $V_{e2} - V_{e1}$ .

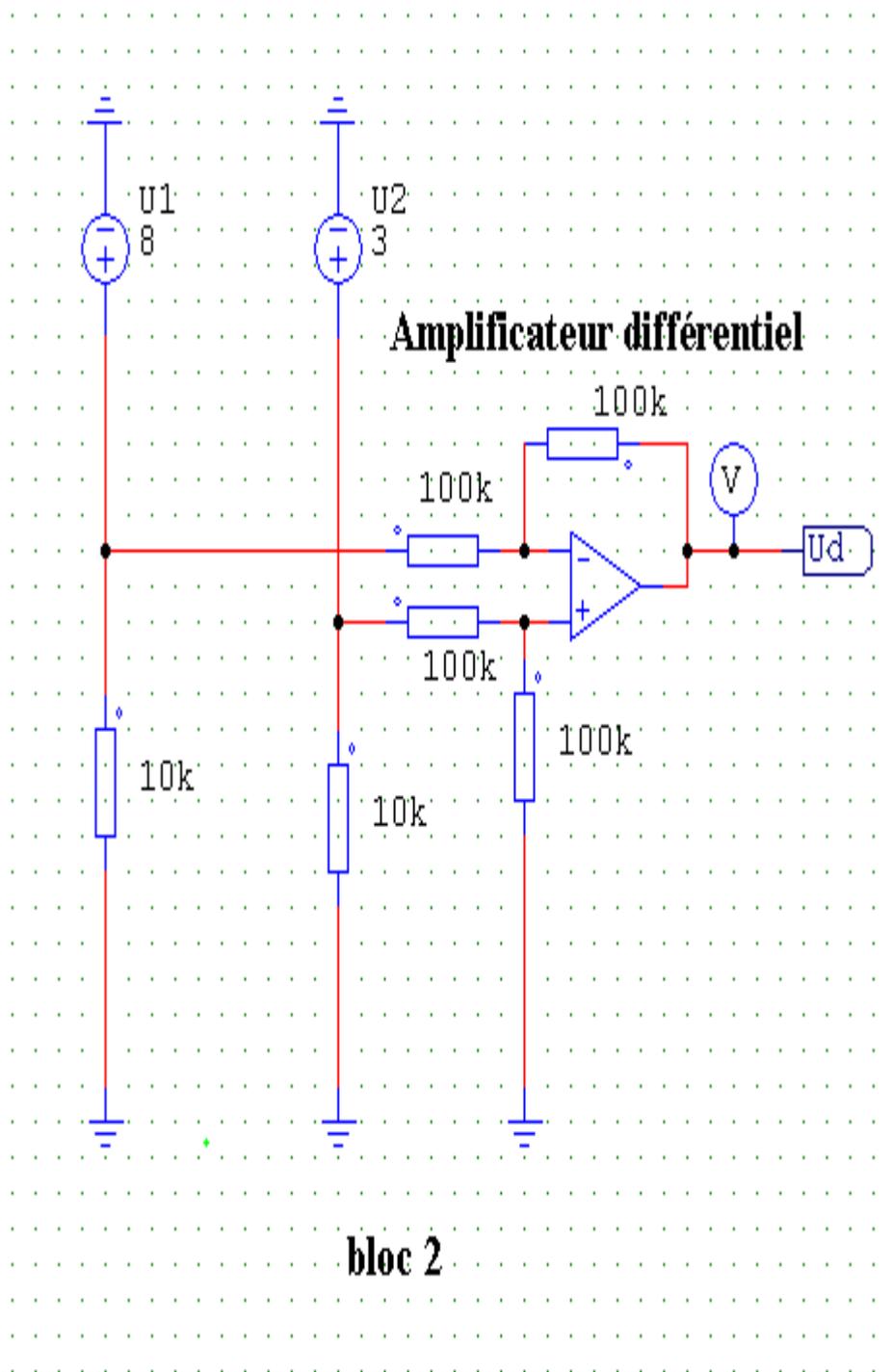
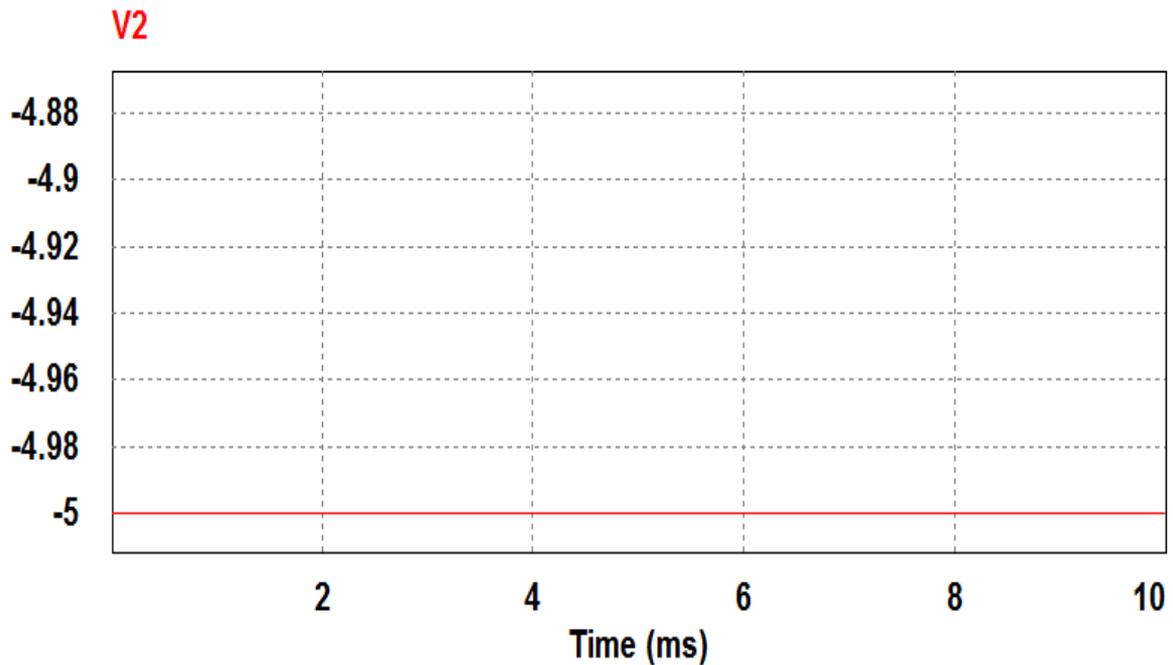


Figure III.11 : Circuit électrique de l'amplificateur différentiel réalisé



**Figure III.12** : Signal de sortie du différentiel

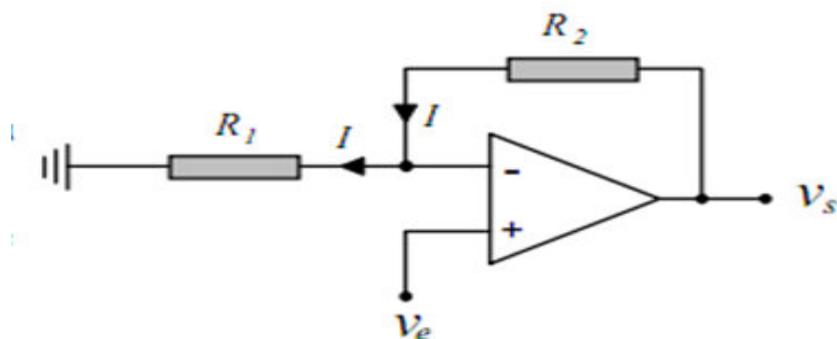
### III.2.3 Troisième étage

Ce bloc a un rôle d'amplification du signal, il amplifie le signal délivré par le différentiel, pour l'injecter ensuite aux relais qui commandent le moteur du vérin électrique; Il comporte un amplificateur non-inverseur.

#### III.2.3.1 Amplificateur non-inverseur (Gain)

Le signal à la sortie de l'amplificateur différentiel est très faible ; on utilise un amplificateur non-inverseur pour amplifier ce signal de sortie du différentiel  $V_s$ .

#### III.2.3.2 Principe de fonctionnement



**Figure III.13** : Amplificateur non-inverseur (gain)

- l'entrée « + » est reliée à la tension d'entrée  $V^+$
- Comme  $V^+ = V^-$ , on a aussi :

$V^- = V_s$  ce qui permet d'écrire :  $V_e = R_1 I$

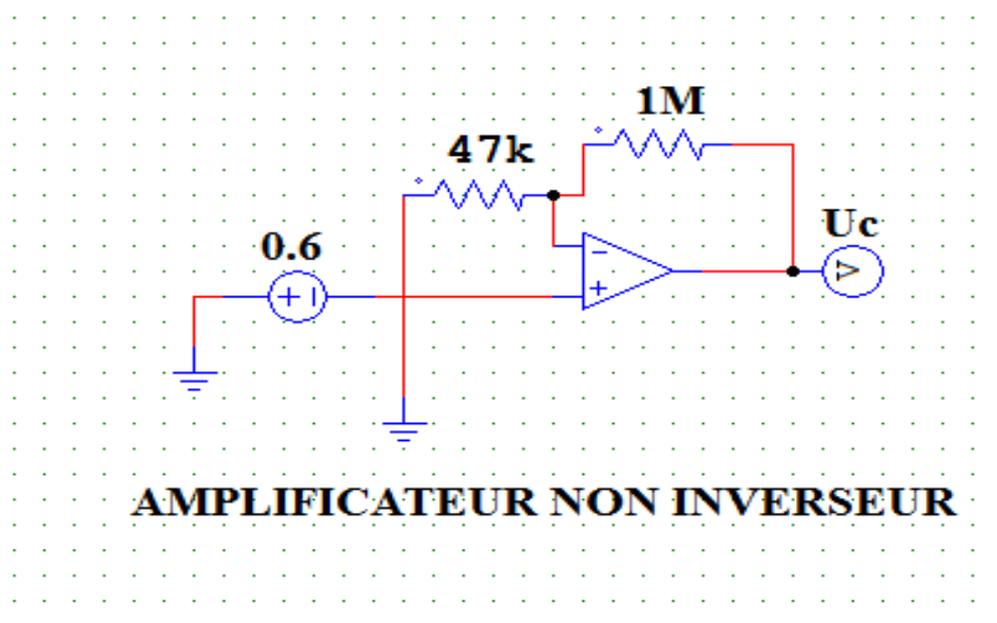
$V_s - V_e = R_2 I$  d'où

$$V_s - V_e = R_2 \frac{V_e}{R_1} \Rightarrow V_s = V_e + \frac{R_2}{R_1} V_e = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) V_e$$

$$\Rightarrow G = 1 + \frac{R_2}{R_1} \quad \text{III.7}$$

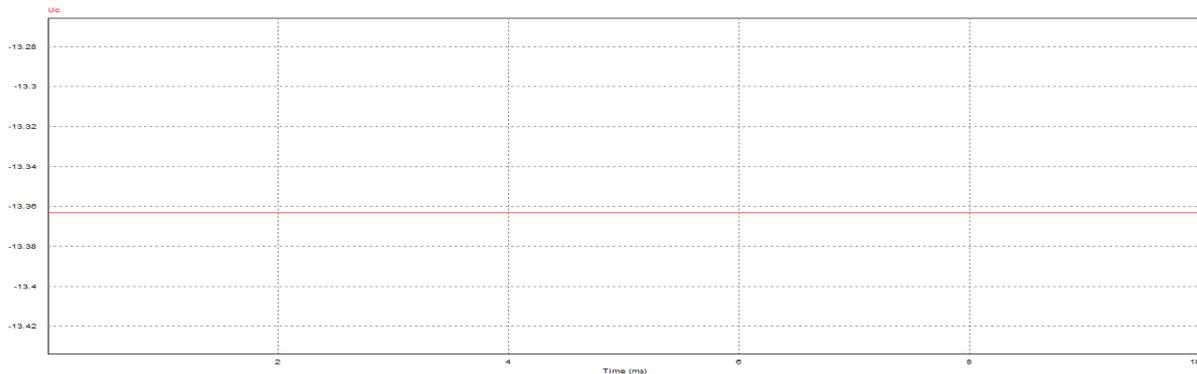
Le gain est positif, il est toujours supérieur à '1', donc on ne peut pas l'utiliser comme un atténuateur.

Pour tester le bon fonctionnement de l'amplificateur, nous avons appliqué sur l'entrée de ce dernier une faible tension de -0,6V et ce après avoir fixé  $R_1$  à 47 k $\Omega$  et  $R_2$  à 1 M $\Omega$  (voir la figure III .14)



**Figure III.14** : Circuit électrique de l'amplificateur non-inverseur

La figure III.15 donne la tension de sortie  $V_s$  qui est égale à -13,36, soit un rapport de tension ( $V_s/V_e$ ) de 22,267. Ce rapport correspond bien au gain que l'on peut obtenir en remplaçant les valeurs des résistances  $R_1$  et  $R_2$  dans l'équation (III .7)



**Figure III.15 :** Signal de sortie de l'amplificateur non-inverseur (gain)

### III.2.4 Quatrième bloc

Ce bloc a un rôle de commutation, les relais RL1 et RL2 utilisés pour la commande de moteur du vérin entraînant le concentrateur sont deux contacts à ouvertures et fermetures simultanées, les bobines correspondantes sont reliées en série avec les collecteurs de deux transistors T3 et T4 (voir annexe) montés en émetteur commun (voir figure III.16).

La base des transistors T3 et T4 sont attaquées par le signal de commande à la sortie de l'amplificateur non-inverseur jouant le rôle d'un régulateur.

Une tension positive provoque la conduction du transistor T4 et, par suite, l'excitation de la bobine du relais RL1. La fermeture des contacts correspondants provoque la rotation du moteur dans un sens de façon à annuler l'écart de tension enregistré. Par contre, une tension négative provoque la rotation du moteur dans un sens contraire. Celui-ci se trouve alimenté par la tension à travers les contacts du relais RL2, dont la bobine est excitée suite à l'enclenchement du transistor T3.

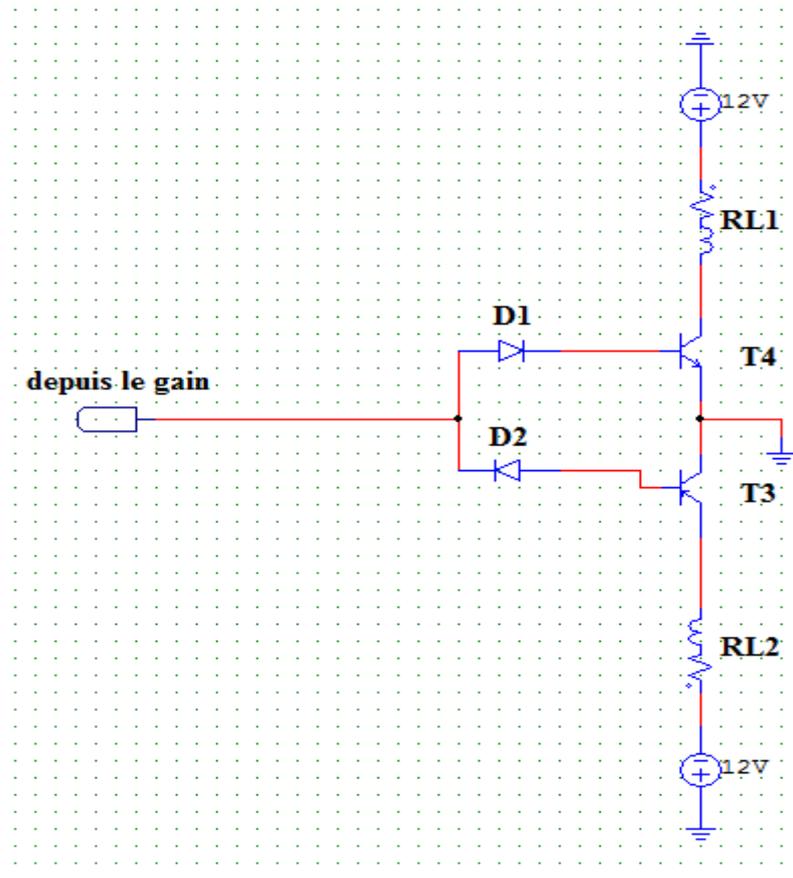
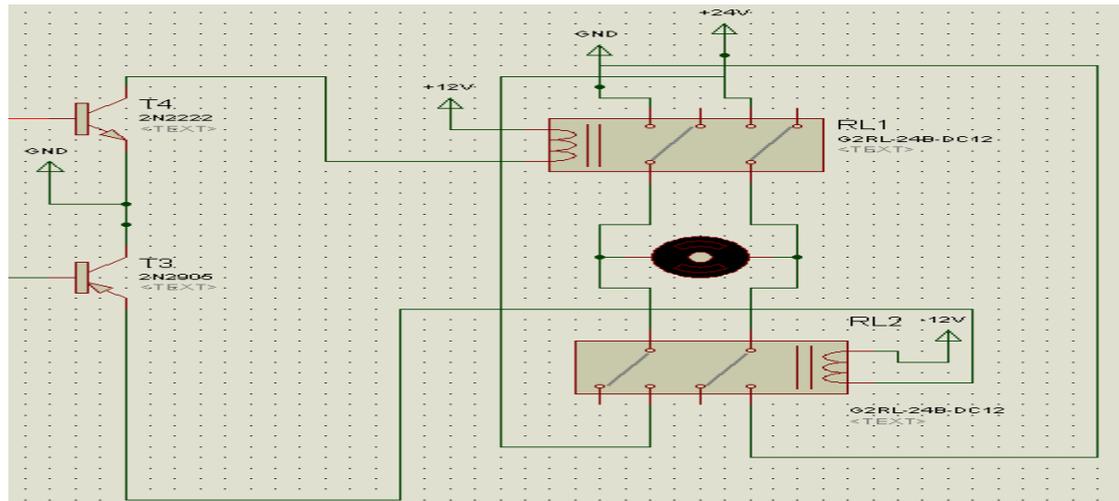


Figure III.16 : Circuit du bloc de commutation sous PSIM

### III.3 Partie puissance

#### III.3.1 Cinquième étage

Ce bloc comporte les contacts des relais, comme on la déjà souligné chaque relais à deux contacts ouvert au repos. On a utilisé un relais de type (OMRON GNV 24-12V) fonctionnant avec une tension d'alimentation de 12 V. pour la simulation nous avons réalisé le montage de la figure III.17 sous « ISIS ».



**Figure III.17** : Circuit des deux relais sous ISIS

### III.4 Alimentation stabilisé

Pour alimenter les différents étages du poursuiveur, nous avons réalisé une carte d'alimentation qui fournit les tensions suivantes :

- 12V et -12V pour alimenter les amplificateurs opérationnels et les deux phototransistors;
- 24V pour alimenter le moteur du vérin.

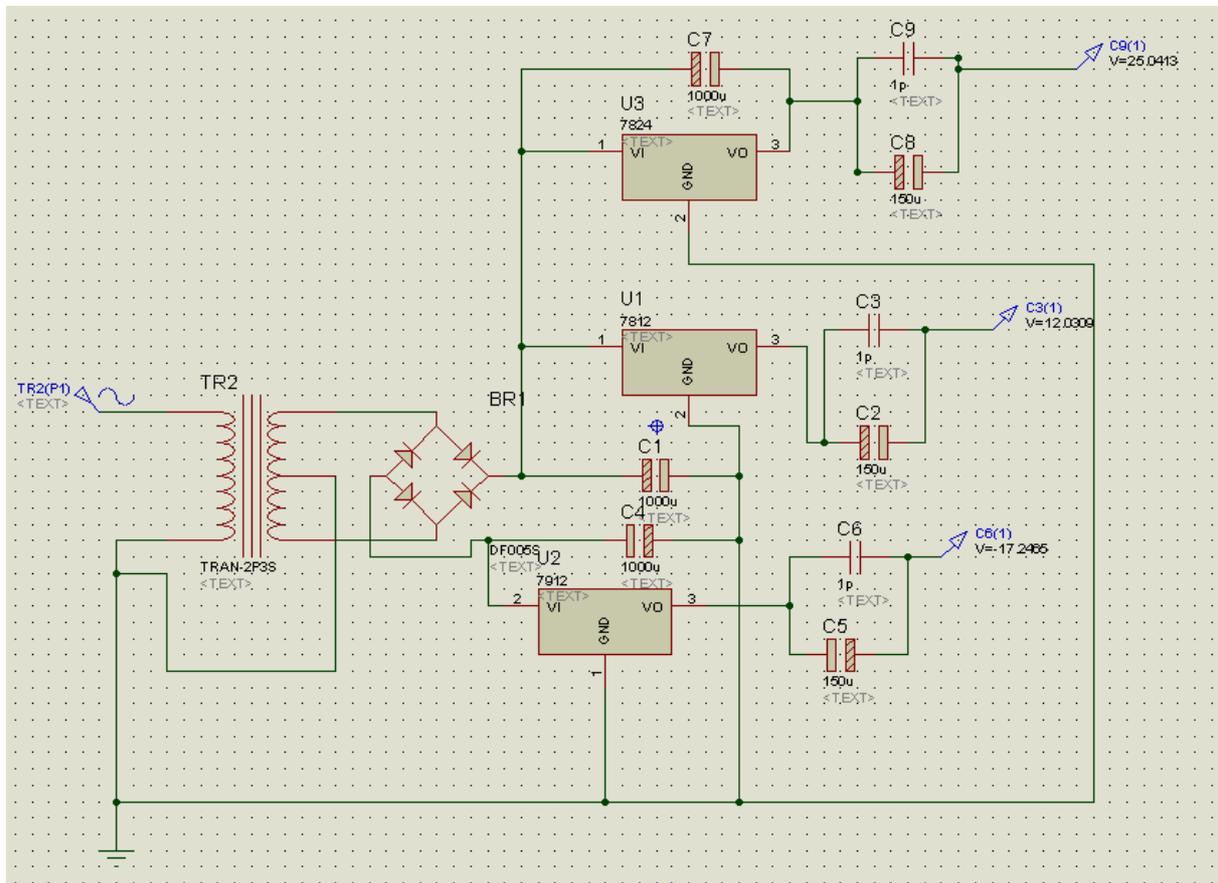


**Figure III.18** : Schéma-bloc de la carte d'alimentation

La figure III.18 donne le schéma-bloc de cette alimentation qui intègre un transformateur abaisseur, un redresseur à diodes, des filtres à base de condensateurs et des régulateurs à transistors.

La tension du secteur est abaissée par un transformateur (220V/30V) à point milieu puis redressée par un pont de Graëtz formé de quatre diodes (voir figure III.19) avant d'être laissée par un filtre à base de condensateurs. Le rôle du filtre est stocker l'énergie pendant la charge et da redistribuer cette énergie pendant la décharge. Pour absorber les imperfections de la tension produite, on place un régulateur de tension qui permet une réjection de l'ondulation résiduelle. Les régulateurs utilisés sont :

- Le régulateur 7812 (voir annexe) pour la tension 12 V
- Le régulateur 7824(voir annexe) pour la tension 24 V
- Le régulateur 7912 (voir annexe) pour la tension -12 V



**Figure III.19 :** Circuit électrique de l'alimentation

### III.5 Réalisation pratique

Après avoir vérifié par simulation (simulation du circuit électrique en annexe...) et sur plaques d'essais, le bon fonctionnement des différents blocs du poursuiveur, nous avons tracé les circuits imprimés (voir annexe) avec le logiciel ARES et imprimé sur papier calque. Ensuite nous nous sommes passés au développement de la carte, le perçage et la soudure des composants.

Les figures III.20, III.21 et III.22 donnent respectivement la carte de commande, la carte de puissance et la carte d'alimentation réalisées.

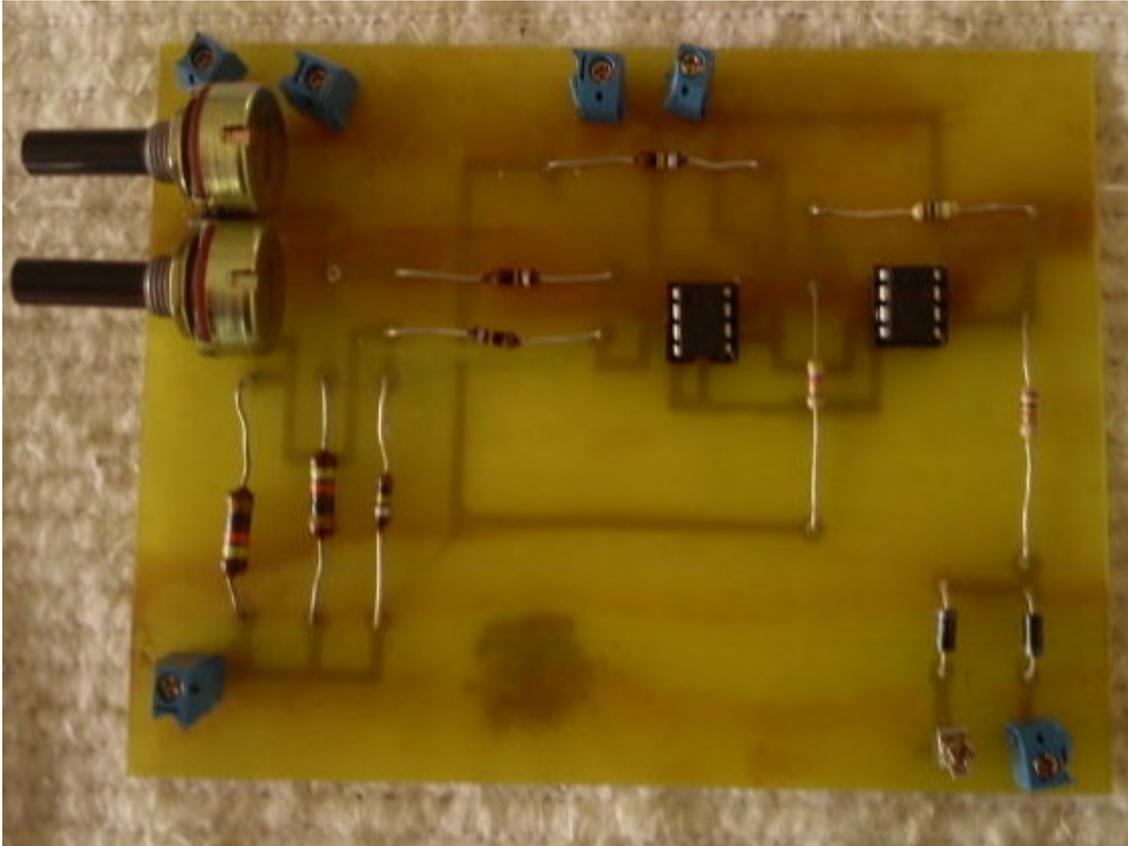


Figure III.20 : Carte de commande réalisée

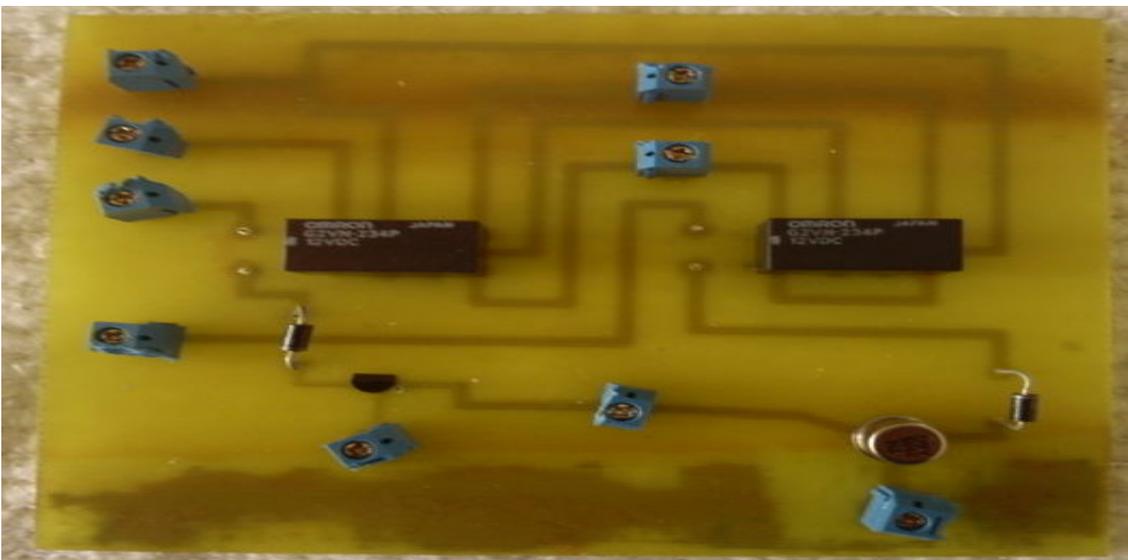
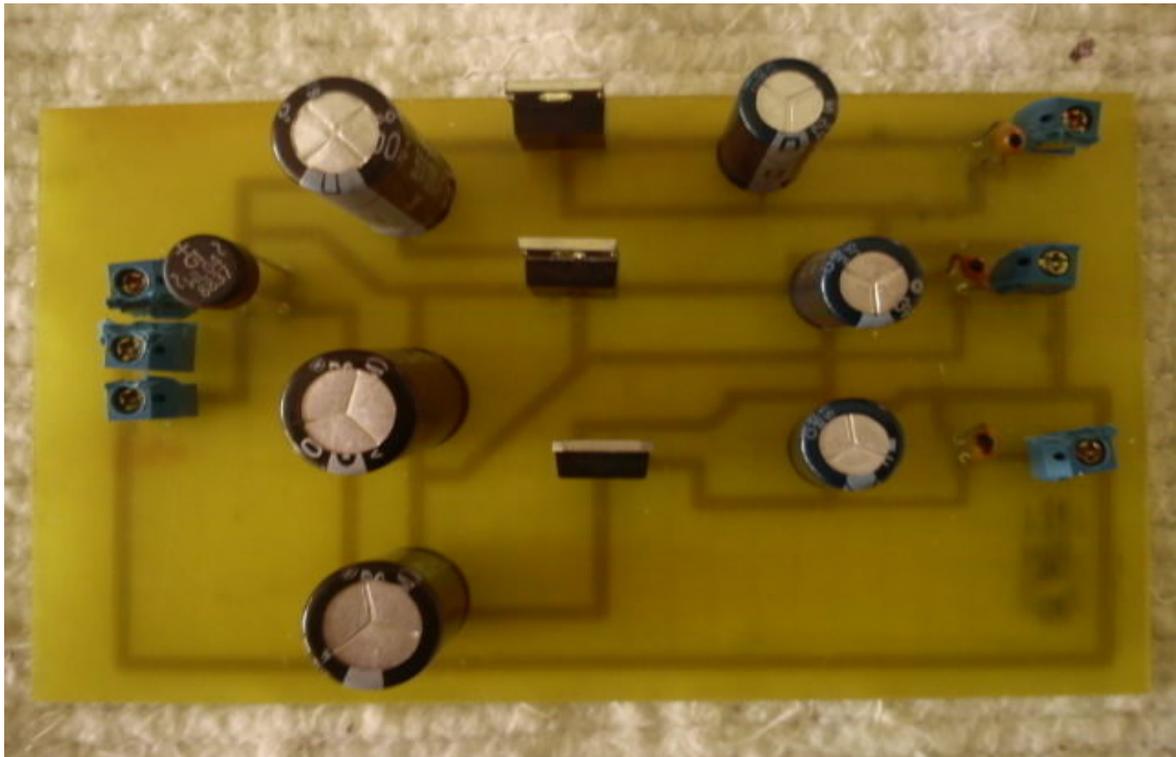


Figure III.21 : Carte de puissance



**Figure III.22 :** Carte d'alimentation

### **Conclusion**

Dans cette partie nous avons effectué une étude détaillée du circuit électrique du poursuiveur solaire. Des tests en simulation et sur plaque d'essais ont confirmé le bon fonctionnement de chaque étage du circuit.

L'étude est concrétisée par une réalisation d'une carte de commande afin de poursuivre en temps réel la position du soleil et de conserver le tube caloporteur du concentrateur cylindro-parabolique en position perpendiculaire avec les rayons solaires.

# **Chapter IV**

## **Expérimentation**

## Introduction

Au court de ce chapitre, nous allons expérimenté notre concentrateur où nous entamerons plusieurs essais de mesure de températures qui atteignent la surface d'ouverture de l'absorbeur durant les jours du 02, 07 et 09,10 juin 2013 ainsi que l'influence du rayonnement qu'on a mesuré grâce à pyranomètre sur sa variation. Les essais ce ferons avec poursuite automatique.

### IV.1 Description de l'expérience

#### IV.1.1 Essai sans absorbeur

Cette essai consiste a accouplée la carte de commande avec le vérin qui est solidaire avec le concentrateur et cela pour le réglage des capteurs et l'observation de la poursuite.

#### IV.1.2 Essais avec écoulement (débit volumique constant)

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

#### IV.1.3 Essai sans écoulement

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

### IV.2 Relevés et interprétation

#### IV.2.1 Essai sans absorbeur

Cet essai a été réalisé le 2 juin 2013, les conditions météorologiques :

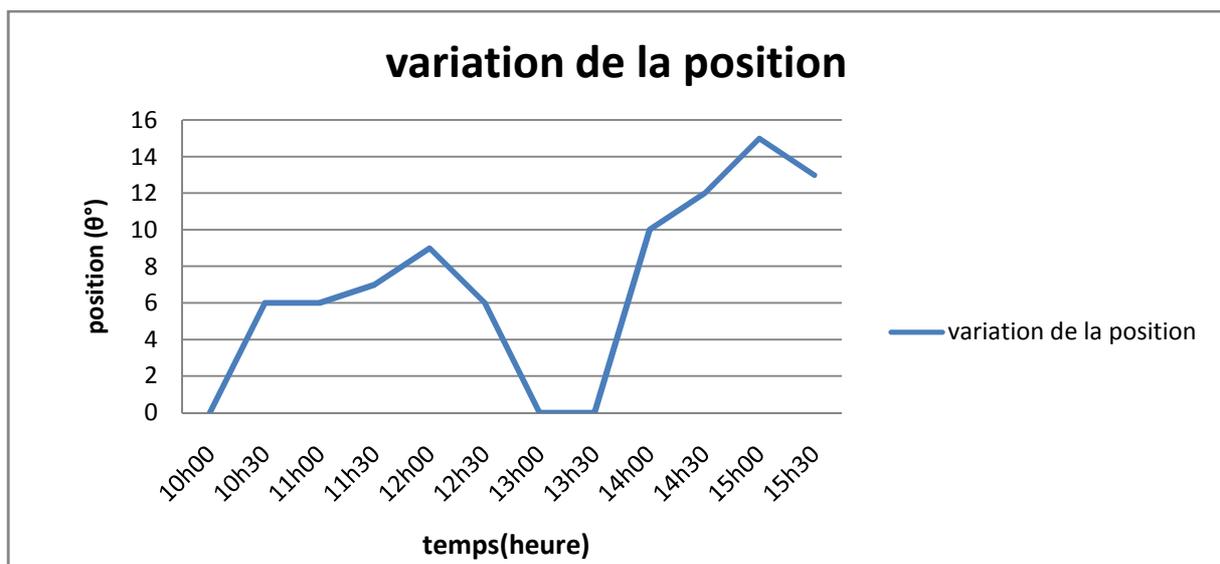
- ✓ Température ambiante  $T_a = 28^{\circ}\text{C}$
- ✓ Temps ensoleillé

Pendant cet essai nous avons réglé les capteurs pour la position initiale du concentrateur et nous avons relevé la rotation du concentrateur pour chaque 30 minutes les résultats son mentionnés sur le tableau IV.1.

Heure	Variation de position
10 : 00	0
10 : 30	6°
11 : 00	6°
11 : 30	7°
12 : 00	9°
12 : 30	6°
13 : 00	0°
13 : 30	0°
14 : 00	10°
14 : 30	12°
15 : 00	15°
15 : 30	13°

**Tableau IV.1** : Résultats du teste sans absorbeur du 02 juin 2013

Les variations de position en fonction de l'heure sont représentées sur la figure IV.1



**Figure IV.1** : Variation de la position en fonction du temps celons le teste du 02 juin 2013

### Interprétation

Pendant cet essai nous avons réglé les capteurs de tel façon à avoir une poursuite très sensible, nous avons commencé les essais à 10h00 du matin, nous avons mentionnée les angles de poursuites de concentrateur pour chaque 30 min. Nous avons remarqué une stagnation de la position de concentrateur à 13h00 jusqu'à 13h30, qu'est due au ralentissement du mouvement du soleil.

#### IV.2.2.1 Essai avec un débit constant

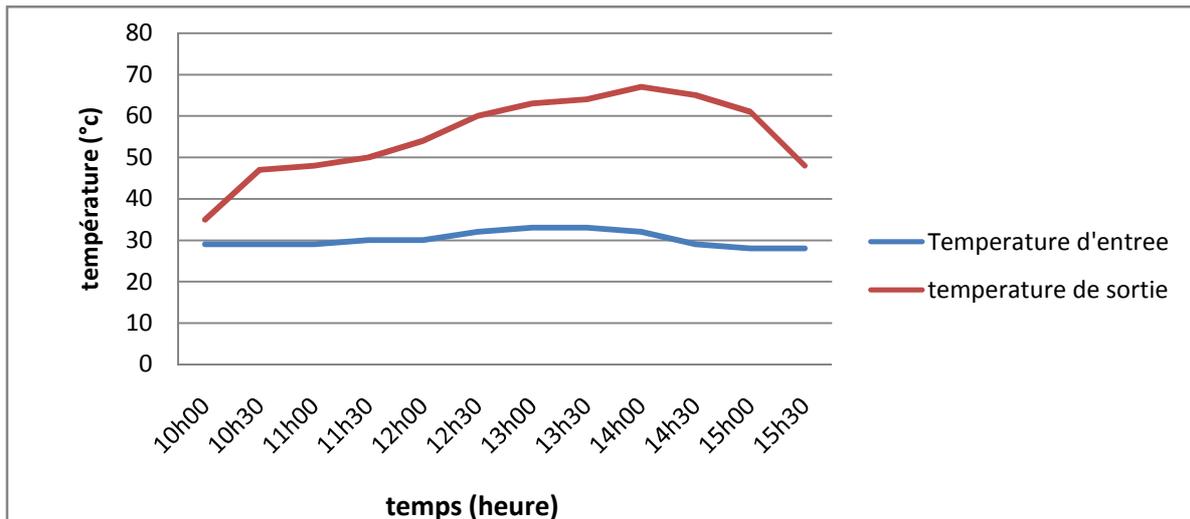
Cet essai a été réalisé le 07 juin 2013, Les conditions météorologiques :

- ✓ Température ambiante  $T_a=28^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ Débit volumique  $q_v=0.0035\text{ l/s}$
- ✓ Temps nuageux

Les températures relevées sont représentées dans le tableau suivant :

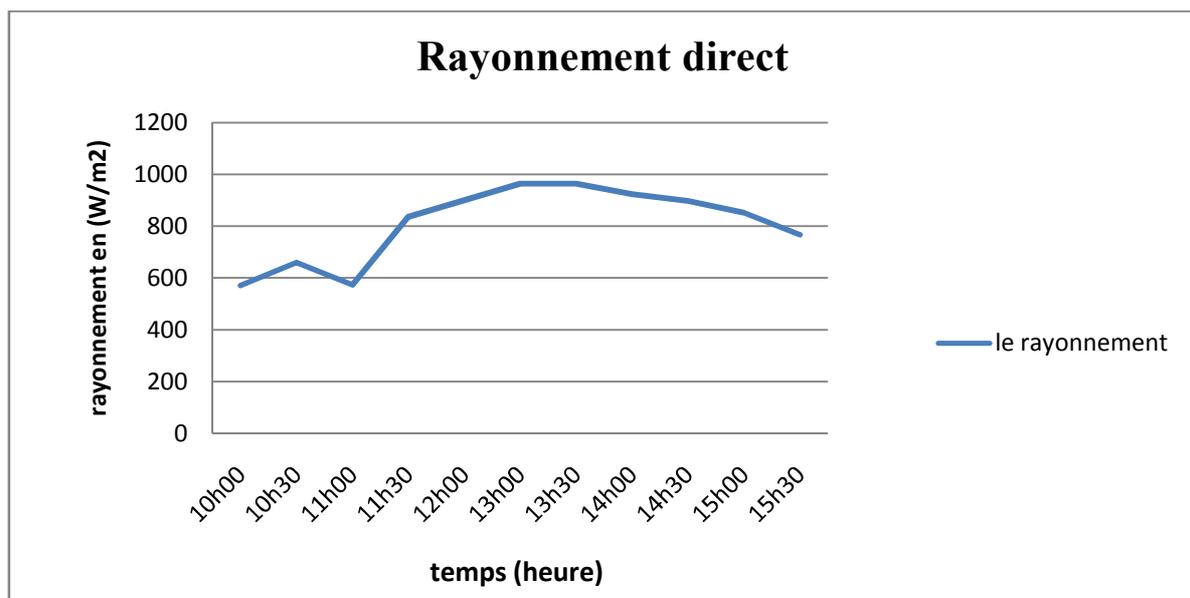
Heur (H)	Température entrée ( $^{\circ}\text{C}$ )	Température sortie ( $^{\circ}\text{C}$ )
10 :00	29	35
10 :30	29	47
11 :00	29	48
11 :30	30	50
12 :00	30	54
12 :30	32	60
13 :00	33	63
13 :30	33	64
14 :00	32	67
14 :30	29	65
15 :00	28	61
15 :30	28	48

**Tableau IV.2:** Relevées des températures du 07 juin 2013 (essai avec écoulement)



**Figure IV.2 :** Représentation des relèves du 07 juin 2013

La figure IV.3 nous donne la variation du rayonnement solaire direct de la journée 7 juin 2013 obtenue grâce à un pyranomètre.



**Figure IV.3 :** Le rayonnement direct de la journée 7 juin 2013

### Interprétation

Nous remarquons une augmentation de la température tout au long de la journée, où elle atteint le maximum à 14h00, puis elle diminue jusqu'à 15h30 où le mécanisme de poursuite atteint sa limite. Les figures IV.2 et IV.3 représente l'influence du rayonnement solaire sur la température de sortie du concentrateur. On remarque que les deux courbes coïncident ce qui prouve que la température a un lien direct avec le rayonnement solaire.

Cet essai a été réalisé le 09 juin 2013, Les conditions météorologiques :

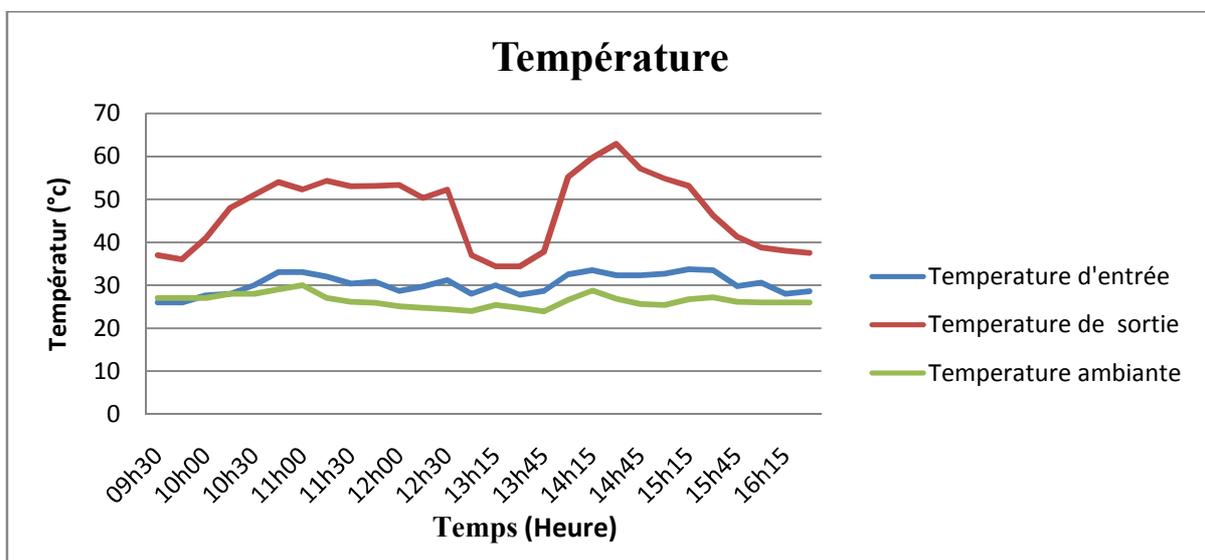
- ✓ Température ambiante  $T_a=28^{\circ}\text{C}$ .
- ✓ Débit volumique  $q_v = 0.0021 \text{ l/s}$
- ✓ Temps ensoleillé avec quelque passage nuageux

Les températures relevées sont représentées dans le tableau suivant :

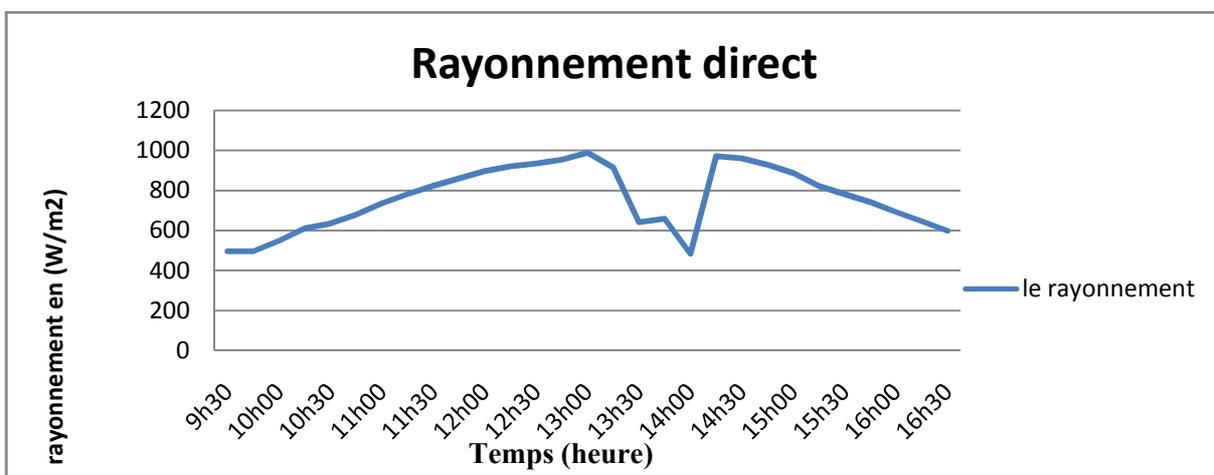
temps (H)	Température d'entrée ( $^{\circ}\text{C}$ )	Température de sortie ( $^{\circ}\text{C}$ )	Température ambiante ( $^{\circ}\text{C}$ )
09 :30	26	37	27
09 :45	26	36	27
10 :00	27.6	41	27
10 :15	28	48	28
10 :30	30	51	28
10 :45	33	54	29
11 :00	33	52.3	30
11 :15	32	54.3	27
11 :30	30.4	53.	26.1
11 :45	30.8	53.1	25.9
12 :00	28.7	53.3	25.1
12 :15	29.7	50.3	24.7
12 :30	31.2	52.2	24.4
13 :00	28	37	24
13 :15	30	35.1	25.4
13 :30	27.8	34.4	24.7
13 :45	28.7	37.8	23.9
14 :00	32.5	55.2	26.6
14 :15	33.5	59.6	28.7
14 :30	32.3	62.9	26.8
14 :45	32.3	57.1	25.6

15 :00	32.7	54.8	25.4
15 :15	33.7	53.1	26.7
15 :30	33.5	46.3	27.2
15 :45	29.8	41.3	26.1
16 :00	30.6	38.8	26
16 :30	28.6	37.5	26

**Tableau IV.3 :** Relevés de températures du 09 juin 2013 (essai avec écoulement)



**Figure IV.4 :** Représentation des relèves du 09 juin 2013



**Figure IV.5 :** le rayonnement solaire direct mesure pour la journée 09 juin 2013

**Interprétation**

Au cours de cet essai, nous remarquons une diminution brusque de la température entre 13h00 et 13h45 à cause du temps nuageux, ce qui est une preuve de l'influence du rayonnement sur la température de sortie du concentrateur.

Pendant cet essai on remarque aussi l'influence du rayonnement solaire sur la température de sortie de notre installation.

#### IV.2.3 Essais sans écoulement

Cet essai est réalisé le 10 juin 2013, les conditions météo :

- ✓ Température ambiante 27°
- ✓ Temps nuageux

Les résultats sont représentés sur le tableau suivant :

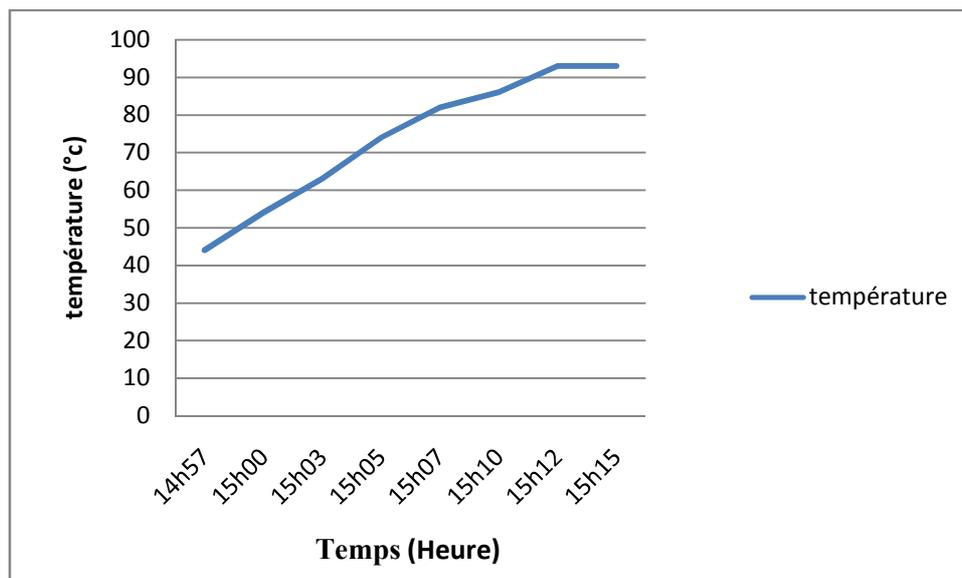
Heure	Température
14 :57	44
15 :00	54
15 :03	63
15 :05	74
15 :07	82
15 :10	86
15 :12	93
15 :15	93

**Tableau IV.4** : Relevés des températures du 10 juin 2013 (sans écoulement)



**Figure IV.6 :** Relevés des températures du 10 juin 2013 (sans écoulement)

Les résultats obtenus sont représentés dans le graphe suivant :



**Figure IV.7 :** Variation de température d'eau en fonction du temps (sans écoulement)

### Interprétation :

On constate une augmentation rapide de la température allant de 44°C jusqu'à atteindre 93°C pendant un intervalle de temps de 18 mn. Cette augmentation est due au cumul d'énergie pour la même quantité d'eau et à l'effet de serre.

### **Conclusion**

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

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

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

Nous nous sommes proposé dans ce travail de faire l'étude et la réalisation pratique d'un tel concentrateur ayant une ouverture de  $2,25 \text{ m}^2$  et d'un taux de concentration de 10.

Dans la partie principale de notre travail, nous avons procédé à la réalisation du système notamment la structure porteuse du concentrateur cylindro-parabolique, le système à foyer comportant le fluide caloporteur (eau) et le système de vérin qu'on a mis en place dédié à la poursuite solaire.

La partie suivante du projet concerne le système de poursuite solaire. Dans ce cadre nous avons réalisé un système de poursuite sensible ce qui a nécessité la réalisation de trois cartes électroniques dédiées à la commande du vérin.

L'étude qui a été faite l'année passé dont l'orientation se fait manuellement en faisant déplacer le capteur de  $15^\circ$  chaque heure, ce qui augmente les pertes, en effet, tout les rayons réfléchis ne se focalisent pas sur l'absorbeur, ce qui fait diminuer le rendement.

L'orientation automatique qui assure le déplacement du concentrateur chaque dix minutes maximise la concentration des rayons solaire réfléchis sur l'absorbeur ce qui optimise le gain et minimise les pertes.

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

La poursuite solaire réalisée n'est pas assuré toute la journée à cause de la course du vérin qui est limitée.

Nous proposons comme perspective une étude et réalisation d'un système qui assure une poursuite solaire complète (depuis le levé jusqu'au couché du soleil).

Pour maintenir le débit de l'eau à l'entrée de l'absorbeur nous proposons l'ajout d'une petite pompe hydraulique qui va assurer cette fonction.

# **Référence bibliographique**

## Références

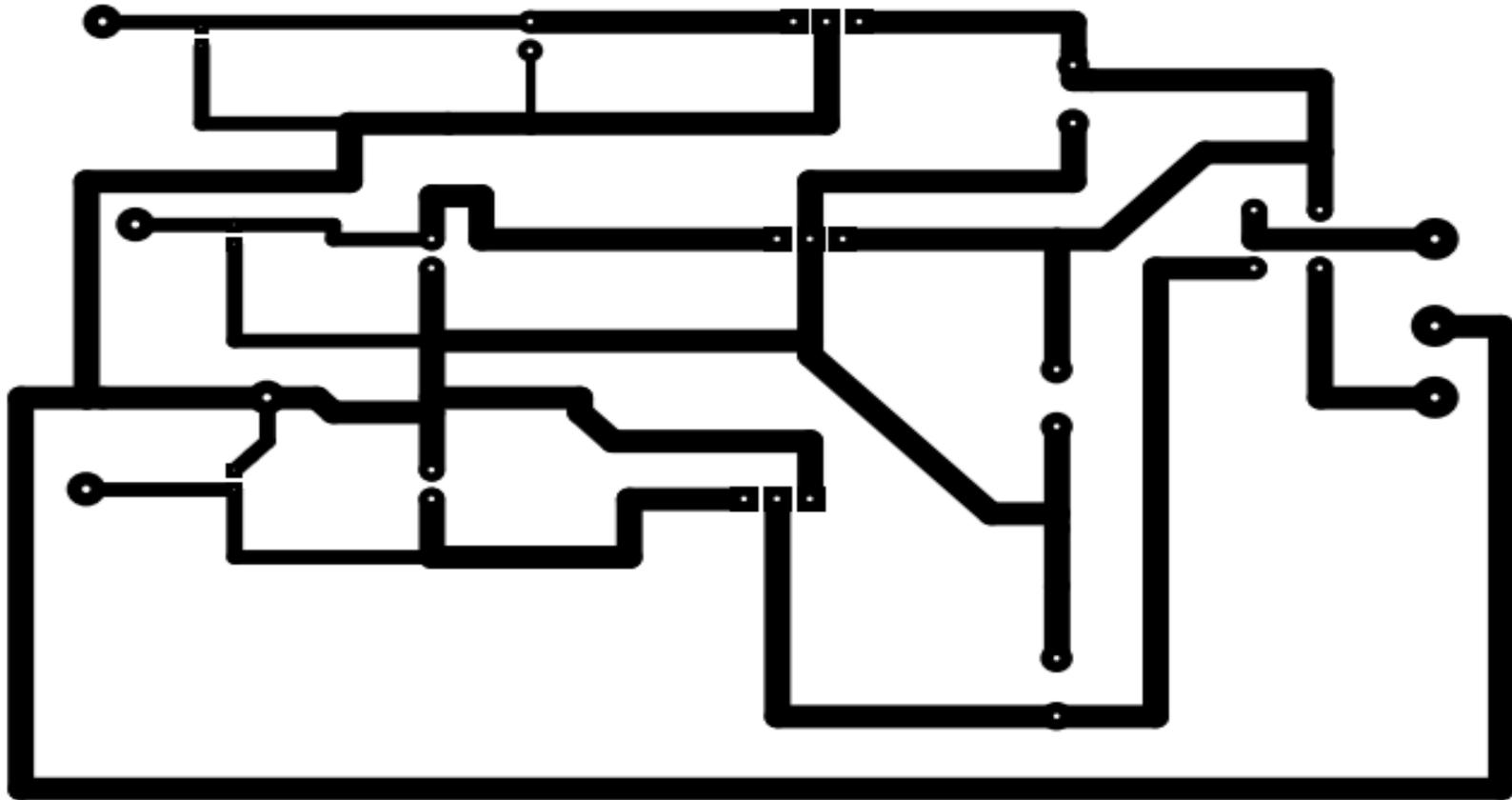
- [1] **S. Saadi**, 'Effet des paramètres opérationnels sur les performances d'un capteur solaire plan', Mémoire de magister, université de Constantine, 2010.
- [2] **Institut de l'énergie et de l'environnement de francophonie IEPF**, l'énergie solaire thermique à concentration.
- [3] **Document**, 'Contrôle des systèmes DEGERtraker', DEGERenergie GMBH, 72160 Horb/Germany. [www.degerenergie.de](http://www.degerenergie.de)
- [4] **Z. Boudries**, '*contribution à l'étude et la conception d'une poursuite automatique du soleil destinée au four solaire*', Mémoire de magister, université de Béjaia p 4, 1995.
- [5] **M. Capderou**. Atlas solaire de l'Algérie, O.P.U, Alger. (1985).
- [6] **A. Mefti, M.Y. bouroubi, H. Mimouni**, 'Evaluation du potentiel énergétique solaire', Bulletin des Energies Renouvelables, N°2, p 12, décembre. (2002).
- [7] **K. Merzouk**, 'Potentiel énergétique éolien', Bulletin des Energies Renouvelables, N°1, p 11, Juin. (2002).
- [8] **European office**: Solenergy Europe St. Petersburg, Russia, Universal solar tracker Sunflower St.
- [9] Document, '*Contrôle des Systèmes DEGERtraker*', DEGERenergie GmbH, 72160 Horb/Germany. <http://www.degerenergie.de>
- [10] **M. Haddadi**, '*Elaboration d'une Commande pour Héliostat*', Revue des Energies Renouvelables, Numéro Spécial, pp. 153 – 157, 2003.
- [11] **S. Chin, J. Gadson and K. Nordstrom**, '*Nerd Girls, Maximum Power Point Tracker*', Nerd Girls Solar/MPPT Group May 12, 2003.
- [12] **A.FERRIÈRE**, '7 Centrales solaires thermodynamiques' dossier technique d'ingénieur be8903, p 3-4 et 6, 10/04/2008.
- [13] **S. Abdallah and S. Nijmeh**, '*Design, Construction and Operation of One Axis Sun Tracking System with PLC Control*', Jordan Journal Applied Science University, pp. 45 – 53, 2002.

- [14] **R. Rezoug et A. Zaatri**, 'Optimisation du rendement d'un système photovoltaïque par poursuite du soleil', 25 Juin 2009.
- [15] **A.Gama, C.Larbes, A.Malek et F.Yettou**, 'étude et réalisation d'un dispositif de poursuite solaire sensible destiné à un concentrateur cylindro-parabolique', p 140, 02 juin 2010.
- [16] **T.Hamouche, Y.Mellah**, 'Etude et réalisation d'un concentrateur cylindro-parabolique', juin 2012, p 40-45.
- [17] **W. Chekirou, N. Boukheit et T. Kerbache**, Revue des Energies Renouvelables ICRES-07 Tlemcen (2007) 21 – 28
- [18] [www.energiesdouce.com/conseil-faq-panneaux-capteurs-solaire-technique-a-eaumont](http://www.energiesdouce.com/conseil-faq-panneaux-capteurs-solaire-technique-a-eaumont)
- [19] [www.ns7.freeherberg.com/~const59/cpo/cours/automatisme/verelec.pdf](http://www.ns7.freeherberg.com/~const59/cpo/cours/automatisme/verelec.pdf)
- [20] Groupe **SKF** 2005-2008, 'la gamme vérins', PUB MT/P1 10060 FR, Novembre 2010
- [21] Guide du dessinateur industriel – Chevalier, page 282
- [22] **François BERNOT** Ingénieur de l'École Supérieure d'Électricité Docteur en sciences pour l'ingénieur Maître de conférences à l'UTBM (Belfort)], technique de l'ingénieur
- [23] Groupe **SKF** 2005-2008, Publication 5338 FR - 2008-01, 'vérins électromécaniques'

# **Annexe**

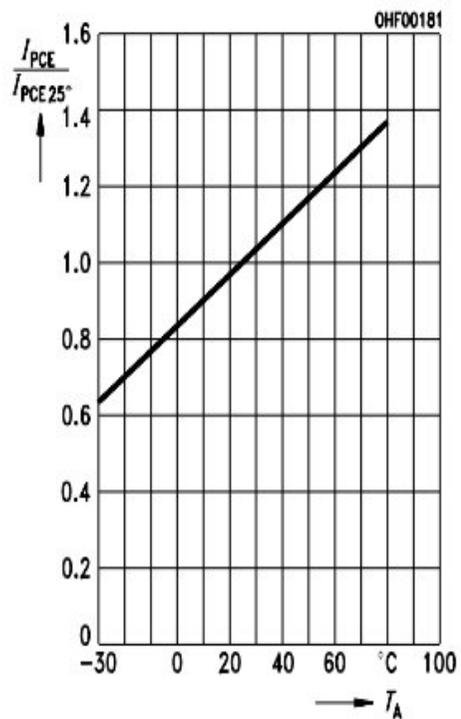
<b>Composants</b>	<b>Valeurs</b>	<b>Composants</b>	<b>Valeurs</b>
<b>R1 et R2</b>	10 KΩ	Rv1 et Rv2	200 KΩ
<b>R3 à R6</b>	100 KΩ	D1 et D2	1N4007
<b>R7</b>	1 MΩ	T1 et T2	BPX81
<b>R8</b>	47 KΩ	T3	2N2905
<b>R9</b>	1 KΩ	T4	2N2222
<b>A1 et A2</b>	μA741	Rl1 et Rl2	OMRON 12V
<b>TR2</b>	220V-30V	U1	7812
<b>BR1</b>		U2	7912
<b>C1</b>	1000μF	U3	7824
<b>C2</b>	220μF	C4	1000μF
<b>C3</b>	1pF	C5	220μF
<b>C7</b>	1000μF	C6	1pF
<b>C9</b>	1pF	C8	220μF

**Liste de composant avec valeur et types utilisées**

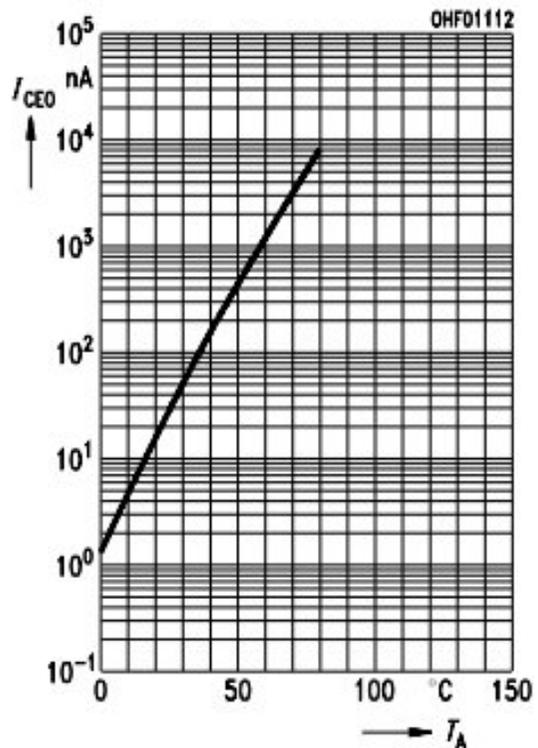


**Figure IV** Circuit imprimés de la carte d'alimentation

Photocurrent  $I_{PCE}/I_{PCE25^\circ} = f(T_A)$ ,  
 $V_{CE} = 5\text{ V}$



Dark current  $I_{CEO} = f(V_{CE}), E = 0$



Directional characteristics  $S_{rel} = f(\phi)$

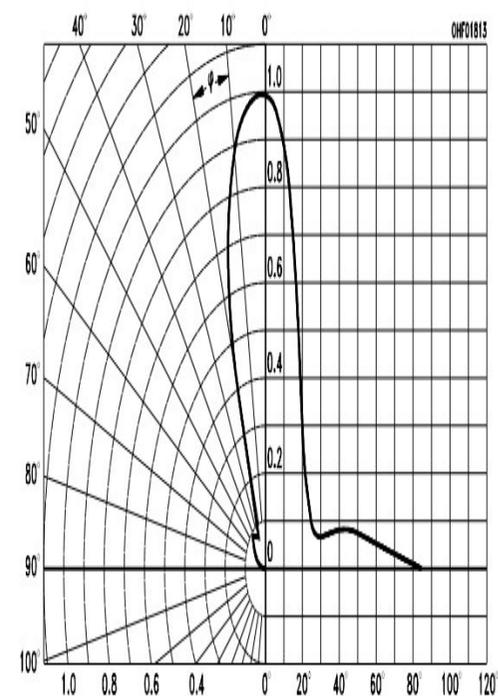
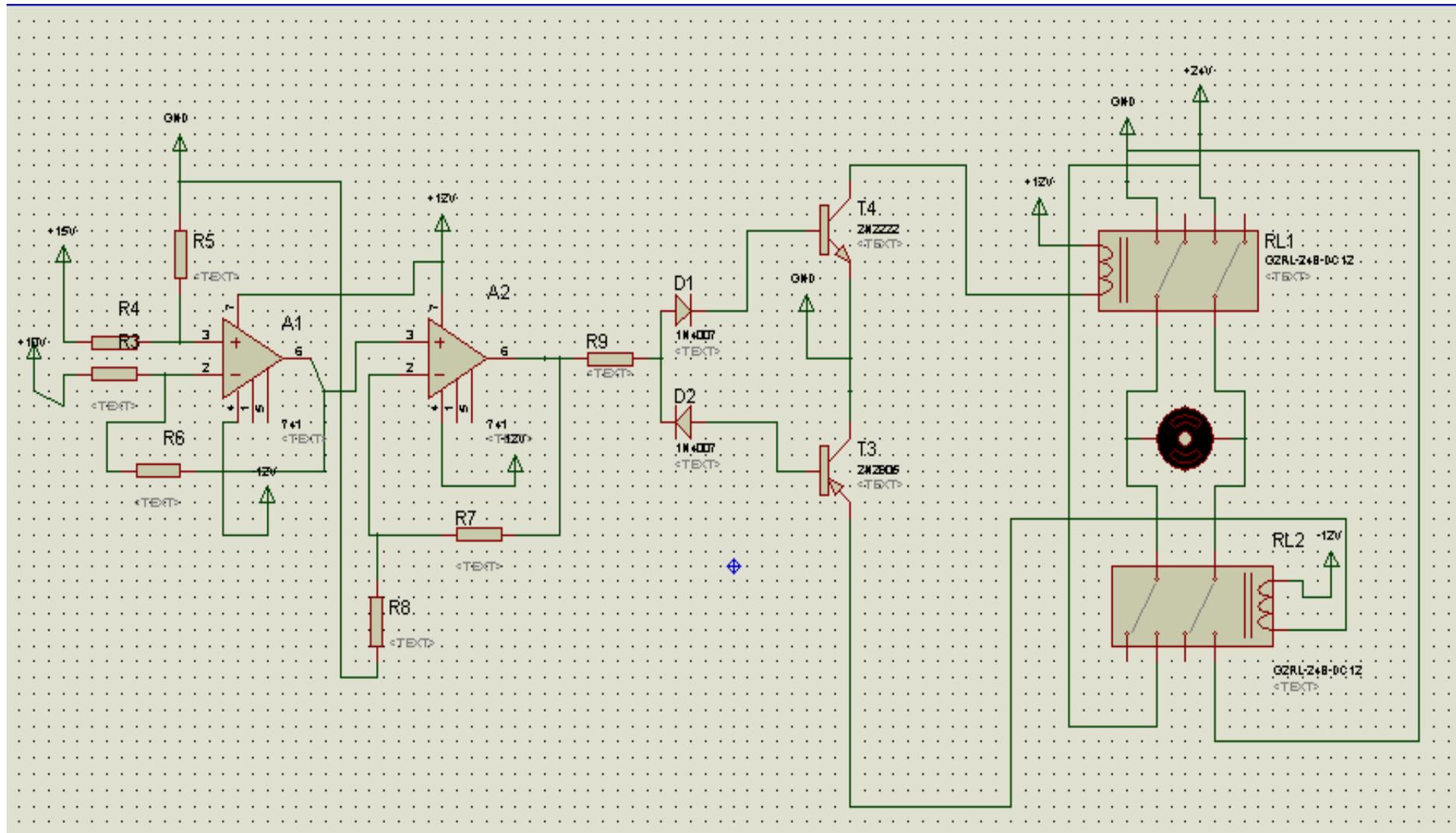
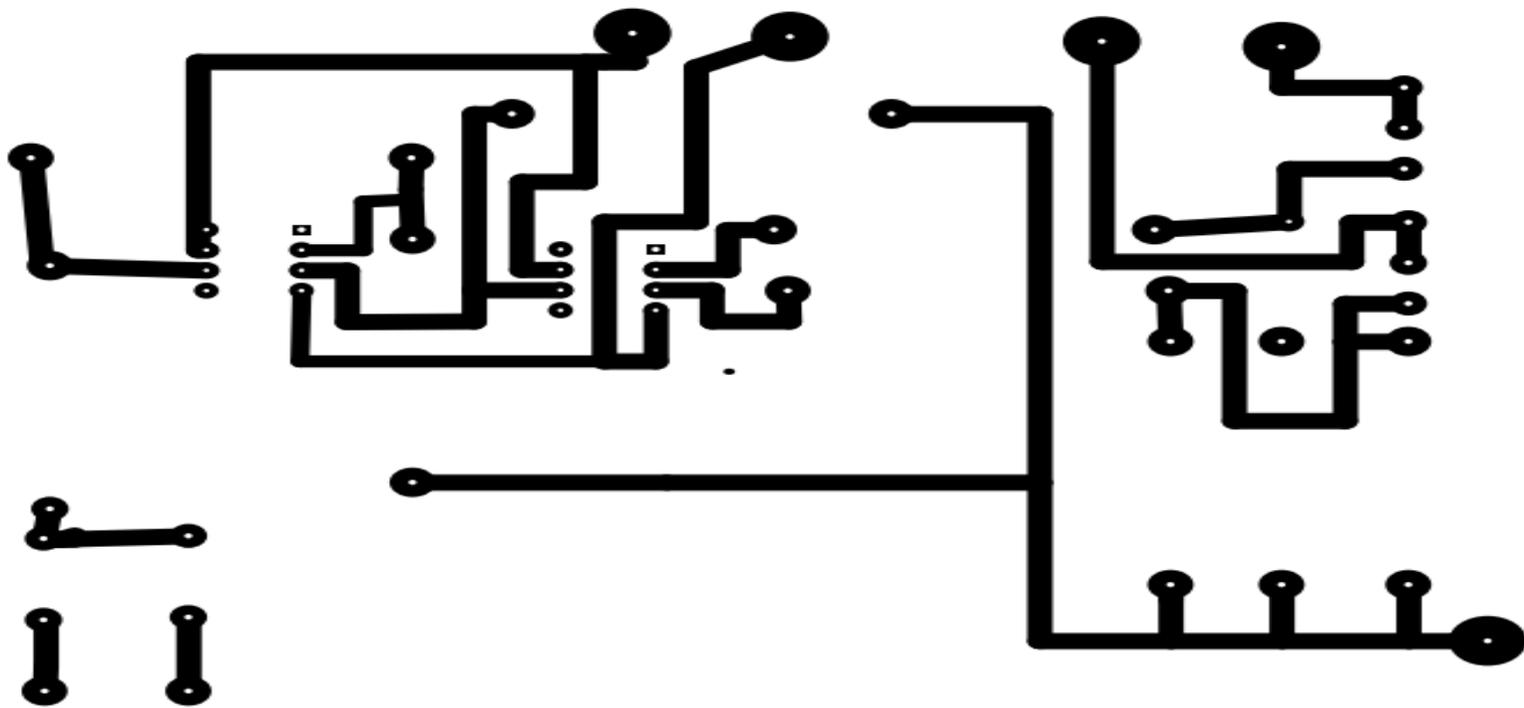


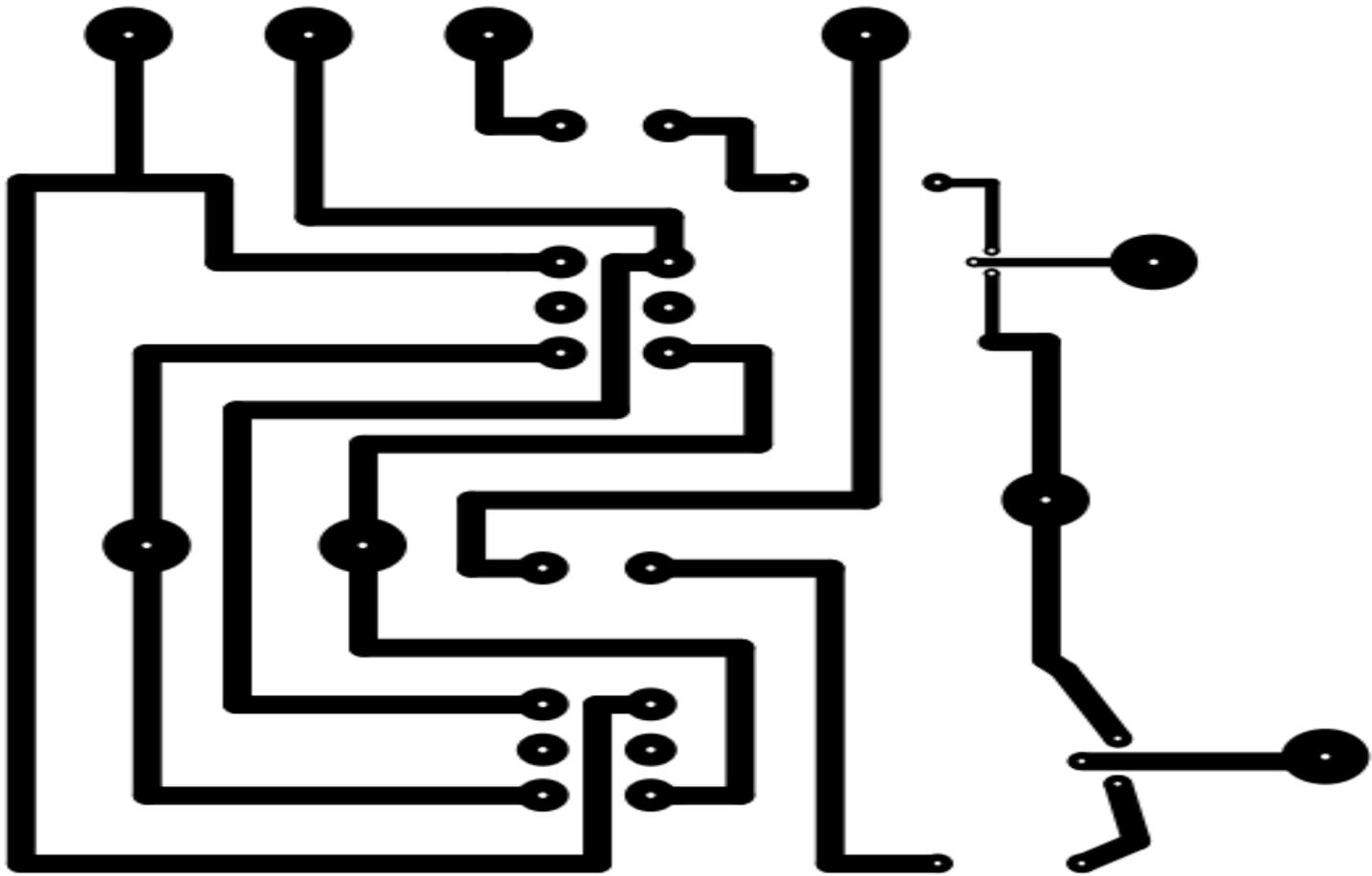
Figure I Caractéristiques des transistor BPX81



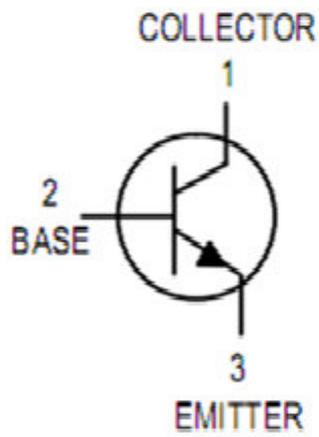
**Figure II Schémas de simulation sous ISIS**



**Figure III Circuit imprimé de la carte de commande**



**Figure V Circuit imprimé de la carte de puissance**



**2N2222**

VCEmax = 40 V

VBEmax=6 V

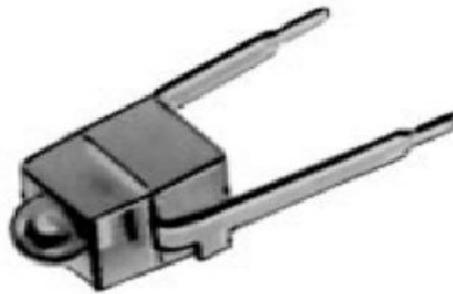
Icmax = 600 mA



**TRANSISTOR 2N2222**

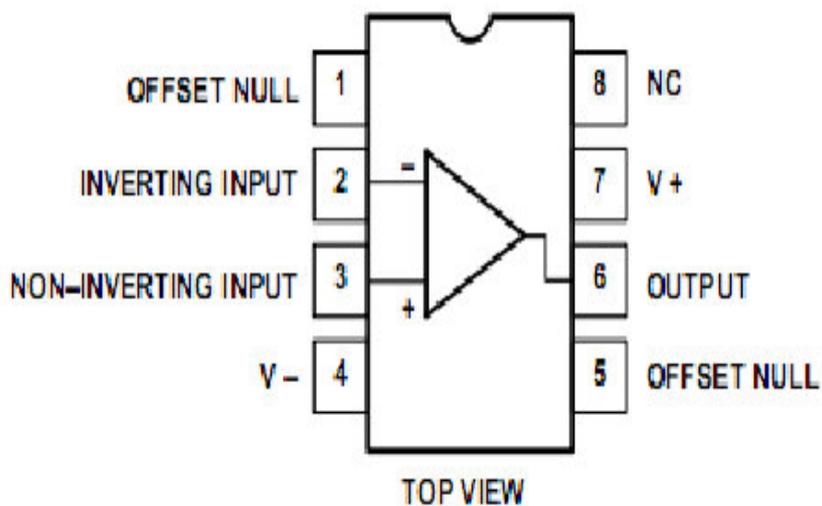
**BPX81**

VCEmax = 32 V  
Icmax = 50 mA  
demi angle = +18 deg



**Phototransistor BPX81**

D, F, N Packages



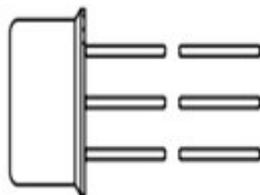
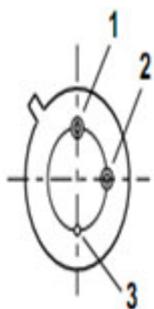
**μA741**

$V_{smax} = 22\text{ V}$

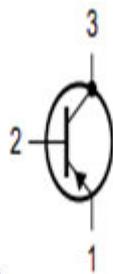
$V_{inmax} = 30\text{ V}$

$T_a = -55 \text{ à } 125\text{ °c}$

**Amplificateur μA741**



MAM318



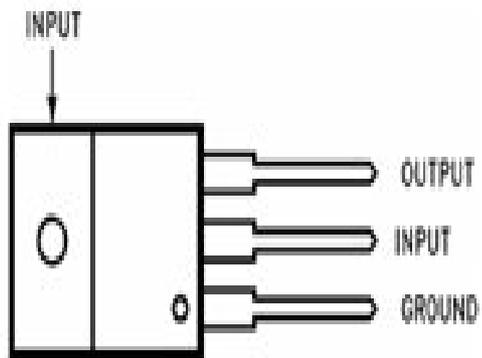
patte	description
1	Émetteur
2	Base
3	collecteur

$V_{CEmax} = -40\text{ V}$

$V_{CBmax} = -60\text{ V}$

$I_{cmax} = -600\text{ mA}$

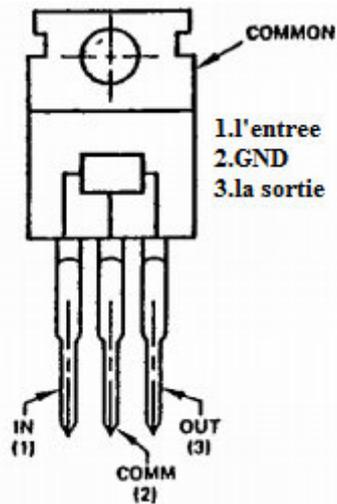
**Transistor 2N2905**



tension d'entree > -19 V

tension de sortie = -12 V

**Régulateur 7912**



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

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

**Régulateur 12 V et 24 V**



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

**Tension de blocage de C.C: 50V**

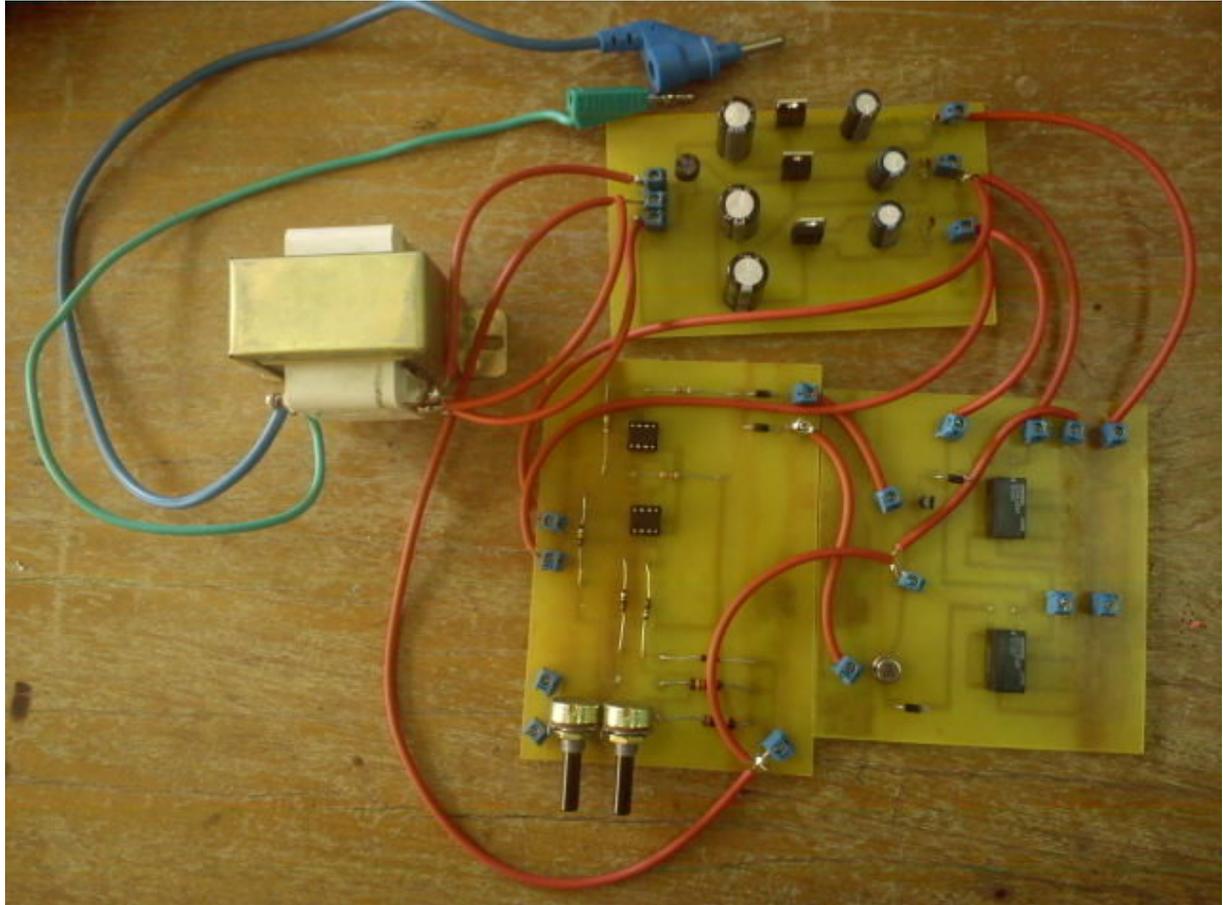
**Pont redresseur AM 150**



**Tension de blocage de C.C : 1000 V**

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

**Diode 1N4007**



**L'ensemble des carte réalisé connecté**