

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

pour l'obtention du diplôme Master en Mécanique de Solide

Conception d'un Héliostat pour la mini centrale solaire de Ghardaïa

Fayssal SIDIKI

Sous la direction de

M. Yacine BELKACEMI

M. Brahim GUERGUEB

Présenté et soutenu publiquement le 28/06/2016

Composition du Jury :

Président	M. Saïd RECHAK	Professeur ENP Alger
Promoteur	M. Yacine BELKACEMI	Dr. MA-A ENP Alger
Promoteur	M. Brahim GUERGUEB	MA-A ENP Alger
Examineur	M. Djamel SAIDI	MA-A ENP Alger

ENP 2016

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique



Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

pour l'obtention du diplôme Master en Mécanique de Solide

Conception d'un Héliostat pour la mini centrale solaire de Ghardaïa

Fayssal SIDIKI

Sous la direction de

M. Yacine BELKACEMI

M. Brahim GUERGUEB

Présenté et soutenu publiquement le 28/06/2016

Composition du Jury :

Président	M. Saïd RECHAK	Professeur ENP Alger
Promoteur	M. Yacine BELKACEMI	Dr. MA-A ENP Alger
Promoteur	M. Brahim GUERGUEB	MA-A ENP Alger
Examineur	M. Djamel SAIDI	MA-A ENP Alger

ENP 2016

ملخص

هذا المشروع يدخل في إطار التعاون بين وحدة البحث التطبيقي في الطاقات المتجددة لغرداية وقسم الهندسة الميكانيكية للمدرسة متعددة التقنيات

يهدف هذا المشروع لاقتراح وتصميم على سولدوركس لألية بدرجتين من الحرية تسمح بعكس اشعة الشمس إتجاه هدف ثابت تسمى هليوسطا . تصميم الهليوسطا يسمح بإنجازها ومن تم استعمالها في الحقل الشمسي للمحطة المصغرة لطاقة الشمسية

الكلمات الدالة : هليوسطا , محطات شمسية , تركيز , رفيدة كهربائية , محرك خطوة خطوة

Abstract:

This project comes within the framework of collaboration between URAER of Ghardaia and the ENP Department of Mechanical Engineering.

The project is to propose and design in SolidWorks a mechanism with two degrees of freedom that allow tracking solar radiation towards a fixed target called heliostat. The system is driven by an electric actuator and a stepper motor

The design of the heliostat and its realization will allow his operation for the solar field solar power plant mini concentration.

Key Words: Heliostat, solar power, concentration, stepper motor, electric actuator

Résumé :

Ce projet entre dans le cadre d'une collaboration entre URAER de Ghardaïa et le département de Génie mécanique de l'ENP

Il consiste à proposer une conception d'un mécanisme à deux degrés de liberté qui permet la réflexion des rayonnements solaires vers une cible fixe appelée héliostat. Le système utilise un vérin électrique pour la rotation du miroir autour de l'axe horizontal et un moteur pas à pas pour la rotation autour de son axe vertical.

Après La conception de l'héliostat, sa réalisation va permettre son exploitation pour le champ solaire de la mini centrale solaire à concentration.

Mots clés : Héliostat, centrale solaire, concentration, moteur pas à pas, vérin électrique

Dédicaces

Chaleureusement je dédie ce modeste travail :

A la lumière de ma vie, mes chers parents en témoignage pour leur amour et leur sacrifice sans limites à qui je souhaite la bonne santé et que Dieu me les garde.

A mes braves et affectueux frères et sœurs

A toute ma famille .

A tous mes collègues de la promotion sans exception

Pour toute personnes qui me connaît de près ou de

Loin...

Fayssal

Remerciements

Je remercie DIEU tout puissant qui m'a donné le courage, la force et la volonté pour réaliser ce modeste travail.

Mes sincères remerciements à mes promoteurs Monsieur Yacine BELKACEMI et Brahim GUERGUEB, pour m'avoir conseillé, dirigé pendant la réalisation de ce travail.

Je remercie le Pr. S. Rechiaq qui a honoré par sa présence la présidence du jury et Mr. D. Saïdi qui a accepté d'examiner ce travail.

Mes remerciements vont également à tous les enseignants qui ont participé à notre formation et l'aide qu'ils nous ont fourni pendant tout mon cursus universitaire, et tous les agents de l'atelier du département, et les agents de la bibliothèque de l'école.

Je tiens également à ne pas oublier tous mes amis et mes camarades de la promotion, et tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la bonne réalisation de ce travail.

Fayssal

TABLE DES MATIERES

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

NOMENCLATURE

LISTE DES ABREVIATIONS

INTRODUCTION GENERALE	12
Chapitre 1. Les centrales à tour Héliostats	13
1.1. Introduction.....	14
1.2. Les technologies de concentration	14
1.2.1. Les concentrateurs linéaires	14
1.2.2. Les concentrateurs ponctuels	15
1.3. Central à tour-Héliostats	16
1.4. Centrales sur le marché.....	17
1.5. Nouveaux systèmes de concentration développés	18
1.5.1. Beam-Down	18
1.5.2. Centrales multi-tours.....	19
1.6. Conclusion	20
Chapitre 2. Conception d'héliostat	21
2.1. Introduction.....	22
2.2. Les systèmes de mouvement utilisés	23
2.3. Les conceptions proposées.....	24
2.4. Identification du vérin électrique et moteur Pas à Pas	27
2.5. Les principales liaisons mécaniques et leurs caractéristiques.....	34
2.6. Fixation des miroirs	35
2.7. Recommandation d'un traitement de surface	36
2.8. Calcul de RDM pour le tube	37

2.9. Conclusion	39
CONCLUSION GENERALE	40
BIBLIOGRAPHIE	41
Annexes	42
Annexes A	A1

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 3.1. Fiche technique des vérins SMC.....	32
Tableau 3.2. Caractéristique de déferant produit moteur pas à pas NEMA.	34

LISTE DES FIGURES

Figure 2.1. Capteurs cylindro-paraboliques.....	14
Figure 2.2. Capteurs linéaires de Fresnel.....	15
Figure 2.3. concentration à tour.	15
Figure 2.4. Concentrateurs paraboliques.	16
Figure 2.5. Schéma d'une installation Beam down.	18
Figure 2.6. Installation d'une central solaire multi-tour de eSolar.	19
Figure 3.1. Mouvement d'un héliostat.....	22
Figure 3.2. Système de mouvement à 2 moteur pas à pas.	23
Figure 3.3. Système de mouvement à moteur pas à pas et vérin électrique.	24
Figure 3.4. Schéma des forces appliquées sur chassé d'un héliostat.	28
Figure 3.5. Schéma des différents angles et distances entre les articulations du vérin et le châssis.	30
Figure 3.6. Evolution de la force développée par le vérin et la course maximale en fonction de la distance entre support et l'articulation de vérin d2.....	31
Figure 3.7. Vérin électrique type SMC.....	31
Figure 3.8. moteur Pas à Pas Type NEMA Modèle 1M37 – 19- 1.....	33
Figure 2.9. schéma cinématique de l'héliostat.....	35
Figure 3.10. Principe du procédé de galvanisation.....	36
Figure 3.11. Schéma de tube soumis à des forces.....	37

NOMENCLATURE

C : couple (N.m)

P : poids (N)

F_{vent} : force exercice par le vent (N)

F_v : force développée par vérin (N)

m : masse

s : surface (m²)

Δl : la dilatation (m)

M_t : moment de torsion (N.m)

M_y : moment fléchissant (N.m)

I_0 : moment polaire (mm⁴)

I_y : moment d'inertie (mm⁴)

σ : contrainte (MPa)

LISTE DES ABREVIATIONS

CSP : énergie solaire à concentration

URAER : Unité de Recherche Appliquée Aux Énergies Renouvelables

INTRODUCTION GENERALE

L'un des procédés les plus intéressants pour convertir le rayonnement solaire direct en énergie électrique est la centrale à tour. Ce type de centrale est composé d'un champ d'héliostats, d'un récepteur solaire situé au sommet d'une tour et d'une boucle thermodynamique de conversion de la chaleur en électricité.

Les centrales à tour sont capables de produire de l'électricité solaire sur une grande échelle. Les héliostats sont l'élément le plus important du point de vue coût dans la composition de ces centrales.

L'héliostat a pour but de réfléchir les rayons solaires incidents vers une cible fixe (la tour) durant toute la trajectoire diurne de l'astre solaire. Pour assurer convenablement sa commande, il est nécessaire de connaître ses paramètres et de déterminer sa position par rapport à la tour, ce qui se traduit par la détermination de son angle d'élévation (nord-sud) et son angle de rotation (est-ouest).

Dans le présent travail, l'étude présentée est subdivisée en trois chapitres :

Le premier chapitre est réservé aux notions liées au soleil et les différents types de coordonnées.

Le deuxième chapitre est consacré à l'état de l'art des centrales solaires à tour-Héliostats

Le dernier chapitre est réservé à la proposition et la conception de l'héliostat en prenant en compte les exigences de URAER comme géométrie et condition locale (les dimension, la hauteur et la vitesse de vent). Le chapitre présente le détail de la conception sous SolidWorks. L'héliostat est dimensionné en tant compte les paramètres locaux. Pour faire mouvoir le miroir de 2x2m, un vérin électrique est utilisé pour réaliser une rotation du miroir autour de l'axe horizontal. Pour le mouvement par rapport à l'axe vertical, un moteur pas à pas est proposé et dimensionné.

Chapitre 1. Les centrales à tour Héliostats

1.1.Introduction

La production d'électricité dans le monde par voie thermodynamique à partir d'énergie solaire a débuté au début des années 80 [1]. Le principe général commun consiste à chauffer un fluide. Pour cela, le rayonnement solaire doit être concentré afin d'obtenir des niveaux de température suffisants. L'énergie thermique ainsi produite est d'abord convertie en énergie mécanique par un cycle thermodynamique, puis en énergie électrique grâce à un alternateur. Une autre filière consiste à stocker l'énergie solaire non plus sous forme de chaleur mais en énergie chimique par le biais de réactions chimiques endothermiques.

1.2.Les technologies de concentration

Deux grands principes technologie de concentration qui sont :

1.2.1.Les concentrateurs linéaires

La concentration s'effectue sur des tubes de grandes longueurs dans lesquels circule un fluide caloporteur. Ces tubes se trouvent sur la ligne focale des réflecteurs concentrant le rayonnement solaire. Cette technologie nécessite un suivi du soleil sur au moins un axe. Les capteurs cylindro-paraboliques (voir fig.2.1) et les capteurs de Fresnel (voir fig.2.2) fonctionnent sur ce principe [2].

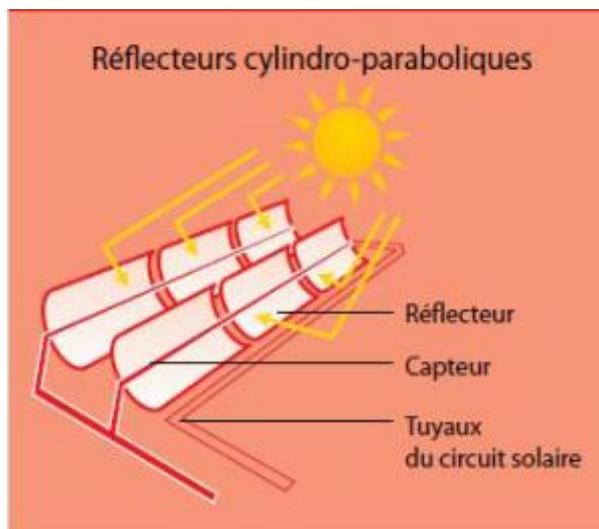


Figure 1.1. Capteurs cylindro-paraboliques.

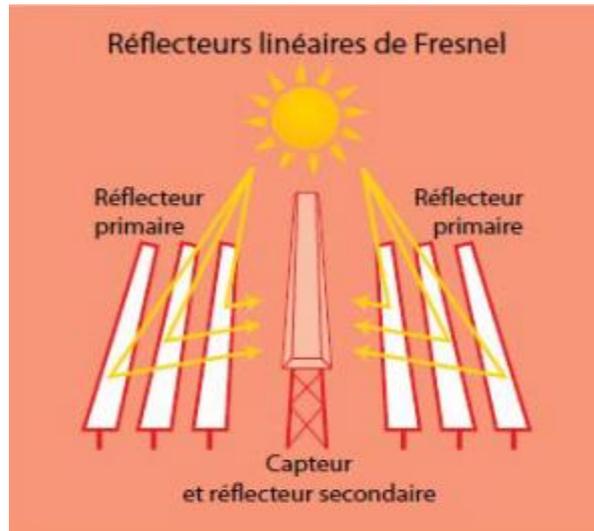


Figure 1.2. Capteurs linéaires de Fresnel.

1.2.2. Les concentrateurs ponctuels

La concentration s'effectue sur un récepteur central. Le dispositif concentrateur suit le soleil sur deux axes : en azimut et en élévation. Ce principe est utilisé par les concentrateurs paraboliques (voir fig.2.3) et les centrales à tour (voir fig.2.4) [2].

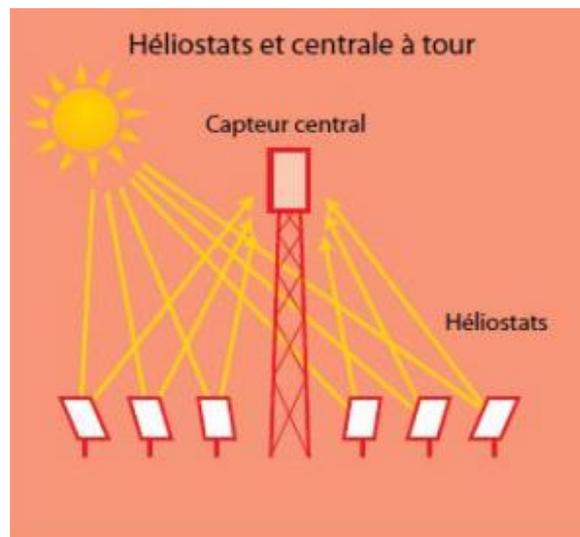


Figure 1.3. concentration à tour.

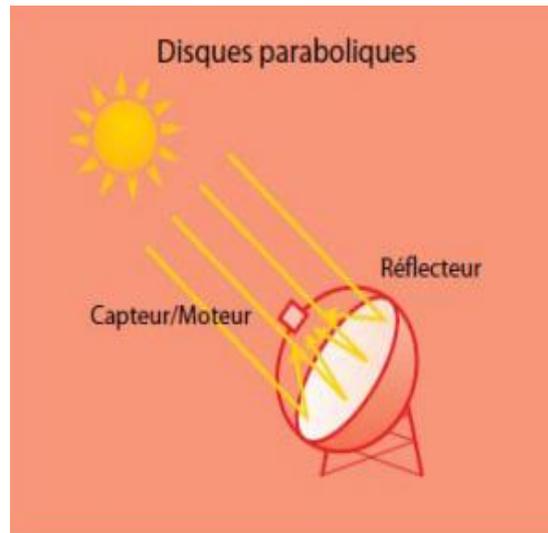


Figure 1.4. Concentrateurs paraboliques.

1.3. Central à tour-Héliostats

Les premiers prototypes de centrales à tour ont été fabriqués à la fin des années 1970 suite aux deux chocs pétroliers de 1973 et de 1979. La filière solaire thermodynamique a connu un essor important dans les années 70. De nombreuses plateformes expérimentales ont vu le jour au début des années 80 comme par exemple aux Etats-Unis (Bardstown), en Espagne (Plateforme Solaire d'Almeria PSA) et en France (centrale solaire THEMIS, Carcassonne). Les deux technologies suscitant le plus d'intérêt pour la production d'électricité sont: les technologies de centrales cylindro-paraboliques et les technologies de centrales à tour [4].

Au début des années 90, la chute du prix des énergies fossiles et, dans une moindre mesure, l'arrivée de l'énergie nucléaire dans le marché ont freiné le développement des technologies solaires thermodynamiques. Après une quinzaine d'années sans réel projet de construction, la filière solaire thermodynamique réapparaît au début des années 2000 et devient une alternative de plus en plus envisagée pour la production d'électricité dans les pays possédant un fort ensoleillement direct et une ressource solaire annuelle élevée comme c'est le cas de notre pays. La technologie la plus mature est actuellement la technologie cylindro-parabolique.

Des études montrent cependant que les centrales à tour ont un potentiel plus important que les centrales cylindro-paraboliques. En effet, grâce au facteur de concentration qui peut dépasser 1000, ceci permet d'atteindre des températures

importantes, de 600 °C à 1000 °C. L'énergie concentrée sur le récepteur est ensuite soit directement transférée au fluide thermodynamique, soit utilisée pour chauffer un fluide caloporteur intermédiaire permettant donc de travailler à des températures et des pressions plus élevées et offrant ainsi un meilleur rendement de conversion.

Les centrales à tour sont constituées principalement d'un champ d'héliostats et une tour. Un héliostat est un mécanisme permettant une rotation suivant deux axes de rotation perpendiculaires (azimut et élévation) et un ensemble de miroirs plats fixé sur ces héliostats. Chaque héliostat est piloté pour réfléchir continuellement le rayonnement solaire direct sur le sommet d'une tour où se trouve le récepteur

1.4. Centrales sur le marché

Des projets commerciaux de centrales à tour ont été lancés dans le monde. On peut citer la centrale solaire PS10 située dans la région de Séville (Espagne) qui a été inaugurée en mars 2007. Sa puissance électrique est de 11 MW. Elle est constituée de 624 miroirs focalisant de 120 m² chacun soit près de 75000 m² et d'une tour de 115 m. Le récepteur au sommet de celle-ci produit de la vapeur d'eau saturée à 250 °C sous 40 bars. En 2009, une seconde centrale PS20 a été construite et jouxtant la centrale PS10. D'une puissance de 20 MWe, sa tour mesure 165 m et le champ d'héliostats comporte 1255 miroirs focalisant. Le fluide utilisé est aussi la vapeur d'eau.

Le projet GEMASOLAR en Espagne (anciennement Solar Tree) s'inspire de Thémis et de Solar Two. Il a pour objectif de fournir 17 MWe avec une technologie de sels fondus et un champ d'héliostats circulaire de 318000 m² comportant 2650 miroirs pour une puissance thermique de 120 MWth. Il assurera une autonomie en stockage de 15 heures.

En France, le projet de recherche PEGASE, a pour but de réutiliser les héliostats de la centrale Thémis et d'atteindre de très hautes températures. Il s'agira d'un cycle hybride (HSGT) dont le fluide (air sous pression à 10 bar) est d'abord préchauffé par l'énergie solaire concentrée puis chauffé jusqu'à environ 1000°C dans une chambre de combustion. L'air traverse enfin une turbine à gaz qui produira 1,4 MWe

1.5.Nouveaux systèmes de concentration développés

1.5.1.Beam-Down

Il a été démontré que la conversion de l'énergie solaire en électricité est plus efficace pour des températures supérieures à 1100 K [5]. Atteindre ces températures élevées nécessite des taux de concentrations importants et l'optimisation du champ d'héliostats n'est pas suffisante pour cela. On est obligé d'introduire un sur concentrateur. Les systèmes Beam-Down proposés la première fois par Râble [3] consistent à placer un second réflecteur en hauteur pour renvoyer vers le sol les rayons solaires déjà réfléchis une fois par les héliostats. Cette technologie a l'avantage d'un récepteur au sol et donc aucune installation thermique ne se trouve en hauteur. Plusieurs études ont été menées sur le système optique du Beam-Down. Elles montrent qu'un second réflecteur hyperboloïde est plus efficace qu'une forme ellipsoïde et que le champ d'héliostats doit être circulaire

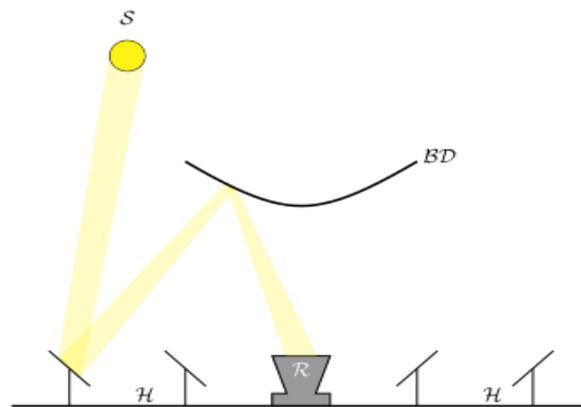


Figure 1.5. Schéma d'une installation Beam down.

La construction d'un pilote industriel de 100 kWe dans la ville d'Abu Dhabi (Émirats Arabe Unis) a commencé en avril 2009 dans le cadre du projet "Tokyo Tech Beam-down Solar concentration power system" [6]. Cette installation est le premier Beam-Down avec un réflecteur secondaire à anneaux. Ce projet de démonstration servira de référence pour dimensionner des installations de 20 à 100 MW

1.5.2. Centrales multi-tours

Augmenter la puissance d'une centrale à tour est un objectif complexe. En effet lorsque l'on rajoute des miroirs sur un champ d'héliostats il faut les éloigner de plus en plus. Pour compenser la perte de précision de leur orientation, il faut que les miroirs soient plus grands. Et pour ne pas trop diminuer l'efficacité optique, il faut construire une plus grande tour. Tout ceci se traduit par des coûts très élevés à l'investissement comme au fonctionnement.

Le concept MTSA (Multi-Tower Solar ara) [13] présente plusieurs avantages par rapport aux centrales à tour traditionnelles. Concernant le système optique, ce concept utilise de petits héliostats ($<5\text{ m}^2$) et des petites tours ($<100\text{ m}$). Utilisant de plus un champ d'héliostats entrecroisé (zones où tous les héliostats ne visent pas le même récepteur) la taille du champ est considérablement réduite et l'occupation du terrain est optimisée. Les installations développées par eSolar n'utilisent pas de champs entrecroisés mais elles restent très compactes. Les coûts d'investissement et de fonctionnement sont réduits grâce à la petite taille des tours (55 m) et parce que l'installation et l'entretien des miroirs ($1,136\text{ m}^2$) ne demandent pas de grosses machines. Enfin les centrales multi-tours sont conçues par modules (tours + héliostats). Leur taille n'est donc pas limitée puisqu'il suffit de rajouter des modules pour augmenter la puissance de l'installation sans diminuer l'efficacité optique. Le concept multi-tours permet donc de produire de l'électricité solaire avec des prix de revient plus faibles. La Première construction de eSolar lancée en Juillet 2009, comporte deux modules à tour et sert aussi d'installation de démonstration pour des projets de plus grande taille (groupe de 12 modules pour 46 MW et environ 100 hectares).



Figure 1.6. Installation d'une central solaire multi-tour de eSolar.

1.6.Conclusion

Par cette étude faite dans ce chapitre, les avantages des centrales à tour sont cités. Notre projet s'inscrit dans ce domaine. Les besoins exprimés par URAER de Ghardaïa pour s'équiper d'héliostat les a poussés à faire un appel pour lancer une conception d'un héliostat à deux degrés de liberté.

Chapitre 2. Conception d'héliostat

2.1.Introduction

L'héliostat a pour but de réfléchir les rayons solaires incidents vers une cible fixe (le récepteur) durant toute la trajectoire diurne de l'astre solaire. Pour assurer convenablement sa commande, il est nécessaire de connaître ses paramètres et de déterminer sa position par rapport à la tour, ce qui se traduit par la détermination de son angle d'élévation (nord-sud) et son angle de rotation (est-ouest) [14].

Ce mécanisme possède deux mouvements de rotation. Le premier est le mouvement de rotation azimut effectué par le pylône et qui permet aux miroirs de suivre le soleil horizontalement. Le deuxième mouvement de rotation est l'élévation des miroirs pour suivre le soleil verticalement.

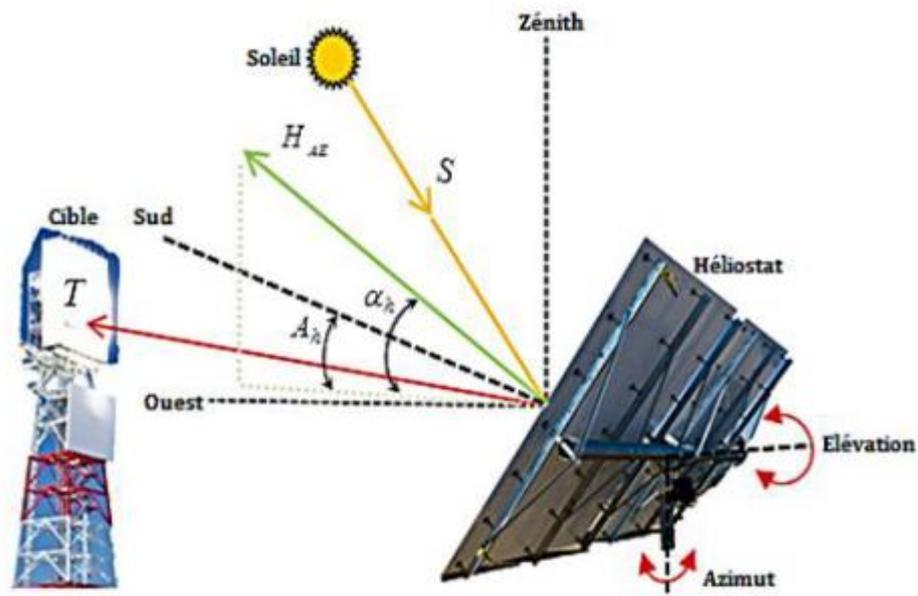


Figure 0.1. Mouvement d'un héliostat.

Pour répondre à ces besoins, l'unité de recherche appliquée aux énergies renouvelables de Ghardaïa nous a chargé de concevoir un système permettant de réaliser ces fonctions. Dans ce chapitre, nous présentons les étapes pour concevoir les différentes pièces, l'assemblage complet et tout le dispositif sous SolidWorks.

2.2. Les systèmes de mouvement utilisés

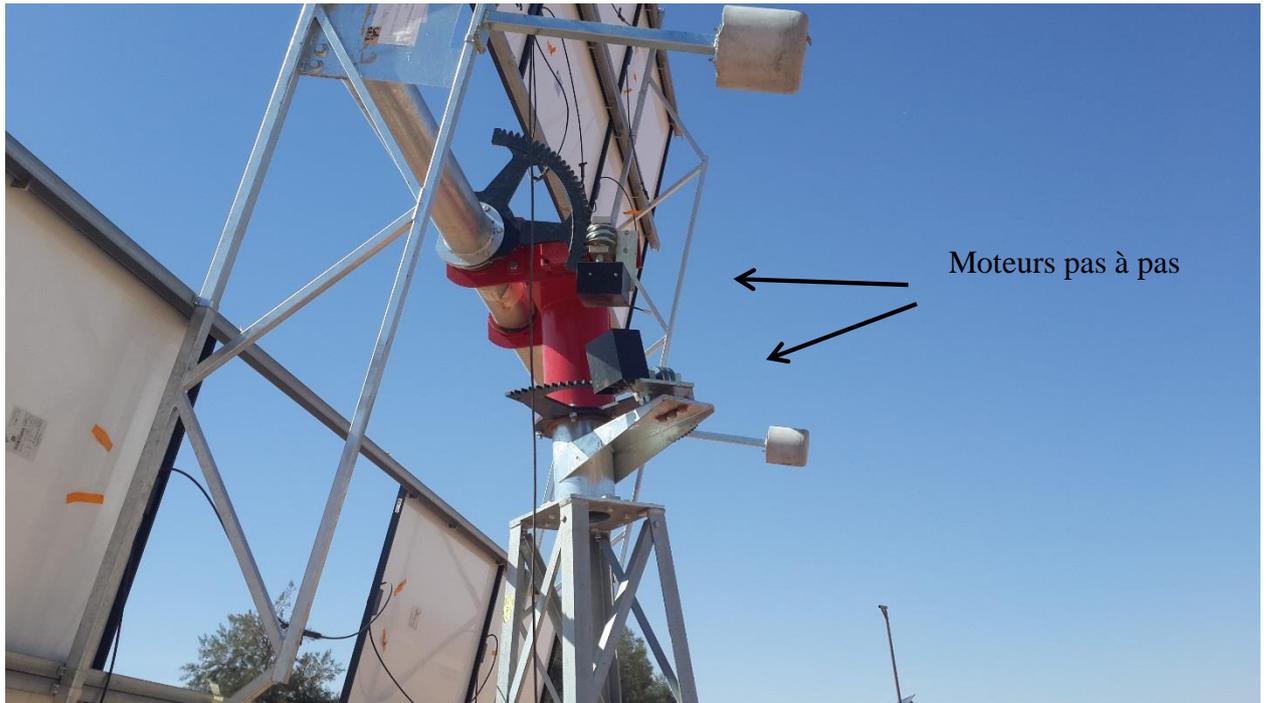


Figure 0.2. Système de mouvement à 2 moteur pas à pas.

Les systèmes de mouvements le plus souvent utilisés pour réaliser les mouvements des héliostats sont des moteurs pas à pas et des vérins électriques avec des systèmes de commande. Ces derniers offrent une bonne précision pour le captage et pour la réflexion des rayonnements solaire vers la cible.

Comme ces dispositifs sont toujours soumis à des forces externes telles que le poids propre et la de force du vent. Les servomoteurs et les moteurs pas à pas sont favorisés pour une telle application.

Les héliostats doivent être autonomes en termes de contrôle d'orientation. L'utilisation des vérins hydrauliques ou bien pneumatiques nécessitent toute une installation (pompe, vérin, huile, tuyauterie...), et demande donc plus de maintenance.



Figure 0.3. Système de mouvement à moteur pas à pas et vérin électrique.

2.3. Les conceptions proposées

La première conception proposée est héliostat avec 2 moteurs pas à pas. L'un des deux moteurs assure la rotation suivant l'axe vertical à l'aide d'un pignon et une roue et l'autre moteur est couplé directement à une tige filetée. Cette solution a été abandonnée à cause de l'action l'environnement sévère au Sahara sur le système vis écrou (endommagement du système vis écrou par le sable).

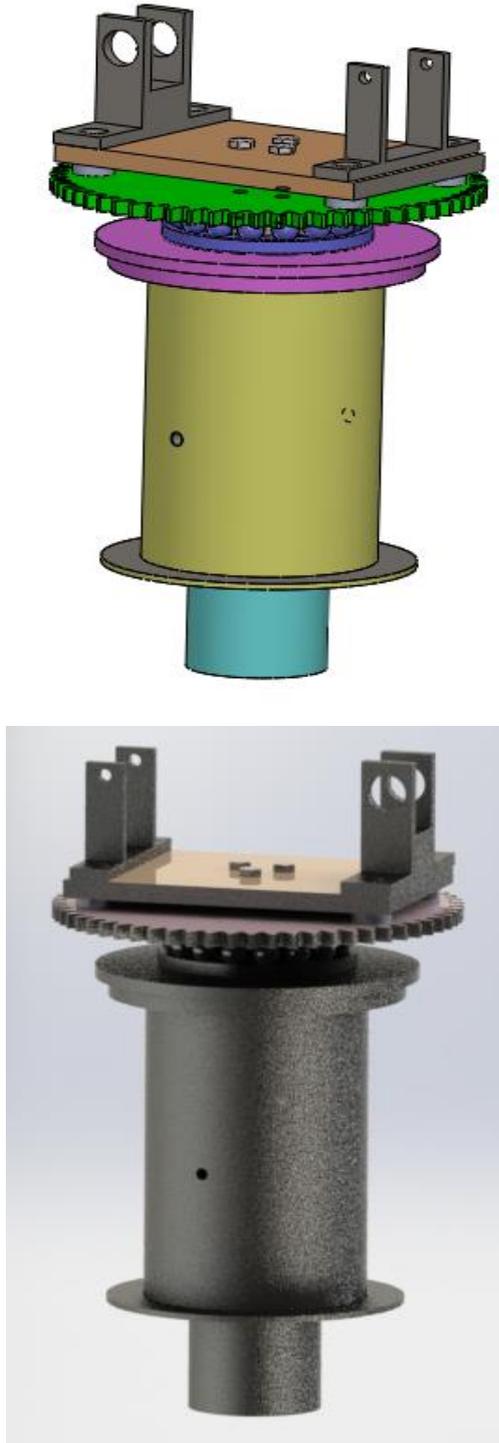


Fig 3.4 : le mécanisme qui assure la rotation suivant l'axe verticale

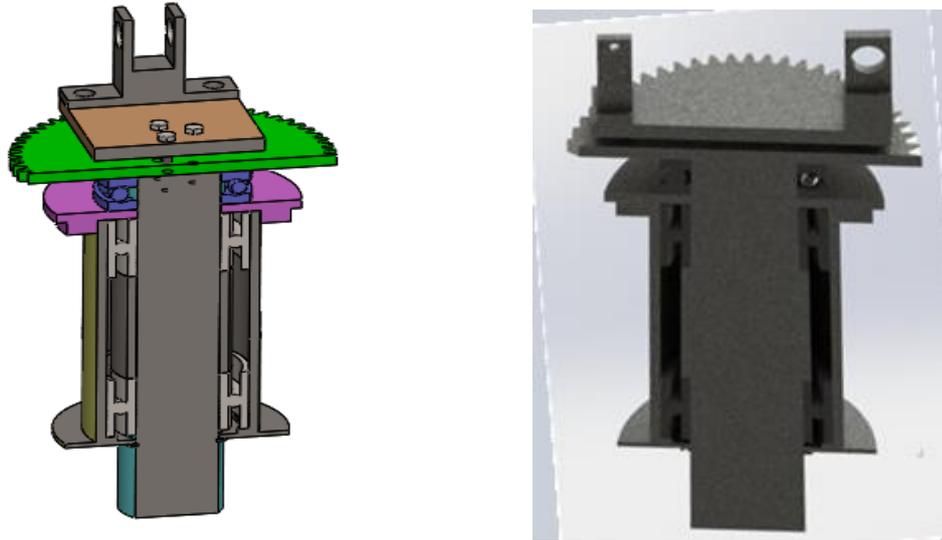


Fig 3.5 : vue de coupe du mécanisme qui assure la rotation suivant l'axe verticale

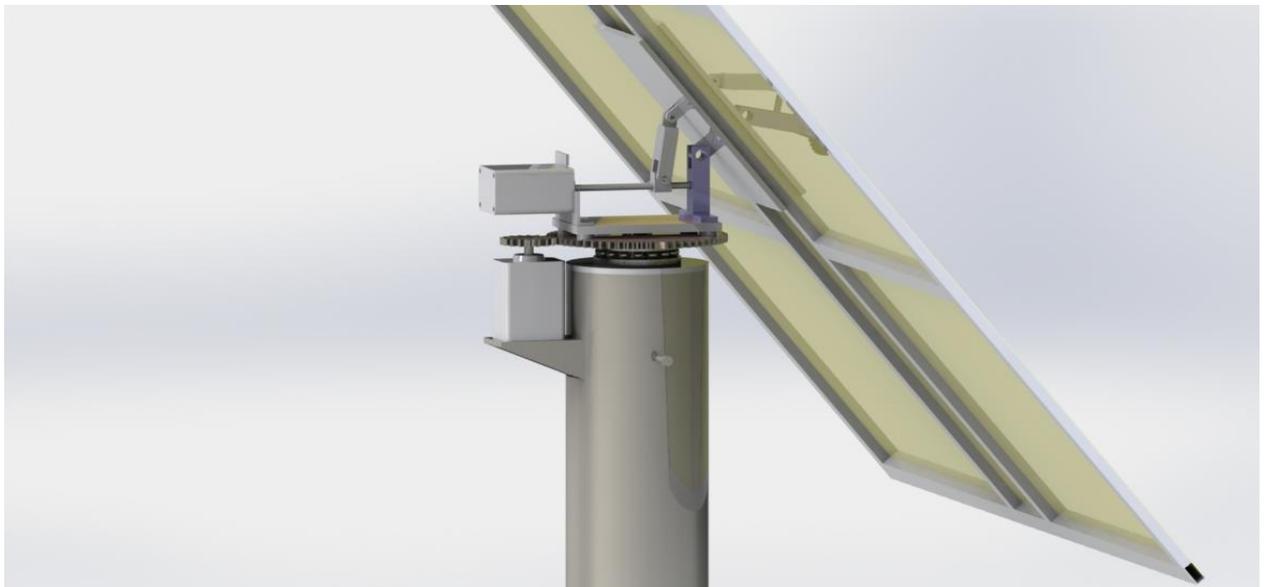


Fig 3.6 : vue de la conception d'un héliostat à deux moteurs pas à pas (solution non retenue)

Pour éliminer l'inconvénient de la première solution et ne pas utiliser le système vis écrou, une solution est proposée utilisant un vérin électrique pour assurer la rotation du mécanisme autour de l'axe horizontal. Le moteur pas à pas pour assurer la rotation du mécanisme autour de l'axe vertical est gardé fig.3.7

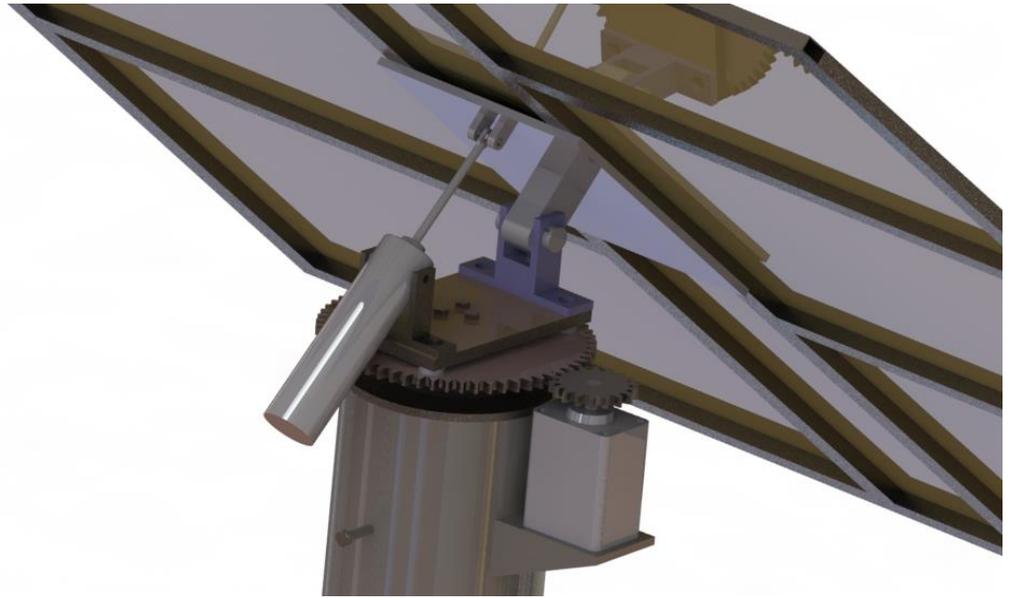


Fig 3.7 : vue de la conception d'un héliostat à un moteur pas à pas et vérin électrique (solution retenue)

Les deux configurations assurent le fonctionnement d'un héliostat durant une journée pour réfléchir les rayonnements solaires vers le sommet de la tour où le récepteur est placé. La deuxième conception est donc l'option adaptée vu ses avantages par rapport à la première solution.

2.4. Identification du vérin électrique et moteur Pas à Pas

Pour le vérin électrique :

Les actions mécaniques extérieures appliquées au panneau sont :

- P : Poids des deux panneaux.
- F_{vent} : L'effort exercé par le vent.
- F_v : L'effort exercé par le vérin.

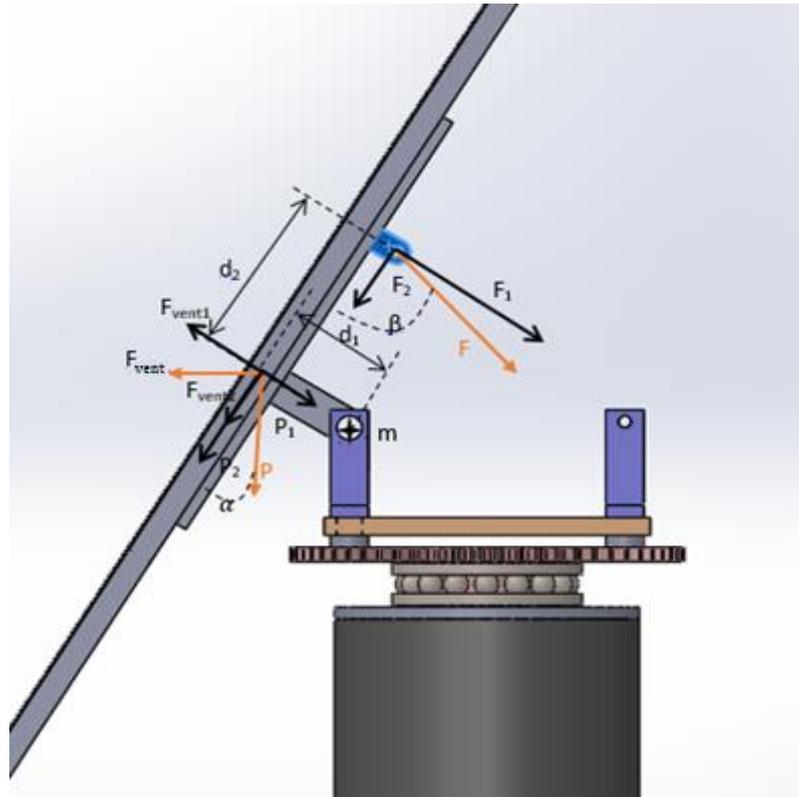


Figure 0.4. Schéma des forces appliquées sur châssis d'un héliostat.

Le cas le plus défavorable ou le vérin doit développer une force maximale en traction ou bien en poussée est un de $\alpha = 90^\circ$ avec l'horizontale. Mais pour notre conception, la plage de fonctionnement est comprise entre 0° et 45° . Donc la force maximale développée est celle correspondant à $\alpha = 45^\circ$

En équilibre on a :

$$\sum \vec{F}_{ext} = \vec{P} + \vec{F}_{vent} + \vec{F}_v = 0 \quad (1)$$

$$\sum M/m = 0 \quad (2)$$

La masse du châssis $m_{chassis}$ est donnée directement par le logiciel SolidWorks à partir de la conception. Elle est égale à :

$$m_{chassis} = 46.3 \text{ kg}$$

Représentant un poids de

$$P = 454 \text{ N}$$

Par projection des forces sur le repère qui coïncidé avec le panneau on obtient

$$P_1 = P \cdot \cos \alpha = 320.93 \text{ N}$$

La force du vent F_{vent} sur une plaque plane est calculée par la formule suivante :

$$F_{vent} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot s \quad (3)$$

La vitesse du vent v est une donnée locale fournie par URAER de Ghardaia. Pour le dimensionnement de moteur et le vérin nous prenons une vitesse maximum égale à 15m/s.

A.N :

$$F_{vent} = \frac{1}{2} \cdot 1,297 \cdot (15)^2 \cdot 4 = 583,7 \text{ N}$$

La décomposition de cette force donne :

$$F_{vent1} = F_{vent} \cdot \cos \alpha = 412,7 \text{ N}$$

La formule (2) nous donne :

$$\sum M/m = (P_1 + F_{vent1}) \cdot d_1 + F_v \cdot \cos \beta \cdot \sqrt{(d_2^2 + d_1^2)} = 0$$

Or :

$$F_v = (P_1 + F_{vent1}) \cdot \frac{d_1}{\cos \beta \cdot \sqrt{(d_2^2 + d_1^2)}} \quad (4)$$

Détermination de l'angle β en fonction de d_2

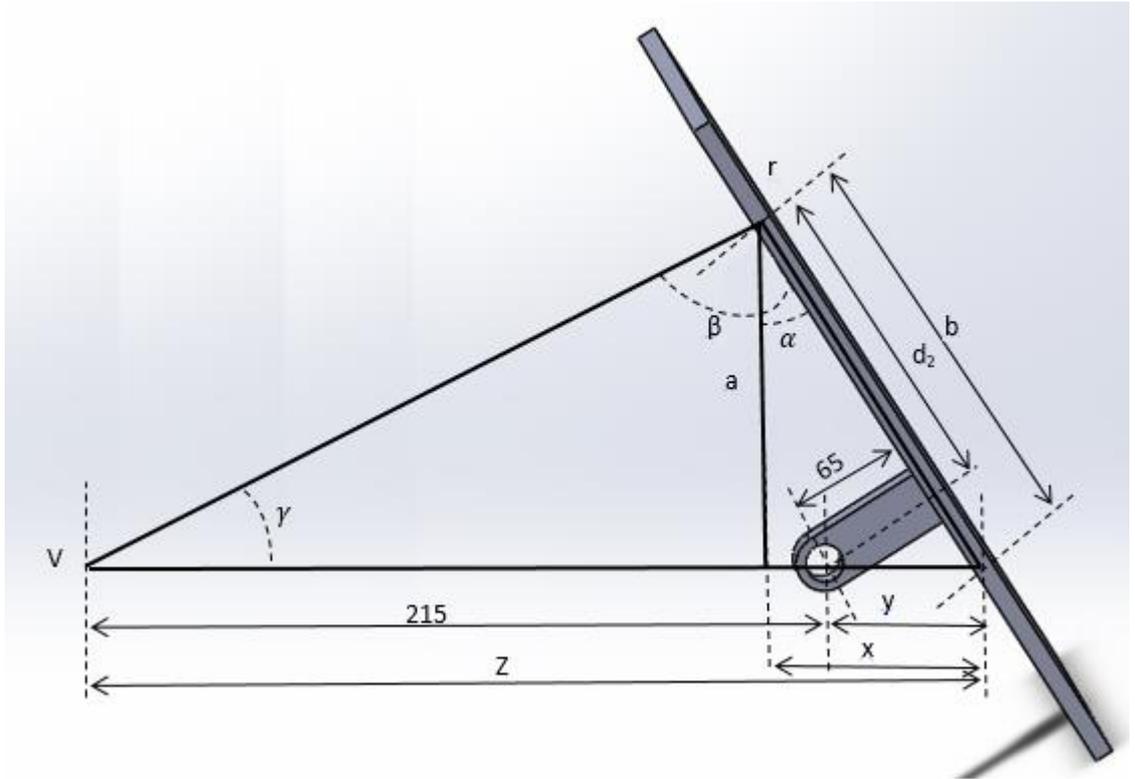


Figure 0.5. Schéma des différents angles et distances entre les articulations du vérin et le châssis.

Pour $\alpha = 45^\circ$ on peut écrire

$$y = 65\sqrt{2}mm$$

$$b = d_2 + y$$

$$a = \frac{b}{\sqrt{2}}$$

Posons $z = 125 + y$

Alors la course de vérin est calculée par la formule suivante:

$$h = (z - x) / \sin \beta$$

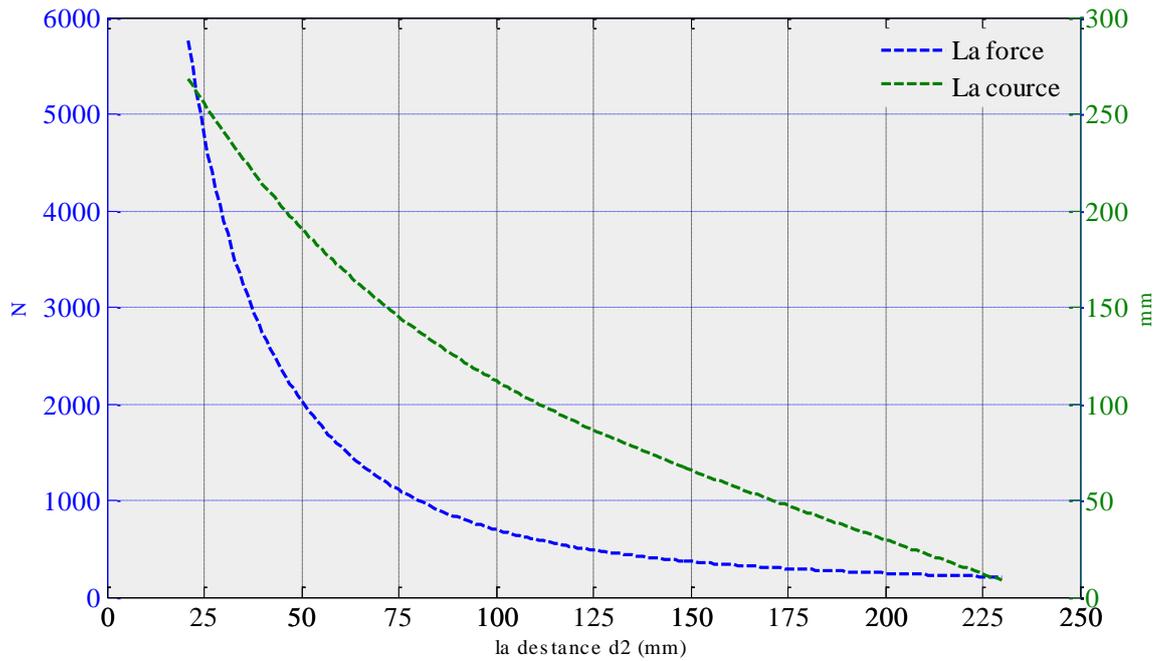


Figure 0.6. Evolution de la force développée par le vérin et la course maximale en fonction de la distance entre support et l'articulation de vérin d_2 .

Pour assurer la rotation suivant l'axe horizontal on propose un vérin qui peut développer une force de 500 N qui a une course de 80 mm. Un coefficient de pondération égal à 2 est adopté donnant une force de 1000 N.

Nous proposons le Vérin électrique type CMS. Ce modèle est illustré sur sa fiche technique donnée par le constructeur et mentionné dans le tableau 3.1.



Figure 0.7. Vérin électrique type SMC.

Tableau 0.1. Fiche technique des vérins SMC.

Caractéristiques électriques			
Type	NEW CMSB50S	NEW CMSB50M	NEW CMSB50L
Couple max. Nm	5,2	7 ¹⁾	7 ¹⁾
Couple à l'arrêt Nm	1,3	2,4	3,3
Caractéristiques mécaniques			
Vitesse nominale n_N	3 000 min ⁻¹ 4 500 min ⁻¹ 6 000 min ⁻¹		
Type de vis	KGT ²⁾ 20x5	KGT ²⁾ 20x5	KGT ²⁾ 20x5
Poussée nominale max. ⁴⁾ N	1 200	2 200	2 200
Poussée maximale N	5 300	8 000	8 000
Longueurs de course mm	70 / 100 / 150 / 200 / 300 / 400 / 600		
Vitesse max. mm/s	375	375	375

Cette proposition est faite à titre indicatif. Il appartient à l'unité de Ghardaïa URAER de choisir un modèle équivalent offrant le meilleur rapport qualité/prix

Intéressons-nous au moteur pas à pas.

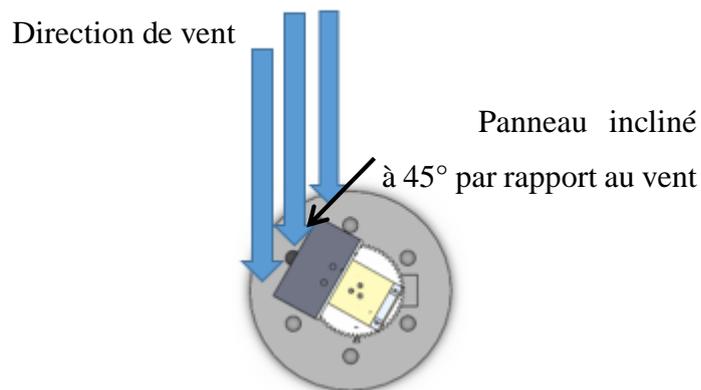


Fig.3.12 : Vue de-dessus de panneau subit d'une force d'où vent

$$F_{vent\ 2} = F_{vent\ 1} \cdot \cos 45 = 351.2\ N$$

La distance entre centre de rotation de la roue et où s'applique la résultante des forces de vent est de

$$e = 52.5\ mm$$

Donc le couple est de

$$C = F_{vent 2} \cdot e = 18.5 \text{ N.m}$$

Le couple nécessaire est 18.5 N.m. Nous proposons pour cette application, le Moteur NEMA modèle 1M37-19-1 qui développe un couple de 37 N.m. Un coefficient de sécurité de 2 est adopté. Ce moteur est représenté par ses caractéristiques dans le tableau dessous

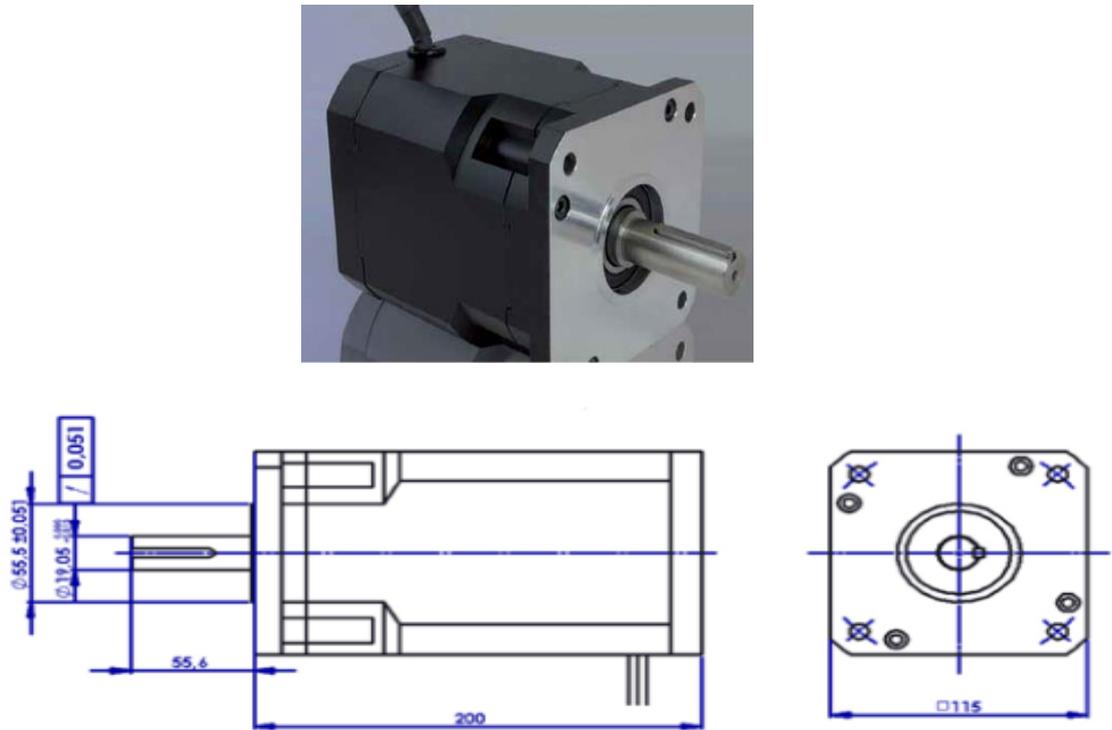


Figure 0.8. moteur Pas à Pas Type NEMA Modèle 1M37 – 19- 1.

Tableau 0.2. Caractéristique de déférant produit moteur pas à pas NEMA.

Ref.	Type	Couple N.m	Longueur mm	A/Phase	Nb fil	Sortie d'axe
1M05-8-1	NEMA 23	0.5	41	1.25	8	8 F
1M05-8-2	NEMA 23	0.5	41	1.25	8	8 F + 8 F
1M10-8-1	NEMA 23	1.0	51	1.25	8	8 F
1M10-8-2	NEMA 23	1.0	51	1.25	8	8 F + 8 F
1M13-10-1	NEMA 23	1.3	56	1.4	8	10 F
1M13-10-2	NEMA 23	1.3	56	1.4	8	10 F + 10 F
1M15-10-1	NEMA 23	1.5	64	1.25	8	10 F
1M15-10-2	NEMA 23	1.5	64	1.25	8	10 F + 10 F
1M17-10-1	NEMA 23	1.7	80	1.4	8	10 F
1M17-10-2	NEMA 23	1.7	80	1.4	8	10 F + 10 F
1M20-10-1	NEMA 23	2.0	100	1.5	8	10 F
1M20-10-2	NEMA 23	2.0	100	1.5	8	10 F + 10 F
1M25-10-1	NEMA 23	2.5	112	1.5	8	10 F
1M25-10-2	NEMA 23	2.5	112	1.5	8	10 F + 10 F
1M28-14-1	NEMA 34	2.8	66	2.5	8	14 SB
1M28-14-2	NEMA 34	2.8	66	2.5	8	14 SB + 14 SB
1M40-14-1	NEMA 34	4.0	80	2.5	8	14 SB
1M40-14-2	NEMA 34	4.0	80	2.5	8	14 SB + 14 SB
1M64-14-1	NEMA 34	6.4	95	3.2	8	14 SB
1M64-14-2	NEMA 34	6.4	95	3.2	8	14 SB + 14 SB
1M12-14-1	NEMA 34	12.0	155	2.9	8	14 SB
1M12-14-2	NEMA 34	12.0	155	2.9	8	14 SB + 14 SB
1M27-19-1	NEMA 48	27	230	6	8	19 SB
1M37-19-1	NEMA 48	37	253	3,5	8	19 SB

Comme pour le vérin, cette proposition est faite à titre indicatif. Il appartient l'unité de Ghardaïa URAER de choisir un modèle équivalent offrant le meilleur rapport qualité/prix.

2.5. Les principales liaisons mécaniques et leurs caractéristiques

Pour remplir correctement les différentes fonctions techniques d'un mécanisme, ses constituants doivent être assemblés en respectant certaines conditions qui déterminent leurs possibilités de mouvement relatif, c'est à dire leurs degrés de liberté. Une pièce libre dans tous ses déplacements est une pièce qui n'a aucune liaison avec une autre pièce.

Dans ce qui suit, nous présentons le schéma cinématique de notre conception.

Liaisons d'encastrement entre la base de fondation et le tube en ronds

Liaisons pivot entre le tube et la roue denté

Liaisons pivot entre le support et vérin

Liaisons pivot entre vérin et le chassé

Liaisons pivot entre le support et le chassé

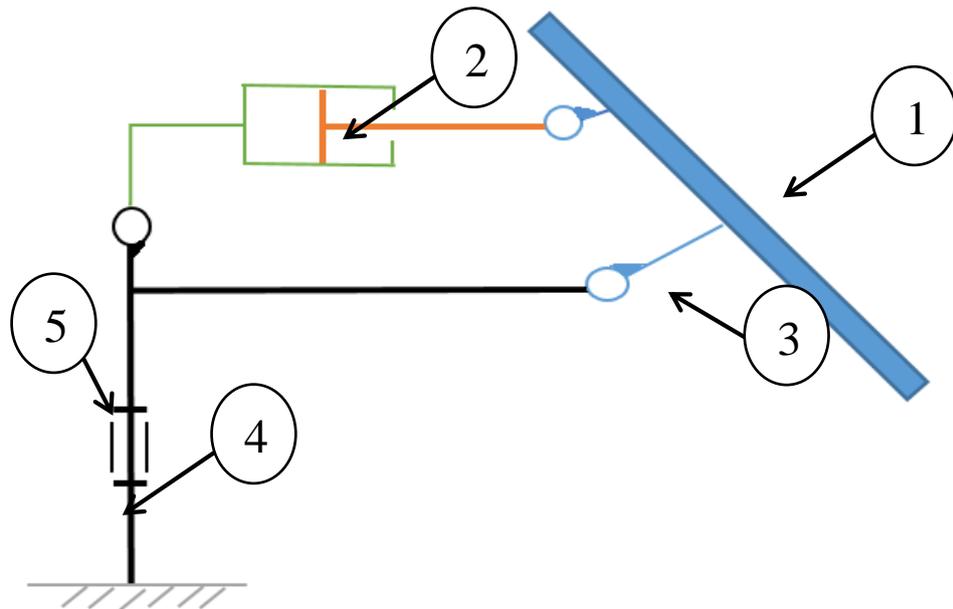


Figure 0.9. schéma cinématique de l'héliostat.

1 : châssis ; 2 : vérin ; 3 : support de chassé ; 4 : le tube ; 5 : roue -pignon

2.6.Fixation des miroirs

Vu que le châssis subit un gradient de température entre le jour et la nuit, il est soumis à une dilatation de la longueur sous l'effet thermique.

On estime la dilatation thermique du profilé qui supporte notre miroir en utilisant la formule suivante :

$$\Delta L = \alpha_{acier} \cdot L_0 \cdot \Delta T \quad (5)$$

Avec

α : le coefficient de dilatation linéaire en kelvin puissance moins un (K^{-1})

L_0 : la longueur initiale en mètre (m)

$\Delta T = T - T_0$ la variation de température

A.N

$$\alpha_{acier} = 12,0 \times 10^{-6} K^{-1}$$

$$\Delta T_{max} = 40^\circ C$$

$$L_0 = 2020 \text{ mm}$$

$$\Delta L \approx 1 \text{ mm}$$

La dilatation est faible pour un gradient de température de 40 °C. La fixation des miroirs peut se faire alors par **la résine de silicone**. Cette matière présente une élasticité assez suffisante qui permet d'absorber la dilatation.

2.7.Recommandation d'un traitement de surface

Notre mécanisme sera exposé à environnement agressif.

Le traitement de surface le plus recommandé pour de telle constructions est une galvanisation à chaud utilisée aussi pour le traitement des poteaux d'électricité, les citernes et les réservoirs...etc.

La galvanisation à chaud consiste à appliquer des revêtements de zinc ou des alliages fer-zinc en plongeant l'acier prétraité dans un bain de zinc en fusion.

Pour ce traitement de surface et donc pour la réaction fer-zinc, la surface de la pièce à galvaniser doit être métalliquement propre, c'est-à-dire, exempte de graisse, de rouille et de calami

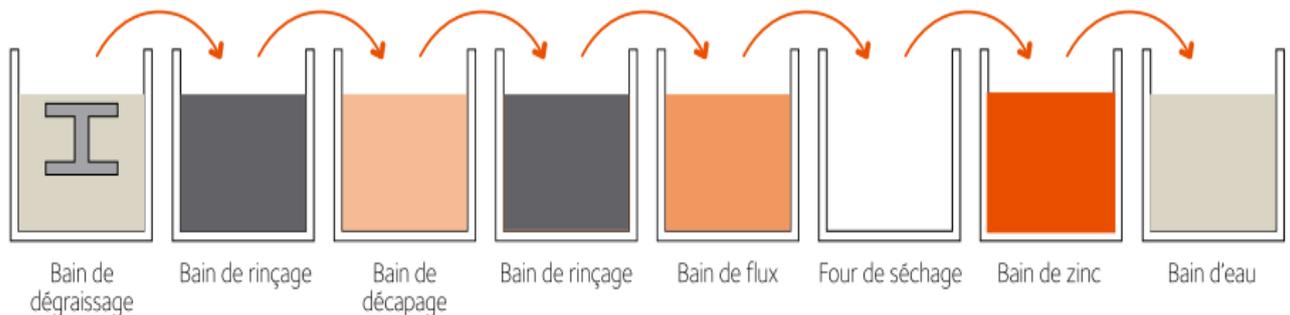


Figure 0.10. Principe du procédé de galvanisation.

2.8. Calcul de RDM pour le tube

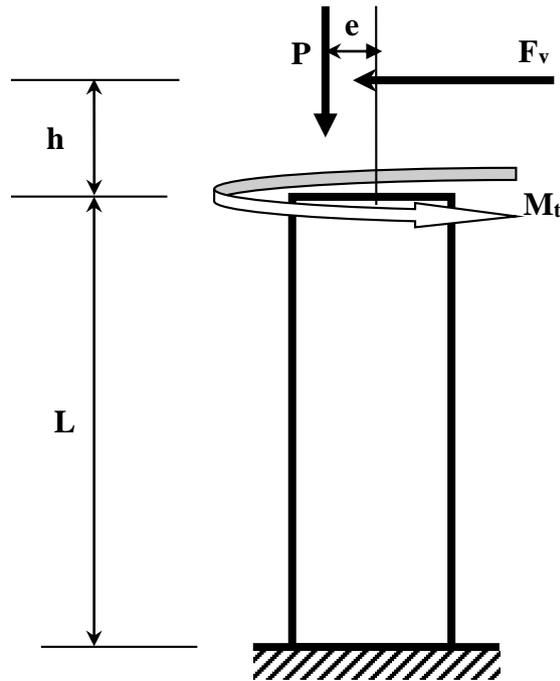


Figure 0.11. Schéma de tube soumis à des forces.

La structure est soumise au poids de la structure, la force du vent appliquée sur le châssis, le tube sera soumis à une flexion, torsion et la compression et un couple concentré M_{fc} au sommet. Dans cette partie on va vérifier les dimensions de tube choisi par des règles de l'art.

Moment de torsion

$$M_t = F_{vent 2} \cdot e = 18,5 \cdot 10^3 N \cdot m$$

h : hauteur application de la force du vent F_{vent} par rapport à la tête du tube

e : excentricité entra P et le centre du tube

Donc le moment fléchissant est obtenu par

$$M_{vy} = F_{vent 1} \cdot (L + h) + P_2 \cdot e = 784,13 N \cdot m$$

Le poids propre agissant sur le tube est donné par SolidWorks

$$P_2 = 696.51 N$$

Les caractéristiques géométriques se résument par le calcul du moment polaire I_0 donné par

$$I_0 = \frac{\pi \cdot D^4}{32} \left[1 - \frac{d^4}{D^4} \right] \quad (6)$$

$$I_0 = 1,014629 \cdot 10^8 \text{mm}^4$$

Et le moment quadratique I_y calculé par :

$$I_y = \frac{I_0}{2} \quad (7)$$

$$I_y = 0.51 \cdot 10^8 \text{mm}^4$$

La contrainte normale est donc égale à

$$\sigma = \frac{M_y}{I_y} R + \frac{P}{S}$$

$$= 3 \text{MPa} \quad (8)$$

Avec

$$M_y = F_{vent} \cdot L + M_{fc} \quad (9)$$

Et

$$\tau = \frac{M_t}{I_0} \cdot R \quad (10)$$

$$\tau = 0.0204 \text{MPa}$$

En utilisant le critère de Von Mises

$$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq \frac{\sigma_e}{F_S} \quad (11)$$

$$\sigma_{eq} = 3 \text{MPa}$$

Si le matériau choisi à une limite élastique $\sigma_e = 253 \text{MPa}$, le dimensionnement en contrainte est largement satisfait. La colonne doit rester assez rigide et respecter la géométrie de l'ensemble motivé par des règles de l'art.

- **Le calcul de la flèche pour le tube et le panneau à miroir**

Pour ce calcul on a utilisé le logiciel ANSYS qui nous a permis de récupérer directement la valeur de la flèche. Après avoir converti le fichier SolidWorks en fichier (. Parasolide) afin d'avoir la main pour pouvoir importer la structure sur le logiciel ANSYS, le tableau 3.3 donne les valeurs de la flèche de la tête du tube et les quatre coins du panneau.

Tableau 3.3 : les valeurs de flèche de tube et le panneau obtenu par ANSYS

La flèche de tube	La valeur de la flèche (mm)	
	$1,3 \cdot 10^{-3}$	
La flèche du panneau	Noeuds	flèche
	1	1,2
	2	1,2
	3	1,0
	4	1,1

2.9. Conclusion

On conclut d'après les résultats obtenus que les deux structures (panneau et tube) sont assez rigides. Cela permet d'utiliser la structure avec les dimensions décrites dans les dessins de définition. Cette stabilité permet qu'il n'y ait pas de fluctuation au niveau de la réflexion du rayonnement solaire.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail fournit un aperçu général des centrales solaires à concentration. Les différents systèmes sont décrits, ainsi que les grandes lignes de développement. Une description détaillée sur les centrales solaire à concentration tour héliostat et différents projets déjà opérationnels est proposée et les perspectives de développement sont évoquées.

Nous avons proposé une conception d'héliostat répondant à la demande de URAER de Ghardaïa.

Pour l'orientation du miroir, le système vis écrou a été éliminé vu les conditions sévère de l'environnement.

L'utilisation des vérins hydrauliques ou bien pneumatiques nécessitent une installation lourde avec beaucoup de contraintes (pompe, vérin, huile avec risque de fuite, tuyauterie...) et demande donc plus de maintenance. Cette option a été écartée.

Nous avons opté d'utiliser sur l'héliostat un vérin électrique pour la rotation autour de l'axe horizontal et un moteur pas à pas pour la rotation autour de l'axe vertical. Ces moteurs présentent l'avantage d'être compactes et facile d'entretien.

Les modèles des moteurs sont dimensionnés et présentés avec leurs fiches techniques. Il appartient à l'unité de Ghardaïa URAER de choisir les modèles équivalents présentant un bon rapport qualité/prix.

Le dimensionnement du vérin et du moteur pas à pas ont été optimisé.

Le tube supportant la structure est assez rigide pour qu'il n'y ait pas de fluctuation au niveau de la réflexion du rayonnement solaire.

Nous recommandons de réaliser des traitements de surface qui consistent à faire un revêtement de galvanisation à chaud pour protéger tous les éléments de l'héliostat pour augmenter leur durée de vie.

BIBLIOGRAPHIE

[1] D. Mills. «Advances in solar thermal electricity technology». Solar Energy, 76(1-3) 19_31,2004. Solar World Congress 2001.

[2] Olivier Farges, « Conception optimale de centrales solaires à concentration : application aux centrales à tour et aux installations "beam down" », Doctorat de l'université de Toulouse

[3] A. Rabl. « Tower reflector solar power-plant ». In: Solar Energy 18.3 (1976), p. 269–271

[4] Jérémie De la Torre, « Calculs de sensibilités par méthode de Monte-Carlo, pour la conception de procédés à énergie solaire concentrée », Doctorat de l'université de Toulouse 2011

[5] A. Segal and M. Epstein. «Comparative performances of tower-top and tower-reflector central solar receivers », Solar Energy, (P 207–226), 1999.

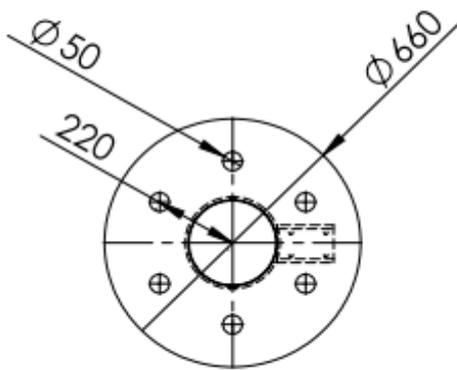
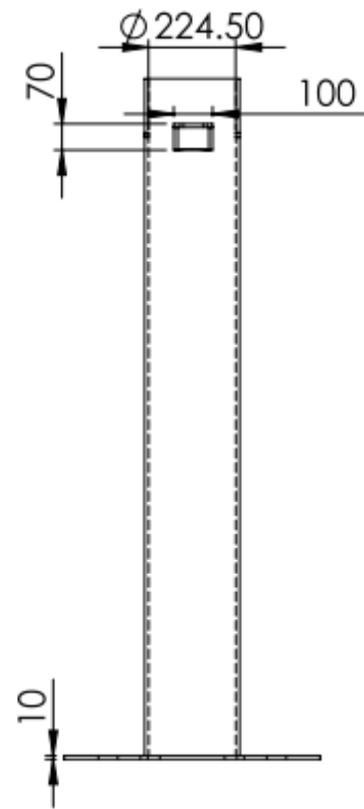
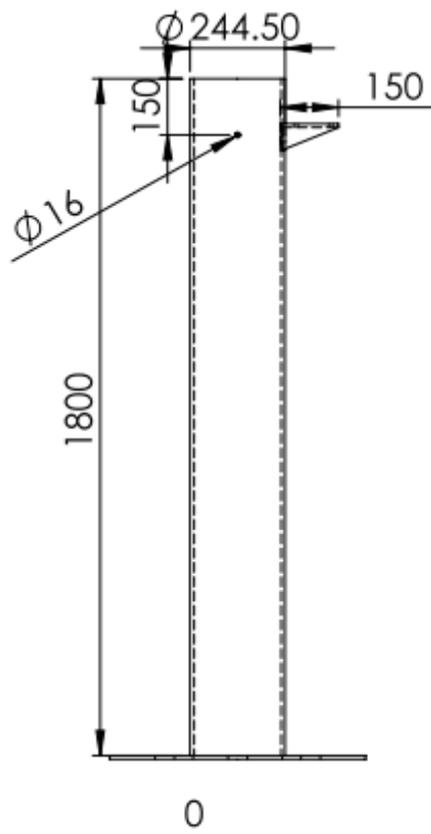
[6] H. Hasuike et al. «Demonstration of tokyo tech beam-down solar concentration power system in 100kw pilot plant », In Proceedings of SolarPaces 2009, Berlin, 15-18 September 2009.

[13] Philipp Schramek and David R. Mills. «Multi-tower solar array », Solar Energy, 249_260,2003.

[14] H.Merarda, M.Aksas, A.Gama « Influence des angles d'attaques du vent sur un héliostat installé dans le Sud Algérien », 3ème Séminaire International sur les Energies Nouvelles et Renouvelables, Algérie 13 et 14 Octobre 2014

Annexes

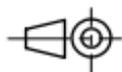
Annexe -A-



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

**E.N.P
G.MECANIQUE**

ECHELLE: 1:20



Tube

ETUDIANT

F.SIDIKI

PROMOTEUR

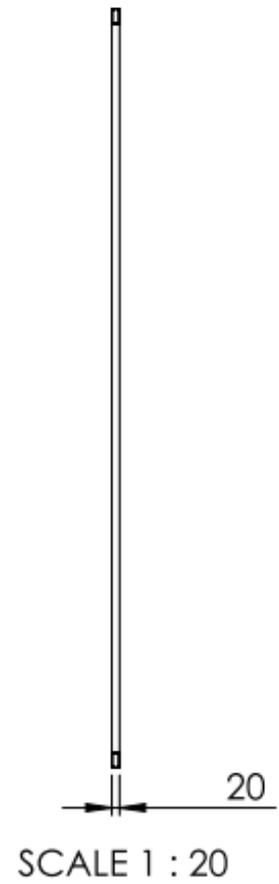
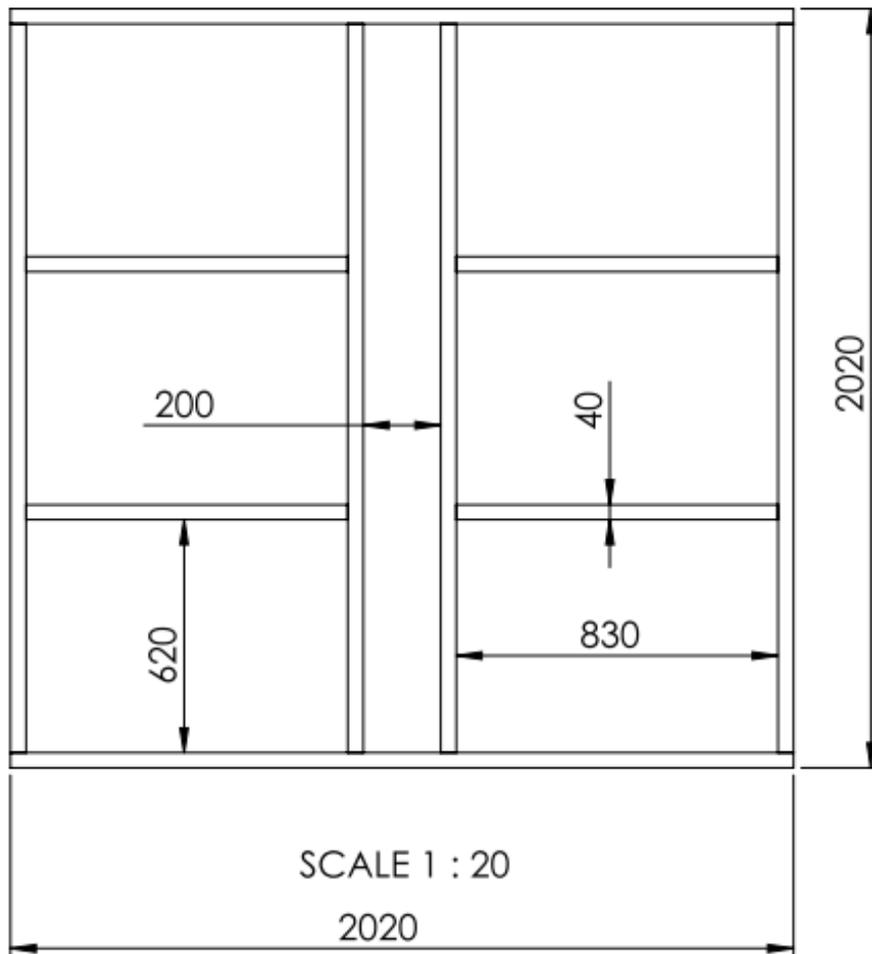
BELKACEMI

PROMOTEUR

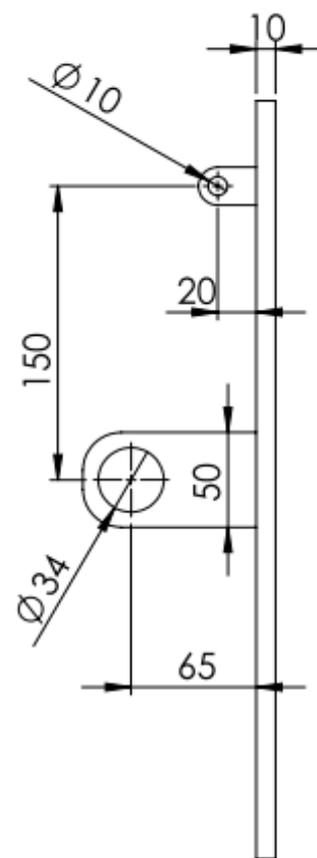
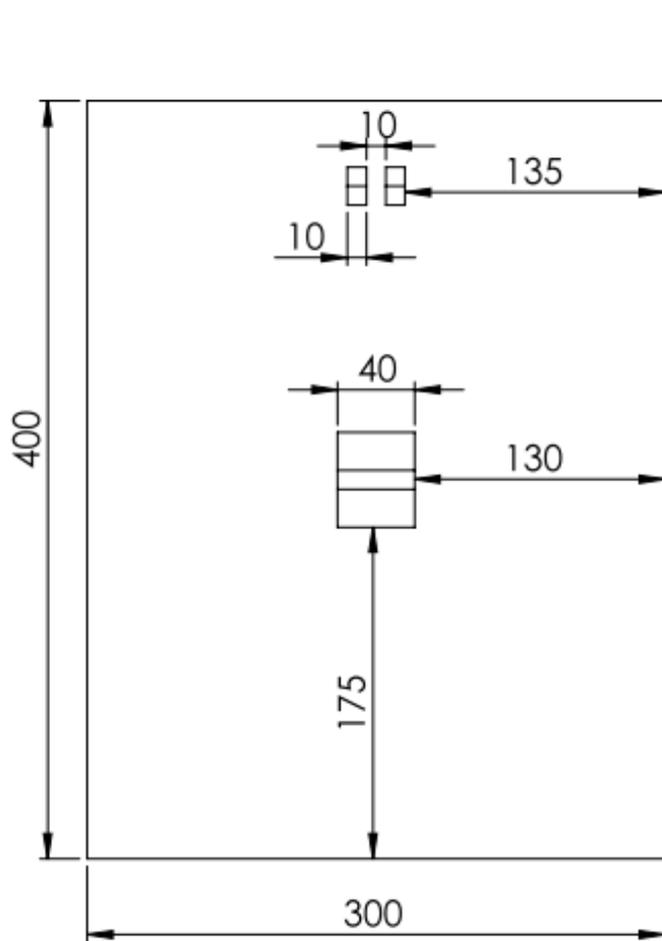
GUERGUEB

PROMOTION

2015/2016



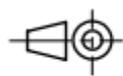
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			E.N.P G.MECANIQUE
ECHELLE: 1:20		CHASSIS	
ETUDIANT	F.SIDIKI		
PROMOTEUR	BELKACEMI		
PROMOTEUR	GUERGUEB		
PROMOTION	2015/2016		



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

**E.N.P
G.MECANIQUE**

ECHELLE:



PORTE PROFILE

ETUDIANT

F.SIDIKI

PROMOTEUR

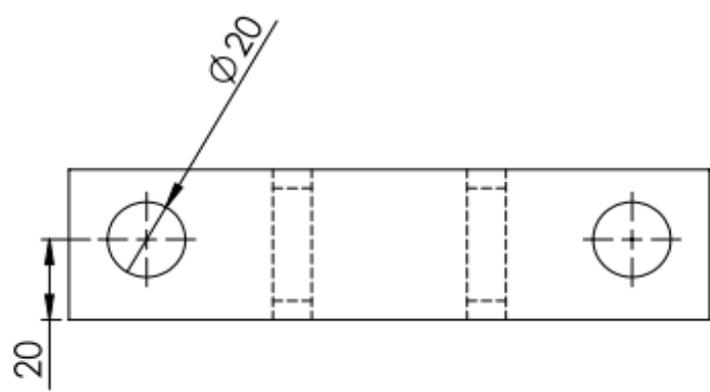
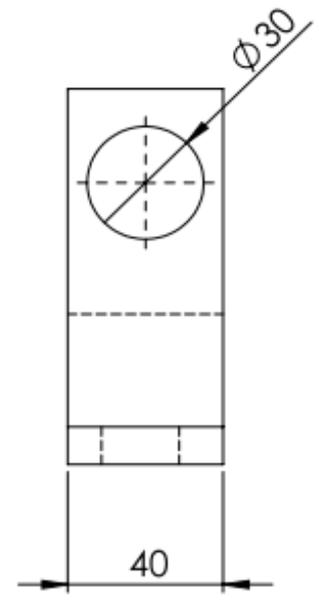
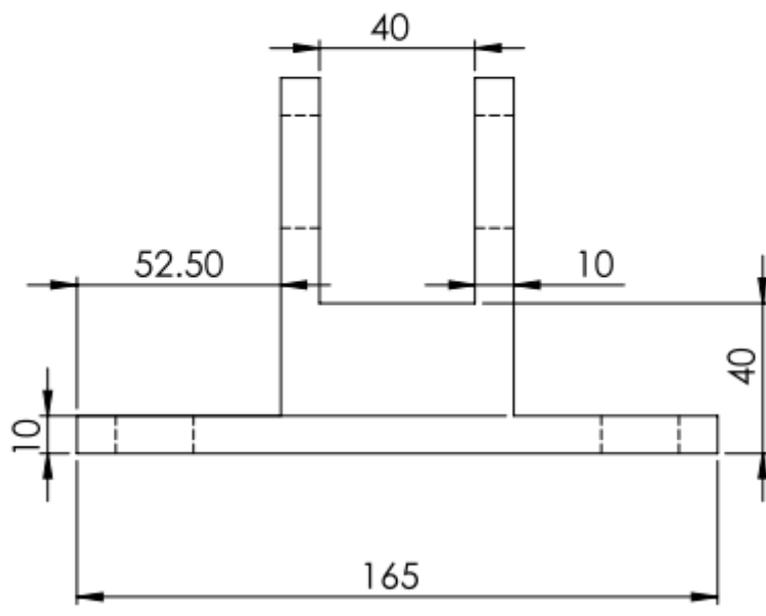
BELKACEMI

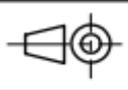
PROMOTEUR

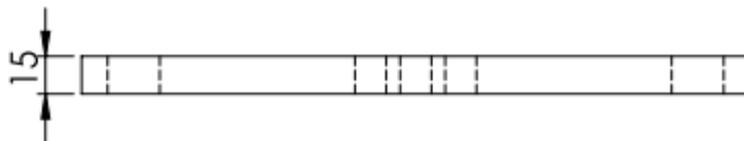
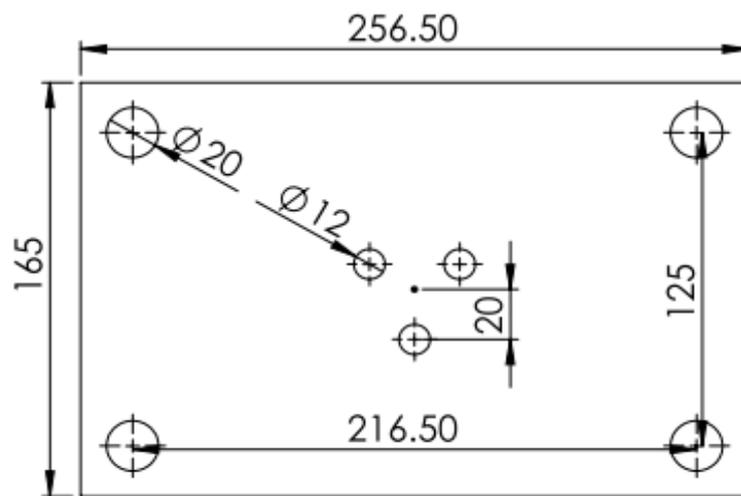
GUERGUEB

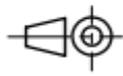
PROMOTION

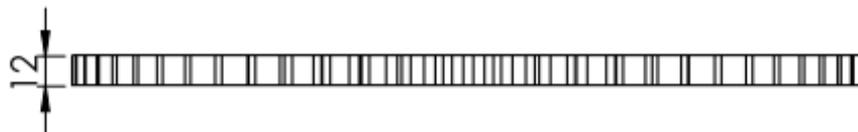
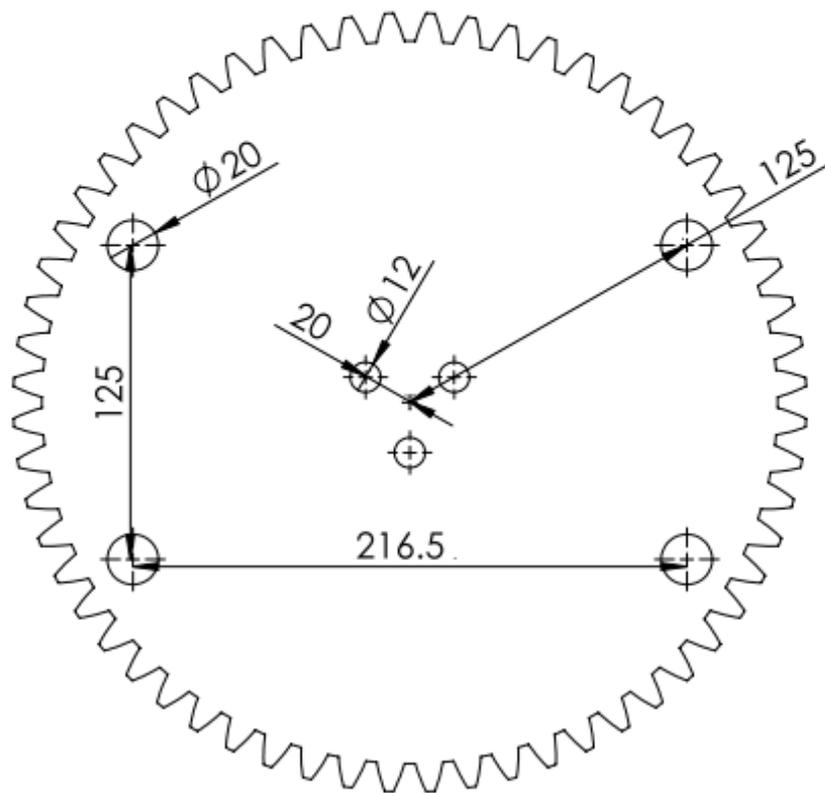
2015/2016



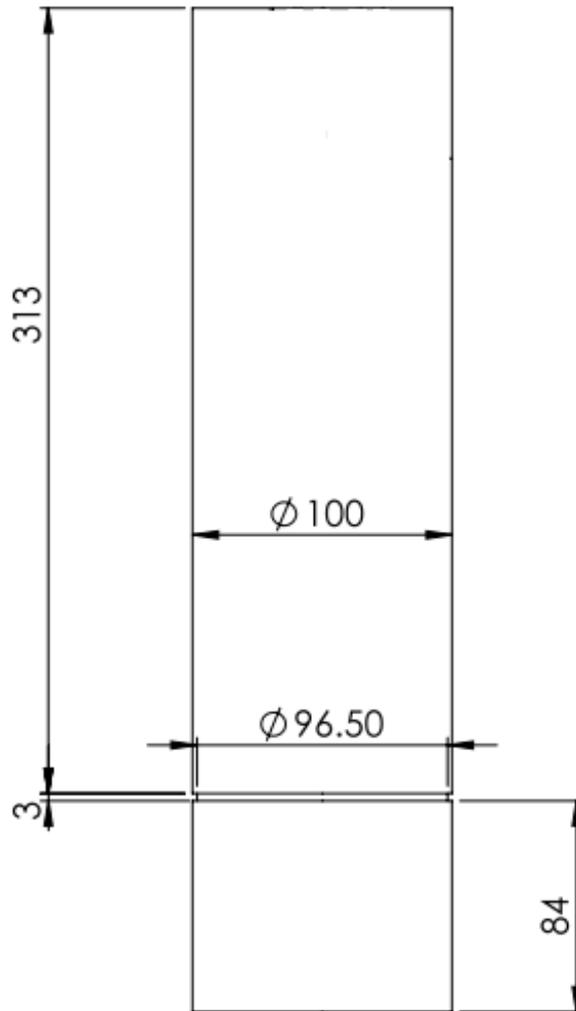
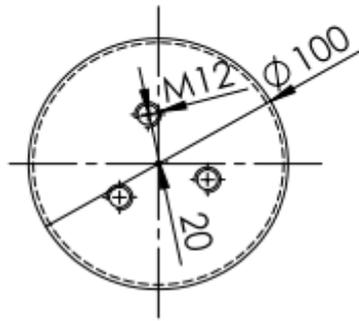
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE		SUPPORT DE CHASSIS	E.N.P G.MECANIQUE
ECHELLE: 1:2			
ETUDIANT	F.SIDIKI		
PROMOTEUR	BELKACEMI		
PROMOTEUR	GUERGUEB		
PROMOTION	2015/2016		



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			E.N.P G.MECANIQUE
ECHELLE: 1:3		TABLE	
ETUDIANT	F.SIDIKI		
PROMOTEUR	BELKACEMI		
PROMOTEUR	GUERGUEB		
PROMOTION	2015/2016		



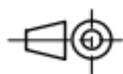
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			E.N.P G.MECANIQUE
ECHELLE: 1:3		LA ROUE	
ETUDIANT	F.SIDIKI		
PROMOTEUR	BELKACEMI		
PROMOTEUR	GUERGUEB		
PROMOTION	2015/2016		



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

**E.N.P
G.MECANIQUE**

ECHELLE: 1:3



MANCHANT

ETUDIANT

F.SIDIKI

PROMOTEUR

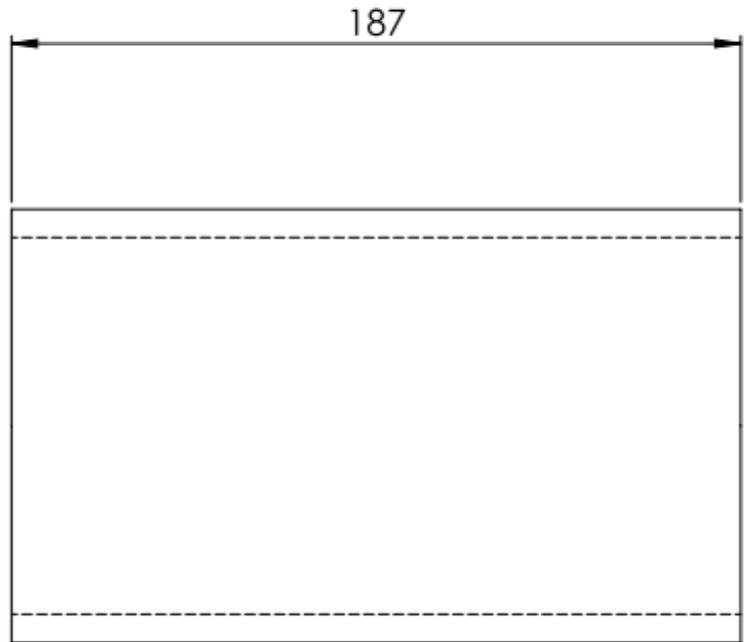
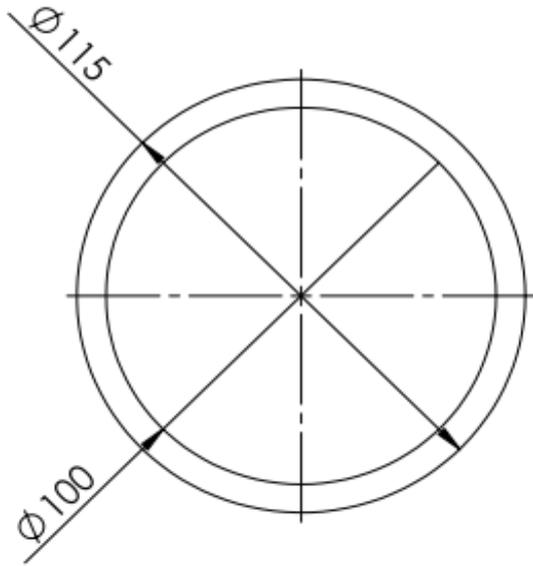
BELKACEMI

PROMOTEUR

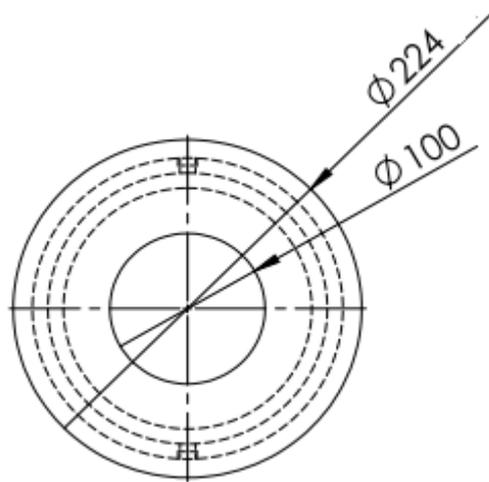
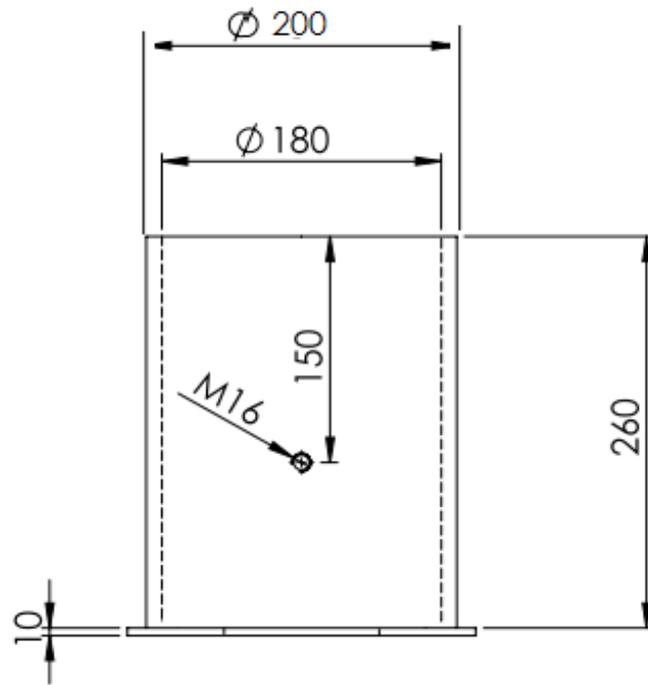
GUERGUEB

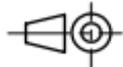
PROMOTION

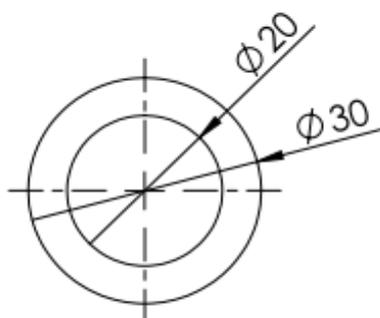
2015/2016



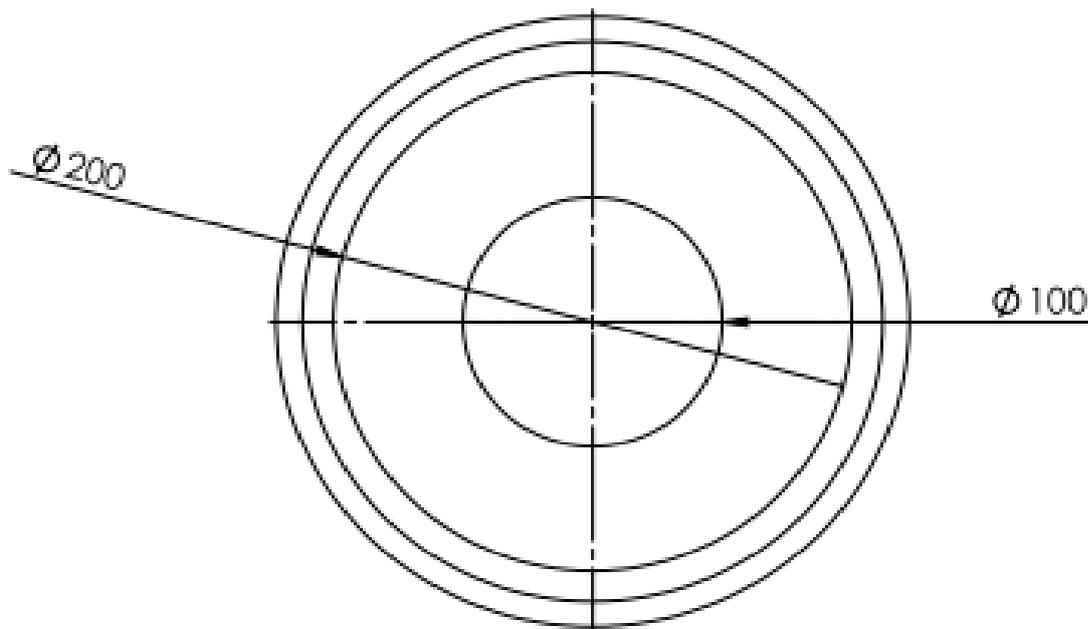
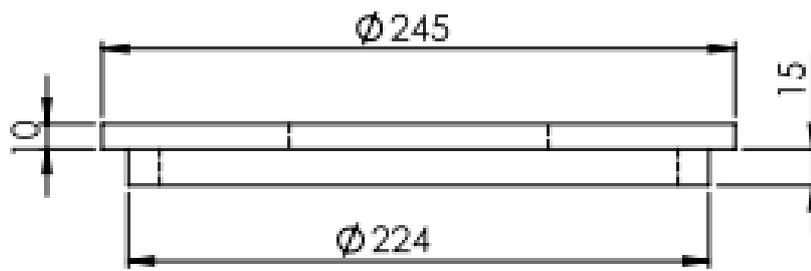
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			E.N.P G.MECANIQUE
ECHELLE: 1:2		ENTRETOISE	
ETUDIANT	F.SIDIKI		
PROMOTEUR	BELKACEMI		
PROMOTEUR	GUERGUEB		
PROMOTION	2015/2016		



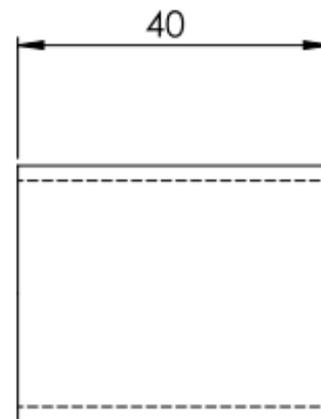
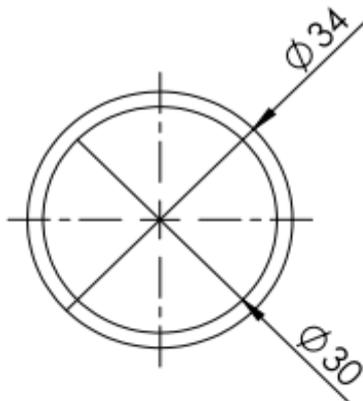
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			E.N.P G.MECANIQUE
ECHELLE:1:5		LOGEMENT	
ETUDIANT	F.SIDIKI		
PROMOTEUR	BELKACEMI		
PROMOTEUR	GUERGUEB		
PROMOTION	2015/2016		



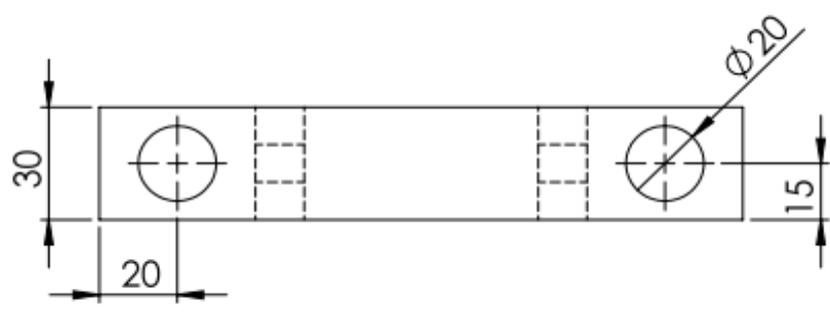
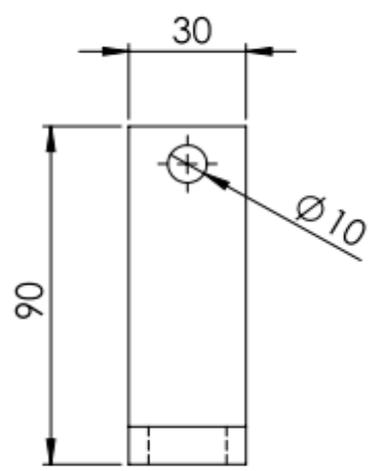
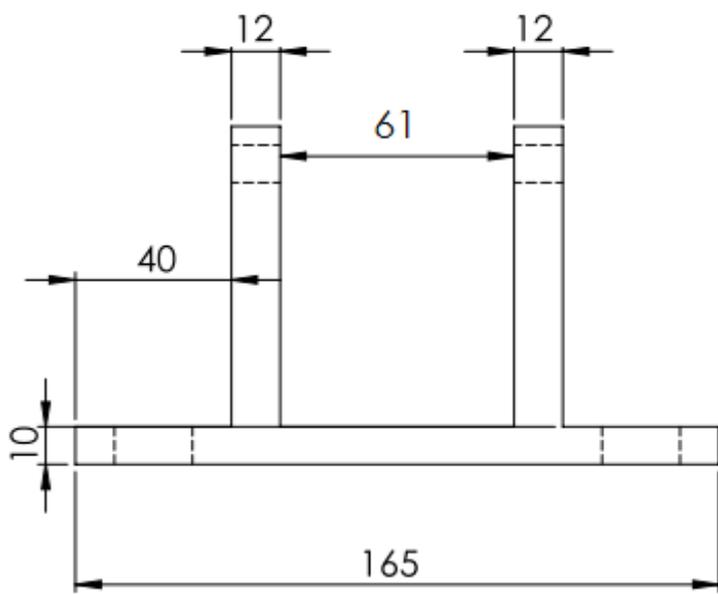
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			E.N.P G.MECANIQUE
ECHELLE: 1:1		CALE	
ETUDIANT	F.SIDIKI		
PROMOTEUR	BELKACEMI		
PROMOTEUR	GUERGUEB		
PROMOTION	2015/2016		

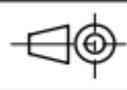


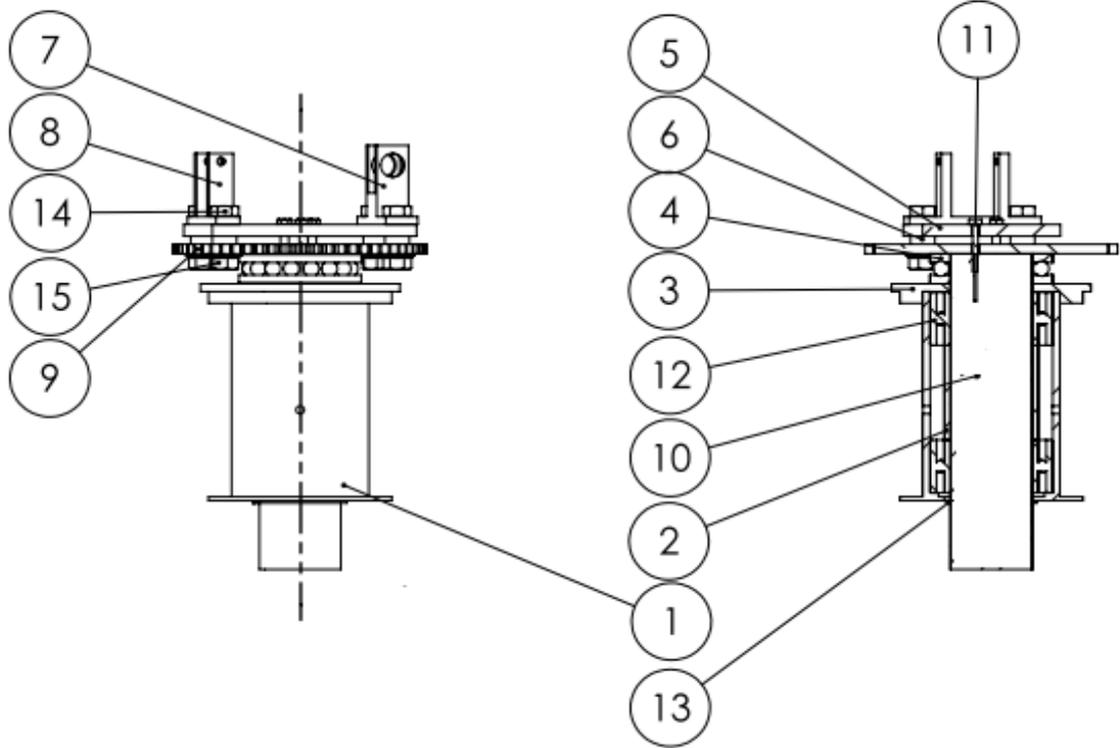
ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			E.N.P G.MECANIQUE
ECHELLE: 1:3		BUTEE	
ETUDIANT	F.SIDIKI		
PROMOTEUR	BELKACEMI		
PROMOTEUR	GUERGUEB		
PROMOTION	2015/2016		



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			E.N.P G.MECANIQUE
ECHELLE: 1:1		BAGUE EN BRANZE	
ETUDIANT	F.SIDIKI		
PROMOTEUR	BELKACEMI		
PROMOTEUR	GUERGUEB		
PROMOTION	2015/2016		



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE			E.N.P G.MECANIQUE
ECHELLE: 1:2		SUPPORT DE VERIN	
ETUDIANT	F.SIDIKI		
PROMOTEUR	BELKACEMI		
PROMOTEUR	GUERGUEB		
PROMOTION	2015/2016		



ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

ECHELLE: 1:10



BLOC CYLINDRIQUE

**E.N.P
G.MECANIQUE**

ETUDIANT

F.SIDIKI

PROMOTEUR

BELKACEMI

PROMOTEUR

GUERGUEB

PROMOTION

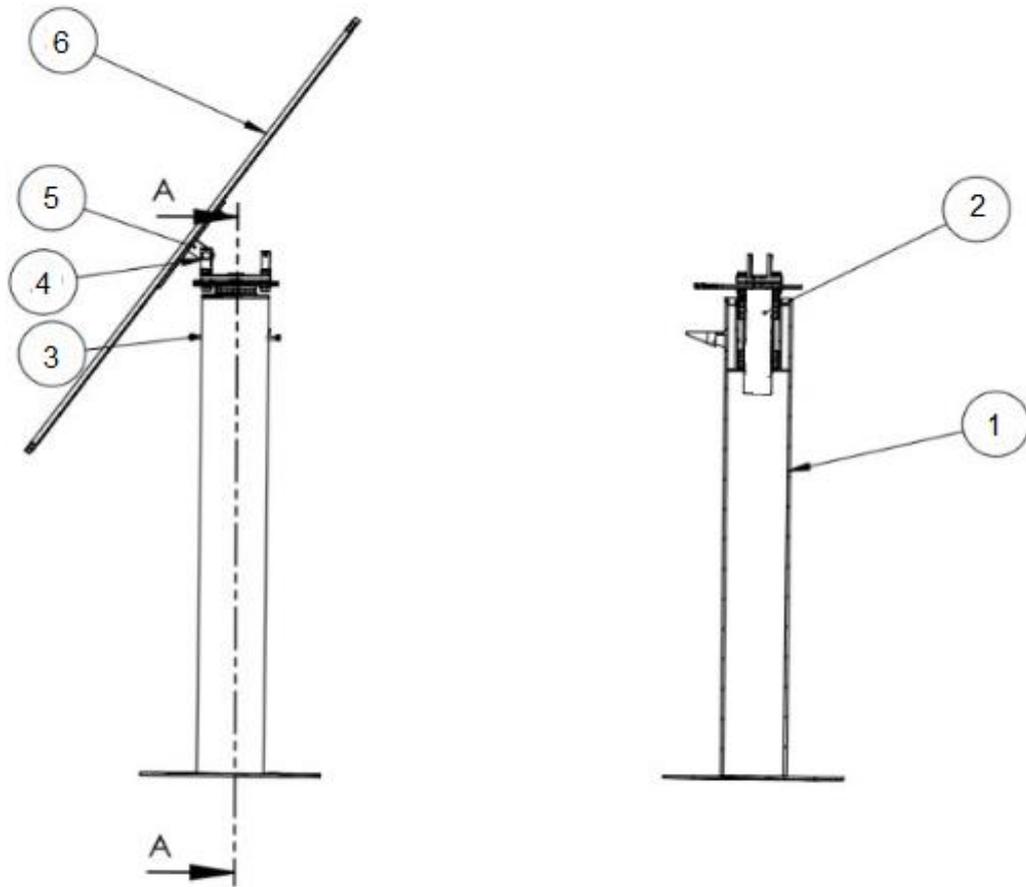
2015/2016

15	ECROU	ECROU H-M20-10-1.25	4
14	VIS	H-M20-60-1.25	4
13	CIRCLIPS		1
12	ROULEMENT	SKF BE 7220	2
11	VIS	H-M10-40-1.25	3
10	MANCHANT		1
9	LA ROUE		1
8	PORTE VERIN		1
7	PORTE CHASSE		1
6	CALE		4
5	TABLE		1
4	ROULEMENT	ISO 104-12100150-B	1
3	BUTEE		1
2	ENTROTOISE		1
1	ENVLOPPE		1
NBR.	DESIGNATION	DESCRIPTION	Qnt

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

**E.N.P
G.MECANIQUE**

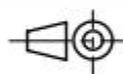
ECHELLE:		BLOC CYLINDRIQUE
ETUDIANT	F.SIDIKI	
PROMOTEUR	BELKACEMI	
PROMOTEUR	GUERGUEB	
PROMOTION	2015/2016	



6	CHASSE		1
5	PORTE CHASSE		1
4	AXE D'ARTICULATION		1
3	VIS	H-M16-50-1.25	2
2	BLOC CYLINDRIQUE		1
1	TUBE		1
Ref.	DESIGNATION	DESCRIPTION	Qnt

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

ECHELLE: 1:25



SUN TRACKER

**E.N.P
G.MECANIQUE**

ETUDIANT

F.SIDIKI

PROMOTEUR

BELKACEMI

PROMOTEUR

GUERGUEB

PROMOTION

2015/2016