

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



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Énergies renouvelables

Spécialité : Énergies renouvelables en mécanique

Thème

Etude de réalisation d'un moteur Stirling pour accoupler
avec concentrateur solaire parabolique

Devant le jury composé de :

Présenté par :

Dr. Ali Boukhari

Président

Abdelalli Belloul

Mr. Ahmed Boughazala

Examineur

Abdelkamel Bennaceur

Dr. Sofiane Megdoud

Encadreur

Mr. Housseyn Karoua

Co-Encadreur

2017-2018

Remerciements

Nos remerciements à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin jusqu'à la fin de ce travail.

Nous citons en particulier :

*Mes encadreurs: monsieur **Sofiane MEGDOUD** et monsieur **Housseyn KAROUA**, qui ont accepté de diriger notre travail, pour leurs précieux conseils et encouragements.*

Et tous les enseignantes et enseignants de la faculté de Sciences et Technologie ...

Aux membres de jury...

Nous sommes très reconnaissants à Ghamame Ali qui a contribué techniquement à la réalisation de moteurs Stirling, Nous vous remercions.

Dédicace

A nos mères, A nos pères...

Table des matières

REMERCIEMENTS.....	I
DEDICACE.....	II
TABLE DES MATIERES	III
NOMENCLATURES.....	VI
LISTE DES FIGURES.....	VII
INTRODUCTION GENERALE	1
I. RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE.....	4
I.1. INTRODUCTION	4
I.2. TYPES DES COLLECTEURS A CONCENTRATIONS	6
I.2.1. Les centrales solaires à tour (Les héliostats).....	7
I.2.2. Les concentrateurs solaires cylindro-paraboliques (PTCs).....	7
I.2.3. Les concentrateurs linéaires de Fresnel (Linear Fresnel Reflector LFR)	9
I.2.4. Les centrales à miroirs paraboloides (Dish-Stirling)	12
a). Introduction	12
b). Etat de l'art du système de Parabole/Stirling	13
I.3. CONCLUSION	20
II. LE MOTEUR STIRLING	22
II.1. INTRODUCTION	22
II.2. HISTORIQUE DES MOTEURS STIRLING	22
II.3. PRINCIPE DE BASE	23
II.3.1. Etape 1 : la phase du chauffage isochore.....	24
II.3.2. Etape 2 : la phase de la détente isotherme	24
II.3.3. Etape 3 : la phase du refroidissement isochore.....	24
II.3.4. Etape 4 : la phase de la compression isotherme	25
II.4. LES DIFFERENTS TYPES DU MOTEUR STIRLING	26
II.4.1. Le moteur alpha	27
II.4.2. Le moteur bêta	27
II.4.3. Le moteur gamma	28

II.5. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU MOTEUR STIRLING.....	28
II.5.1. Les avantages.....	28
II.5.2. Les inconvénients	29
II.6. CONCLUSION	29
III. ANALYSE THERMIQUE ET CONCEPTION DU MOTEUR STIRLING	31
III.1. MISE AU POINT DU MIROIR PARABOLOÏDE	31
III.1.1. Description géométrique	32
III.2. ANALYSE THERMIQUE	33
III.2.1. Introduction	33
III.2.2. Paramètres optiques.....	34
III.2.3. Paramètres thermique	35
III.2.4. Description du SOLTRACE.....	35
III.2.5. Les résultats de la simulation thermique	35
III.3. CONCEPTION DU MOTEUR STIRLING	39
III.3.1. Conception des éléments du moteur Stirling.....	40
a) Les procédés d'usinage	40
b) Réalisation des éléments du moteur Stirling	43
III.3.2. Montage du moteur Stirling	47
a) Mise au point.....	47
b) L'ajustement mécanique	48
c) Assemblage du moteur Stirling gamma	48
III.3.3. Les étapes de la réalisation du moteur Stirling	50
a) Phase de préparation.....	50
b) Phase de planification.....	51
c) Phase de mise en œuvre	51
III.3.4. Problèmes rencontrés pendant la mise en œuvre	52
III.3.5. Mise en place du moteur Stirling sur la parabole.....	53
III.3.6. Essai du moteur	55
III.4. CONCLUSION	55
IV. SIMULATION PAR L'UTILISATION DE GREENIUS.....	57
IV.1. INTRODUCTION	57
IV.2. PRESENTATION DE LOGICIEL	57

IV.3. ETUDE DE PERFORMANCES	59
IV.4. ANALYSE DES DONNEES DE SIMULATION	61
IV.4.1. Emplacement du projet	61
IV.4.2. Données météorologiques	61
IV.4.3. Choix de la technologie.....	63
IV.4.4. Les paramètres météorologiques :.....	64
IV.4.5. Paramètres d'entrée concentrateur.....	64
IV.5. RESULTATS ET DISCUSSIONS	65
IV.6. CONCLUSION.....	66
CONCLUSION GENERALE	68
REFERENCES	71
ANNEXES.....	79
A. DESSIN TECHNIQUE DES COMPOSANTS DU MOTEUR STIRLING.....	79
B. LES MACHINES ET LES PROCEDES D'USINAGE.....	93

Nomenclature

θ_z	L'angle zénithal	(°)
C_{cooler}	La constante de refroidissement	(°C.m ² /W)
ϑ_{amb}	La température ambiante réelle	(°C)
$\vartheta_{\text{norm.amb}}$	La température normalisée pour le modèle de performance	(°C)
$\vartheta_{\text{up.stirling}}$	La température supérieure de Stirling	(°C)
A_x	La surface de la parabole	(m ²)
E_{cor}	Le rayonnement corrigé	(W/m ²)
$E_{\text{DNI}}, \text{DNI}$	Le rayonnement solaire direct	(W/m ²)
$E_{\text{DNI}, \text{min}}$	Le rayonnement solaire direct pour le démarrage du générateur	(W/m ²)
F	La distance focale	(m)
H	La taille de parabole	(m)
η	Rendement	[%]

Liste des figures

FIGURE I. 1 : LES TECHNIQUES DE LA CONVERSION DE L'ENERGIE SOLAIRE EN CHALEUR ET EN ENERGIE ELECTRIQUE.....	4
FIGURE I. 2 : LES COMPOSANTS D'UNE CENTRALE SOLAIRE A TOUR POUR LA PRODUCTION D'ELECTRICITE.	7
FIGURE I. 3 : SCHEMA D'UN COLLECTEUR SOLAIRE CYLINDRO- PARABOLIQUE (PTC) [3, 19]....	8
FIGURE I. 4 : SCHEMA DE PRINCIPE D'UNE CENTRALE A CONCENTRATEUR CYLINDRO-PARABOLIQUES.	8
FIGURE I. 5 : SCHEMA DE PRINCIPE ET VUE DE CENTRALES SOLAIRES A MIROIR DE FRESNEL...	10
FIGURE I. 6 : PREMIER PROTOTYPE LFR DE FRANCIA : A) DESSIN DU BREVET LFR, BREVET N° 18634. B) BATIMENT LFR EN ITALIE, C) TESTS LFR EN FRANCE.	11
FIGURE I. 7 : LES DESSINS DE FRANCIA DE LA GRANDE CENTRALE SOLAIRE LFR ENVISAGEE INTEGREE DANS UN CONTEXTE URBAIN D'ENVIRON 1965.....	11
FIGURE I. 8 : SCHEMA REPRESENTANT UN SYSTEME SOLAIRE A CONCENTRATION DE TYPE DISH-STIRLING.....	12
FIGURE I. 9 : A MIROIR PARABOLOÏDE DEVELOPPE PAR L'UNIVERSITE NATIONALE AUSTRALIENNE	12
FIGURE I. 10 : LE SYSTEME SOLAIRE VANGUARD PAR ADVANCO CORPORATION AVEC UNE PUISSANCE DE 25 kWe.....	14
FIGURE I. 11 : LES DEUX SYSTEMES SOLAIRES DE TYPE PARABOLE/STIRLING AVEC UNE PUISSANCE DE 50 kWe INSTALLES EN 1984 A RIYADH.....	15
FIGURE I. 12 : LE SYSTEME SOLAIRE DISTAL I AVEC UNE PUISSANCE DE 9 kWe PAR SBP INSTALLE A PFORZEIM EN ALLEMAGNE.	15
FIGURE I. 13 : LE SYSTEME SOLAIRE DE TYPE PARABOLE/STIRLING PAR CPG AVEC UNE PUISSANCE DE 7,5 kWe.....	16
FIGURE I. 14 : CENTRALE SOLAIRE EXPERIMENTALE DE 6 CONCENTRATEURS SOLAIRES DE TYPE PARABOLE/STIRLING SES A ALBUQUERQUE.	17
FIGURE I. 15 : SYSTEME PARABOLE/STIRLING DE 3,2 kWe DE LA CENTRALE D'INFINIA CORP.	18
FIGURE I. 16 : SCHEMA GLOBAL DU SYSTEME D'ALIMENTATION SDS / PMSG ASSOCIE A LA BATTERIE DE STOCKAGE.....	19
FIGURE I. 17 : COMPOSANTS DU SYSTEME SOLAIRE PARABOLE/STIRLING [84].	19

FIGURE I. 18 : BILAN ENERGETIQUE DU SYSTEME PARABOLE/STIRLING.....	20
FIGURE II. 1 : ROBERT STIRLING	22
FIGURE II. 2 : PHASE DE CHAUFFAGE.....	24
FIGURE II. 3 : PHASE DE DETENTE.....	24
FIGURE II. 4 : PHASE DE REFROIDISSEMENT.....	25
FIGURE II. 5 : PHASE DE COMPRESSION.....	25
FIGURE II. 6 : DIAGRAMME INDICATEUR D'UN MOTEUR STIRLING THEORIQUE.	26
FIGURE II. 7 : COUPE D'UN MOTEUR STIRLING DE TYPE ALPHA.	27
FIGURE II. 8 : COUPE D'UN MOTEUR STIRLING DE TYPE BETA.	27
FIGURE II. 9 : COUPE D'UN MOTEUR STIRLING DE TYPE GAMMA	28
FIGURE III. 1: SCHEMA DESCRIPTIF D'UNE PARABOLE.	32
FIGURE III. 2: SCHEMA DESCRIPTIF D'UN PARABOLOÏDE.	33
FIGURE III. 3: LA FOCALISATION DES RAYONS REFLECHIS . (PAR SOLTRACE).....	36
FIGURE III. 4: LE CONTOUR DU FLUX THERMIQUE AU FOYER AVEC DNI=1079 W/m² (PAR SOLTRACE).....	36
FIGURE III. 5: LA DISTRIBUTION DU FLUX THERMIQUE AU FOYER AVEC DNI=1079 W/m² (PAR SOLTRACE).....	37
FIGURE III. 6: L'EVALUATION DU DNI EN FONCTION DE TEMPS POUR LA JOURNEE DE 16/03/2018 (PAR SOLTRACE).....	38
FIGURE III. 7: L'EVALUATION DU FLUX THERMIQUE AU FOYER EN FONCTION DU DNI (PAR SOLTRACE).....	38
FIGURE III. 8: LA TEMPERATURE MAXIMALE AU FOYER EN FONCTION DE DNI (PAR SOLTRACE).....	39
FIGURE III. 9: PRINCIPE DE L'OPERATION TOURNAGE.	40
FIGURE III. 10: USINAGE EXTERNE SUR TOUR.....	41
FIGURE III. 11: USINAGE INTERNE SUR TOUR.	42
FIGURE III. 12: PRINCIPE DE L'OPERATION FRAISAGE.....	43
FIGURE III. 13: PHOTO DU LINGOT D'ALUMINIUM.	44
FIGURE III. 14: PHOTO DE LA FABRICATION DU RADIATEUR.	44
FIGURE III. 15: PHOTO DU RADIATEUR DU MOTEUR STIRLING GAMMA.	44

FIGURE III. 16: PHOTO DU PISTON MOTEUR AU TOUR.	45
FIGURE III. 17: PHOTO DU PISTON MOTEUR.	45
FIGURE III. 18: PHOTO DE LA ROUE MOTRICE.	45
FIGURE III. 19: PHOTO DU CYLINDRE DU PISTON.	46
FIGURE III. 20: PHOTO DU PISTON MOBILE.	46
FIGURE III. 21: LES BIELLE MOTRICE DU PISTON MOTEUR.	47
FIGURE III. 22: L'AJUSTEMENT MECANIQUE.....	48
FIGURE III. 23: VUE GENERALE DU MOTEUR STIRLING.....	49
FIGURE III. 24: LE MOTEUR DE STIRLING APRES L'ASSEMBLAGE.....	52
FIGURE III. 25: IMAGE DU MOTEUR STIRLING CONNECTE AU CONCENTRATEUR A MIROIR PARABOLOÏDE.	54
FIGURE IV. 1 : FENETRE D'OUVERTURE DE GREENIUS.	58
FIGURE IV. 2 : LE PROCESSUS DE FONCTIONNEMENT DU LOGICIEL DE GREENIUS.....	58
FIGURE IV. 3 : CHOIX DE SITE D'INSTALLATION DE CENTRALE.....	62
FIGURE IV. 4 : FENETRE DE CHOIX DE SITE ET L'OBTENTION DE FICHIER DATA METEO.	62
FIGURE IV. 5 : FENETRE DU CHOIX DE LA TECHNOLOGIE.	63
FIGURE IV. 6 : FENETRE DE MANIPULATION SUR GREENIUS.	64
FIGURE IV. 7 : FENETRE PRINCIPALE DE NOTRE TECHNOLOGIE	64
FIGURE IV. 8 : FENETRE DE RESULTAT CLE APRES SIMULATION PAR GREENIUS.	65
FIGURE IV.9 : EVOLUTION MENSUELLE DE L'ELECTRICITE PRODUITE AU NIVEAU DE DISH (E_GROSS) ET INJECTE DANS LE RESEAU (E_GRID) A ELOUED.	65

Introduction Générale

Introduction générale

Le développement économique moderne tel que nous le connaissons aujourd'hui, issu du processus d'industrialisation des deux derniers siècles, se nourrit avant tout de ressources minérales non renouvelables extraites de la croûte terrestre. C'est ce qu'on appelle les combustibles fossiles tels le pétrole, le gaz naturel et le charbon. En plus d'être épuisables et non renouvelables, ils sont polluants et la preuve c'est le réchauffement climatique ce danger qui menace notre planète toute entière. Ce qui a conduit l'homme à perfectionner l'utilisation d'autres énergies qui ne s'épuisent jamais et en plus elles sont propres telle l'énergie du vent et surtout l'énergie solaire, c'est l'une des ressources les plus énergétiques disponibles et les plus faciles à exploiter.

En effet, le rapport du club de Rome de 1972, intitulé « les limites de la croissance » et la première crise pétrolière ont attiré l'attention du monde entier sur ces problèmes et sur les solutions qui auraient pu être apportées [1]. D'autre part Les besoins énergétiques sont habituellement basés sur la consommation inorganisée des ressources énergétiques fossiles qui tendent à se raréfier. Avec la croissance de la demande en énergie. [2]. Ces événements ont conduit au développement de technologies d'énergie renouvelable.

La recherche des nouvelles sources d'énergie efficaces et inépuisables est une obligation, et l'utilisation de l'énergie solaire représente une solution intelligente au service de l'environnement, son domaine d'application est nombreux et varié, à savoir : Le solaire photovoltaïque, Et le solaire thermique ;

La Conversion de l'énergie mécanique en énergie thermique peut se faire avec deux types de moteurs :

- Les moteurs à combustion interne : tels que les moteurs à gaz, moteurs à diesel, et moteurs à essence. Ces moteurs sont actuellement les plus utilisés.
- Les moteurs à combustion externe ou moteurs à énergie externe sont aussi connus sous le nom de « moteurs à air chaud » ou de moteurs Stirling, ces moteurs sont très appropriés pour le développement de l'énergie solaire, et d'autres sources d'énergie renouvelables.

Actuellement, les efforts de recherche et développement sont concentrés sur les systèmes de concentrateurs paraboliques à moteur Stirling, ce qui constitue la principale motivation pour le travail présenté dans cette thèse.

Le but de notre étude est :

- Appliqué l'un des formes de l'énergie renouvelable par technologie de transformation de l'énergie thermique en énergie mécanique, présenté par model Dish-Stirling.
- Exécution d'accouplement Dish-Stirling

Ce mémoire de fin d'étude est conçu comme suit :

Une introduction générale

- Le premier chapitre a été consacré aux centrales solaires à concentration.
- Le deuxième chapitre a été consacré à la présentation du moteur Stirling.
- Le troisième chapitre a été consacré à l'analyse thermique du système solaire de type parabole/Stirling et l'explication des étapes de réalisation du prototype de moteur Stirling.
- Le quatrième chapitre a été consacré la simulation par Greenius.
- Nous terminons notre étude par une conclusion et perspectives.

Chapitre I : Recherche bibliographique

I. Recherche bibliographique

I.1. Introduction

L'énergie solaire est la partie de l'énergie du rayonnement solaire qui apporte l'énergie thermique et la lumière parvenant sur la surface de la Terre après son passage par l'atmosphère terrestre. Le flux solaire émis par le disque solaire est de l'ordre de 1367 W/m^2 hors atmosphère [3-7]. En plus, il y a trois types de rayonnement solaire, ils sont le rayonnement direct, diffus et global. Le rayonnement direct (DNI) provenant en ligne droite du seul disque solaire, le rayonnement diffus provenant de toute la voûte céleste hors disque solaire et le rayonnement global qui est la somme des deux composants [3-18]. Cette énergie solaire peut être exploitée de plusieurs façons en utilisant des techniques précises appelées photomètres solaires, qui varient selon le principe de son travail. Ces techniques sont bien illustrées à la Figure I. 1.

Il existe de nombreuses procédés permettant de produire de la chaleur et/ou de l'électricité en utilisant directement l'énergie solaire [2-7, 9, 10, 12-29]. En ce qui concerne la conversion de l'énergie solaire en énergie électrique, il existe deux techniques pour cela [2-7, 9, 10, 12-29].

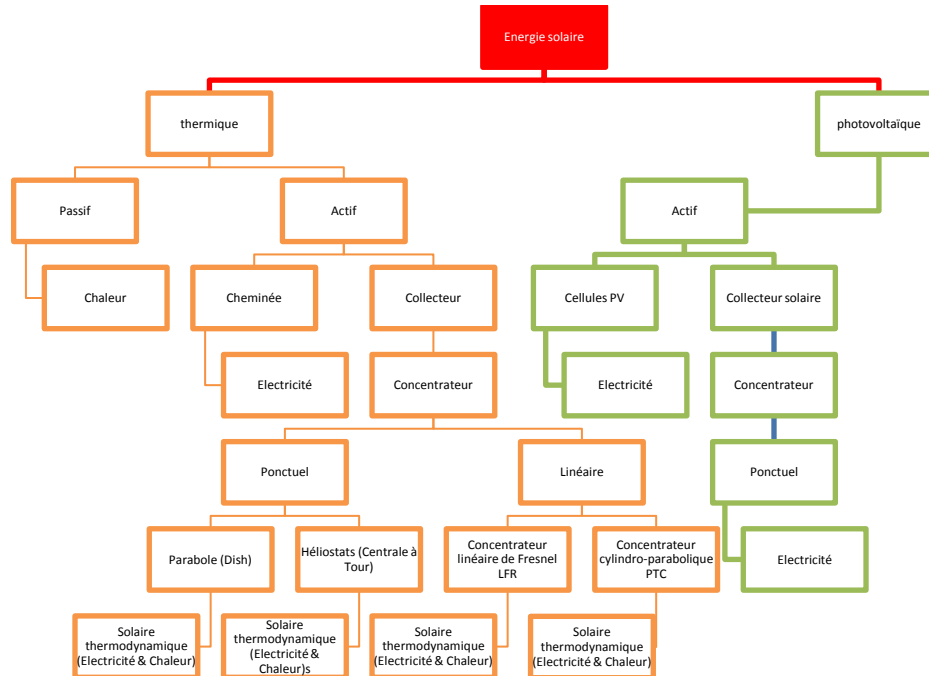


Figure I. 1 : Les techniques de la conversion de l'énergie solaire en chaleur et en énergie électrique.

A travers la Figure I. 1, on note que la conversion de l'énergie solaire en énergie thermique consiste à transformer le rayonnement solaire (global, direct et diffus) en chaleur, et à la récupérer principalement par chauffage d'un fluide caloporteur (eau, huile, ...etc.) [2-7, 9, 10, 12-29]. Si la température du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur est assez moyenne ou basse, son utilisation se fait principalement pour produire l'eau chaude sanitaire, mais elle peut être utilisée comme complément pour le chauffage de l'habitat, quand la température du fluide caloporteur à la sortie du tube absorbeur est assez élevée, on peut alors actionner un cycle thermodynamique pour produire de l'électricité, ou soi-disant les centrales solaires thermodynamiques à concentration [2, 3, 6, 7, 9, 10, 12-38].

En ce qui concerne la conversion de l'énergie solaire en électricité ou en chaleur par voie photovoltaïque, les photons solaires transmettent son énergie aux électrons contenus dans un semi-conducteur qui constitue une cellule photovoltaïque, capable de convertir le rayonnement solaire en électricité. Les électrons sont alors mis en mouvement, donnant naissance à un courant électrique. Les dispositifs photovoltaïques les plus courants sont les panneaux photovoltaïques [2, 26, 29].

Les sites les plus prometteurs pour l'implantation des centrales solaires thermodynamiques à concentration sont très nombreuses, ils se situent particulièrement en Afrique du Nord, dans les pays méditerranéens, au Proche et Moyen Orient, en Australie, dans le Sud-ouest des Etats-Unis, en Inde ou encore en Asie centrale.

L'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants du monde. La durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire national dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures au niveau des hauts plateaux et du Sahara [3, 4, 6, 7]. L'énergie reçue quotidiennement sur une surface horizontale de 1 m² est de l'ordre de 5 kWh sur la majeure partie du territoire national, soit près de 1700 kWh/m²/an au Nord et 2263 kWh/m²/an au sud [3, 4, 6, 7]. Selon le Ministère Algérien de l'Energie, l'Algérie a un potentiel en énergie solaire thermique représente 60 fois des besoins énergétiques de l'Europe de l'Ouest [3, 4, 6, 7]. D'après New Energy Algeria (NEAL), ce même potentiel représente quatre fois la consommation énergétique mondiale [3, 4, 6, 7]. New Energy Algeria (NEA est une compagnie fondée par le gouvernement Algérien en 2002, pour développer les énergies renouvelables.

Donc, Il est important d'exploiter ce gisement, gratuit et non polluant, dans le domaine de la production de l'énergie électrique, notamment dans les régions rurales isolées. Dans ces zones rurales isolées, où l'accès aux réseaux électrique est difficile et coûteux, et dans le but d'améliorer les conditions de vie des personnes, des solutions écologiques font l'objet de beaucoup de travaux et de recherches [2-7, 9, 10, 12-53].

Dans cette étude, nous tenterons de mener une étude scientifique détaillée sur la possibilité d'exploiter de l'énergie solaire dans la production d'électricité à base de concentrateurs solaires linéaires de type Fresnel (LFR) dans la région d'El-Oued, Algérie.

I.2. Types des collecteurs à concentrations

Les centrales solaires thermodynamiques à concentration recouvrent l'ensemble des technologies qui visent à transformer le rayonnement solaire direct en chaleur à température très élevée selon le type de collecteur solaire utilisé, puis à convertir cette chaleur en énergie électrique [6, 8, 9, 11-13, 16, 17, 26, 29, 54-58], où les concentrateurs solaires fournissent une quantité de chaleur considérable [3-5, 7, 9, 10, 12-18, 20, 33, 40]. Les concentrateurs solaires sont divisés en deux catégories : la 1^{ère} est les concentrateurs ponctuels (les systèmes de concentration solaire par foyer) et la 2^{ème} est les concentrateurs linéaires [3, 20]. Les concentrateurs solaires ponctuels sont les centrales solaire à tour « SPT » (les héliostats) et les centrales à miroirs paraboloides (Dish-Stirling), quant à les concentrateurs solaires linéaires sont les concentrateurs solaires cylindro-paraboliques (PTC) et les concentrateurs solaires linéaires de Fresnel (LFR) [3, 14, 20]. Nous rappelons que ces types de technologie sont appelés des systèmes solaires à concentration thermodynamique (solaire thermodynamique) [3, 14].

Les systèmes solaires à concentration thermodynamique solaires dépendent de l'utilisation de grand nombre de miroirs réfléchissants qui orientent les rayons solaires directs vers un tube absorbeur ou vers un foyer ponctuel à travers lequel le fluide de travail passe. Ensuite, la chaleur est transférée du tube absorbeur ou du foyer au fluide caloporteur par convection [3]. Pour obtenir cela, les miroirs réfléchissants doivent suivre le mouvement du soleil quotidiennement du lever au coucher pour sa capture et sa concentration dans le focus (linéaire ou ponctuel), est alors un échange de chaleur par convection se produit entre la paroi intérieure du foyer et le fluide qui se déplace à l'intérieur.

I.2.1. Les centrales solaires à tour (Les héliostats)

Les centrales solaires à tour (Solar power tower SPT) sont composées de milliers de miroirs réfléchissants équipés d'un système de suivi du soleil en deux axes de rotation pour concentrer les rayons du soleil direct sur un récepteur central placé au sommet d'une tour au moyen d'un champ d'héliostats (miroirs géants) [3].

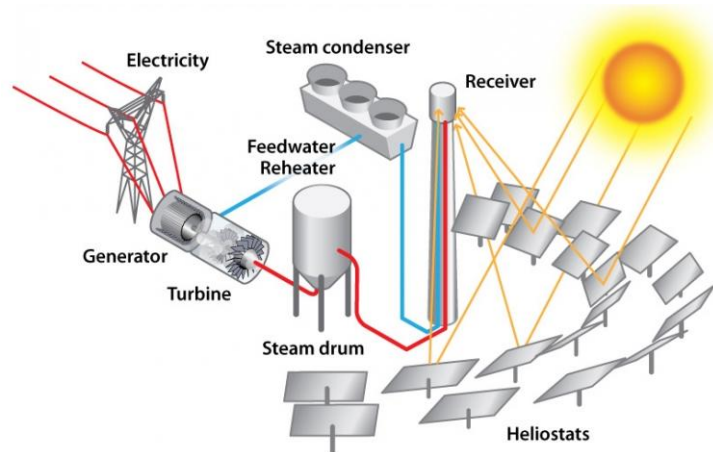


Figure I. 2 : Les composants d'une centrale solaire à tour pour la production d'électricité [59].

Ces centrales solaires sont connues pour être l'un des plus prometteuses technologies pour la production d'électricité solaire dans la gamme de moyenne puissance [60, 61]. Ces systèmes ont déjà prouvé leur capacité à générer de l'électricité propre d'une taille de 20 MWe en Espagne, tandis qu'une usine de SPT de 100 MWe est en construction aux États-Unis [61].

I.2.2. Les concentrateurs solaires cylindro-paraboliques (PTCs)

Il y a deux types de concentrateurs solaires linéaires, le premier type est les concentrateurs cylindro-parabolique, où leurs rendement thermique a dépassé 60% mais c'est est une technologie extrêmement coûteuse [12, 13, 16, 22, 23, 26, 30, 62, 63]. Le deuxième type est le concentrateur linéaire de Fresnel [8, 9, 57, 58, 64-70].

Les concentrateurs cylindro-paraboliques (Parabolic Trough Concentrator PTC) comprennent généralement un réflecteur parabolique et un récepteur à travers lequel circule un fluide caloporteur. Le rayonnement solaire direct atteignant le PTC est réfléchi et focalisé sur la surface extérieure d'un tube absorbeur où l'énergie rayonnante est convertie en énergie thermique. Cette énergie thermique est ensuite amenée à la surface interne du tube absorbeur

et transférée au fluide caloporteur par convection forcée. Ceci est considéré comme un problème de transfert de chaleur couplé avec des conditions géométriques complexes [2, 4, 6, 7, 10, 12, 13, 15-18, 26].

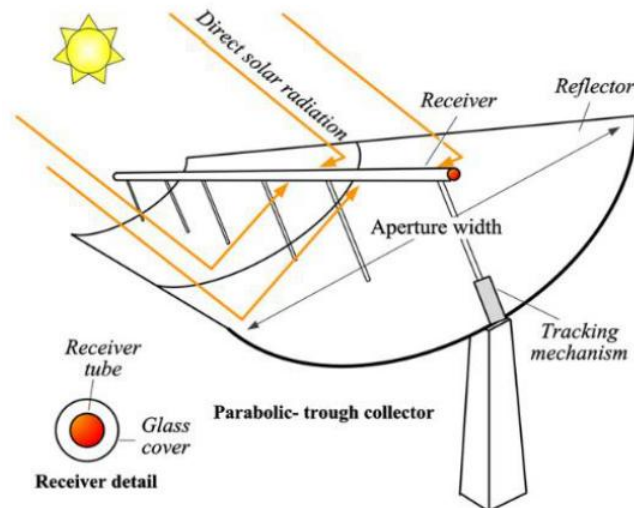


Figure I. 3 : Schéma d'un collecteur solaire cylindro- parabolique (PTC) [3, 19].

Le paramètre qui détermine la performance thermique de tout capteur solaire est l'efficacité thermique globale [2-7, 9, 10, 12-19, 22, 23, 25-28, 30-38, 40, 42, 43, 45, 48, 50-52, 71]. Ce paramètre représente le rapport entre la chaleur utile « q_{utile} , (W) » transmise au fluide caloporteur (liquide ou gaz) et la puissance « Q_s , (W) » de rayonnement solaire direct « DNI, (W/m²) » qui atteint la surface utile du collecteur (PTC). L'énergie calorifique de la chaleur utile peut être utilisée ultérieurement pour le chauffage (air, eau) ou aussi dans plusieurs procédés industriels (production d'électricité, climatisation solaire, agriculture, ...etc.).

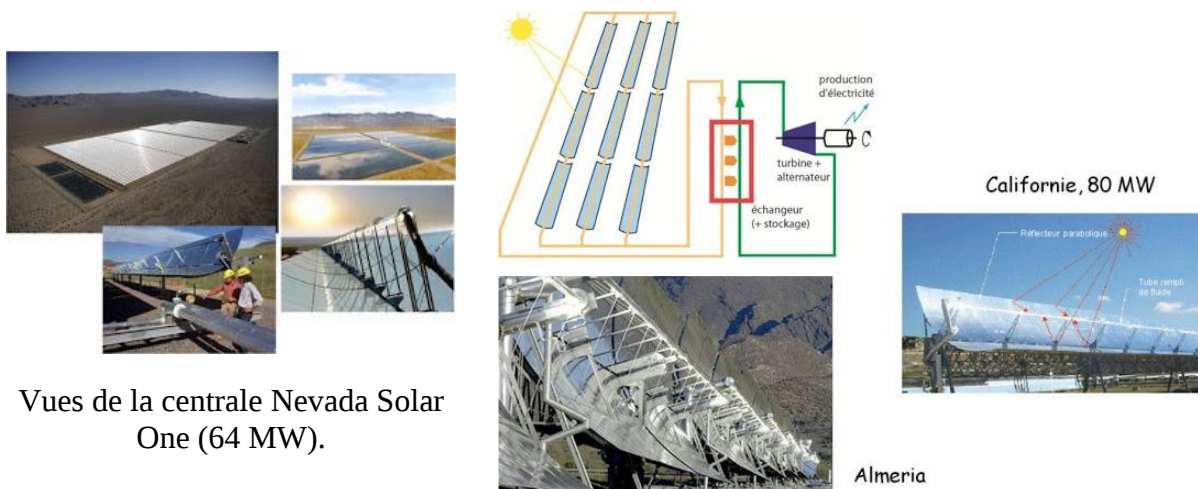


Figure I. 4 : Schéma de principe d'une centrale à concentrateur cylindro-paraboliques [72].

Les centrales solaires mondiales à concentration disposaient d'une puissance totale installée de 4815 MW en 2016, contre 354 MW en 2005. En 2017, l'Espagne représentait près de la moitié de la capacité mondiale, avec une puissance de 2300 MW, faisant de ce pays le leader mondial dans les domaines d'exploitation des centrales solaires thermodynamiques à concentration. Les États-Unis suivent avec une puissance de 1740 MW. L'intérêt est également notable en Afrique du Nord et au Moyen-Orient, ainsi qu'en Inde et en Chine. Le marché mondial a été dominé par les usines paraboliques, qui représentaient 90% des usines des concentrations solaires thermodynamique à un moment donné. Les plus grands projets des concentrateurs solaires thermodynamiques au monde sont l'installation d'énergie solaire de « IVANPAH » avec une puissance de 392 MW aux États-Unis qui utilise la technologie des tours d'énergie solaire, le projet « MOJAVE SOLAR » avec une puissance de 354 MW aux États-Unis utilisant des concentrateurs cylindro-paraboliques [3, 73].

Afin de travailler sur la mise en place de stations solaires dépendant des concentrateurs solaires cylindro-paraboliques, M. Ghodbane et al., ont effectué des études optiques et thermiques sur les collecteurs solaires cylindro-paraboliques dans les régions algériennes avec différents climats, pour évaluer la possibilité de lancement d'investissements dans les énergies renouvelables (énergie solaire) en Algérie [3, 7, 10, 12-18]. Les résultats obtenus par l'équipe de recherche sont très encourageants à investir dans les domaines de l'énergie solaire de toutes sortes en Algérie.

I.2.3. Les concentrateurs linéaires de Fresnel (Linear Fresnel Reflector LFR)

On sait que le coût d'exploitation des énergies renouvelables est très élevé à l'heure actuelle, donc les coûts de production et l'efficacité du produit doivent être convenus afin d'avoir un appareil efficace avec un prix acceptable. Pour les systèmes solaires thermodynamiques à concentration de type cylindro-paraboliques PTC, le coût de la conception du concentrateur solaire cylindro-parabolique est très élevé en raison, puisqu'elle repose sur la mise en forme du verre pour obtenir la forme parabolique du miroir réfléchissant [3, 7, 10, 12-18], donc l'utilisation de miroirs réflecteurs plats réduira considérablement le coût de fabrication des concentrateurs solaires linéaires. Pour cette raison, une grande partie de la recherche scientifique a été orientée vers le développement du système solaire linéaire de Fresnel (LFR), et de nombreux pays comme l'Espagne et l'Allemagne ont largement exploité cette technologie de prix acceptable et de faible efficacité [3, 8, 9].

Le principe de fonctionnement d'un concentrateur linéaire de Fresnel réside dans ses miroirs plans (plats), où chacun de ces miroirs peut pivoter en suivant la course du soleil pour rediriger et concentrer en permanence les rayons solaires directs vers un tube absorbeur. Un fluide caloporteur est chauffé en circulant dans ce tube horizontal [6, 9, 74]. Pour les centrales à moyenne puissance, l'énergie absorbée par le tube absorbant est transférée à un circuit d'eau, où la vapeur produite actionne une turbine qui produit de l'électricité. La plus grande centrale électrique de concentrateur linéaire de Fresnel jusqu'à présent, est l'usine de 30 MWe développée par NOVATEC SOLAR qui a été construite près de Murcia/Espagne [3, 8, 9, 75].

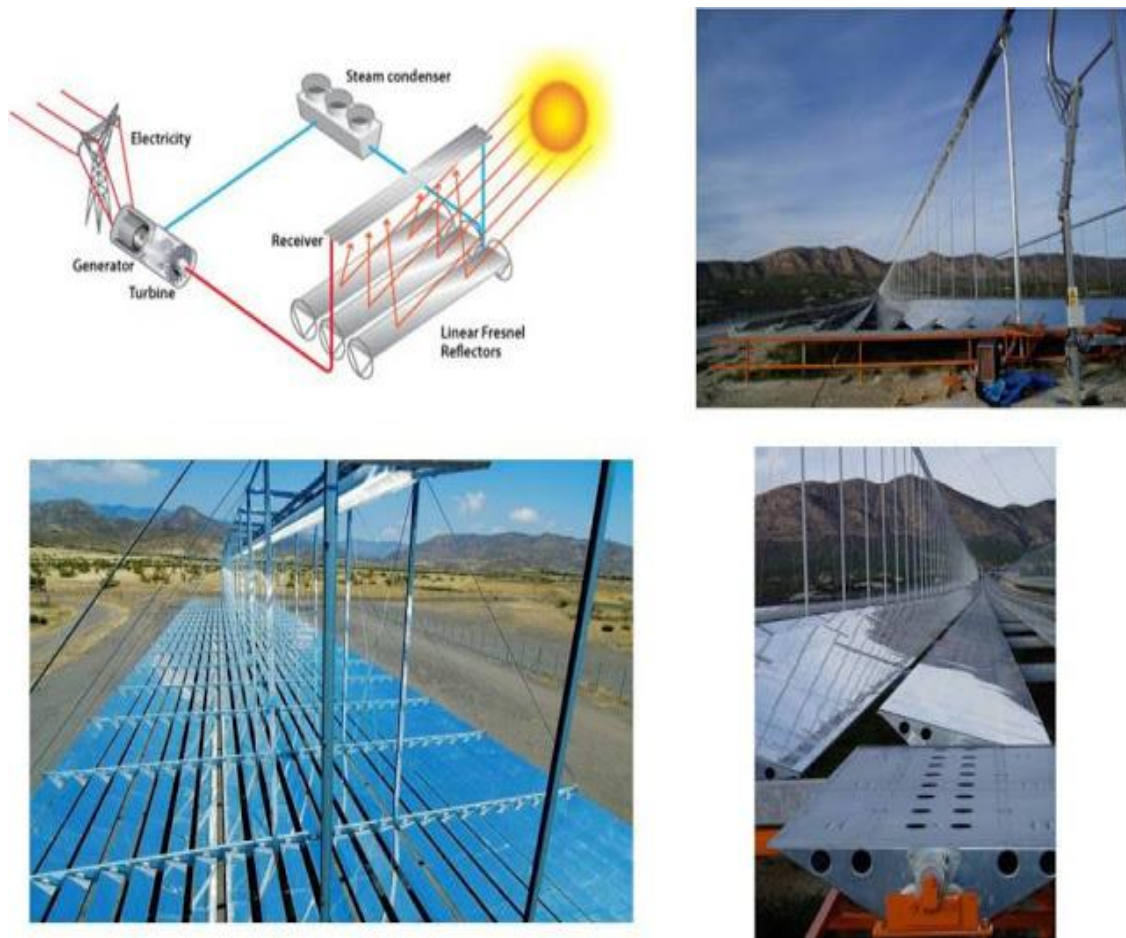


Figure I. 5 : Schéma de principe et vue de centrales solaires à miroir de Fresnel [76].

La technologie porte le nom du scientifique français Augustin-Jean Fresnel, qui a inventé l'objectif de Fresnel au XVIII^e siècle pour les phares [3, 29, 77-79]. Son idée était de broyer une lentille convexe conventionnelle sur une lentille à plusieurs sections pour obtenir une lentille moins chère et plus légère, qui permet d'envoyer les rayons lumineux correctement dans une direction donnée [3, 29, 77-79].

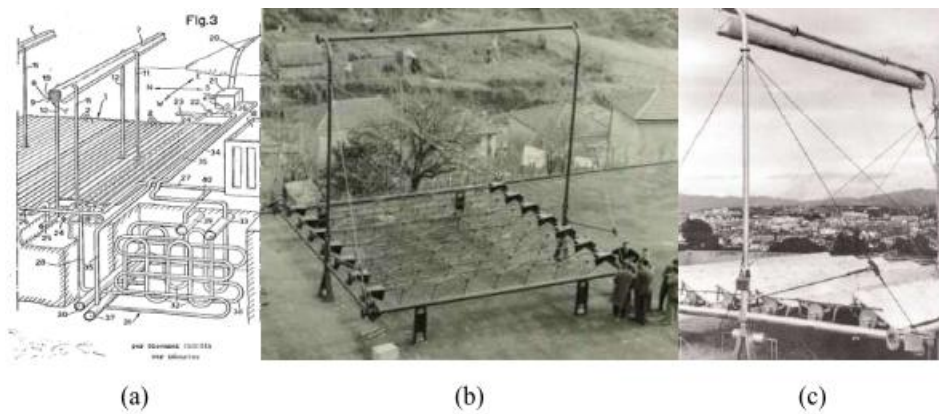


Figure I. 6 : *Premier prototype LFR de Francia : a) Dessin du brevet LFR, brevet N° 18634. b) Bâtiment LFR en Italie, c) Tests LFR en France [78, 79].*

L'idée principale du LFC a été inspirée de la lentille de Fresnel pour diviser un miroir parabolique en une série de miroirs réfléchissants pour concentrer les rayons collimatés sur un point focal ou une ligne, selon que les réflecteurs sont circulaires ou linéaires.

L'histoire du premier prototype LFR remonte à 1962 avant que Giovanni Francia ne dépose un brevet pour la technologie en 1963 en Italie. Le premier prototype LFR a été construit à Gênes et testé un an plus tard à la station solaire de Lacédémone-Marseille, France par Francia et ses collègues (Figure I. 6). Cependant, l'histoire de la première étude à grande échelle de LFC remonte à la fin des années 60 quand Francia et ses collègues ont travaillé sur le projet de la ville solaire - Hypothèse pour une structure urbaine (Figure I. 7). Ce projet visait à utiliser l'énergie solaire pour la production d'électricité ainsi que le refroidissement et le chauffage des locaux pour une zone urbaine d'environ 100000 habitants [78, 79].

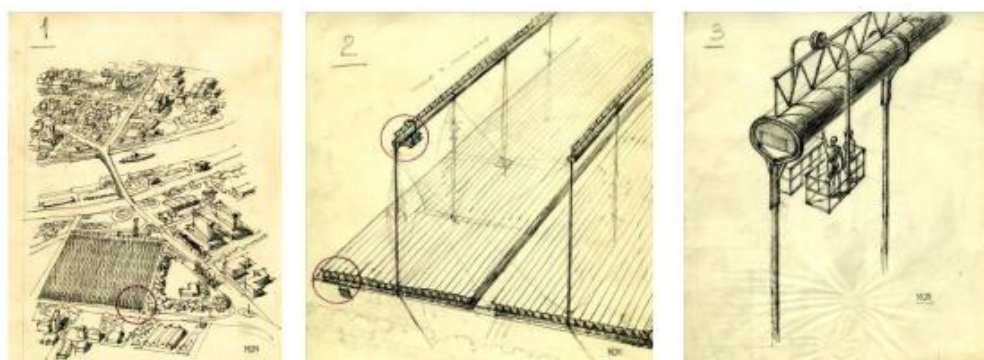


Figure I. 7 : *Les dessins de Francia de la grande centrale solaire LFR envisagée intégrée dans un contexte urbain d'environ 1965 [79].*

En bref, l'histoire de l'invention de cette technologie efficace, elle a été inventé par le physicien français Augustin Fresnel, la lentille de Fresnel a été conçue pour équiper le système optique des phares de signalisation marine [3, 8, 9]. Le système est aujourd'hui repris à grande échelle pour concentrer le rayonnement solaire direct sur un tube horizontal. Le but de l'invention était d'utiliser dans le système optique des phares de signalisation marine [3, 8, 9, 80], ces types du concentrateur linéaire ont été appliqués en premier pour la concentration solaire par Francia (1968), qui a développé les deux types des réflecteurs de Fresnel à un et à deux axes de poursuite [3, 6, 8, 9].

Généralement, les miroirs réfléchissants plats sont bien meilleur marché que les miroirs paraboliques, et les contraintes mécaniques imposées par la poussée du vent sont réduites grâce à la disposition plane des miroirs. En plus, le collecteur PTC a moins de prise au vent, puisque son infrastructure est moins importante qu'une centrale à concentrateur solaire cylindro-paraboliques. Le seul inconvénient de cette technologie est son efficacité modeste, où la performance thermique est d'environ 30% [8, 9].

I.2.4. Les centrales à miroirs paraboloides (Dish-Stirling)

a). Introduction

Les systèmes à miroirs paraboloides (Solar Parabolic Dishes « SPD » ou Dish-Stirling) sont de petites unités de conversion d'énergie solaire comparées à d'autres systèmes CSP (PTC, LFR et SPT). Les tailles de systèmes typiques de SPD sont généralement comprises entre 5 kW et 25 kWe.

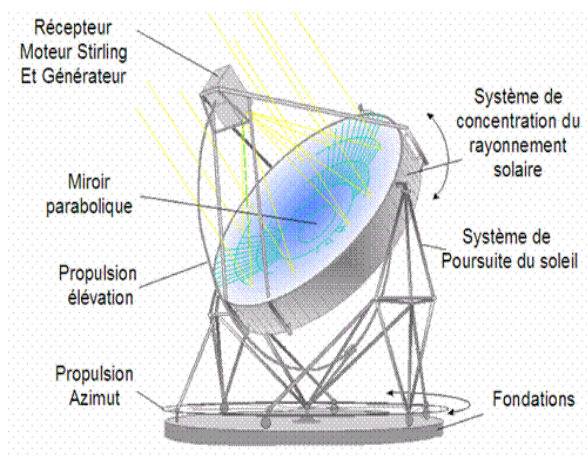


Figure I. 8 : un système solaire à concentration de type Dish-Stirling [81].



Figure I. 9 : à miroir parabolique développé par l'Université nationale australienne [73].

Cependant, il existe également des systèmes plus petits pour l'usage domestique. En général, les miroirs paraboloides sont équipés de moteurs Stirling en tant que moteurs thermiques. Cependant, des micro-turbines à gaz pourraient également être utilisées. En raison de la taille réduite des systèmes solaires miroirs paraboloides / moteurs, ils sont particulièrement adaptés aux applications décentralisées et hors réseau [3, 82].

b). Etat de l'art du système de Parabole/Stirling (Dish/Stirling)

L'énergie solaire peut être utilisée avec les technologies solaires renouvelables pour remplacer les systèmes énergétiques conventionnels qui consomment des combustibles fossiles, contribuant ainsi à réduire les émissions nocives dans l'atmosphère et à réduire l'effet de serre et le réchauffement climatique. L'énergie solaire de concentration (CSP) utilise l'énergie thermique du soleil pour produire de l'électricité [2-18, 20, 34, 59, 75].

La technologie de la concentration solaire de type Parabole/Stirling est développée par Advanco Corporation entre 1984 et 1988. Alors que le système de Dish-Stirling de 25 kW est développé par McDonnell Douglas Aerospace Corporation (MDA), quant au système 50kW et le système 9kW sont développés par Schlaich Bergermann and Partner (SBP) [83].

Advanco Corporation a mis au point un système de Dish-Stirling avec une puissance de 25kW au Jet Propulsion Laboratory OPL en 1984. Le système a atteint une efficacité de conversion solaire nette de 29,4% et a été installée à Rancho Mirage, en Californie [83]. Le concentrateur Vanguard est de 11 mètres de diamètre, il a été intégré avec un moteur Stirling de type États-Stirling AB (USAB), Modèle 4-95, Maque II. Le moteur utilisé dans ce système est un moteur Stirling à quatre cylindres. Le gaz de travail est l'hydrogène à une pression de service moyenne maximale de 20 MPa et une température de 720 ° C [83].



Figure I. 10 : *Le système solaire Vanguard par Advanco Corporation avec une puissance de 25 kWe.*

Schlaich, Bergermann et Partner (SBP) de Stuttgart, ont développé et construit trois systèmes SBP de 50 kW en Allemagne en 1984. Le premier système est exploité en Europe et les deux autres systèmes sont situés dans le village solaire du Centre National des Sciences et Technologie dans le pays d'Arabie Saoudite près de Riyadh. La puissance électrique nette du système de production est de 52,5 kW [83]. Le concentrateur Schlaich est une seule facette étirée plat à membrane de 17 mètres de diamètre, il a été intégré avec un moteur Stirling. Un moteur Stirling à quatre cylindres à double effet est utilisé dans ce système. Le gaz de travail est l'hydrogène à une pression de fonctionnement moyenne maximale de 15 MPa et une température de 620 ° C [83]. Le récepteur du système SBP est tubulaire à éclairage direct qui comporte de nombreux tubes de chauffage de petit diamètre situés à l'arrière de la cavité du récepteur pour absorber la lumière solaire concentrée. L'efficacité solaire nette du système est égale à 23,10% [83].



Figure I. 11 : Les deux systèmes solaires de type Parabole/Stirling avec une puissance de 50 kWe installés en 1984 à Riyadh.

En 1991, Schlaich, Bergermann et Partner (SBP) de Stuttgart ont développé un système parabole/Stirling de 9 kW en Allemagne. Trois unités sont en service à la Plateforme Solaire d'Almeria en Espagne, pour tester la fiabilité à long terme du système dans les conditions quotidiennes [83]. Deux autres unités sont installées à Stuttgart, en Allemagne: un prototype sur le campus de l'Université de Stuttgart et une autre au centre d'essais du Centre de recherche sur l'énergie solaire et l'hydrogène (ZSW) [83]. Le gaz de travail est l'hydrogène à une pression de fonctionnement moyenne maximale de 15 MPa et une température de 630 ° C. Le moteur a une efficacité de 30%. L'efficacité maximale de la centrale de 23,30% [83].



Figure I. 12 : Le système solaire DISTAL I avec une puissance de 9 kWe par SBP installé à Pforzeim en Allemagne.

Cummins Power Generation, Inc. (CPG), de Columbus, Indiana, une filiale de Cummins Engine Company, est la première entreprise au monde à assembler et à faire fonctionner un système de concentration de type parabole/Stirling utilisant un moteur Stirling à piston libre, pour la production d'énergie électrique solaire en 1992 [83]. La puissance électrique nette nominale du système de production est de 7,5 kW. Le gaz de travail est l'hélium à une pression de fonctionnement moyenne maximale de 4 MPa et une température de 629 ° C. ce travail est également la première application d'un récepteur de caloduc à métal liquide. Le rendement maximal solaire/électrique net est égal à 19% [83].



Figure I. 13 : *Le système solaire de type Parabole/Stirling par CPG avec une puissance de 7,5 kW e.*

En 1992, Aisin Seiki Co., Ltd., a construit le moteur NS30A de 30 kW dans le cadre du projet de l'Organisation pour le développement de l'énergie et le développement industriel (NEIDO) du gouvernement japonais à Kariya City, au Japon [83]. La puissance électrique nette nominale du système de production sera de 8,5 kW. Une motrice cinématique à plateau oscillant fixe à quatre cylindres a été utilisée. Le gaz de travail est l'hélium à une pression de fonctionnement moyenne maximale de 14,5 MPa et une température de 683 ° C. Le rendement maximal solaire/électrique net est égal à 16% [83].

Stirling Thermal Motors, Inc, et Detroit Diesel Corporation de Detroit ont conçu et testé un système de conversion d'énergie solaire incorporant le moteur Stirling STM4-120 au Michigan en 1993 [83]. Le gaz de travail est l'hélium à une pression de fonctionnement moyenne maximale de 14,5 MPa et une température de 683 ° C [83].

Un système solaire de type parabole/Stirling nommé « SunCatcher » a été construit par SES à Pheonix, aux États-Unis, en collaboration avec la société sœur, Tessera Solar North America, en 1996 [83]. La puissance électrique nette nominale du système de production est de 25 kW. Le concentrateur est un réseau de facettes en verre bombé de 11,28 mètres de diamètre, il a été intégré au un moteur Stirling à double effet. Le gaz de travail est l'hydrogène ou l'hélium à une pression de fonctionnement moyenne maximale de 20 MPa et une température de 720 °C. Le rendement maximal solaire/électrique net est égal à 30% [83].



Figure I. 14 : Centrale solaire expérimentale de 6 concentrateurs solaires de type Parabole/Stirling SES à Albuquerque.

Schlaich Bergermann et Partner et partenaires européens ont développé l'EuroDish en 1998. La puissance électrique nette évaluée du système de production sera de 10kW. Le concentrateur est constitué d'une coque sandwich en plastique renforcé de fibre de verre de 8,5 mètres de diamètre, le concentrateur a été intégré à un SOLO Stirling 161. Le gaz de travail est l'hélium à une pression de service moyenne maximale de 20-50 bars et une température de 650 ° C. Le rendement maximal solaire/électrique net est égal à 22-24,5% [83].

Infinia Corporation est une société de technologie privée qui a développé des moteurs Stirling à piston libre en 1967 à Ogden, Utah, États-Unis. Infinia a été conçu en collaboration avec Schlaich Bergermann et Partner en 2006. La puissance électrique nette nominale du système de production est égale à 3,2 kW. Le premier prototype a été érigé en 2007. Le gaz de travail est l'hélium. Le maximum solaire net à l'efficacité électrique de 24% [83].



Figure I. 15 : *Système Parabole/Stirling de 3,2 kWe de la centrale d'InfiniaCorp.*

L'ANU SG4 (Solar Generator 4) a été développé et construit par ANU et ses partenaires en juin 2009 [83]. La puissance électrique nette nominale du système de production est de 50 kW. Le gaz de travail est l'air à une pression de service moyenne maximale de 5Mbar et à une température de 550 ° C. Simultanément, Wizard Power a commencé la construction d'un système pilote de 4 parabole/Stirling à Whyalla en Australie du Sud. Il est prévu que, une fois ce système achevé, une centrale électrique commerciale complète pourra être réalisée dans un proche avenir [83].

SouthWest Solar Technologies de Phoenix, Arizona, États-Unis, a également développé un grand concentrateur à miroir parabolique, le prototype a été mis en service en 2011. La puissance électrique nette nominale du système de production sera de 5 kW. Le concentrateur est constitué d'un miroir réfléchissant en structure métallique plane de 20 mètres de diamètre, il a été intégré à la micro-turbine de Brayton Energy LLC [83].

En 2010, la capacité installée mondiale de parabole/Stirling était de 1,5 MW et située en Arizona. En 2013, la capacité installée est passée à 3 MW avec des installations supplémentaires dans l'Utah et quelques systèmes prototypes sont actuellement en service au Nevada, en Arizona, au Colorado et en Espagne [83].

Des travaux scientifiques merveilleux dans ce domaine, nous énumérons le travail de Y. Kadri et H. Hadj Abdallah, (2016) [84]. Ils ont évalué la performance d'un système solaire

thermodynamique à concentration de type parabole/Stirling pour produire d'électricité adaptée à l'électrification rurale hors réseau dans la région de Sfax, Tunisie. Le système de génération d'énergie hybride proposé par les auteurs est composé d'un miroir paraboloïde réfléchissant équipé d'un système de suivi solaire, moteur Stirling de type V ou alpha, un générateur synchrone à aimants permanents entraîné par le Moteur Stirling et quelques autres suppléments de circuit comme décrit à la Figure I. 16.

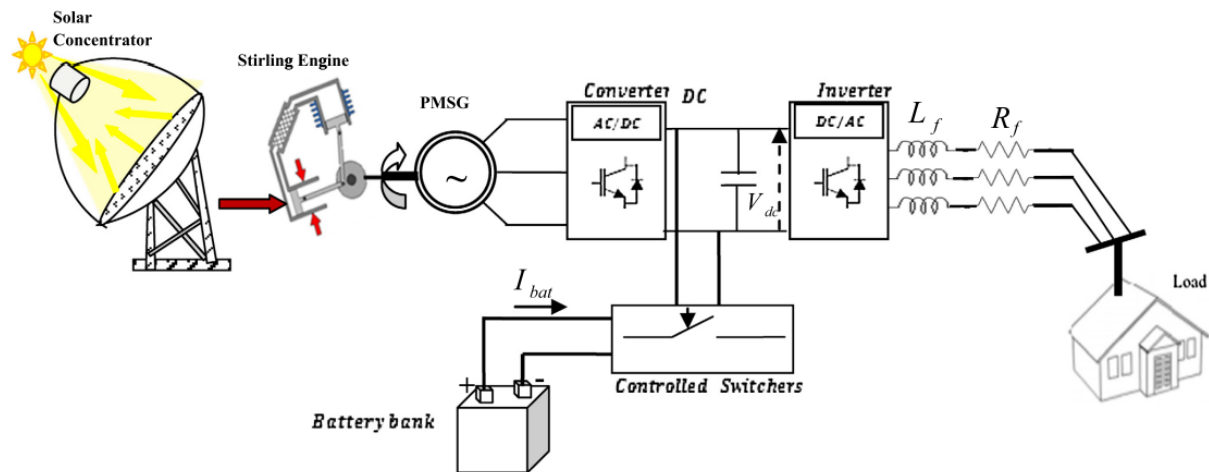


Figure I. 16 : Schéma global du système d'alimentation SDS / PMSG associé à la batterie de stockage[84].

La conception et la modélisation de ce système SDS / PMSG ont été réalisées et simulées par le logiciel Matlab / SIMULINK.

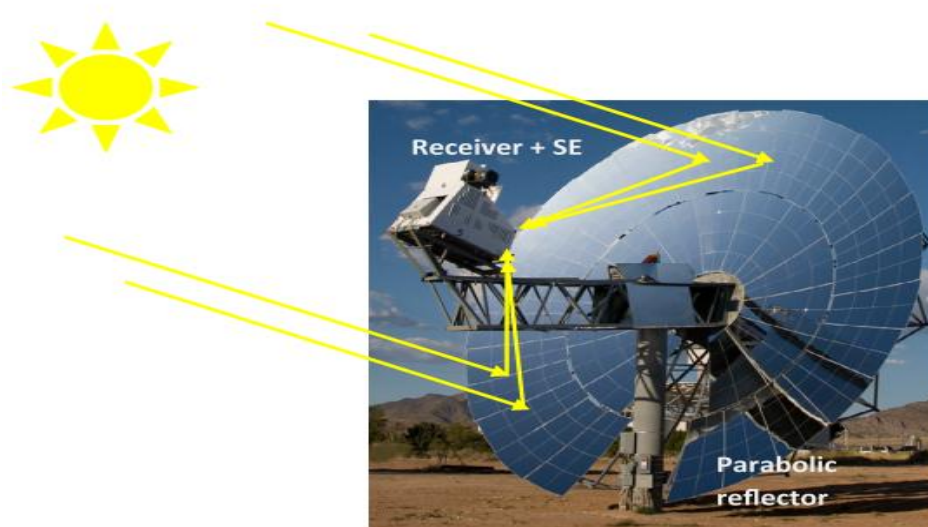


Figure I. 17 : Composants du système solaire parabole/Stirling [84].

Les tests de simulation de l'ensemble du système lors de différents cas de rayonnement solaire modéré, chaud et froid de l'année ont été réalisés. Il a été démontré que la gestion de l'énergie introduite dans cette étude était très efficace et permettait un équilibre énergétique rationnel entre la charge, le générateur solaire et les sous-systèmes de batteries en maintenant la tension du circuit intermédiaire à sa valeur de référence.

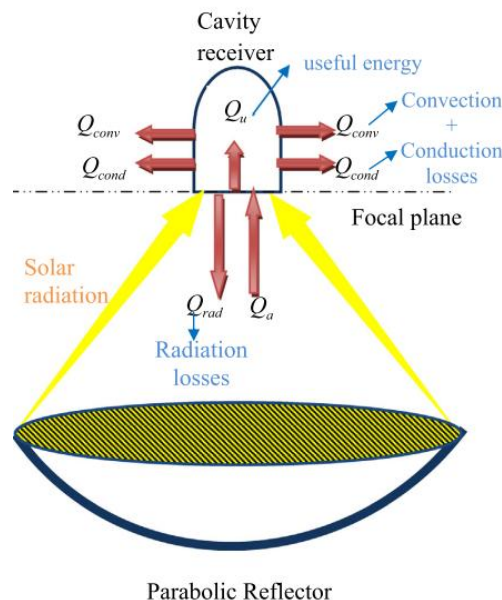


Figure I. 18 : Bilan énergétique du système parabole/Stirling [84].

Les résultats obtenus montrent bien l'effet des conditions météorologiques sur l'efficacité thermique et électrique du système. Cette étude est une bonne référence pour l'examen de tels systèmes dans le domaine des énergies renouvelables travaillant sur les centrales solaires thermodynamiques à concentration de type ponctuel.

I.3. Conclusion

A travers ce chapitre, nous avons abordé les types des centrales solaires thermodynamiques à concentration. En plus, Nous avons présenté un bref résumé de la littérature scientifique sur les centrales solaires thermodynamiques de type parabole/Stirling (Dish/Stirling).

Chapitre 2 : le moteur Stirling

II. Le moteur Stirling

II.1. Introduction

Ce chapitre a été miné pour parler sur le moteur Stirling. Le moteur Stirling a été inventé en 1816 par le révérend et ingénieur écossais Robert Stirling pour remplacer la chaudière à vapeur. Le moteur Stirling est un moteur à combustion externe qui utilise du gaz dans une enveloppe fermée chauffée par une source de chaleur extérieure. Cela permet une combustion continue. En outre, ce moteur ne contient pas de soupapes, ce qui réduit considérablement le bruit. Le moteur Stirling peut fonctionner avec n'importe quel type de carburant et avec de l'énergie solaire concentrée.

II.2. Historique des moteurs Stirling

Robert Stirling est né le 25 octobre 1790, à la ferme Cloag du village de Methven dans le comté de Perthshire en Écosse. Il est mort le 6 juin 1878 à Galston, ville située à 40 km environ au sud de Glasgow. Il poursuivit ses études à l'université d'Edimbourg de 1805 à 1808. Dans cet établissement, il fut en contact avec des experts en mathématiques ou physique qui lui donnèrent le goût et les connaissances suffisantes pour développer son inventivité. Ensuite, il se tourna vers des études de théologie à l'université de Glasgow pour devenir pasteur [85].



Figure II. 1 : Robert Stirling [85].

Robert Stirling ne s'est pas contenté d'avoir des idées, surtout des idées, mais il construisait lui-même les prototypes des moteurs issus de ses réflexions. Il a laissé des preuves concrètes de ses réalisations.

Robert Stirling a vécu au XIXe siècle, caractérisé par de nombreuses découvertes scientifiques et techniques.

C'est probablement une bulle d'idées où, à son époque, les chaudières à vapeur étaient très inefficaces et souvent explosées. Pour répondre à ce problème, Robert Stirling a inventé un moteur qui pourrait remplacer la chaudière sous haute pression. Le moteur à combustion externe suit ce cycle : pression, chauffage, détente et refroidissement. Le brevet a été déposé le 27 septembre 1816 et est entré en vigueur le 20 janvier 1817.

En 1843, son frère James Stirling. Ce moteur est fabriqué pour une utilisation en usine, et en raison de la puissance de sortie très faible par rapport à la machine à vapeur, le moteur à air chaud Stirling n'atteint pas le succès escompté.

En 1871, la progression de la thermodynamique au XIXe siècle permit à Gustav Schmidt de décrire mathématiquement le cycle de Stirling. Cependant, dans les années 1930, grâce aux recherches de Philips, pressurisés, et utilisant soit de l'hélium, soit de l'hydrogène, ont été conçus et réalisés. Certains de ces moteurs ont des rendements globaux remarquables, en comparaison des moteurs à combustion interne de puissance comparable. Citons par exemple le moteur cinématique USAB 4-275, d'une puissance de 50 kW, avec un rendement global de 42 % [86].

Aujourd'hui, le moteur Stirling fait l'objet de nombreuses expériences de sociétés énergétiques similaires à la NASA.

II.3. Principe de base

Le moteur de Stirling fonctionne grâce à 4 étapes élémentaires inspirées du cycle de Carnot, pendant lesquelles le gaz utilisé subit des compressions décompressions en faisant varier la température. Ces phases expliquent son fonctionnement et restent globalement les mêmes quels que soient les types de moteurs de Stirling.

II.3.1. Etape 1 : la phase du chauffage isochore

Le gaz est réchauffé par la source chaude. Sa pression augmente mais le volume ne change pas. Le déplaceur s'éloigne de la source chaude. Le gaz est ici en contact avec la source chaude.

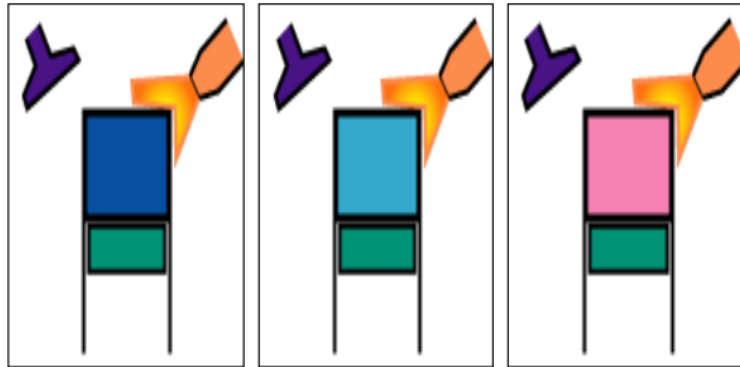


Figure II. 2 : Phase de chauffage [87].

II.3.2. Etape 2 : la phase de la détente isotherme

Le volume du gaz augmente et sa pression diminue car le gaz se dilate en se réchauffant, ce qui permet au déplaceur de se diriger vers la source froide et fait bouger le piston. Le gaz est ici en contact avec la source chaude.

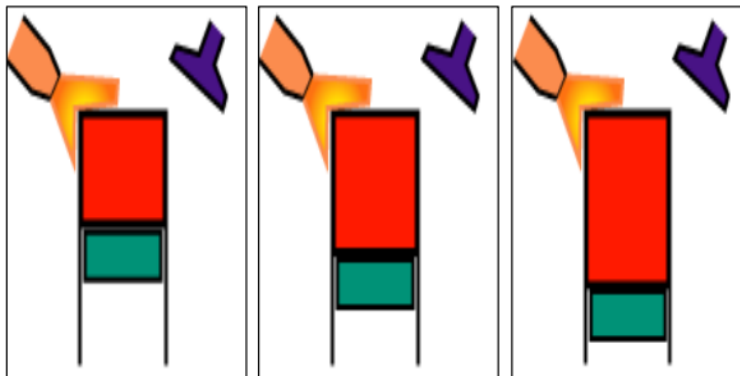


Figure II. 3 : Phase de détente [87].

II.3.3. Etape 3 : la phase du refroidissement isochore

Détendu et en contact avec les deux sources, le gaz est refroidi progressivement par la source froide, entraînant le déplaceur vers la source chaude, mettant ainsi le gaz en contact avec la source froide. La pression du gaz diminue mais le volume reste constant, le refroidissement est donc isochore.

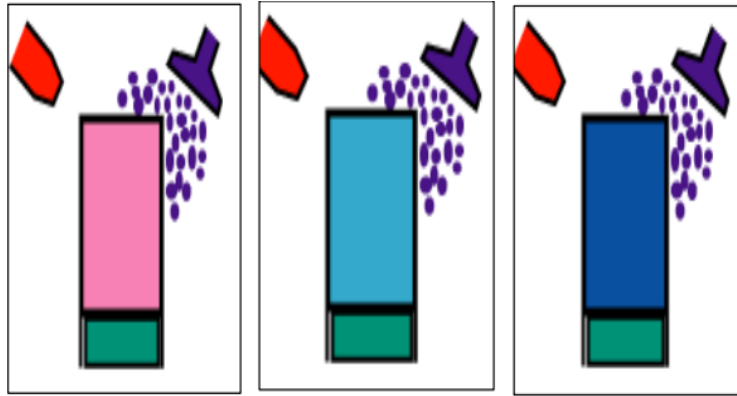


Figure II. 4 : Phase de refroidissement [87].

II.3.4. Etape 4 : la phase de la compression isotherme

Le déplaceur se situe du côté de la source chaude. Le volume du gaz diminue et sa pression augmente car le gaz, près de la source froide, est comprimé. La compression du gaz est isotherme.

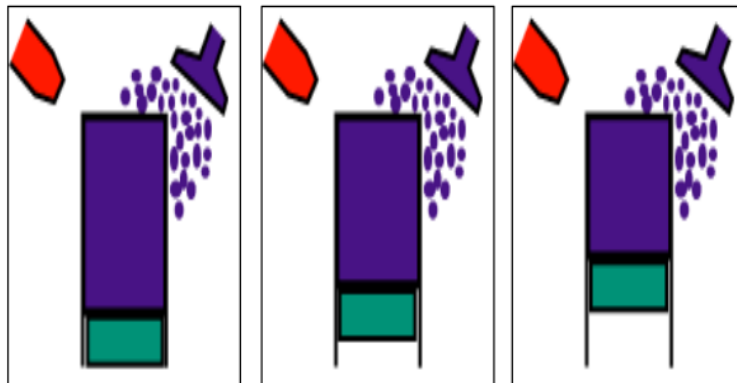


Figure II. 5 : Phase de compression [87].

Généralement, le cycle thermique du moteur comprend quatre étapes. Les étapes sont :

- A→B correspond à la détente isotherme. La zone de détente est chauffée par l'extérieur, ainsi le gaz suit une détente isotherme ;
- B→C correspond à la détente isochore. Le gaz passe dans le régénérateur, se refroidit en lui transférant sa chaleur qui sera utilisée pour le cycle suivant ;
- C→D correspond à la compression isotherme. La zone de compression est refroidie, ainsi le gaz suit une compression isotherme ;

- D→A correspond à la compression isochore. Le gaz circule dans le régénérateur et prélève de la chaleur.

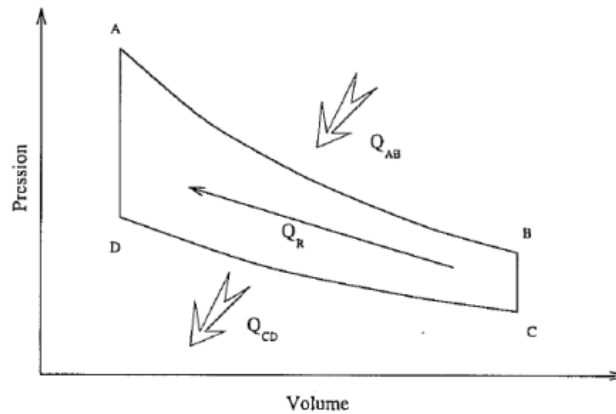


Figure II. 6 : Diagramme indicateur d'un moteur STIRLING théorique [88].

La chaleur Q_{C-D} produite par la compression est absorbée par la source froide (T_C). La chaleur Q_{A-B} provenant de la source chaude (T_D) permet la dilatation du gaz, par conséquent c'est un travail fourni vers l'extérieur. Les chaleurs Q_{D-A} et Q_{B-C} sont produites par des transformations à volume constant. Elles sont des réactions sans production de travail. La compression isotherme C-D absorbe le travail W_{C-D} . Le rendement η est égal :

$$\eta = \frac{\text{énergie utile}}{\text{énergie dépensée}} = \left| \frac{W \text{ résultant total}}{Q \text{ source}} \right| = \frac{-W}{Q_{A-B}} \quad (\text{II.1})$$

Le cycle du moteur Stirling a un rendement (η) égal à :

$$\eta = 1 - \frac{T_C}{T_D} \quad (\text{II.2})$$

II.4. Les différents types du moteur Stirling

Il existe une très grande diversité de moteurs Stirling. On les classe généralement en fonction de leur configuration géométrique. Selon ce critère, il y a trois types principaux de moteur Stirling : le moteur alpha, le moteur bêta et le moteur gamma.

II.4.1. Le moteur alpha

Le moteur bicylindre ou alpha est un moteur dans lequel un cylindre est associé à la source froide et un autre est associé à la source chaude. Le couplage cinématique des deux pistons permet au fluide de passer d'un cylindre à l'autre tout en traversant un récupérateur d'énergie (régénérateur) et de faire varier le volume selon les phases s'approchant de celles décrites dans le diagramme indicateur théorique de Stirling.

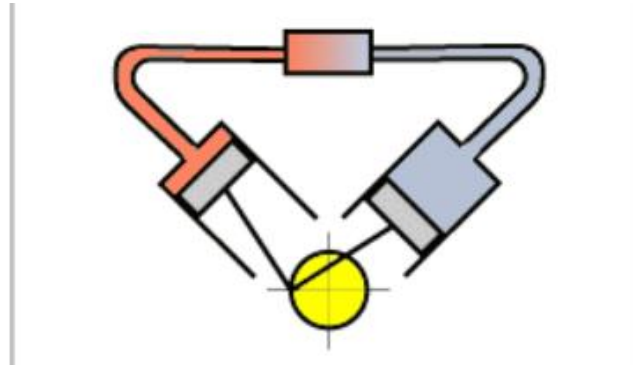


Figure II. 7 : Coupe d'un moteur Stirling de type alpha [89].

II.4.2. Le moteur bêta

Le moteur bêta est un moteur monocylindre constitué de deux pistons :

- Un piston de travail (gris foncé) utile pour la compression et la détente ;
- Un piston 'déplacer' (gris clair) pour mettre successivement le gaz en contact avec la source froide puis la source chaude.

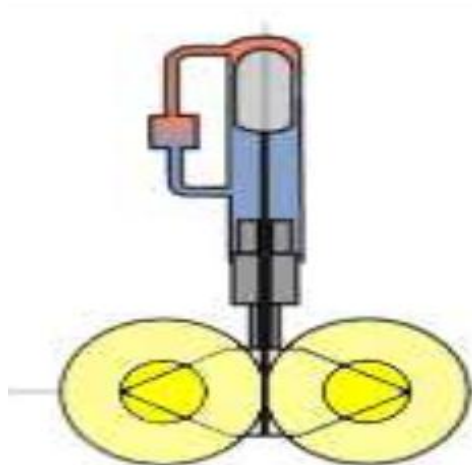


Figure II. 8 : Coupe d'un moteur Stirling de type bêta [89].

II.4.3. Le moteur gamma

Le moteur que nous avons utilisé dans nos manipulations est le moteur de type gamma. Ce moteur ressemble beaucoup au type bêta car il a aussi un piston de travail et un piston déplaceur. La seule différence réside dans le fait que les deux pistons se meuvent dans des cylindres distincts.

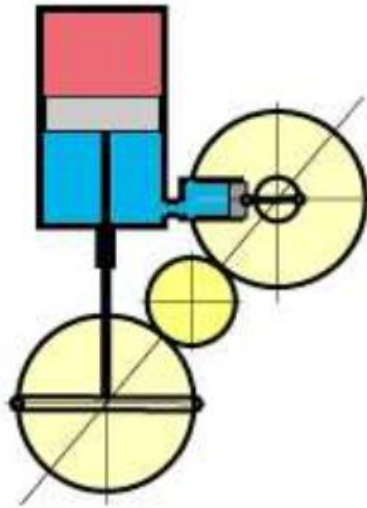


Figure II. 9 : Coupe d'un moteur Stirling de type gamma [89].

II.5. Avantages et inconvénients du moteur Stirling

Le moteur Stirling a de nombreux avantages et inconvénients à mentionner :

II.5.1. Les avantages

Le moteur Stirling a de nombreux avantages :

- Moins polluant, où le moteur Stirling est un moteur à combustion externe, donc plus facile à contrôler que dans un moteur à combustion interne ;
- Moins bruyant, où le fluide actif du moteur Stirling, l'air, travaille en cycle fermé et ne s'échappe pas à l'atmosphère, contrairement au moteur à combustion interne, dont le bruit d'échappement est très important ;
- Multi-carburant, où le moteur Stirling ne demande qu'une source de chaleur, quelle que soit la nature de cette source chaude ; il peut être alimenté par un foyer au bois, charbon, paille, etc. et bien entendu le soleil.

II.5.2. Les inconvénients

Malgré les nombreux avantages, mais le moteur Stirling, il a encore des problèmes d'étanchéité difficiles à haute pression.

II.6. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné un bref aperçu du moteur Stirling, de son développement et de son principe de fonctionnement. Ensuite, nous avons présenté différents types en fonction de leurs performances en théorie, et nous avons vu ses avantages et ses inconvénients.

Chapitre III : Analyse thermique et conception du moteur Stirling

III. Analyse thermique et conception du moteur Stirling

III.1. Mise au point du miroir Paraboloïde

Les centrales à miroirs paraboloides (Dish-Stirling) suivent le soleil sur deux axes et utilisent des miroirs pour concentrer le rayonnement solaire direct (DNI) sur un récepteur de foyer ponctuel, où les températures du foyer ponctuel vont de 100 ° C pour les concentrateurs ponctuels de type paraboloïde à basse température à près de 1500 ° C pour les concentrateurs ponctuels de type paraboloïde à haute températures.

Le récepteur de foyer ponctuel absorbe le rayonnement solaire direct, et le convertit en énergie thermique qui est absorbée par un fluide caloporteur. Donc, l'énergie thermique peut alors être soit convertie en électricité en utilisant un moteur-générateur couplé directement au récepteur ou transporté à travers des tuyaux vers un système de conversion de puissance central. Les systèmes à miroirs paraboloides peuvent atteindre des températures supérieures à 1500 ° C.

On sait que les récepteurs de foyers ponctuels sont répartis dans un champ solaire, c'est ce qui a fait ce genre appelé les systèmes de récepteurs distribués.

Les centrales à miroirs paraboloides (Dish-Stirling) ont plusieurs avantages importants. Les plus importants sont :

- *Parce qu'ils pointent toujours vers le soleil, ils sont les plus efficaces de tous les systèmes des collecteurs solaires ;*
- *Ils ont typiquement des rapports de concentration dans la gamme de 600 à 2000, ils sont ainsi très efficaces dans les systèmes d'absorption d'énergie thermique et de conversion de puissance ;*
- *Ce sont des unités de collecte et de réception modulaires qui peuvent fonctionner indépendamment ou dans le cadre d'un plus grand système à miroirs paraboloides.*

Les concentrateurs solaires à miroirs paraboloides présentent de meilleurs rendements optiques et thermiques comparées à d'autres concentrateurs solaires. Cette caractéristique est due principalement à leur mode de concentration qui favorise la collecte rationnelle des rayons solaires directs concentrés dans la zone focale comparé au mode de concentration

linéaire (LFR ou PTC). Au travers de ce chapitre, nous présenterons les résultats de l'étude thermique et les étapes de conception du moteur.

III.1.1. Description géométrique

La parabole est une forme géométrique définie analytiquement par une équation interprétant la relation entre chaque point (x, y) appartenant à son contour avec la distance focale (f).

$$y^2 = 4fx \quad (\text{III.1})$$

Quand à l'angle d'ouverture (φ) de la parabole est exprimé par la relation suivante :

$$\tan(\varphi) = \frac{f/D}{2\left(\frac{f}{D}\right)^2 - \left(\frac{1}{8}\right)} \quad (\text{III.2})$$

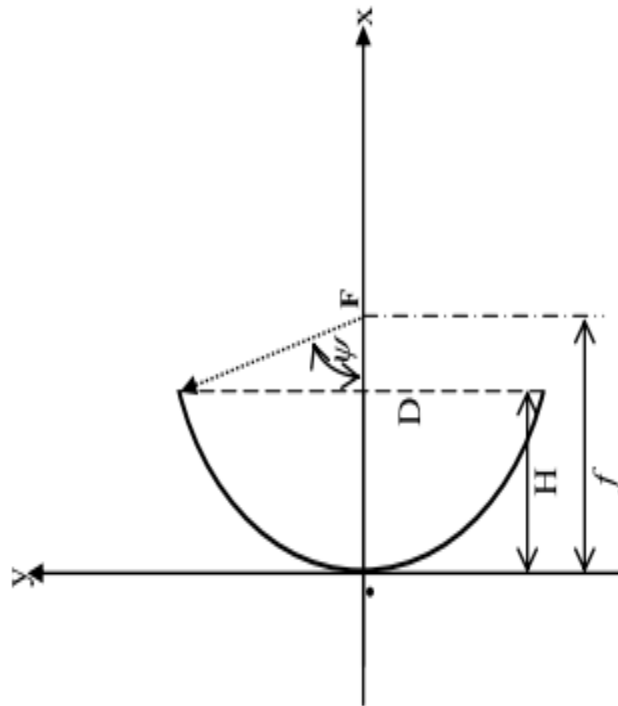


Figure III. 1: Schéma descriptif d'une parabole.

(D) est le diamètre d'ouverture de la parabole et ($H=D^2/16f$) est la profondeur du miroir.

La rotation d'une parabole autour de son axe de symétrie (z) génère un paraboloïde de révolution, tel qu'il est mentionné sur la Figure III. 2. L'équation qui décrit le paraboloïde est exprimée en coordonnées cartésiennes forme suivante :

$$x^2 + y^2 = 4fz \quad (\text{III.3})$$

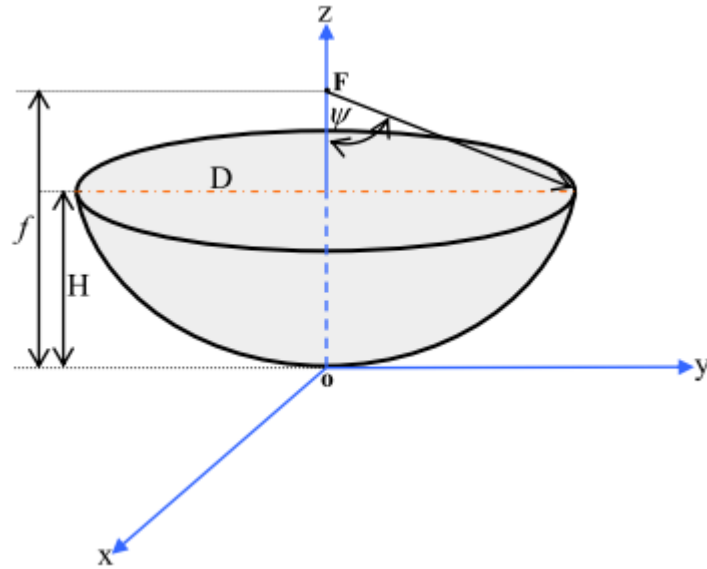


Figure III. 2: Schéma descriptif d'un paraboloïde.

La surface du paraboloïde (A_p) est donnée par :

$$A_p = \frac{8\pi f^2}{3} \left[\left(\left(\frac{D}{4f} \right)^2 + 1 \right)^{3/2} - 1 \right] \quad (\text{III.4})$$

III.2. Analyse thermique

III.2.1. Introduction

L'analyse optique et thermique du foyer ponctuel du concentrateur à miroir paraboloïde a été entamée visant à prédire le flux solaire incident ainsi que la température maximale atteinte au point focal. Chacune de ces variables importantes nous permettra de déterminer l'efficacité du système solaire étudié. Pour mener l'étude thermique, nous utiliserons le SOLTRACE pour déterminer le flux thermique et la distribution du flux thermique au point focal en fonction du rayonnement solaire direct.

III.2.2. Paramètres optiques

Le paramètre optique dominant dans les concentrateurs solaires est le coefficient de concentration solaire « **C** ». Il est défini comme étant le rapport entre le flux solaire au plan focal ou au foyer ponctuel et le flux solaire réfléchi à travers la section d'ouverture du concentrateur. Le coefficient « **C** » atteint une valeur maximale pour un miroir paraboloïde idéal (aucune imperfection de construction) focalisant le flux solaire sous forme d'image (tâche) circulaire d'un diamètre « d_i , (m) » donné par la relation suivante :

$$d_i = f \times \theta_m \quad (\text{III.4})$$

« f , (m) » est la distance focale et « θ_m , (°) » est la distance angulaire du soleil en un point quelconque sur la Terre.

Le flux concentré au plan focale (point chaude) est considéré comme homogène et uniforme dans toute la surface de l'image formée, cette hypothèse a permis de développer une relation analytique exprimant le coefficient de concentration « **C max** » maximale pour un paraboloïde idéal.

$$C_{\max} = \frac{4}{\theta_m^2} \sin^2(\varphi) \quad (\text{III.5})$$

Avec « φ , (°) » : L'angle d'ouverture de la parabole.

Afin d'évaluer le coefficient de concentration solaire moyen « **C moy** » qui tient compte de la répartition uniforme du flux focalisé dans toute la tâche formée, une expression analytique a été développée permettant de le déterminer comme suit :

$$C_{\text{moy}} = \frac{\sin^2(\varphi) \cos^2\left(\varphi + \frac{\theta_m}{2}\right)}{\sin^2\left(\frac{\theta_m}{2}\right)} \quad (\text{III.6})$$

III.2.3. Paramètres thermique

La température maximale atteinte au point focal est l'un des paramètres essentiels du concentrateur, elle dépend de l'éclairement solaires direct « **DNI**, (W/m²) » de la zone dans laquelle s'opère, ainsi que le coefficient de concentration solaire « **C** ».

$$T_{max} = \left(\frac{\alpha \times DNI}{\epsilon_r \times \sigma} C \right)^{0,25} \quad (III.7)$$

Avec « **α** » : le réflectivité de miroirs réfléchissants, « **ϵ_r** » : l'émissivité du récepteur et « **σ** =8,67×10⁸, (W/m².K⁴) » : le coefficient de Stefan-Boltzmann.

III.2.4. Description du SOLTRACE

Le SOLTRACE est un code de simulation développé par le laboratoire national d'énergie renouvelable allemand (DLR), il est devenu l'un des outils les plus puissants dans la modélisation des systèmes solaire à concentration et d'analyser leurs exécutions, ainsi que la caractérisation et les optimisations de divers paramètres. Bien qu'à l'origine il était destiné aux applications solaires, le code peut également être employé pour modéliser et caractériser beaucoup de systèmes optiques généraux. Le code utilise la technique du traçage de rayons (ray trading technique) basée sur la méthode de Monte Carlo. Un tel code a l'avantage par rapport aux codes basés sur la convolution des moments, parce qu'il présente de vraies interactions de photon et peut donc fournir des résultats précis pour les systèmes complexes qui ne peuvent pas être modélisés autrement. Son inconvénient réside dans la durée un peu longue que prend une exécution. De plus, il est à noter que l'exactitude augmente avec le nombre de rayons tracés. Cependant, le nombre exigé de rayons est également une fonction de la précision du résultat recherché.

III.2.5. Les résultats de la simulation thermique

Quand l'exécution du programme SOLTRACE est lancée, le fichier des résultats peut afficher une modélisation géométrique du système solaire à concentration à miroir paraboloïde, associé à une image illustrative de la réflexion des rayons directs incidents à travers le concentrateur en direction du foyer ponctuel. La Figure III. 3 montre une réelle possibilité de vérifier le taux de focalisation solaire au niveau du foyer ponctuel et par conséquent, une réduction maximale du taux de dispersion.

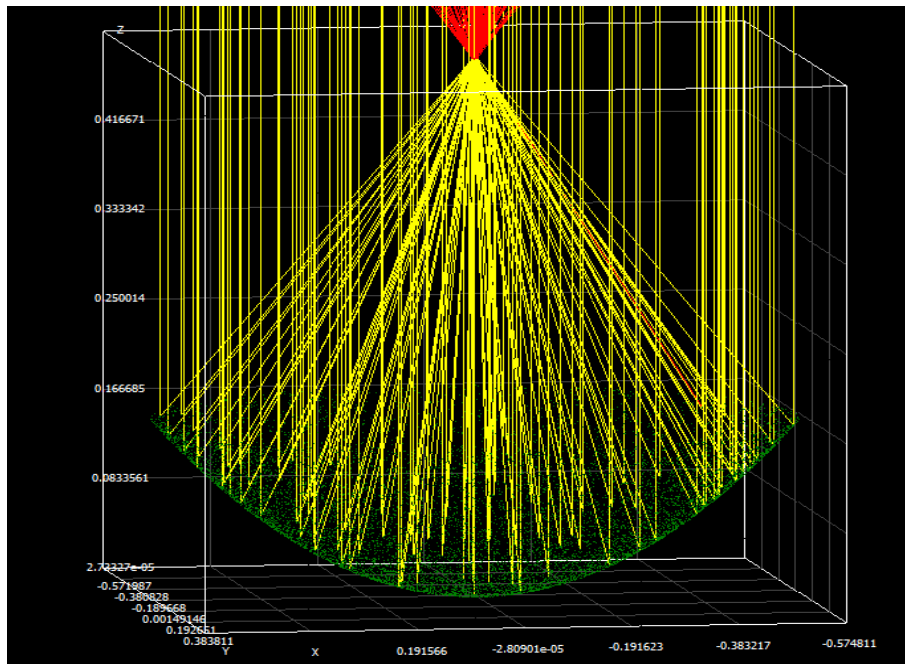


Figure III. 3: la focalisation des rayons réfléchis (par SolTrace).

La répartition du flux thermique surfacique au niveau du plan focal montré à la Figure III. 4 est obtenue en exécutant l'option « Flux Maps », ce qui permet d'exposer la distribution du flux thermique focalisé dans le plan focal avec une valeur d'irradiation solaire direct égale à 1079 W/m^2 .

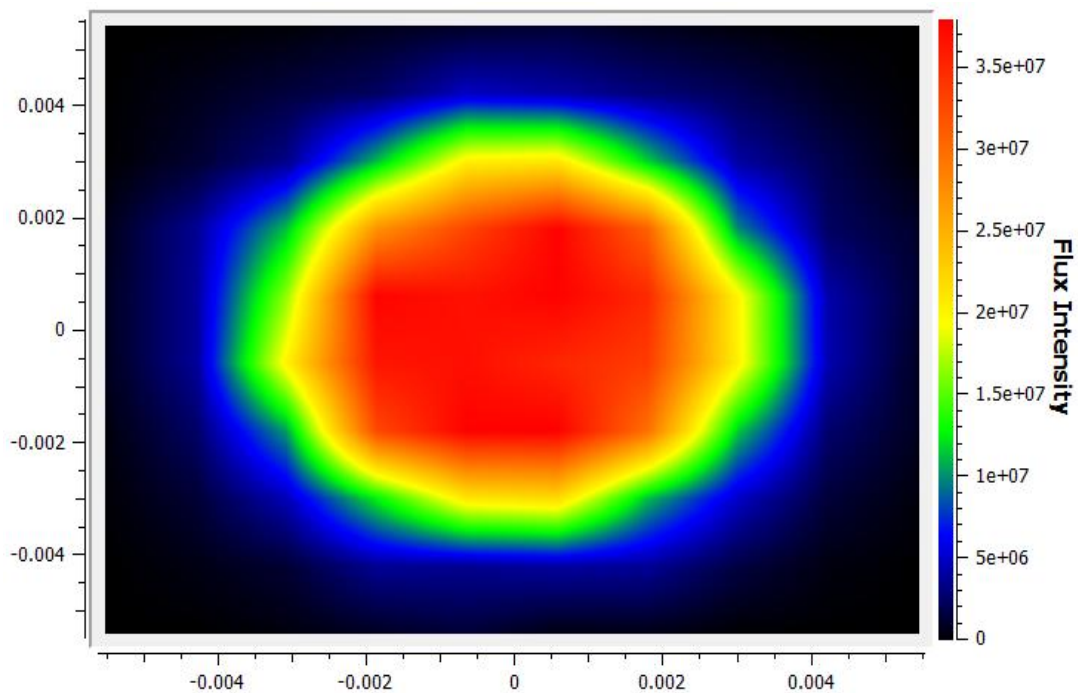


Figure III. 4: le contour du flux thermique au foyer avec $\text{DNI} = 1079 \text{ W/m}^2$ (par SolTrace).

La valeur maximale du flux thermique surfacique a atteint $3,5 \times 10^7 \text{ W/m}^2$. Cette valeur a été enregistrée au centre du point focal, et cette valeur est très logique avec le comportement physique du phénomène de concentration du rayonnement solaire à un certain point, ceci est mieux illustré à la Figure III. 3.

La Figure III. 5 montre la distribution de flux thermique surfacique au niveau du plan focal. Les détails de la distribution du flux thermique sont très clairs, comme nous l'avons dit précédemment, elle a atteint $3,5 \times 10^7 \text{ W/m}^2$.

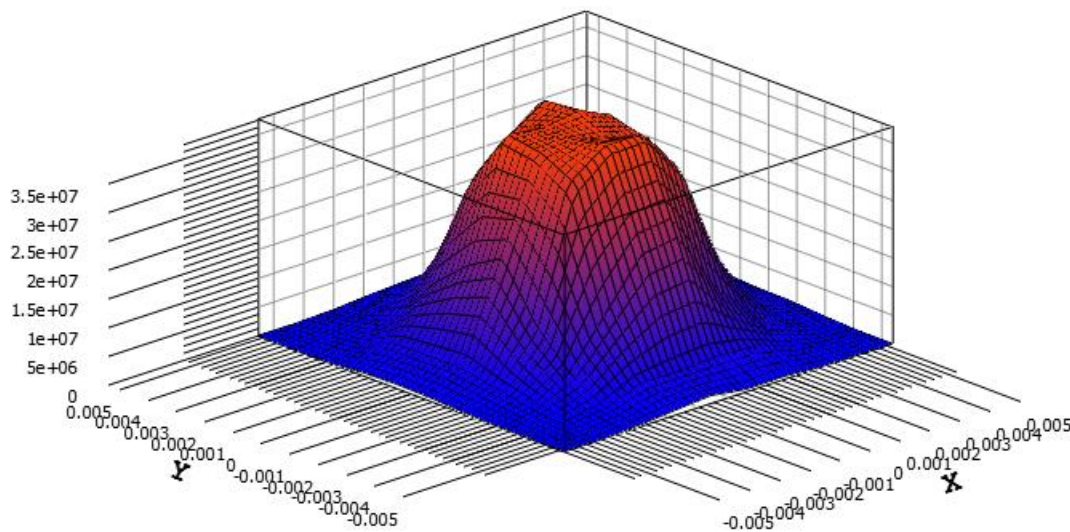


Figure III. 5: la distribution du flux thermique au foyer avec $\text{DNI}=1079 \text{ W/m}^2$ (par SolTrace).

Ici, nous soulignons l'intensité du flux thermique et comment la distribution thermique change en termes d'intensité du rayonnement solaire direct (DNI). Dans cette partie du chapitre, nous avons choisi le jour typique de Mars pour évaluer l'intensité du flux thermique dans le point du système solaire. Ce jour est le 16 Mars 2018. La Figure III. 6 illustre la variation du rayonnement direct en fonction de temps. Grâce à cette figure, nous observons que la valeur maximale du rayonnement direct était à midi 11H00 avec une valeur égale à 1079 W/m^2 . On remarque aussi le passage de quelques nuages à 12H00 et à 14H00, ceci affecte négativement sur l'efficacité optique thermique du système solaire étudié. Ces valeurs affichées sont spécifiques à la région d'El-Oued (L'altitude 61 mètre, la latitude $33,51^\circ\text{N}$ et la longitude $6,78^\circ\text{E}$), Algérie. Cette région se caractérise par son temps froid sec en hiver, chaud sec en été, elle est caractérisée par un taux de rayonnement solaire important tout au long de l'année,

où le rayonnement solaire quotidien moyen dépasse 750 W/m^2 , elle se caractérise également par ses vents de printemps et d'automne, qui sont tous des sources d'énergies renouvelables qui méritent d'être exploitées et investies.

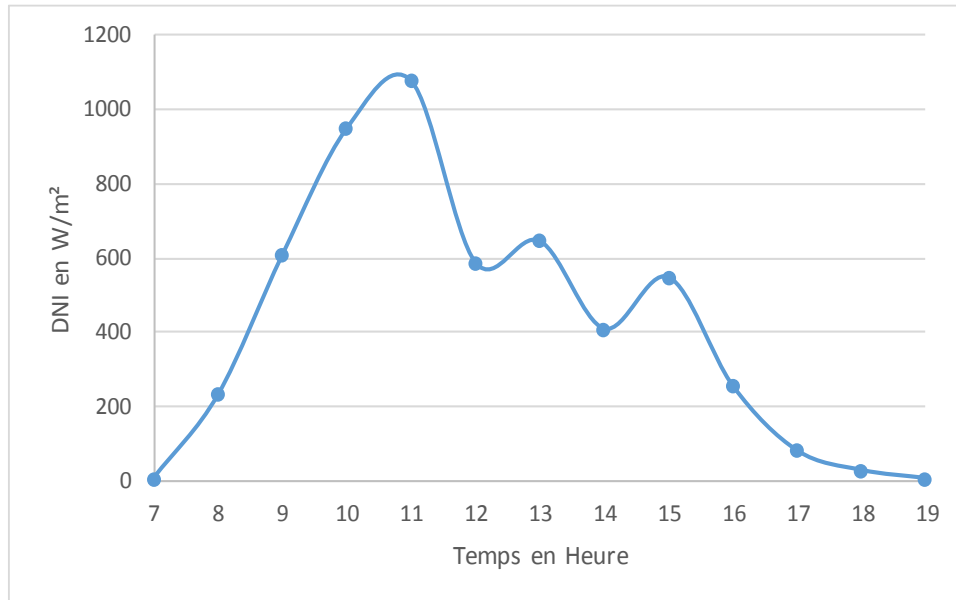


Figure III. 6: l'évaluation du DNI en fonction de temps pour la journée de 16/03/2018(par SolTrace).

La Figure III. 7 montre la variation du flux thermique surfacique en fonction du rayonnement solaire direct durant la journée de 16/03/2018.

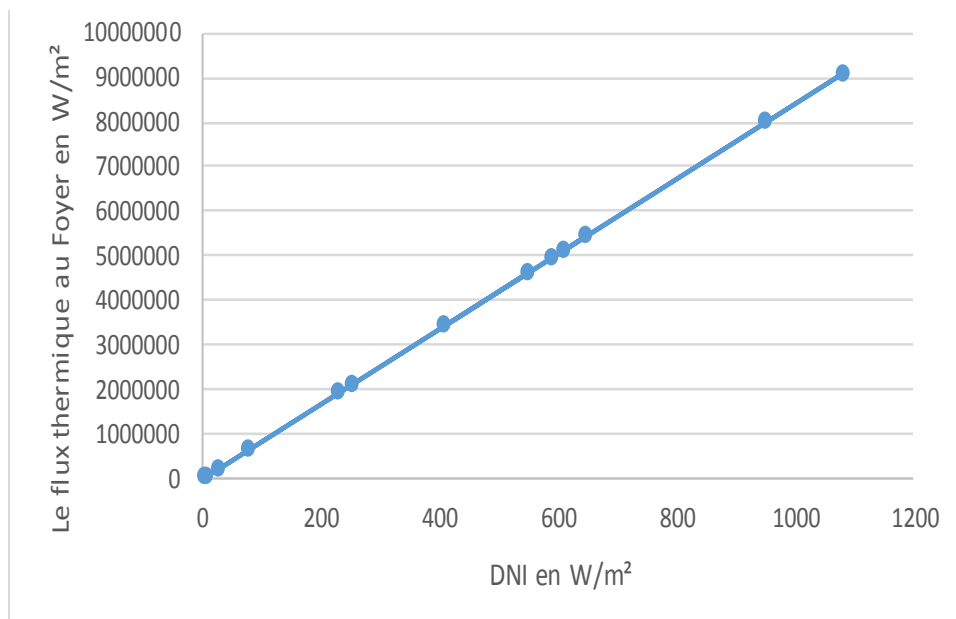


Figure III. 7: L'évaluation du flux thermique au foyer en fonction du DNI (par SolTrace).

Grâce à la Figure III. 7, on note la présence d'une proportion directe positive entre le rayonnement solaire direct et l'intensité du flux thermique surfacique. Les valeurs de l'intensité du flux thermique augmentent avec l'augmentation du rayonnement solaire direct reflétant les miroirs ; ceci est le vrai comportement physique qui se produit au cours de ces phénomènes physiques régis par les lois de la réflexion de la lumière.

En utilisant l'équation (III.7), la courbe de la Figure III. 8 a été obtenue, dont la Figure III. 8 illustre la variation de la température maximale au plan focal en fonction du rayonnement solaire direct.

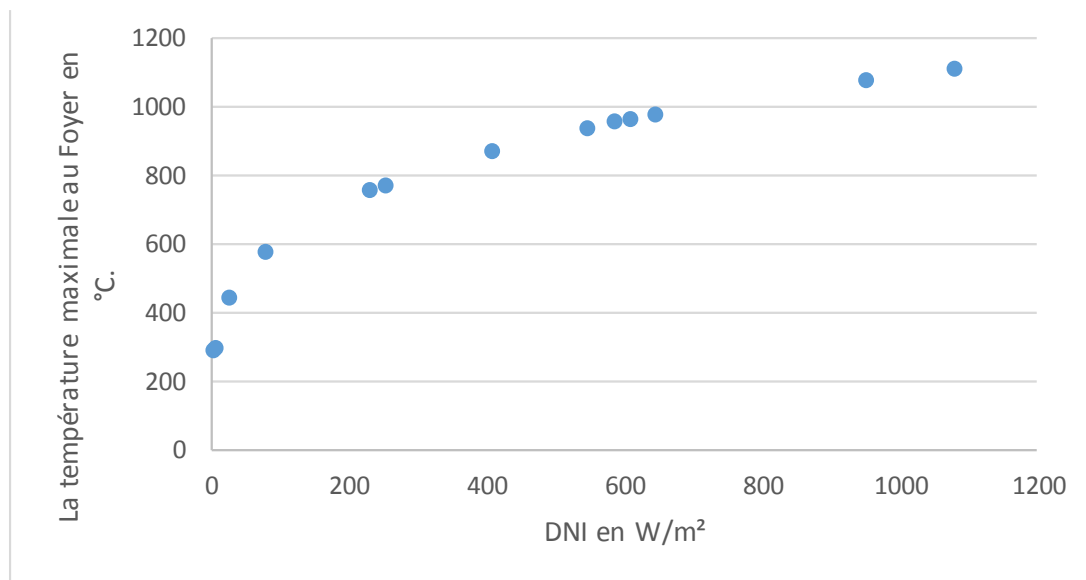


Figure III. 8: la température maximale au foyer en fonction de DNI (par SolTrace).

La valeur maximale de la température a atteint 1115,33°C avec une valeur du rayonnement solaire direct égal à 1179 W/m², dont le diamètre du concentrateur à miroir parabolique est égal à 1,15 m et la distance focale (f) est égale à 0.5 m. Cette température est très considérable, nous pouvons produire de l'électricité à travers elle.

III.3. Conception du moteur Stirling

Dans cette partie, nous allons expliquer le principe de fonctionnement du moteur Stirling, et donner une explication détaillée des étapes que nous avons vécues lors de la conception d'un modèle du moteur Stirling. Nous avons conçu notre modèle du moteur Stirling dans un atelier de conversion mécanique où toutes les pièces du moteur, y compris les machines rotatives et

les outils de fabrication du moteur Stirling, ont été fabriquées, car le traitement d'enlèvement de matière est la procédure la plus efficace en termes de qualité et de qualité, ainsi qu'en termes de gain de temps.

III.3.1. Conception des éléments du moteur Stirling

Il existe trois types de ces moteurs, nous avons choisi de mener l'étude du moteur Stirling type Gamma. Le choix de la géométrie du moteur change selon le superviseur de la conception selon sa science physique, mais le principe du travail thermodynamique reste le même. Avant de commencer à dresser la liste des étapes de la conception du moteur, nous allons mentionner quelques processus que chaque mécanicien doit savoir.

a) Les procédés d'usinage

L'usinage est un procédé de fabrication qui consiste à réduire progressivement les dimensions de la pièce par enlèvement de la matière à froid et sans déformation en utilisant un outil de coupe. La quantité de matière enlevée et dite copeaux et l'instrument avec lequel est enlevée la matière est appelé outil de coupe. L'opérateur utilise des machines dites machines-outils pour réaliser l'usinage d'une pièce. Les procédés d'usinage utilisés sont :

- **Le tournage :**

Le tournage est un procédé d'usinage permettant l'obtention des surfaces de révolution intérieures et extérieures. Il existe plusieurs types de Tournage, notamment :

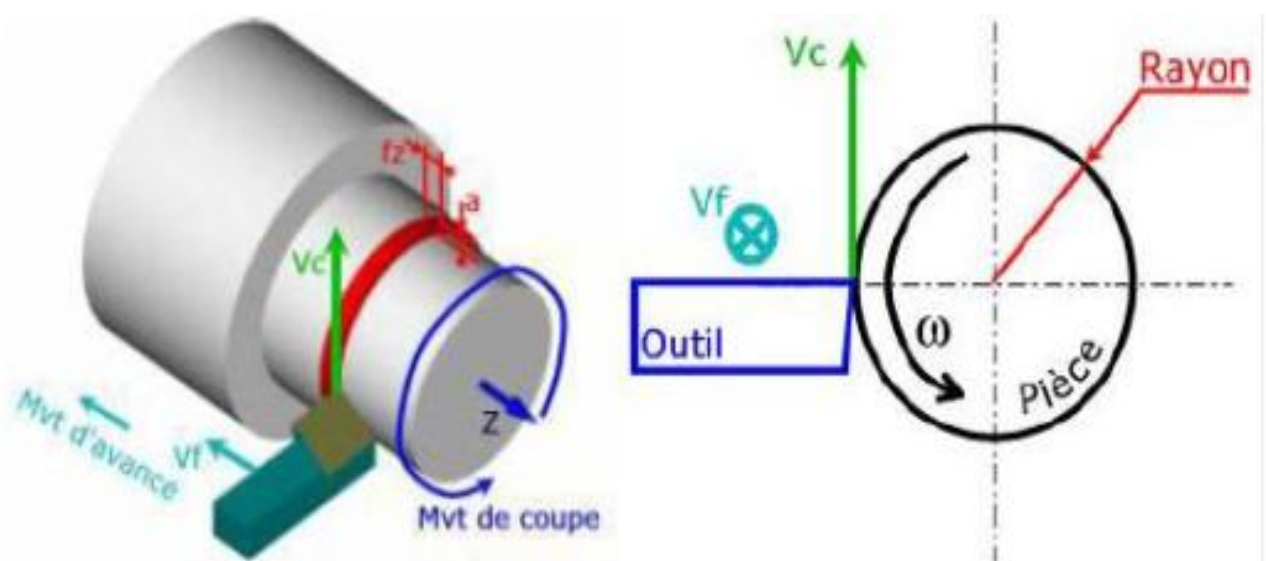


Figure III. 9: principe de l'opération tournage[90].

- Tournage extérieur (voir la Figure III. 10) : c'est un processus du tournage externe, il passe par les étapes suivantes :
 - Tournage longitudinal (chariotage, axe z), réalisation d'un diamètre ;
 - Tournage transversal (dressage, axe x), réalisation d'une face, d'un épaulement ;
 - Tournage par profilage ou contournage, réalisé par copiage ou utilisation d'une commande numérique ;
 - Tournage de gorges, dégagements ;
 - Filetage, réalisation d'un pas de vis ;
 - Tronçonnage.
- Tournage intérieur (voir la Figure III. 11) : c'est un processus du tournage interne, il passe par les étapes suivantes :
 - Alésage ;
 - Dressage ;
 - Tournage intérieur par contournage ;
 - Tournage de dégagement, gorges ;
 - Taraudage, réalisation d'un filetage intérieur ;
 - Cambrage.

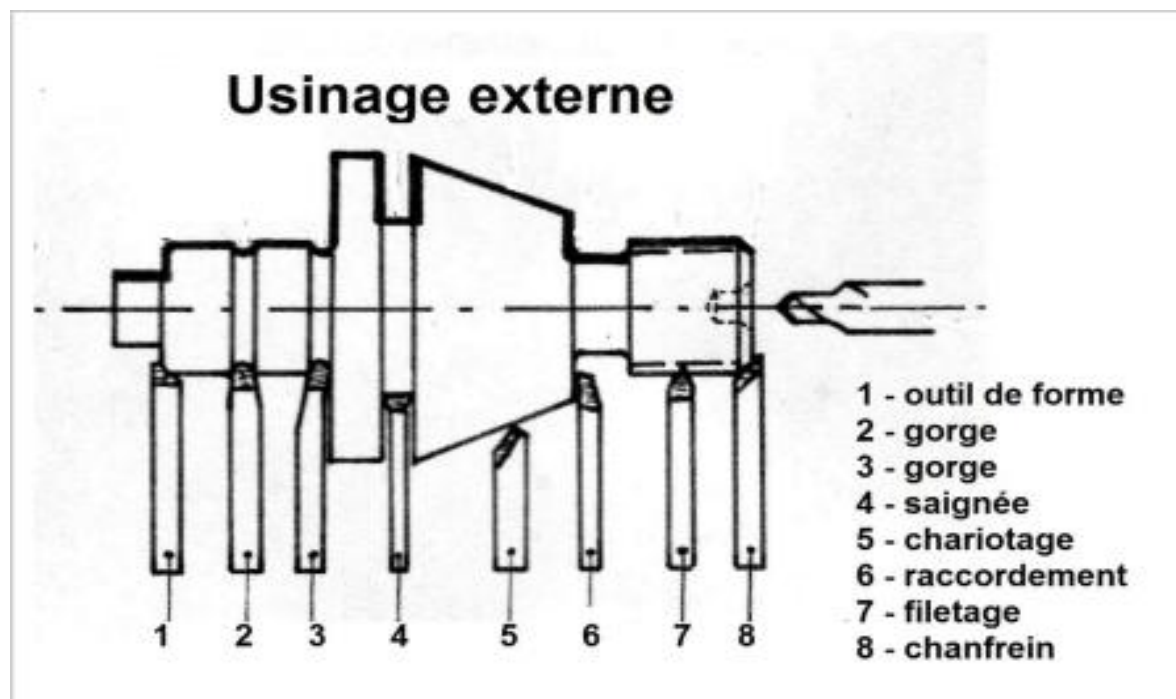


Figure III. 10: Usinage externe sur tour.

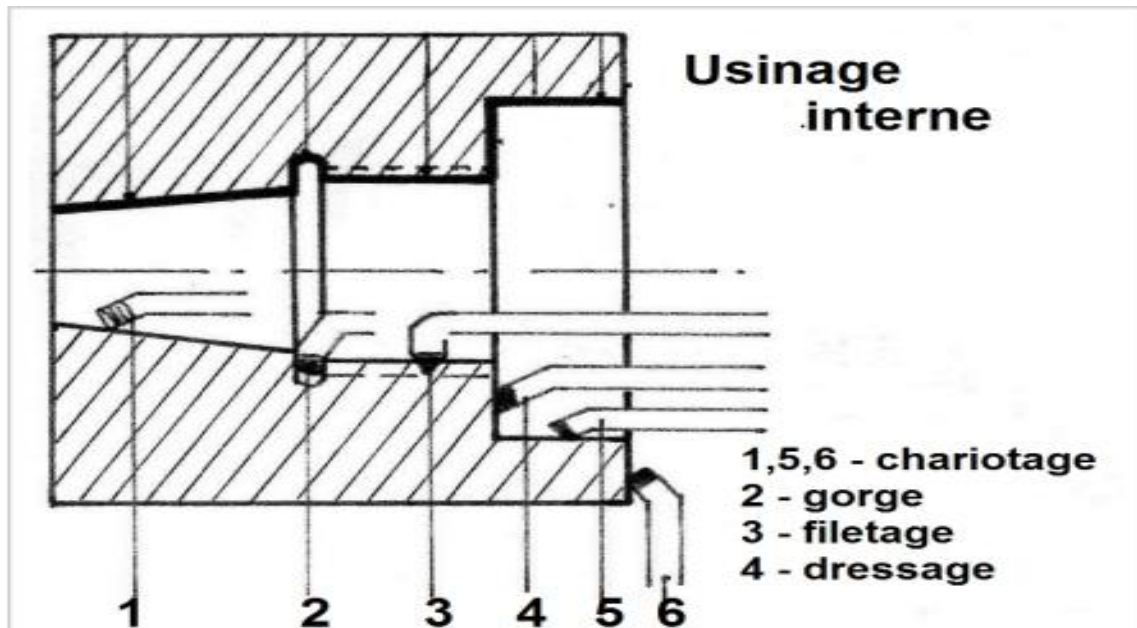


Figure III. 11: Usinage interne sur tour.

- Tournage de pièce métallique : c'est le chariotage d'une pièce métallique brute en tournage conventionnel, se fait typiquement en cinq opérations :
 - Écroûtage du brut : on enlève la couche extérieure, qui a un mauvais état de surface et contient de nombreux défauts (calamine, corrosion, fissures, inclusions, écrouissage important, ...) ; il s'agit d'une passe d'environ 0,5 à 1 mm ;
 - Contrôle du diamètre obtenu (au pied à coulisse voire au micromètre), ce qui permet de déterminer combien il faut enlever de matière pour arriver à la cote visée ;
 - Passes d'ébauche d'une profondeur de plusieurs mm, pour enlever la matière ;
 - Contrôle du diamètre avant finition ;
 - Passe de finition, d'une profondeur inférieure à 0,5 mm mais supérieure au copeau minimum, afin d'avoir une bonne tolérance dimensionnelle et un bon état de surface.

- **Le fraisage**

Le fraisage est un procédé d'usinage réalisable sur des machines-outils appelées fraiseuses. Il permet la réalisation des pièces prismatiques ou de la révolution de profils spéciaux tels que les hélices, cames, engrenages.

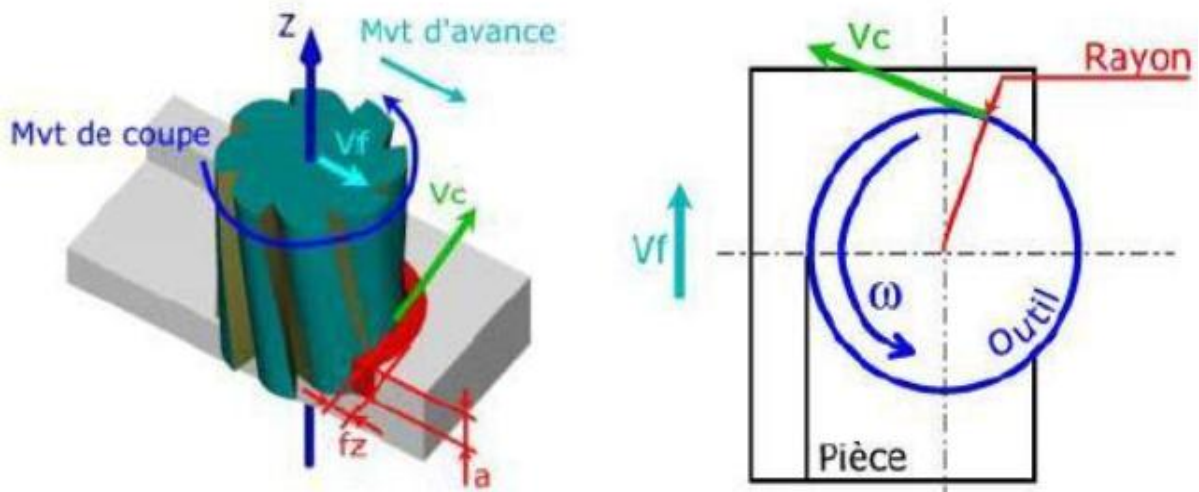


Figure III. 12: Principe de l'opération fraiseage[90].

b) Réalisation des éléments du moteur Stirling

Ce moteur est réalisé spécialement pour cette étude. Toutes les pièces ont été usinées en atelier, c'est une phase très longue dans notre étude, Les pièces usinées sont : le cylindre froid, le cylindre de puissance, le piston de puissance, le déplaceur et son fond, le régénérateur, la bague de fixation du tube pyrex, l'axe et la chape du déplaceur, les bielles du piston et du déplaceur, les paliers, les ensembles roues-manivelles.

• Fabrication du radiateur

Afin de réaliser le moteur gamma de type Stirling, nous avons effectué des recherches sur certaines formes de l'ensemble contenant des pièces préfabriquées. Dans ce groupe, les matériaux utilisés pour fabriquer les pièces sont variés, ils contiennent de l'acier et de l'aluminium mais aussi du cuivre ou du verre.

Dans la plupart des cas, le choix du matériau pour les pièces est directement lié à la fonction qui nous est confiée. Il existe donc différentes normes pour l'utilisation des matériaux. Notre moteur ce devrait être les critères principaux, y compris, il doit avoir une grande résistance à la fatigue pendant les frottements élevés, il doit avoir une bonne résistance aux variations de température, il doit avoir un prix de conception raisonnable, il doit être facile à concevoir et il devrait convenir à l'environnement dans lequel il sera placé. Pour cela, nous avons donc choisi nos matériaux de conception en fonction des caractéristiques Physiques, Mécanique, et aussi pour des raisons économiques.

Pour un excellent rendement thermique du radiateur, un matériau ayant un excellent coefficient d'échange thermique doit être utilisé, à cette fin nous avons choisi l'aluminium pour la conception du radiateur.



Figure III. 13: Photo du lingot d'aluminium.

L'aluminium est un métal à prix raisonnable et possède de bonnes propriétés thermiques. Il a une bonne résistance thermique. Il est très léger. En plus du fait qu'il peut être facilement formé et usiné pour l'obtention aisément d'un radiateur ayant une grande surface de contact pour maximiser les échanges d'énergie thermique. La Figure III. 14 et la Figure III. 15 montrent le radiateur pendant et après la conception. Plusieurs processus de fabrication (Sculpture, intégration coupe, trou, filetage ... etc.) que nous avons passés afin d'atteindre la forme du radiateur montrée dans la Figure III. 15.



Figure III. 14: Photo de la fabrication du radiateur.



Figure III. 15: Photo du radiateur du moteur Stirling Gamma.

- **Réalisation du piston moteur**

Le moteur à piston est exposé au frottement, afin d'être résistant à la corrosion, nous l'avons fabriqué en cuivre car ce matériau est résistant à l'usure et facile à installer.



Figure III. 16: *Photo du piston moteur au tour.*



Figure III. 17: *Photo du piston moteur.*

- **Roues motrices**

Nous avons deux roues percées comme le montre la Figure III. 18. Les roues sont en aluminium et sont perforées pour réduire leur poids, ce qui permet de faire tourner le moteur plus rapidement.



Figure III. 18: *Photo de la roue motrice.*

- **Cylindre du piston mobile**

Le cylindre du piston a été sélectionné à partir du cuivre afin de maintenir la température dans la chambre de chauffage.



Figure III. 19: *Photo du cylindre du piston.*

La réalisation du piston mobile nécessite un travail soigné, car l'enlèvement de matière sous forme de copeaux avec l'existence de la cavité à l'intérieur du cylindre et la tension entre les mâchoires du contexte rendent le procédé très difficile, car l'aluminium est très sensible lors de la coupe.

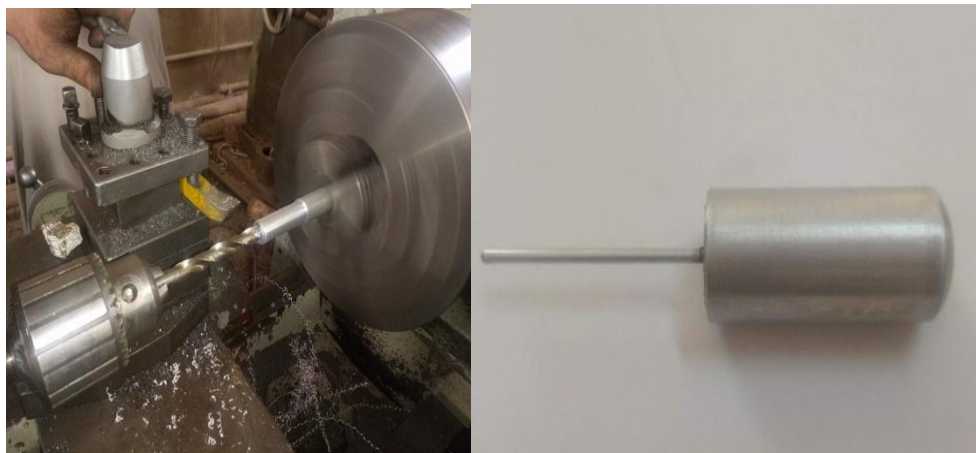


Figure III. 20: *Photo du piston mobile.*

Le mouvement du moteur à piston est le résultat des changements de pression, cela est dû aux changements de température, il aura une grande exposition au frottement, il doit donc être en aluminium métallique.

- **Bielle motrice du piston moteur**

Pour la bielle motrice du piston, nous avons choisi un matériau fabriqué à partir de la scie (HYLTY SENOR) car sa conception se conforme exactement au moteur à piston.



Figure III. 21: *Les bielles motrices du Piston moteur.*

Cette bielle est une pièce mécanique qui relie deux articulations des axes, elle permet la conversion de la rotation continue en fréquence. Ici, nous soulignons que l'acier fait à la main est utilisé comme matériau discutable dans le cas des rails de fixation. En effet, ils sont les pièces les plus sollicitées pendant le fonctionnement du moteur, ils doivent donc être suffisamment résistants pour supporter une utilisation prolongée.

III.3.2. Montage du moteur Stirling

a) Mise au point

Nous voilà donc avec 27 pièces usinées à notre disposition pour assembler notre moteur Stirling type Gamma. Nous avons remplacé l'acier par de l'aluminium et du cuivre. Nous avons considéré que ces changements n'auront aucune incidence sur les capacités des parties concernées. Nous avons fait exclusivement en aluminium.

L'aluminium a été choisi car il a un coût faible et est facile à usiné. En effet, il a pour propriétés physique d'être un métal malléable, ductile, légers et malgré tout résistant et se corrode très peu. Avec ces propriétés, l'aluminium est donc un bon métal pour permettre les ajustements serrés lors du montage de notre moteur.

b) L'ajustement mécanique

Mis à part les supports balancier, le cylindre, les supports essieux, le cylindre chauffant et les pieds fixés par des vis, la plupart des autres pièces (sauf la chemise et le piston mobile) sont mobiles et seront donc fixées par ajustements mécaniques.

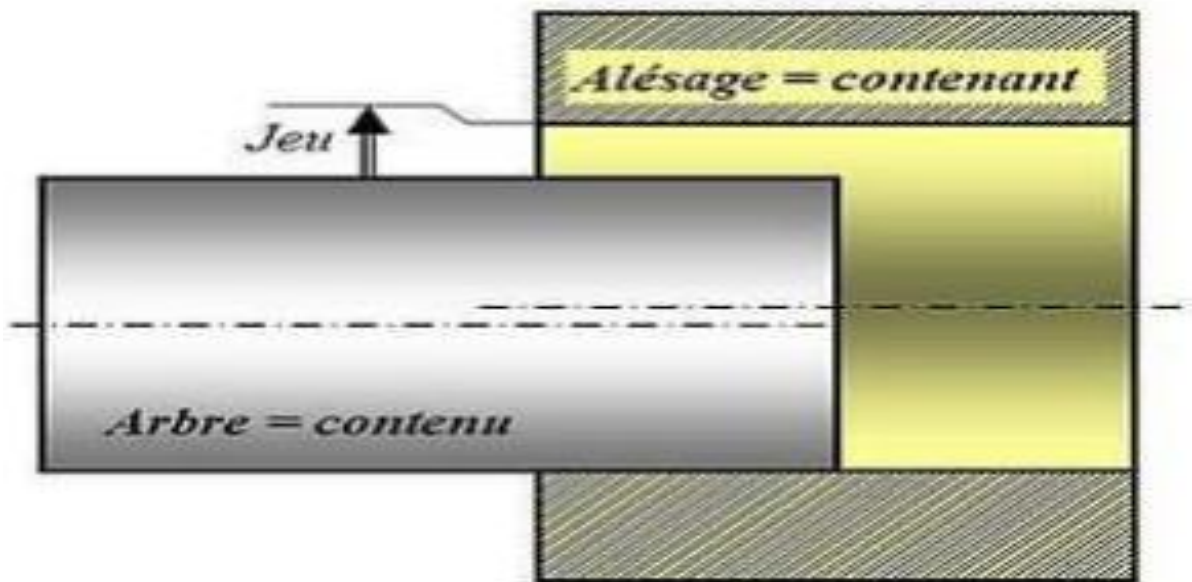


Figure III. 22: L'ajustement mécanique[91].

Un ajustement est l'assemblage d'une pièce extérieure contenante (alésage) et d'une pièce intérieure contenue complémentaire. Les pièces femelles (alésage) et mâle (arbre) ont la même dimension nominale mais des tolérances différentes.

c) Assemblage du moteur Stirling gamma

Après la phase de fabrication, nous avons démarré la phase d'assemblage du moteur, mais après vérification des pièces et mesure notamment des dimensions fonctionnelles, l'installation entre le cylindre mécanique et le tube de refoulement est plus sensible, car il fallait inclure les tubes dans les deux autres parties. La dernière étape consiste à attacher tous les éléments cinétiques à travers les tiges et les barres métalliques. La Figure III. 23 montre le moteur stabilisé et enfin lubrifier toutes les pièces exposées au frottement.

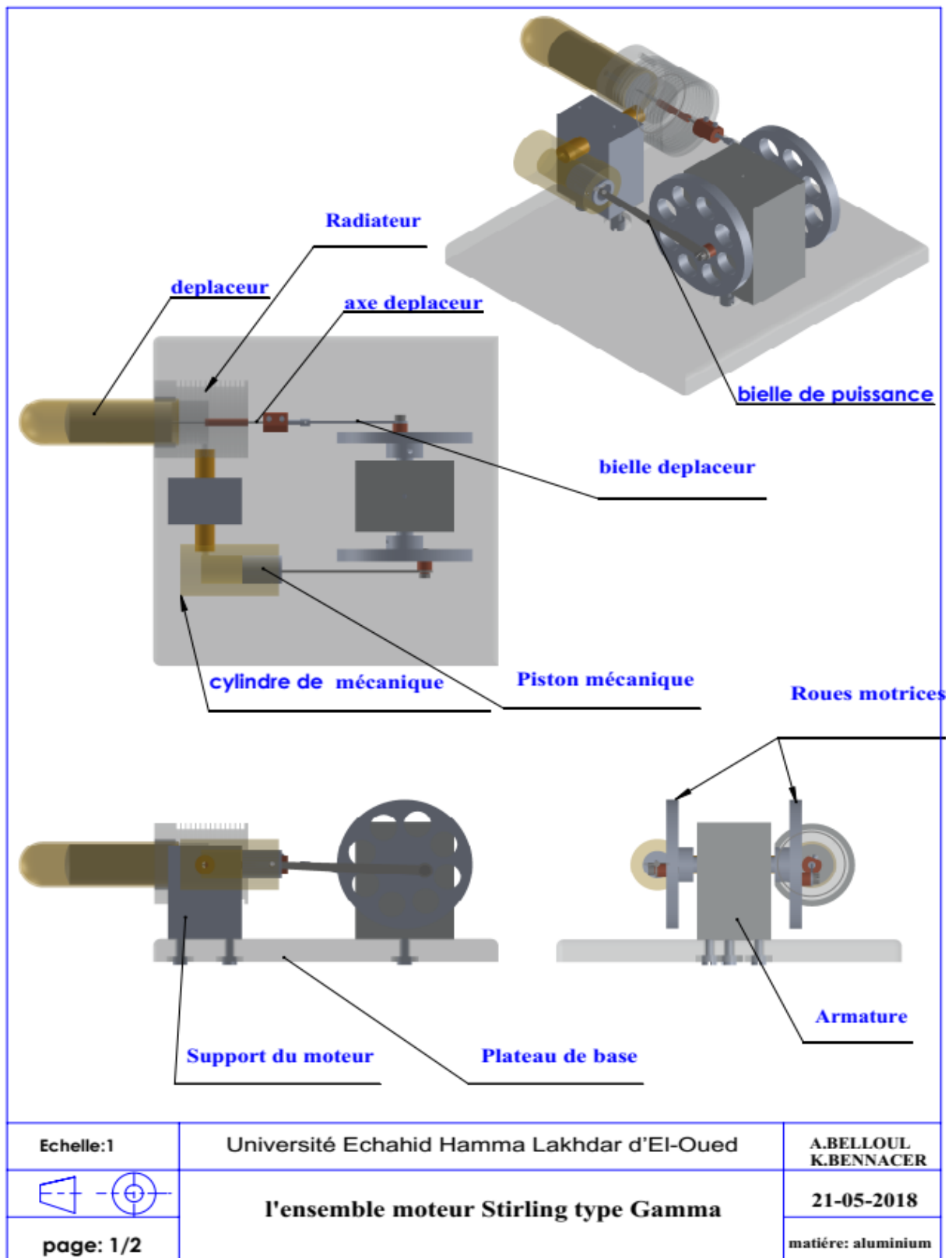


Figure III. 23: Vue générale du moteur Stirling.

III.3.3. Les étapes de la réalisation du moteur Stirling

Au cours de cette étude et qui a pour but la réalisation d'un moteur Stirling, il était indispensable d'adopter des fondements scientifiques précis et concernant les matériaux utilisés, qui ont été sélectionnés en fonction de la disponibilité sur le marché, en tenant compte de leur prix. Pour cela on a pris en compte :

- Le délai de réalisation : de Février 2018 au Mai 2018 ;
- L'atelier de la conception : Entreprise GHAMAM (Ali GHAMAM) et ses fils, Hassi Khalifa, El-Oued ;
- Les machines utilisées pendant la conception : un tour, une fraiseuse, une perceuse, papier de verre et de la colle métallique ;
- Matériaux utilisés pour la conception : aluminium, cuivre, acier, bois, vis M3, vis M4, clous métalliques, câbles de roues d'une motocyclette et clous de petite taille.

Pour la procédure de la conception, le processus de réalisation a été effectué en trois étapes :

a) Phase de préparation

En ce qui concerne les étapes que nous avons adoptées pour construire ce moteur modèle, nous nous sommes appuyés sur des références scientifiques antérieures, et des vidéos sur Internet pour faciliter le processus de construction. Nous avons travaillé sur l'utilisation des matières premières sur le marché local, avec un prix acceptable pour construire ce modèle pour le moteur. Par conséquent, ces points doivent être pris en compte avant de commencer la conception :

- On a eu recours à des matériaux locaux disponibles sur le marché local par exemple l'utilisation de l'aluminium dans la fabrication des pistons ;
- La nécessité d'utiliser des matériaux légers parce que ce moteur sera accouplé avec un concentrateur solaire parabolique et il va y avoir des vibrations. En plus il faut essayer d'éliminer une grande partie des frottements entre les pistons et les chemises ;
- Pour atteindre le point le plus élevé, il est nécessaire de diversifier les matériaux utilisés dans les points de friction ;
- Choisir des matériaux ayant une bonne conductivité thermique tel que le cuivre, le verre au point exposé à haute température contrairement aux autres pièces qui doivent avoir moins de conductivité thermique ;

- Faire des estimations de la qualité des matériaux utilisés ce qui était comme suit :
 - Un tube en cuivre : diamètre 5 cm et longueur 30 cm ;
 - Un tube en aluminium : diamètre 5 cm et longueur 30 cm ;
 - Un tube en aluminium : diamètre 8 cm et longueur 12 cm ;
 - Un cube en aluminium : 15 cm - 8 cm à hauteur : 8 cm ;
 - Une planche en bois : 14×14×2cm ;
 - 6 vis M3 et 4 vis M4 ;
 - Une lame de scie a été utilisée afin de fabriquer des bielles ;
 - Des rayons d'une roue de motocyclette ont été utilisés en tant que bras pour réunir le piston déplaceur avec la bielle. Le nombre de rayons est 2 avec une longueur de 20 cm et 2 mm de diamètre.

b) Phase de planification

A cette étape, un plan d'action a été mis en place pour diriger le processus de la conception du moteur Stirling. Les points qui ont été préparés pour le succès de ce programme sont les suivants :

- La préparation de dessins industriels des 27 pièces du moteur sur des feuilles A4 ;
- L'achèvement du moteur avec ses dimensions dessinées sur le fameux programme SOLID WORKS ;
- Choisir l'atelier approprié pour commencer la réalisation « Atelier GHAMAM Ali et ses Fils » ;
- Fourniture des matériaux entrant dans la conception ;
- Etablir un programme de travail pour la réalisation des diverses pièces.

c) Phase de mise en œuvre

Cette étape est l'étape actuelle de la construction des éléments du moteur. Ces éléments sont :

- Les deux roues en aluminium (la Figure III. 18) ;
- Le radiateur en aluminium (la Figure III. 15) ;
- Les deux pistons en aluminium (la Figure III. 17& Figure III. 20) ;
- Les deux bielles en acier (la Figure III. 21).

Après l'assemblage et l'installation des composants du moteur, nous pouvons obtenir le moteur Stirling comme indiqué dans la Figure III. 24.

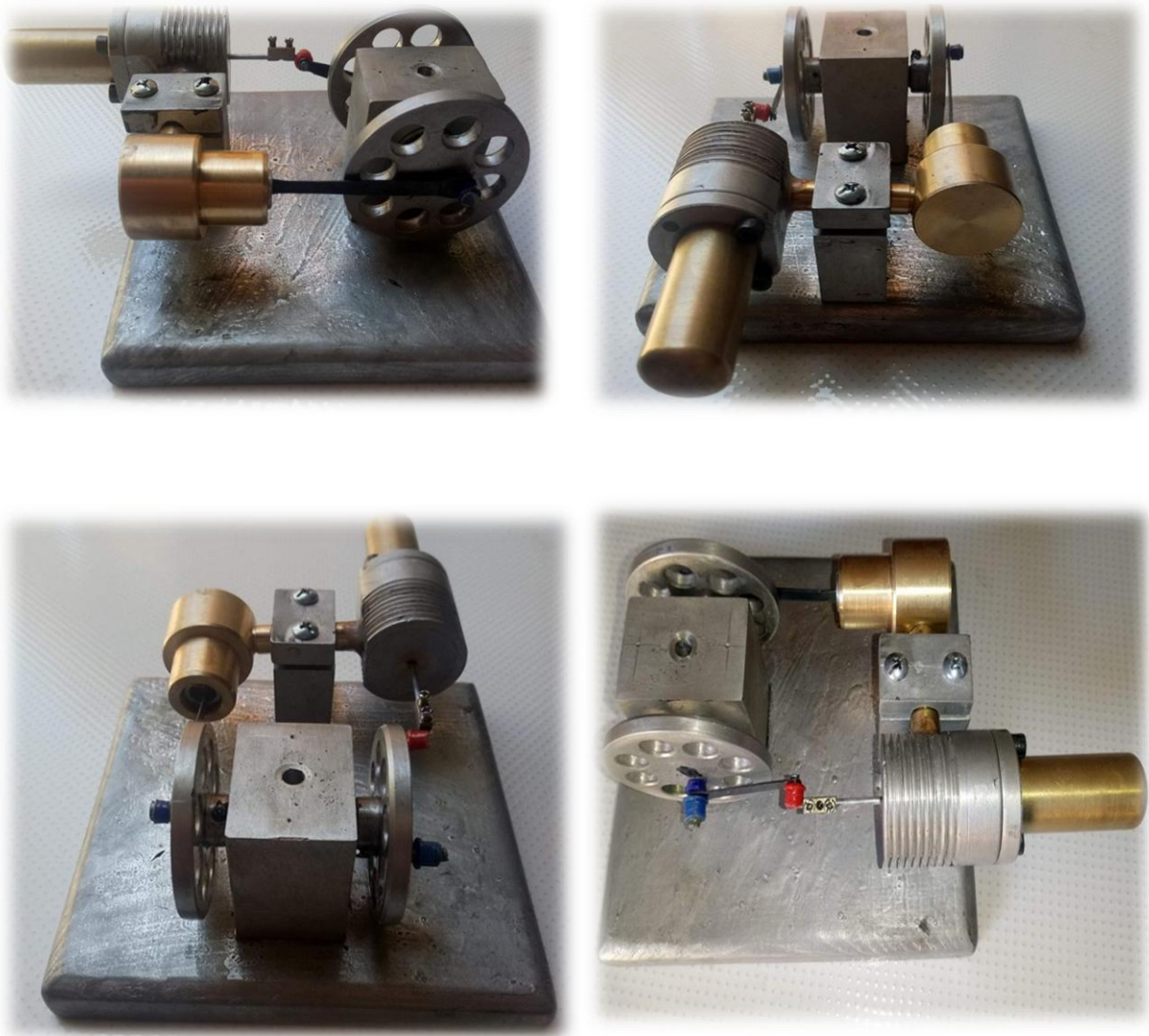


Figure III. 24: *Le moteur de Stirling après l'assemblage.*

III.3.4. Problèmes rencontrés pendant la mise en œuvre

Au cours de la mise en œuvre, nous avons dû fabriquer un certain nombre de pièces de base. Mais nous avons rencontré des problèmes, notamment :

- Pour les deux pistons, en effet après avoir réalisé ces deux pistons, on a réalisé qu'ils étaient de mauvaises qualité et c'est dû à la mauvaise qualité de la plaque d'aluminium utilisée car elle n'était pas suffisamment pure ;

- Quand on a essayé de relier les deux chemises entre elles par le tube en cuivre, on a essayé de le souder dans son extrémité en utilisant le cuivre mais cette opération a échoué car il y a eu des déformations dans les extrémités parce que la soudure en cuivre demande une température plus élevée et c'était très difficile pour les petites pièces comme dans notre cas c'est pourquoi on a fabriqué les deux chemises une deuxième fois et on les a reliées en utilisant la pression ;
- A l'origine c'était prévu l'utilisation de la pièce (cylindre du piston mobile) un tube en verre d'un diamètre de 20 mm mais comme il n'était pas disponible dans un temps record on l'a remplacé par un tube en cuivre.

Pendant tout le processus, nous avons remarqué un certain nombre d'obstacles, notamment :

- Le premier problème était que nous devions fournir les matériaux utilisés parmi les matériaux, le flacon de 20mm (Cylindre du piston déplacer) n'était pas disponible sur le marché, nous avons donc dû le remplacer par du cuivre, en raison de ses caractéristiques de transport à des températures élevées ;
- Lorsque le cylindre froid et le cylindre chaud sont assemblés avec le tube de raccordement, nous n'avons pas pu à le brancher à la prise secteur. Nous avons rencontré un problème où le cylindre froid avec le conduit s'est foutu et nous avons dû les fabriquer ;
- Pour le miroir parabolique, nous n'avons pas trouvé la forme circulaire mais nous avons trouvé la forme ovale que nous avons utilisée. Cela nous a créé des problèmes en y mettant le verre ;
- De plus, le problème du temps était plus important là où nous ne pouvions pas obtenir de meilleurs résultats.

III.3.5. Mise en place du moteur Stirling sur la parabole

Nous avons utilisé un miroir parabolique de 115 cm de diamètre, en suite on a fait quelques améliorations au niveau du réglage, après nous avons réalisé une plaque de fer circulaire avec deux côtés, nous avons ensuite utilisé une plaque de verre de 120 cm et découpé en petits carrés de 4×4 cm. Ensuite, on a mis le matériau de silicone sur le devant du fond et y mettons les petits morceaux de verre.



Figure III. 25: Image du moteur Stirling connecté au concentrateur à miroir parabolique.

En ce qui concerne le coût de conception, cet appareil est dans la gamme de 30000 DA. Ce coût est acceptable malgré les nombreux obstacles rencontrés lors de la construction. Poids du moteur après la fabrication est dans la gamme de 625 g.

III.3.6. Essai du moteur

C'est l'étape la plus importante de notre étude : nous avons mis le moteur en place dans un endroit libre, où il peut fonctionner avec une quantité importante de rayonnement solaire direct pour la concentration au point focal.

Maintenant, nous allons énumérer quelques points importants que nous avons abordés au cours du processus de conception et du test du moteur :

- La recherche de matériaux pour la conception des moteurs : certains sont facilement disponibles et d'autres difficiles ;
- Le propriétaire de l'atelier, qui a parfois été en désaccord avec le calendrier de la conception du moteur, en raison de sa relation avec ses clients.

III.4. Conclusion

À travers ce chapitre, nous avons abordé les dimensions géométriques du miroir réfléchissant, nous avons effectué une étude thermique, puis nous sommes allés à une explication détaillée des éléments de la composition du moteur que nous avons installé. Pour référence seulement, nous avons fabriqué les éléments moteurs au niveau de l'atelier mécanique "Ghamam".

Chapitre IV: Simulation par l'utilisation de Greenius

IV. Simulation par l'utilisation de Greenius

IV.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous allons découvrir Greenius, un puissant programme de simulation pour le calcul et l'analyse de projets d'énergie renouvelable avec électricité. Ce programme fournit un ensemble de calculs techniques et économiques détaillés nécessaires pour planifier et mettre en œuvre des projets d'énergie renouvelable.

Greenius a été développé au Centre spatial allemand (DLR). Dr. Rainer Kistner, Dr. Winfriedertmanns, Dr. Volker Kouchning et Dr. Jürgen Dersch font partie de l'équipe de développement. La vente, la distribution et le service sont sous Déclaration DLR[[92](#),[93](#),[94](#)].

IV.2. Présentation de logiciel

Greenius est un logiciel de simulation qui permet l'analyse des projets d'énergie renouvelable comme l'énergie solaire thermique ; tour solaire, centrale cylindro-parabolique et collecteur Fresnel. En plus, il est capable d'analyser les projets d'autres systèmes comme photovoltaïques, les parcs éoliens ou les systèmes paraboliques Stirling. Il est conçu pour le but de minimiser les risques des projets de producteurs autonomes d'électricité renouvelable en calculant leurs performances techniques, financières et environnementales à partir des données météorologiques horaires au format TMY3. Ces données météorologiques sont obtenues à partir d'un logiciel METRONORM qui peut nous aider à estimer les données météorologiques contenant des données climatologiques pour les applications d'énergie solaire à tous les endroits du globe.

Dans ce travail, nous avons étudié le fonctionnement d'une centrale solaire fonctionnant à base de technologie parabolique Stirling (Dish-stirling), qui contient 5 paraboles couplées avec un moteur Stirling de 5 kW, soit d'une puissance de 25 kW sous les conditions climatiques de la ville d'El-oued. Cette simulation nous a permis de prédire correctement l'influence des paramètres météorologiques (ensoleillement directe normale, la température ambiante, la densité de l'air (altitude), l'angle d'élévation du soleil et la vitesse du vent) sur la performance du système et la puissance produite.



Figure IV. 1 : *Fenêtre d'ouverture de GREENIUS.*

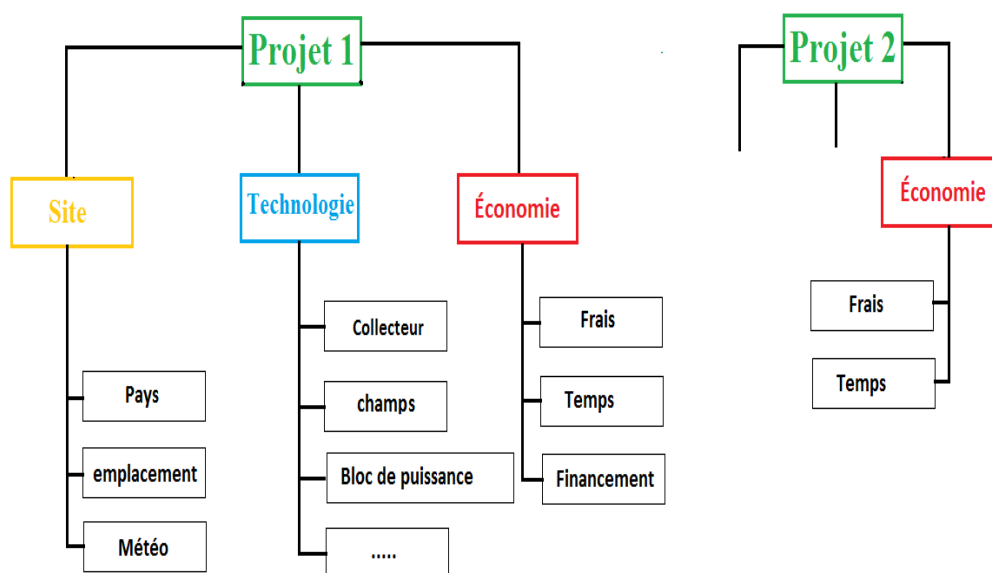


Figure IV. 2 : *le processus de fonctionnement du logiciel de Greenius.*

Pour effectuer des simulations sur Greenius, il faut d'abord savoir comment Greenius traite les projets. D'après la Figure IV. 2, qui nous donne le processus de fonctionnement du logiciel et montre toutes les informations dont nous avons besoin comme le choix de site, la technologie à étudier, et les informations économiques du projet (délai de réalisation, investissement, et le financement du projet).

IV.3. Etude de performances

- La puissance électrique totale est donnée par [95]:

$$P_{gross} = \begin{cases} a \cdot E_{cor} + b & \text{si } E_{DNI} \geq E_{DNI.min} \\ 0 & \text{autre} \end{cases} \quad (IV.1)$$

Avec ;

E_{cor} Irradiation corrigée en W/m²

E_{DNI} Irradiation normale directe en W / m²

$E_{DNI.min}$ Irradiation normale directe minimale pour la génération de départ en ($\frac{W}{m^2}$)

a : Modèle de performance constant en We / (W/m²)

b : Modèle de performance constant dans (We)

- L'irradiation corrigée est donné par la formule suivante :

$$E_{cor} = E_{DNI} \cdot f_{ref} \cdot f_{Temp} \quad (IV.2)$$

Avec ;

f_{ref} : Facteur de correction de réflexion

f_{Temp} : Facteur de correction de température

- L'équation de base de la courbe DNI-Power est donnée par :

$$P_{net} = \eta_{shad} \cdot \rho \cdot cf \cdot IC \cdot A \cdot \eta_{track} \cdot \eta_{abs} \cdot \eta_{eng} \cdot \eta_{gen} \cdot f_{temp} \cdot E_{DNI} - P_{th,losses} - P_{par} \quad (IV.3)$$

$$f_{ref} = \eta_{shad} \cdot \rho \cdot cf \cdot IC \quad (IV.4)$$

$$a = A \cdot \eta_{track} \cdot \eta_{abs} \cdot \eta_{eng} \cdot \eta_{gen} \cdot \quad (IV.5)$$

$$b = -P_{th,losses} \quad (IV.6)$$

$$P_{net} = f_{ref} \cdot a \cdot f_{temp} \cdot E_{DNI} + b - P_{par} \quad (IV.7)$$

- Le facteur de correction de réflexion est donné par :

$$f_{ref} = f_{obstruction} \cdot f_{Interception} \quad (IV.8)$$

Avec ;

$f_{obstruction}$: Facteur d'obstruction et de blocage

$f_{Interception}$: Facteur d'interception

- Le facteur de correction de température est donné par [96,97]:

$$f_{Temp} = \left\{ \frac{\frac{\vartheta_{norm,amb} + 273.15 \text{ } ^\circ\text{C}}{\vartheta_{amb} + f_{ref} \cdot E_{DNI} \cdot C_{cooler} + 273.15 \text{ } ^\circ\text{C}}}{\frac{\vartheta_{up.stirling} - (\vartheta_{amb} + f_{ref} \cdot E_{DNI} \cdot C_{cooler})}{\vartheta_{up.stirling} - \vartheta_{norm,amb}}} \right\} \quad (IV.9)$$

Avec ;

$\vartheta_{norm,amb}$: Température normalisée pour le modèle de performance en (°C) ;

ϑ_{amb} : Température ambiante réelle en (°C) ;

$\vartheta_{up.stirling}$: Température supérieure de Stirling en (°C) ;

C_{cooler} : Constante de refroidissement en (°C. m² /W).

- Les parasites sont donnés par :

$$P_{parasites} = \begin{cases} P_{oper} & \text{pour } E_{DNI} \geq E_{DNI.min} \\ P_{sleep} & \text{pour } E_{DNI} < E_{DNI.min} \end{cases} \quad (IV.10)$$

- La puissance de la grille est donnée par :

$$P_{grille} = P_{brut} - P_{parasites} \quad (IV.11)$$

Avec ;

P_{grille} : Puissance de la grille

P_{brut} : Performance brute en W

$P_{parasites}$: parasites totales en W

IV.4. Analyse des données de simulation

IV.4.1. Emplacement du projet

L'emplacement du projet a été choisi à la ville de El-oued, en effet tous les données nécessaires doivent être transmises dans le programme de simulation GREENIUS comme les données géographiques, les données de structure de la terre l. La latitude, la longitude et le fuseau horaire qui sont la référence pour tous les calculs de la position solaire. Par conséquent, ils sont choisis soigneusement. Ce paramètre est employé pour estimer la vitesse de vent dans la taille de pivot sur la base de la vitesse du vent dans la taille de mesure de référence.

Ce logiciel permet de calculer les huit paramètres météorologiques pendant 8760 heures pour une année de référence :

- La température ambiante ;
- La pression atmosphérique ;
- L'humidité ;
- Le rayonnement global ;
- Le rayonnement normal direct ;
- Le rayonnement diffus ;
- La direction du vent ;
- La vitesse du vent.

IV.4.2. Données météorologiques

Pour obtenir les paramètres de météo dont nous avons besoin, nous avons utilisé le logiciel nommé METEONORM, qui peut nous aider à estimer les données météorologiques contenant des données climatologiques pour les applications d'énergie solaire, dans notre étude c'est la ville d'El-Oued.

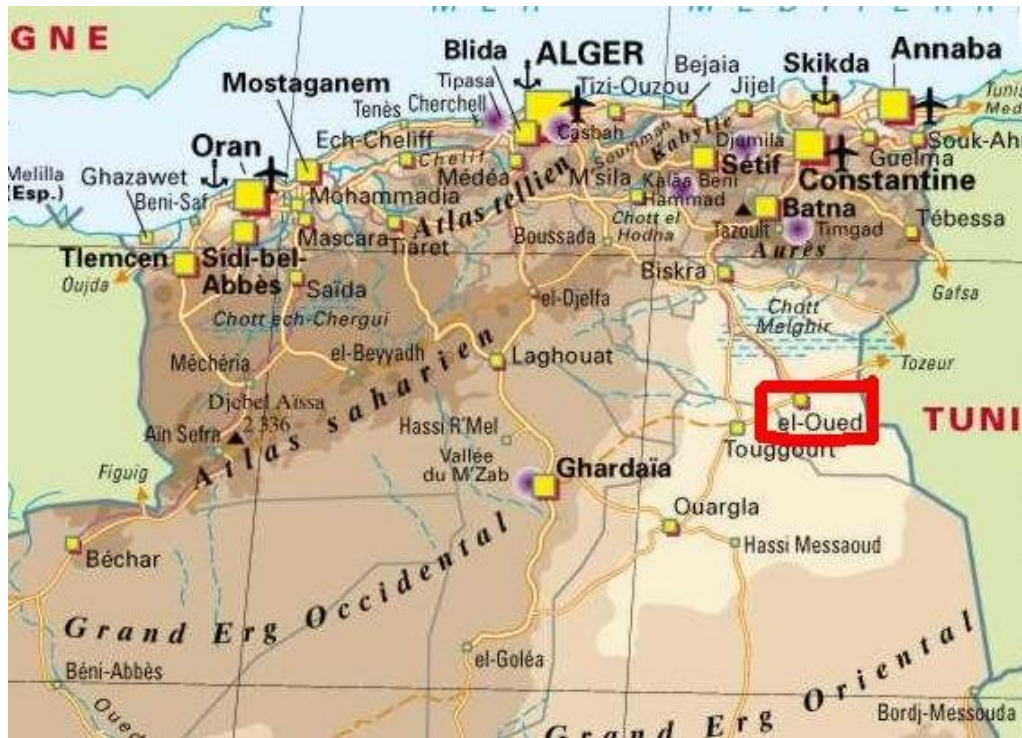


Figure IV. 3 : choix de site d'installation de centrale.

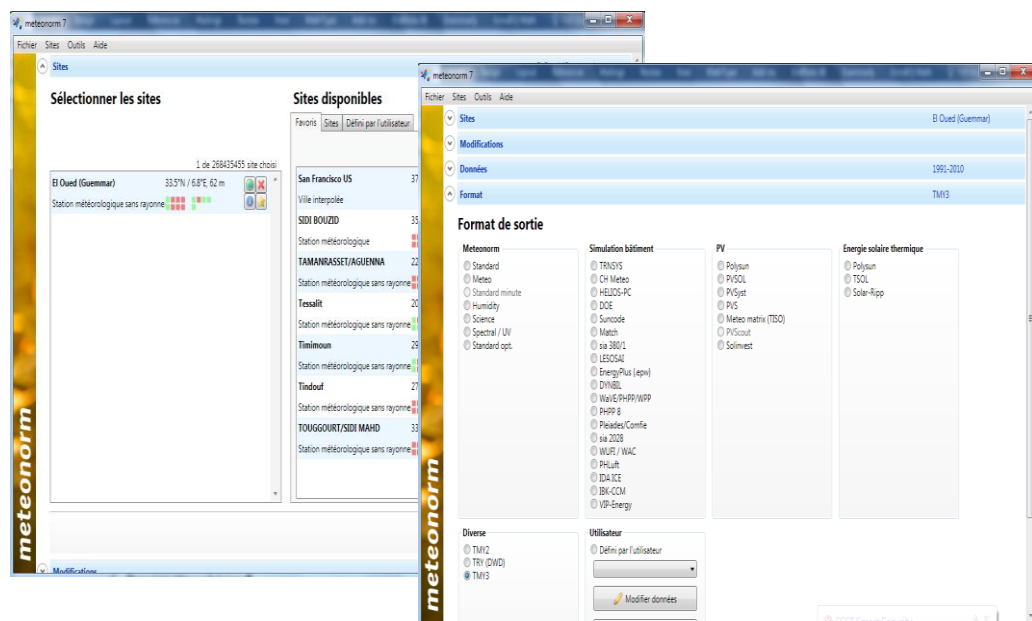


Figure IV. 4 : Fenêtre de choix de site et l'obtention de fichier data météo.

IV.4.3. Choix de la technologie

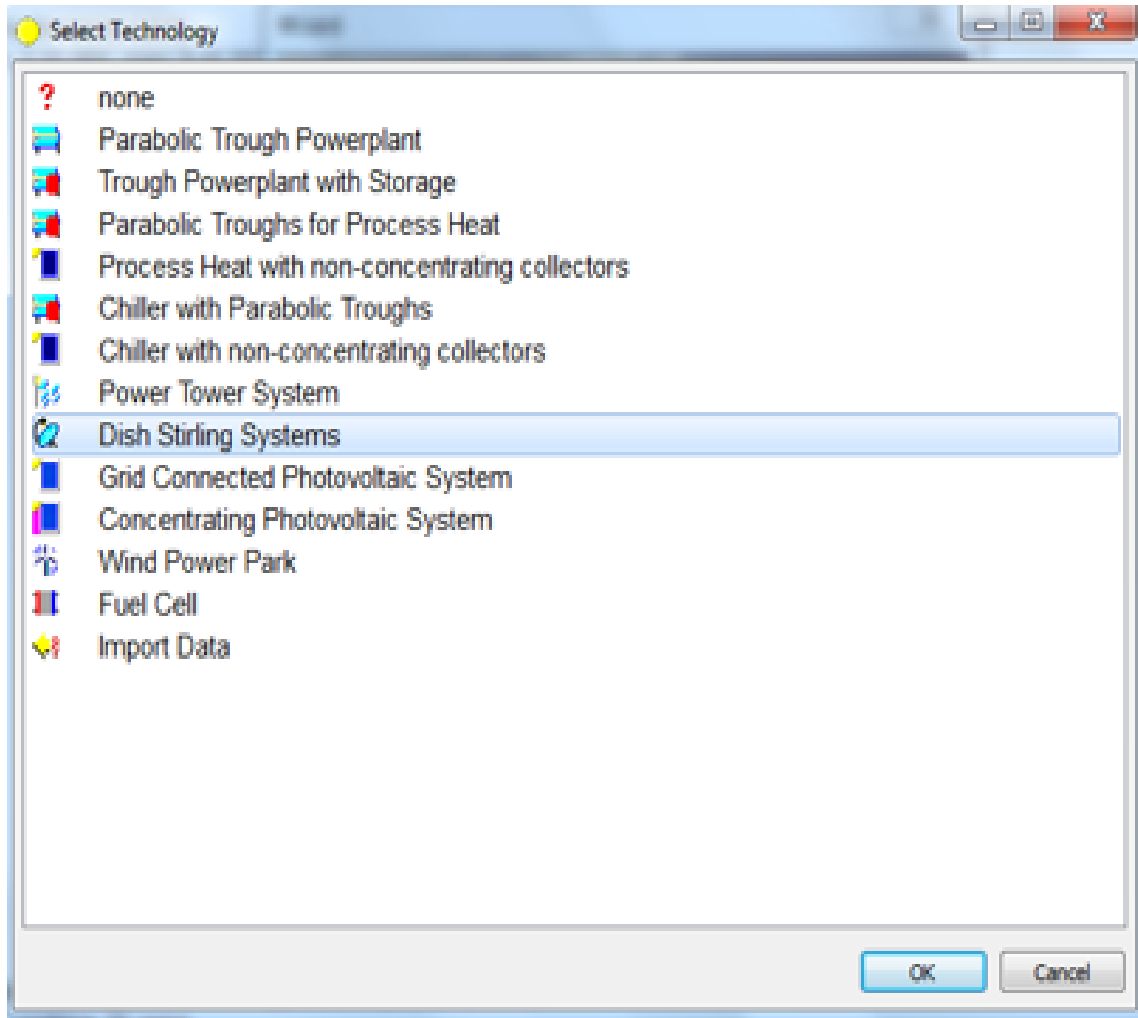


Figure IV. 5 : Fenêtre du choix de la technologie.

A travers la Figure IV. 5, nous pouvons choisir les technologies à étudier :

- Centrales thermiques solaires de cuvette ;
- Systèmes solaires paraboliques ;
- Concentration des systèmes photovoltaïques ;
- Parcs d'alimentation électrique par conversion éolienne ;
- Systèmes paraboliques de cuvette de stockage.

Les paramètres techniques sont présentés dans la figure ci-dessous.

IV.4.4. Les paramètres météorologiques :

Les données entre par logiciel métronome affiché dans la figure suivante.

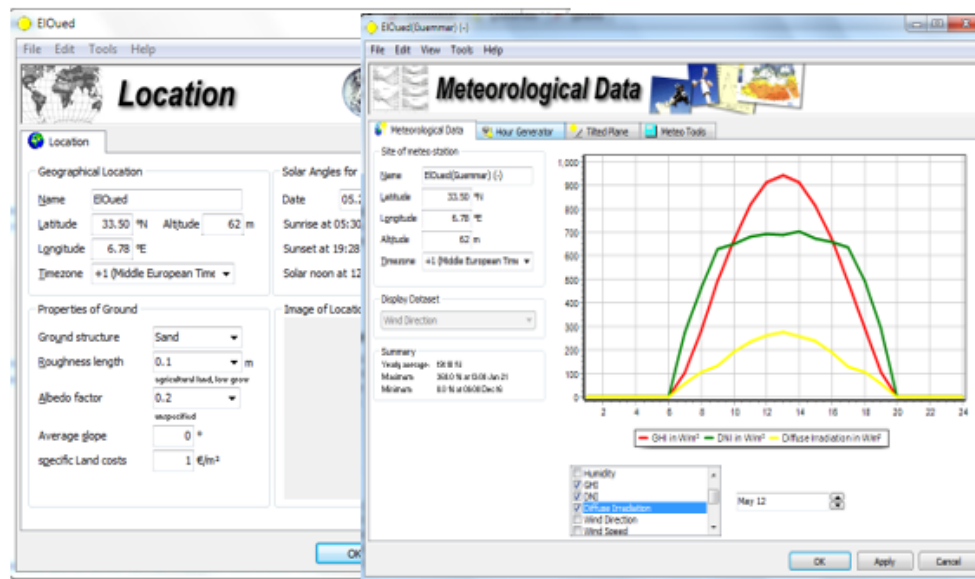


Figure IV. 6 : Fenêtre de manipulation sur Greenius.

IV.4.5. Paramètres d'entrée concentrateur

Les paramètres techniques sont présentés dans la figure ci-dessous.

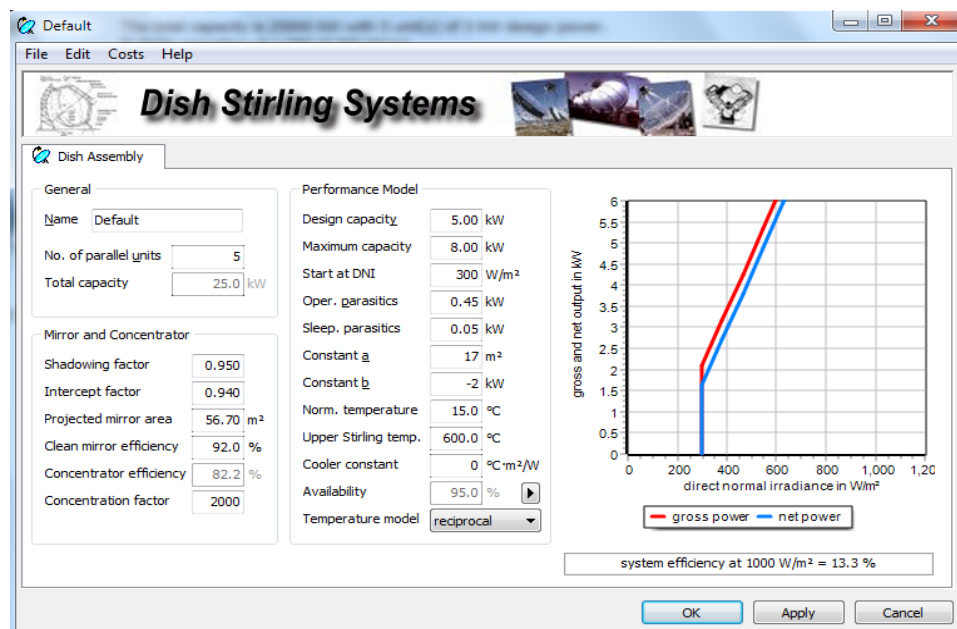


Figure IV. 7 : Fenêtre principale de notre technologie

IV.5. Résultats et discussions

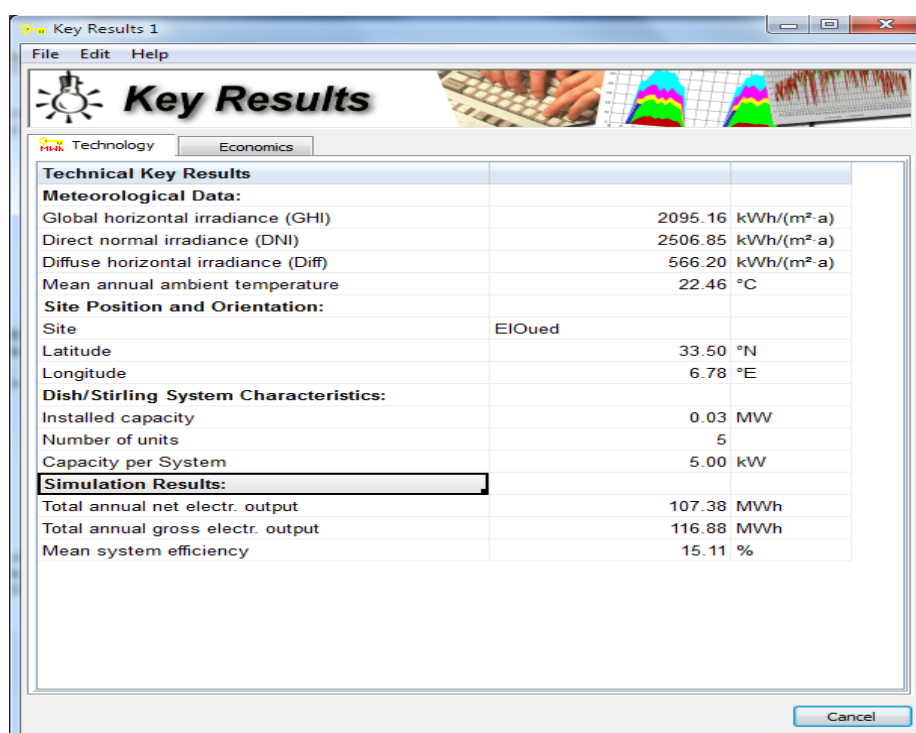


Figure IV. 8 : Fenêtre de résultat clé après simulation par Greenius.

Les résultats de simulation présentés sur la Figure IV. 8, montrent la production annuelle d'électricité par la centrale soit ; 107 MWh de production net disponible et presque 116 MWh d'électricité injecté dans le réseau électrique avec un moyen rendement presque de 15%.

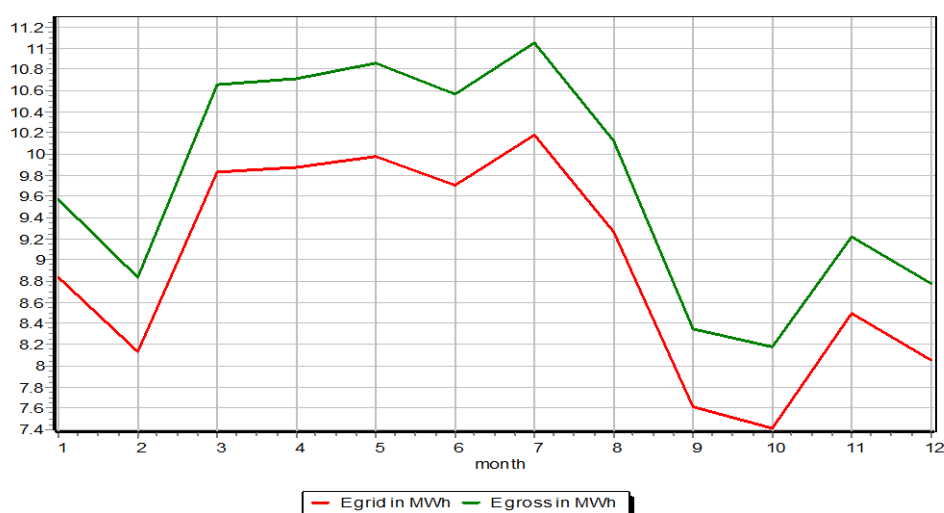


Figure IV. 9 : Evolution mensuelle de l'électricité produite au niveau de Dish (E_{gross}) et injecté dans le réseau (E_{grid}) à Eloued.

Dans la Figure IV. 9, nous présentons une comparaison entre le taux d'énergie électrique brute provenant du système et celle qui se trouve au niveau de réseau électrique, ces deux courbes ont le même profil avec une différence due aux pertes de transport d'électricité. Nous remarquons également que l'énergie électrique produite atteint sa valeur minimale à partir du mois d'Août. Et nous avons constaté que les pertes thermiques sont constantes quel que soit le mois durant toute l'année, ces pertes énergétiques sont en rapport avec les états nuageux, l'insolation et les erreurs du système.

IV.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons simulé une centrale solaire de la technologie parabole-moteur Stirling qui contient 5 paraboles couplées avec des moteur Stirling d'une puissance de 5 kW. La centrale est simulée par le logiciel Greenius sous le climat de la ville d'El-oued.

Les données métrologiques de la simulation sont obtenues par le logiciel METEONORM. Le rendement de cette centrale est presque de 15% avec une production électrique de 116 MWh disponible au réseau électrique.

En comparant ces résultats avec une centrale électrique conventionnelle même puissance, nous constatons que ces types de centrales peuvent réduire l'émission des gaz à effet de serre (CO_2) de 64 tonnes.

En conclusion les énergies renouvelables restent un très bon choix en prenant en compte que ces types d'énergie sont inépuisables et disponible tout au long de l'année et dans tous les endroits sur Terre.

Conclusion générale

Conclusion générale

Face aux risques importants concernant les approvisionnements énergétiques et l'impact de l'utilisation des énergies fossiles sur le changement climatique, il est impératif de s'orienter vers des solutions plus durables, ne présentant pas les inconvénients définis en termes d'épuisement des ressources ou d'émissions de gaz à effet de serre. En conséquence, l'objectif est de réduire le plus rapidement possible la contribution de la part des énergies fossiles dans l'offre mondiale d'énergie primaire. Dans cette optique des travaux d'investigation et de recherche ont été entamés dans le souci de substituer les sources chaudes traditionnelles utilisées dans les installations thermoélectriques, par des sources chaudes issues du solaire thermique converti par le biais des différents procédés de concentration solaire. Les concentrateurs solaires paraboliques représentent l'un des moyens les plus utilisés dans les procédés de concentration.

Nous avons tenté par le présent travail d'apporter une solution qui serait adaptable aux différents besoins. Dans cet objectif, nous avons considéré moteurs Stirling qui accoupler avec concentrateur solaire parabolique où il serait économique. L'intérêt pour cette technologie est dû à sa conception simple, qui permet de réduire les coûts. Les applications vont de la grande échelle pour la production d'électricité Cette technologie récente est en pleine évolution. Les performances des systèmes existants s'améliorent et les premières centrales commerciales apparaissent. L'expérience et le savoir-faire dans cette technologie progressent donc rapidement, mais beaucoup reste à faire.

Cette étude concerne l'étude théorique et pratique de moteur Stirling. Donc, un moteur Stirling configuration (Gamma), ont été choisis. Dans un premier temps, une étude bibliographique complète nous a permis de présenter le cycle de Stirling ainsi que le principe de fonctionnement de ce genre de machine thermique quel que soit sa configuration.

En effet, Les moteurs Stirling sont des machines fascinantes de complexité mais aussi de simplicité à la fois. Avec une efficacité impressionnante, ils peuvent être utilisés dans bon nombre d'industries, sa réalisation dans le cadre d'un projet était donc une tâche idéale dans notre initiation au monde de la fine mécanique.

Ce prototype nous ont permis de mieux comprendre les cycles thermodynamiques et le détail de fonctionnement de ce moteur. Ce projet a été surtout l'occasion de travailler au côté de notre encadreur, de participer à sa démarche, et d'apprendre à ses côtés dans le but de réaliser

un moteur Stirling, pour cela, il fallait au préalable mener une étude pour savoir comment nous allions le créer : déterminer les différentes pièces, les dimensionner, trouver les matériaux adaptés, analyser les contraintes et trouver les moyens de créer un assemblage.

L'étude systémique permettrait ainsi de simuler le comportement dynamique du système. On pourrait alors comparer le comportement réel de l'installation avec celui prédit par le modèle. Il s'agirait d'une étude des stratégies de contrôle d'un procédé solaire réel appuyée par le modèle systémique.

Comme nous l'avons dit plus tôt, le sujet de notre travail est une étude expérimentale sur un moteur Stirling relié avec un miroir paraboloïde comme une source d'énergie thermique. Au cours de l'étude, nous avons vu l'utilisation de certains programmes directement liés à l'énergie solaire et d'autres directement liés à la construction et à la conception mécanique. Ces programmes sont :

- SolTrace : ce programme nous a permis de donner une image scientifique idéale du comportement optique et du comportement thermique du miroir réfléchissant et du foyer récepteur du rayonnement ciblé.
- SOLIDWORK : grâce à ce programme, nous avons réalisé un dessin technique des composants du moteur Stirling ;
- GREENIUS : ce programme nous a permis de simuler une centrale électrique qui repose sur les miroirs paraboloïdes pour la production d'électricité. ce logiciel nécessaire pour la planification et la construction de projets de centrales électriques renouvelables

La bibliographie

Références

- [1] M.. AMOURA Mohammed, Thème *Tour solaire à concentration –Environnement Modélisation thermodynamique du cycle intégré*, Université Hassiba Benbouali de Chlef, 2014.
- [2] M. Chabounia, A. Kaabi, *l'évaluation de la performance d'un capteur solaire hybride (Photovoltaïque/Thermique) à eau sous le climat algérien*, Constantine, Algérie Novembre 2015.
- [3] M. Ghodbane, "Étude et optimisation des performances d'une machine de climatisation à éjecteur reliée à un concentrateur solaire " Doctorat en système énergétiques et thermiques, Département de Mécanique Université Saad Dahleb de Blida 1 2017.
- [4] M. Ghodbane and B. Boumeddane, "Estimating solar radiation according to semi empirical approach of PERRIN DE BRICHAMBAUT: application on several areas with different climate in Algeria," *International Journal of Energetica*, vol. 1, no. 1, pp. 20-29, 2016.
- [5] M. Ghodbane, B. Boumeddane, and S. Largot, "Développement d'un programme informatique pour la simulation du rayonnement solaire reçu par une surface inclinée," in *Journée d'étude sur les énergies renouvelables et leurs applications*, Université d'El Oued, Avril 2015.
- [6] M .Ghodbane, B. Boumeddane, N. Moumami, S. Largot, and H. Berkane, "Study and numerical simulation of solar system for air heating," *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, vol. 8, no. 1, pp. 41- 60, <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v8i1.3>, 2016.
- [7] M. Ghodbane and B. Boumeddane, "Optical modeling and thermal behavior of a parabolic through solar collector in the algerian sahara " *AMSE JOURNALS-AMSE IIETA publication-2017-Series: Modelling B*, vol. 86, no. 2, pp. 406-426, 2017.
- [8] M. Ghodbane, B. Boumeddane, and N. Said, "A linear Fresnel reflector as a solar system for heating water: theoretical and experimental study," *Case Studies in Thermal Engineering*, vol. 8, no. C, pp. 176-186, <http://dx.doi.org/10.1016/j.csite.2016.06.006>, 2016.
- [9] M. Ghodbane ,B. Boumeddane, and N. Said, "Design and experimental study of a solar system for heating water utilizing a linear Fresnel reflector," *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, vol. 8, no. 3, pp. 804-825, <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v8i3.8>, 2016.
- [10] M. Ghodbane, B. Boumeddane, S. Largot, and H. Berkane, "Modélisation d'un cycle de réfrigération solaire à éjecteur couplée à un concentrateur cylindro-parabolique," in *International Conférence en Clean Cooling Technologies in the ME NA Regions (ICT3_MENA'2015)* Bou Smail, W. Tipaza, 5-6 October 2015.
- [11] M. Ghodbane, B. Boumeddane, and S. Largot, "Simulation Numérique d'un Concentrateur Cylindro-Parabolique en El Oued, Algérie," -. A. M. 2nd International Conference on International Conference on GreenEnergy and Environmental Engineering , Tunisia, Ed., ed, 2015.

- [12] M. Ghodbane, B. Boumeddane, and S. Largot, "*Simulation Numérique d'un Concentrateur Cylindro-Parabolique en El Oued, Algérie*," International Journal of Scientific Research & Engineering Technology (IJSET), vol. 3, no. 2, pp. 68-74, 2015.
- [13] M. Ghodbane, B. Boumeddane, and S. Largot, "*Etude optique et thermique d'un concentrateur cylindro-parabolique en site d'Alger, Algérie*," in IXth International Congress on Renewable Energy and the Environment, Djerba, Tunisie, 18-20 March 2015.
- [14] M. Ghodbane and B. boumeddane, "*Engineering design and optical investigation of a concentrating collector: Case study of a parabolic trough concentrator* " J. Fundam. Appl. Sci., vol. 10, no. 2, pp. 148, 171-<http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v10i2.11>, 2018.
- [15] M. Ghodbane and B. Boumeddane, "*A parabolic trough solar collector as a solar system for heating water: a study based on numerical simulation* " International Journal of Energetica (IJECA) vol. 2 ,no. 2, pp. 29-37 2017.
- [16] M. Ghodbane and B. boumeddane, "*A numerical analysis of the energy behavior of a parabolic trough concentrator*," Journal of Fundamental and Applied Sciences, vol. 8, no. 3, pp. 671-691, 2016 2016.
- [17] M. Ghodbane and B. Boumeddane, "*Numerical simulation of a solar-driven ejector refrigeration cycle coupled to a parabolic trough concentrator*," International Journal of Chemical and Petroleum Sciences, vol. 5, no. 1, pp. 1-12, 2016.
- [18] M. Ghodbane and B. Boumeddane, "*Numerical modeling of a parabolic trough solar collector at Bouzaréah, Algeria*," International Journal of Chemical and Petroleum Sciences, vol. 4, no. 2, pp. 11-25, 2015.
- [19] F. J. Cabrera, A. Fernández-García, R. M. P. Silva, and M. Pérez-García, "*Use of parabolic trough solar collectors for solar refrigeration and air-conditioning applications*," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 20, pp. 103-118. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.081>, 2013.
- [20] H. Derbal, M. Belhamel, and A. Benzaoui, "*Conversion Solaire Thermique à Concentration les Concentrateurs Solaires Cylindro-Paraboliques*," Bulletin des Énergies Renouvelables, vol. 11, pp. 24-25, Juin 2007.
- [21] N. El-Gharbi, "*La centrale hybride de Hassi R'mel*," in "*Bulletin des énergies renouvelables*," CDER2011, vol. 11.
- [22] A. Fernandez-Garcia and E. Zarza, "*Parabolic-trough solar collectors and their applications*," Renewable & Sustainable Energy Reviews, vol. 14, pp. 1695–1721, 2010.
- [23] A. Hepbasli and Zeyad Alsuhaibani, "*A key review on present status and future directions of solar energy studies and applications in Saudi Arabia*," Renewable and Sustainable Energy Reviews . vol. 15, pp. 5021–5050, 2011.
- [24] J.R.Vaillant, *Utilisation et promesse de l'énergie solaire*. 1978.
- [25] S. Kalogirou",*Parabolic Trough Collector System for Low Temperature Steam Generation: Design and Performance Characteristics*," Applied Energy, vol. 55, no. 1, pp. 1-19, [http://dx.doi.org/10.1016/S0306-2619\(96\)00008-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0306-2619(96)00008-6), 1996.

- [26] S. Kalogirou, "Thermal analysis of parabolic trough collectors," in solar energy engineering- processes and systems1 ed. (Thermal analysis of parabolic trough collectors, 2009, pp. 199-202.
- [27] A. Mokhtari, M. Yaghoubi, P. Kanan, A. Vadiee, and R. Hessami, "Thermal and optical studyof parabolic trough collectors of Shiraz solar power plant " in *Third International Conference on Thermal Engineering: Theory and Applications* Amman, Jordan May 21-23, 2007, pp. 65-70.
- [28] T. A. Stuetzle, "Automatic control of the 30 MWe SEGS VI parabolic trough plant " Master of science, Mechanical engineering), University of Wisconsin-Madison 2002.
- [29] M. A. Moghimi, K. J. Craig, and J. P. Meyer, "Optimization of a trapezoidal cavity absorber for the Linear Fresnel Reflector," *SolarEnergy*, vol. 119 ,pp. 343–361, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.07.009>, 2015.
- [30] A. I. Al-Rubaian and A.-f. Hamad, "Performance of single Axis tracking solar parabolic trough in Riyadh Saudi Arabia," in *World renewable energy congress VIII*, 2004.
- [31] P. Bendt ,M. Gaul, and A. Rabl, "Determining The Optical Quality of Focusing Collectors without Laser Ray Tracing," *J. Sol. Energy Eng*, vol. 102, no. 2, pp. 128-133, <http://dx.doi.org/10.1115/1.3266130>, 1980.
- [32] Bonnet, M. Alphilippe, and P. Stouffs, "Conversionthermodynamique de l'énergie solaire dans des installations de faible ou de moyenne puissance: Réflexion sur choix du meilleurs degré de concentration," in *Revue d'énergie renouvelable: 11 ème journée internationales de thermique*, 2003, pp. 73-80.
- [33] B .Boumeddane and N. Said, "Influence des paramètres de fonctionnement sur les performances d'une installation de climatisation solaire à éjecteur," in *21ème Congrès Français de Mécanique*, Bordeaux, 26 au 30 août 2013.
- [34] P. Breeze *et al.*, "Concentratingcollector performance," in *Renewable Energy Focus Handbook*1st ed.: Elsevier, 2009, pp. 357-360.
- [35] N. Janotte *et al.*, "Dynamic performance evaluation of the HelioTrough collector demonstration loop – towards a new benchmark in parabolic trough qualification," *Energy Procedia* vol. 49, pp. 109 – 117. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.03.012> 2014.
- [36] R. M. Ochieng and F. N. Onyango, "Some Techniques in Configurational Geometry as Applied to Solar Collectors and Concentrators," in *Solar Collectorsand Panels, Theory and Applications: Sciyo*, 2010, pp. 357-378.
- [37] A. Rabl, "Optical analysis and optimization of parabolic reflectors," in *Active Solar Collectors and Their Applications: OXFORD UNIVERSITY PRESS*, New York, 1985, pp. 196-211.
- [38] J. Wang, J. Wang, X. Bi, and X. W, "Performance simulation comparison for parabolic trough solar collectors in China," *International Journal of Photoenergy*, vol. 2016, Article ID 9260943, pp. 1-16, <http://dx.doi.org/10.1155/2016/9260943>, 2016.
- [39] D. Canavarro ,J. Chaves, and M. Collares-Pereira, "New optical designs for large parabolic troughs," *Energy Procedia*, vol. 49, pp. 1279-1287, doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.03.137>, 2014.

- [40] H. Chabahi, B. Boumeddane, and N. Said, "*Dimensionnement et expérimentation d'un concentrateur linéaire à miroirs de Fresnel*," Ingénieur d'état, Mechanical Departement, Saad Dahlab University, Blida 1, Algeria, 2011.
- [41] Y. D.G, K. F, and K. J.F, "*Off-Normal Incidence Effects*," in *Principles of solar engineering* ,T. Francis., Ed. 2nd Edition ed., 1999, p. 139.
- [42] H. Gaul and A. Rabl, "*Incidence-Angle Modifier and Average Optical Efficiency of Parabolic Trough Collectors*," J. Sol. Energy Eng, vol. 102, no. 1, pp. 16-21, <http://dx.doi.org/10.1115/1.3266115>, 1980.
- [43] N. E. Gharbi, H. Derbal, S. Bouaichaoui, and N. Said, "*A comparative study between parabolic trough collector and linear Fresnel reflector technologies*," Energy Procedia, vol. 6, pp. 565–572. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.05.065>, 2011.
- [44] H. M. Guven, "*Determination of error tolerances for the optical design of parabolic troughs for developing countries*," Solar energy, vol. 36, no. 6, pp. 535-550, [http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(86\)90018-6](http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(86)90018-6), 1986.
- [45] N. Janotte, E. Lüpfert ,K. Pottler, and M. Schmitz, "*Full parabolic trough qualification from prototype to demonstration loop*," in 22nd SolarPACES 2016: International Conference on Concentrating Solar Power and Chemical Energy Systems, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 11–14 October 2016, vol. 1850, no. 1, pp. 020010-(pp. 1-8). <https://doi.org/10.1063/1.4984334>: American Institute of Physics.
- [46] S. M. Jeter, "*Calculation of the concentrated flux density distribution in parabolic trough collectors by a semifinite formulation* ",Solar Energy, vol. 37, no. 5, pp. 335-345, [https://doi.org/10.1016/0038-092X\(86\)90130-1](https://doi.org/10.1016/0038-092X(86)90130-1), 1986.
- [47] S. M. Jeter, "*Analytical determination of the optical performance of practical parabolic trough collectors from design data*," Solar Energy, vol. 39, no. 1 ,pp. 11-21, [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(87\)80047-6](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(87)80047-6), 1987.
- [48] S. M. Jeter, D. I. Jarrar, and S. A. Moustafa, "*Geometrical effects on the performance of trough collectors* " Solar Energy, vol. 30, no. 2, pp. 109-113, [https://doi.org/10.1016/0038092-X\(83\)90201-3](https://doi.org/10.1016/0038092-X(83)90201-3), 1983.
- [49] S. A. Kalogirou, C. C. Neocleous, and C. N. Schizas, "*A comparative study of methods for estimating intercept factor of parabolic trough collectors*," in Proceedings of the Engineering Applications of Neural Networks (EANN'96) Conference, "<http://ktisis.cut.ac.cy/handle/10488/820>", London, UK, 1996, pp. 5-8.
- [50] E. Lüpfert, U. Herrmann, H. Price, E. Zarza, R. Kistner, and P. Edition Eyrolles, "*Towards standard performance analysis for parabolic trough collector fields* " in 12thInternational Symposium Solar Power and Chemical Energy Systems,, Oaxaca Mexico, October 6-8, 2004: Instituto de Investigaciones Electricas.
- [51] S. A. Murtuza, H. V. Byregowda, M. M. Ali, and M. Imran, "*Experimental and simulation studies of parabolic trough collector design for obtaining solar energy* " Resource-Efficient Technologies, vol. 3, pp. 414–421 2017.
- [52] G. Pierucci, D. Fontani, P. Sansoni, and M. D. Lucia, "*Shape Optimization For Parabolic Troughs Working In NonIdeal Conditions*," Energy Procedia, vol. 57, pp. 2231– 2240, <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.230>, 2014.

- [53] T. Wendelin, A. Dobos, and A. Lewandowski, "Technical Report, SolTrace: A Ray-Tracing Code for Complex Solar Optical Systems," Technical Report October 2013 2013, Available: <http://www.osti.gov/bridge>.
- [54] B. BOUMEDDANE and N. SAID, "Influence des paramètres de fonctionnement sur les performances d'une installation de climatisation solaire à éjecteur," in 21ème Congrès Français de Mécanique, Bordeaux, 26 au 30 août 2013, 2013.
- [55] S. F. Larsen, M. Altamirano, and A. Hernandez, "Heat loss of a trapezoidal cavity absorber for a linear Fresnel reflecting solar concentrator," Applied Energy, vol. 39, pp. 198 - 206, 2011.
- [56] L. Luo and M. Feidt, "Thermodynamics of adsorption cycles: A theoretical study," Heat Transfer Engineering, vol. 13, no. 4, pp. 19-31, 1992/// 1992.
- [57] D. R. Mills and G. L. Morrison, "Compact Linear Fresnel Reflector solar thermal power plants," Solar Energy, doi: 1/0.1016/S0038-092X(99)00068-7 vol. 68, no. 3, pp. 263-283, 2000/3/3/ 2000.
- [58] M. A. Moghimi, K. J. Craig, and J. P. Meyer, "A novel computational approach to combine the optical and thermal modelling of Linear Fresnel Collectors using the finite volume method," Solar Energy, vol. 116, pp. 407-427, 2015.
- [59] EERE. (2018). Concentrating Solar Power Tower Plant Illustration, Web Page: https://www.energy.gov/sites/prod/files/styles/download_hero/public/graphic_cs_p_powertower_1996_high.jpg?itok=-rP0WPr3.
- [60] Sargent and Lundy, Assessment of parabolic trough and power tower solar technology cost and performance forecasts LLC Consulting Group, Chicago, Illinois National Renewable Energy Laboratory October 2003.
- [61] F. J. Collado and J. Guallar, "A review of optimized design layouts for solar power tower plants with campo code," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 20, pp. 142–154, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.076>, 2013.
- [62] M. L. e. al., "Investigation of Evacuated Tube Heated by Solar Trough Concentrating System," Energy Conversion and Management, vol. 47, pp. 3591 –3601, 2006.
- [63] E. G. Najla, "La centrale hybride de Hassi R'mel," Portail Algérien des ENERGIES RENOUVELABLES, CDER04 Février 2012 2012.
- [64] J. Facao and A. C. Oliveira, "Numerical simulation of a trapezoidal cavity receiver for a linear Fresnel solar collector concentrator," Renewable Energy, doi: 10.1016/j.renene.2010.06.003 vol. 36, no. 1, pp. 90-96, 2011/1// 2011.
- [65] C. Choudhury and H. K. Sehgal, "A FresnelStrip Reflector-Concentrator For Tubular Solar-Energy Collectors," Applied Energy, vol. 23, pp. 143-154, 1986.
- [66] M. Smith. (2013). Les centrales solaires à miroir de Fresnel, site Web, Last edited on 2013-01-16,
["http://www.ecosources.info/dossiers/Centrale_miroir_Fresnel_solaire_thermodynamique"](http://www.ecosources.info/dossiers/Centrale_miroir_Fresnel_solaire_thermodynamique). Available:
["http://www.ecosources.info/dossiers/Centrale_miroir_Fresnel_solaire_thermodynamique"](http://www.ecosources.info/dossiers/Centrale_miroir_Fresnel_solaire_thermodynamique)

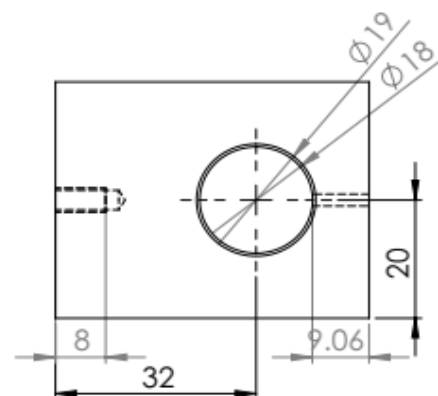
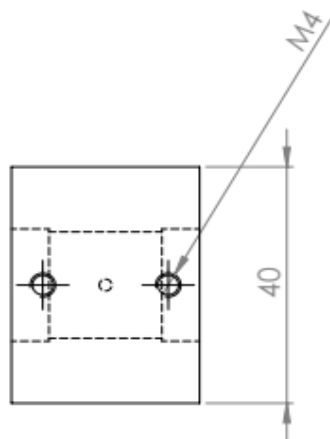
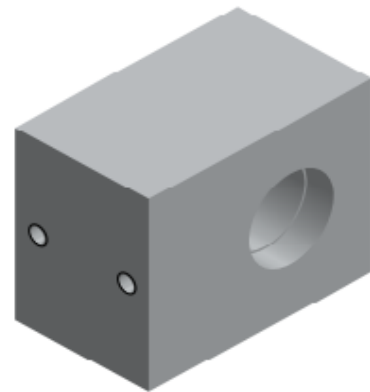
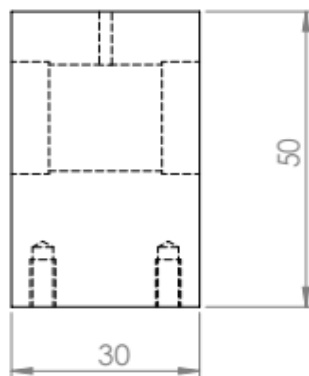
- [67] L. S. Panna, R. M. Sarvia, and J. L. Bhagoria, "Thermal performance of linear Fresnel reflecting solarconcentrator with trapezoidal cavity absorbers," *Applied Energy*, doi: 10.1016/j.apenergy.2009.08.019 vol. 87, no. 2, pp. 541-550, 2010/2// 2010.
- [68] P. L. Singh, S.Ganesan, and G. C. Yadav, "Technical note: Performance study of a linear Fresnel concentrating solar device," *Renewable Energy*, vol. 18, pp. 409-416, Received 10July 1998 accepted 3November 1998 1999.
- [69] B. S. Negi, S. S. Mathur, and T. C. Kandpal, "Optical and thermal performance evaluation of linear Fresnel reflector solar concentrator," *Solar & Wind Technology*, vol. 6, no. 5, pp. 589-593, 1989.
- [70] M. A. Moghimi, K. J. Craig, and J. P. Meyer, "Optimization of a trapezoidal cavity absorber for the Linear Fresnel Reflector," *Solar Energy*, vol. 119, pp. 343-361, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.07.009>, 2015.
- [71] S. A. Kalogirou, C. C. Neocleous, and C. N. Schizas, "A comparative study of methods for estimating intercept factor of parabolic trough collectors," in *Proceedings of the Engineering Applications of Neural Networks (EANN'96) Conference*, "<http://ktisis.cut.ac.cy/handle/10488/820>", London, UK, 1996, pp. 5-8.
- [72] B. nature. (2018). *Les centrales à capteurs cylindro-paraboliques*, Web page: <http://1.bp.blogspot.com/-QsYtTHJrokY/VivJOQYedII/AAAAAAAAADX0/EXgZKuV-Tko/s64.4/0JPG> .
- [73] L. Li and S. Dubowsky, "A new design approach for solar concentrating parabolic dish based on optimized flexible petals," *Mechanism and Machine Theory*, vol. 46, pp. 1536–1548, <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2011.04.012>, 2011.
- [74] R. Abbas, M. J. Montes, M. Piera, and J. M. Martinez-Val, "Solar radiation concentration features in Linear Fresnel Reflector arrays," *Energy Conversion and Management*, doi: 10.1016/j.enconman.2011.10.010 vol. 54, no. 1, pp. 133-144, 2012/2// 2012.
- [75] H. L. Zhang, J. Baeyens, J. D. eve, and G. Cacères, "Concentrated solar power plants: Review and design methodology," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 22, pp. 466–481, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.032>, 2013.
- [76] B. nature. (2018.) *Les centrales à capteurs linéaires de Fresnel*, Web page: http://3.bp.blogspot.com/CCAzBW8D5us/VivJN8cVdMI/AAAAAAAAADX4/uF0KvqHv_44/s1600/3.JPG .
- [77] M. A. Moghimi, K. J. Craig, and J. P. Meyer, "A novel computational approach to combine the optical andthermal modelling of Linear Fresnel Collectors using the finite volume method," *Solar Energy*, vol. 116, pp. 407–427, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2015.04.014>, 2015.
- [78] G. Zhu, T. Wendelin, M. J. Wagner, and C. Kutscher, "History, current state, and future of linear Fresnel concentrating solar collectors," *Solar Energy*, vol. 103, pp. 639–652, <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2013.05.021>, 2014.
- [79] C. Silvi, "The pioneering work on linear Fresnel reflector concentrators (lfcs) in italy " presented at the 15th SolarPACES Conference, 15. – 18. September 2009, Berlin, Germany, 2009 .

- [80] P. Garcia, *"Outils d'évaluation technico- économique et d'aide à la conception des centrales solaires thermodynamiques du futur,"* Perpignan (France), 20.07
- [81] B. nature. (2018). *Les centrales à disques paraboliques*, Web page: <http://1.bp.blogspot.com/-xFjgXbdlT8/Viu3qYiuIVI/AAAAAAAAADWY/RPQOhToM-3Y/s1600/9.jpg> .
- [82] T. Mancini *et al.*, *"Dish-Stirling Systems: an overview of development and status,"* J . Sol. Energy Eng, vol. 125, no. 2, pp. 135-151, <http://dx.doi.org/doi:10.1115/1.1562634>, 2003.
- [83] L. G. Pheng, R. Affandi, M. R. Ab-Ghani, C. K. Gan, Z. Jano, and T. Sutikno, *"A review of parabolic dish-stirling engine system based on concentrating solar power "* TELKOMNIKA, vol. 12, no. 4, pp. 1142-1152, <http://dx.doi.org/10.12928/TELKOMNIKA.v12i4.1132>, 2014.
- [84] Y. Kadri and H. H. Abdallah, *"Performance evaluation of a stand-alone solar dish Stirling system for power generation suitable for off-grid rural electrification,"* Energy Conversion and Management, vol. 129, pp. 140-156, <http://dx.doi.org/10.1016/j.enconman.2016.10.024>, 2016.
- [85] P. GRAS. *Les moteurs à air chaud ou moteurs à apport de chaleur externe*, 2012.
- [86] William B. Stine. Richard B. Diver. *"A Compendium of Solar Dish/Stirling Technology"*, SAND93-7026 UC- 1994.
- [87] P. GRAS. *Le moteur Stirling et autres moteurs à air chaud* ,2010.
- [88] I. Hassan Lemrani. *Modélisation énergétique des moteurs Stirling*. PhD thesis, Nantes, France, 1995.
- [89] Site internet: <http://www.moteurstirling.com>.
- [90] Alexandre Toumine, «Cours D'Usinage», Groupe Conception Production, INSA de Lyon, France.
- [91] B. Chakroun, M. Chevallier, G. Grimbergen, N. Dionisi, M. El-ouzgane. *Conception et fabrication d'un moteur Stirling type alfa en aluminium*. Université mont saint aignan, France, 2010.
- [92] Schulte-Fischedick, R. Herrmann, U. *CFD Analysis of the Cool Down Behaviour of Molten Salt Thermal Storage Systems; Proceedings of the ES 2008*, Energy Sustainability 2008, August 10-14, 2008, Jacksonville, Florida.
- [93] Theunissen, P.-H.; Beckman, W.A.: *Solar Transmittance Characteristics of Evacuated Tubular Collectors with Diffuse Back Reflectors*. In : Solar Energy Vol. 35 (1985) Nr. 4, S. 311-320.
- [94] A. Kaddour, *"Modélisation et simulation d'un concentrateur parabolique solaire à moteur Stirling en vue d'un rendement optimal,"* Université Aboubekr Belkaid, 2013.
- [95] A. Quaschnig V (2006) *Regenerative Energiesysteme*. Hanser Verlag München.
- [96] G. Walker. *Stirling engines*. Oxford University Press, 1980.
- [97] Rochelle P (2005) *LTD Stirling engine simulation and optimization using finite dimension thermodynamic*. In: Proceedings of the 12th international Stirling engine conference, UK.

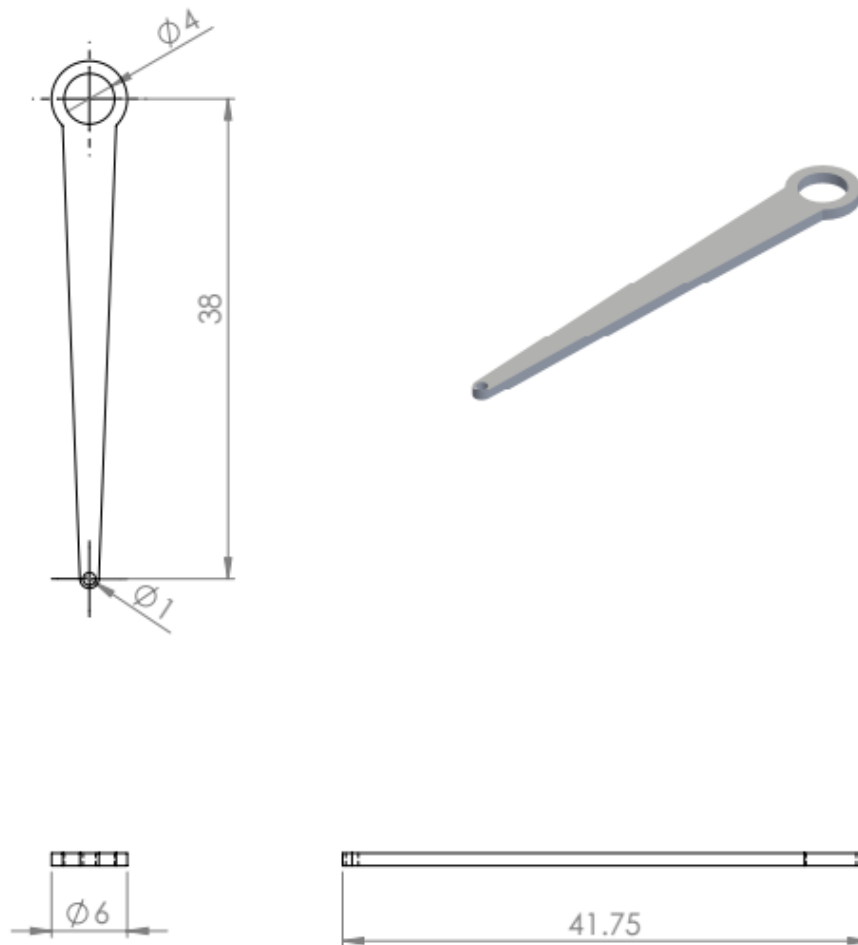
Annexes

Annexes

A. Dessin technique des composants du moteur Stirling

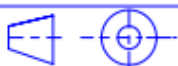


Echelle:1	Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued	A.BELLOUL K.BENNACER
	Armature	21-05-2018
page: 1/1		matière: aluminium



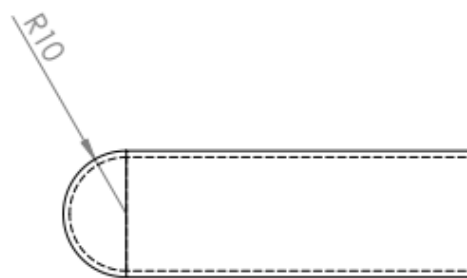
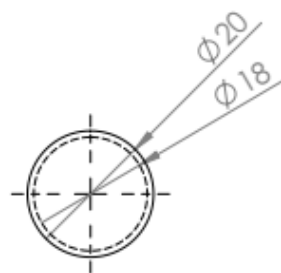
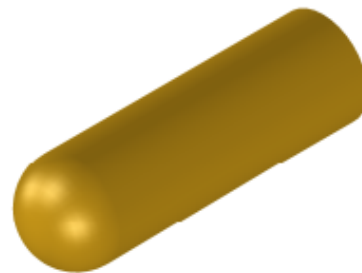
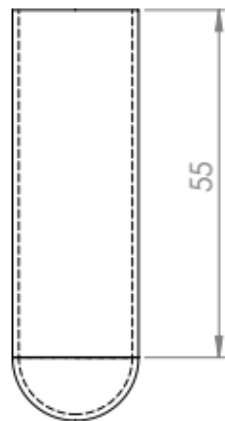
Echelle:1

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

A.BELLOUL
K.BENNACER**Bielle motrice du Piston refoulement****21-05-2018**

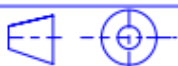
page: 1/1

matière: acier



Echelle:1

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

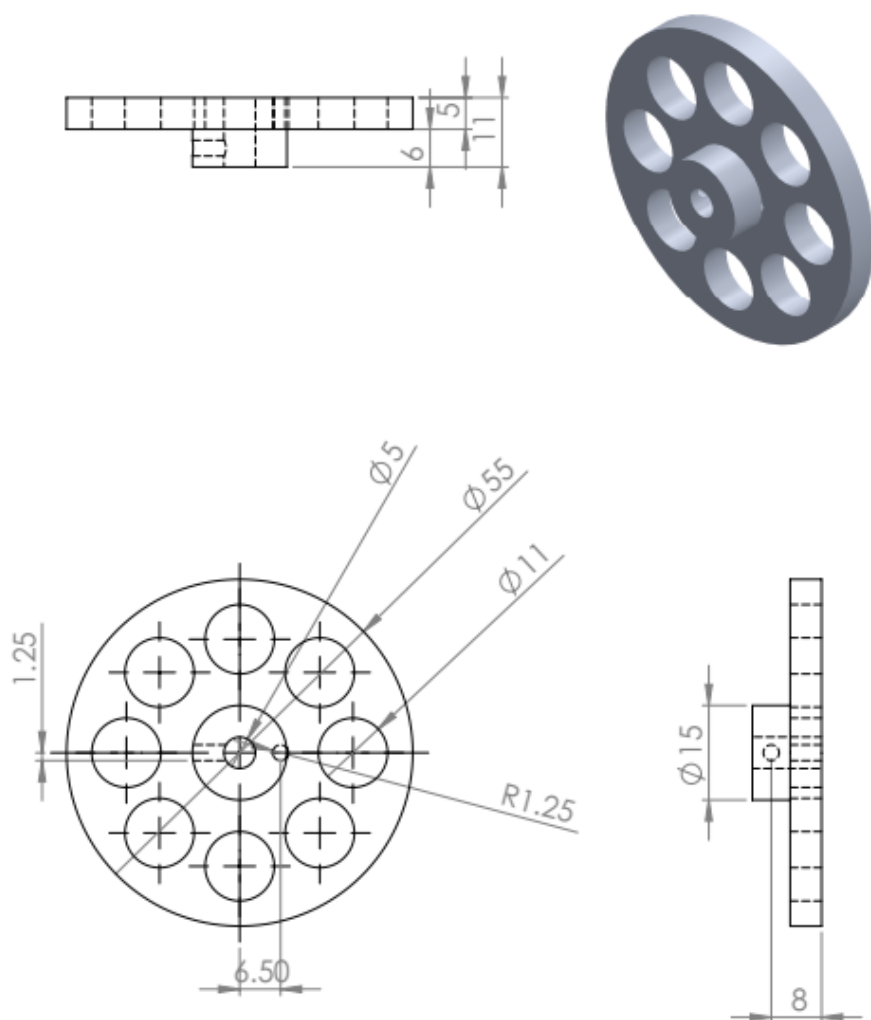
A.BELLOUL
K.BENNACER

Cylindre du piston deplaceur

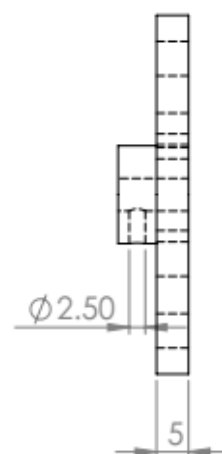
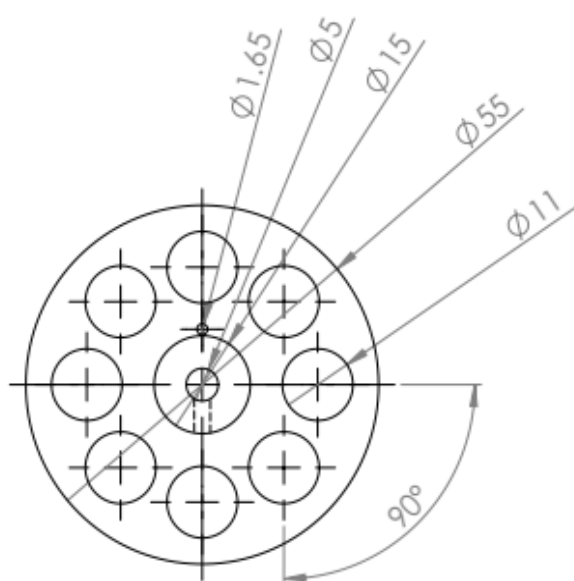
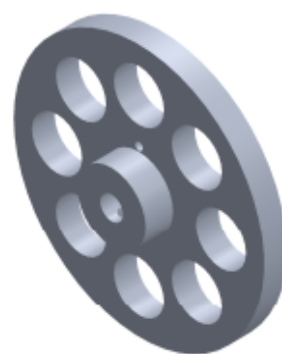
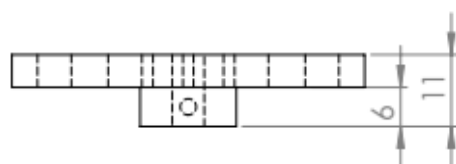
21-05-2018

page: 1/1

matière: Cuivre



Echelle:1:1	Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued	A.BELLOUL K.BENNACER
	Tuyau de liaison	21-05-2018
page: 1/1		matière: aluminium



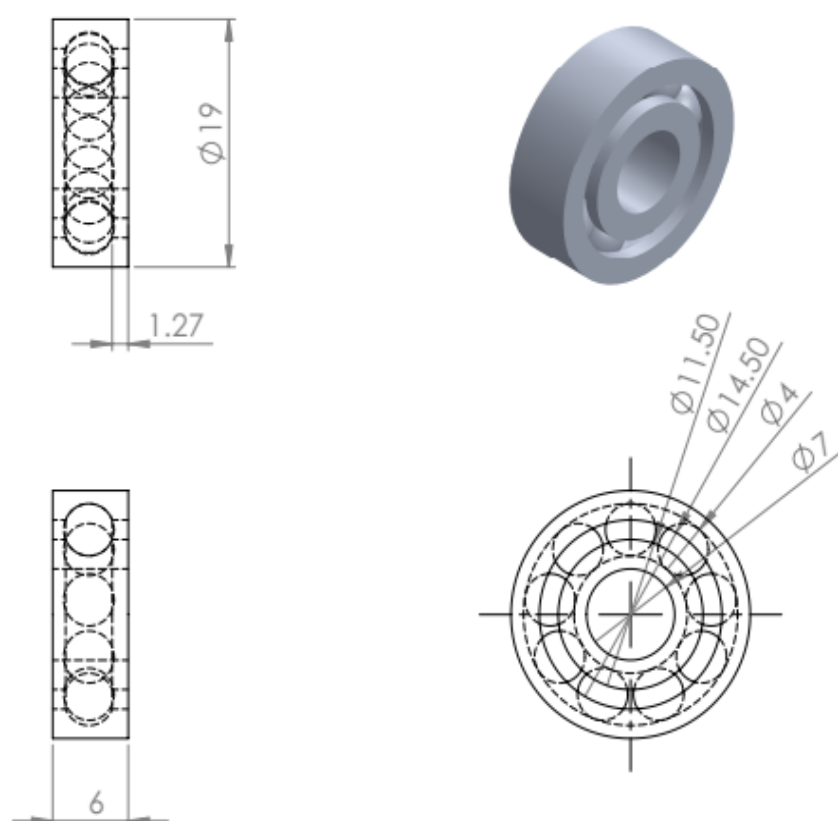
Echelle:1

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

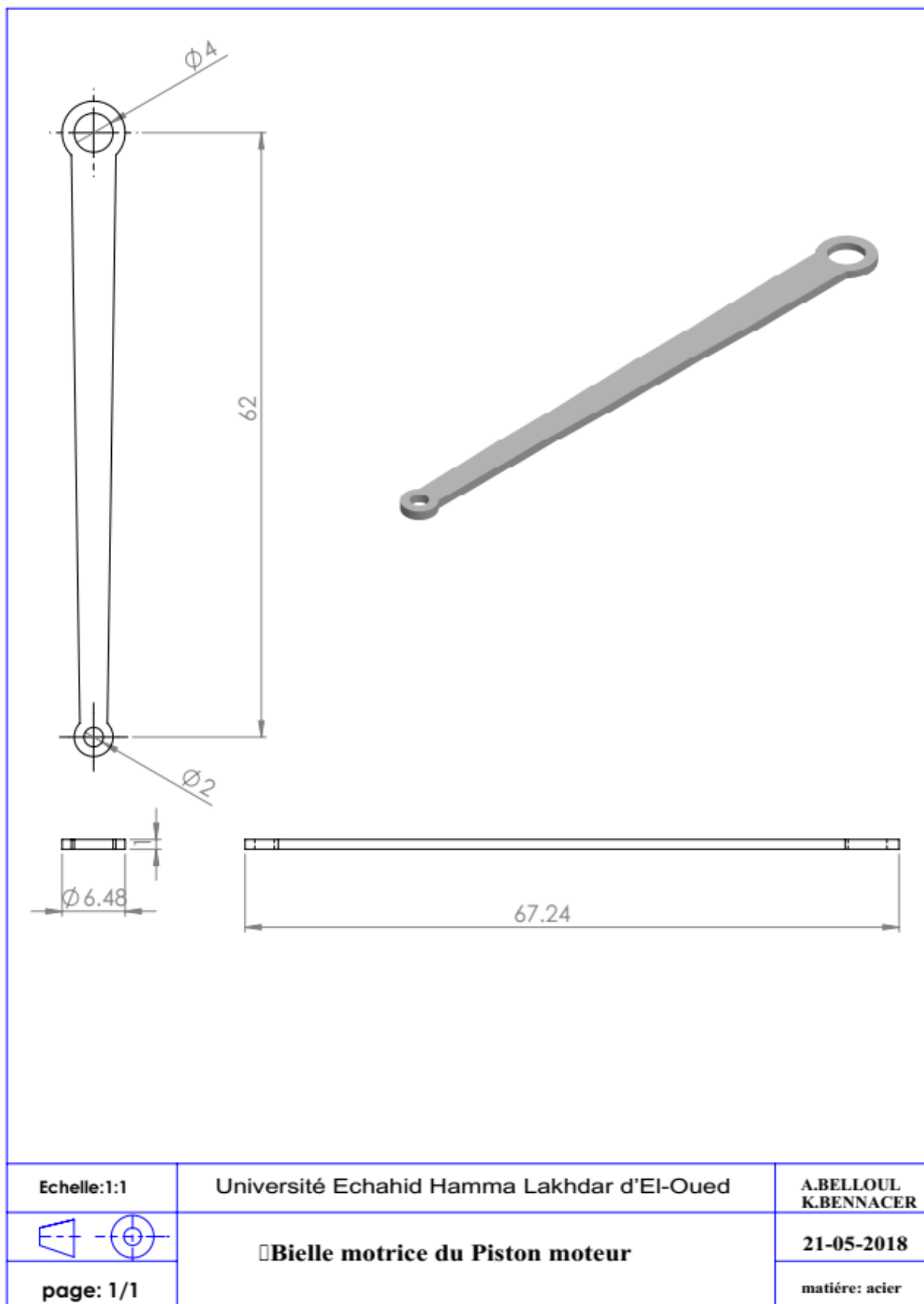
A.BELLOUL
K.BENNACER**radiateur du moteur Stirling type Gamma****21-05-2018**

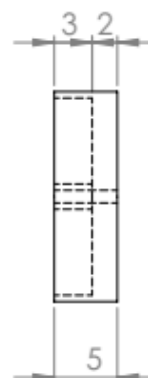
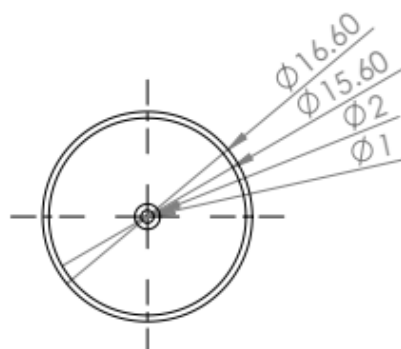
page: 1/1

matière: aluminium



Echelle:1	Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued	A.BELLOUL K.BENNACER
	Roulement à billes	21-05-2018
page: 1/1		matière: aluminium





Echelle:1:1

Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

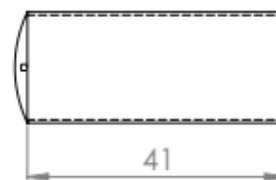
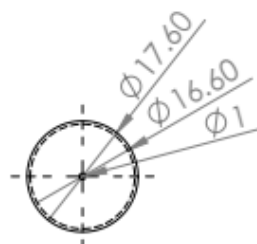
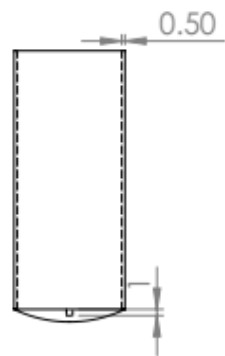
A.BELLOUL
K.BENNACER

Piston de refoulement

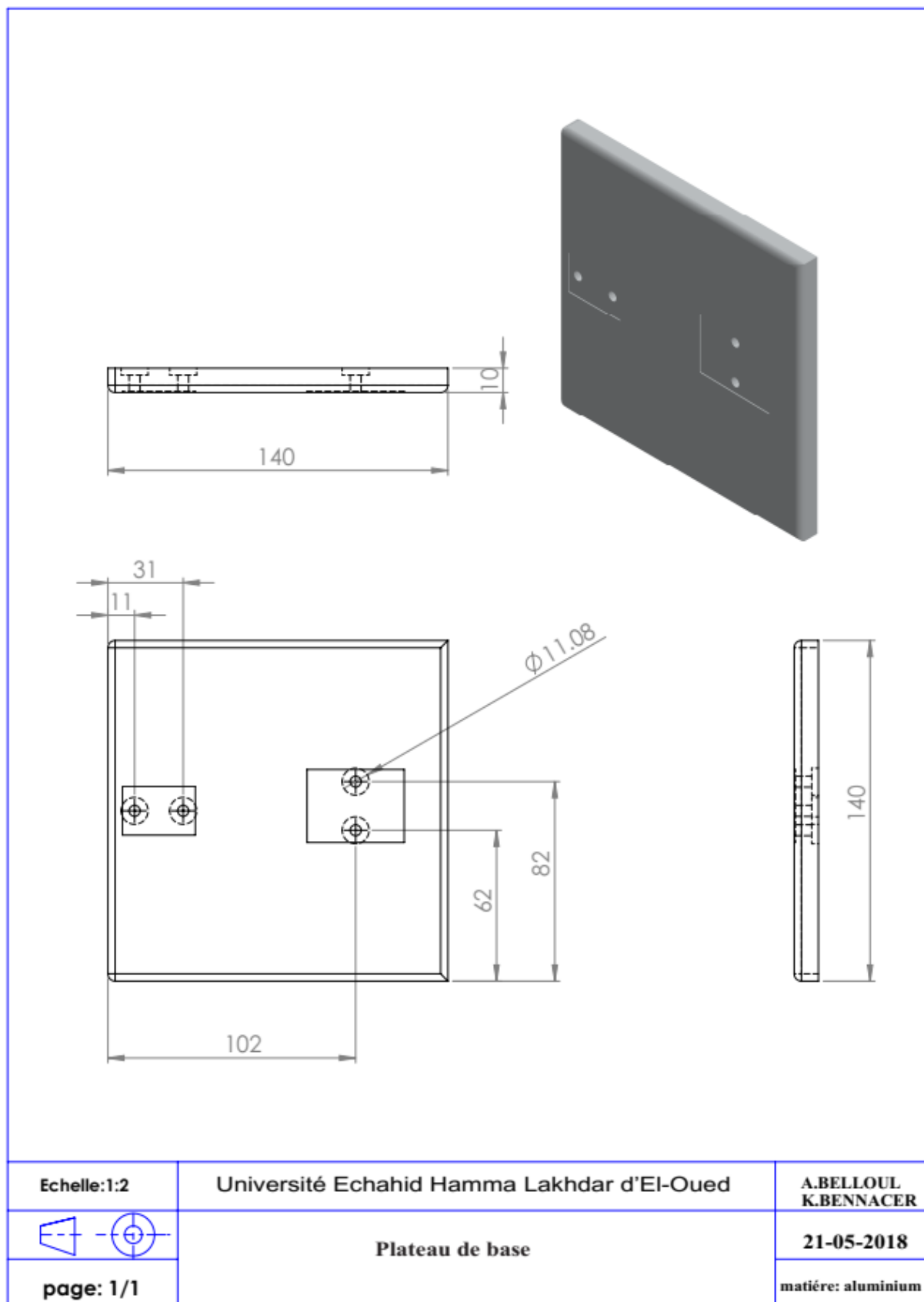
21-05-2018

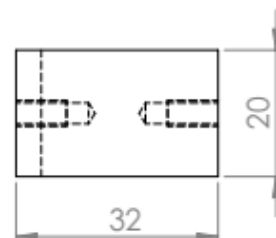
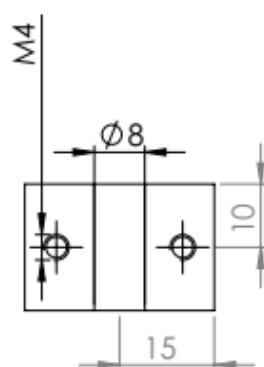
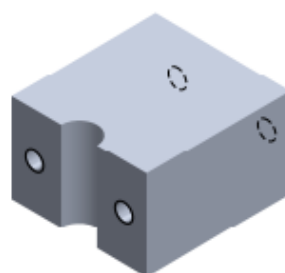
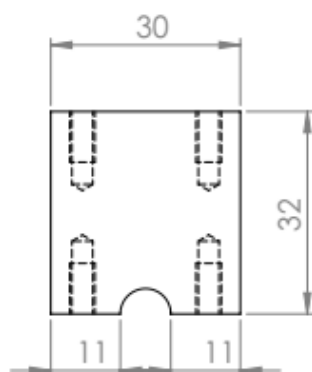
page: 1/2

matière: aluminium

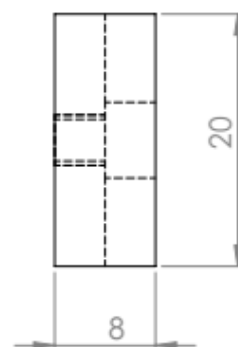
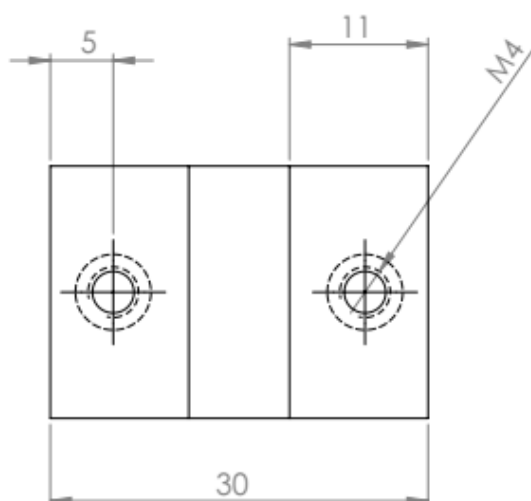
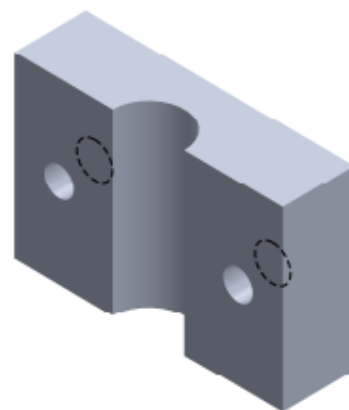
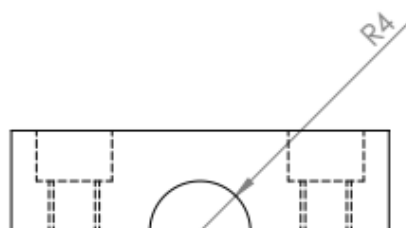


Echelle:1:1	Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued	A.BELLOUL K.BENNACER
	Piston de refoulement	21-05-2018
page: 2/2		matière: aluminium

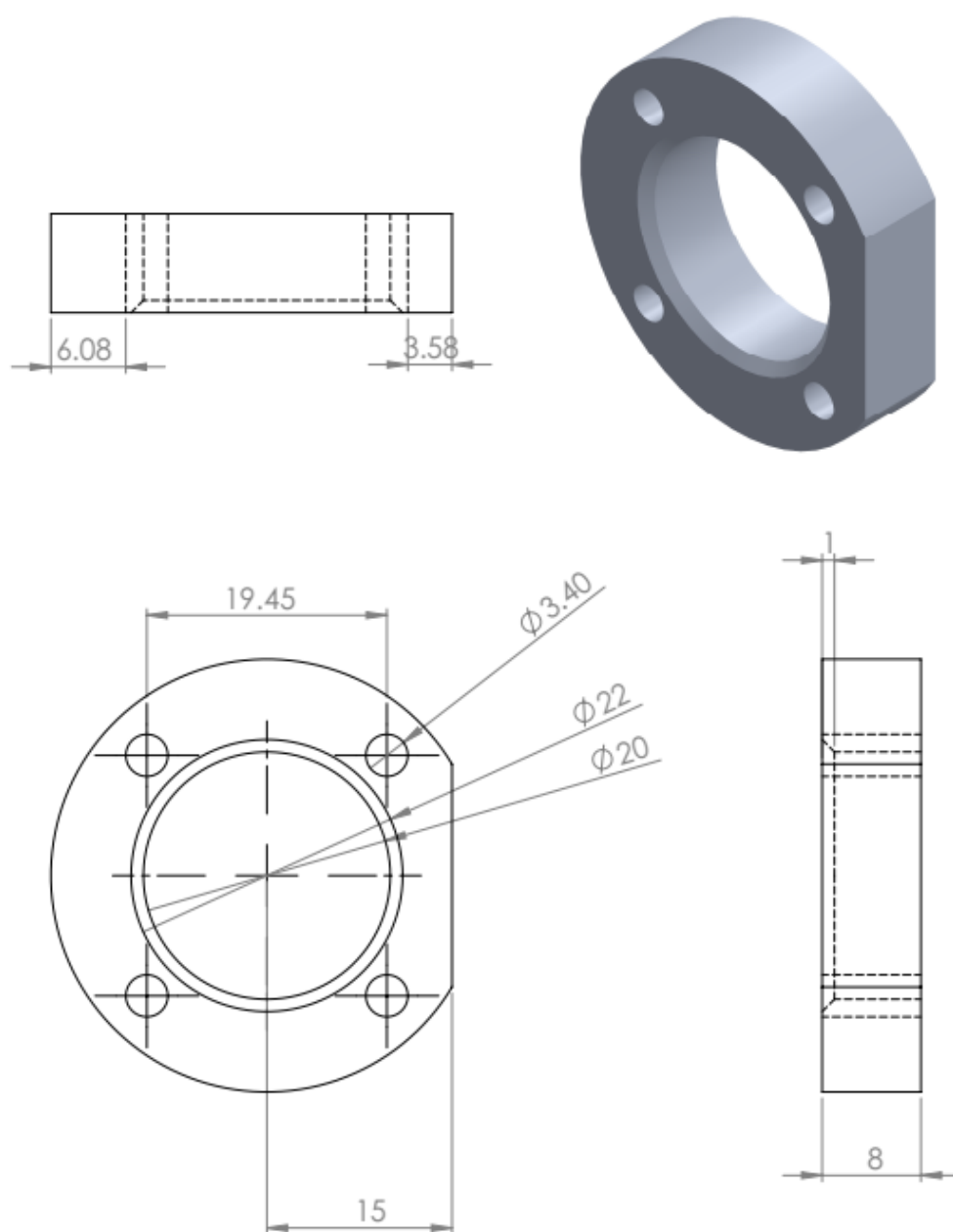




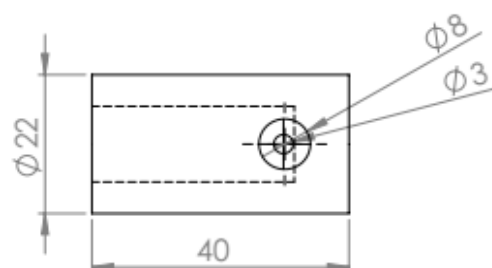
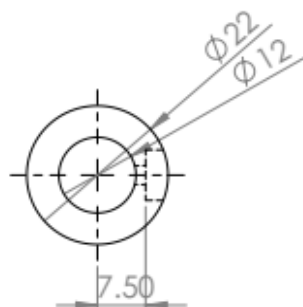
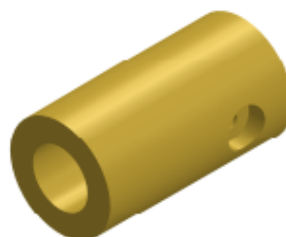
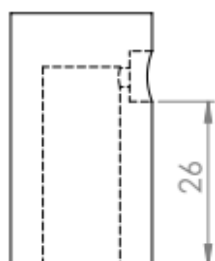
Echelle:1	Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued	A.BELLOUL K.BENNACER
	Support du moteur	21-05-2018
page: 1/2		matière: aluminium



Echelle: 2:1	Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued	A.BELLOUL K.BENNACER
	Support du moteur	21-05-2018
page: 2/2		matière: aluminium



Echelle:2:1	Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued	A.BELLOUL K.BENNACER
	Bride	21-05-2018
page: 1/1		matière: aluminium



Echelle:1	Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued	A.BELLOUL K.BENNACER
	Cylindre du piston moteur	21-05-2018
page: 1/1		matière: Cuivre

B. Les machines et les procédés d'usinage

FRAISAGE

Le Fraisage est un procédé d'usinage par enlèvement de matière. Il se caractérise par le recours à une machine-outil : la fraiseuse. L'outil classiquement utilisé est la fraise.

Aujourd'hui, toute fois, on a également un déplacement de l'outil par rapport à la pièce, lequel peut s'effectuer pratiquement dans n'importe quelle direction. L'outil de fraisage, la fraise comporte plusieurs arêtes de coupe dont chacune enlève une certaine quantité de métal sous forme de copeaux^{1,2}.

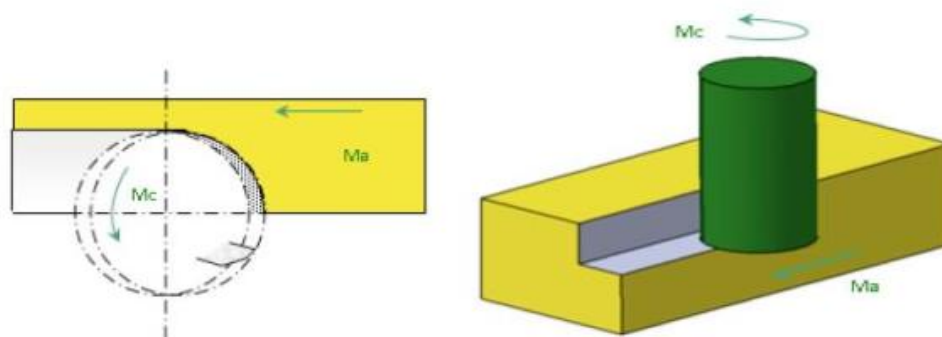


Figure B. 1 : *Mouvements de coupe et d'avance*³.

Le fraisage s'effectue sur différents types de machines :

Fraiseuses d'outillages (Universelles)

Cette machine sert principalement à usiner des pièces prismatiques. La pièce est fixée dans l'étau. L'outil est mis en rotation par le moteur de broche, il suit une trajectoire qui interfère avec la pièce. L'outil est muni d'une arête coupante, il en résulte un enlèvement de matière les copeaux^{4,1}.

¹Sandvik-Coromant, « Fraisage », Technique de l'Ingénieur, Traité Génie Mécanique, BM 7 082, 1997.

²A. GOHMES. Et H. KHALFAOUI. Thèse : Optimisation Multi –Objectif des Conditions de Coupe en Fraisage. UNIVERSITE DE KASDI MERBAH D'OUARGLA 2011.

³A. Belloufi, « Cours Procédés de Fabrication », Master Maintenance Industrielle, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2010.

⁴A. GOHMES. Et H. KHALFAOUI. Thèse : Optimisation Multi –Objectif des Conditions de Coupe en Fraisage. UNIVERSITE DE KASDI MERBAH D'OUARGLA 2011.

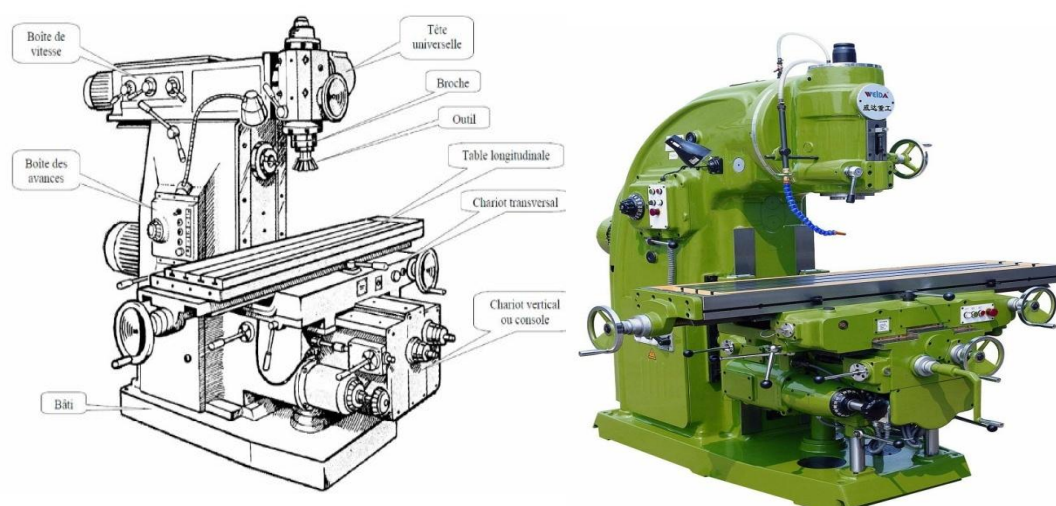


Figure B. 2 : Fraisage universelle².

Fraiseuses de production (a programme, commande numérique)

La commande numérique est une technique utilisant des données composées de codes alphanumériques pour représenter les instructions géométriques et technologique nécessaires à l'acconduite d'une machine ou d'un procédé^{3,4}.

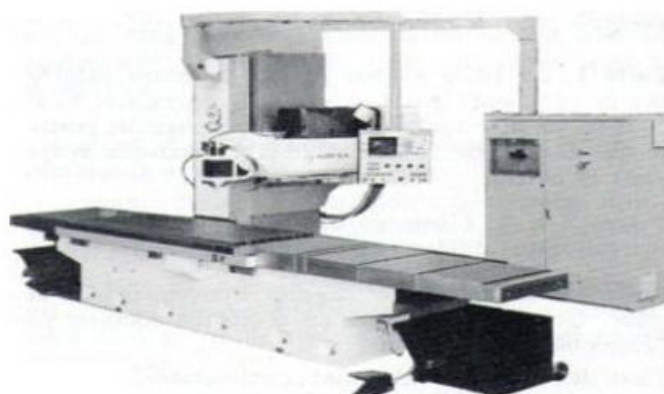


Figure B. 3 : Fraiseuse à C.N. à banc fixe⁵.

¹A.Belloufi, « Cours Procédés de Fabrication », Master Maintenance Industrielle, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2010.

²A.Belloufi, « Cours Procédés de Fabrication », Master Maintenance Industrielle, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2010.

³A. GOHMES. Et H. KHALFAOUI. Thèse : Optimisation Multi –Objectif des Conditions de Coupe en Fraisage. UNIVERSITEDE KASDI MERBAH D'OUARGLA 2011.

⁴R.Butin, M. Pinot, « Fabrication Mécanique Technologie, Tome 3», FOUCHER, PARIS.

⁵R.Butin, M. Pinot, « Fabrication Mécanique Technologie, Tome 3», FOUCHER, PARIS.

Fraiseuses spéciales

Les fraiseuses à reproduire permettent de reproduire suivant deux trois axes la forme représentée par un modèle (ou gabarit). Un pantographe permet une reproduction en réduction ou avec symétrie^{1,2}.

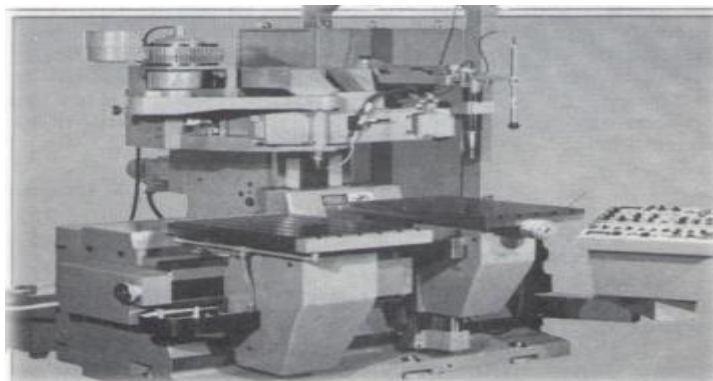


Figure B. 4 : Fraiseuse à reproduire à pantographe³.

Un palpeur est assujéti, par un dispositif hydraulique ou électrique, à suivre le profil d'un gabarit et à transmettre ses déplacements à une table porte-pièce. Ces machines sont utilisées essentiellement pour les travaux à l'unité (outillages de presse, coquilles métalliques, etc.).

TOURNAGE

Les tours permettent de réaliser des surfaces de révolution et hélicoïdales (filetage) : cylindres, cônes et plans (génératrice perpendiculaire à l'axe de révolution). L'utilisation principale de ces machines est l'usinage des arbres. La pièce, généralement tenue par le mandrin, a un mouvement de rotation (mouvement de coupe) transmis par la broche. L'outil peut se déplacer en translation suivant deux directions. Ces deux directions, perpendiculaires entre elles, appartiennent à un plan auquel l'axe de la broche est parallèle. Le premier mouvement de translation est parallèle à l'axe de la broche. Le deuxième mouvement de translation est perpendiculaire à l'axe de la broche⁴.

¹A. GOHMES. Et H. KHALFAOUI. Thèse : Optimisation Multi –Objectif des Conditions de Coupe en Fraisage. UNIVERSITE DE KASDI MERBAH D'OUARGLA 2011.

²A. Belloufi, « Cours Procédés de Fabrication », Master Maintenance Industrielle, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2010.

³A. Belloufi, « Cours Procédés de Fabrication », Master Maintenance Industrielle, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2010.

⁴H. Hadjsad, Choix Optimal d'une Technique D'optimisation des Conditions de Coupe en Tournage, Mémoire de Master, Université Kasdi Merbah Ouargla, 2014.

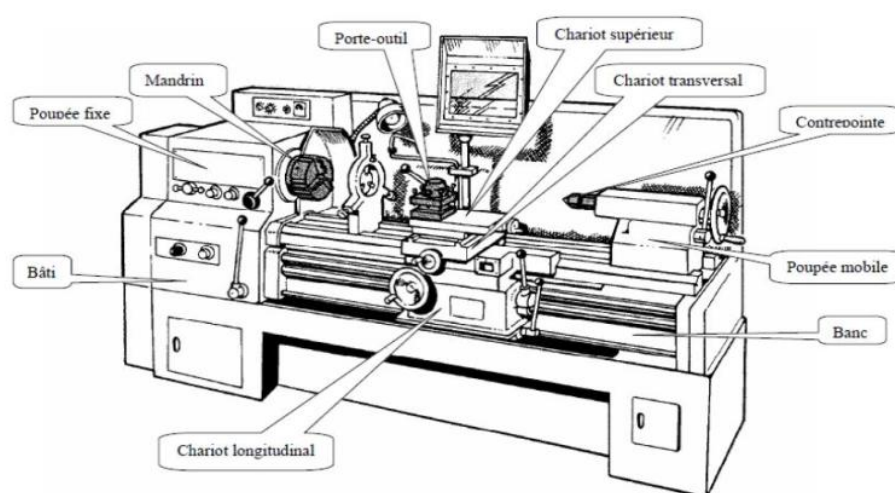


Figure B. 5 : Composantes d'un tour¹.

Les machines-outils les plus courantes utilisées pour le tournage sont :

Les tours parallèles à chariotier et à fileter

Ces machines sont utilisées pour les travaux unitaires ou de petites et moyennes séries sur des pièces très simples. Ces tours sont peu flexibles. Seules les surfaces dont les génératrices sont parallèles ou perpendiculaires à l'axe de la broche sont réalisables en travail d'enveloppe^{2,3}.

Les tours semi-automatiques

Ce sont des tours équipés d'un traînard semblable à celui d'un tour parallèle avec une tourelle hexagonale indexable munie de "6" postes d'outils animée d'un mouvement longitudinal contrôlé par des butées. Les outillages spécialement conçus pour la machine permettent des opérations simples et précises. La commande de ces tours peut être manuelle ou en partie automatique. La flexibilité de ces machines est très limitée. On les utilisera pour des travaux de moyenne série^{4,5}.

¹«Cours de Fabrication», Génie Mécanique, 2005.

²Rocdacier, Cours sur le Tournage - Usinage Cours Technologie, 2011.

³D.MAAMRI et A.NECIB. Thème Optimisation des Paramètres de Coupe pour Minimiser la Consommation d'Energie Pendant le Tournage. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA2015.

⁴Rocdacier, Cours sur le Tournage - Usinage Cours Technologie, 2011.

⁵D.MAAMRI et A.NECIB. Thème Optimisation des Paramètres de Coupe pour Minimiser la Consommation d'Energie Pendant le Tournage. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA2015.

Les tours automatiques

Plusieurs outils sont montés tangentiellement à la pièce. Les mouvements sont obtenus par des cames qui donnent la vitesse d'avance et la course de chaque outil. Une came est spécifique à une opération et à une pièce. Ces tours sont entièrement automatiques. Ces machines n'ont aucune flexibilité. Elles conviennent pour les très grandes séries^{1,2}.

Les tours automatiques multibroches

Ce type de tour comportera par exemple huit broches. Huit outils soit un par broche travaillent en même temps et effectuent une opération différente. Ce sont les broches qui tournent d'un huitième de tour pour présenter la pièce devant l'outil suivant. Lorsque les broches ont effectué un tour complet la pièce est terminée. Il est possible de travailler dans la barre. Sur ce type de tour les réglages sont longs et le temps de passage d'une série à l'autre immobilise la machine. ce tour sera réservé pour les grandes et très grandes séries à des pièces de dimensions réduites à cause de l'espacement entre les broches^{3,4}.

Les tours à commande numérique

Comme en copiage la génératrice de la pièce peut être quelconque mais ici la trajectoire de l'outil est obtenue par le déplacement simultané de deux axes dont les positions successives sont données par un calculateur travaillant à partir d'un programme propre à la pièce. Ces tours sont équipés d'un magasin d'outils et éventuellement d'un système de chargement des pièces. la flexibilité de ces machines est très grande et particulièrement bien adapté pour le travail unitaire ou les petites séries répétitives^{5,6}.

¹Rocdacier, Cours sur le Tournage - Usinage Cours Technologie, 2011.

²D.MAAMRI et A.NECIB. Thème Optimisation des Paramètres de Coupe pour Minimiser la Consommation d'Energie Pendant le Tournage. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA2015.

³Rocdacier, Cours sur le Tournage - Usinage Cours Technologie, 2011.

⁴D.MAAMRI et A.NECIB. Thème Optimisation des Paramètres de Coupe pour Minimiser la Consommation d'Energie Pendant le Tournage. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA2015.

⁵Rocdacier, Cours sur le Tournage - Usinage Cours Technologie, 2011.

Résumé :

L'énergie solaire est la source d'énergie la plus prometteuse et la plus puissante parmi les énergies renouvelables. Et dans le contexte énergétique actuel, nous assistons au développement de technologies de production d'énergie "propre". Ainsi, de nouvelles perspectives comme la conversion thermodynamique de l'énergie solaire ou la valorisation des déchets sont offertes à la recherche sur les "énergies renouvelables". Dans ce cadre, nous nous intéressons aux moteurs thermiques à apport de chaleur externe : le moteur Stirling

Une machine thermique fonctionnant suivant le cycle de Stirling constitue une alternative pour profiter des radiations solaires, puisque ces machines sont des machines à combustion externe.

Ce Mémoire présente la réalisation des moteurs Stirling solaire de type Gamma inventé par le pasteur écossais Robert STIRLING au début du XIX siècle (1816), Bien avant les moteurs à combustion interne.

Mots clés : Energie solaire, Concentrateur solaire parabolique, Centrale solaire thermodynamique, Moteur Stirling,

Abstract:

Solar energy is the source of the most promising energy and the powerful one among renewable energies. And in the current energy context, we are witnessing the development of "clean" energy production technologies. Thus, new perspectives such as the thermodynamic conversion of solar energy or the recovery of waste are offered to research on "renewable energies". In this context, we are interested in heat engines with external heat input: the Stirling engine.

A thermal machine operating according to the Stirling cycle is an alternative to take advantage of solar radiation, since these machines are external combustion machines.

This memoir presents the realization of the Stirling Solar Gamma type engines invented by the Scottish pastor Robert STIRLING at the beginning of the XIX century (1816), well before the internal combustion engines.

Keywords: Solar energy, Parabolic Solar concentrator, thermodynamic solar power plant, Stirling motor.

المخلص:

الطاقة الشمسية هي مصدر الطاقة الأكثر وعدا وقوة بين الطاقات المتجددة. وفي سياق الطاقة الحالي، نشهد تطوير تكنولوجيات إنتاج الطاقة "النظيفة". وبناءا على ذلك، تقدم وجهات نظر جديدة مثل التحويل الديناميكي الحراري للطاقة الشمسية أو استعادة النفايات للبحث عن "الطاقات المتجددة". في هذا السياق، نحن مهتمون بمحركات الحرارة ذات المدخلات الحرارية الخارجية: محرك ستيرلينغ.

تعتبر الآلة الحرارية التي تعمل وفقاً لدورة "ستيرلينغ" بديلاً للاستفادة من الإشعاع الشمسي، حيث أن هذه الآلات عبارة عن آلات احتراق خارجية.

تقدم هذه المذكرة انجاز محرك ستيرلينغ نوع قاما لمخترعه القس الأسكتلندي روبرت ستيرلينغ في بداية القرن التاسع عشر (1816)، وذلك قبل محركات الاحتراق الداخلي.

الكلمات المفتاحية: الطاقة الشمسية، مركز الطاقة الشمسية النقطة على شكل صحن، محطة الطاقة الشمسية الحرارية، محرك ستيرلينغ.