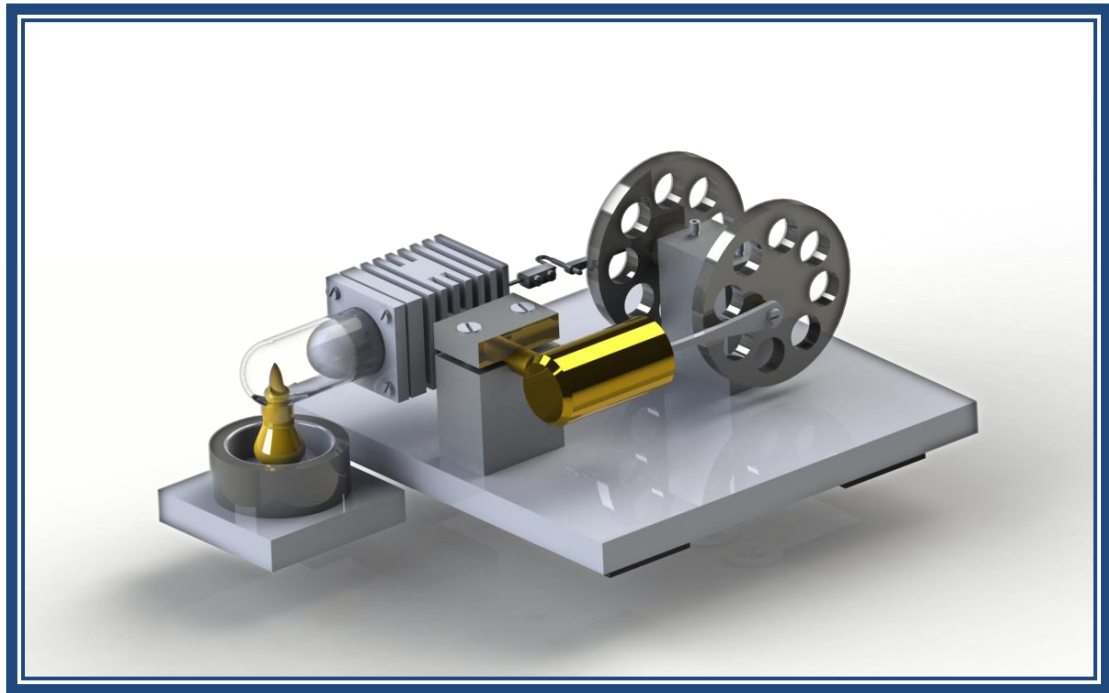


Conception et animation d'un moteur à air chaud sous Solidworks



Etudiants :

Thomas DA COSTA

Samy LAAMYEM

Erwan TARDY

Amandine HOUEL

Antoine LEVITRE

Chaher TOYBOU

Enseignant-responsable du projet :

Fauzi DHAOUADI

Cette page est laissée intentionnellement vierge.

Date de remise du rapport : **18/06/2012**

Référence du projet : **STPI/P6-3/2011 – 19**

Intitulé du projet : **Conception et animation d'un moteur à air chaud avec le logiciel Solidworks**

Type de projet : Conception assistée par ordinateur (CAO), simulation

Objectifs du projet :

- ✓ Modéliser et concevoir un moteur à air chaud : le moteur Stirling
- ✓ Se familiariser avec un logiciel de CAO : SolidWorks
- ✓ Cerner l'importance de chaque pièce qui constitue le moteur
- ✓ Mettre en pratique des connaissances théoriques
- ✓ Développer le travail en groupe et l'esprit d'équipe mais aussi l'autonomie de chacun

Mots-clefs du projet : **CAO, moteur Stirling**

Si existant, n° cahier de laboratoire associé : **xxx**

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à commencer ce rapport en adressant nos remerciements à M. Dhaouadi pour son encadrement, son aide et ses connaissances tout au long de notre projet.

TABLE DES MATIERES

1. INTRODUCTION.....	5
2. METHODE ET ORGANISATION AU SEIN DU GROUPE.....	6
2.1. Description de l'organisation adoptée pour le déroulement du travail	6
2.2. Organigramme des tâches réalisées et des étudiants concernés	7
3. PRESENTATION DU MOTEUR STIRLING.....	8
3.1. Historique du moteur Stirling	8
3.2. Fonctionnement d'un moteur Stirling	9
3.3. Différents types de moteur Stirling	12
3.3.1. Les principaux moteurs : Alpha, Bêta et Gamma	12
3.3.2. Les autres moteurs	13
3.4. Avantages et inconvénients de ce moteur	14
3.4.1. Avantages	14
3.4.2. Inconvénients	15
3.5. Applications du moteur Stirling	16
4. CONCEPTION DE NOTRE MOTEUR.....	18
4.1. Découverte et présentation de SolidWorks	18
4.1.1. Découverte de SolidWorks	18
4.1.2. Présentation de SolidWorks	18
4.2. Conception des pièces	20
4.2.1. Esquisses	20
4.2.2. Fonctions	21
4.3. Réalisation de l'assemblage	21
4.4. Problèmes rencontrés	23
5. PRESENTATION DE NOTRE MOTEUR	25
5.1. Vue éclatée	25
5.2. Rendu réaliste	26
6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	27
6.1. Conclusions sur le travail réalisé	27
6.2. Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. projet	27
6.3. Perspectives pour la poursuite de ce projet	28
7. BIBLIOGRAPHIE.....	29
8. ANNEXES.....	30
8.1. Analyse fonctionnelle du moteur Stirling	31
8.2. Mise en plan de certaines pièces du moteur	32



1. INTRODUCTION

Au cours du quatrième semestre de STPI, les étudiants ingénieurs doivent travailler sur un projet physique, projet qui a pour but de faire découvrir aux futurs ingénieurs un domaine de la physique, tout en consolidant leur aptitude à travailler en groupe. Pour cela, ils doivent choisir un sujet parmi l'éventail de choix possibles.

Notre groupe, constitué de six personnes, a travaillé au cours de ce semestre sur le sujet intitulé : « **Conception et animation d'un moteur à air chaud sous SolidWorks** ». Ce projet, comme son nom l'indique, consiste à utiliser le logiciel SolidWorks dans le but de concevoir les différentes pièces d'un moteur Stirling. Il s'agit ensuite d'assembler les différents éléments afin de réaliser le moteur et de l'animer. Ainsi, cela permet de mieux comprendre les particularités de son fonctionnement. Tout au long de notre projet, M.Dhaouadi était chargé de répondre à nos questions. Il nous a ainsi prodigué quelques conseils tout en nous laissant l'autonomie nécessaire à la réalisation d'un tel projet.

Par ailleurs, nous nous sommes répartis les tâches de façon à ce que chacun travaille de son côté. La majeure partie de notre travail fut en effet réalisée chez nous. Les rendez-vous hebdomadaires du vendredi avaient pour objectifs de faire le point sur l'avancement du projet et de discuter des problèmes rencontrés par chacun au cours de la semaine. Nous profitions également de cette heure et demi mise à notre disposition pour vérifier que notre moteur conçu sous Solidworks présentait les mêmes caractéristiques que le moteur réalisé en parallèle par un autre groupe à la même heure.

Ainsi, dans notre rapport, nous verrons dans un premier temps l'organisation adoptée au sein de notre groupe, puis nous exposerons les informations essentielles concernant le moteur Stirling, d'un point de vue historique mais également technique en expliquant les différents types de moteur existant à ce jour. Dans un troisième temps, nous présenterons les différentes étapes de la conception des pièces à leur assemblage via le logiciel Solidworks. Nous n'oublierons pas de mentionner les difficultés que nous avons rencontrées. Enfin, nous présenterons une vue éclatée et le rendu réaliste du moteur conçu au cours du projet.



2. METHODOLOGIE ET ORGANISATION DU TRAVAIL

2.1. Description de l'organisation adoptée pour le déroulement du travail

Ce type de projet en groupe nécessite une certaine organisation et une bonne gestion du groupe afin de pouvoir évoluer dans les meilleures conditions possibles. La bonne organisation de notre temps de travail se traduit obligatoirement par une répartition au sein du groupe des différentes tâches à réaliser.

Ci-dessous, se trouve le schéma qui récapitule le temps de travail dont nous avons eu besoin pour chaque étape.

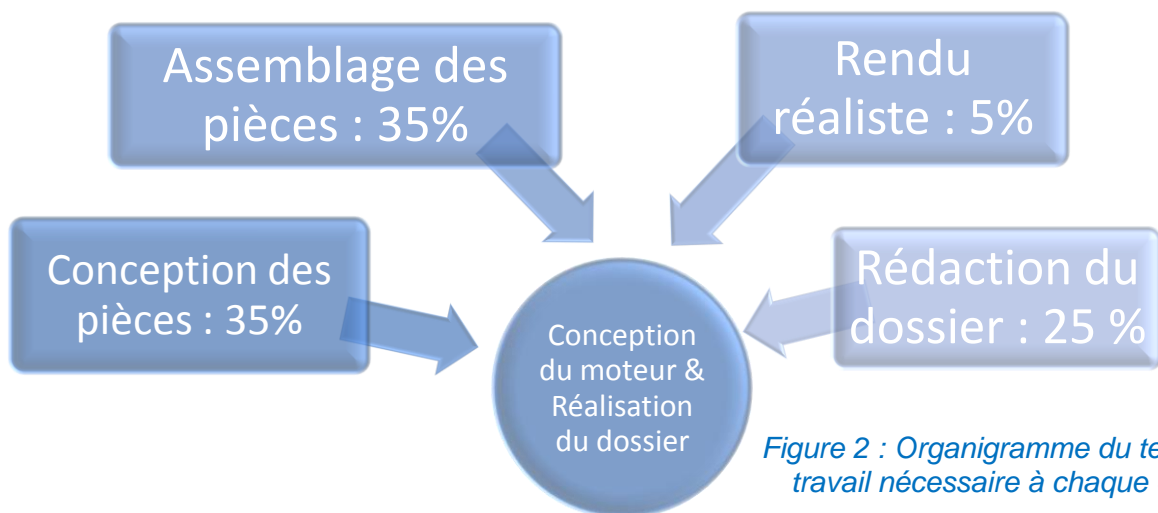


Figure 2 : Organigramme du temps de travail nécessaire à chaque étape

Nous remarquons que la conception des pièces fut une partie importante de notre projet. Cela s'explique par le fait qu'il a fallu étudier chaque pièce, mesurer ses dimensions avant de commencer l'esquisse. Par ailleurs, notre responsable de projet M. Dahouadi nous a, dès le début du projet, remis les plans de certaines pièces. Ceux-ci nous ont bien évidemment été très utiles pour la conception des pièces.

Par la suite, l'assemblage a également demandé un investissement personnel et temporel. En effet, nous avons été amenés, dans certains cas, à modifier les pièces précédemment réalisées afin d'ajuster les cotations pour obtenir un assemblage parfait des pièces de notre moteur. Nous avons décidé de réaliser l'assemblage d'un seul trait, sans passer par la réalisation de sous-assemblages, afin d'éviter les incohérences et les problèmes de compatibilité entre les différentes versions de Solidworks. Ainsi, nous avons tous participé à l'assemblage, principalement mené par Amandine Houel et Thomas Da Costa, les deux personnes les plus à l'aise avec Solidworks au cours de ce projet. Toutefois, ce mode de fonctionnement a permis à chacun d'entre nous de donner son avis, ses conseils, de proposer ses solutions ou d'apporter sa touche personnelle à tout moment.

Nous avons ensuite effectué le rendu réaliste de notre moteur, cela consiste à attribuer à chaque pièce le matériau qui la constitue, ainsi, nous obtenons des pièces avec des aspects et des couleurs différentes. Enfin, nous avons cherché à mettre le moteur dans la position la plus appropriée de façon à le mettre en valeur. Cette étape ne nous a posé aucun problème.



2.2. Organigramme des tâches réalisées et des étudiants concernés

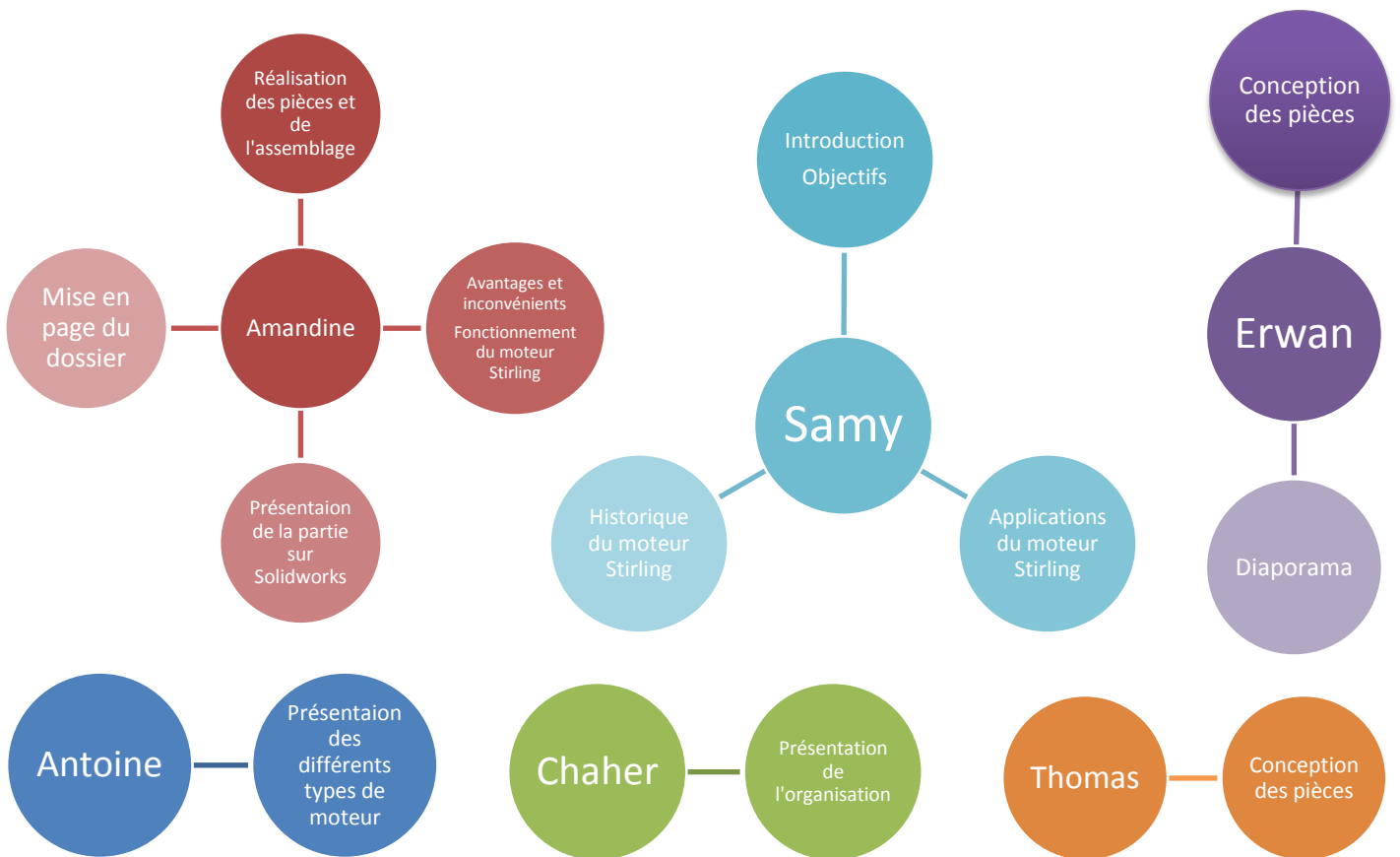


Figure 3 : Organigramme des tâches réalisées par chaque élève

Par ailleurs, nous nous sommes réparties les différentes parties de notre dossier à rédiger. L'écriture du rapport a débuté avant que notre conception ne soit totalement terminée. En effet, le dossier intègre des captures d'écran, des mises en plan, il s'agit donc d'un travail de rédaction en parallèle avec le travail de conception.

Plus précisément, Sammy Laamyen s'est occupé de l'introduction, de l'historique du moteur Stirling et de ses différentes applications possibles, alors qu'Antoine Levitre a comparé les différents types de moteur Stirling. Amandine Houel a ensuite explicité le fonctionnement d'un moteur Stirling ainsi que les différentes étapes nécessaires pour réaliser ce moteur avec le logiciel Solidworks. Elle s'est par ailleurs intéressée aux avantages et inconvénients de ce moteur. Chaher Toybou a quant à lui rédigé l'organisation du travail dans le groupe. Enfin, nous avons, chacun de notre côté, rédigé un petit paragraphe afin d'exprimer notre avis personnel et d'expliquer ce qui nous a intéressé ou déplu dans ce projet.

3. PRESENTATION DU MOTEUR STIRLING

3.1. Historique du moteur Stirling

Le Pasteur Robert Stirling né le 25 octobre 1790, à Gloag dans le comté de Perthshire en Ecosse était le troisième enfant d'une famille en comprenant huit. Son grand-père paternel fabriquait des batteuses, son grand-père maternel était agriculteur. Il poursuivit de brillantes études à l'université d'Edimbourg de 1805 à 1808. Ensuite, il se tourna vers des études de théologie à l'université de Glasgow pour devenir pasteur.

Il se maria le 10 juillet 1819 avec Jean Rankin. Ils eurent sept enfants. Quatre garçons devinrent ingénieurs dans les chemins de fer, un autre choisit de devenir à son tour pasteur. Quant aux deux filles, l'une fit profiter ses frères de ses idées et l'autre se consacra au métier d'artiste.

La vie de Robert Stirling se déroule durant le XIX^{ème} siècle qui voit de nombreuses découvertes scientifiques et techniques. C'est probablement ce bouillonnement d'idées, sa curiosité naturelle et son pragmatisme qui pousseront Robert Stirling à inventer "le moteur à air chaud". Par ailleurs, à cette époque, les chaudières à vapeur, peu résistantes, explosaient régulièrement aux moments les moins opportuns et faisaient de nombreuses victimes. Les problèmes de conception, la qualité encore médiocre des matériaux, une quasi-absence de règles d'utilisation et de maintenance sont à l'origine de ces décès.

Tout ceci a probablement motivé Robert Stirling à imaginer un moteur sans chaudière soumise à de trop fortes pressions où la chaleur est apportée de l'extérieur de la machine, ce qui réduit les risques d'explosions. Il découvre qu'il suffit de chauffer l'air ambiant par combustion pour alimenter ce moteur en énergie. Le brevet fut déposé le 27 septembre 1816 et fut effectif le 20 janvier 1817.

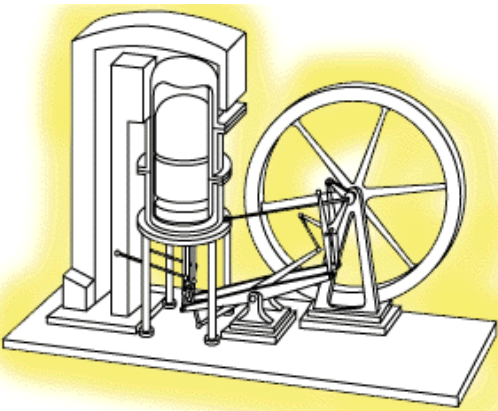


Figure 5 : Moteur de Robert Stirling (1816)

Robert Stirling découvre aussi que la mise en place d'un régénérateur dans la tuyauterie du moteur (entre les deux pistons) permet d'éviter trop de pertes d'énergie et améliore considérablement son rendement. En bon écossais, il appelait cet appareil un "économiseur". En 1843, son frère James « industrialise » ce moteur, pour une utilisation dans l'usine où il est ingénieur. Cependant, elle ne connut pas tout l'essor que les frères Stirling auraient pu souhaiter, probablement en raison de différents bris et d'une puissance trop faible par rapport à la machine à vapeur, pourtant plus dangereuse à l'époque. Puis, le moteur à combustion interne commençait à s'imposer et les premières applications industrielles de la motorisation électrique voyaient le jour.

En 1871, les progrès de la thermodynamique accomplis au XIX^{ème} siècle permettent à Gustav Schmidt de décrire mathématiquement le cycle de Stirling.

Il faut attendre les années 1930 pour que la compagnie néerlandaise Philips investisse dans le moteur à air chaud désormais appelé moteur Stirling. Cela conduit à de nombreux tests dans toutes sortes de technologies. En 1938, dans le domaine de l'automobile, un moteur Stirling compact de plus de 200 chevaux, avec un rendement supérieur à 30 % (comparable aux moteurs à essence actuels) voit le jour. Malheureusement, pour des raisons de compétitivité, cette application ne rencontra pas le succès escompté. Ce n'est que dans les dernières décennies que les développements du moteur ont commencé à être intéressants pour l'industrie, à cause du besoin croissant pour les sources d'énergie alternatives. Ainsi, les applications du moteur Stirling sont devenues de plus en plus fréquentes.



Figure 4 : Photo de Robert Stirling

3.2. Fonctionnement d'un moteur Stirling

Description du système :

Pour comprendre le fonctionnement d'un moteur Stirling, il faut avant tout prendre connaissance des principales pièces qui interagissent durant le cycle. Tout d'abord, le moteur possède au moins un **cylindre fermé** contenant un gaz, c'est dans ce cylindre que les échanges de chaleur vont s'effectuer. Puis le moteur est constitué de **deux pistons** : l'un est **moteur**, il se charge de fournir de l'énergie mécanique au moteur, l'autre, **déplaceur** a pour rôle de déplacer le gaz d'une zone chaude à une zone froide et vice versa. Ce dernier laisse donc passer le gaz, il n'est pas tout à fait hermétique. Enfin ce moteur dispose d'un **régénérateur** qui récupère ou retransmet de la chaleur au gaz lors de son passage d'une zone à une autre. Ce régénérateur constitue un volume mort dans le moteur mais permet d'améliorer son rendement de façon significative. Il évite en effet de trop grandes pertes d'énergie lors du cycle. C'est en fait un échangeur de chaleur qui se trouve entre la zone chaude et la zone froide du moteur.

Le fonctionnement du moteur Stirling est relativement simple, il peut se décomposer en quatre phases constituant un cycle. Au cours de ce cycle, c'est un gaz (air, hydrogène ou hélium) qui travaille afin de **créer de l'énergie mécanique à partir d'énergie thermique**. C'est une source chaude et une source froide externes au moteur qui permettent de le faire travailler. On considèrera pour l'étude du moteur un cylindre dont l'extrémité supérieure est fermée et chauffée fortement alors que la partie basse est refroidie.

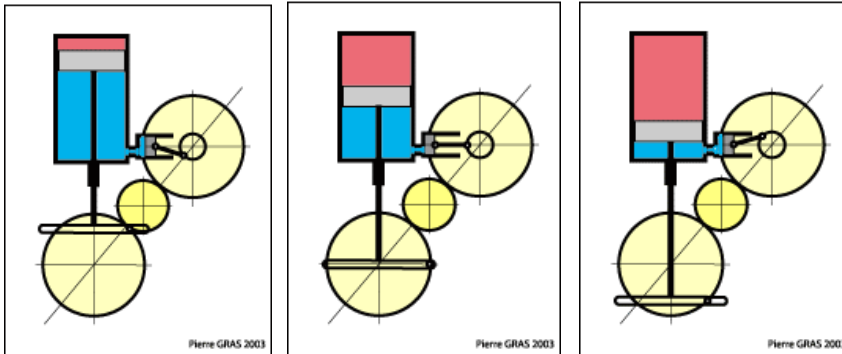
Au début du cycle, le gaz à l'intérieur du moteur est déplacé vers un endroit chauffé par une certaine source d'énergie : de ce fait, sa température et sa pression augmente. Le gaz se dilate transformant ainsi son énergie thermique en énergie mécanique.

Toutefois, le gaz ne peut pas se dilater infiniment : il faut compresser le gaz dans le piston jusqu'à son état initial (de façon à ce qu'il puisse se dilater de nouveau plus tard) en utilisant le moins d'énergie possible, puisque compresser un gaz demande de l'énergie mécanique. Pour cela, il faut déplacer le gaz du côté chaud au côté froid du moteur, diminuant ainsi la pression.

En utilisant l'énergie mécanique précédemment fournie, on comprime le gaz : puisque compresser un gaz à basse pression demande moins d'énergie que ce que la dilatation d'un gaz à haute pression fournit, on récolte un surplus d'énergie mécanique à chaque fois que l'on répète le cycle de dilatation à haute pression – compression à basse pression. Bien sûr, il faut constamment alimenter le moteur en énergie thermique. On nomme ce cycle thermodynamique le cycle de Stirling.



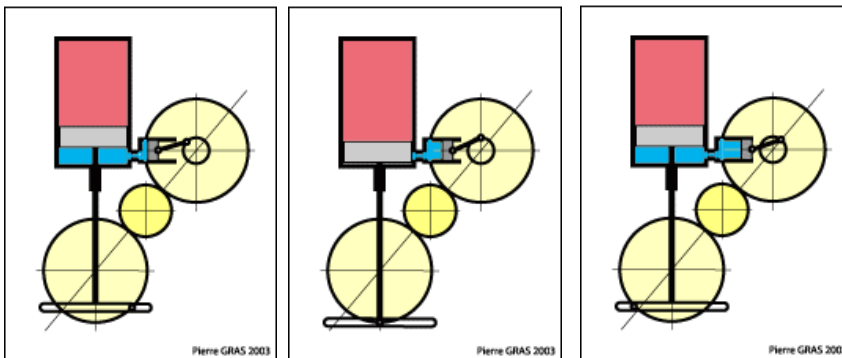
Description du cycle :



De 1 à 2 :

Le déplaceur descend et transfère l'air de la partie froide à la partie chaude.

L'air s'échauffe, tend à se dilater, mais contenu dans un volume limité, sa pression augmente.

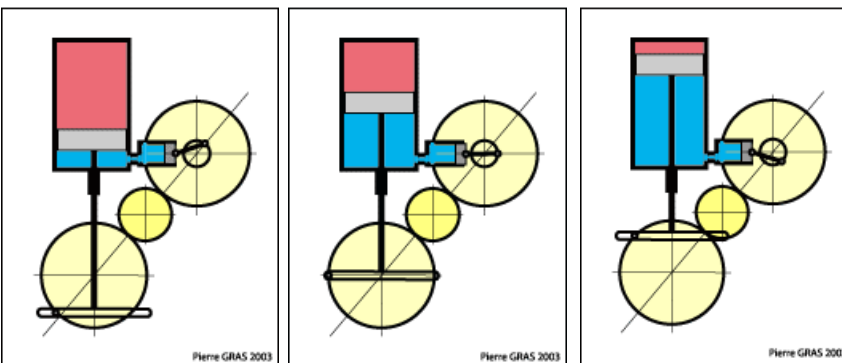


De 2 à 3 :

Le déplaceur bouge peu.

En revanche, le piston moteur effectue plus de 70% de sa course.

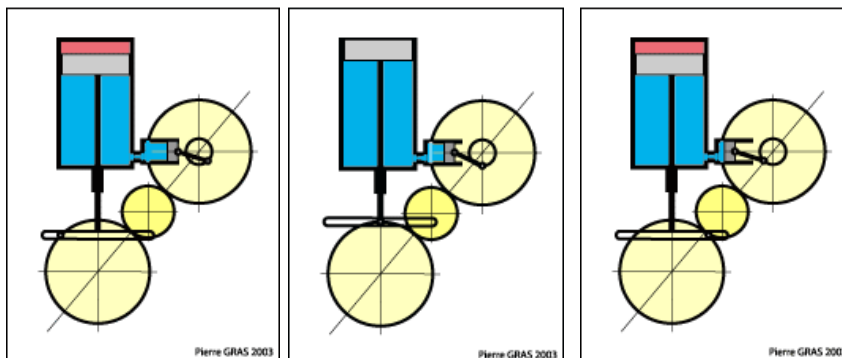
Il récupère l'énergie motrice, ce qui constitue le temps moteur.



De 3 à 4 :

Le déplaceur remonte en position haute et transfère l'air dans la position froide.

Ce dernier voit sa pression baisser.



De 4 à 1 :

Le déplaceur est en position haute, globalement le gaz est froid.

Le piston moteur effectue la majorité de sa course. Il comprime le gaz en cédant l'énergie mécanique.

Figures 6 : Différentes phases de fonctionnement du moteur Stirling



Points 1 à 2 : **chauffage isochore**. Le gaz circule dans le régénérateur et prélève de la chaleur. La température et la pression du gaz augmentent alors que le volume reste constant.

Points 2 à 3 : **détente isotherme**. La zone de détente est chauffée par l'extérieur, le gaz a une pression supérieure à la pression extérieure. Celui-ci, tendant vers un équilibre thermodynamique, va voir sa pression diminuer. Le produit nRT étant constant, pour que la pression diminue, le volume doit augmenter. Pendant cette phase, le gaz fournit donc de l'énergie mécanique.

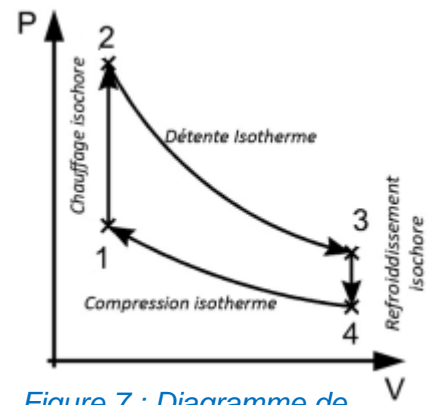


Figure 7 : Diagramme de Clapeyron

Points 3 à 4 : **refroidissement isochore**. Le gaz passe dans le régénérateur, se refroidit en lui transférant sa chaleur qui sera utilisée pour le cycle suivant. La température et la pression du gaz diminuent.

Points 4 à 1 : **compression isotherme**. La zone de compression est refroidie, ainsi le gaz suit une compression isotherme. La pression du gaz augmente au fur et à mesure que son volume diminue. On doit fournir de l'énergie mécanique au gaz pendant cette période.

Notre moteur

En pratique, on dispose d'une source chaude qui fournit de la chaleur à un gaz enfermé dans un cylindre fermé. L'air contenu dans ce cylindre « déplaceur » au-dessus de la flamme s'échauffe, la température et la pression augmentent. Le gaz se dilate et passe par le tuyau de liaison vers le cylindre « moteur » pour pousser le piston moteur. Les roues tournent. C'est la phase motrice du cycle décrite précédemment où l'énergie thermique est convertie en énergie mécanique.

Le déplaceur, entraîné par la rotation des roues grâce au phénomène d'inertie, recule vers la partie chaude et donc transfère l'air vers la partie froide du cylindre « déplaceur ». Le gaz se refroidit et lors du retour du piston dû à l'énergie mécanique précédemment fournie il se comprime.

La pression est maintenant à son minimum dans la machine, la descente du piston moteur va comprimer l'air dans l'espace froid.

Le déplaceur se déplace rapidement vers la partie froide forçant l'air maintenant comprimé, donc préchauffé, à aller vers la partie chaude au-dessus de la flamme et le cycle recommence.

Le cycle se poursuit donc ainsi de suite avec ce déplacement d'air, tantôt vers la partie froide, tantôt vers la partie chaude, en répétant constamment les étapes chauffage haute pression et compression basse pression.

Notre projet consistant à réaliser et animer un moteur Stirling sur SolidWorks, nous avons laissé le soin à l'autre groupe de le concevoir réellement. Si nous avions dû le faire également, nous aurions opté pour certains matériaux en particulier. L'aluminium possède un bon rapport qualité/prix et a, de plus, la propriété d'être facile à usiner, il est donc le plus adapté à la fabrication d'une grande partie des pièces. Pour les pièces sensées conduire la chaleur dans le moteur, tel que le déplaceur, le matériau adéquat est le laiton au vu de ses propriétés thermodynamiques. On peut également utiliser le verre pour transmettre la chaleur. Enfin, on note l'importance du choix du matériau utilisé pour la fabrication des roues. En effet, au cours du fonctionnement du moteur, elles sont entraînées en rotation par le phénomène d'inertie. Il est donc préférable d'utiliser des roues en acier, présentant une masse volumique importante. Ces roues doivent également être « équilibrées ».



3.3. Différents types de moteur Stirling

3.3.1. Les principaux moteurs

Les trois moteurs Stirling les plus connus sont les moteurs Alpha, Bêta et Gamma. Cependant, il en existe d'autres dont nous parlerons plus brièvement. Nous nous intéresserons plus particulièrement au moteur de type Gamma, qui fait l'objet de notre modélisation sous SolidWorks.

3.3.1.1. Le moteur Alpha

Le moteur Alpha dissocie de façon très nette la source chaude de la source froide. En effet, ce moteur est composé de deux pistons séparés, l'un est relié à la source chaude et l'autre à la source froide. Il dispose également d'un régénérateur. Les deux pistons doivent être étanches. Le ratio puissance-volume de ce moteur est très élevé, en revanche, les températures importantes imposées au piston « chaud » causent de nombreux problèmes techniques au niveau des joints du piston.

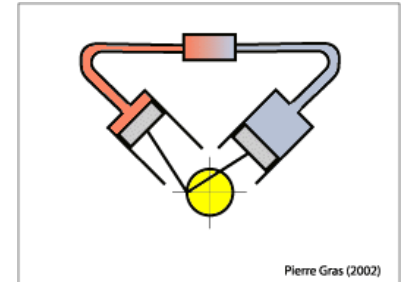


Figure 8 : Schéma d'un moteur de type alpha

3.3.1.2. Le moteur Bêta

Le moteur Bêta est lui aussi composé de deux pistons. Cependant, à la différence du moteur Alpha, le Stirling Bêta a un piston de puissance placé coaxialement avec un piston de déplacement. Ce dernier sert uniquement à déplacer le gaz vers l'échangeur de température chaude ou vers l'échangeur de température froide suivant le cycle. Les avantages de ce moteur sont la compacité et l'absence de perte aérodynamique. En revanche, les pertes thermiques par conduction constituent l'inconvénient principal de ce Stirling Bêta.

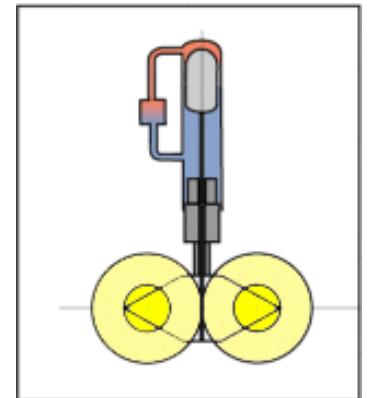


Figure 9 : Schéma d'un moteur de type bêta

3.3.1.3. Le moteur Gamma

Un moteur Gamma est un moteur Bêta sur lequel le piston de puissance n'est pas monté coaxialement avec le piston de déplacement. Ces deux pistons sont en effet placés dans deux cylindres différents, comme un Stirling Alpha. Le Stirling Gamma est en d'autres termes une alternative entre le moteur Alpha et le moteur Bêta.

Le piston de déplacement occupe successivement la zone chaude puis la zone froide, chassant à chaque fois le gaz vers la zone opposée. Le piston moteur se met en mouvement grâce aux variations de pression engendrées par ces variations de température.

D'un point de vue mécanique, il s'agit d'un moteur simple à réaliser comparé aux moteurs Alpha et Bêta. Le volume balayé par le déplacement ne pouvant nécessairement pas être balayé par le piston de puissance, il constitue un volume mort. Pour cette raison, le moteur Gamma ne peut pas atteindre des rapports de compression élevés, ce qui limite les possibilités de rendement.

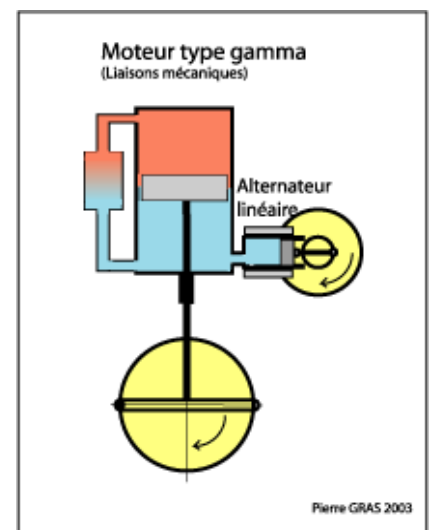


Figure 10 : Schéma d'un moteur de type gamma



Toutefois il est possible d'augmenter ce rendement. Seul le piston de puissance dispose d'un système d'étanchéité. Mais certains moteurs Gamma ont un piston de déplacement également étanche. Le gaz emprunte donc un circuit externe pour passer d'une zone à l'autre. Il est alors possible d'utiliser un régénérateur sur ce circuit extérieur. Un régénérateur est un accumulateur de chaleur. Quand le gaz froid passe dans le régénérateur chaud, il se réchauffe en refroidissant le régénérateur et le phénomène inverse se produit quand le gaz chaud passe dans le régénérateur froid, augmentant de fait le rendement du moteur.

3.3.2. Les autres moteurs

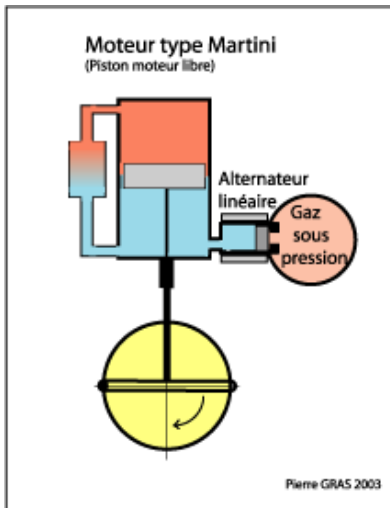


Figure 11 : Schéma du moteur à piston libre

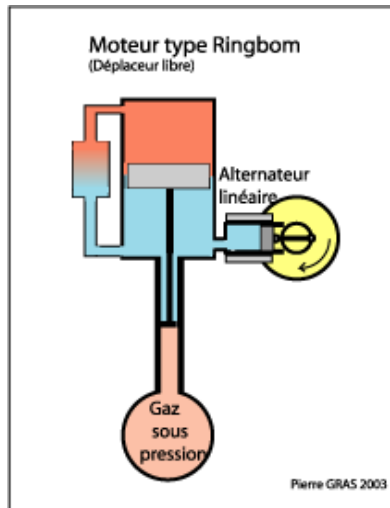


Figure 12 : Schéma du moteur à déplaceur libre

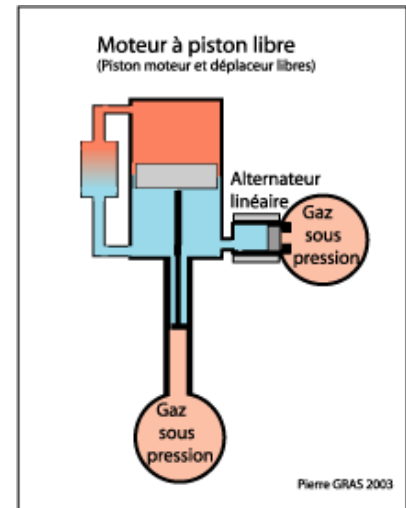


Figure 13 : Schéma du moteur à piston et déplaceur libres

3.3.2.1. Le moteur à piston libre dit Martini

Le piston moteur n'est pas relié mécaniquement. Il se déplace en fonction de la pression du moteur. Quand la pression monte, il est poussé dans un sens. Quand la pression baisse, il revient dans l'autre sens, à sa position initiale. Ceci nécessite la présence d'une force moyenne sur la face "extérieure" du piston. Elle est générée par un gaz enfermé dans une enceinte ou par le tarage d'un ressort.

Il est possible d'utiliser un aimant comme piston moteur, ce qui permet de réduire les nombreuses pertes mécaniques en installant en périphérie un alternateur linéaire et en générant ainsi du courant électrique.

3.3.2.2. Le moteur à déplaceur libre ou Ringbom

Du nom de son inventeur, le russe Osian Ringbom, le moteur Ringbom est lui entraîné mécaniquement. Le déplaceur se positionne en fonction de la différence de pression sur ces deux faces.

3.3.2.3. Le moteur à piston et déplaceur libres

Ce moteur cumule les avantages des deux précédents. Le principal avantage est que l'on peut obtenir une étanchéité absolue car il n'existe aucune liaison mécanique avec l'extérieur. L'énergie produite est évacuée par un alternateur linéaire totalement étanche.



3.3.2.4. Le moteur à double effet

Le principe consiste à mettre des moteurs de type Alpha en "série". Il y a un seul piston par cylindre qui joue le rôle de déplaceur et de piston moteur. Le déphasage entre chacun des pistons est de 90°.

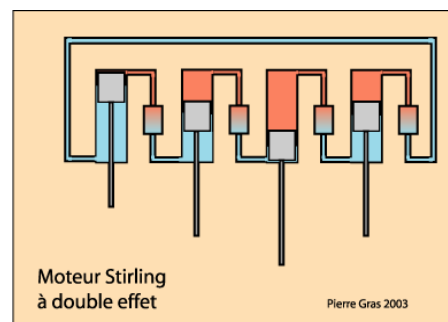


Figure 14 : Schéma d'un moteur à double effet

3.4. Avantages et inconvénients de ce moteur

3.4.1. Avantages

- Un fonctionnement silencieux

Contrairement à un moteur à combustion interne classique, dans un moteur Stirling, il n'y a pas d'explosion, d'ouverture et de fermeture de valves, ni de bruits de gaz qui s'échappent. Le moteur est en circuit fermé et la combustion est continue à l'extérieur du ou des cylindre(s). Cela limite ainsi la production de vibrations du moteur ce qui le rend très silencieux. C'est la raison pour laquelle, les marines suédoises, australiennes et bientôt américaines l'utilisent en tant qu'ensemble propulseur principal pour ses sous-marins.

- Une grande fiabilité et un entretien aisé

La relative simplicité technologique de ce moteur permet d'avoir des moteurs d'une très grande fiabilité et nécessitant peu de maintenance, et ainsi une bonne durée de vie. En effet, du fait de l'absence d'échanges de matière avec l'environnement et de l'absence de réactions chimiques internes, ce moteur subit moins de sources de détérioration qu'un moteur à combustion interne. De plus, le lubrifiant n'est pas contaminé par les résidus de combustion, il n'est donc pas nécessaire de procéder à des vidanges périodiques. Sa facilité d'entretien s'explique également par le peu de pièces utilisées.

- Un rendement élevé

Le rendement peut avoisiner les 40 % pour un moteur Stirling alors qu'il est d'environ de 35 % pour les moteurs à explosion et de 15% pour les panneaux solaires. Certes, une différence de 5 points peut paraître faible, mais cela représente tout de même 15% d'économie d'énergie. C'est pourquoi les moteurs Stirling sont aujourd'hui utilisés par la NASA sur les satellites et sondes spatiales. C'est l'utilisation de matériaux modernes et de hautes pressions qui assurent ce meilleur rendement, supérieur à celui des moteurs Otto ou diesel. Le rendement dépend en grande partie de la différence de température que l'on applique aux deux côtés du ou des piston(s).

- Un cycle réversible

Entraîné par un autre moteur, un moteur Stirling devient une pompe à chaleur capable de refroidir à -200°C ou de chauffer à plus de 700°C, selon le sens d'entraînement, et cela, sans employer de gaz aux propriétés chimiques particulières. En pratique, d'ailleurs, c'est la fonction de pompe à chaleur efficace qui permet à quelques machines d'exister. Il est ainsi utilisé dans le domaine de la cryogénie industrielle et militaire afin de liquéfier des gaz ou de refroidir des systèmes de guidage militaire infrarouge.



- Une multitude de sources chaudes possibles

Etant donné que le moteur est chauffé de l'extérieur, il peut fonctionner à partir de diverses sources de chaleur, soit par combustion (charbon, gaz, pétrole, déchets...), soit en utilisant de l'énergie renouvelable (énergie solaire, géothermique...). L'un de ses avantages est également la valorisation d'énergie dite de rebut. En effet, le moteur peut utiliser des gaz chauds ou bien la chaleur issue de pertes par effet joule. Le moteur fonctionnant avec de faibles écarts de température il peut se servir de telles énergies pour fonctionner. C'est ainsi que le constructeur de cartes mères d'ordinateur personnel MSI a présenté début 2008 un système de refroidissement dont le ventilateur est actionné par un moteur Stirling utilisant comme source de chaleur l'énergie dégagée par la puce à refroidir.

- Une pollution moindre

Contrairement à de nombreux moteurs thermiques où la combustion est souvent imparfaite, dans le cas du moteur Stirling, il est possible de fournir de la chaleur de façon moins polluante grâce aux énergies non fossiles issues de l'extérieur. On peut par exemple mettre à profit l'énergie du soleil en utilisant une parabole réfléchissante qui concentre les rayons du soleil en un seul point : le foyer de la parabole où le moteur Stirling est installé.



Figure 15 : Un système moins polluant

De plus, il n'émet pas de gaz polluants, les seuls gaz susceptibles d'être nocifs sont ceux produit par la source chaude mais il est facile de ne pas utiliser de combustibles polluants. Si toutefois nous souhaitons utiliser le même combustible que dans un moteur diesel ou à essence, les émissions sont plus faibles car elles sont mieux maîtrisées dans un système de combustion à flux continu que dans un système à flux alternatif. Ainsi, la combustion complète du carburant est plus facilement envisageable et le moteur Stirling répond plus facilement aux exigences environnementales en matière de pollution atmosphérique.

3.4.2. Inconvénients

Malgré ses nombreux avantages écologiques, pratiques ou mécaniques, le moteur Stirling demeure généralement absent du secteur industriel du fait de ses inconvénients.

- Un prix élevé

Le frein à son développement est aujourd'hui probablement son coût puisqu'il n'est pas encore compétitif par rapport aux autres moyens bien implantés. En effet, son prix élevé s'explique par l'absence de conception en série. On peut également remarquer la méconnaissance du moteur Stirling par le grand public. Par ailleurs, il existe de nombreuses versions du moteur Stirling, ce qui ralentit l'uniformisation de ce moteur pour une utilisation à grande échelle et par conséquent empêche une baisse des prix. Pour la même raison, les industriels ne lui accordent pas le même intérêt en termes de recherche et développement, ce qui ne lui permet pas de combler son retard.

- Un problème d'étanchéité

Il est également difficile d'assurer l'étanchéité du moteur dès que l'on souhaite avoir des pressions de fonctionnement élevées (supérieures à 50 bars). Le choix du gaz "idéal", à savoir l'hydrogène pour sa légèreté et sa capacité à absorber les calories, se heurte à sa faculté de se diffuser au travers des matériaux. Ce problème récurrent de dynamique des fluides s'avère difficile à contrôler.



- Les échanges de chaleur

Ils sont délicats entre les gaz et nécessitent souvent des appareils volumineux. Alors que les moteurs à combustion interne produisent la chaleur directement au sein du fluide, très vite et de façon très homogène, un système Stirling repose sur des transferts thermiques. Il utilise de plus des gaz aux propriétés d'isolants thermiques, les échanges de chaleur sont donc très lents.

- Une taille importante

Les échangeurs de chaleur, plus encombrants que le système de piston et d'injection, augmentent de façon significative la taille de ce moteur. C'est pourquoi il est difficile de compacter ce moteur, or le soucis de l'encombrement dans l'industrie automobile ou aérienne est primordial.

- Un manque de souplesse

Actionné par une convection de gaz et non par une explosion, le moteur Stirling n'est pas aussi réactif que certains moteurs. Les variations rapides et efficaces de puissance sont donc difficiles à obtenir avec un moteur Stirling. En effet, les variations de température nécessitent une certaine inertie. De même, le changement de régime ne peut s'effectuer qu'en agissant sur le taux de compression du fluide de travail. Ce moteur est ainsi plus apte à fonctionner à puissance nominale constante. Ce point est un gros handicap pour l'industrie automobile. En effet, avec de telles caractéristiques, il paraîtrait très intéressant d'utiliser ce type de motorisation sur des véhicules, seulement, le régime quasi constant de ces moteurs pose de très gros problèmes. Réaliser une transmission capable de passer directement le couple et la puissance maximale semble difficile.

3.5. Applications du moteur Stirling

Le moteur Stirling est utilisé dans plusieurs domaines :

- **La réfrigération industrielle et militaire.** Il sert principalement pour la liquéfaction des gaz et le refroidissement des systèmes de guidage militaire infrarouge. Il est utilisé par les marines suédoise, australienne et bientôt américaine pour épauler voire remplacer les moteurs nucléaires de certains sous-marins. En effet, ce moteur possède un atout majeur pour un sous-marin, le silence de fonctionnement. C'est pourquoi un sous-marin d'attaque suédois est équipé de moteurs Stirling pour sa production d'électricité auxiliaire afin d'assurer les fonctions vitales du bâtiment en cas d'indisponibilité de la source principale. Dans le même cadre, la marine australienne l'a aussi adopté pour un sous-marin de 3 000 tonnes de déplacement.

Le moteur Stirling permet également une production beaucoup plus faible de gaz imbrûlés nécessaire à l'apport d'un gradient thermique à un moteur Stirling. Or, il faut bien sûr considérer le fait qu'un sous-marin doit évacuer en plongée des gaz en les comprimant à une pression au moins égale à celle du milieu ambiant, cela nécessite, et donc gaspille, une part non négligeable de l'énergie disponible à bord. Des bâtiments de surface militaires utilisent également cette technologie à bord de corvettes ou de bateaux de détection de mines ou de surveillance acoustique.



Figure 16 : Sous-marin suédois de type Gotland

• Le moteur Stirling peut aussi être utilisé comme **générateur électrique** par de nombreuses missions scientifiques et militaires. C'est le cas au Japon, en Islande ou dans les milieux extrêmes tels que les déserts australiens et arctiques. Pour cela, on met à profit l'énergie du soleil en utilisant une parabole réfléchissante qui concentre les rayons du soleil en un seul point : le foyer de la parabole. C'est à cet endroit que l'on installe le moteur Stirling. Aux Etats-Unis de grandes paraboles munies en leur foyer de moteurs Stirling ont été installés dans le désert afin de produire de l'électricité sans acheter de combustible.

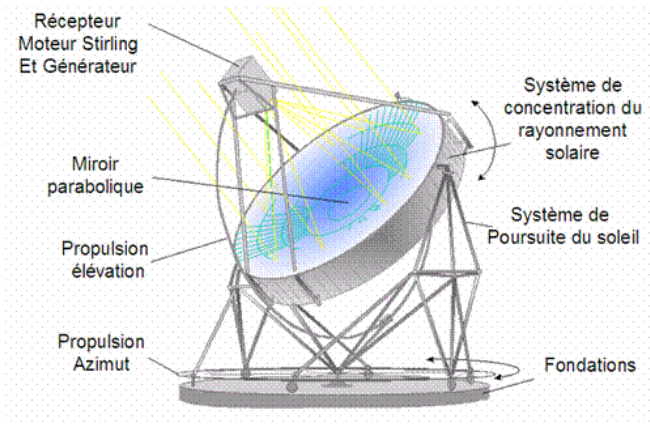


Figure 17 : Représentation du système de concentration des rayons solaires



Figure 18 : Photo d'une parabole munie d'un moteur Stirling en son foyer

• **La NASA et d'autres agences spatiales** l'utilisent pour fournir de l'énergie aux satellites et sondes spatiales en complément des panneaux solaires qu'il contribue à orienter pour en optimiser le rendement. Ce dernier est particulièrement élevé vu les grandes différences de température disponibles.

• **La motorisation automobile.** Cette utilisation fait partie du passé mais peut-être aussi de l'avenir. En effet, la société Philips a étudié au cours des années 1940 à 1980 diverses applications du moteur Stirling. Une d'entre elles consistait à équiper une Ford Torino, mais cet essai ne fut pas transformé et le projet abandonné.

• **L'informatique.** Comme nous l'avons déjà précédemment cité, le constructeur de cartes mères d'ordinateur personnel MSI a présenté début 2008 un système de refroidissement dont le ventilateur est actionné par un moteur Stirling utilisant comme source de chaleur l'énergie dégagée par la puce à refroidir.

• **L'utilisation domestique.** De petites installations ont été développées afin de fonctionner en cogénération : fourniture d'électricité et chauffage d'habitations. Le combustible de son choix peut être utilisé (fuel, bois...) pour produire de l'électricité et chauffer l'habitation. Par ailleurs, si on est relié au réseau électrique, il est possible d'acheter ou de vendre son courant en fonction du besoin. Actuellement la plupart des grands constructeurs de chaudières utilisent un moteur Stirling. Ce type de chaudière de la taille d'un chauffe-eau permet non seulement de chauffer de l'eau à utilisation domestique (chauffage, eau sanitaire) mais également de produire de l'électricité localement.

• **La pédagogie scolaire.** Ce moteur aide particulièrement à démontrer des principes de thermodynamique. Certains fonctionnent grâce à la chaleur du soleil concentrée, d'autres ne nécessitent que la chaleur d'une tasse de café ou de celle de la paume d'une main pour fonctionner.





4. CONCEPTION DE NOTRE MOTEUR

4.1. Découverte et présentation de SolidWorks

4.1.1. Découverte de SolidWorks

Figure 19 : Logo Solidworks

Pour la plupart des personnes de notre groupe, SolidWorks était un logiciel inconnu au début de notre projet. Nous avons commencé à apprendre les bases de son fonctionnement en cours de CTI3, un cours qui se déroulait parallèlement au projet de P6. Nous avons donc évolué en suivant l'avancement du cours de CTI3. Finalement, nous avons tous acquis les méthodes pour réaliser les pièces et faire l'assemblage des différentes parties. Nous avons remarqué que ce logiciel est assez complet et qu'il permet de faire bien plus qu'un simple montage de pièce. Nous avons par la suite découvert la fonction « étude de mouvement », ce qui nous a permis d'animer notre moteur. Enfin, nous avons pris connaissance du concept de mise en plan afin d'obtenir des coupes cotées de nos différentes pièces.

4.1.2. Présentation de SolidWorks

SolidWorks est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO). C'est un modéleur 3D qui utilise la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation, toute modification dans l'un de ses trois fichiers se répercute dans les deux autres.

On appelle **maquette numérique** un dossier complet contenant les trois fichiers relatifs à un même système. SolidWorks peut ensuite être complété par de nombreux logiciels orientés métiers (bois, BTP, tôlerie...) mais aussi des applications de simulations numériques.

Une **pièce** est la réunion d'un ensemble de fonctions volumiques avec des relations d'antériorité, des géométries, des relations booléennes... Cette organisation est rappelée sur l'arbre de construction. Chaque ligne est associée à une fonction que l'on peut renommer à sa guise.

Parmi les fonctions génératrices on trouve :

- * **L'extrusion** : déplacement d'une section droite dans une direction perpendiculaire à la section. (La section est définie dans une esquisse qui contient l'ensemble des cotations nécessaires à la complète définition de la section. Cet ensemble de cotes auquel il faut ajouter la ou les longueurs d'extrusion constitue l'ensemble des paramètres de la fonction ; il est possible de les modifier une fois la fonction validée.)
- * **La révolution** : déplacement d'une section droite autour d'un axe ou extrusion suivant un cercle ou un arc de cercle.
- * **Le balayage** : déplacement d'une section droite le long d'une ligne quelconque. Lorsque la génératrice de balayage est gauche, l'esquisse est en 3 dimensions.
- * **Les congés et chanfreins**
- * **Les nervures**
- * **La coque** (évidement d'un objet en lui conférant une épaisseur constante)
- * **Les trous normalisés** (perçages, mortaises...)
- * **Les plis de tôle...**



Pour faciliter la conception de l'esquisse et gagner du temps, nous pouvons aussi faire appel à des fonctions telles que la répétition linéaire, la répétition circulaire, les entités symétriques par rapport à un axe...

Par ailleurs, il est possible de créer des **familles de pièces** en associant au logiciel SolidWorks, le tableur Microsoft Excel : un tableau devient ainsi éditeur des références (lignes) donnant la valeur des paramètres variables des fonctions (colonnes) :

- * valeur de certaines cotes
- * valeur de certaines propriétés (nombre d'occurrence...)
- * état de suppression d'une fonction

Ainsi, il est par exemple possible d'obtenir à partir d'un seul fichier de type pièce, l'ensemble des modèles de vis d'assemblage (toutes formes de tête ou dimensions). Cette fonction permet incontestablement un gain de temps conséquent.

Grâce à des outils de mesure il est possible de déterminer le volume de la pièce créée ou encore son poids, ses dimensions... En effet, chacune de nos actions (création d'une esquisse, utilisation d'une fonction...) est inscrite dans l'arbre de construction. Nous pouvons ainsi connaître les étapes de conception pour obtenir la pièce finale. Cet arbre nous permet aussi de pouvoir revenir à tout moment sur une fonction pour la modifier.

Les **assemblages** sont obtenus par la juxtaposition de pièces. Le positionnement des pièces est défini par un ensemble de contraintes d'assemblage associant deux entités respectives par une relation géométrique (coïncidence, tangence, coaxialité...). On peut apparenter ces associations de contraintes aux liaisons mécaniques qui existent. Une fois le mécanisme assemblé, s'il possède encore des mobilités, l'assemblage peut être manipulé virtuellement. Comme pour les pièces, la gestion de l'ensemble est portée par un arbre de création qui donne accès à l'arbre de création de chaque pièce, il est donc aisé de modifier chaque pièce en cas de problème d'ajustement.

La **mise en plan** concerne à la fois les pièces et les assemblages. SolidWorks exécute une projection de l'objet ce qui simplifie énormément le travail du dessinateur par rapport au travail qu'il aurait du fournir avec un outil DAO. Le logiciel exécute sans aucun problème la projection des pièces : les vues en coupes, les vues partielles, les perspectives sont effectuées d'un simple clic ! Cependant la représentation des filetages et taraudages requièrent un peu plus d'attention. L'ensemble des spécifications géométriques des pièces est regroupé sous le terme de cotation. Il faut savoir que même à ce niveau, la modification des valeurs de cotes est toujours possible. Le logiciel propose des fonds de plan déjà établis, mais il est possible de les réaliser soi-même. Il en existe deux types :

- Fond de plan statique : Il faut remplir à la main chacun des champs.
- Fond de plan dynamique : Le remplissage est automatique suivant les paramètres choisis pour les pièces et assemblages.

Le logiciel SolidWorks possède ses propres extensions de fichiers :

- .sldprt : fichier pièce
- .sldasm : fichier assemblage
- .slddrw : fichier plan
- .sldprt : fichier fond de plan

Enfin, notons ici quelques concurrents de SolidWorks : CATIA, AutoCAD, TopSolid...



4.2. Conception des pièces

Nous avons modélisé les différentes pièces qui composent le moteur grâce au logiciel Solidworks. Nous disposons de la liste des pièces numérotées, ainsi que de certaines coupes de celles-ci. Cependant les cotes n'étaient pas toujours indiquées, c'est pourquoi nous avons dû directement mesurer les cotations sur les échantillons bruts à notre disposition. Pour cela, nous avons utilisé un pied à coulisse. Lorsqu'aucune dimension n'était mesurable, nous avons dû déterminer nous-mêmes la cotation la plus appropriée.

Pour la conception de notre moteur Stirling sous SolidWorks, nous avons dû créer une trentaine de modèles de pièces différents, afin d'assembler finalement 56 pièces. La conception d'une pièce se constitue, tout d'abord, d'une phase où l'on définit l'esquisse, puis d'une phase de mise en relief de cette esquisse comme nous l'avons vu précédemment.

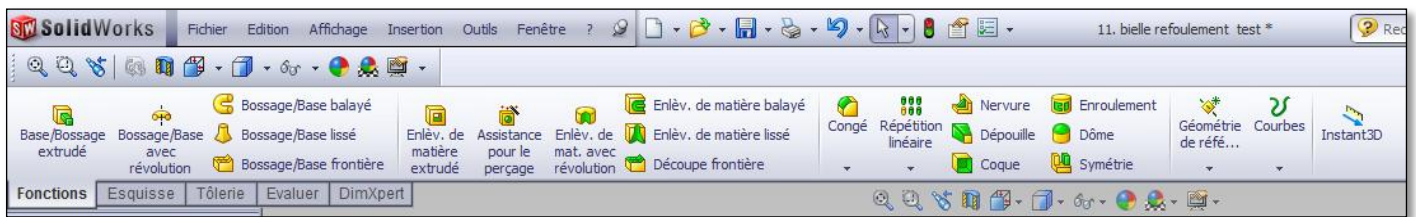


Figure 20 : Gestionnaire de commandes

4.2.1. Esquisses

Si nous prenons l'exemple de la conception de la « bielle motrice » pour le piston de refoulement de notre moteur Stirling, voici l'esquisse obtenue lors d'une première étape, à l'aide des outils de dessin et de dimensionnement sous SolidWorks :

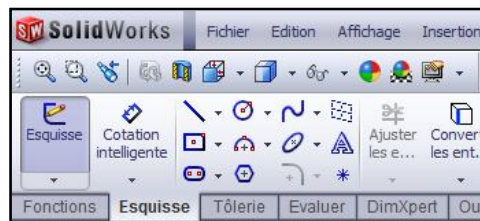


Figure 21 : Onglet Esquisse

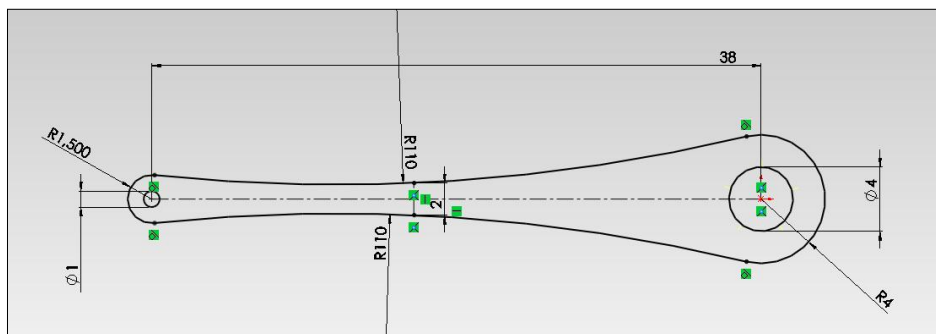


Figure 22 : Esquisse de la bielle motrice pour le piston de refoulement

On remarque que l'esquisse est de couleur noire, cela signifie qu'elle est totalement contrainte. Ses cotes ne seront donc pas modifier lors des prochaines manipulations.



4.2.2. Fonctions

Lors d'une seconde étape, grâce aux outils de mise en relief (ici « Base/Bossage extrudé ») nous donnons du volume à notre esquisse et définissons sa profondeur et la direction vers laquelle l'extrusion va être réalisée :

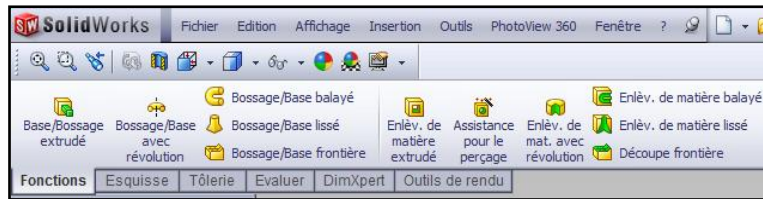


Figure 23 : Onglet Fonctions

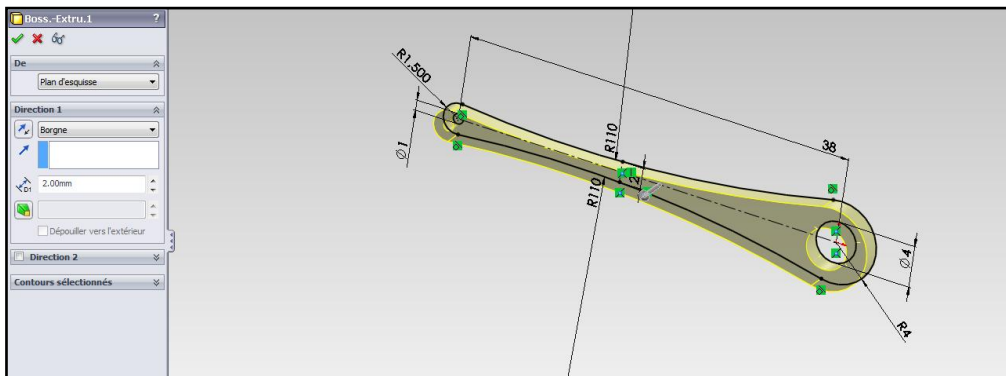


Figure 24 : Fonction Base/Bossage extrudé de 2 mm

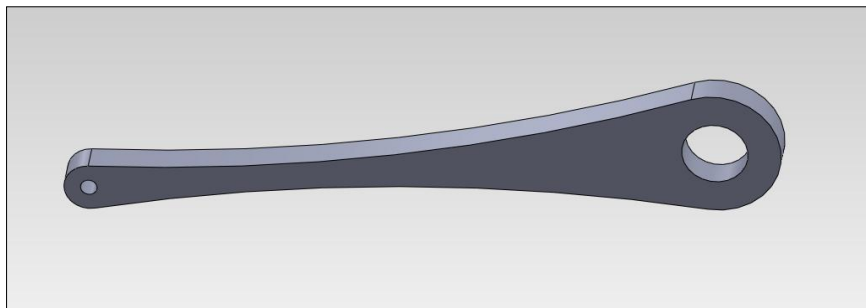


Figure 25 : Bielle finale obtenue

4.3. Réalisation de l'assemblage

Une fois les pièces modélisées, il faut procéder à leur assemblage. Pour cela, nous avons défini un certain nombre de contraintes dans le but de positionner les pièces les unes par rapport aux autres. Parmi les contraintes standards, on trouve :

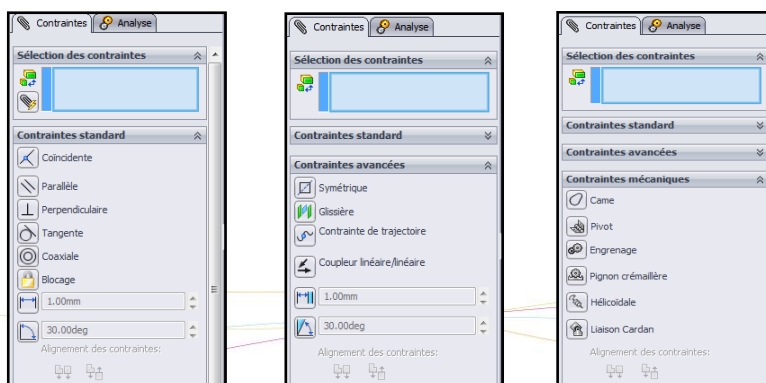


Figure 26 : Différentes contraintes possibles

- **Coïncidente** : lorsque deux surface doivent coïncider.

Exemple : Les éléments fixés au support.

- **Parallèle** : lorsque deux surfaces ou arrêtes doivent être parallèles.

Exemple : Les pistons par rapport au support.

- **Perpendiculaire** : lorsque deux surfaces ou arrêtes doivent être perpendiculaires.

- **Tangente** : lorsque qu'un cercle doit être tangent à une surface par exemple.

- **Coaxiale** : lorsque que deux pièces cylindriques doivent avoir le même axe de révolution.

Exemple : Les pistons dans leur cylindre.

- **Blocage** : lorsque deux pièces doivent être totalement bloquées entre elles.

Voici le résultat que nous avons obtenu après ces étapes :

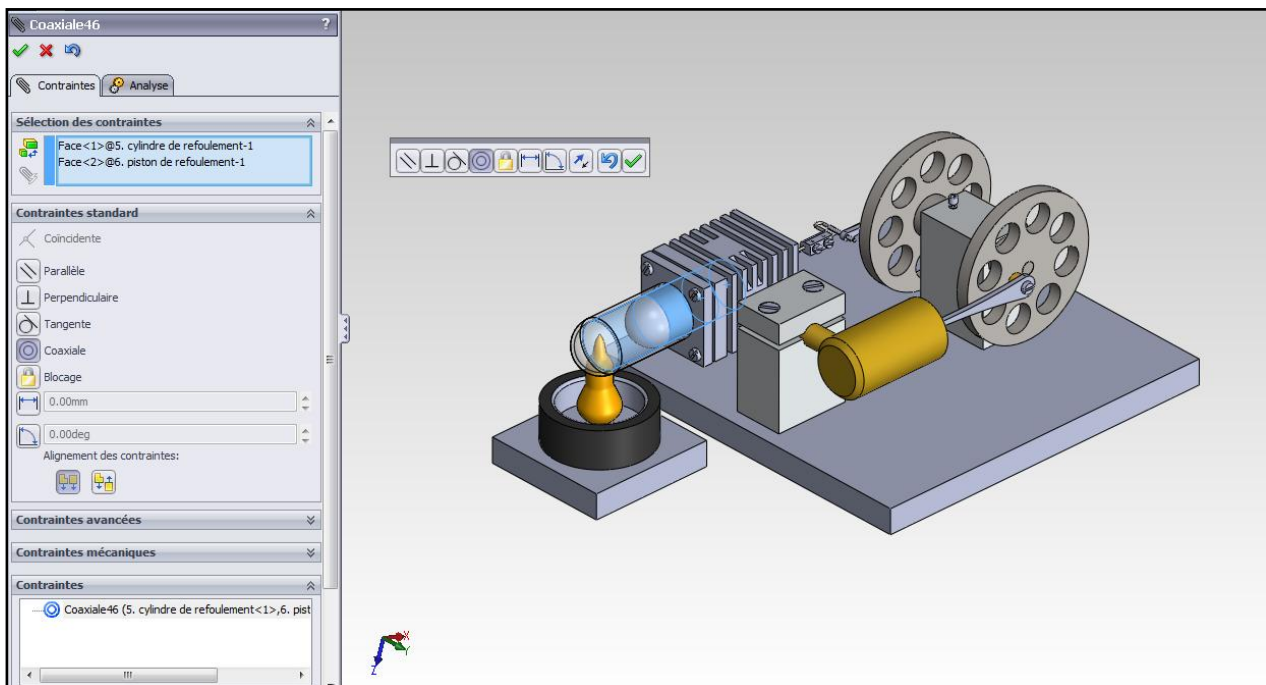


Figure 27 : Mise en place des contraintes

L'assemblage se fait de manière logique, c'est-à-dire en conservant l'ordre de montage que l'on suivrait si on réalisait réellement le moteur. L'ordre de mise en place des contraintes est également important. Il est indispensable de commencer par définir les contraintes les plus simples et de finir par celles qui enlèvent le plus de liberté.

Grâce aux mobilités restantes, il nous est possible de mettre notre moteur en mouvement. Solidworks permet d'animer notre moteur. Pour cela, il faut définir une pièce motrice. En donnant un mouvement de rotation, à une vitesse donnée, à une roue, le logiciel est capable de calculer le mouvement des pièces dans le temps. Ceci nous a permis, d'une part, de nous assurer que les dimensions choisies permettaient la bonne évolution du moteur (pas de blocage), et d'autre part, de réaliser une séquence vidéo en 3D (Voir la vidéo sur le CD Rom).



Enfin, il ne reste plus qu'à réaliser les mises en plan de chaque pièce. Les pièces étant déjà créées en 3D, le passage de la 3D à la mise en plan est très rapide grâce au logiciel SolidWorks (Voir Fichiers Solidworks sur le CD Rom).

En réalisant cet assemblage, nous avons réellement pu comprendre le fonctionnement du moteur et le rôle des liaisons entre les différentes pièces.

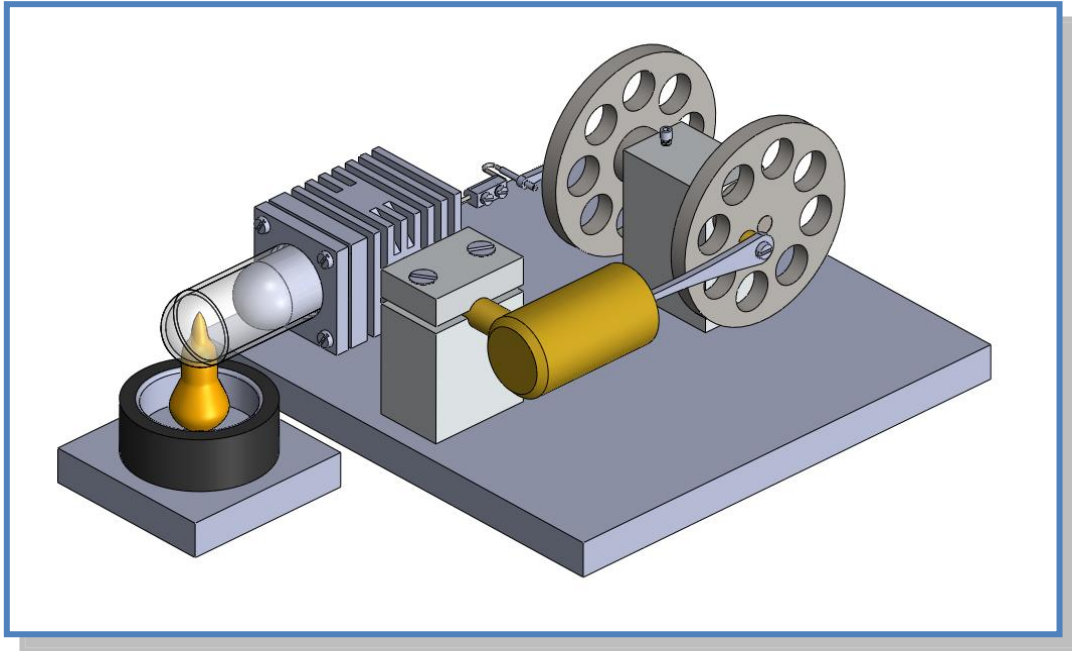


Figure 28 : Assemblage final de notre moteur

4.4. Problèmes rencontrés

Concernant les difficultés rencontrées au cours de la réalisation de notre moteur, elles se sont avérées plus ou moins difficiles à résoudre selon les cas.

A plusieurs reprises, nous avons été stoppés par des problèmes que nous ne savions pas résoudre. La plupart d'entre nous n'ayant jamais utilisé Solidworks avant le début de ce projet, nous avons dû rapidement élargir nos compétences pour permettre au projet d'être réalisé dans les temps impartis et de manière honorable.

Par exemple, le « grand crochet » et le « radiateur » nous ont posé quelques problèmes.

Pour le **crochet** reliant la bielle au piston de refoulement, nous avons tout d'abord réalisé une esquisse de la forme de ce crochet. Cependant, les contours de cette esquisse se croisaient, nous n'arrivions pas à obtenir un volume d'un seul coup. Nous avons donc été contraints de réaliser une première esquisse sans croisement de trajectoire. Nous avons ensuite utilisé la fonction Bossage/Base avec révolution pour créer le volume. Pour cela, nous avons inséré des cercles orthogonaux à l'esquisse pour guider le balayage.

Enfin, nous avons réalisé et extrudé dans les deux directions une seconde esquisse afin d'obtenir la pièce volumique complète.



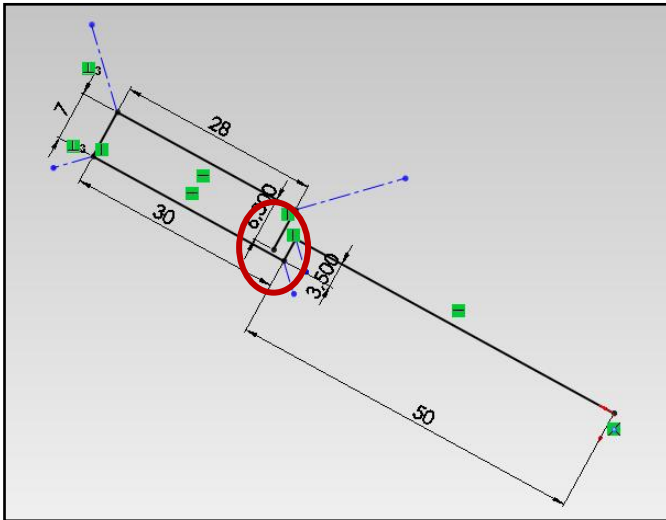


Figure 29 : Première esquisse du crochet

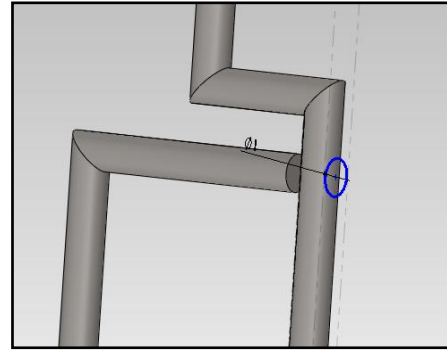


Figure 30: Seconde esquisse du crochet

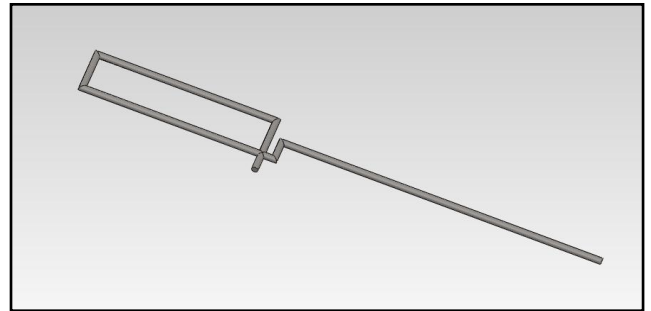


Figure 31 : Crochet final obtenu

Le **radiateur** nous a également posé quelques problèmes. Cette pièce fut plus difficile à réaliser étant donné que nous n'avions aucune cote, mise à part les dimensions du cadre extérieur indiquées dans les documents mis à notre disposition. Nous avons donc pris des mesures sur un radiateur déjà usiné. Par la suite, la difficulté principale consistait à créer du vide dans le rectangle brut, tout en suivant le contour du perçage central. Après plusieurs essais, nous avons finalement opté pour une succession de 11 plans. Une fois le cylindre percé, nous avons intégré des plans à intervalles réguliers, sur lesquels nous avons interposé des rectangles et des cercles extrudés.

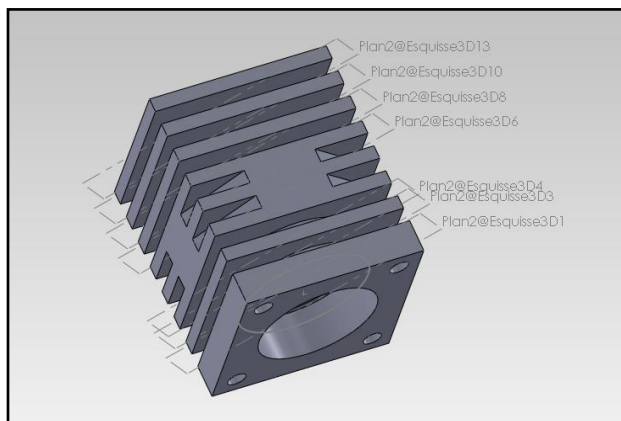


Figure 32 : Différents plans créés pour réaliser le radiateur

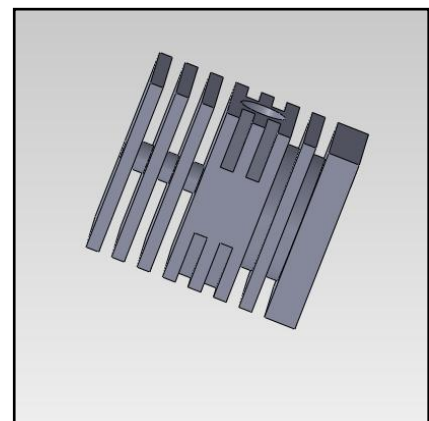


Figure 33 : Radiateur final obtenu



5. PRESENTATION DE NOTRE MOTEUR

5.1. Vue éclatée

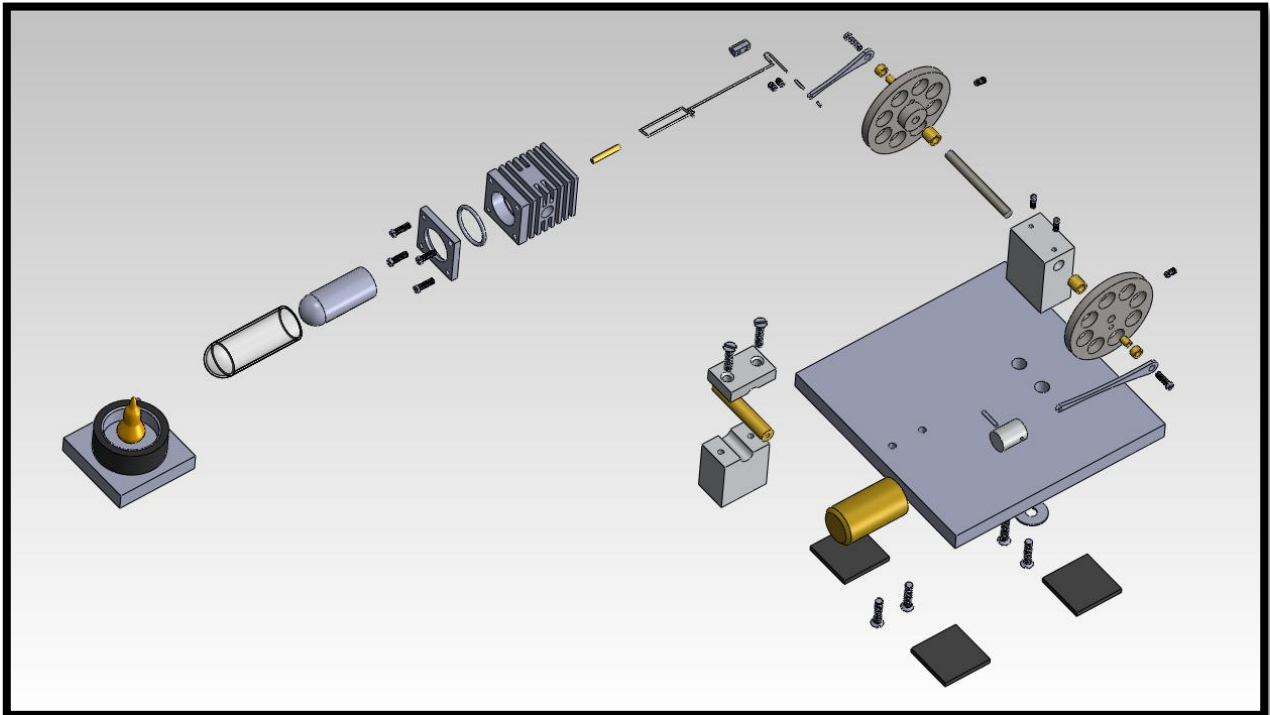


Figure 34 : Vue éclatée à la fin de l'assemblage

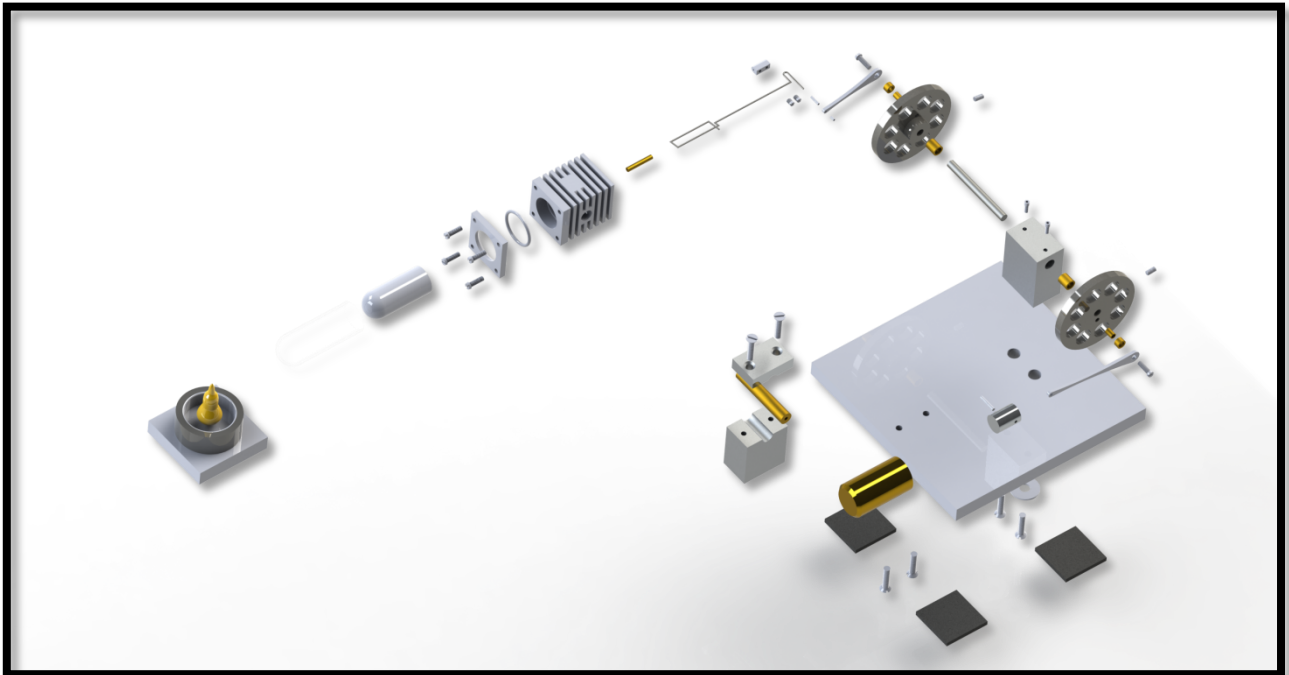


Figure 35 : Vue éclatée en rendu réaliste



5.2. Rendu réaliste

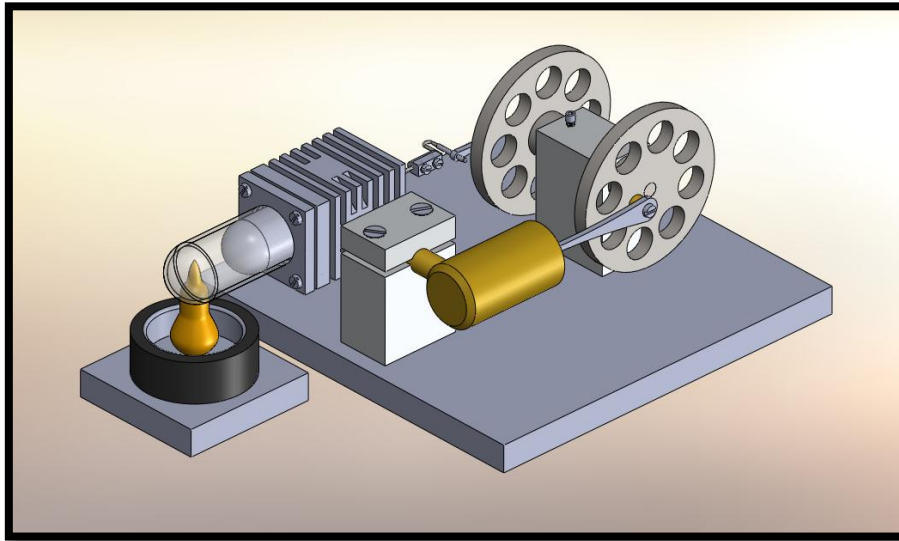


Figure 36 : Assemblage final avant le rendu réaliste

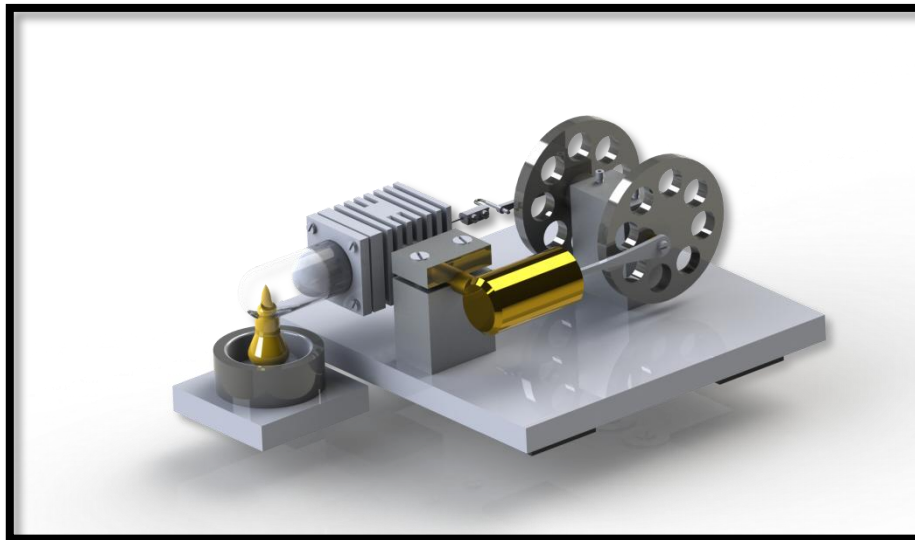


Figure 37 : Rendu réaliste du moteur final



Figure 38 : Rendu réaliste du moteur inséré dans un décor

6. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

6.1. Conclusions sur le travail réalisé

Il est indiscutable que ce projet a été enrichissant pour tous les membres du groupe. Il nous a permis d'enrichir nos connaissances en modélisation sous SolidWorks, d'améliorer notre gestion de projet et de consolider nos bases en ce qui concerne la rédaction d'un dossier. Nous nous sommes tous investis dans le projet, d'une part parce que nous avons choisi ce sujet et qu'il nous intéressait et d'autre part parce qu'il y avait une bonne entente entre les membres du groupe. La répartition des tâches n'a, par exemple, posé aucun problème étant donné que l'on connaissait les forces et les faiblesses de chacun.

Le travail d'équipe a particulièrement été enrichissant. Nous n'avons pas rencontré de gros problème majeur lié à la modélisation mais plutôt des petits problèmes successifs. L'avantage d'être en groupe est de pouvoir partager les idées et solutions de chacun. C'est pourquoi, notre projet a avancé assez rapidement et nous avons réussi à respecter les temps impartis aussi bien pour la modélisation que pour la réalisation du dossier. De plus, la satisfaction du travail accompli était bien présente, même si la taille de ce projet n'est pas comparable avec les futurs projets que nous aurons à gérer en tant qu'ingénieur.

En résumé, ce projet a été une réussite tant sur le plan pédagogique que sur le plan humain.

6.2. Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C. projet

Samy

Ce projet de P6 était l'un de ceux qui cadraient parfaitement avec mon projet professionnel. En effet, ayant choisi la thématique EP/MECA et ayant suivi les cours de l'option CTI3, ce projet de P6 consolide mes connaissances à la fois sur le plan théorique mais aussi bien sur le plan pratique. Par ailleurs, j'ai pu une fois de plus travailler en groupe et faire l'expérience du travail d'équipe, expérience obligatoire pour un futur ingénieur.

Thomas

Ce projet m'a permis d'appréhender un nouveau moteur, de le modéliser sur SolidWorks et d'en comprendre les différentes pièces. J'ai pu améliorer ma maîtrise de ce logiciel et découvrir de nouvelles fonctionnalités de ce dernier.

Enfin, le travail dans un groupe de 6 personnes sur un tel projet fut une bonne expérience, j'ai donc appréhendé le travail et les relations dans un groupe sur ce genre de projet plus technique.

Chaher

Pour ma part, ce projet de P6 était l'un des projets que je souhaitais avoir. Souhaitant intégrer le département mécanique, ce projet m'a permis d'apprendre la conception de pièces mécaniques avec toutes ses contraintes. Grâce à ce projet, j'ai pu approfondir mes connaissances de Solidworks vues en CTI 3 en découvrant de nouvelles fonctions du logiciel et astuces pour travailler avec plus d'efficacité. Le fait d'avoir travaillé avec 5 autres de mes camarades m'a permis d'approfondir d'avantage l'expérience du travail en groupe pour un projet de cet ampleur, la gestion d'un projet avec des objectifs à atteindre pour chaque séance. Avoir fait ce projet m'a confirmé dans mon choix de département et a enrichi ma passion pour la mécanique.



Antoine

Ce projet était mon choix numéro un lors de la sélection et je ne regrette aucunement ce choix. Ce projet de P6 a été très enrichissant. En effet, il m'a permis de mettre en application certaines connaissances acquises lors du cycle STPI. Et même si je me dirige pas vers des études de mécanique ou de thermodynamique, ce projet m'a quand même permis de découvrir un autre moteur et son fonctionnement. Enfin, cette expérience nous a confronté à la gestion de projet qui sera omniprésente dans notre travail d'ingénieur plus tard. Cela nous a montré qu'il fallait une bonne organisation des tâches, un respect des délais, et une certaine cohésion de groupe. Les quelques difficultés rencontrées lors de la modélisation sous SolidWorks ont vite été résolues notamment grâce au fait de travailler en groupe.

Erwan

Ce projet a été intéressant car il m'a permis de confronter la théorie des cours avec la pratique mais aussi de savoir travailler en équipe ce qui est indispensable en tant que futur ingénieur. Ce sujet m'a donné les moyens d'approfondir mes connaissances du logiciel SolidWorks vues en cours de CTI3.

Amandine

Ce projet de « Conception et Animation d'un moteur sous le logiciel Solidworks » fut pour moi très intéressant et instructif. Il m'a permis de travailler en groupe tout en consolidant les connaissances sur le moteur Stirling acquises au semestre précédant. J'ai particulièrement apprécié mettre en pratiques ces notions de physique qui me paraissaient plutôt abstraites jusqu'à présent. De plus, au début de ce projet, le logiciel Solidworks m'était totalement inconnu. Grâce à ce projet, j'ai pu apprendre à utiliser ce logiciel. Non seulement, j'ai pu acquérir les notions de bases, mais aussi d'autres fonctionnalités plus spécifiques comme le rendu réaliste, l'animation, la mise en plan ... Ce projet a donc été très formateur, j'ai réellement ressenti les progrès que j'ai pu effectuer dans le domaine de la conception assistée par ordinateur. Je tire donc une conclusion très positive de ce projet qui fut agréable à mener.

6.3. Perspectives pour la poursuite de ce projet

Il serait peut-être intéressant pour les futurs projets de P6-3 d'enrichir l'analyse du moteur Stirling avec des calculs de rendements, de vitesses rotatives ou bien en étudiant la cinématique du moteur. La réalisation de plusieurs moteurs de types différents en parallèle pourrait également permettre de mieux comparer les différents modes de fonctionnement des moteurs pour mettre en évidence leurs points communs ou divergences.



7. BIBLIOGRAPHIE

Livre :

Pierre GRAS, « Le moteur Stirling et autres moteurs à air chaud », *Ambérieu en Bugey*, 2010

Sites internet :

<http://www.moteurstirling.com> (valide à la date du 14.06.2012)

<http://www.zone-ecolo.com/blog/moteur-stirling.php> (valide à la date du 14.06.2012)

<http://www.moteurstirling.com> (valide à la date du 14.06.2012)

http://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_Stirling (valide à la date du 14.06.2012)

<http://leakystirling.free.fr/> (valide à la date du 14.06.2012)

<http://www.ecoren.fr/moteur-stirling.php> (valide à la date du 14.06.2012)

<http://www.cnr.ac.ma/teer/publications/dish%20stirling.htm> (valide à la date du 14.06.2012)

<http://francois.reveille.pagesperso-orange.fr> (valide à la date du 14.06.2012)

<http://www.techno-science.net/?onglet=glossaire&definition=161> (valide à la date du 14.06.2012)

<http://www.solidworks.fr/> (valide à la date du 14.06.2012)



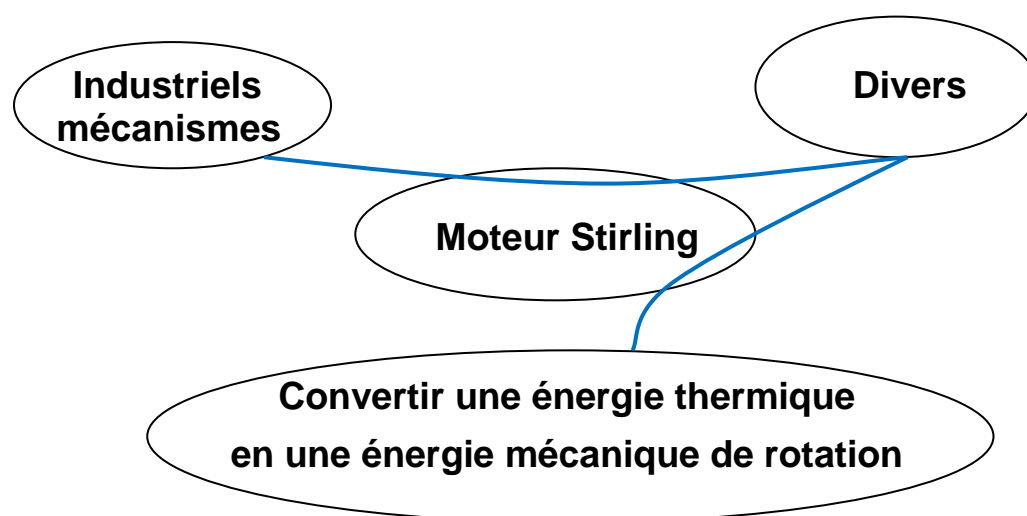
8. ANNEXES

8.1. Analyse fonctionnelle du moteur Stirling

1. ANALYSE DU BESOIN :

La bête à cornes

- 1) A quoi le produit rend-il service ?
- 2) Dans quel but ?
- 3) Sur quoi le produit agit-il ?



La validation du besoin

1) Pourquoi le besoin existe-t-il ?

Le moteur Stirling est un moyen pour obtenir une énergie mécanique. C'est une solution alternative au moteur thermique. Il a en effet de nombreux avantages commerciaux face aux moteurs à piston et à combustion :

- il peut utiliser de nombreux carburants : des combustibles solides, liquides ou gazeux. La chaleur peut même être produite par des accumulateurs thermiques et par l'énergie solaire.

- il offre un meilleur rendement (environ 40%)

- la plupart des gaz conviennent

- le moteur Stirling n'émet que peu d'émissions polluantes du fait de sa combustion.

- il n'y a pas de pics de pression en raison du mode de combustion, les vibrations sont minimales même à grande vitesse et le moteur reste très silencieux.

- il peut être construit avec un nombre restreint de pièces. De plus, les éléments internes fonctionnent presque sans huile donc le service d'entretien est limité.

2) Qu'est ce qui pourrait faire évoluer le besoin ?

- l'évolution des réglementations, des normes.
- un modèle plus performant, plus écologique, plus silencieux.
- une évolution technologique sur d'autres procédés pour créer une énergie mécanique.

3) Qu'est ce qui pourrait faire disparaître le besoin ?

- plus besoin de créer une énergie mécanique à partir d'une énergie thermique.
- l'invention d'un autre moteur au meilleur rendement.
- la fluctuation du prix du pétrole.
- disparition de l'énergie mécanique en faveur d'une autre sorte d'énergie

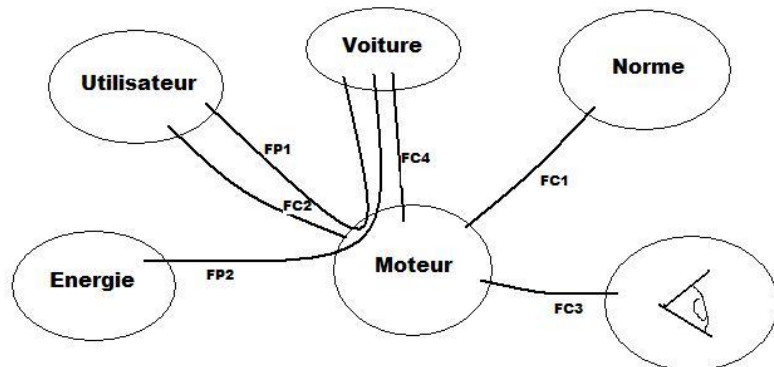
2. CAHIER DES CHARGES FONCTIONNELLES – DEFINITION DU PRODUIT

Le produit est destiné au marché aérospatial et militaire.

Nous sommes dans un contexte de fortes tendances écologiques et de recherche d'alternative aux moteurs thermiques conventionnels. De plus, l'augmentation du prix du carburant est un facteur à prendre en compte.

Graphe des interacteurs

Phase utilisation



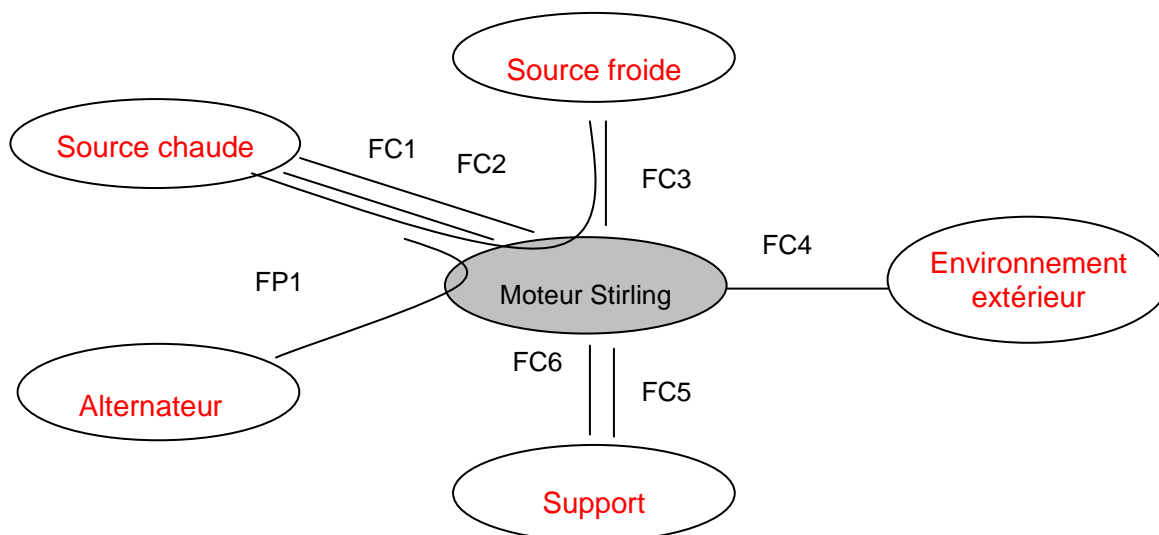
FP1	Mettre en mouvement	FC1	Respect environnemental (bruit/pollution)
FP2	Convertir l'énergie thermique en énergie mécanique	FC2	Sécurité de l'utilisateur
		FC3	Confort esthétique
		FC4	S'adapter aux dimensions du véhicule



Les fonctions de service (ou principales) sont les fonctions que doit obligatoirement remplir le produit pour réaliser la fonction globale.

Les contraintes sont les limites à la liberté de conception du produit.

2^{ème} analyse fonctionnelle :



FP1 : Fournir une énergie mécanique de rotation régulière à l'alternateur en utilisant une source chaude et une source froide.

FC1 : Se raccorder à la source chaude.

FC2 : Sécuriser la source chaude

FC3 : Se raccorder à la source froide.

FC4 : Ne pas nuire à l'environnement extérieur.

FC5 : Se poser de manière stable sur un support.

FC6 : Etre d'un encombrement minimum.

Ce diagramme permet de donner une idée générale du système avec ses fonctions de service (FS) et ses fonctions de contrainte (FC) dans un environnement donné.

8.2. Mise en plan de certaines pièces du moteur

Voir les fichiers Solidworks sur le CD Rom.

