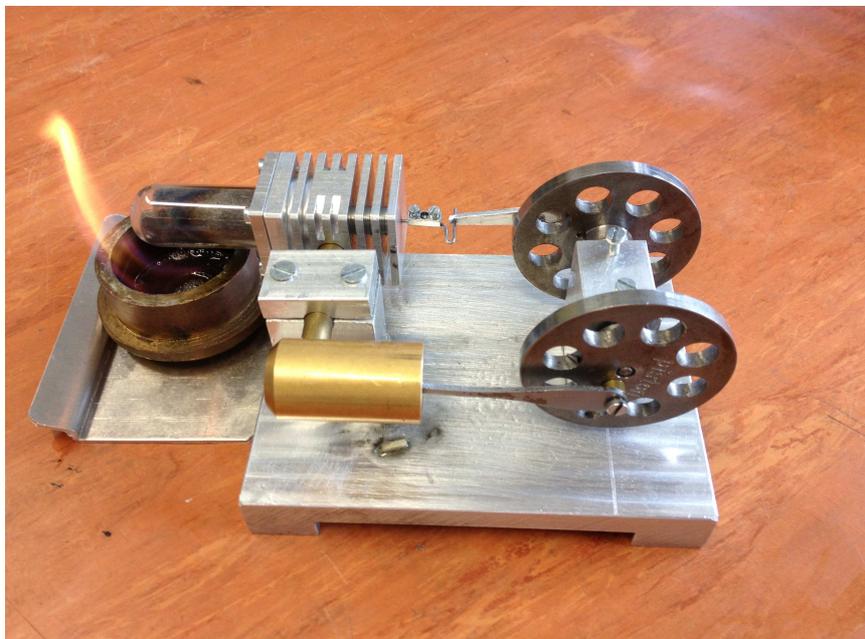


**Réalisation d'un moteur à air chaud Stirling
de type gamma**



Etudiants :

Valère CHOMBART

Paul HEMARD

Gaëtan DUPAIN

Yi Ming LI

Baptiste GOURIOU

Clément MARY

Enseignant-responsable du projet :

Faouzi DHAOUADI

Cette page est laissée intentionnellement vierge.



Date de remise du rapport : 17/06/2013

Référence du projet : STPI/P6/2013 – 21

Intitulé du projet : Réalisation d'un moteur à air chaud Stirling de type gamma

Type de projet : Expérimental

Objectifs du projet:

Ce projet a pour but la fabrication d'un moteur Stirling gamma fonctionnel à partir de pièces brutes. Pour cela nous devons donc acquérir des connaissances sur l'utilisation et le fonctionnement d'un certain nombre d'outils d'usinage, et trouver des moyens pratiques d'assemblage. Enfin, l'objectif est aussi d'améliorer notre manière de travailler et de s'organiser en équipe.

Mots-clefs du projet : moteur, Stirling, gamma, usinage



TABLE DES MATIERES

1.Introduction.....	5
2.Théorie du moteur Stirling.....	6
2.1.Historique.....	6
2.2.Thermodynamique.....	6
2.3.Différents types de moteur Stirling.....	8
2.3.1.Moteur alpha.....	8
2.3.2.Moteur beta.....	9
2.3.3.Moteur gamma.....	11
2.4.Applications.....	12
2.4.1.Domaine de l'informatique :.....	12
2.4.2. Domaine spatial :.....	12
2.4.3.Pompage d'eau :.....	13
2.4.4. L'énergie solaire et le moteur stirling.....	13
3.Méthodologie / Organisation du travail.....	15
4.Travail réalisé et résultats.....	16
4.1.Préparation des pièces	16
4.2.Difficultés rencontrées.....	16
4.3.Assemblage et résultats.....	17
5.Conclusions et perspectives.....	19
5.1.Conclusion générale.....	19
5.2.Conclusions personnelles.....	19
6.Bibliographie.....	22



1. INTRODUCTION

Au cours du 4ème semestre du cycle S.T.P.I., les élèves doivent réaliser en groupe un projet de physique. C'est l'occasion pour eux d'appliquer les connaissances acquises dans certaines matières durant les trois semestres précédents.

Contrairement aux projets du 3ème semestre, la répartition des sujets de projet est faite de manière aléatoire, il n'a pas été possible de choisir son groupe mais seulement de donner ses préférences. Chaque élève se retrouve ici avec plusieurs personnes qu'il ne connaît pas et doit apprendre à s'organiser et travailler avec. Ce projet de physique permet donc à l'élève d'améliorer sa capacité à travailler en groupe.

Notre sujet a consisté en la réalisation d'un moteur Stirling de type gamma. Nos connaissances en thermodynamique acquises en première année nous ont permis d'appréhender le fonctionnement de ce moteur.

D'un point de vue pratique, la réalisation du moteur a été l'occasion pour nous de nous intéresser aux différents moyens d'usiner des pièces brutes, d'en comprendre le fonctionnement et les règles d'utilisation. Nous avons ainsi pu développer notre esprit pratique et d'initiative.

Chaque semaine nous nous réunissions en présence de monsieur DHAOUADI qui se tenait informé des progrès dans notre travail. Il a également mis à notre disposition tous les outils, pièces et plans nécessaires pour réaliser le moteur.



2. THÉORIE DU MOTEUR STIRLING

2.1. Historique

Dans la fin du XVIIIème siècle, l'Angleterre connaît les prémices de la révolution industrielle portée par l'avènement des machines à vapeur. Le principal inconvénient de cette technologie est que les chaudières à vapeur des usines explosent régulièrement, faisant de nombreuses victimes parmi les ouvriers.

C'est sans doute dans l'optique de limiter ces accidents qu'un pasteur écossais, Robert Stirling, met au point en 1816 un moteur révolutionnaire. En effet, il découvre qu'il suffit de chauffer l'air ambiant pour alimenter un moteur en énergie. L'avantage majeur de ce système est qu'il fonctionne grâce à une combustion interne, ce qui évite qu'il soit soumis à une trop forte pression, et limite donc les risques d'explosion. L'écossais dépose un brevet le 27 septembre 1816, qui fut effectif le 20 janvier 1817. Plus tard, il eut l'idée d'intégrer un régénérateur de chaleur dans la tuyauterie, qui permet d'éviter de trop grosses déperditions d'énergie, et donc d'améliorer le rendement global du moteur.

Cependant, le moteur ne convainquit pas le monde scientifique du début du XIXème siècle. Comme le raconte le documentaire de Christophe Brackx et Patrice Decoster "L'échec du moteur Stirling", l'écossais voulut présenter son invention à la prestigieuse Faculté de Londres, peu après son invention. Cependant, au sein de l'assemblée, personne ne comprenait le fonctionnement de cette machine qui dérangeait les influents partisans des moteurs à combustion interne. Le moteur resta donc dans l'oubli, au fond de la cave de la Faculté, jusqu'à ce que Lord Kelvin le retrouve en faisant du rangement. Intrigué, il le prit dans son laboratoire, dans lequel il le répara, avant de comprendre et expliquer son fonctionnement grâce aux travaux de Sadi Carnot, qui, en 1824, avait posé les bases de la thermodynamique.

En 1843, son frère, James Stirling, tenta d'adapter le moteur à l'usage industriel afin de l'utiliser dans l'usine où il était ingénieur. Mais le moteur n'eut pas le succès escompté, car sa faible puissance, et la fragilité de certaines de ses pièces ne permettaient pas de remplacer le moteur à vapeur efficacement.

2.2. Thermodynamique

Lors de l'étude théorique du cycle on fait les hypothèses suivantes : le gaz encapsulé est parfait, les transformations sont réversibles.

Le cycle du moteur Stirling est un cycle fermé durant lequel une certaine quantité de gaz subit quatre transformations thermodynamiques :

– 1-2 : compression isotherme : le gaz est considéré parfait donc d'après la première loi de Joule, la variation d'énergie interne est nulle. Par conséquent d'après le premier principe, le travail et la quantité de chaleur sont égaux et de signes opposés, le travail ayant comme expression :

$W_{12} = -PdV$ (transformation réversible donc supposée lente), on obtient en intégrant :



$$W_{12} = - Q_{12} = r.T_1.\text{Log}(P_2/P_1) = r.T_1.\text{Log}(V_1/V_2)$$

– 2-3 : réchauffement isochore : on a un apport de chaleur sans variation de volume donc $W_{23} = 0$,

donc d'après le premier principe :

$$Q_{23} = \Delta U = C_v(T_3 - T_2)$$

– 3-4 : détente isotherme : en adoptant le même raisonnement que pour la transformation 1-2 on obtient :

$$W_{34} = - Q_{34} = r.T_3.\text{Log}(P_4/P_3) = r.T_3.\text{Log}(V_4/V_3)$$

– 4-1 : refroidissement isochore : on revient à l'état initial en libérant de la chaleur sans changer de volume et donc :

$$Q_{41} = \Delta U = C_v(T_1 - T_4)$$

Les deux transformations isothermes sont les étapes durant lesquelles les échanges de chaleur sont réalisés.

Rendement du cycle :

$$\text{Travail utile : } W_u = W_{12} + W_{34}$$

$$\eta = W_u / Q_{34} = 1 - T_f/T_c$$

2.3. Différents types de moteur Stirling

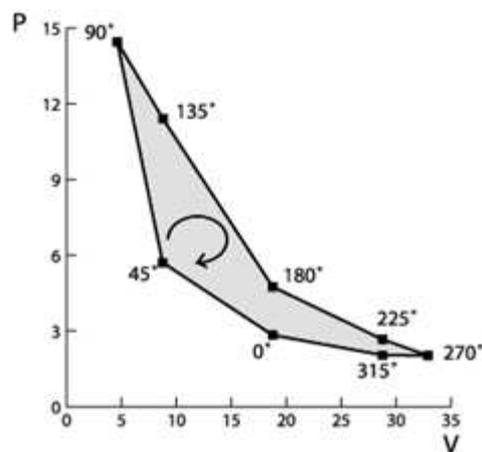
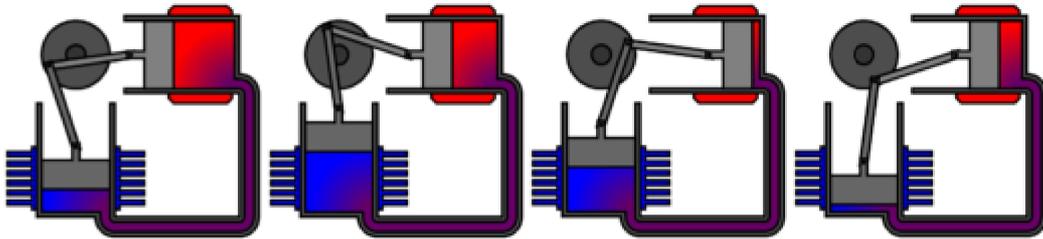
2.3.1. Moteur alpha

Ce type de moteur Stirling est composé de 2 pistons oscillant dans 2 cylindres différents, ce qui lui permet de dissocier la source froide de la source chaude. Ces pistons sont reliés au maneton d'un vilebrequin en rotation par deux bielles, et sont placés avec un angle de 90° , de manière à ce que le piston de la source froide ait un retard d'un quart de tour de vilebrequin (et donc de cycle) sur l'autre source.

On note également l'utilisation d'un régénérateur entre les deux sources, qui évite de trop grandes pertes calorifiques. En effet il récupère l'énergie du gaz chaud quand cet air est expulsé vers la source froide, et la retransmet quand il effectue le trajet inverse.

Au final, même si son cycle (P, V) est assez éloigné du cycle de Stirling théorique, le moteur de type alpha offre une puissance créée importante et proche de celle du beta, ainsi qu'un ratio puissance-volume très élevé. Son autre avantage est de ne pas nécessiter de maintenance puisqu'on estime qu'il ne faut changer un roulement à billes qu'une fois toutes les 80 000 heures.

Toutefois il reste assez difficile à réaliser à causes de problèmes techniques. Principalement, le chauffage très élevé du piston de la source chaude (entre 150 et 300°C) a tendance à perturber ses joints d'étanchéité.



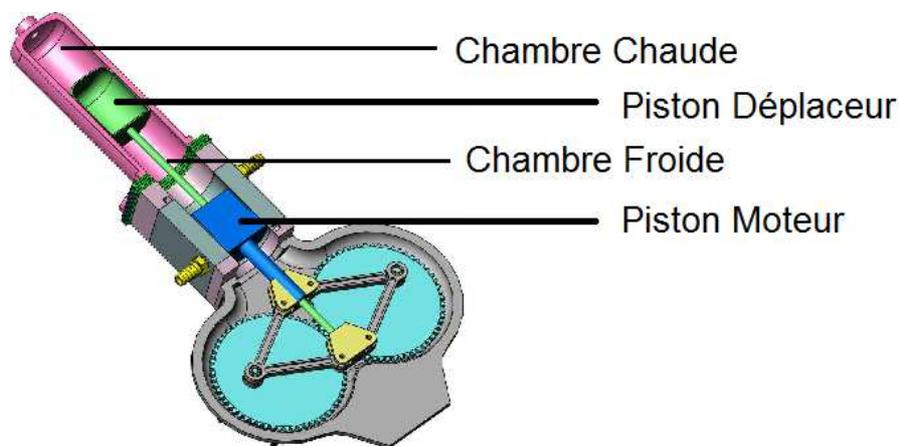
Moteur type alpha

Exemple de cycle (P, V) avec un rendement de 50%.

2.3.2. Moteur beta

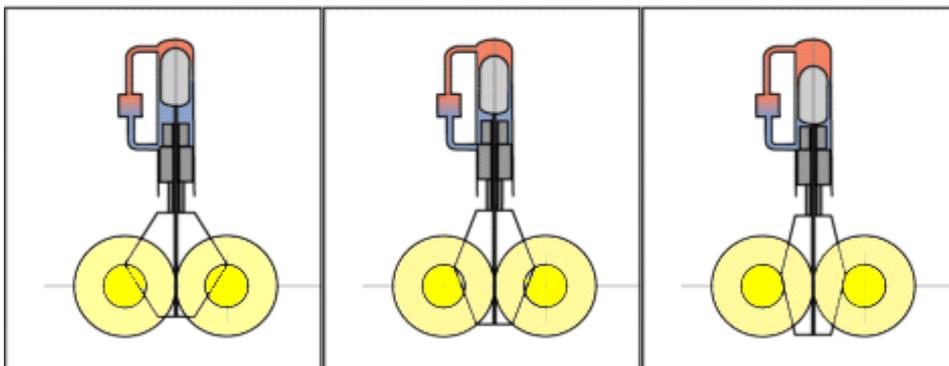
Tout d'abord le moteur bêta contrairement aux autres types de moteurs Stirling ne dispose que d'un seul cylindre qui contient donc les deux chambres, la chaude et la froide. Ce système nécessite alors deux pistons pour son fonctionnement.

Les pistons, l'un appelé moteur et l'autre déplaceur, permettent un mouvement relatif lors du changement du volume du gaz mais également un mouvement commun qui déplace ce volume de la partie chaude vers la partie froide, et vice-versa comme peut le montrer le schéma ci-dessous.



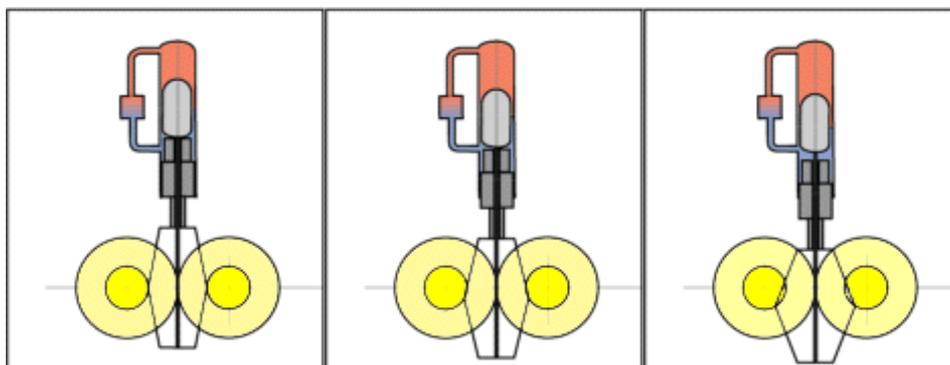
Ainsi comme les autres moteurs Stirling, le cycle du moteur bêta se décompose en quatre phases :

Phase 1 : Chauffage



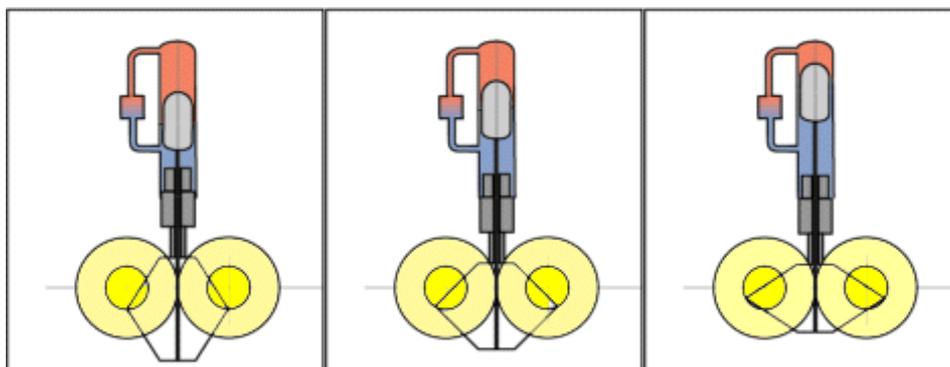
Un transfert du gaz de la partie chaude à la partie froide a lieu. Le volume de la chambre chaude augmente alors déplaçant le piston déplaceur vers le bas. Le piston moteur quant à lui reste quasi immobile.

Phase 2 : Détente



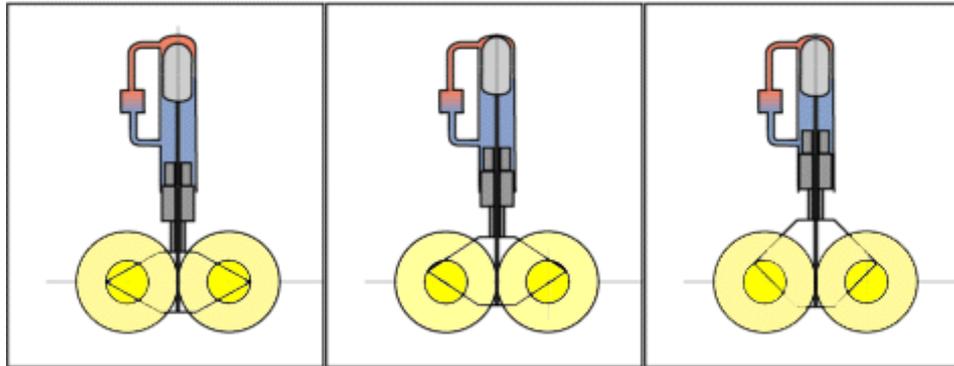
Au niveau de la chambre chaude, le gaz se détend ce qui fait descendre le piston moteur le piston déplaceur l'accompagnant.

Phase 3 : Refroidissement



Le gaz se refroidit en passant de la partie chaude à la partie froide ce qui entraîne le piston déplaceur vers le haut. Le piston moteur reste lui immobile.

Phase 4 : Compression



Finalement le gaz se comprime dans la chambre froide sous l'effet de la montée du piston moteur. Le piston déplaceur est alors immobile.

Ce cycle ressemblant de très près à celui des autres types de moteurs Stirling diffère quelque peu par la fusion des deux cylindres contenant les chambres froides et chaudes.

Le principal avantage du moteur bêta reste sa compacité. Le rassemblement des cylindres permet un gain non négligeable de place, ce qui peut se révéler très utile.

2.3.3. Moteur gamma

Ce moteur possède deux pistons appelés piston de refoulement et piston moteur. Ce dernier est doté d'un système d'étanchéité.

Le piston de refoulement a pour rôle de déplacer le gaz d'une zone à l'autre, ce piston occupe donc successivement la zone chaude et la zone froide. Le gaz subit donc des changements de température, ce qui engendre des variations de pression qui permettent la mise en mouvement du piston moteur.

Les différentes étapes :

- Chauffage isochore : Le piston de refoulement effectue une grande course et fait passer le gaz de la zone froide à la zone chaude. Le gaz augmente donc en pression et en température.
- Détente isotherme : Le piston de refoulement arrive en butée. Le piston moteur développe donc une partie de l'énergie créée par la montée en pression du gaz de l'étape précédente. Le piston moteur est en mouvement, le volume n'est plus constant et il n'y a plus augmentation de température. Ainsi le gaz se détend.
- Refroidissement isochore : Le piston de refoulement chasse le gaz chaud vers la zone froide en se déplaçant, le piston moteur reste en butée.
- Compression isotherme : Le gaz est refroidi au maximum et le piston moteur, grâce à l'effet d'inertie, se met en mouvement et comprime ce gaz froid.

2.4. Applications

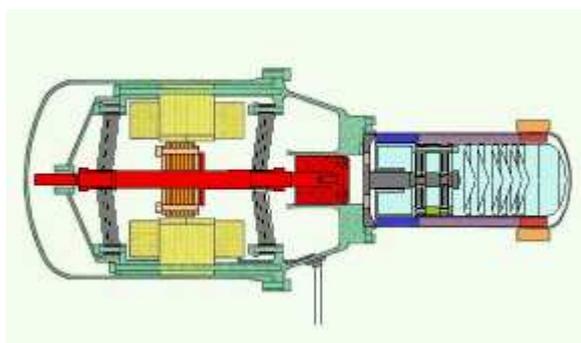
2.4.1. *Domaine de l'informatique :*



On a vu apparaître, récemment, une utilisation très spécifique du moteur Stirling pour refroidir un micro-processeur d'ordinateur. Il s'agit d'un micro-moteur Stirling qui utilise l'énergie thermique dissipée par le micro-processeur. Ce petit moteur entraîne un ventilateur qui dissipe le restant de chaleur évacué par le micro-processeur.

Il n'y a donc pas besoin d'énergie électrique supplémentaire pour assurer cette fonction de refroidissement contrairement à ce qui se passe sur un ordinateur "usuel". Certains évaluent à 70% la chaleur dissipée de la sorte.

2.4.2. *Domaine spatial :*

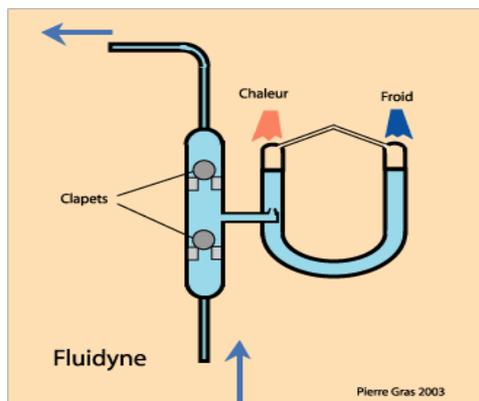


Certains satellites se procurent de l'énergie grâce à un moteur Stirling. Le rendement est particulièrement élevé vu les grandes différences de température disponibles. La source chaude est constituée par des radio-isotopes.

Cependant, l'utilisation de corps radioactifs n'est pas très écologique et présente des risques au moment de l'envol de la fusée. Sa justification vient du fait que des panneaux solaires peuvent se salir ou être détruits dans certaines zones de l'espace, comme à proximité de Mars.

La NASA a toujours été en pointe dans ce domaine. Elle a développé un moteur Stirling à piston libre qu'on peut voir sur l'animation ci-contre. Actuellement, elle mène des études concernant l'installation d'une base permanente sur la Lune. Pour produire de l'électricité à cette station, la NASA réfléchit à une petite centrale nucléaire produisant la chaleur nécessaire à un moteur Stirling à piston libre. La source froide serait constituée par de grands radiateurs. Le moteur Stirling devra avoir un bon rendement et surtout un très bon rapport Puissance / Masse. Ce dernier point est capital dans le domaine spatial pour limiter la masse de carburant embarqué par la fusée de lancement.

2.4.3. *Pompage d'eau :*



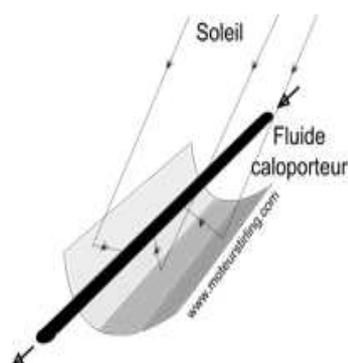
Basé sur le cycle de Stirling, ce dispositif permet de véhiculer de l'eau. Hormis des clapets, il n'y a aucune pièce mécanique en mouvement.

Une telle "moto-pompe" est simple, rustique, peu chère, facile à mettre en œuvre... Toutes ces qualités lui font pardonner son rendement et ses performances médiocres si on dispose d'énergie peu chère et abondante, le soleil par exemple.

Le fluidyne peut constituer un moyen économique d'irrigation des terres cultivées dans les pays chauds.

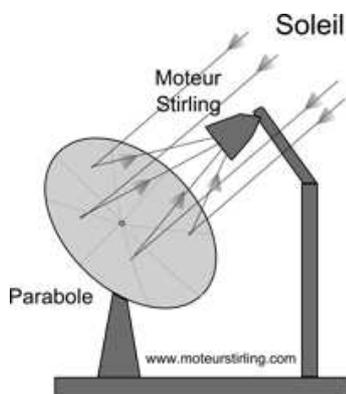
2.4.4. *L'énergie solaire et le moteur stirling*

Les capteurs cylindro-paraboliques :



Dans le tube placé au foyer de la parabole, on fait circuler un liquide afin de le chauffer à une haute température. Cette énergie est ensuite utilisée pour faire de la vapeur et entraîner un turbo-alternateur. Rien n'interdit d'utiliser ce liquide à haute température pour entraîner directement un moteur Stirling même si ce n'est pas la solution retenue aujourd'hui avec ce type de capteur cylindro-parabolique. A noter qu'on obtient des températures de fluide autour de 400°C. Ceci permet d'avoir de bons rendements. Cette solution présente un énorme avantage : le fluide chauffé par le soleil le jour peut être stocké puis utilisé pour faire de la vapeur d'eau durant la nuit.

Les réflecteurs paraboloidaux plus communément appelés paraboles:

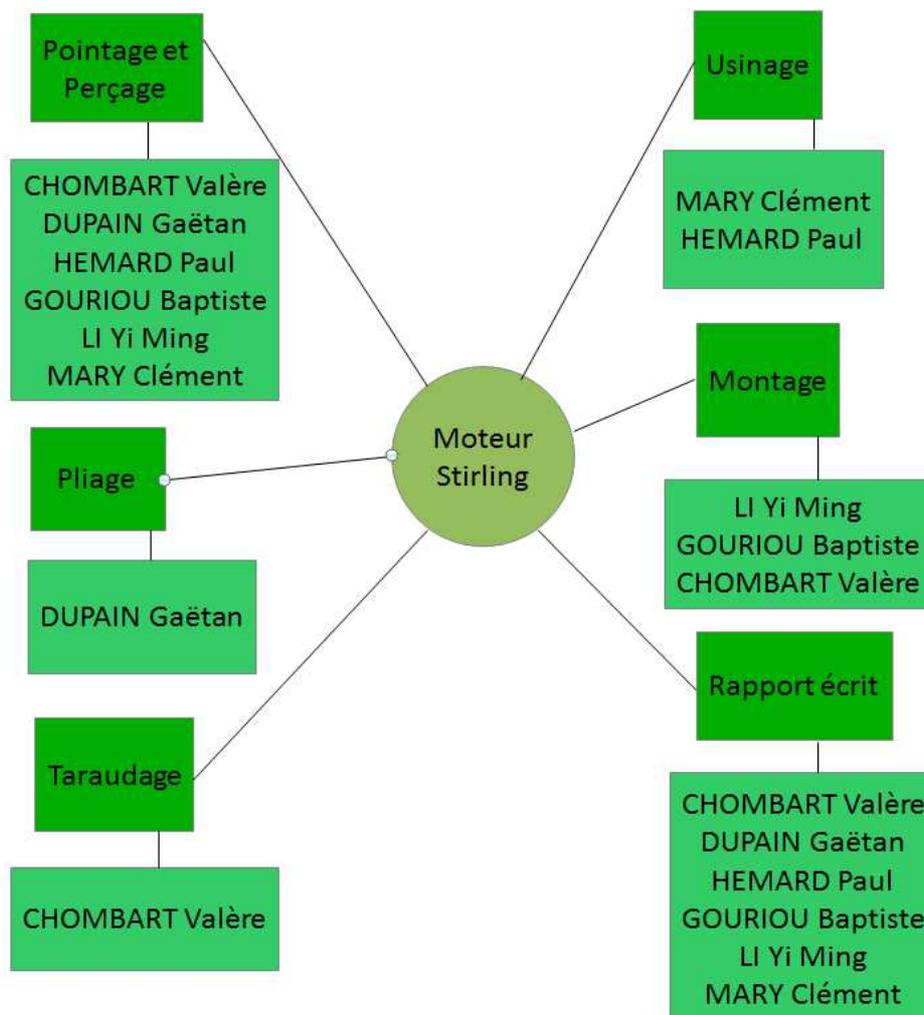


Nous sommes ici dans la configuration la plus utilisée pour transformer l'énergie solaire en électricité grâce à un moteur Stirling. Celui-ci est placé au foyer de la parabole et récupère la totalité de la chaleur fournie par le soleil au réflecteur. Il est nécessaire de munir cet ensemble d'un dispositif qui suit le soleil de son lever à son coucher. Pour cela, il faut un dispositif de rotation d'Est en Ouest, et un autre pour suivre le soleil de bas en haut et réciproquement. La température obtenue est plus importante que dans le cas précédent, autour de 1 000°C. Le rendement du dispositif en est nettement amélioré.

3. MÉTHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

En ce qui concerne l'organisation du travail, nous avons tous cherché à nous rendre utile à chaque séance d'une manière différente. Au départ, nous nous sommes chacun occupé d'une pièce pour en faire le pointage et le perçage en suivant les plans qui nous étaient fournis. Puis une fois cette étape terminée, chacun s'est dirigé vers une activité différente (pliage, taraudage, montage,...), ce qui nous a rendus plutôt efficaces.

Pour la rédaction du rapport, chacun s'est occupé d'une partie théorique. Une fois que la plupart des pièces étaient prêtes, certains se sont chargés de faire fonctionner le moteur tandis que d'autres se sont concentrés sur le rapport afin d'optimiser le temps.





4. TRAVAIL RÉALISÉ ET RÉSULTATS

4.1. Préparation des pièces

Perçage :

Les pièces à usiner étaient faites de deux matériaux différents : l'aluminium et l'acier. A chacun de ces matériaux est associée une plage de vitesses de coupe dont les bornes varient selon les sources, mais généralement on trouve que :

Matériau à usiner	Vitesse de coupe (m/min) outil en acier rapide supérieur
Acier doux	30-38
Aluminium	75-400

En utilisant ces plages on peut ainsi déterminer la fréquence de rotation du foret pour le perçage à l'aide de la relation : $V_c = (\pi d N) / 1000$.

Où : - d : diamètre du foret

- N : fréquence de rotation

Lorsque le diamètre du trou souhaité dépasse une certaine valeur, il est nécessaire de procéder à des perçages successifs en utilisant des forets au diamètre croissant.

4.2. Difficultés rencontrées

Tiges métalliques :

Les deux tiges à réaliser étaient en acier et devaient être pliées. Nous disposions de mesures précises sur les schémas mais celles-ci étaient difficiles à appliquer au millimètre près étant donné qu'il fallait utiliser des pinces pour plier les pièces. Il était également difficile de couper l'excédent de longueur avec ces pinces précisément.

Bielles :

Les plaques en métal que nous avons à notre disposition étaient en acier ce qui a rendu leur usinage très difficile. Pour transformer la plaque en une bielle proprement dite, un tracé du contour a été fait par pointage, ce qui représentait environ quarante poinçons. Cependant les trous devaient avoir un petit diamètre et lorsqu'il a fallu percer, le foret nous a posé problème, il avait tendance à glisser dans le trou adjacent et plusieurs forets se sont retrouvés brisés. Ainsi nous



avons dû percer beaucoup moins de trous que prévus en les espaçant beaucoup plus ce qui a représenté vingt trous.

Pour terminer le travail il a été nécessaire d'utiliser une lime. Cela a rendu la tâche très longue (3 séances rien que pour la phase de limage).

L'utilisation de l'acier comme matériau est discutable dans le cas des bielles. En effet, d'un côté ce sont les pièces les plus sollicitées lors du fonctionnement du moteur, elles doivent donc être suffisamment solides pour résister à une utilisation prolongée. D'un autre côté, la forme d'une bielle est plus complexe que celle des autres pièces, il est donc important de pouvoir les usiner sans trop de difficultés. Ici nous avons respecté le critère de solidité en utilisant de l'acier, cependant le moteur réalisé est assez petit et transmet donc un couple relativement faible, il est raisonnable de penser que de l'aluminium aurait bien résisté également dans ce cas précis. L'utilisation d'aluminium nous aurait peut-être fait gagner du temps.

Bielle réalisée à la lime



4.3. Assemblage et résultats

Au cours des différentes séances, un ou deux élèves s'occupaient de commencer assembler les différentes pièces. Ils pouvaient ainsi vérifier que l'usinage des pièces disponibles était satisfaisant ou dans le cas contraire faire part des problèmes au reste du groupe afin de rectifier les erreurs ou de totalement recommencer une pièce.

Les 3 dernières séances ont été consacrées à essayer de faire fonctionner le moteur. Pour cela nous devons effectuer des réglages afin de supprimer les deux principaux problèmes: les frottements et les fuites d'air. Les frottements ont quasiment disparu après avoir ajuster plus précisément le montage de certaines pièces et les avoir lubrifiées. Pour ce qui est de la fuite d'air nous avons pu identifier qu'elle se trouvait dans le radiateur et que l'air chaud passait par le perçage ou le piston fait ses aller retour. La pose d'un joint d'étanchéité pourrait être la solution mais celui ci gênerait le déplacement du piston.



Finalement, le moteur ne fonctionne pas parfaitement, nous sommes parvenus à diminuer l'importance des nuisances mais pas assez significativement. Lorsqu'il est exposé à une source chaude, le moteur tourne pendant quelques secondes en l'absence d'aide extérieure (il faut tout de même le lancer manuellement pour initier le mouvement). Un autre problème est la nécessité de lubrifier régulièrement certaines parties sous peine de voir le moteur s'arrêter presque instantanément.



Moteur une fois l'assemblage terminé



5. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

5.1. Conclusion générale

Ce projet fut l'une des premières applications vraiment concrètes de nos cours de physique, particulièrement de thermodynamique qui nous ont permis de comprendre les détails du fonctionnement du moteur que nous devions réaliser.

La réalisation de la totalité des pièces a été beaucoup plus longue que ce que nous pensions et certaines nous ont posé de nombreux problèmes, surtout les bielles. Mais nous avons toutefois eu l'occasion de nous servir de certaines machines et de découvrir plusieurs procédés d'usinage comme le pointage et le perçage, le taraudage, le pliage, etc.

Une nouvelle fois, ce projet a été l'occasion de travailler en équipe, ce qui rend le travail beaucoup plus rapide et intéressant. Nous avons été confrontés au besoin de bien s'organiser et de bien se répartir les tâches pour ne pas perdre de temps ce qui ne peut être qu'un point positif pour notre vie future.

5.2. Conclusions personnelles

Paul Hemard :

Pour ma part, ce projet s'est révélé très intéressant aussi bien du point de vue usinage qu'assemblage. En effet, réaliser un moteur qui fonctionne sans combustible, à proprement parler, est plutôt motivant. Ainsi l'usinage de pièce, me rappelant mon stage ouvrier de l'été dernier, s'est avéré enrichissant tant au point de vue perçage, découpe et limage que conception des pièces. L'assemblage a également été une bonne expérience car mis à part la partie concrète d'assemblage des pièces il a fallu aussi déterminer les causes du non-fonctionnement du moteur, ce qui signifiait démonter et remonter les pièces, en raccourcir certaines, huiler, siliconer ...

Pour conclure je dirais qu'en alliant théorie, pratique et réflexion, ce projet a vraiment été une opportunité pour découvrir différentes branches de l'industrie tournant autour de la thermodynamique.

Gaëtan Dupain :

Je pense que l'intérêt majeur de ce projet est la découverte et la pratique des différentes méthodes d'usinage des pièces. Nous avons ainsi pu mesurer l'importance du choix du matériau d'une pièce avant de commencer à travailler celle-ci, certains matériaux rendant en effet l'usinage très long et difficile. Nous avons également vérifié l'importance de la rigueur dans le suivi des plans qui nous étaient donnés afin de ne faciliter le travail du groupe lors de l'assemblage.

Ce projet a été l'occasion de travailler une nouvelle fois en équipe, nous permettant de développer notre esprit d'organisation avec des personnes que l'on ne connaît pas forcément.



Baptiste Gouriou :

Ce projet m'a permis d'acquérir une expérience dans un domaine que je connais peu: les moteurs. De plus, étudier un domaine d'un point de vue technique, ce que l'on fait rarement, m'a également permis de mettre en relation savoir théorique et savoir pratique. En effet nous nous sommes éloignés des idées abstraites de la thermodynamique afin de les mettre en application. Ceci est toujours bénéfique et intéressant car on peut avoir une idée plus précise de ce que l'on nous demandera un jour. Enfin j'ajouterais que l'on apprend toujours en travaillant en groupe, et que c'est un très bon moyen de motivation.

Yi Ming Li :

Pour ma part, ce projet de fabrication d'un moteur Stirling m'a beaucoup apporté. Moi qui suit la thématique EP, j'ai pu aborder le principe de la transformation de l'énergie plus concrètement lors du fonctionnement du moteur et j'ai acquis des connaissances sur les applications du moteur Stirling dans des domaines variés. Etant une étudiante étrangère, j'ai étendu mon vocabulaire dans le domaine de la mécanique. Avec l'encadrement de Mr. DHAOUADI, j'ai pu améliorer mes aptitudes au travail manuel lors des séances d'usinage et d'assemblage et mieux m'adapter au travail de groupe.

Clément Mary :

Ces quatre mois durant lesquels nous avons travaillé sur ce projet de P6 m'ont appris différentes choses qui me seront très utiles dans mon futur emploi.

Tout d'abord, ces semaines de travail sur le moteur Stirling m'ont permis de me confronter à la profonde différence qu'il y a entre la théorie et la pratique, et aux difficultés que cela entraîne. J'ai pu m'apercevoir que le bon fonctionnement du moteur dépend de petits détails, et donc, que l'usinage des pièces et leur montage demandent de la minutie, de la précision, et de l'attention. Cependant, je trouve dommage que nous n'ayons pas pu usiner certaines pièces, à cause du manque de matériel adapté.

Puis, ce projet a été très intéressant puisqu'il a été réalisé avec cinq autres personnes que je ne connaissais pas bien auparavant. C'était le premier travail de groupe que j'effectuais dans ces conditions. Il m'a donc appris à m'adapter à des méthodes de travail que je ne connaissais pas forcément.

Enfin, je pense que la principale leçon que je retiendrai de ce projet est qu'en travaillant en groupe, selon une bonne répartition des tâches, nous avons pu réaliser ce moteur qui paraissait bien compliqué au premier abord.



Valère Chombart :

Pour ma part, ce projet de P6 sur l'élaboration d'un moteur stirling de type gamma a été une réussite dans l'ensemble. Ce fut un projet concret et intéressant qui m'a permis de me familiariser avec ce type de moteur que je connaissais très peu et s'est révélé être un très bon complément au cours de P1 et de T1 de l'an dernier.

Ce projet aura aussi amélioré mes compétences pour les travaux en groupe ainsi que pour les travaux manuels tels que le taraudage, le perçage ou encore le sciage que je n'avais jamais exercé dans le cadre scolaire. En effet c'était la première fois que j'avais l'occasion de fabriquer et d'assembler un système mécanique lors de ma scolarité.

Finalement, la réalisation de ce projet n'aura pu être que bénéfique dans mon cas, compte tenu du département que je souhaite rejoindre l'an prochain : le département mécanique.

5.3. Perspectives

Tout d'abord il serait intéressant de retravailler toutes les pièces qui présentent quelques défauts afin de se débarrasser des quelques problèmes de frottements et d'étanchéité restant pour que le moteur puisse fonctionner de manière ininterrompue tant qu'il est exposé à une source chaude.

Comme nous avons pu le voir, les applications du moteur Stirling ne manquent pas. Au début du projet nous pensions pouvoir finir le moteur avec suffisamment d'avance pour pouvoir ajouter un petit circuit qui convertirait l'énergie mécanique créée en énergie électrique afin d'alimenter une L.E.D. mais certaines pièces ont demandé beaucoup plus de temps que prévu. Ce dispositif reste néanmoins une option assez intéressante à essayer de mettre en place.



6. BIBLIOGRAPHIE

[1] A Chevalier, "Guide du dessinateur industriel", *Hachette Technique*, édition 1995-1996

[2] www.moteurstirling.com/ (valide à la date du 13/06/2013)

[3] fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_Stirling. (valide à la date du 13/06/2013)

[4] http://www.film-documentaire.fr/The_Stirling_experiment.html, film, 5556

[5] <http://ecolib.free.fr/textes/energie/Sterling.html>

[6] <http://www.webphysique.fr/Le-moteur-de-Stirling.html>

[7] <http://www.moteurstirling.com/histoire.php>