

ETUDE ET CONCEPTION D'UN MOTEUR STIRLING



Etudiants :

Gabriel BASSET

Mikaël BRIDOUX

Benjamin DE MESTRAL

Mickaël DE SOUSA

Tan NGUYEN HOANG

Claire ROCCHISIANI

Enseignant-responsable du projet :

Daniel RELLO

Cette page est laissée intentionnellement vierge.

Date de remise du rapport : **18/06/10**

Référence du projet : **STPI/P6-3/2010 – 14**

Intitulé du projet : ***Etude et conception d'un moteur Stirling.***

Type de projet : ***Expérimental***

Objectifs du projet :

- Comprendre le principe de fonctionnement du moteur Stirling.
- Discerner les particularités de chaque type de moteur Stirling.
- Choisir un modèle de moteur à réaliser en étudiant sa faisabilité.
(ex : disponibilité des matériaux nécessaires)
- Concevoir le ou les moteurs choisis.
- Chercher des méthodes (montages) permettant de calculer la vitesse et la puissance des moteurs obtenus.
- Réaliser ces mesures.
- Apprendre à travailler en groupe et donc à répartir les tâches à effectuer.

TABLE DES MATIERES

1	Introduction	7
2	Méthodologie / Organisation du travail	8
2.1	Etude théorique du moteur Stirling	10
2.1.1	Histoire, intérêts et applications du moteur Stirling	10
2.1.2	Le principe de fonctionnement	12
2.1.3	Les différents types de moteurs	13
2.2	Etude expérimentale du moteur Stirling	14
2.2.1	Premier moteur : le moteur Nivea v1.1	14
2.2.1.1	Réalisation	15
2.2.1.2	Difficultés rencontrées et conclusion	18
2.2.2	Deuxième moteur : le moteur solaire v3.1	19
2.2.2.1	Préparations.....	19
2.2.2.2	Constructions et difficultés.	20
2.2.3	Mesures sur le moteur Stirling.....	22
2.2.3.1	Mesure de la vitesse de rotation.....	22
2.2.3.2	Mesure de la puissance	23
2.2.3.3	Résultats obtenus	25
3	Conclusions et perspectives.....	27
3.1	Conclusions sur le travail réalisé	27
3.2	Conclusions sur l'apport personnel de cette U.V. projet	28
3.3	Perspectives pour la poursuite de ce projet.....	30
4	Bibliographie	31
5	Annexes.....	32
5.1	Schémas de montages, plans de conception	32
5.2	Photos diverses de nos moteurs	36
5.3	Propositions de sujets de projets.....	37

NOTATIONS, ACRONYMES

P Puissance en Watts (W)

W Energie en Joules (J)

t Temps écoulé en seconde (s)

ω Vitesse de rotation du moteur en radian par seconde (rad/s)

C Couple du moteur en Newton mètre (N.m)

R Rayon de la poulie moteur en mètre (m)

F Force mesurée sur le dynamomètre en Newton (N)

m Masse en kilogramme (kg)

Moteur Nivea version 1.1 : Moteur avec déplaceur en Scotch-Brite

Moteur Nivea version 3.1 : Moteur solaire

1 INTRODUCTION

Dans le cadre de l'EC de Projets de Physique (P6-3), un choix diversifié de sujets scientifiques était proposé aux étudiants. Les projets demandés pouvaient être théorique, expérimentale, de type simulation numérique, ou documentation. Leur objectif commun était d'apprendre aux élèves à travailler en groupe autour d'un thème scientifique.

Le sujet, « Conception et réalisation d'un moteur Stirling » fut, pour chaque membre du groupe, le premier choix de notre présélection par intérêts personnels. La présentation de ce moteur en P1, l'an passé, nous a poussés à vouloir en savoir plus sur celui-ci. De plus, la perspective de pouvoir mener un projet de A à Z nous a séduits. Pour les 6 membres du groupe, l'affection thématique a correspondu à notre choix personnel. Nous étions donc tous très impliqués et motivés pour réaliser ensemble un moteur Stirling.

Chaque mercredi de 15h00 à 16h30, nous nous retrouvions à l'INSA afin de présenter à notre enseignant-responsable du projet M. Rello l'avancement du projet et de lui poser des questions sur d'éventuels problèmes rencontrés. Ses recommandations et l'expérience de nos prédécesseurs ont guidés notre choix vers la réalisation de 2 moteurs Nivea. Toutefois, notre travail ne s'est pas limité à ces réunions hebdomadaires. L'achat du matériel nécessaire et la réalisation des moteurs ont exigés un travail continu en dehors de l'école et de notre créneau horaire.

L'enseignement dispensé en STPI est très théorique. Ce projet nous a donc permis d'être confrontés à des problèmes concrets : rassembler le matériel, suivre précisément les plans... Face aux difficultés pratiques et techniques rencontrées, nous avons appris à nous adapter pour trouver par nous-mêmes des solutions. Ce projet a donc été très formateur pour notre futur métier d'ingénieur.



Moteur Nivea v1.1 (à gauche) et moteur Nivea solaire v3.1 (à droite)

2 METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

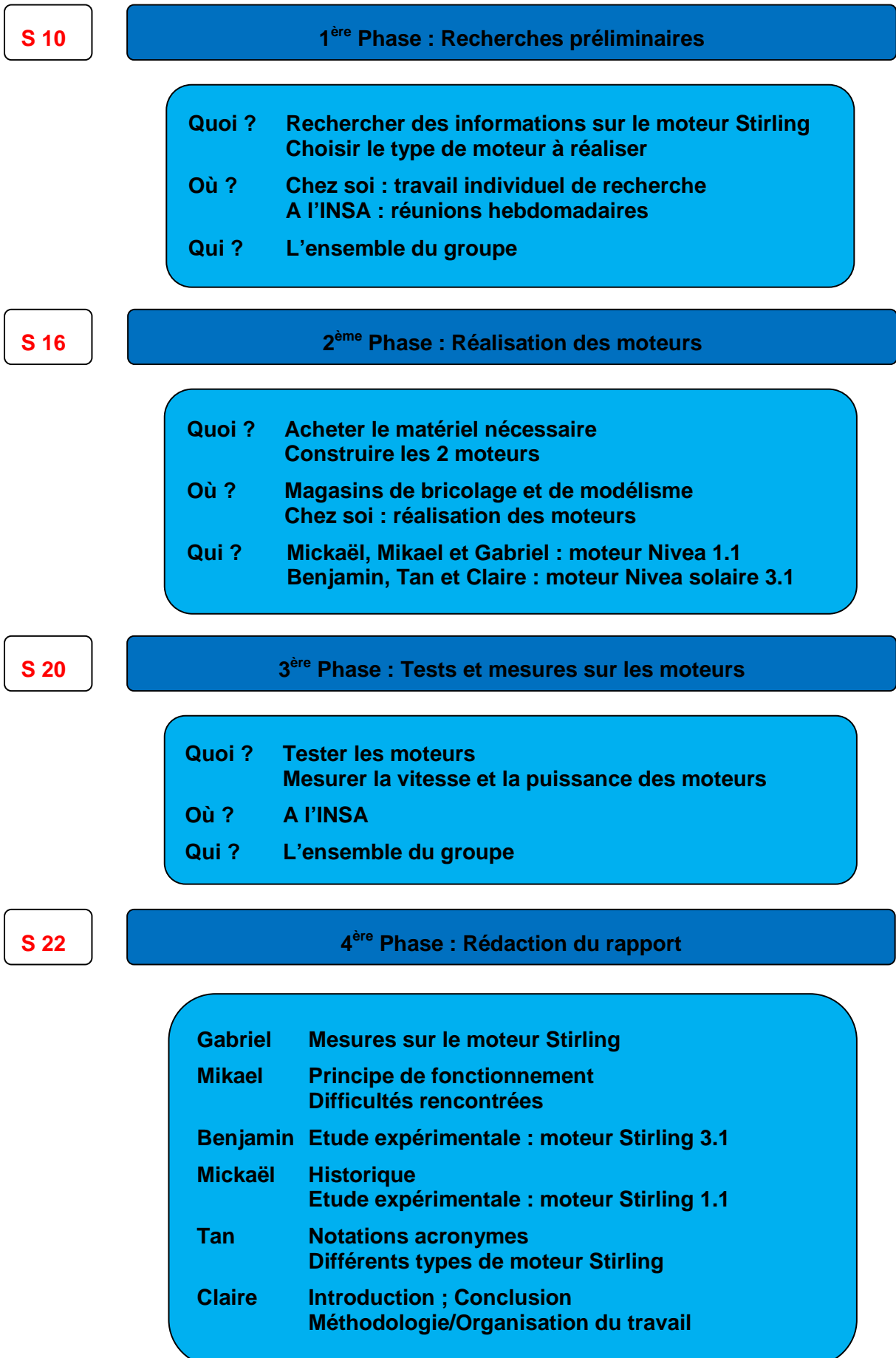
Lors des premières semaines, nous avons procédé à des recherches sur le moteur Stirling. Celles-ci étaient aiguillées par les questions posées par M. Rello. Le travail de recherche était tout d'abord individuel. Puis, nous mettions en commun les résultats lors des réunions. Ce travail préliminaire nous a permis de combler des lacunes historiques et scientifiques. De plus, il nous a aidés à choisir le type de moteur à réaliser. Notre choix s'est ainsi porté sur le moteur Nivea, moteur de type gamma ; il est un des plus simple à concevoir.

Puis, nous avons séparé le groupe en deux afin de pouvoir construire 2 versions du moteur Nivea : moteur Nivea 1.1, où le déplaceur est en Scotch-Brite, et un moteur solaire 3.0. Chaque groupe a d'abord procédé à l'achat du matériel dans les magasins de bricolage et de modélisme. Une fois les pièces rassemblées, nous avons réalisé chez nous la construction des moteurs. Nous avons pu ainsi travailler hors du créneau horaire accordé et progressé rapidement.

Lorsque la construction des moteurs a été achevée, nous les avons ramenés à l'INSA pour les tester. Grâce à la vaseline, l'eau bouillante et les glaçons, nous avons été heureux de constater que nos deux moteurs fonctionnaient. Nos appréhensions, concernant le moteur solaire 3.1 qui n'avait encore jamais été réalisé dans l'EC P6-3, se sont donc envolées. Puis, nous avons construits des montages expérimentaux pour calculer la mesure de la vitesse et de la puissance des moteurs.

La dernière étape fut la rédaction du dossier. Lors de la réalisation des moteurs, certains membres avaient plus travaillé que d'autres. La répartition du travail écrit à fournir a permis d'effacer ces inégalités. Chacun a participé à la rédaction du rapport. Le rapport a pu être ainsi le reflet d'un travail de groupe enrichi par les apports personnels des membres.

Organigramme de la répartition des tâches :



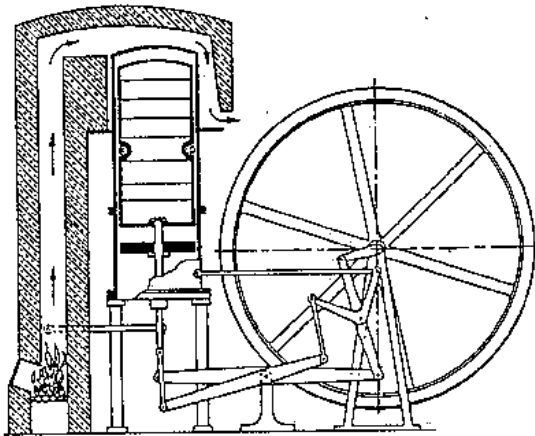
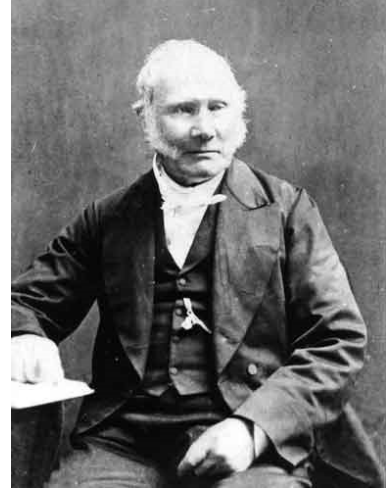
2.1 Etude théorique du moteur Stirling

2.1.1 Histoire, intérêts et applications du moteur Stirling

Né le 25 octobre 1790 à Gloag, dans le Perthshire, et mort le 6 juin 1878 à Galston, au sud de Glasgow, Robert Stirling, de son vrai nom Robert Mac Gregor, était un pasteur, mécanicien et métallurgiste écossais.

De 1805 à 1808, il poursuivit de brillantes études à l'université d'Edimbourg. Cependant, il se tourna par la suite vers des études de théologie à l'université de Glasgow pour devenir pasteur.

La vie de Robert Stirling est rythmée par les nombreuses découvertes scientifiques et techniques du XIX^{ème} siècle. Cependant, c'est aussi l'époque où il arrivait fréquemment que des chaudières à vapeur explosent et fassent des victimes. La légende veut que, catastrophé par ces accidents récurrents décimant ses paroissiens, liés à l'absence de normalisation des matériaux, le pasteur Stirling, mit toute son énergie à améliorer les machines à vapeur, alors indispensables, pour créer « le moteur à air chaud » appelé aussi « moteur à combustion externe » ou plus communément moteur Stirling. C'est ainsi que Robert Stirling déposa son brevet le 27 septembre 1816.



En 1843, son frère James « industrialisa » ce moteur, pour une utilisation dans l'usine où il était ingénieur. Toutefois, en raison d'une puissance trop faible par rapport à la machine à vapeur et, plus tard, au moteur à combustion interne, le moteur à air chaud de Stirling n'obtient pas le succès escompté. Il n'est plus qu'un objet d'étude pour les physiciens, qui comprendront son fonctionnement, bien après son invention, grâce à la thermodynamique.

Effectivement, c'est seulement en 1871 que les progrès de la thermodynamique accomplis au XIX^{ème} siècle permettent à Gustav Schmidt de décrire mathématiquement le cycle de Stirling.

Il faut toutefois attendre les recherches de la compagnie néerlandaise Philips, dans les années 1930, pour que le moteur Stirling soit de nouveau étudié sérieusement et que son application dans toutes sortes de technologies soit testée : en 1938, un moteur Stirling de plus de 200 chevaux, avec un rendement supérieur à 30% (comparable aux moteurs à essence actuels), y est créé.

On peut dire que deux siècles après son invention, le moteur Stirling, n'a pas une renommée et une réputation à la hauteur de ses performances et avantages. Cependant, la politique actuelle sur la protection de l'environnement et la menace de la fin du pétrole redonnent des avantages à ce moteur.

Mais quels sont précisément ces 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 fermeture de valves ni de bruit de gaz qui s'échappent limitant ainsi la production de vibrations du moteur et le rendant donc 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. De plus, une partie de l'énergie à bord d'un sous-marin est utilisée pour évacuer les gaz. La faible production de gaz imbrûlés par le moteur Stirling permet donc une économie d'énergie.



- **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, de par son absence d'échange de matière avec son environnement et l'absence de réaction chimique interne, ce moteur subit moins de source de détérioration qu'un moteur à combustion interne.



- **Un rendement élevé :** Il peut avoisiner les 40 % (soit 80 % du maximum du cycle de Carnot), contre environ 35 % pour les moteurs à explosion et 15% pour les panneaux solaires. Certes, une différence de 5 points paraît faible, mais elle signifie quand même près de 15 % d'énergie supplémentaire. C'est pourquoi les moteurs Stirling sont aujourd'hui utilisés par la NASA sur les satellites et sondes spatiales.

- **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 700°C , selon le sens d'entraînement et ceci, sans employer de gaz avec des propriétés spéciales qui leur confèrent des inconvénients pratiques ou chimiques (comme le fréon des machines frigorifiques d'anciennes générations, destructeur de la couche d'ozone). 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 :** Du fait de son mode d'alimentation en chaleur ce moteur peut fonctionner à partir de n'importe quelle source de chaleur : combustion d'un carburant quelconque, énergie solaire, énergie géothermique, énergie nucléaire, ou encore chaleur humaine. 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 de Stirling utilisant comme source de chaleur l'énergie dégagée par la puce à refroidir.



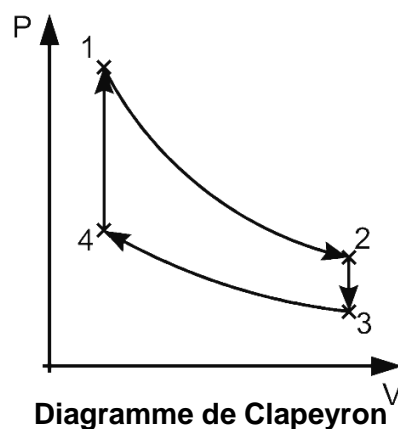
- **Une pollution moindre :** La chaleur venant de l'extérieur il est possible, grâce aux énergies non fossiles, de la fournir de façon moins polluante que dans bien des moteurs thermiques où la combustion est imparfaite. On peut par exemple mettre à profit l'énergie du soleil en utilisant une parabole réfléchissante qui concentre les rayons du soleil en un seul point : le foyer de la parabole où on installe le moteur Stirling.

On peut ainsi aisément voir que le moteur Stirling possède

un intérêt certain. Cependant, s'il n'est pas utilisé communément aujourd'hui, c'est parce qu'il possède quelques inconvénients comme un manque de souplesse dû au fait qu'il n'est actionné que par une convection de gaz, moins réactif qu'une explosion. En outre, le moteur Stirling est économiquement beaucoup moins intéressant pour les constructeurs car il n'est en aucun cas promoteur d'énergies fossiles commercialisables.

2.1.2 Le principe de fonctionnement

Le moteur Stirling fonctionne selon un principe relativement simple. Grosso modo, ce dernier est constitué d'un cylindre renfermant un gaz et d'un piston récupérant l'énergie mécanique. Le gaz renfermé est soumis à un cycle comprenant 4 phases représenté ci-dessous par le diagramme de Clapeyron :



- 1->2 : Chauffage isochore
- 2->3 : Détente isotherme
- 3->4 : Refroidissement isochore
- 4->1 : Compression isotherme

Avant d'expliquer chacune des phases, rappelons la loi des gaz parfait :

éq 1. $PV = nRT$ avec

P : Pression (en Pascal),

V : Volume (en m^3),

n : Quantité de matière (en mole),

$R = 8.314. J.K^{-1}.mol^{-1}$,

T : Température (en Kelvin)

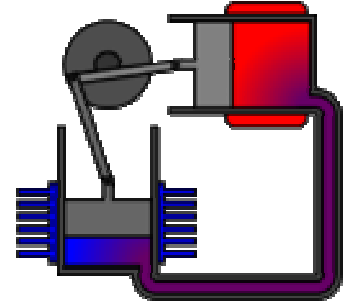
- **Chauffage isochore** : Le gaz chauffé emmagasine de l'énergie thermique. La température et la pression du gaz augmentent alors que le volume reste constant.
- **Détente isotherme** : Le gaz a une pression supérieure à la pression extérieure. Le gaz, tendant vers un équilibre thermodynamique, va voir 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.
- **Refroidissement isochore** : Le gaz refroidi cède de l'énergie thermique. La température et la pression du gaz diminuent.
- **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.

2.1.3 Les différents types de moteurs

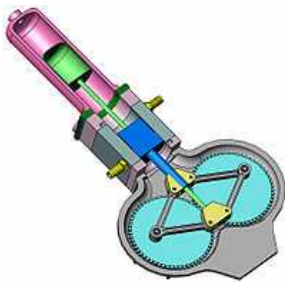
Le moteur Stirling de type alpha

Un moteur Stirling de type alpha est composé de deux pistons de puissance séparés : un premier piston dit « chaud », et un second piston dit « froid ». Le piston chaud est situé près de l'échangeur avec la plus haute température tandis que le piston froid est lui situé près du point d'échange de température la plus basse.

Ce type de moteur a un ratio puissance-volume très élevé, mais a fréquemment des problèmes techniques, liés aux températures trop élevées du piston chaud pour ses joints. En effet, un moteur de ce type possède deux pistons étanches.



Le moteur Stirling de type bêta



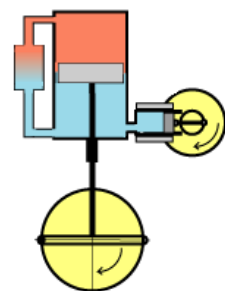
Tout comme un moteur Stirling de type alpha, un type bêta utilise également un volume de gaz délimité entre deux pistons : le piston moteur et le déplaceur. Ces deux pistons combinent un mouvement relatif lors du changement de volume du gaz, ainsi qu'un mouvement commun qui déplace ce volume de la partie chaude vers la partie froide, et vice-versa.

Le principe de ce moteur s'approche en réalité de celui du moteur Stirling de type gamma (cf. ci-dessous), à la différence que les deux zones chaude et froide sont situées dans le même cylindre. Les principaux avantages de ce type de moteur sont la compacité et l'absence de perte aérodynamique. Cependant, ce type de moteur possède aussi quelques inconvénients comme la perte thermique par conduction liée à l'utilisation d'un seul et unique cylindre ainsi que l'impossibilité d'utiliser un régénérateur qui permettrait d'augmenter le rendement.

Le moteur Stirling de type gamma

Un moteur Stirling de type gamma est doté d'un piston de puissance (ou piston moteur) et d'un piston jouant à lui seul le rôle de déplaceur. Contrairement au moteur Stirling de type alpha, dans un tel moteur, seul le piston moteur dispose d'un système d'étanchéité.

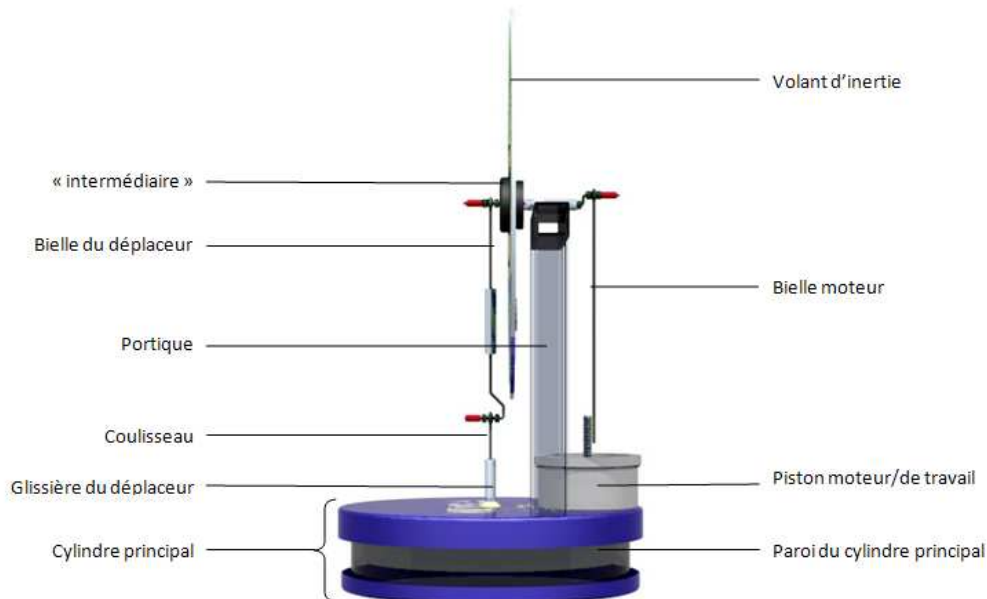
Le déplaceur occupe successivement la zone chaude et la zone froide, chassant à chaque fois le gaz vers la zone opposée. Les variations de température que le gaz subit alors engendrent des variations de pression qui mettent en mouvement le piston moteur.



Le volume balayé par le déplaceur ne pouvant nécessairement pas être balayé par le piston de puissance, il constitue un volume mort. Pour cette raison, ce type de moteur ne peut pas atteindre des rapports de compression élevés, ce qui limite les possibilités de rendement. Cependant, sa simplicité mécanique en fait un système largement utilisé.

2.2 Etude expérimentale du moteur Stirling

2.2.1 Premier moteur : le moteur Nivea v1.1



Après avoir effectué quelques recherches sur internet pour savoir comment fabriquer un moteur Stirling et étudié les différents types existant, il nous est clairement apparu que la réalisation d'un moteur de type gamma était la solution la plus simple du fait que les deux pistons, moteur et déplaceur, soient dans deux compartiments différents. Nous nous sommes donc lancé dans la réalisation d'un moteur de type « Nivea » basé sur les différents plans trouvés sur internet et adaptés pour réaliser notre propre moteur.

La première étape a consisté à trouver les matériaux nécessaires à la fabrication du moteur. Bien que ce moteur ne se construise qu'à partir de matériaux de récupération, la plupart des pièces ont dû être achetées.

Voici la liste du matériel nécessaire à la réalisation de ce moteur :

- une boîte Nivea en aluminium \varnothing 94
- une bouteille de soda de 1,5 L dont on aura prélevé une rondelle de 24 mm de haut (pour les flancs transparents)
- morceau de Scotch Brite d'environ 11 mm d'épaisseur pour le déplaceur
- emballage de pellicule 24 x 36 (translucide) pour le cylindre moteur.
- un morceau de gant jetable en vinyle pour le piston moteur
- profilé plastique 10 x10 x 1 pour le portique
- corde à piano \varnothing 0,8 pour les bielles, axes, vilebrequin
- tube plastique \varnothing int 2,5 pour les glissières

2.2.1.1 Réalisation

La fabrication de ce moteur peut se décomposer en plusieurs parties distinctes à savoir, la réalisation du cylindre principal servant de bâti à l'ensemble du moteur, la réalisation du volant d'inertie composé de ce dernier ainsi que de l'« intermédiaire » appelé aussi moyeu, la réalisation du piston moteur et enfin la réalisation des différentes bielles afin de relier le tout.

Le bâti

Après avoir vidée et nettoyée la boîte Nivea, nous avons commencée par percer 2 trous sur la partie supérieure de cette dernière :

- ✓ le premier, d'un diamètre de 3 mm, au centre, pour la glissière du déplaceur ;
- ✓ le second, d'un diamètre de 22,4 mm, situé à 30 mm du centre, pour l'emplacement du piston moteur.

Ce second perçage n'a pas été évident à réaliser. En effet, ne disposant pas de foret de ce diamètre, nous avons été contraints d'user d'« ingéniosité ». Nous avons alors décidé de faire 4 trous de diamètre inférieur formant un carré. Puis, nous avons ébarbé à la perceuse afin d'obtenir un unique trou, et enfin nous avons limé le tout afin que l'on ne se blesse pas et que le résultat final soit plus propre. Enfin, nous avons collé de façon hermétique la partie supérieure de la boîte de pellicule, préalablement découpée à la bonne hauteur, qui servira de cylindre pour le piston moteur

Le piston de déplacement fut réalisé en Scotch Brite. Un tracé au compas ainsi qu'une découpe au cutter dans le sens longitudinal nous ont permis d'obtenir la pièce souhaitée exception faite de l'épaisseur qui était 2 fois moins importante que l'épaisseur de 11 mm requise. Il a donc été nécessaire de rééditer cette opération une seconde fois et de coller les 2 morceaux ainsi obtenus avec de la colle Araldite. A noter que cette colle fut bien sûr appliquée sur la tranche de nos 2 morceaux de déplaceur, dont le diamètre a au préalable été réduit, afin que les qualités de régénérateur du Scotch Brite puissent être utilisées et que la colle ne crée pas de frottements supplémentaires avec la paroi du cylindre. Pour finir, nous avons cassé les pseudos « arrêtes vives » du déplaceur avec des ciseaux afin de limiter une fois encore les éventuelles frottements du déplaceur à l'intérieur du cylindre principal.



La paroi du cylindre est une portion d'une bouteille de soda, et sa découpe s'est avérée plus difficile qu'il n'y paraît. En effet, la principale difficulté était d'avoir un cylindre d'une hauteur de 24 mm et d'avoir les bords les plus droits possibles afin que le volume de notre cylindre principal soit équitablement réparti sur l'ensemble de sa surface. Grâce à une bonne paire de ciseau et une bandelette en papier de même surface que la paroi voulue, cette dernière fut relativement bien réussie. Elle fut ensuite directement collée avec du mastic à la partie supérieure de la boîte Nivea car le séchage de cette colle est très long (environ 24 heures).

Enfin, le portique fut ensuite construit et collé sur la boîte, et la glissière pour le déplaceur réalisée et introduite dans le trou central. Cette glissière est un tube de laiton, avec des perles de verres collées à chaque extrémité. Attention, leur rôle est très important : elles servent à diminuer le jeu entre le déplaceur et le tube. Il est donc primordial de choisir des perles présentant un jeu de 0,1 mm maximum par rapport au diamètre de la corde à piano de 0,8 mm.

Le volant d'inertie et l'axe

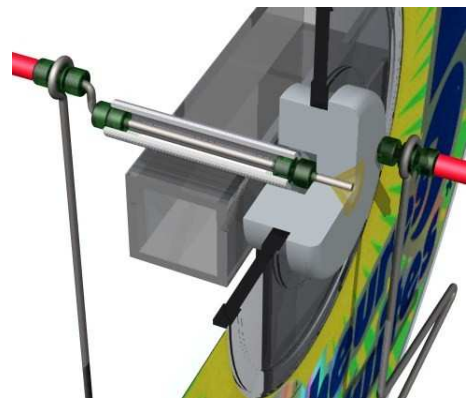
Après avoir réalisé la structure principale du moteur, la seconde étape a consisté à réaliser le volant d'inertie composé d'un CD et d'un moyeu, ainsi que l'axe du moteur. Cette étape est sans doute l'étape qui a été la plus difficile dans la fabrication de ce moteur. L'axe a été réalisé avec un tube en laiton, de la corde à piano et là encore avec des perles de verre.

Dans un premier temps, nous avons coupé le tube en laiton sur lequel, tout comme pour la glissière du déplaceur, on a collé à chaque extrémité des perles de verre. Nous avons, ensuite, collé ce même tube sur le portique de façon à ce qu'il soit parfaitement aligné avec l'axe de la glissière du déplaceur.

Dans un second temps, il a fallu réaliser l'« intermédiaire » appelé aussi moyeu. Souvent fabriqué à l'aide d'un bouchon en liège, notre groupe a, lui, choisi de réaliser le moyeu en bois car nous pensons que cette matière sera plus apte à transmettre l'ensemble des efforts. Après nous avoir conforté dans notre choix, M. Rello nous a donné une petite astuce afin de réaliser au mieux cette pièce maîtresse. Etant une pièce de révolution, il nous a conseillé de planter un clou sans tête au centre du morceau de bois à « usiner », (attention : veiller à ce que le diamètre du clou ne soit pas trop grand par rapport à celui de la corde à piano) puis, de venir serrer le mandrin de la perceuse sur ce clou. Ainsi lorsque l'on appuie sur la gâchette de la perceuse, on fait tourner notre pièce brut en bois. Enfin, tout en faisant tourner la pièce, on vient, à l'aide d'une lime, former notre moyeu. Même si cette technique est un peu longue, elle s'avère très efficace : la pièce obtenue est quasi parfaite.

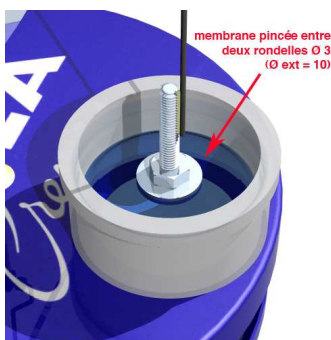
Une fois cette étape achevée, il reste encore quelques trous à percer afin de terminer complètement cette pièce :

- ✓ le premier est percé en son centre du côté du diamètre le plus petit : il permet l'insertion du tube en laiton ;
- ✓ le second est percé lui aussi au centre mais du côté du diamètre le plus grand : ce trou beaucoup plus petit servira à accueillir la colle lorsque l'on fixera le moyeu à la corde à piano de l'axe ;
- ✓ enfin le dernier trou est lui un trou borgne : il permettra l'insertion de la corde à piano servant de manivelle à la bielle du déplaceur.



Enfin, nous voici à présent à l'étape qui nous pose le plus de problèmes. Après avoir collé le CD sur le moyeu, nous avons dû coller ce dernier avec la corde à piano, préalablement tordu afin que la course de piston moteur soit égale à 3 mm, en faisant bien attention d'avoir un déphasage de 90° entre les 2 manivelles, que le moyeu ne touche pas le portique et que le tube en laiton ne frotte pas à l'intérieur du moyeu.

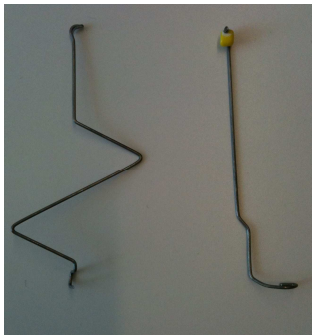
Le piston moteur



Le piston moteur est réalisé grâce à un morceau de gant en latex. Une vis passe au travers de la membrane, avec celle-ci pincée entre deux rondelles. Le problème ici a été l'impossibilité de trouver les bonnes dimensions pour la vis et les rondelles. Par conséquent nous avons choisi les modèles qui nous semblaient les plus légers (à l'exception des rondelles) dans l'optique d'augmenter l'inertie du système.

Les bielles et le déplaceur

Enfin, la dernière étape de la construction de notre moteur fut la réalisation des différentes bielles et du déplaceur à l'aide de corde à piano. Encore une fois, nous nous sommes retrouvés face à une difficulté inattendue : le pliage de ces morceaux de cordes à piano. En effet, il est assez difficile de donner à la corde à piano la forme souhaitée. Cependant, la précision de ces bielles était nécessaire puisque ce sont elles qui définissent les courses des 2 pistons. De plus, pour ne pas nous faciliter la tâche, lorsque nous avons acheté notre corde à piano dans un magasin spécialisé, nous avons acheté cette corde courbée. Nous avons dû la redresser du mieux que l'on pouvait afin d'obtenir les pièces voulues. Mais le résultat obtenu ne convenant toujours pas, nous sommes allés racheter dans un magasin de modélisme en nous assurant, cette fois-ci, qu'elle soit bien droite.

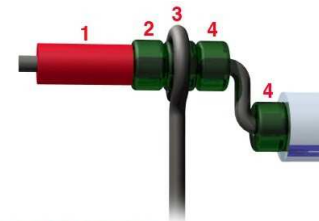


Il ne nous restait plus alors qu'à donner à la corde à piano destinée à être la bielle du déplaceur une forme en « zigzag ». Cette forme permet à la fois d'amortir les chocs du piston déplaceur lors de son mouvement, et de pouvoir régler au millimètre près la longueur de la bielle. Enfin, il a fallu courber l'extrémité supérieure de chacune des bielles afin d'y coller des perles de verre assurant les liaisons pivots avec leurs manivelles respectives. Le collage de l'ensemble des perles de verre a été réalisé avec de la super glue car il nous fallait une colle qui sèche rapidement.

L'assemblage final

Pour commencer, nous avons, tout d'abord, collé le déplaceur au piston de déplacement réalisé en Scotch Brite. Puis, nous avons passé le déplaceur à travers la glissière qui était collé à la partie supérieure du cylindre et nous y avons collé une perle de verre. Ensuite, nous avons refermé le cylindre principal avec du mastic afin d'assurer l'étanchéité de ce dernier. Contrairement au plan, nous avons décidé de coller la partie inférieure de la boîte à l'envers, ainsi nous augmentons légèrement la cylindrée de notre moteur (partie un peu emboutie). De plus, en positionnant la partie inférieure de cette façon, la chaleur sera mieux conduite lorsque l'on mettra notre moteur sur un bol d'eau chaude. Notre cylindre principal est fini.

Passons à présent à la dernière étape de l'assemblage final : la pose des 2 différentes bielles. Une fois posées, nous les avons bloquées en translation en collant des perles de verre et en ajoutant un morceau de gaine de câble électrique comme indiqué sur le schéma ci-contre.



- 1 gaine de câble électrique
- 2 perle libre
- 3 perle collée dans la tête de bielle
- 4 perles collées sur la manivelle



Notre moteur est maintenant fini, il ne reste plus qu'à le tester.

2.2.1.2 Difficultés rencontrées et conclusion

Bien que nous ayons eu la chance d'avoir tous les outils nécessaire à notre portée de main, nous avons rencontré quelques petits problèmes. En effet, la réalisation d'un tel moteur requiert un travail très minutieux.

Tout d'abord, lors de la construction, nous avons du refaire notre piston déplaceur. Nous avons remarqué que celui-ci touché le cylindre. Nous avons donc préféré le refaire pour optimiser nos chances que le moteur tourne.

Ensuite, les cordes à piano ont été difficiles à travailler. Nous avons utilisé uniquement deux pinces. Ce n'était pas évident, on a du s'y reprendre à plusieurs reprises avant d'obtenir une pièce convenable.

Enfin, la fixation du moyeu à la corde de piano transversale a été problématique. Lors du séchage, le CD (+ moyeu) se désaxait complètement du portique. Nous nous y sommes pris à nouveau à plusieurs reprises.

Malgré ces quelques petits problèmes rencontrés, notre moteur a tourné dès le premier essai, après avoir pris beaucoup de soin à mettre de l'huile de vaseline sur toutes les perles ainsi que sur la glissière du déplaceur (la vaseline est primordiale à cet endroit car elle assure également l'étanchéité du piston déplaceur). Nous ne lui avons donc apporté aucunes modifications.



Moteur Nivea v1.1 en « action »

2.2.2 Deuxième moteur : le moteur solaire v3.1

Le moteur solaire repose exactement sur le même principe que le moteur Nivea décrit précédemment. Il s'agit d'un moteur Stirling de type gamma, seul les matériaux utilisés et les dimensions varient.

2.2.2.1 Préparations

Tout d'abord la partie qui nous a pris le plus de temps et qui donc était la plus fastidieuse, a été de réunir la matière première nécessaire pour confectionner ce moteur.

Premièrement les parois supérieure et inférieure sont prévues initialement en tôle d'aluminium d'un millimètre d'épaisseur. Ne possédant ni matière, ni outils pour usiner la tôle, nous nous sommes tournés vers l'atelier de mécanique de l'INSA pour qu'ils nous créent ces deux pièces. M. Rello nous a confirmé que cela était faisable à condition que nous fournissions de vrais dessins techniques justement cotés, au responsable de l'atelier. Pour se faire nous avons profité des connaissances acquises en CTI 3. Les plans de la face supérieure et inférieure ont été créés et édités sous SolidWorks (cf. annexe).

Plusieurs versions ont été nécessaires jusqu'à ce que les pièces en questions soient usinables. Un des problèmes résidait notamment dans la forme d'une lumière en demi-lune irréalisable. Après discussion avec M. Rello, nous avons donc modifié la demi-lune en un alésage sphérique quelconque. En effet, en plus de faciliter l'usinage, nous avons suivi le principe qui consiste à dire que tout ce qui peut nuire à l'écoulement de l'air visqueux est à éviter. C'est sur ce « théorème » plein de bon sens que nous avons transmis les versions finales de nos plans à l'atelier. La réalisation de ces pièces a pris plus de temps que prévu notamment à cause de l'absence de matière première. Ainsi le plan indiquait d'utiliser des tôles de 0.8 mm d'épaisseur, alors que finalement notre plaque supérieure est de 2mm et l'inférieure de 1mm. Nous avons négligé ce problème, même si nous perdons certainement en sensibilité au changement de température.

Un deuxième composant qui nous a posé problème fut le polystyrène normalement utilisé pour constituer le déplaceur. Nous nous sommes ici confrontés à un tout autre type de difficulté. En effet les plaques de polystyrène de 9mm sont facilement trouvable dans le commerce mais sont vendues par lot de 10 ou 20 plaques, ce qui est totalement démesuré pour nos besoins ainsi que pour notre budget. Nous avons été, de plus, incapables de trouver un bon commerçant acceptant de nous fournir gratuitement un échantillon de ces plaques. Nous avons donc dû chercher un matériau de substitution qui répondait à certaines exigences. Le déplaceur doit être très léger et suffisamment résistant pour supporter les sollicitations de notre moteur. Le matériau qui répondait le mieux à ces critères et facilement accessible est le balsa. Utilisé pour le modélisme, il s'agit d'un bois léger : sa masse volumique est de 0.14 g/cm³ ce qui est bien même si le polystyrène expansé est moins dense avec 0.02g/cm³. Là encore notre moteur perd en efficacité mais compte tenu des échéances se rapprochant, il était important de progresser dans la construction du moteur. Nous avons donc constitué notre déplaceur en balsa.

Enfin, toujours d'un point de vue des matériaux de constructions, nous devons, conformément au plan, construire le flan de notre moteur à l'aide d'une bande de rhodoïd de 0.5 mm d'épaisseur. Ici malgré l'insistance auprès du magasin de modélisme pour commander ce matériau nous avons dû aussi nous résoudre à trouver un subterfuge. Nous avons donc sacrifié un morceau de la pochette trieur d'un membre du groupe pour constituer ce flan. Finalement le premier morceau de corde à piano que nous avons acheté était vendu en rouleau. Nous avons tenté de la redresser mais compte tenu de la précision exigée par ce moteur nous avons jugé rentable de s'en procurer un nouveau morceau cette fois ci parfaitement linéaire. Le premier bilan avant même la construction, a été plutôt pessimiste au

vu des nombreux changements vis-à-vis du plan originel mais nous pouvions débiter la construction.

2.2.2.2 Constructions et difficultés.

Dans cette partie nous n'allons pas reprendre en détail les étapes de constructions de ce moteur car celles-ci sont globalement les mêmes que pour le moteur Nivea. En revanche nous allons nous pencher sur les difficultés rencontrées, spécifiques à ce moteur.

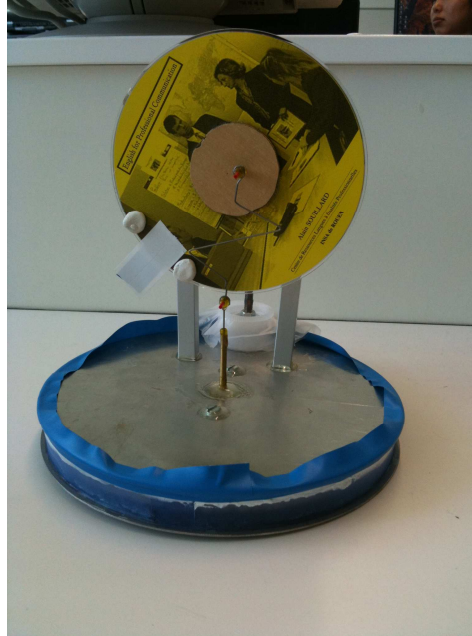
Tout d'abord la découpe, l'assemblage et le collage du portique sur son support. Étant donné qu'il s'agissait de la première manipulation, nous n'étions pas réellement conscients de la précision nécessaire à chaque étape afin de rendre notre moteur opérationnel. A posteriori il est évident que nous nous serions plus appliqués à la découpe parfaite, à l'équerre des éléments. En effet les imprécisions commises, nous avons dû les compenser au collage du portique sur le plateau afin que celui soit le plus orthogonale à notre plaque supérieure.

Deuxièmement, nous avons éprouvé des difficultés à coller les perles de verres aux extrémités des tubes en laiton. La colle à prise rapide avait la fâcheuse tendance d'adhérer à tout sauf sur notre interface perle/tube. Nous avons donc essayé de nombreuses techniques et nous sommes laborieusement parvenus à coller ces perles. Il est apparu lors du premier essai de notre moteur que ce collage était totalement insuffisant puisque les vibrations de l'axe dans le tube en laiton sur le portique à provoqué le décollement des 2 billes aux extrémités. Alors que tout était monté la réparation sur place n'a fait que figer l'intégralité de notre moteur sous la colle rapide. Nous avons pu couper la bielle et recommencer le collage de nouvelles billes. Cette fois ci nous n'avons pas réitéré les mêmes erreurs. Au lieu de coller les perles de verre à la colle liquide, nous les avons scellées aux extrémités dans de la résine époxy. Cela nous a conféré deux avantages majeurs : en plus de la grande résistance du collage, nous avons pu durant les 5 min de séchage de la résine, parfaire l'alignement des 2 perles. Finalement ajuster les tubes en laiton à l'équerre sur le portique et sur la plaque supérieure a été aussi une tâche ardue.

Concernant la fabrication du déplaceur nous avons souffert de notre manque d'expérience en « bricolage ». En effet, le balsa est un matériau hétérogène et qui donc n'est pas simple à découper. Pour faire un disque parfait de 16,4 cm de diamètre nous avons découpé les 9 mm d'épaisseur de balsa à l'aide d'un cutter. Pour créer les lumières nécessaires au passage des entretoises nous avons percé le bois avec une perceuse. L'ennui est que le perçage n'a pas été propre sur la face arrière et a arraché sans percer du balsa sur plusieurs centimètres. Nous avons trouvé la technique qui consiste à faire 2 trous borgnes de chaque côté qui se rejoignent au milieu de la plaque seulement à la fin.

Le dernier point technique spécifique qui nous a posé problème fut la réalisation du flan de notre moteur. Nous avons découpé 2 bandes dans un trieur que nous avons collées ensemble afin de créer un cylindre de 54 cm de périmètre soit 17.2 cm de diamètre. La difficulté a été de le placer parfaitement centré sur notre plaque inférieure de manière à ce que le déplaceur ne touche pas les bords. Il faut donc laisser 4mm de vide entre les deux composants sur tout le pourtour, le maintenir en place et fixer sachant que notre cylindre est très flexible. L'astuce que nous avons développée ici fut de découper dans du carton un disque de 17.1 cm de diamètre. Puis nous avons inséré ce disque dans notre cylindre afin qu'il garde une forme cylindrique. Nous n'avons plus qu'à centrer l'ensemble ce qui est nettement plus simple.

Le reste de la construction s'est passé sans problème particulier si ce n'est qu'il faut garder constamment en tête que la précision du travail est la ligne de conduite à laquelle il ne faut pas déroger. Sa construction fut un succès et un soulagement pour l'équipe lorsqu'il a tourné pour la première fois.



Moteur Nivea solaire v3.1

2.2.3 Mesures sur le moteur Stirling

Afin de remplir les objectifs de notre projet nous devons mesurer expérimentalement la vitesse de rotation et la puissance de nos moteurs. Rappelons, tout d'abord, que la vitesse de rotation sera exprimé en tours par minutes et la puissance en Watt (ou mW).

2.2.3.1 Mesure de la vitesse de rotation

Il existe plusieurs techniques qui permettent de mesurer une vitesse de rotation :

➤ **Stroboscope numérique :**

Pour utiliser cet instrument de mesure il faut peindre la moitié du CD en noir. Ainsi le stroboscope envoyant des flashes avec une fréquence réglée il en déduit la véritable fréquence de rotation du moteur et donc sa vitesse de rotation. Malheureusement cette solution nécessite un investissement que nous ne possédons pas.



➤ **Tachymètre optique :**

Le principe de cette méthode est de faire réfléchir un rayon laser sur une pastille réfléchissante préalablement collée sur le CD de nos moteurs. L'appareil mesure alors le nombre de rotation du CD par unité de temps. Cependant cet instrument de mesure a un coût trop élevé (25 euros) pour être utilisé dans un tel projet.

➤ **Système avec diodes :**

C'est la méthode de mesure qui a été retenue car elle est simple et ne coûte rien (matériel de l'INSA). Ce système est composé d'un circuit imprimé sur lequel deux diodes sont mises en vis à vis. On mesure alors la tension aux bornes du circuit imprimé en reliant ce système à l'ordinateur. Au repos la tension est de 0 V. Lorsque le vis-à-vis entre les deux diodes est coupé la tension observée sur l'ordinateur passe à 5 V. Pour ce faire, il suffit de coller un morceau de papier sur notre CD de façon à ce que le vis-à-vis des diodes soit coupé lorsque notre moteur fait un tour. L'acquisition se fait grâce au logiciel Synchronie.

2.2.3.2 Mesure de la puissance

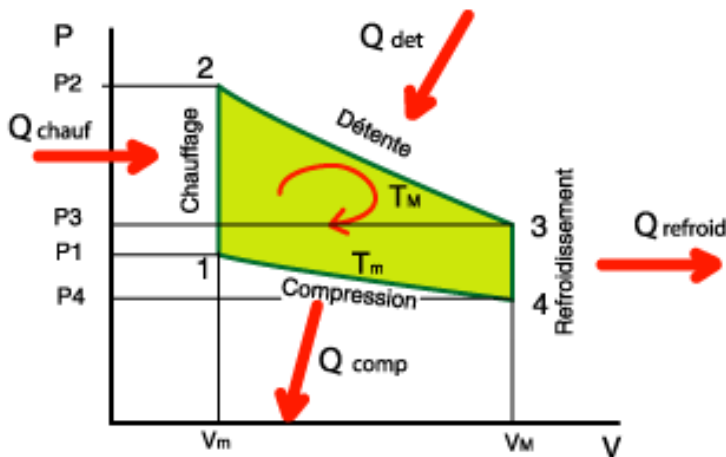
La puissance d'un moteur peut être déterminée à l'aide de deux méthodes :

- En calculant le travail :

Par définition on a :

éq 2.
$$P = \frac{W}{\Delta t}$$

Effectivement, si l'on se réfère au diagramme de Clapeyron, on peut déterminer le travail fourni par le moteur qui est représenté par l'aire à l'intérieur du cycle décrit par le moteur (en vert). Ainsi la puissance est obtenue en divisant le travail par la durée d'un cycle.



$$dW = PdV$$

$$W = \int_{ch} PdV + \int_{det} PdV + \int_{ref} PdV + \int_{comp} PdV$$

Or V est constant lors des phases de chauffage et refroidissement donc :

$$\int_{ch} PdV = \int_{ref} PdV = 0$$

$$\text{Donc } W = \int_{det} PdV + \int_{comp} PdV$$

En respectant le sens du cycle :

$$W = \int_{det} PdV - \int_{comp} PdV$$

Cependant, cette méthode de mesure de la puissance n'est pas réalisable car il est difficile de mesurer précisément les différentes variations de pression et de volume, surtout lorsqu'on sait que la puissance de nos moteurs ne sera que de l'ordre du mW.

De plus, le diagramme de Clapeyron est un diagramme idéal qui représente le cycle du moteur en supposant qu'il n'y a pas de pertes d'énergie thermique par diffusion. Malheureusement, il est très difficile d'éviter ces pertes d'énergie. De surcroît, les pertes d'énergie mécanique due aux frottements ne sont pas négligeables et de ce fait la puissance du moteur est d'autant plus diminuée. C'est la raison pour laquelle nous avons utilisé une méthode beaucoup plus réalisable et pratique : la méthode du frein de Prony.

2.2.3.3 Résultats obtenus

Afin de réaliser des mesures optimales, les sources de chaleur utilisées furent des glaçons pour la source froide et un cristalliseur rempli d'eau que nous chauffons constamment à l'aide d'une plaque chauffante pour la source chaude.

Pour éviter que l'eau des glaçons qui fondent ne coule partout et refroidisse le moteur, nous avons décidés d'enrouler la partie haute de notre cylindre principal avec du scotch assez épais de façon à créer une sorte de barrière. Pour la source chaude, il fallait surtout bien faire attention a ne pas laisser trop longtemps nos moteurs sur l'eau bouillante afin d'éviter tout dégâts sur nos moteurs.

➤ **Vitesse :**

La mesure de la vitesse se fait par acquisition sur Synchronie. Nous choisissons une minute comme temps d'acquisition et grâce à l'outil « Analyse de Fourier » nous obtenions la fréquence de rotation la plus élevée lors de l'acquisition.

La première mesure de la vitesse de rotation de nos moteurs a aboutit aux résultats suivant :

- ✓ une vitesse de rotation de 240 tours par minute pour le moteur de type 3.1
- ✓ une vitesse de rotation de 210 tours par minutes pour notre moteur de type 1.1

Cependant, ces vitesses de rotation n'étaient pas du tout maximum car en utilisant le dispositif du frein de Prony, nous avons mesuré une vitesse de rotation de 300 tours/minutes pour le moteur de type 3.1 lorsque celui-ci est freiné par une masse de 5g.

Entre temps le moteur de type 1.1 s'était détérioré.

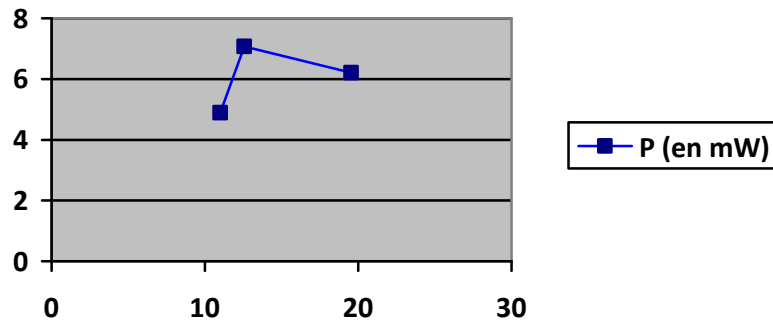
➤ **Puissance :**

Ainsi la mesure de la puissance ne se fera que pour le moteur de type 3.1.

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci dessous :

Masse (en kg)	F (en N)	Couple (en N.m)	Vitesse de rotation (rad/s)	P (en mW)
0,01	0,120	0,00032	19,5476876	6,2073682
0,02	0,235	0,00056	12,5700000	7,0718820
0,03	0,325	0,00045	10,9955743	4,8946799

Puissance en fonction de la vitesse de rotation



L'ordre de grandeur de la puissance d'un moteur Stirling de ce type est respecté. Le moteur de type 3.1 dégage donc une puissance tout à fait honorable de **7 mW !!!**

➤ Difficultés :

La principale difficulté pour ces mesures fut notre créneau horaire. En effet, à ce moment la de la journée, beaucoup de premières années étaient en travaux pratiques. Par conséquent nous ne disposions pas tout le temps du matériel nécessaire pour réaliser le montage de notre dispositif de mesure.

Puis, nous avons rencontrés des difficultés avec le système de mesure de la vitesse de rotation. En fait le système d'acquisition avec les diodes était défectueux de la faute d'un simple faux contact ; ce qui nous faisait perdre du temps pendant nos mesures.

3 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

3.1 Conclusions sur le travail réalisé

Les objectifs techniques et scientifiques fixés ont tous été atteints. En effet, notre travail a abouti à la construction de deux moteurs Stirling Gamma : un moteur Nivea version 1.1 et un moteur Nivea solaire version 3.1. En ajoutant une source chaude (bol d'eau placé sur une plaque chauffante) et une source froide (glaçons), ceux-ci ont tourné. Les frottements étaient donc minimes et l'étanchéité parfaite. De plus, nous sommes parvenus à mesurer leur vitesse et leur puissance à l'aide de montages expérimentaux. Enfin, les recherches préliminaires ont permis à chaque membre du groupe de comprendre le fonctionnement du moteur Stirling et de discerner les particularités de chaque type de moteur Stirling.

Ce projet fut aussi profitable sur le plan personnel et professionnel. Chaque étudiant avait seulement effectué une présélection par intérêts personnels. Nous n'avions pas eu notre mot à dire lors de la formation des groupes. Toutefois, nous avons tous les mêmes objectifs fixés par le sujet. Nous avons donc du apprendre à travailler ensemble : répartir les responsabilités, s'entraider lors de difficultés, écouter et proposer des idées... Les compétences acquises lors de ce projet sont indispensables à toute formation d'ingénieur. En effet, un ingénieur travaille le plus souvent en équipe. Il doit donc savoir vivre en communauté et acquérir une certaine facilité pour communiquer au sein d'un groupe.

Enfin, nous avons eu la chance de pouvoir travailler sur un sujet qui nous intéressait. Nous avons donc pris beaucoup de plaisir à mener ce projet et notre implication était d'autant plus forte. Voir nos moteurs tourner, même avec une puissance faible nous a procuré une grande satisfaction et fierté.

Nous encourageons donc les futures deuxièmes années à choisir ce sujet de P6-3 afin qu'ils réalisent à leur tour leur premier moteur.

3.2 Conclusions sur l'apport personnel de cette U.V. projet

Gabriel

« Personnellement, j'ai choisi ce sujet de P6-3 en me basant sur le conseil de plusieurs étudiants qui venaient de réaliser ce projet. Je ne fus pas déçu de mon choix. En effet, ce projet a été l'occasion de découvrir un fonctionnement de moteur que je trouve très original et qui a encore son importance dans le monde d'aujourd'hui. Ainsi, en plus des connaissances théoriques que cette UV nous a apportées, le projet nous a surtout appris à être totalement autonome et à se débrouiller avec nos propres moyens. Il faut savoir que la construction de notre moteur nous a posé de nombreux problèmes notamment à cause du dimensionnement de certaines de nos pièces. C'est pourquoi des décisions importantes ont dû être prises par chaque personne de notre groupe de construction. De ce fait, cela nous a montré la difficulté de prendre des décisions importantes, notre sens des responsabilités fût ainsi soumis à rude épreuve. Puis, il a fallu travailler en coordination avec l'autre groupe de construction en se prêtant du matériel et en se soumettant nos problèmes et nos idées.

Finalement, ce projet fût une réelle opportunité de travailler en communauté autour d'un thème scientifique avec des contraintes de temps, de matériaux et de moyens ce qui s'apparente au métier d'ingénieur. »

Mikaël

« L'idée de construire un moteur est quelque chose qui m'a directement plu. Etant de nature un peu bricoleur, j'ai beaucoup apprécié la réalisation et la conception d'un moteur avec les « moyens du bord ». De plus, j'ai eu la chance de connaître la quasi-totalité des membres de mon groupe ce qui nous a permis de nous voir très régulièrement et par conséquent d'avancer le projet rapidement.

Dans un premier temps, nous nous sommes concentrés sur le principe de fonctionnement et les différents aspects du moteur puis nous nous sommes lancées dans la conception de ce dernier. Les idées fut très nombreuses et intéressantes. En effet, dans un travail de groupe, il est très intéressant de partager son point de vue avec celui des autres. Chacun avait sa façon de faire ce qui nous a permis de faire des choix judicieux sur le déroulement du projet. C'est donc au final deux moteurs Stirling opérationnels que nous avons obtenus. Nous ne pouvons espérer mieux. Ce fut, en quelque sorte, une récompense pour le travail et l'effort que nous avons fournis à ce projet.

Pour conclure, ce projet fut une expérience très enrichissante. Il nous a permis a la fois de mettre en pratique des notions de thermodynamiques acquises préalablement et de travailler en groupe sur un projet des plus concrets. C'est une bonne première pour tout futur ingénieur. »

Mickaël

« Lorsqu'il a fallut faire un choix de sujet pour cette U.V. de P6-3, je n'avais aucune hésitation : je voulais réaliser un moteur Stirling. Pourquoi ? Et bien tout simplement, parce que ce moteur m'avait beaucoup intrigué lorsque M. Rello nous l'avait présenté dans le cadre du cours de thermodynamique de première année. De plus, la réalisation pratique avec des matériaux de récupération d'une étude théorique faite au préalable me paraissait un aspect très intéressant : je pourrais ainsi confronter les deux. Son principal avantage était la possibilité de travailler en groupe. En effet, notre enseignant nous ayant laissé « carte blanche », le travail en communauté a réellement prit ici toute sa valeur. Il nous a permis d'apprendre à gérer la répartition des tâches ainsi que notre temps. En outre, le « projet Stirling » est un sujet très complet. Contrairement à certains sujets qui ne comprennent uniquement que de la recherche documentaire et d'autres uniquement que de la manipulation, ce « projet Stirling » m'a ainsi permis non seulement de me documenter sur ce moteur, mais également d'en construire un moi-même ce qui fût une expérience très enrichissante.

Pour finir, je dirais que ce projet m'a conforté dans mon choix professionnel. En effet, j'aimerais travailler dans le milieu de la course automobile. Avec ce projet, j'ai donc pu avoir un premier aperçu de ce que pouvait être la compétition ainsi que ce qu'elle entraînait, à savoir, une réelle motivation, une envie de se surpasser à chaque instant, de donner le meilleur de soi-même dans le but d'avoir un moteur toujours plus performant. »

Benjamin

« J'avais déjà remarqué ce sujet de P6-3 l'année dernière et cette année encore, à la vue du choix proposé, il s'est avéré que c'était le seul projet qui m'intéressait vraiment. Bien heureusement je l'ai eu et j'en ai profité pleinement. Ce fut vraiment très gratifiant de faire ce genre de projet très concret. De plus, construire un moteur de A à Z a été une expérience très enrichissante. D'une part la liberté totale de décision et d'action fut, pour une première, pas facile à gérer mais au combien plus intéressant que des travaux pratiques guidés encadrés. Merci tout de même à M. Rello pour sa disponibilité dans les moments de doutes. D'autre part j'ai beaucoup appris techniquement : sur les moteurs Stirling et leur fonctionnement mais aussi en expérience de bricolage. En effet je trouve que ce projet a comblé une partie du manque cruelle de pratique dans notre formation à l'INSA et c'est très satisfaisant de enfin travailler sur un vrai problème menant à de vrais solutions et finalement à une réalisation concrète. Un bilan intégralement positif. »

Tan

« Pour conclure sur le travail effectué, on peut dire que ce projet a été très enrichissant. Il fut une excellente opportunité pour apprendre à travailler en groupe, ce qui nous sera utile lors de notre métier d'ingénieur. De plus j'ai appris à organiser mon travail, c'est-à-dire bien définir les objectifs et les grandes lignes à suivre, répartir les tâches et mettre en commun les différents résultats.

Ce projet m'a permis de mettre en application les quelques connaissances que j'avais acquises de la thermodynamique en P1 et T1. Ainsi, j'ai pu mieux comprendre bien les aspects théoriques. J'ai eu la chance de pouvoir travailler sur un thème qui m'intéressait : le moteur Stirling. Grâce aux conseils de M. Rello, mon groupe a travaillé efficacement pour ce projet. Au final, j'espère que j'aurai encore l'opportunité; de travailler avec les personnes de mon groupe. »

Claire

« Je n'avais aucune connaissance en bricolage et mes souvenirs de P1 sur le moteur Stirling étaient très flous. Cependant, mener un projet de la conception à la réalisation m'avait attirée. Jusqu'alors dans notre formation, les seuls problèmes rencontrés étaient théoriques. Même en physique, les calculs de vitesse ne prenaient pas compte toutes les contraintes pratiques. Certes, un bagage scientifique théorique est indispensable. Toutefois, je pense qu'être confrontée à des situations concrètes est une expérience formatrice pour notre métier d'ingénieur.

Ainsi, j'ai appris à m'adapter. Par exemple, le matériel demandé n'étant pas toujours disponible, il fallait trouver comment le remplacer. De plus, j'ai appris à travailler en groupe. Les tâches étaient réparties. Cependant, l'ensemble du groupe était présent dans chacune des phases. Même si je n'étais pas très douée pour bricoler, j'étais au courant de la progression de la construction du moteur. Je me suis donc sentie très impliquée dans ce projet.

3.3 Perspectives pour la poursuite de ce projet

L'intérêt majeur du moteur Nivea solaire 3.1 est qu'il fonctionne idéalement avec un très faible gradient de température. Pour le faire tourner, nous avons du tout de même utiliser un bol d'eau chaude. Il serait intéressant de l'améliorer, en diminuant les frottements par exemple, pour qu'il puisse fonctionner à partir de sources de chaleur modérées : celle de la main, celle produite par le rayonnement d'une faible lampe halogène ou encore sous le rayonnement solaire.



De plus, il serait possible de réutiliser les moteurs obtenus afin de leur rajouter une fonction génératrice de courant ou de lumière.

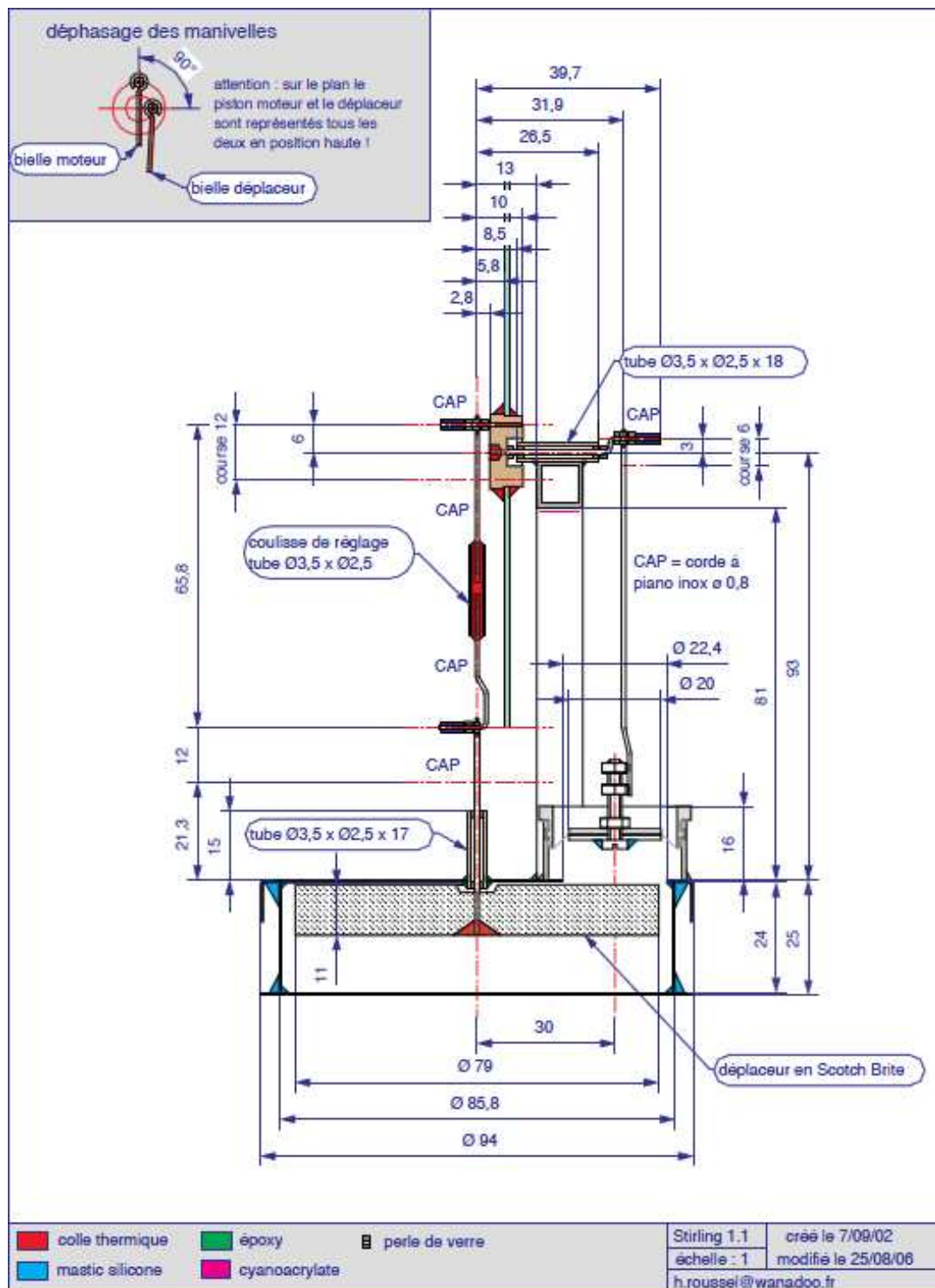
4 BIBLIOGRAPHIE

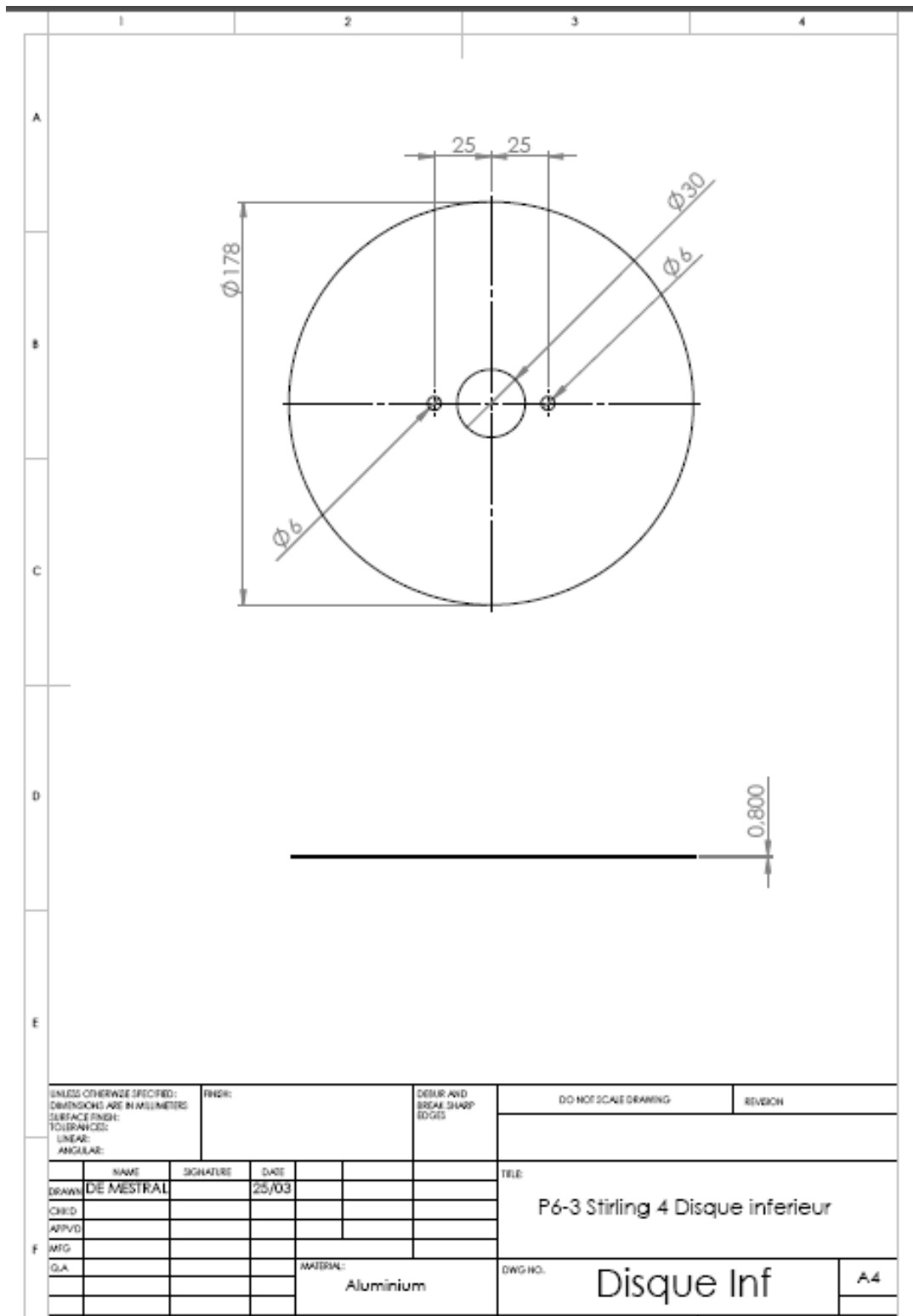
Tous les sites suivants sont valides à la date du 18/06/2010 :

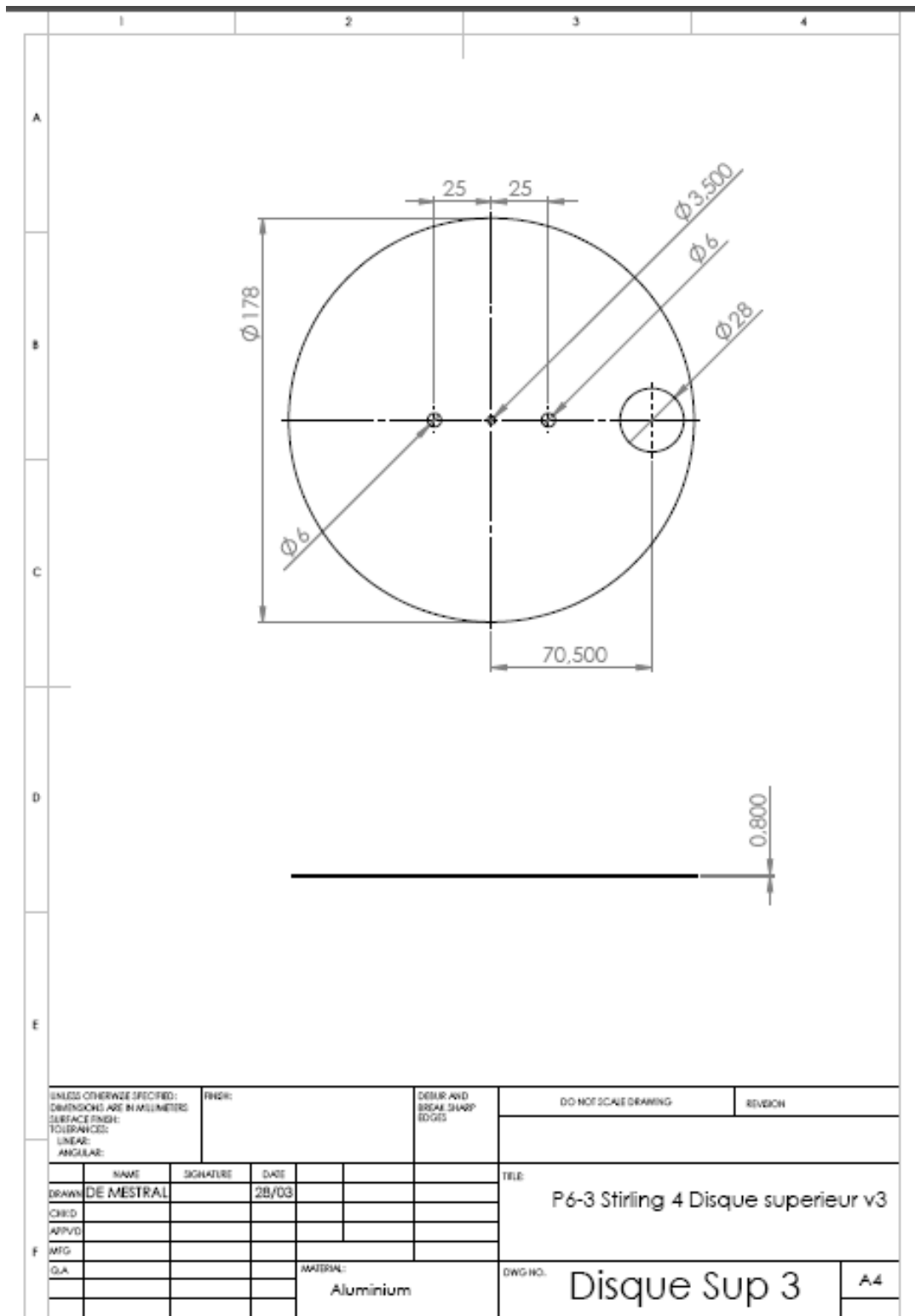
- [1] lien internet : <http://www.photologie.fr>
- [2] lien internet : <http://www.moteurstirling.com>
- [3] lien internet : http://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_Stirling
- [4] lien internet : http://pagesperso-orange.fr/laurent.buchard/StirlingLBR/Stirling_lbr.html
- [5] lien internet : <http://ecolib.free.fr/textes/energie/Sterling.html#chap2>
- [6] lien internet : http://www.projetstirling.fr/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1
- [7] lien internet : http://ipn.epfl.ch/webdav/site/ipn/shared/TP/TP_notices/TSt.pdf

5 ANNEXES

5.1 Schémas de montages, plans de conception





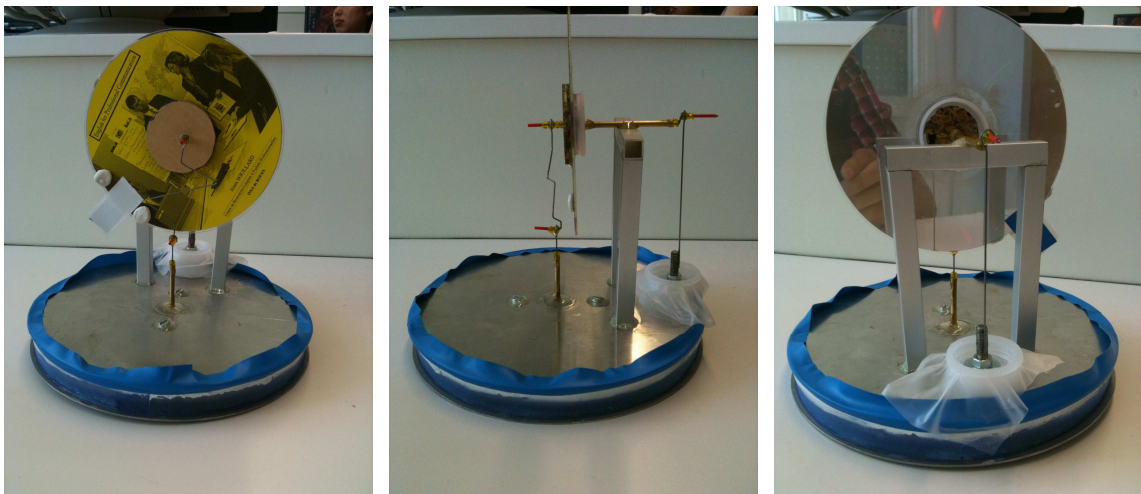


5.2 Photos diverses de nos moteurs

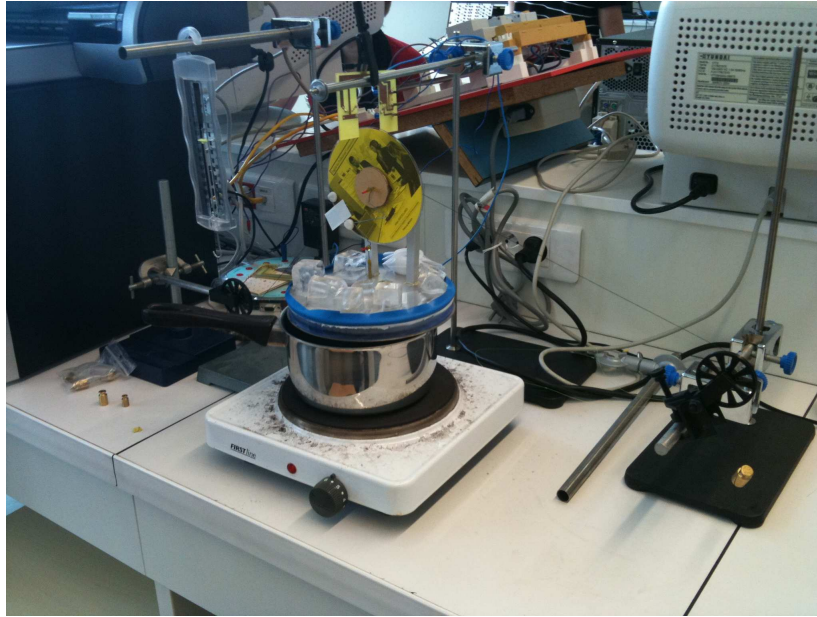
➤ Moteur Nivea v1.1



➤ Moteur Nivea solaire v3.1



➤ Montage expérimental pour la mesure de puissance (frein de Prony)



5.3 Propositions de sujets de projets

Il serait intéressant d'utiliser ces moteurs dans un système concret par exemple pour générer de l'électricité afin d'allumer des diodes. (cf. <http://www.photologie.fr>)

