



INSTITUT
NATIONAL
des SCIENCES
APPLIQUÉES



Projet de Physique P6-3
STPI/P6-3/2008 – 018



Nom des étudiants

Sébastien DROUYER

Raphaël LACOMBE

Pâris MEULEMAN

Anh-Khoa NGHIEM

Thomas PELLAN

Maud ROPARTZ

Enseignant(s)-responsable(s) du projet

Daniel RELLO



Conception et réalisation d'un moteur Stirling



À TAILLE
HUMAINE
À L'ECHELLE
DU MONDE

Date de remise du rapport : **24/06/08**

Référence du projet : **STPI/P6-3/2008 – 018**

Intitulé du projet : **Conception et réalisation d'un moteur Stirling**

Type de projet : **Expérimental**

Objectifs du projet :

Le but du projet, dans le cadre de l'UV, a été de concevoir puis de réaliser un moteur Stirling, comme l'indique l'intitulé. Toutefois, il existe toute une phase théorique avant de débiter le projet en lui-même, qui consiste à étudier le principe et les différents types de moteurs Stirling. Une fois cette étape achevée, les étudiants pouvaient débiter la phase de réalisation qui se traduisait par la recherche des plans et à trouver les matériaux nécessaires à la construction du ou des moteurs, par eux-mêmes.

Puis, finalement, si l'un des moteurs venait à fonctionner, la dernière étape de l'étude consisterait à déterminer, par un moyen quelconque, la vitesse de ce dernier, ainsi que sa puissance et son cycle.

Si existant, n° cahier de laboratoire associé : **Pas de numéro de cahier.**

TABLE DES MATIERES

1. Introduction	6
2. Méthodologie / Organisation du travail	7
3. Travail réalisé et résultats	9
3.1. Le moteur SFA	9
3.1.1. Le principe	9
3.1.2. La première version : plans, difficultés, résultat,	10
3.1.3. La deuxième version : difficultés, résultat,	11
3.2. Les moteurs « Nivea »	12
3.2.1. La version 1.0	12
3.2.2. La version 1.1	14
3.3. Le compte-tour	14
3.4. Calcul de la puissance	15
3.4.1. Avec la pression et le volume (diagramme de Clapeyron)	15
3.4.2. Avec la vitesse de rotation	16
3.4.3. Méthode de mesure des variables nécessaires	16
4. Conclusions et perspectives	18
5. Bibliographie	21
6. Annexes (non obligatoire)	22
6.1. Documentation technique	22
6.2. Listings des programmes réalisés	22
6.3. Schémas de montages, plans de conception	23
6.4. Propositions de sujets de projets (en lien ou pas avec le projet réalisé)	26

NOTATIONS, ACRONYMES

SFA : Stephen F. Austin, le nom donné à un moteur Stirling qui vient à son tour du nom de l'Université américaine dans laquelle il a été conçu

Pattex : Marque de produits adhésifs. Dans notre cas ici, l'utilisation du nom Pattex désigne un produit de la marque, appelé Répar Express. Mais pour des raisons de commodité, nous avons décidé de l'appeler juste Pattex.

1. INTRODUCTION

A l'arrivée du semestre 4, les étudiants ont pu expérimenter une UV nouvellement introduite dans le programme, qui se trouve être une UV de projet. Ces projets de physique étaient très variés et pouvaient être d'ordre théorique ou expérimentale, mais dans tous les cas, ils constituaient une expérience assez nouvelle pour tous car ils offraient pour la première fois la possibilité de réellement travailler et progresser à plusieurs, en équipe, sur un thème particulier.

Dans notre cas, nous avons choisi le projet intitulé « Conception et réalisation d'un moteur Stirling ». Dans un premier temps, cela s'avérait plutôt difficile, d'autant que nous n'avions au départ aucune piste et aucune organisation : nous avions carte blanche. Notre travail préliminaire a d'abord été de comprendre comment fonctionne un moteur Stirling, puis ensuite de chercher des plans relativement simples. Nous avons dû donc écarter toute conception nécessitant des matériaux trop compliqués. De plus, il fallait aussi chercher un moyen pour concevoir un compte-tour pour le moteur, là aussi devant être de fabrication « artisanale ». Ce projet de P6-3 a été, pour nous tous, une expérience totalement innovante et nous a plongé dans la réalité du métier d'ingénieur.

Néanmoins, malgré les difficultés rencontrées dès le début, la motivation ne manquait pas. Nous avons eu la chance d'être choisis et nous comptons bien réaliser rapidement un premier prototype de moteur à air chaud.

2. METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Durant cette UV, notre travail n'a pas suivi de réel plan ni organisation. Comme dit précédemment, nous n'avions pas de piste ni de calendrier, nous avions carte blanche pour faire un ou plusieurs moteurs Stirling. Comme nous n'avions aucune idée de ce qui nous attendait, nous n'avons pas pu prévoir quoi que ce soit, et une méthodologie concrète a donc été quelque peu absente.

Mais de façon générale, les tâches ont été attribuées de manière totalement aléatoire à chaque personne, en tenant compte de son temps libre. Ainsi, durant le semestre entier, plusieurs membres ont pu s'attacher à une même fonction, mais à des périodes différentes. Nous avons aussi décidé de ne jamais travailler sur la construction d'un moteur avec le groupe en entier. En effet, un travail à 6 nous a semblé réellement contre-productif, et nous nous sommes plutôt basé sur un travail de 2 à 4 personnes. Nous nous rassemblions tous seulement pour discuter du déroulement des événements à venir. Toutefois, cela n'a pas empêché une avancée régulière du projet (rassemblement de plusieurs membres de 2 à 4 fois par semaine, en dehors des horaires du cours de P6-3).

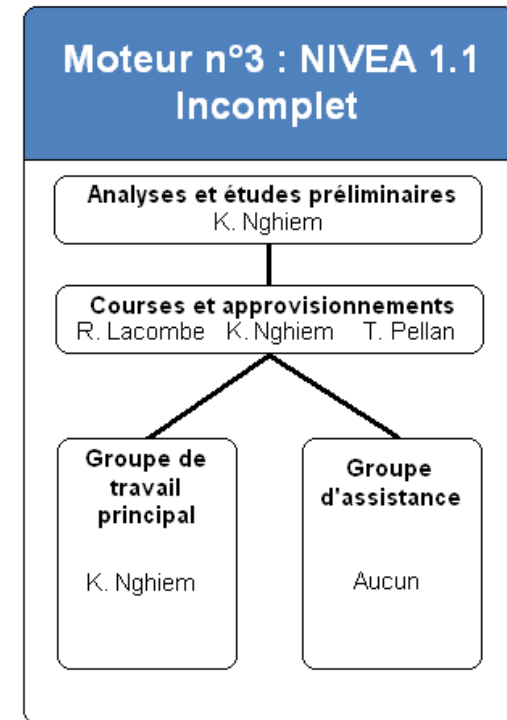
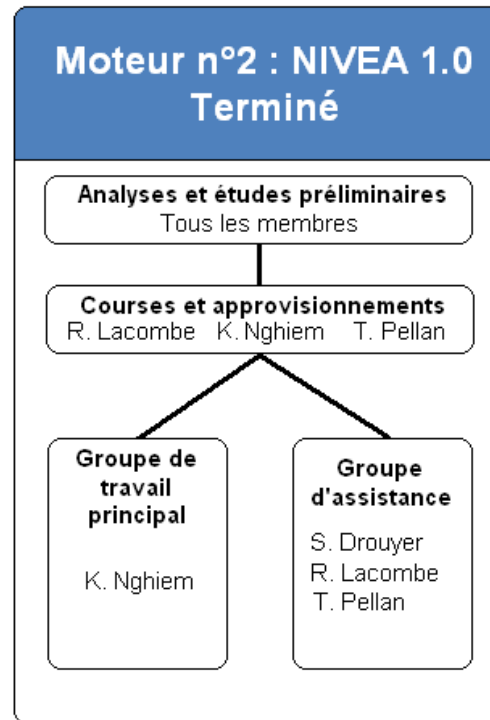
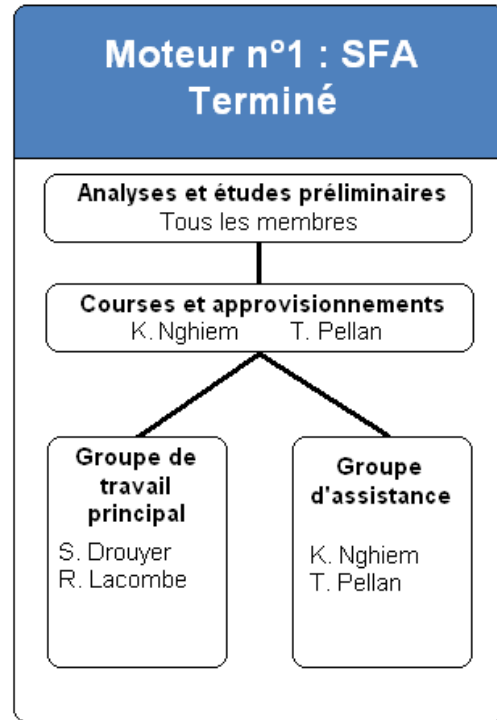
Ainsi, pour commencer, chaque personne du groupe a cherché des pistes de son côté, sur internet entre autres. Chacun a activement participé et après quelques séances, nous avons sous la main un certain nombre de plans. Il restait donc à se décider du prototype à réaliser en premier.

Une des premières difficultés rencontrées durant ce projet a été de réaliser les moteurs à l'aide d'« outils » non adaptés. Par conséquent, l'ensemble des objets utilisés lors de la fabrication du premier moteur se résumait à quelques ustensiles de cuisine et une pince plate. Ce moteur, le SFA, fut réalisé avant les vacances de Pâques. De très nombreuses difficultés ont été rencontrées avec ce dernier, que nous détaillerons dans la partie correspondante. En plus de rencontrer ces difficultés, la conception était trop archaïque et nous nous sommes rapidement rendu compte que notre prototype n'aurait aucune chance de fonctionner. C'est pourquoi un des membres du groupe a, pendant les vacances, tenté de revoir ce moteur avec des outils plus adéquats. Mais le moteur n'était pas du tout modulable, et il a été décidé de recommencer le même moteur de A à Z. Cette fois-ci les difficultés ont été inexistantes et le 2^e prototype paraissait bien plus efficace, notamment au niveau des frottements.

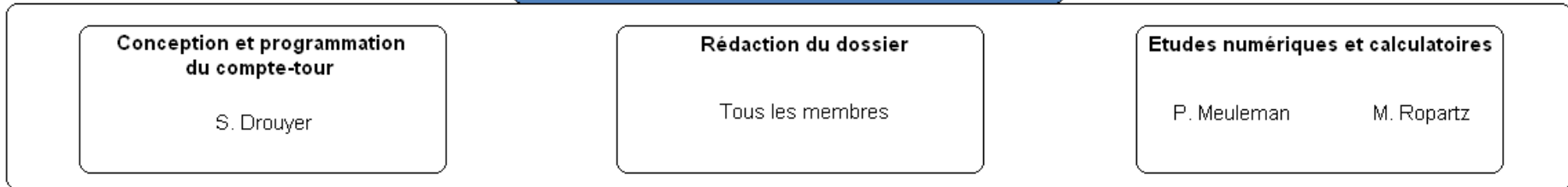
Cependant, malgré toutes ces améliorations le moteur ne fonctionnait toujours pas. Chaque semaine nous améliorions quelque chose avant la séance de réunion avec l'enseignant responsable, M. Rello, mais à chaque fois de nouveaux problèmes apparaissaient. En fin de compte nous finissions par être à cours d'idées et de motivation, nous avons donc plus ou moins abandonné ce moteur pour en débiter un autre, quitte à y revenir plus tard.

Parallèlement, nous avons aussi fabriqué notre propre compte-tour pour le moteur, afin de pouvoir ensuite déterminer sa puissance. Mais cela s'est avéré être une tâche superflue pour la simple raison qu'aucun de nos prototypes ne fonctionnait.

Organigramme des tâches réalisées :



Etudes et réalisations post-fabrication



3. TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

3.1. Le moteur SFA

3.1.1. Le principe

Le moteur SFA fût le premier moteur sur lequel nous nous sommes lancés. Parmi les moteurs Stirling existant, il existe trois grands type de moteurs, soit les types Alpha, Bêta et Gamma. Dans notre cas ici, il s'agit d'un moteur Gamma.

A la différence du modèle Alpha qui possède deux pistons moteurs dans deux compartiments différents, et du modèle Bêta qui associe le piston moteur avec le déplaceur dans le même cylindre, le moteur de type Gamma comporte un petit piston moteur et un déplaceur dans deux compartiments différents, mais en connexion avec la même zone d'échange.

Par rapport aux deux autres types, celui-ci possède une variation de volume très petite, due à la taille du piston moteur. Mais son avantage est qu'il répond parfaitement aux faibles écarts de températures. Cependant, les principes de son fonctionnement restent les mêmes. Ainsi, il respecte les quatre phases de fonctionnement, soit : un réchauffement isochore (provenant de la source chaude), une détente isotherme, un refroidissement isochore (provenant de la source froide) et une compression isotherme. Et ce sont l'alternation successive de ces quatre phases qui fournit l'énergie nécessaire au fonctionnement du moteur. De ce fait, le modèle Gamma inclut donc un déphasage de 90° ($\pi/2$) entre le piston moteur et le déplaceur.

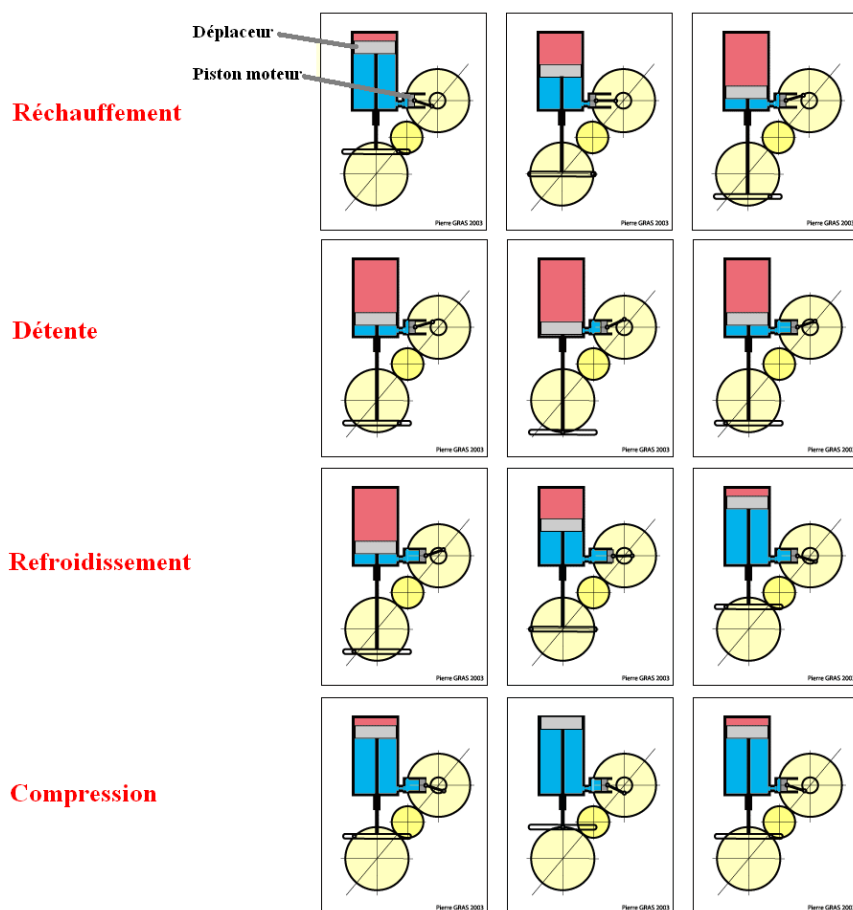
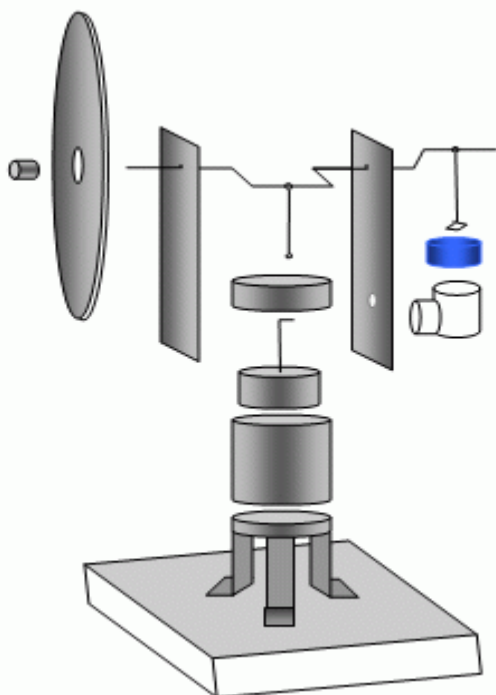


Figure 1 : Les 4 phases du moteur Gamma

3.1.2. *La première version : plans, difficultés, résultat,...*

Le moteur SFA est le premier moteur dans lequel nous nous sommes lancés. Il s'agit d'un moteur de type Gamma nécessitant des matériaux simples, comme des cannettes, un ballon et du fil de fer. Nous avons vu plus précédemment comment fonctionne un moteur Gamma, nous allons donc voir ce que les explications donnent appliquées à ce moteur.

Voici un aperçu de ce que nous avons réalisé. La base du moteur est une boîte de conserve dont le haut a été découpé (nous l'appellerons volume global). A l'intérieur se trouve le déplaceur, réalisé à partir de deux fonds de cannettes de soda (une que nous avons découpée à environ 2,5 cm du fond et un autre fond, le deuxième étant collé sur le premier afin que l'air n'y entre pas).



Une fois le matériel réuni, nous avons commencé par fabriquer les parties en cannettes, comme le déplaceur, la base et les supports du vilebrequin. La découpe n'a pas posé de problèmes, ni même le perçage des éléments et la fixation de la base sur la planche de MDF.

Le vilebrequin a été réalisé avec du fil de fer de cintre, sa conception n'a pas posé de problèmes. Nous avons dû bien faire attention à l'angle de 90 degrés qui permet d'avoir un cycle de 4 temps (1^{er} : le piston se lève, c'est la détente, 2^e : le déplaceur se lève et le piston commence à redescendre, c'est le chauffage, 3^e : le piston s'abaisse, c'est la compression et 4^e : le déplaceur redescend, c'est le refroidissement). De même, la réalisation du piston avec le ballon et le morceau de PVC n'a pas posé de réels soucis.

Figure 2 : Schéma du moteur SFA explosé

Le réel souci est apparu lorsque nous avons essayé de faire tourner le moteur à la main. Les frottements étaient considérables et le fil de fer qui reliait le déplaceur et le vilebrequin n'était pas droit. Ainsi, au terme de la 1^{ere} séance de construction, il est apparu que le moteur ne pouvait pas tourner normalement.

Néanmoins, à force de tâtonnement, une solution a été trouvée afin de permettre au moteur de pouvoir tourner librement après la deuxième séance de construction. Nous avons ainsi pu finir ce premier modèle sans autre souci apparent. Néanmoins, après l'avoir présenté à M. Rello, il est apparu que la construction paraissait trop archaïque pour que l'engin puisse fonctionner, notamment à cause de l'utilisation trop massive de Pattex (il y avait des frottements à l'intérieur même du volume global).

Voici une photo de cette 1ere tentative :



Figure 3 : Photo de la première réalisation du moteur SFA

3.1.3. La deuxième version : difficultés, résultat,...

Malgré ce premier échec, nous avons décidé de recommencer un nouveau moteur, cette fois-ci entièrement modulable afin que si une difficulté eût été rencontrée, nous pourrions facilement la corriger. Le moteur a été assemblé plus ou moins de la même manière, avec de nouvelles cannettes, mais cette fois-ci nous avons soigné beaucoup plus la conception. De plus, à la place du Pattex, du sparadrap a été utilisé (plus facile à démonter que du Pattex, et il s'est avéré qu'il a finalement bien résisté la chaleur. En plus de la non-utilisation de Pattex, nous avons innové en utilisant une aiguille à laine reliée au déplaceur à la place de fil de fer. Enfin, le fait que la construction de la partie supérieure du volume global ait été plus soignée a rendu le moteur plus présentable (une fois fini, les frottements étaient inexistant).

Mais malgré ces améliorations, notre deuxième prototype ne fonctionnait toujours pas, et pendant plusieurs semaines, nous avons présenté notre moteur à M. Rello, qui nous a beaucoup aidé et nous a donné de nombreuses pistes d'améliorations. Nous avons ainsi réduit le volume « mort », c'est-à-dire le gaz contenu dans le piston. Nous avons également tenté de parer aux problèmes de fuites au niveau de l'entrée de l'aiguille dans le moteur en utilisant de la feutrine, et nous avons même essayé d'augmenter la variation de volume engendrée par le piston (qui était assez faible) mais rien à faire, le moteur ne fonctionnait toujours pas.

Un dernier détail concernant les difficultés rencontrées a été le problème de la source froide. La source chaude n'a posé aucun souci (une bougie sous la base du moteur a

chauffé le fond à une température qui semblait largement suffisante), mais la partie supérieure du moteur n'était pas isolée thermiquement de la partie inférieure. La partie supérieure était donc pendant nos essais pratiquement à la même température que la partie inférieure, malgré l'utilisation de glaçons au niveau de l'entrée de l'aiguille dans le volume. Après de longues recherches, nous avons fini par acheter des blocs de glace au magasin Go Sport et nous avons entouré le moteur avec. Cette fois ci, la partie haute restait tiède voire un peu froide (alors que le bas du moteur était brûlant) pendant nos essais.

Nous nous sommes retrouvés au final avec un moteur qui semblait opérationnel vu de l'extérieur, sur lequel nous avons réglé tous les défauts possibles et imaginables, mais qui finalement ne fonctionnait pas, ce qui a relativement découragé toute l'équipe.

Aujourd'hui encore, le mystère est total et ce moteur a été abandonné. Néanmoins, l'un des membres du groupe pense essayer de l'améliorer pendant les vacances d'été.

Voici quelques clichés de la deuxième version :



Figures 4 et 5 : le moteur SFA final

3.2. Les moteurs « Nivea »

3.2.1. La version 1.0

Notre premier moteur ne fonctionnant pas, nous avons donc décidé d'en construire un second dont la structure serait plus simple. Suite aux conseils de M. Rello, nous nous

sommes donc orientés vers le moteur « NIVEA ». Tout comme le précédent, ce moteur est de type Gamma. De plus, celui-ci ne nécessite que des matériaux simples facilement trouvables en magasin, mais légèrement plus coûteux. Toutefois, contrairement au premier, ce nouveau modèle nécessitait un travail beaucoup plus minutieux car les pièces étaient beaucoup plus petites et nombreuses. De ce fait, le travail à effectuer devait gagner en précision et, de plus, il était plus difficile de les façonner.

Concernant le travail effectué, l'organisation changea quelque peu du fait d'une réorganisation de l'équipe de travail principale, par rapport au précédent moteur.

Quant à la réalisation du moteur en elle-même, elle n'a pas causé de réel problème dans un premier temps. En effet, la base de celui-ci est faite à partir d'une boîte de crème Nivea (qui peut être trouvée dans tous les supermarchés) très facilement découpable avec n'importe quel outil tranchant ou pointu. Ainsi, la création des deux plateaux et de l'orifice nécessaire au piston moteur ont pu être réalisées en l'espace de quelques heures. Il en est de même pour la fabrication du portique en profilé plastique, du volant d'inertie fait à partir d'un CD et d'un bouchon en liège, du déplaceur en polystyrène, ainsi que du piston moteur constitué d'une boîte de pellicule photographique, d'un gant en latex et de la visserie.



Figures 6 et 7 : Le moteur Nivea 1.0 final

Comme on peut le remarquer, les difficultés ont été laissées pour la fin car il nous manquait le matériel adéquat afin de continuer. En effet, nous devons dans un premier temps découper plusieurs tubes en laiton à l'aide d'une scie à métaux afin de constituer les glissières et la coulisse de réglage. Dans un second temps, nous disposons de petites perles de verre que l'on devait introduire et coller à l'intérieur des tubes qui permettaient d'empêcher les fuites d'air et les mouvements trop amples du vilebrequin. Cette étape constituait, juste après la torsion des cordes à piano, l'étape la plus ardue durant la réalisation de ce moteur du fait de la fragilité la minuscule taille de ces perles.

Une fois toutes les pièces fabriquées, nous devons assembler le tout à l'aide de différents types de colle (cyanoacrylate, époxy, silicone ou colle thermique). Cette étape ne pose aucun problème pour les gros composants, mais demandait un travail très minutieux pour coller les petites pièces correctement entre elles. En effet, on devait respecter au maximum les alignements pour éviter de causer trop de frottements, mais aussi parce que le moindre choc décollait les pièces (notamment les perles sur la corde à piano), si bien soient elles collées.

En ce qui concerne la coulisse de réglage, elle a été placée en rejoignant les deux axes au centre du tube en laiton rempli de colle thermique. On remarquera qu'il s'agit d'une idée très ingénieuse du concepteur car la coulisse absorbe une grande partie des chocs grâce à la colle assez élastique. Cette coulisse peut aussi être remplacée par une bielle zigzag.

Au final, ce moteur fût assez vite réalisé, même si une vingtaine de (petites) pièces ont dû être refabriquées pour différentes causes.

Toutefois, ce dernier, tout comme le précédent, n'était pas fonctionnel. Lors de la présentation de celui-ci à l'enseignant, l'unique erreur décelée était une fuite d'air apparente au niveau de la bielle du déplaceur. En effet, la perle mise à l'extrémité du tube s'était précédemment décollée car la bielle n'était pas tout à fait centrée. La solution préconisée a été de modifier, voire refaire, certaines pièces afin de corriger le problème. Cela n'a cependant pas été fait dû au manque de temps (mi-Juin).

3.2.2. La version 1.1

Parallèlement au moteur « NIVEA » version 1.0, un modèle 1.1 a aussi été conçu durant la même période par l'un des membres du groupe, compte tenu du fait qu'il y avait deux boîtes Nivea et que les autres matériaux étaient disponibles en abondance.

Néanmoins, tout comme le second moteur, la progression de celui-ci s'interromptit dû au manque de temps.

Par rapport au modèle 1.0, le modèle 1.1 remplace le déplaceur en polystyrène par une éponge à récurer de même épaisseur qui, en plus d'agir comme déplaceur, tient aussi le rôle de régénérateur. De plus, de fait de sa structure, les frottements contre l'air diminuent considérablement par rapport au polystyrène. Ce modèle utilise aussi une membrane thermoformée au lieu d'un morceau de gant, et le plateau inférieur est remplacé par une plaque en aluminium de 0.5mm d'épaisseur.

Grâce à tous ces changements, la vitesse du moteur est normalement multipliée par 4.



Figure 8 :
L'avancement des moteurs 1.0 et 1.1

3.3. Le compte-

tour

Bien qu'aucun de nos moteurs n'étaient fonctionnels, nous avons toutefois décidé d'essayer de répondre au mieux aux objectifs fixés lors du début du semestre. Dans cette optique, nous avons donc programmé notre propre compte-tour, plutôt que d'en acquérir un en magasin.



Le compte tour permet d'évaluer la vitesse de rotation du disque. Le dispositif permet de calculer le nombre de tours effectués en 60 secondes. Il s'agit d'un compte tour optique, il faut donc colorier la moitié du disque en noir, l'autre en blanc (comme représenté sur la figure 9).

Fig. 9



Fig. 10



Fig. 11

Le compte tour a été réalisé avec un RCX (figure 10 : le RCX est une boîte possédant 3 sorties capteurs, 3 sorties moteur, totalement modulable et programmable), et un

capteur optique (figure 11). Le capteur optique renvoie une valeur comprise en 0 et 100, représentative de la luminosité détectée (0 : obscurité totale ; 100 ; luminosité maximale). On compte un tour lorsqu'on

perçoit une variation négative (-5 par défaut) dans le capteur. Ainsi, un tour est compté lorsque le capteur passe de la zone blanche du disque à la zone noir

(le disque doit aussi être bien éclairé pour bien détecter les variations de lumière). Le programme, réalisé par notre équipe, enregistre le nombre de tours pendant 60 secondes. L'écran LCD ne pouvant être utilisé (nous ne pouvons pas afficher de valeurs sur l'écran LCD pour le RCX1.0), nous renvoyons la valeur par voie sonore par un système de bips : bips aigus par tranche de 100, bips normaux par tranche de 10, bips graves par unité. Le RCX et le capteur fonctionnant à peu près à 1kHz, le compte tour ne renvoie pas de valeur aberrante tant que la vitesse du disque ne dépasse pas les 30 tours par seconde. Le programme réalisé pour l'appareil est programmé en NQC (Not Quite C, compatible avec les RCX) et peut être retrouvé dans l'annexe, dans la partie « Listing des programmes utilisés ».

3.4. Calcul de la puissance

De même que pour le compte-tour, nous voulions aussi pouvoir déterminer les différentes méthodes possibles pour calculer la puissance des moteurs, qu'ils soient fonctionnels ou non. Nous avons ainsi trouvé deux manières différentes pour la calculer.

3.4.1. Avec la pression et le volume (diagramme de Clapeyron)

Pour obtenir la puissance à partir de la pression du volume, on trace le cycle du moteur dans le plan de Clapeyron. On calcule ensuite l'aire du cycle.

On a donc $dw = PdV \Rightarrow W = \int_{V_A}^{V_B} P(V) dV + \int_{V_B}^{V_C} P(V) dV + \int_{V_C}^{V_D} P(V) dV + \int_{V_D}^{V_A} P(V) dV$

$$P = \frac{w}{\Delta t} \left\{ \begin{array}{l} P: \text{puissance en Watt} \\ W: \text{travail du moteur en joules} \\ \Delta t: \text{durée du travail en secondes} \end{array} \right.$$

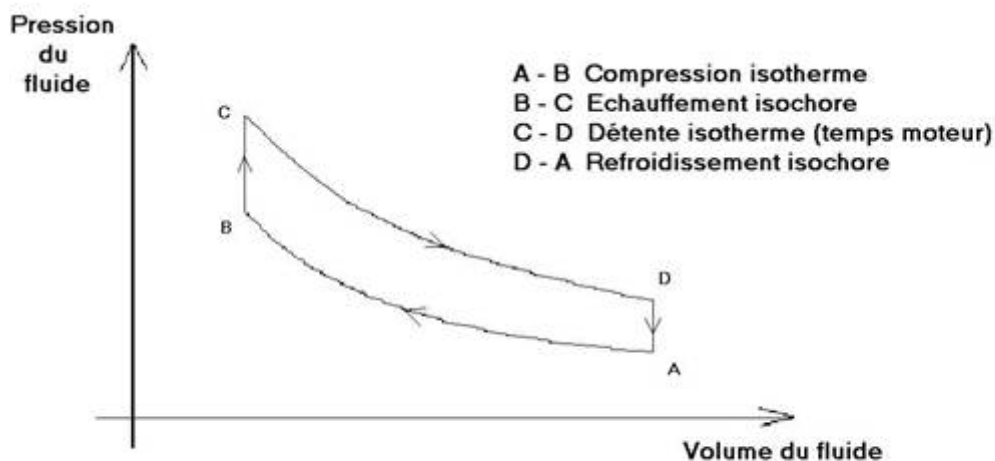


Figure 12 : Diagramme de Clapeyron pour un moteur Stirling idéal

3.4.2. Avec la vitesse de rotation

Après quelques recherches, nous avons trouvé que la puissance mécanique était égale au couple sur l'arbre multiplié par la vitesse angulaire de la roue. Le couple étant lui-même égal à OM vectoriel F .

Nous obtenons donc $C(\text{couple}) = R(\text{rayon du disque}) * F$ où F est la force exercée par le moteur.

$$\text{Et } P = C\omega = RF\omega$$

Nous verrons dans la partie suivante les moyens de déterminer P , V , F et ω .

3.4.3. Méthode de mesure des variables nécessaires

3.4.3.1 Pression

La mesure de la pression se fait à l'aide d'une sonde de pression. Une sonde de pression (ou *capteur* de pression) est un dispositif destiné à convertir les variations de pression en variations de tension électrique.

Le choix de notre sonde va dépendre de plusieurs facteurs qui sont le volume du moteur, la précision de la mesure et l'étendue des valeurs à mesurer. Le volume du moteur a de l'importance car si l'on choisit une sonde qui a un volume trop grand, elle va apporter un volume mort trop important à notre moteur et ainsi réduire son efficacité. D'autre part plus la précision d'un capteur est grande, plus son coût est important. C'est pourquoi il est essentiel de connaître la précision nécessaire pour l'application afin de réduire les coûts. Enfin l'étendue de la valeur à mesurer va influencer le choix de l'instrument à utiliser. En effet il est important de faire une sélection de capteurs ayant une étendue de mesure plus grande que la pression prévue à mesurer incluant les pics, les pulsations et autres comportements attendus de la pression.

3.4.3.2 Volume

Nos deux moteurs étant de type gamma, nous pouvons calculer le volume total à partir de la position du piston moteur. En effet, le volume n'est aucunement modifié par le déplaceur. Nous pouvons donc effectuer la mesure du volume très simplement. Il faut tout d'abord calculer le volume constant du moteur, or nous avons les différentes mesures de ce dernier, pour finalement y ajouter la section du piston moteur multiplié par sa position actuelle.

Pour obtenir une mesure dans la durée de la hauteur nous pouvons par exemple utiliser le même montage que celui vu en P6-2 dans le TP de Résonance mécanique : Une électrode de cuivre reliée au piston de déplacement, et donc reproduisant son mouvement, est plongée dans une solution de sulfate de cuivre soumise à un courant électrique. Il est nécessaire d'abaisser la tension générée dans la solution pour limiter l'électrolyse mais il faut aussi l'augmenter à la sortie pour faciliter l'exploitation.

Voici un schéma explicatif :

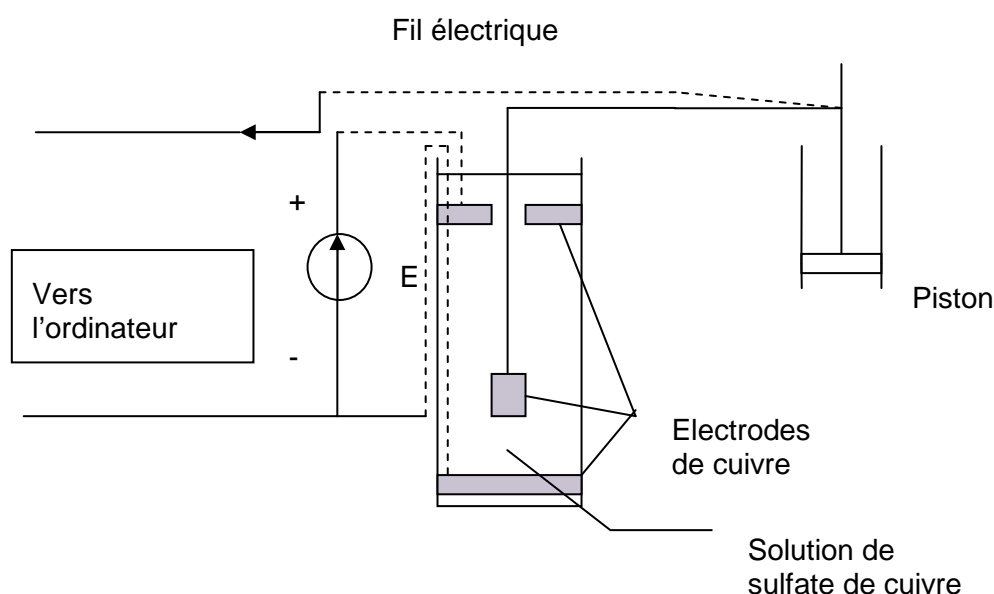


Figure 13 : Montage pour la mesure du mouvement du piston

Lors du mouvement du piston moteur, l'électrode qui est reliée est entraînée, par conséquent le courant électrique en sortie varie en fonction de la hauteur de manière linéaire. Il suffit donc de faire une acquisition sous synchronie par exemple, et de bien calibrer le montage.

3.4.3.3 Mesure du couple

Pour mesurer le couple d'un moteur plusieurs solutions s'offre à nous, l'une d'elle serait d'avoir une masse connue suspendu a un fil s'enroulant autour d'un disque sur notre axe de rayon R . Ainsi notre solide serait soumis à deux forces : F , la force exercée par le moteur, et mg , celle exercé par son poids. En appliquant la deuxième loi de Newton et en projetant sur l'axe vertical nous obtenons, $ma = F - mg$ donc $F = m(a + g)$ pour mesurer l'accélération de la masse nous pouvons par exemple appliquer à nouveau le protocole précédent, obtenir ses coordonnées en fonctions du temps, donc sa vitesse et puis l'accélération.

Nous aurons donc finalement $C=F \cdot R$.

3.4.3.4 *Mesure de la vitesse de rotation*

Plusieurs solutions s'offrent à nous pour calculer la vitesse de rotation. Nous pouvons en utilisant les mesures précédentes obtenir le nombre de tour effectués, en effet la corde s'enroulant autour du disque, le nombre de tour effectués par celle-ci est égale à $\frac{D}{2\pi R}$ où D est la distance parcourue par la masse.

Nous pouvons aussi utiliser le compte-tours (tachymètre) qu'on a fabriqué ou un du commerce, sur les vélos par exemple.

4. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Après plus de 5 mois passés sur cette UV de projet, nous avons réussi à réaliser 2 moteurs Gamma différents, ainsi qu'un autre incomplet. Malheureusement, il semblerait que malgré notre fort investissement, ce soit le manque d'expérience dans le domaine qui nous a amené à des prototypes non fonctionnels. En effet, malgré les multiples conseils et l'ingéniosité déployée pour résoudre les différents problèmes rencontrés, aucun signe d'espoir de fonctionnement n'est apparu.

Mais cependant, cela ne nous a pas empêché de poursuivre les objectifs prévus initialement au début du semestre, et nous avons donc fait en sorte d'avoir un compte-tour et les formules nécessaires pour calculer la puissance dans le cas où l'un des moteurs viendrait à fonctionner.

Ci-dessous, les conclusions personnelles et perspectives pour la poursuite du projet, de chaque membre du groupe :

Thomas

Cette U.V. projet a permis une différente approche d'un projet par rapport aux précédents projets réalisés lors de notre cursus à l'INSA. En effet, il s'agissait dans le cas présent de construire notre propre moteur avec une totale liberté d'action et sans véritable aide extérieure. Nous avons donc un résultat concret et pas seulement un dossier ou un exposé pour unique projet. La motivation venait toute seule de notre objectif principal qui était de faire fonctionner un moteur dans un délai imparti. Il nous a donc fallu associer à la fois précision dans la réalisation du moteur mais aussi rapidité dans la réalisation du projet. Le fait qu'il existe également une grande gamme de moteur Stirling a de plus augmenté notre intérêt car un choix encore plus étendu. Cette U.V. de projet nous a donc apporté à la fois de l'expérience mais aussi un grand intérêt.

Notre projet dans l'ensemble s'est bien déroulé. Le fait que nous n'ayons pas eu besoin d'être encadré toutes les semaines présentait un grand intérêt.

Sébastien

La recherche d'un véritable projet en équipe et sa réalisation m'ont apporté beaucoup. Même si nous n'avons pas toujours eu les résultats attendus, ce projet motivant nous a donné une idée plus précise de ce qu'est un véritable projet de groupe ; nous n'étions pas cadrés, cela rajoutait une difficulté supplémentaire mais donnait un côté réaliste. Il est même regrettable qu'en premier cycle, ce soit la seule UV à nous imposer de tels projets en groupe au moyen terme (3-4 mois).

Ce projet a été difficile pour deux raisons principales : un manque de matériel et d'outils, et un manque d'initiation. Il aurait été bien de disposer d'une salle avec un bon matériel, d'une salle « bricolage » accessible quand on veut (un peu comme les salles de sport) pour que l'on puisse réaliser le moteur sans avoir peur de découper notre table, d'abîmer nos chambres, et pour que l'on puisse entreposer nos réalisations sans nous encombrer.

Je propose cette idée pour la P6-3, mais pas seulement : si une telle salle était accessible par tout le monde, certains pourraient par exemple améliorer leur notion en physique et mécanique en bricolant...

Non seulement nous ne disposions pas le matériel nécessaire, mais encore fallait il savoir s'en servir ; je n'étais pas du tout initié au monde du bricolage, je ne connaissais pas grand-chose aux outils. Notre projet a probablement souffert de ce manque de connaissance et de savoirs faire.

Néanmoins, j'ai trouvé ce projet captivant, car c'était la première fois que nous avions à utiliser nos mains pour réaliser un projet en groupe et au moyen terme (3-4 mois). Il est même dommage qu'il n'y a pas plus de projet de la sorte dans le premier cycle, car de tels projets faciliteraient notre insertion en spécialités.

Raphaël

Pour moi, le travail a été très intéressant. Il s'agissait de mon premier projet en équipe, et le sujet m'attirait particulièrement. Je me suis beaucoup investi dans le premier moteur (le moteur Gamma SFA), dans les 2 versions, j'y ai passé beaucoup de temps et d'énergie pour des résultats au final décevants, mais je ne regrette rien.

Concernant le projet, je le conseille bien sûr à tout étudiant un tant soit peu intéressé par les moteurs en général, j'estime qu'il s'agit d'un très bon choix, et je compte personnellement tenter d'améliorer pendant les vacances d'été, lorsque j'aurais un peu de temps, le moteur SFA qui nous a causé tant de soucis. Cette UV permet de s'investir autant que possible dans un projet intéressant et personnel, cela fait travailler l'esprit d'équipe et la persévérance.

Je ferais toutefois une remarque quant à l'organisation de l'UV. Le fait que nous n'ayons pas du tout été cadrés par l'enseignant responsable a probablement joué en notre défaveur et je pense qu'il serait intéressant de réaliser ce projet de manière encadrée, avec à chaque séance un objectif fixé par l'enseignant, qui vérifierait chaque pas du groupe. Evidemment, ce système rendrait l'UV plus scolaire et plus « simple ». Mais n'oublions pas que la difficulté du projet était conséquente...

Maud

Avant tout d'être un projet scientifique, cette U.V a été une entreprise de groupe qui m'a permis à la différence des autres U.V de notre cursus d'aborder le travail en groupe. De cette notion découle évidemment l'organisation. Elle a été absolument nécessaire du fait que tous les membres du groupe avaient des thématiques différentes donc des emplois du temps différents. Par conséquent se retrouver pour travailler est plus difficile. Mais cela a contribué à une prise d'autonomie de chacun qui induit une prise de responsabilité. Une autre facette du travail d'équipe est la communication. Ce projet nous a permis de confronter nos idées et d'écouter l'autre afin de trouver une solution commune aux problèmes rencontrés.

D'autres parts ce projet a été pour moi une véritable mise en pratique des connaissances scientifiques acquises lors de ces deux dernières années. Nous avons appliqué concrètement ces connaissances.

Donc cette expérience a été profitable pour la future ingénieure que je suis.

Khoa

Bien que cette UV de projet ne soit pas ma première, j'avouerai qu'elle est assez innovante compte tenu de la matière abordée, ce qui a suscité un grand intérêt chez moi. De plus, le sujet traité me plaisait assez car il s'agissait d'un projet de type « expérimental » avec quelque chose à fabriquer.

Comme pour les projets précédents, j'ai pu expérimenter à nouveau le travail en équipe, avec toutes les caractéristiques qui vont avec comme l'entraide, mais aussi des responsabilités et le fait de devoir travailler sous certaines délais pour ne pas ralentir le groupe. Toutefois, cette UV, tout comme les autres, ne m'a pas dissuadé du fait que je préfère travailler seul, plutôt qu'en groupe.

Le projet s'est assez bien déroulé dans son ensemble. Bien qu'on puisse peut-être noter un léger manque d'encadrement par rapport aux autres groupes, cela n'a pas empêché la bonne progression du travail. Bien entendu, les avis sur la question divergent d'une personne à une autre. Cependant, une amélioration qui pourrait être apporté serait la mise à disposition de matériel, qui rendrait les constructions moins fastidieuses (et qui permettrait en plus à l'école de gaspiller moins d'argent).

Pâris

La P6-3 m'a avant tout permis de pouvoir participer à un projet scientifique qui m'intéressait particulièrement, la conception et la réalisation d'un moteur. En effet, ayant découvert son principe en P1 je me demandais comment il fonctionnait dans la réalité, comment est-il fabriqué, qu'est-ce que réellement l'échangeur de chaleur etc. J'ai ainsi découvert les différents types de moteurs Stirling qui existent, leurs fonctionnements, ainsi que leurs applications à travers cette U.V.

Mais ce projet de physique étant réalisé à plusieurs, il me permit de découvrir d'autres choses que ce que recherchait ma curiosité scientifique. En effet, il demande une mise en place d'un véritable travail d'équipe où chacun contribuait, cherchait à participer ou à aider. Ce ne fût d'ailleurs pas ma seule U.V. de projet ce semestre et on peut d'ailleurs considérer que le semestre 4 est pour moi une véritable initiation au futur travail d'ingénieur, qui se fera par équipe. Malheureusement, je n'ais pas réellement réussi à m'investir correctement dans tous les projets en effet, la prise de retard au fur et à mesure dans certains projets à demandé beaucoup de travail pour le compenser, délaissant d'autres projets où mes collègues durent prendre dans une certaine mesure ma relève.

Finalement, bien que je ne me sois à mon goût pas suffisamment investi dans le projet, cette unité de valeurs m'a permis, non seulement de vivre un véritable projet au sein d'une équipe mais aussi de mettre en application nous-même ce que nous avons appris lors de nos cours théoriques ainsi qu'expérimentaux, je pense notamment à la P1, T1, P6-1 et 2 ce qui permet d'ailleurs de redonner un élan d'intérêt pour l'apprentissage de la théorie.

Ce projet est globalement je pense une bonne idée, la conception et fabrication d'un moteur Stirling sont vraiment intéressantes, je pense néanmoins qu'un partenariat avec le département MECA, ou les professeurs de DAT serait des plus bienvenues. De plus, je pense qu'encadrer un peu plus ce projet aurait peut-être été souhaitable, avec par exemple la présentation des plans, puis la fabrication, ou au moins le montage effectués pendant le créneau prévu. Ceci permettrait certainement de mieux comprendre ce qui ne marche pas ou d'améliorer les performances en pouvant plus aisément guider le groupe sur les solutions (Une recherche de ces dernières de notre part est bien sûr essentielle) par exemple.

5. BIBLIOGRAPHIE

Tous les liens internet donnés ici ont été testés et sont valides au jour du 23/06/2008.

Etudes théorique :

http://en.wikipedia.org/wiki/Stirling_engine
http://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_Stirling
<http://www.moteurstirling.com/comment.php>
<http://www.moteurstirling.com/alpha.php>
<http://www.moteurstirling.com/beta.php>
<http://www.moteurstirling.com/gamma.php>

Moteurs fabriqués :

<http://www.physics.sfasu.edu/astro/courses/egr112/StirlingEngine/stirling.html>
<http://www.photologie.fr/stirling/stirling.html>
<http://www.photologie.fr/stirling/stirling11.html>

Moteurs envisagés :

<http://ptanguy86.free.fr/> (les plans sont disponibles dans le menu)
<http://www.bobblick.com/techref/projects/stirling/can/can.html> → Anglais
<http://quillaume.douard.free.fr/canette.htm> → Français
<http://www.boydhouse.com/stirling/>

Calculs de la puissance :

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Capteur>
http://fr.wikipedia.org/wiki/Tension_%C3%A9lectrique
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Pression>
<http://www.moteurstirling.com/comment.php>

6. ANNEXES (NON OBLIGATOIRE)

6.1. Documentation technique

6.2. Listings des programmes réalisés

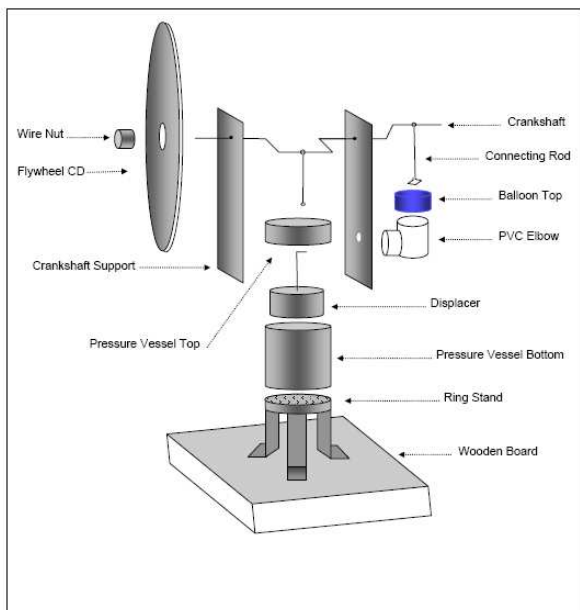
Script programmé pour le compte-tour :

<pre>#define PRECISION 5 task main() { int nbtours; int lumvaleur; SetSensor(SENSOR_1, SENSOR_LIGHT); ClearSensor(SENSOR_1); nbtours = 0; ClearTimer(0); lumvaleur = SENSOR_1; while(Timer(0) <= 600) { if (SENSOR_1 < lumvaleur - PRECISION) { nbtours = nbtours + 1; PlayTone(554, 10); } lumvaleur = SENSOR_1; } Wait(100); PlayTone(1200, 40); Wait(100); PlayTone(1200, 80); Wait(100); while (nbtours >= 100) {</pre>	<pre>nbtours = nbtours - 100; Wait(100); PlayTone(1000, 80); } Wait(100); PlayTone(1400, 100); Wait(200); while (nbtours >= 10) { nbtours = nbtours - 10; Wait(100); PlayTone(800, 60); } Wait(100); PlayTone(1400, 100); Wait(200); while (nbtours >= 1) { nbtours = nbtours - 1; Wait(100); PlayTone(600, 40); } PlayTone(1400, 100); Wait(200); PlayTone(1600, 100); Wait(200); }</pre>
---	--

6.3. Schémas de montages, plans de conception...

Moteur SFA :

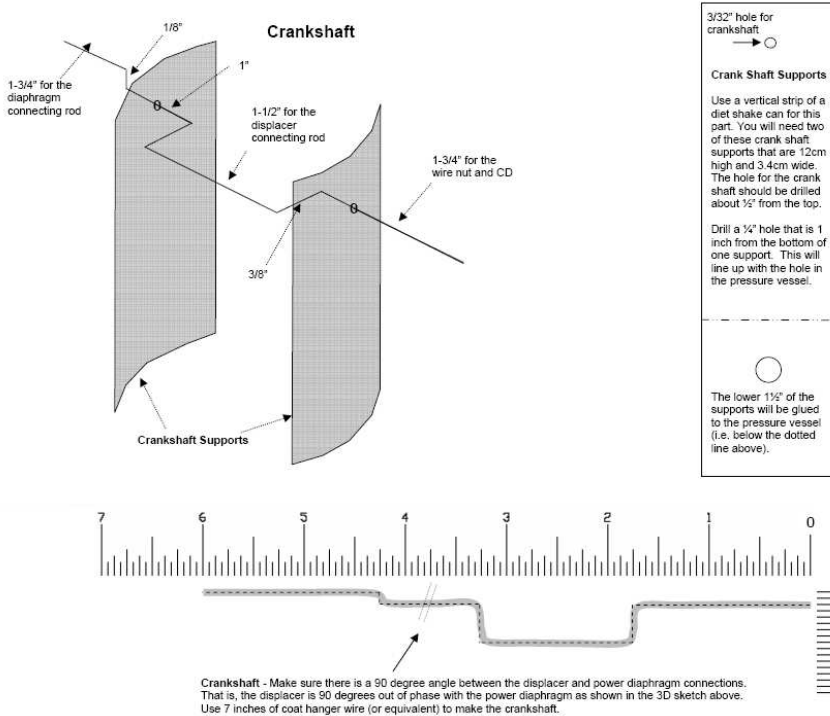
SFA Stirling Engine Project



Parts List

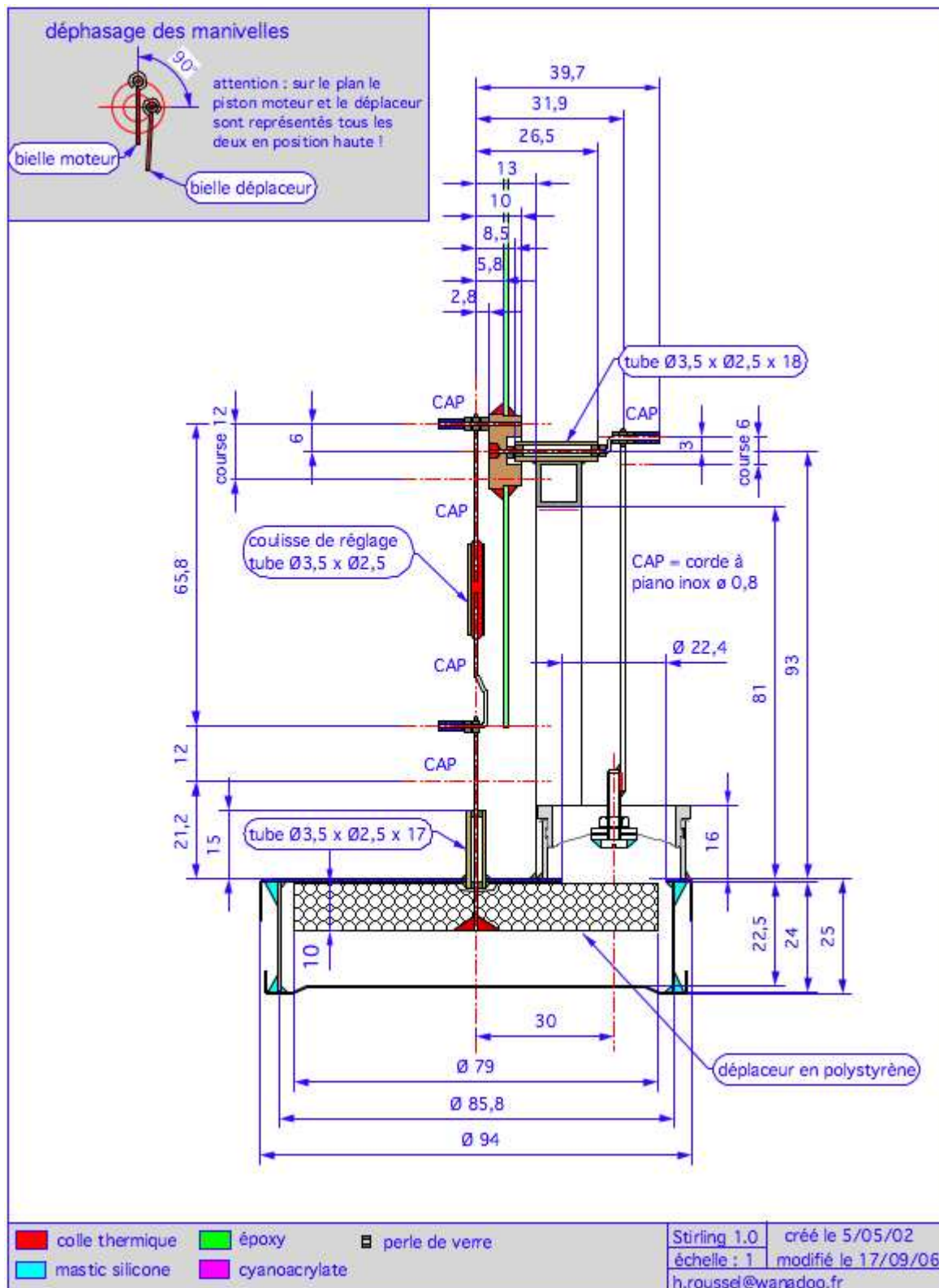
- » Three diet shake tin cans (e.g. Slim Fast, Adkins, etc.)
- » Three soft drink aluminum cans (one of which is a taller 12 oz can if available)
- » JB Weld Epoxy
- » Red High-Temp RTV Silicon Gasket Maker
- » 2" or longer straight pin (e.g. yarn darning)
- » 3/4" to 1/2" PVC Elbow (outer diameters are 1-1/4" and 1" respectively)
- » Small balloon
- » Flat washer and nut
- » Metal coat hanger
- » Old CD
- » Wire nut to connect coat hanger to CD (optional)
- » Wooden base and wood screws (optional)
- » Tin snips or stainless steel scissors, pliers, can opener, hammer

This project is part of an engineering course team project at Stephen F. Austin State University. The latest version of these plans and more information can be found at <http://www.physics.sfasu.edu/astro/courses/teamwork/StirlingEngine/stirling.html>. This work was inspired by TheRecentPast and is a modified version of the plans found at <http://www.geocities.com/therecentpast/>.



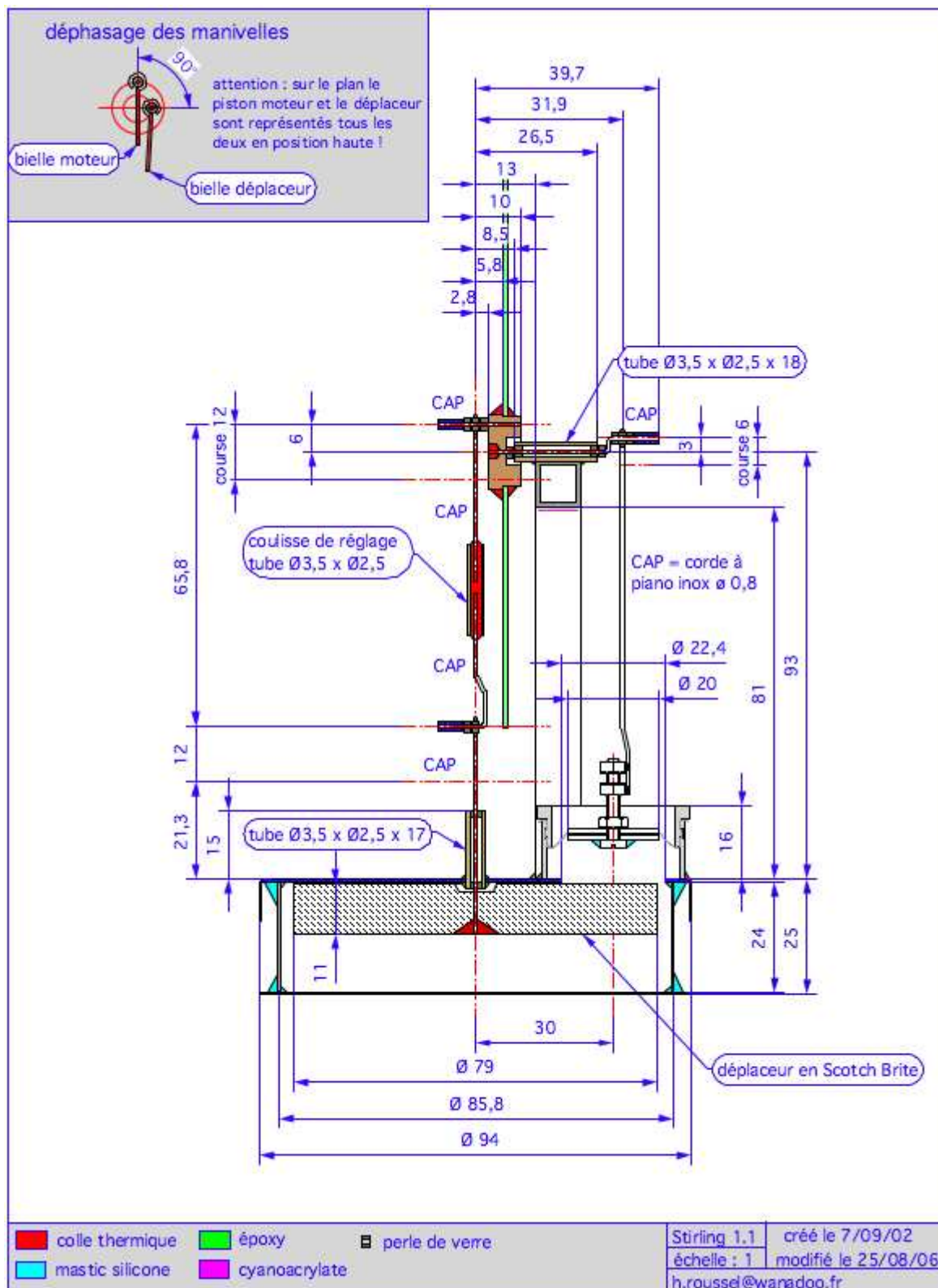
<http://www.physics.sfasu.edu/astro/courses/egr112/StirlingEngine/SFAStirlingEngineTemplates.pdf>

Moteur Nivea 1.0 :



http://www.photologie.fr/stirling/fichierspdf/stirling_plan1.0.pdf

Moteur Nivea 1.1 :



http://www.photologie.fr/stirling/fichierspdf/stirling_plan1.1.pdf

6.4. Propositions de sujets de projets (en lien ou pas avec le projet réalisé)

- Etude de collisions multiples (ex : champ d'astéroïdes ou boules de billard)
- Un lien pour le projet numéro 17 (Holographie) : <http://gl.ict.usc.edu/Research/3DDisplay/>