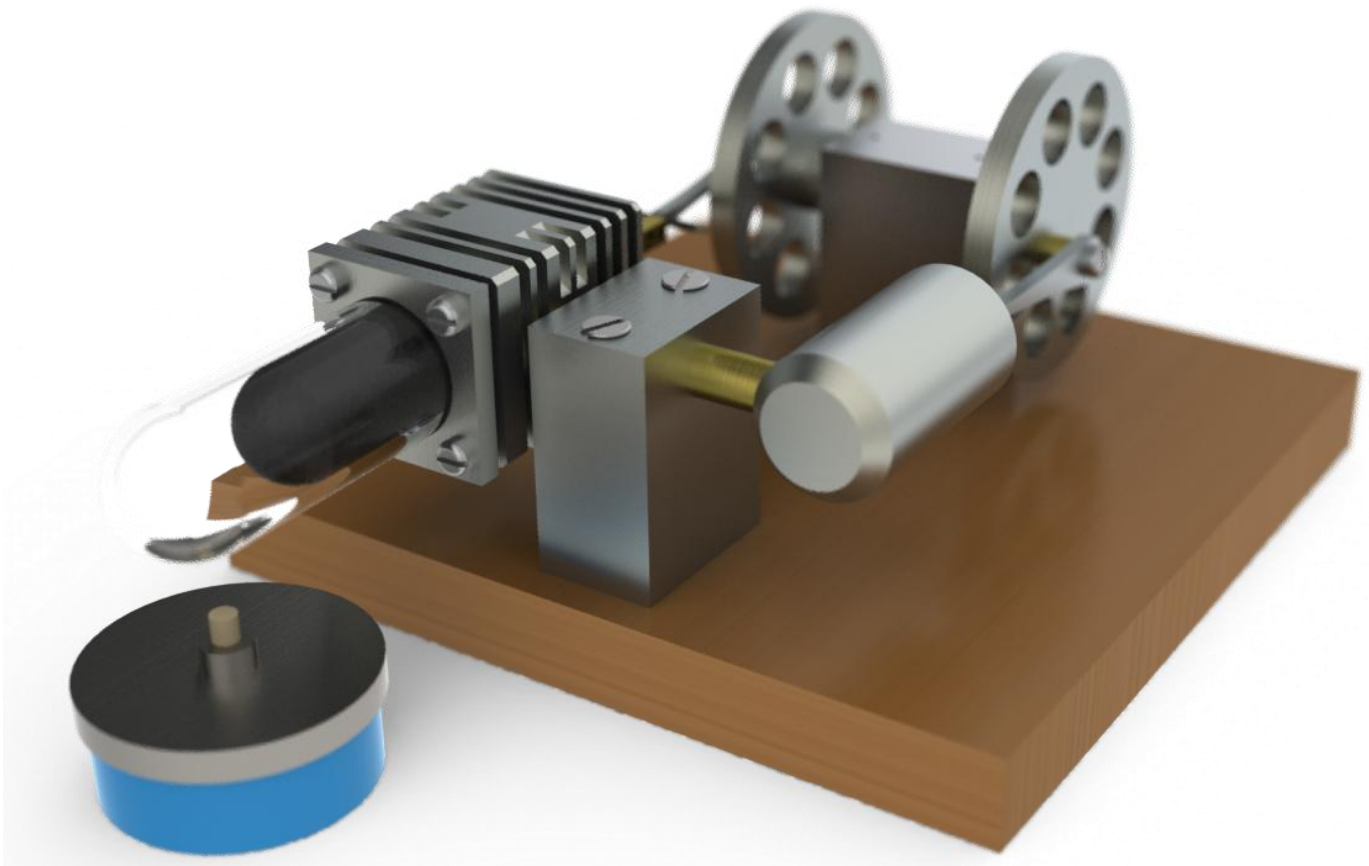


Conception et fabrication d'un moteur Stirling de type Alpha en Aluminium



Membres du Groupe

BORIE Alexandre	DERUE David
BUHLER Lola	GIBEAUX Quentin
CRIGNON Valentin	PAUMELLE Julien

Enseignant-responsable du projet :
M. DHAOUADI Faouzi

Date de remise du rapport : 18/06/2010

Référence du projet : 026

Intitulé du projet :

Conception et fabrication d'un moteur Stirling de type
Alpha en aluminium (Solidworks et FeatureCam)

Type de projet :

Expérimental

Objectifs du projet :

L'objectif de ce projet, comme l'intitulé l'indique, est de concevoir et de fabriquer un moteur Stirling. Ce projet permet de se détacher des cours et de ses formules pour découvrir vraiment ce qui compose un tel moteur et ce qui se produit lors de sa mise en marche. De plus, ce projet permet d'avoir une approche directe par l'intermédiaire des machines-outils, que seul ce genre de projet rend accessible. Et il nous a permis de découvrir des logiciels nouveaux utilisés dans l'industrie que nous seront, éventuellement, amenés à utiliser dans un proche avenir. Enfin, d'un point de vue de l'organisation, ce projet a pour but de nous initier au travail en groupe, et à la gestion de projet. En effet, le métier d'ingénieur requiert des aptitudes importantes en management et organisation de travail en équipe.

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à commencer ce rapport en adressant nos remerciements à M. DHAOUADI et M. BOURGEOIS pour leur encadrement et leurs idées. Et plus particulièrement un grand merci à M. LECOQ pour son aide, ses connaissances et sa bonne humeur.

Table des matières

I.	Introduction.....	6
II.	Méthodologie / Organisation du travail.....	7
III.	Travail réalisé et résultats.....	9
1.	Principe et fonctionnement du moteur Stirling	9
a)	Un peu d'Histoire.....	9
b)	Fonctionnement général du moteur Stirling.....	9
c)	Fonctionnement de Notre moteur Stirling.....	10
d)	Les avantages et inconvénients du moteur Stirling	12
e)	Les améliorations possibles du moteur.....	13
2.	Les différents supports techniques utilisés	15
a)	Découverte et utilisation de logiciels pour la fabrication du moteur	15
b)	Fonctionnement de la machine à commande numérique	19
c)	Logiciel informatique de CAO : Solidworks	21
d)	Divers outils utilisés.....	24
IV.	Conclusions.....	25
1.	Conclusions sur le travail réalisé.....	25
2.	Conclusions sur l'apport personnel de cet E.C projet	25
3.	Perspectives pour la poursuite de ce projet.....	28
V.	Bibliographie.....	28
VI.	Annexes	29

I. Introduction

Dans le cadre du projet P6-3, chacun d'entre nous a été amenés à choisir un sujet en fonction de ses préférences et attentes. Il en va donc de soi que nous nous retrouvons alors à 6 autour d'un sujet qui nous intéresse. Cette attirance pour le moteur Stirling vient à n'en pas douter de la présentation qui nous a été faite au cours de l'EC de P1. Cette EC nous a donc offert l'opportunité de développer nos connaissances dans ce domaine.

Nous nous sommes donc retrouvés à 6 dans ce projet qui a pour objectif final de réaliser un moteur Stirling de type alpha. Il est conçu d'un côté sur ordinateur grâce au logiciel de CAO Solidworks et de l'autre fabriqué avec des pièces en aluminium, entre autre. L'INSA possédait les licences Solidworks nécessaires pour nous permettre mener au mieux notre projet.

Durant ce semestre, même venant de pré-spécialisation différentes chacun a réussi à trouver ce qui le passionner d'avantage. Et donc tout le monde a trouvé sa place au sein de ce groupe.

II. Méthodologie / Organisation du travail

Le module de P6-3 a commencé après une période de 4 semaines de vacances, c'est pourquoi il nous a été quelque peu difficile de nous mettre directement dans le projet. En effet, nous sommes restés un peu dans le flou pendant 2 semaines avant de prendre réellement conscience des objectifs et des méthodes de réalisation précises du projet.

Notre projet de P6-3 est, comme expliqué précédemment, expérimental ce qui implique alors de la manipulation et de la fabrication. Cependant, avant de se lancer réellement dans le projet, il a été nécessaire d'effectuer quelques recherches sur le fonctionnement du moteur Stirling de type Alpha pour compléter nos connaissances (une bonne partie avait été acquise durant l'E.C. de P1 bien entendu). Ces recherches se sont déroulées en dehors du créneau du mercredi matin, chacun chez-soi s'est informé sur son fonctionnement mais aussi sur les modèles possibles à fabriquer. Nous nous sommes alors mis d'accord sur un modèle bien précis de moteur Stirling.

Ce type de projet nécessite une grande organisation et une bonne gestion du groupe pour évoluer dans les meilleures conditions possibles. Une bonne organisation de notre temps de travail passe obligatoirement par une répartition des différentes tâches à réaliser. C'est alors que tout naturellement deux groupes se sont constitués. En effet, il y a eu ceux, passionnés d'informatique, qui se sont dirigés plutôt vers le côté conception du moteur grâce au logiciel de CAO Solidworks. Ce dernier nous est accessible car l'INSA possède les licences nécessaires. Et ceux, pour qui l'aspect manuel convenait le mieux, ont formé un deuxième groupe. Le groupe « Solidworks » se composait alors de David, Quentin et Julien et l'autre groupe, le groupe « machine », était formé de Lola, Alexandre et Valentin.

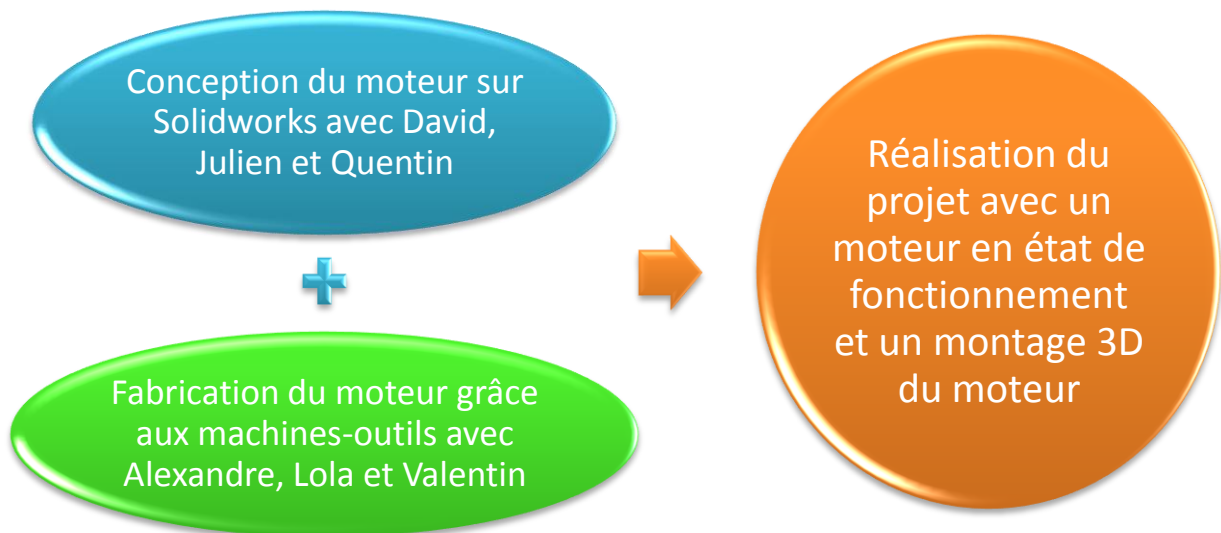
Il faut savoir que les deux groupes pouvaient travailler complètement en autonomie l'un indépendamment de l'autre car le groupe « machine » n'avait pas besoin des pièces en 3D du groupe « Solidworks » et inversement. Donc de son côté le groupe « Solidworks » s'est attelé à créer une à une les différentes pièces du moteur de la plus simple à la plus complexe. De son côté l'autre groupe a été formé sur l'utilisation du logiciel Real-Meca – Real-Mill et sur le fonctionnement de la machine-outil. Puis dans un second temps, ils se sont attaqués à l'usinage de certaines pièces. Il n'était pas nécessaire de toutes les usiner car nous disposions déjà d'un petit éventail de pièces comme les bagues en laiton par exemple. Notons que

l'usinage prend énormément de temps. C'est pourquoi, à 4 séances avant la dernière, Julien a quitté le groupe « Solidworks » pour venir donner un coup de main à l'autre groupe, laissant ainsi David et Quentin s'occuper de l'assemblage des pièces en 3D et de l'aspect esthétique.

3 semaines avant la fin, toutes les pièces de notre moteur étaient enfin prêtes à être installées. Une fois tout assemblé, il nous fallut, bien entendu, effectuer les réglages nécessaires sans quoi le moteur ne tournerait pas. Et enfin une semaine plus tard c'était bon, notre moteur a effectué ses premiers tours de roue. Quelle fierté ! Nous l'avons fait tourner à plusieurs reprises car, oui, nous ne nous en lassions absolument pas de voir ce moteur tourner aussi vite.

Il est important de souligner que toutes les étapes de fabrication ont été réalisées en étroite collaboration avec le très sympathique Christophe LECOQ. C'est aussi lui qui nous a formés sur le logiciel Real-Meca – Real-Mill ainsi que sur l'utilisation de la machine-outil. Ce fût un immense plaisir que de travailler à son côté durant toutes ces séances de projet.

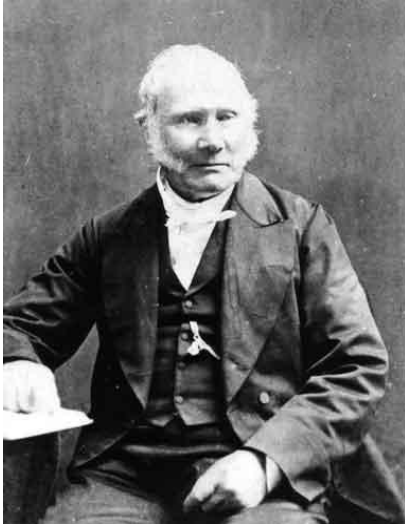
Diagramme de la répartition des tâches :



III. Travail réalisé et résultats

1. Principe et fonctionnement du moteur Stirling

a) Un peu d'Histoire



Au début du XIXe siècle, les chaudières à vapeur explosaient assez souvent. Pour répondre à ce problème, Robert Stirling imagina un moteur sans chaudière soumise à de trop fortes pressions. La chaleur est apportée de l'extérieur de la machine, ce qui réduit les risques d'explosions, car il est inutile de faire chauffer l'eau dans une chaudière à haute pression, puisque chauffer l'air ambiant par combustion suffit pour alimenter ce moteur en énergie. C'est ainsi que Stirling déposa son brevet le 27 septembre 1816. Également, la mise en place d'un régénérateur dans la tuyauterie du moteur a permis d'éviter trop de pertes d'énergie, améliorant son rendement.

En 1843, son frère James « industrialisa » ce moteur, pour une utilisation dans l'usine où il était ingénieur. Toutefois, en raison de différents bris et 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'obtint pas le succès escompté. Le moteur Stirling ne fut alors plus qu'un objet d'étude pour les physiciens, qui comprendront le fonctionnement du moteur Stirling, bien après son invention, avec l'avènement de la thermodynamique.

b) Fonctionnement général du moteur Stirling

Le principe est relativement simple : le fluide principal qui produit un travail est un gaz (air, hydrogène ou hélium) soumis à un cycle comprenant 4 phases : chauffage isochore (à volume constant), détente isotherme (à température constante), refroidissement isochore puis compression isotherme.

Le but est de produire de l'énergie mécanique à partir d'énergie thermique. Au début du cycle, le gaz à l'intérieur du moteur est déplacé vers un endroit chauffé par une certaine source d'énergie : sa température et sa pression augmentent. Ensuite, on permet au gaz dans le piston de se dilater. Le gaz a donc transformé son énergie

thermique en énergie mécanique. En fait, un gaz à haute pression qui se dilate permet de fournir beaucoup d'énergie mécanique.

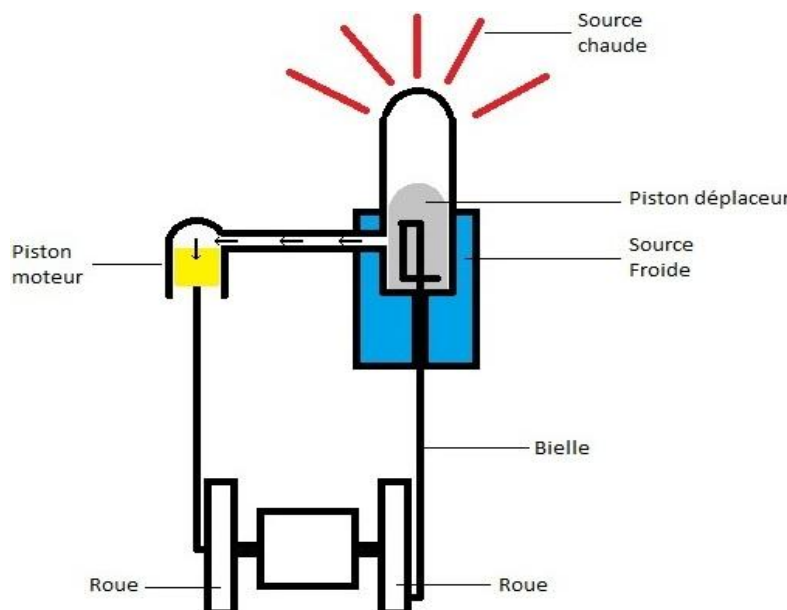
Toutefois, le gaz ne peut pas se dilater infiniment : il faut compresser le gaz dans le piston jusqu'à son état initial (pour qu'il puisse se dilater de nouveau plus tard) en utilisant le moins d'énergie possible (car compresser un gaz demande de l'énergie mécanique). Pour ce faire, il faut déplacer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

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

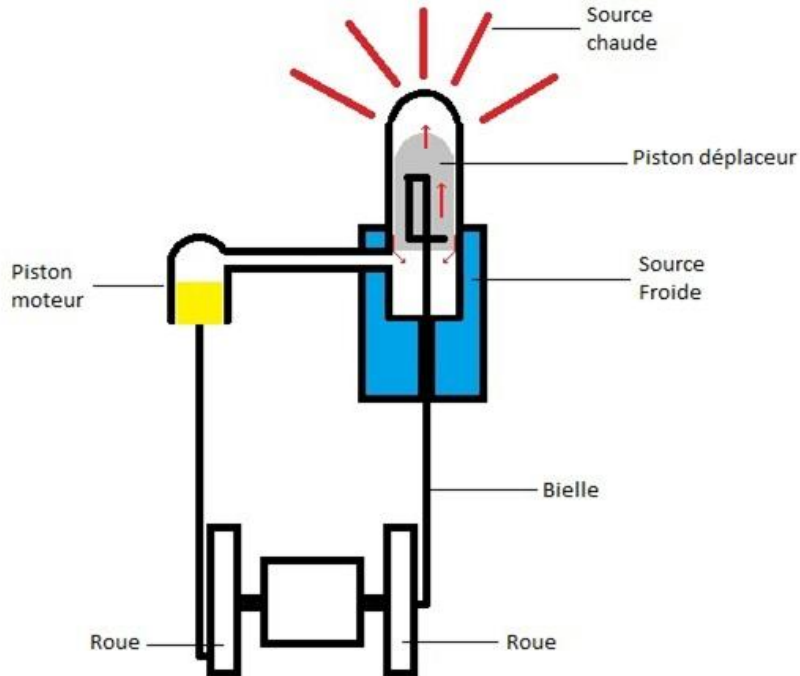
La source chaude du moteur est alimentée par une source externe quelconque : combustion externe de dérivés du pétrole, gaz naturel, charbon, bois, mais aussi énergies renouvelables comme l'énergie solaire ou l'énergie géothermique.

c) Fonctionnement de Notre moteur Stirling

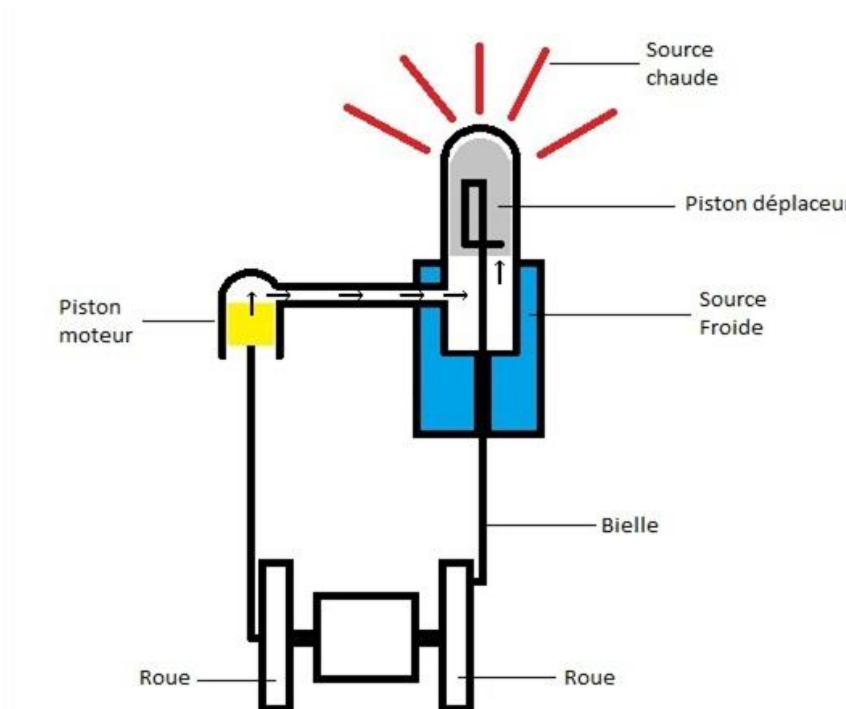
L'air contenu dans le cylindre « déplaceur » au dessus de la flamme s'échauffe, donc se dilate, monte en pression et passe par le tuyau de liaison vers le cylindre « moteur » pour pousser le piston moteur. Les roues tournent!



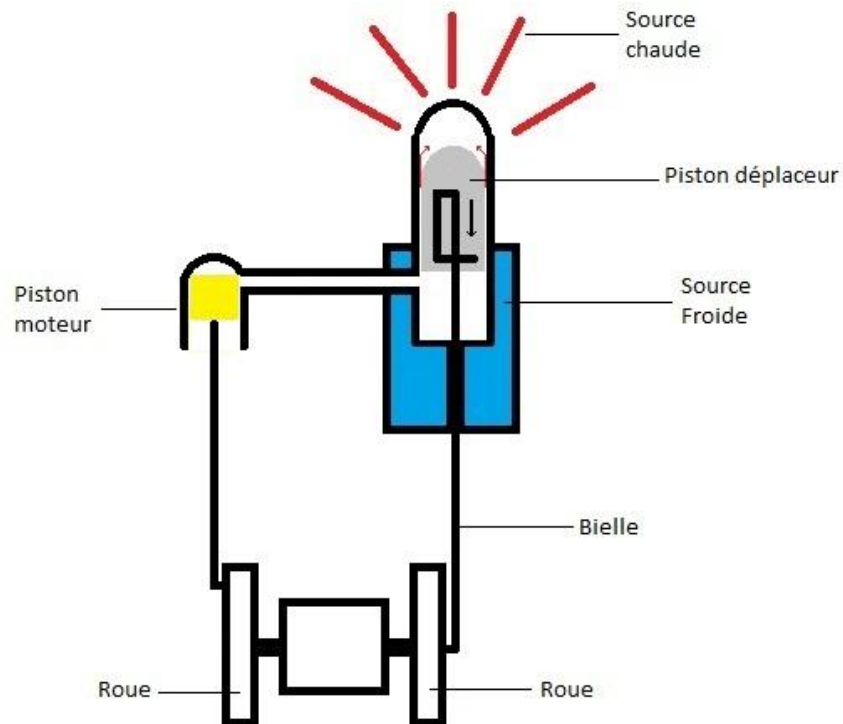
Le déplaceur, entrainé par la rotation des roues recule vers la partie chaude et donc transfère l'air vers la partie froide du cylindre « déplaceur » dans laquelle il va se refroidir et donc se contracter!



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



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



Remarque : A la figure 2 nous avons précisé que le déplaceur était entraîné par la rotation des roues (Phénomène d'inertie). On note ici l'importance du choix du matériau utilisé pour la fabrication des roues, en effet il a été choisi d'utiliser des roues en acier, présentant une masse volumique importante. Ces roues ont été « équilibrées ».

d) Les avantages et inconvénients du moteur Stirling

- ✓ Le moteur Stirling permet un rendement thermodynamique théorique de 60 %, donc supérieur au moteur diesel et essence.
- ✓ L'encombrement n'est pas un problème, on est capable de loger un moteur de 15 chevaux dans une boîte carrée de 30 cm de côté, et la puissance de 5000 chevaux a pu être atteinte avec un encombrement et un poids égaux à ceux du moteur diesel.
- ✓ Autre caractéristique étonnante de ces moteurs : ils sont réversibles! Si l'on fait tourner l'arbre de sortie, il produit du froid d'un côté et du chaud de l'autre, Ils se comportent comme des frigos : et quels frigos : -260°C


- ✓ Ces types de moteurs sont : peu polluants, silencieux (car très bien équilibrés), pas d'entretien et ils permettent des économies de carburant de 30 % par rapport aux moteurs conventionnels
- ✓ N'importe quel type de carburants peut être utilisé ! (huiles, charbon, bois, déchets, solaire ou nucléaire).

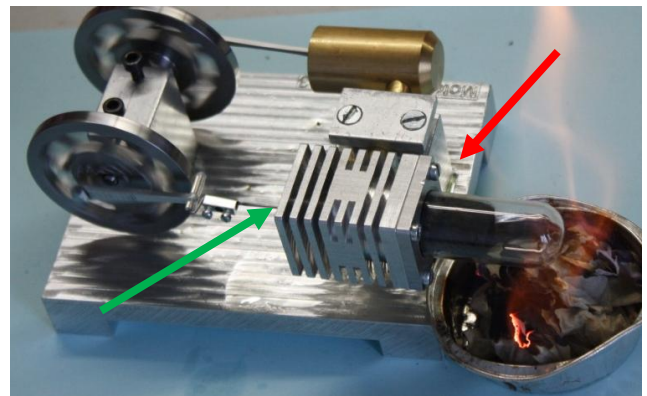
Cependant, il y a quelques inconvénients à remarquer. En effet, fabriquer des moteurs très puissants (comme ceux utilisés par la NASA) coûte très cher. D'autre part avec de telles caractéristiques, il paraîtrait très intéressant d'utiliser ce type de motorisation sur des véhicules, seulement, le régime quasi constant de ces moteurs pose de très gros problèmes. En effet, réaliser une transmission capable de passer directement le couple et la puissance maximale semble difficile.

A une toute autre échelle, notre moteur présente quelques défauts. Le fait que la source chaude soit juxtaposée à la source froide est un facteur de perte de rendement. Contrairement à d'autres groupes effectuant un travail similaire au nôtre qui devait effectuer des mesures de rendement, nous ne n'étions pas le cas. C'est pourquoi en cas de modification de notre moteur, nous n'étions pas en mesure de pouvoir constater réellement l'efficacité ou non de cette modification.

e) Les améliorations possibles du moteur

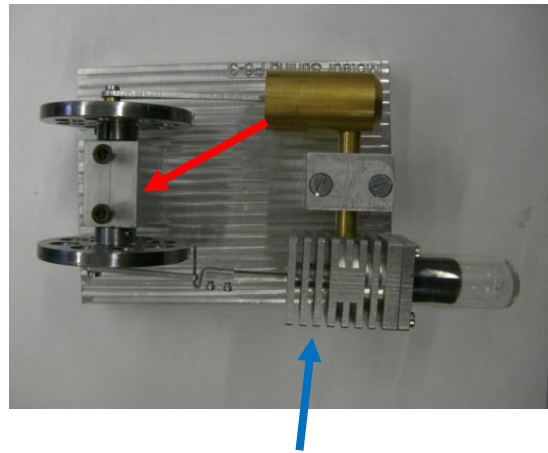
Une fois notre moteur achevé, c'est-à-dire assemblé, réglé et donc en état de marche, nous nous sommes un peu penché sur les possibles améliorations qui pourraient être effectuées sur le moteur. Ceci afin, bien entendu d'améliorer le rendement.

Concernant les transferts thermiques, la séparation entre la partie chaude et la partie froide n'est pas assez nette (). En effet, ces deux parties forment une seule et même pièce en aluminium (matériau de type métaux qui conduit la chaleur) et en verre (partie chauffée par la flamme). Ce transfert de chaleur du côté froide ne permet pas au gaz présent dans les pistons de se refroidir au mieux et donc de se contracter un maximum. Permettant ainsi au moteur de fonctionner dans des conditions optimales. Il serait donc judicieux de placer une paroi isolante thermiquement entre le carter et la flamme pour empêcher la flamme de venir chauffer la partie en aluminium qui emmagasine une partie de la chaleur dégagée.



Un autre point à améliorer est celui concernant la lubrification au niveau des pistons car les frottements sont quand même assez conséquents et entravent quelque peu le bon fonctionnement du moteur. Ils se situent au niveau du piston et au niveau du déplaceur. Il est à noter que les frottements sont plus importants au niveau du déplaceur (↗). C'est pourquoi afin de les limiter, un petit système de lubrification au niveau de ces deux zones sensibles pourraient d'augmenter, à n'en pas douter, le nombre de tour par minute à température constante. Donc ce système de lubrification automatique au niveau de la bielle du piston déplaceur permettrait une autonomie totale du moteur.

Une autre modification serait possible pour limiter les frottements, elle se situerait au niveau de l'arbre de transmission entre les deux roues d'inerties (↖). A l'heure actuelle, l'arbre est en rotation par rapport au support se fait acier/laiton grâce à deux bagues en laiton. Ce contact contribue à sa façon à freiner la rotation et donc à réduire les performances du moteur. Nous aurions alors pu remplacer les bagues par deux roulements à bille permettant ainsi de quasi négliger les frottements dans cette zone du moteur.



Enfin, la dernière amélioration concernerait la zone froide. Deux solutions s'offrent à nous soit en augmentant le nombre d'ailettes (augmentation de la zone d'échange calorifique), soit installer une petite soufflette (de l'air ambiant serait suffisamment) dans le sens des rainures pour évacuer rapidement et en quantité l'air chaud présent à cet endroit (↘).

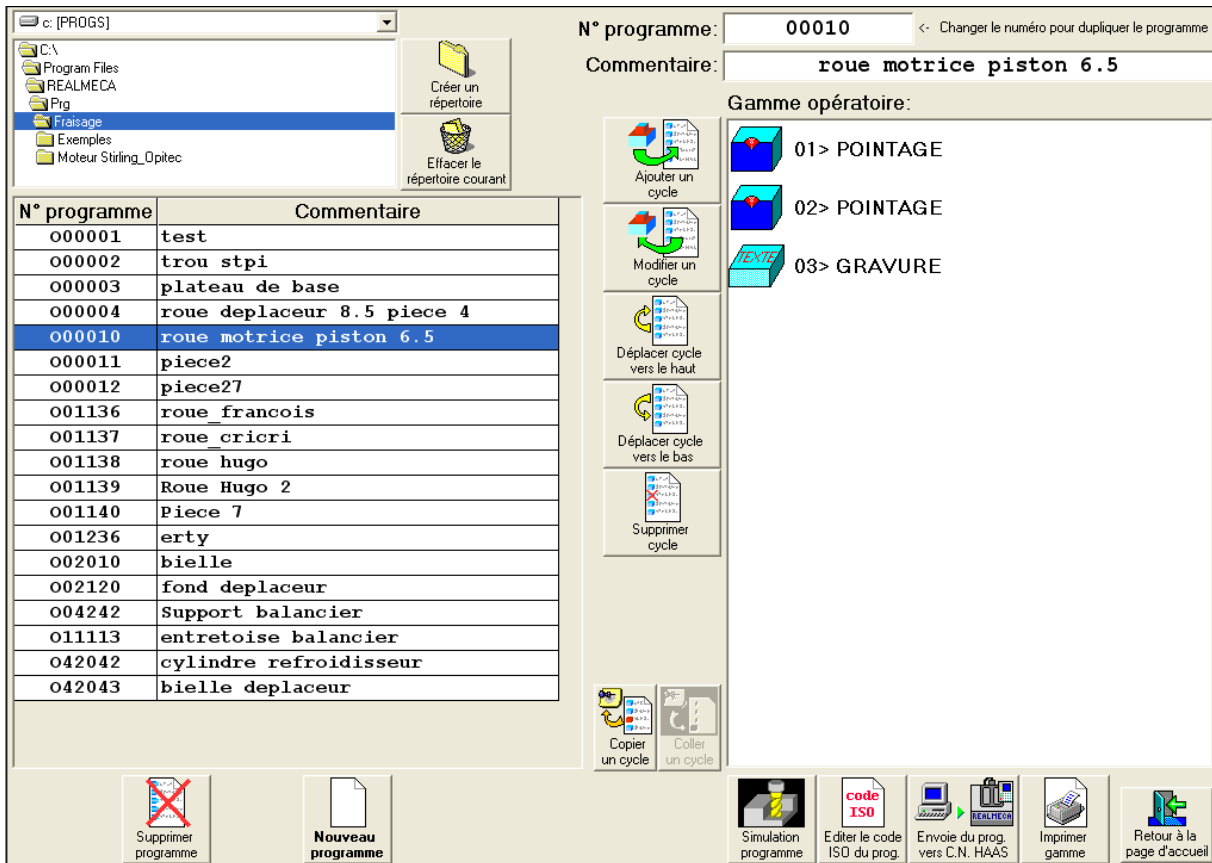
2. Les différents supports techniques utilisés

a) Découverte et utilisation de logiciels pour la fabrication du moteur

Maintenant, passons à la partie pratique. En effet, en plus de la modélisation du moteur Stirling sur *Solidworks*, il nous a fallu fabriquer toutes les pièces de notre moteur. Pour cela, plusieurs logiciels informatiques ont été nécessaires afin d'utiliser les machines d'usinage, de surfaçage, de pointage et de gravure.

i. Le logiciel REAL-Meca – REAL-Mill

Tout d'abord, pour percer nos pièces, nous avons utilisé le logiciel *REAL-Meca – REAL-Mill*. Ce logiciel prend en compte les différents paramètres de la pièce à modifier. Ainsi, nous devons donner la forme de l'élément avec ses longueurs sur les différents axes \vec{x} , \vec{y} et \vec{z} pour que la machine connaisse les distances à parcourir. Ci-dessous une image correspondant à la page principal du logiciel, où sont référencées toutes les opérations que devra exécuter la machine (deux pointages et une gravure).



The screenshot shows the main interface of the REAL-Meca software. On the left, there is a file explorer showing the 'c:\[PROGS]' directory with folders for 'Program Files', 'REALMECA', 'Prg', 'Fraisage', 'Exemples', and 'Moteur Stirling_Opitem'. Below the explorer is a table listing various programs.

N° programme	Commentaire
000001	test
000002	trou stpi
000003	plateau de base
000004	roue deplaceur 8.5 piece 4
000010	roue motrice piston 6.5
000011	piece2
000012	piece27
001136	roue francois
001137	roue cricri
001138	roue hugo
001139	Roue Hugo 2
001140	Piece 7
001236	erty
002010	bielle
002120	fond deplaceur
004242	Support balancier
011113	entretroise balancier
042042	cylindre refroidisseur
042043	bielle deplaceur

At the top right, the 'N° programme' is set to 00010 and the 'Commentaire' is 'roue motrice piston 6.5'. Below this, the 'Gamme opératoire' (operational sequence) is defined as follows:

- 01> POINTAGE
- 02> POINTAGE
- 03> GRAVURE

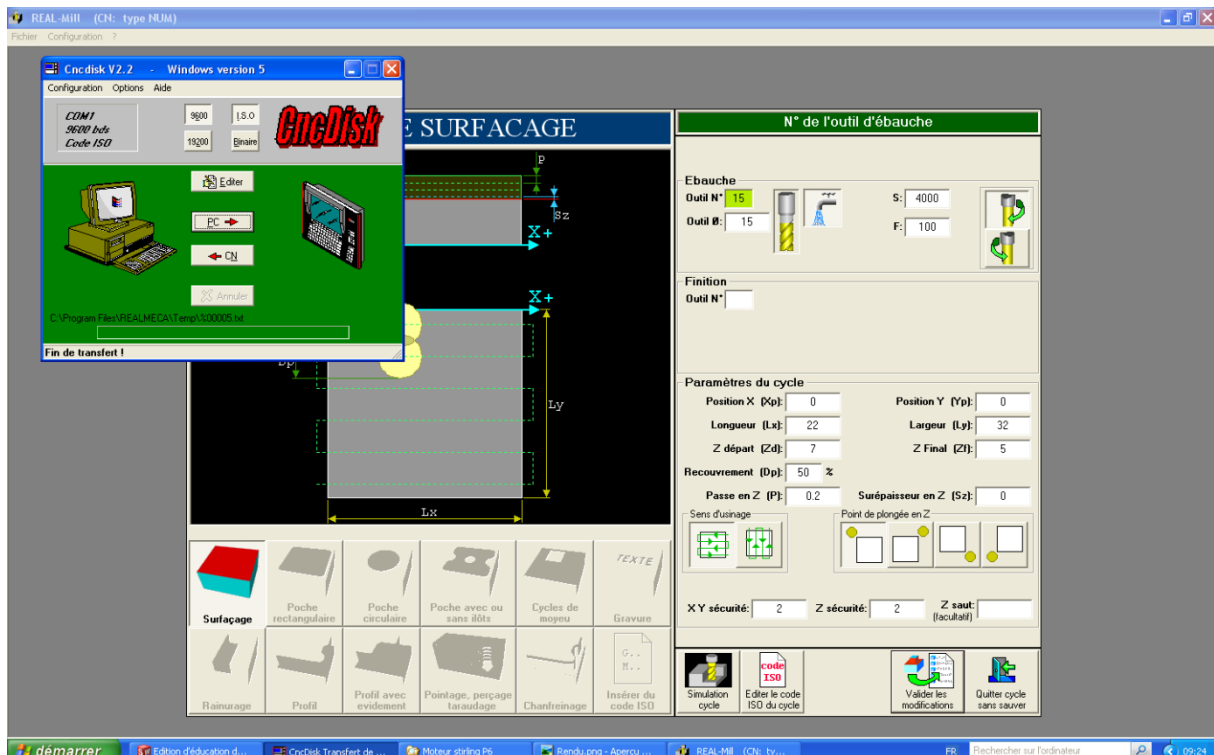
The interface also includes various control buttons such as 'Ajouter un cycle', 'Modifier un cycle', 'Déplacer cycle vers le haut', 'Déplacer cycle vers le bas', 'Supprimer cycle', 'Copier un cycle', and 'Coller un cycle'. At the bottom, there are icons for 'Simulation programme', 'Editer le code ISO du prog.', 'Envoie du prog. vers C.N. HAAS', 'Imprimer gamme', and 'Retour à la page d'accueil'.

ii. Le pointage

Pour le pointage, il aura donc fallu définir la zone de pointage sur la pièce, en définissant dans notre repère $(\vec{x}, \vec{y}, \vec{z})$ les coordonnées du pointage, ainsi que la profondeur (qui est d'environ 0,5mm).

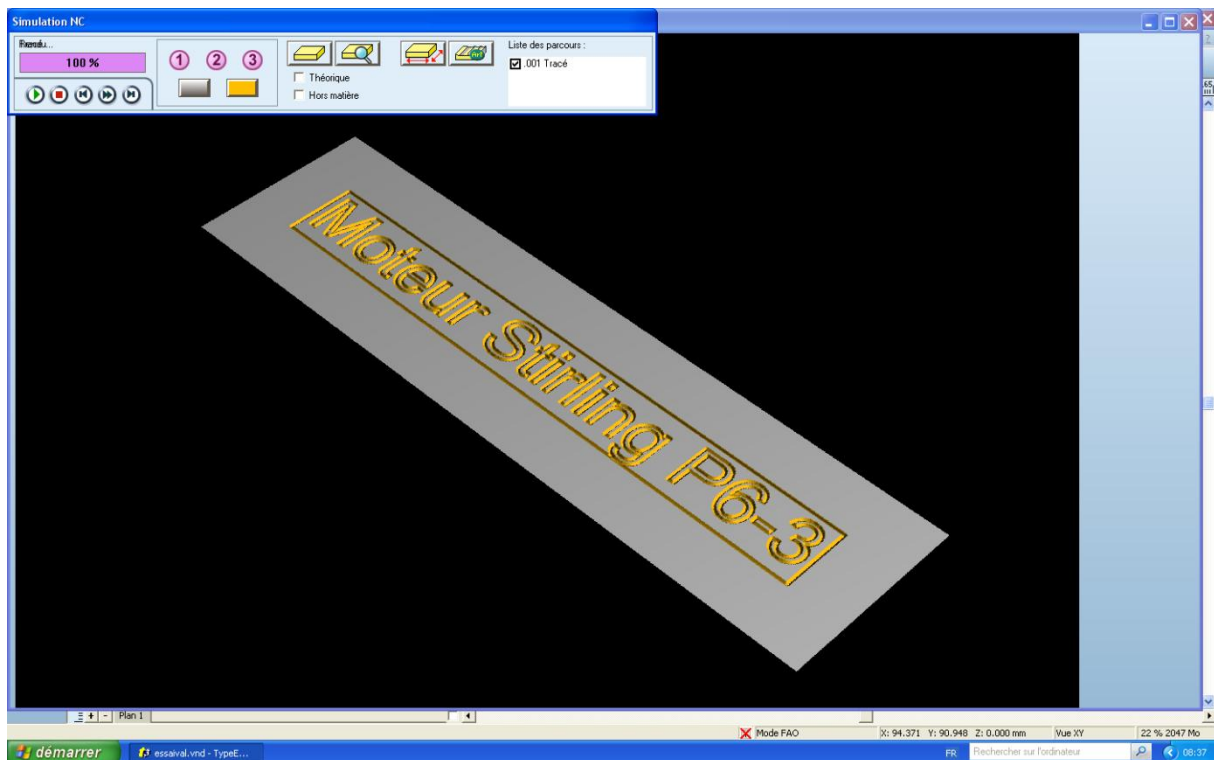
iii. Le surfaçage

Le surfaçage est une des actions les plus longues à réaliser. En effet, après avoir défini la zone à surfaçer, chaque passage de l'outil doit être d'une profondeur très petite. Ceci empêche d'abîmer l'outil puisque la surface sur laquelle il passe est importante, mais il augmente le temps de réalisation du surfaçage. Ainsi, pour surfaçer notre pièce 1 (support du moteur) il nous aura fallu près d'une demi-heure pour effectuer cette opération, composée d'une dizaine de passages avec une profondeur de surfaçage de 0,2mm.



iv. La gravure

La gravure fut aussi une action utilisée, notamment vers la fin de notre projet. La gravure nous a permis d'ajouter un peu aspect esthétique à notre moteur qui reste quand même un peu brut. Nous avons donc utilisé Real-Mill mais aussi un autre logiciel appelé *TypeEdit*. Ce dernier est entièrement dédié à la gravure de texte et de formes, ce qui nous permettait d'obtenir une meilleure qualité de gravure. Il aura donc fallu écrire le texte à graver, puis selon les dimensions de notre pièce, insérer le texte sur une zone choisie. À l'instar des autres applications, nous pouvons utiliser une simulation afin de visualiser le résultat final sur l'ordinateur avant de lancer l'application avec machine.



Pour toutes ces actions, il aura aussi fallu définir l'outil utilisé pour chaque application ainsi que la vitesse de rotation de celui-ci.

Après avoir réalisé les actions à appliquer sur la pièce et avoir visualisé la simulation, nous devons éditer ces actions en code ISO. Ceci va permettre de communiquer avec la machine qui va comprendre ce langage et donc qui va pouvoir appliquer les actions de pointage, perçage etc. sur notre pièce. Attention, il ne faut surtout pas oublier de configurer notre code en choix de commande numérique appelé NUM. Cela permet la compatibilité entre le code édité sur l'ordinateur et l'utilisation de la machine.

Enfin, le code ISO sera envoyé, via une connexion par câbles entre l'ordinateur et la machine *REAL-Meca*, à cette dernière, à l'aide du logiciel *CncDisk*. Ce logiciel va nous permettre d'aller chercher notre code ISO au format adéquat dans les dossiers de notre ordinateur, puis de le transférer jusqu'à la machine. Ce code pourra être directement visualisé et vérifié sur l'écran de la machine.

```

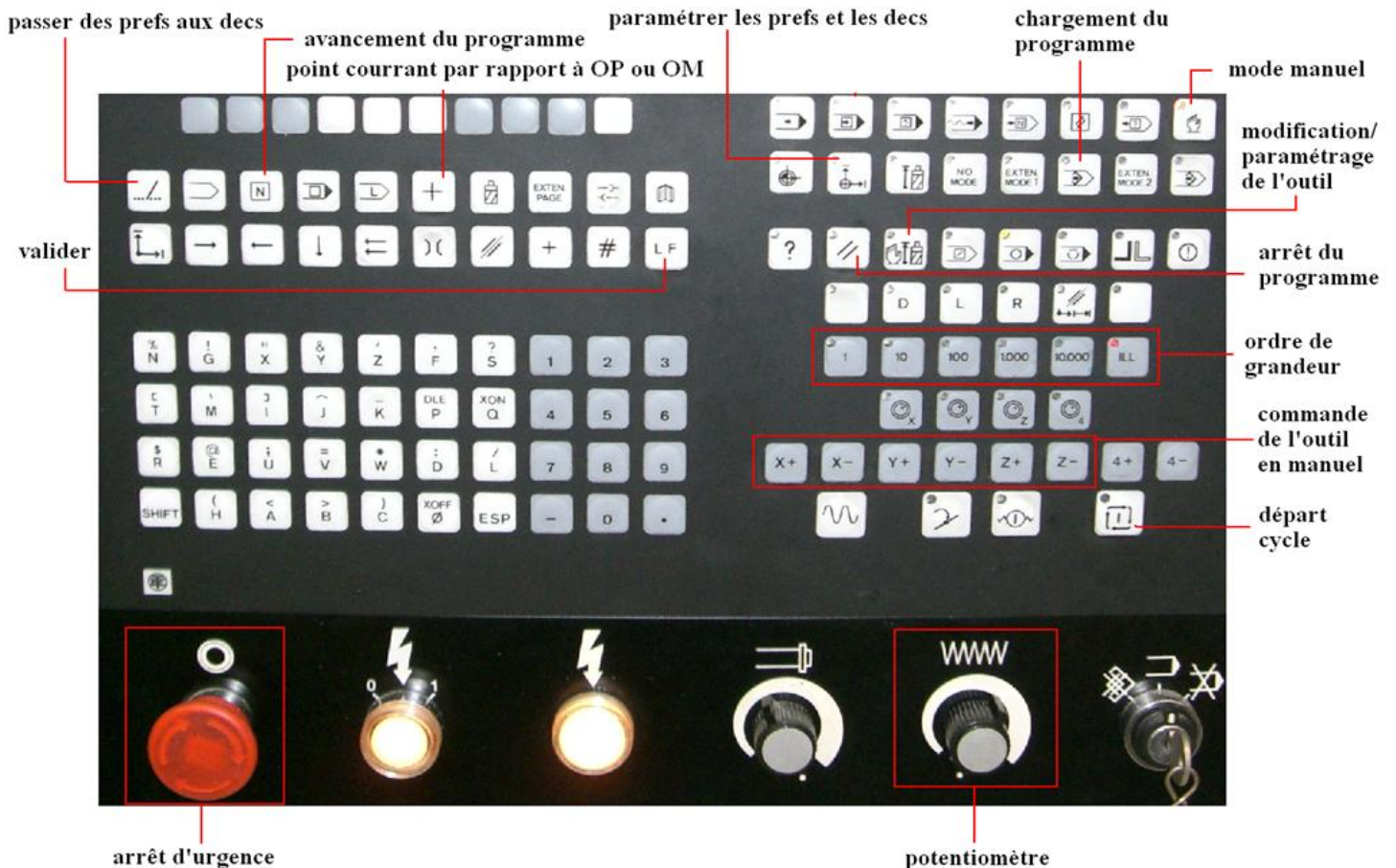
%
O00010 (roue motrice piston 6.5)
(CN HAAS)
(T09 FORET A POINTER DIA=4 A 90 DEGRES)
N1 G90 G99 G80 G40
N2 G54 (DECALAGE ORIGINE)
N3 G0 G53 Z0
N4 T09 M6 (CENTRAGE)
N5 S4000 M3
N6 G0 X34. Y-27.5 M8
N7 G43 H09 Z7.
N8 G81 X34. Y-27.5 Z4. R7. F100.
N9 G0 G80 Z7.
N10 Z7.
(CENTRAGE)
N11 G0 X45.5 Y-27.5
N12 G81 X45.5 Y-27.5 Z4. R7. F100.
N13 X40.228 Y-14.772
N14 X27.5 Y-9.5
N15 X14.772 Y-14.772
N16 X9.5 Y-27.5
N17 X14.772 Y-40.228
N18 X27.5 Y-45.5
N19 X40.228 Y-40.228
N20 G0 G80 Z7.
N21 Z6.
(GRAVURE= piston)
N22 G0 X19.423 Y-21.028
N23 G1 Z4.8 F50
N24 G3 X20.124 Y-21.961 R0.972 F100
N25 G3 X20.787 Y-21.806 R0.694
N26 G3 X21.367 Y-20.472 R1.792
N27 G1 Y-20.194
N28 G3 X20.787 Y-18.861 R1.792
N29 G3 X20.124 Y-18.705 R0.694
N30 G3 X19.423 Y-19.639 R0.972
N31 G1 Y-18.667
N32 Y-23.667
N33 G0 Z6.
    
```

Au final, nous pouvons donc observer sur l'image ci-dessous les différentes étapes que nous avons rencontrées durant la fabrication des différentes pièces du moteur. De gauche à droite, la pièce4 (roue motrice) est représentée d'abord de manière brute, comme nous l'avons eu au début de notre projet. Il a fallu ensuite pointer sur cette pièce les différentes coordonnées où un perçage sera nécessaire (roue motrice du milieu). Et enfin, la pièce à droite est la pièce terminée, percée et gravée.



b) Fonctionnement de la machine à commande numérique

i. Commandes principales de la machine



ii. Réglages des decs et prefs

L'origine machine (OM) est « situé » en haut, à droite, au fond de la machine. Il s'agit de l'origine du repère utilisé par la machine.

Les prefs correspondent aux coordonnées de l'origine programme par rapport à l'origine machine. Pour définir ces prefs on peut utiliser une pinnule de centrage. Lorsque cette dernière tangente la pièce, on la fait décrocher et on lit la valeur du point courant par rapport à l'OM. On ajoute ou on soustrait 5 (rayon de la pinnule).

On peut utiliser des decs, il s'agit de décalages de l'origine programme. On crée une différence entre l'OP et l'OM.

iii. Montage de l'outil

Après avoir préalablement mesuré le diamètre et la longueur de l'outil, on appuie sur la commande « montage de l'outil ». On vérifie ensuite que le diamètre et la longueur de l'outil sont correctement enregistrés dans la machine. Il faut savoir qu'il y a, bien entendu, plusieurs types d'outils pouvant être installés sur la machine. En effet, il y a ceux permettant de faire du surfacage, d'autres pour pointage, ou encore pour la gravure...



iv. Réception du programme

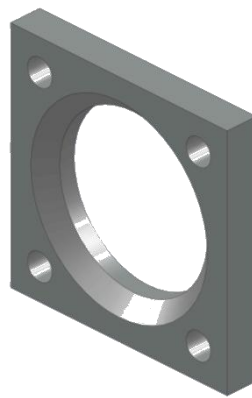
Nous réceptionnons le programme grâce à CncDisk. Avant de lancer le programme, le potentiomètre doit être remis à 0. Il paraît raisonnable de surveiller l'usinage par l'intermédiaire du bouton « avancement du programme », qui permet de connaître les déplacements futurs de l'outil. Une fois la réception effectuée, on peut alors lancer l'usinage qui prendra alors plus ou moins de temps en fonction de la tâche à effectuer. Notons bien que pour la sécurité de l'utilisateur, il y a une vitre de protection qui lorsqu'elle est ouverte stoppe le processus d'usinage. Nous avons pu, lors de la fabrication d'une pièce, vérifier l'efficacité de ce dispositif. Car en effet, suite un mauvais serrage de la pièce, la machine a émit beaucoup de vibrations qui ont réussi au fur et à mesure à entrouvrir la porte de sécurité, entraînant alors l'arrêt instantané de l'usinage. Il nous a donc fallu renvoyer le programme et relancer le processus depuis le départ.

c) Logiciel informatique de CAO : Solidworks

i. Modélisation des composants

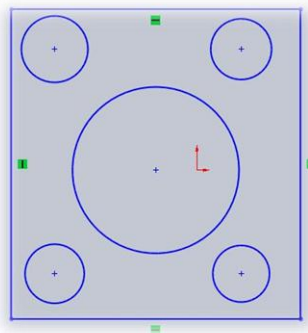
Nous avons modélisé les différentes pièces qui composent le moteur grâce au logiciel Solidworks. Nous disposons de la liste des pièces, numérotées, ainsi que certains schémas de celles-ci. Les côtes n'étaient pas toujours présentes, c'est pourquoi nous avons dû directement mesurer les cotations sur les échantillons bruts à notre disposition. Pour cela nous utilisons un pied à coulisse ou un palmer. Lorsqu'aucune dimension n'était mesurable, il a fallu choisir une cotation adéquate.

La modélisation d'une pièce se fait de la manière suivante :

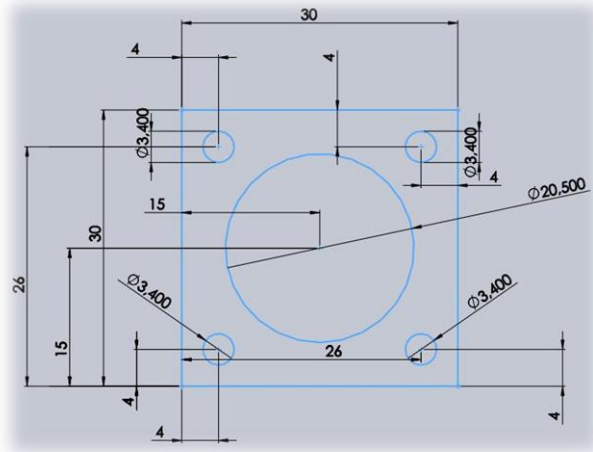


Pièce exemple

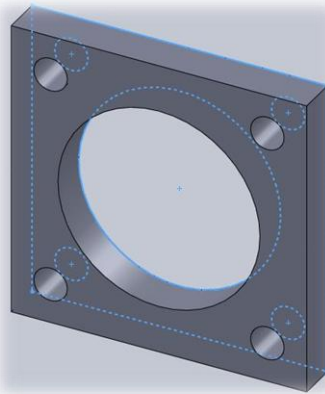
Dans un premier temps, on réalise l'esquisse de la pièce, c'est-à-dire qu'on dessine une forme de base, sans se soucier des dimensions réelles, qui est la plus représentative du contour de l'objet.



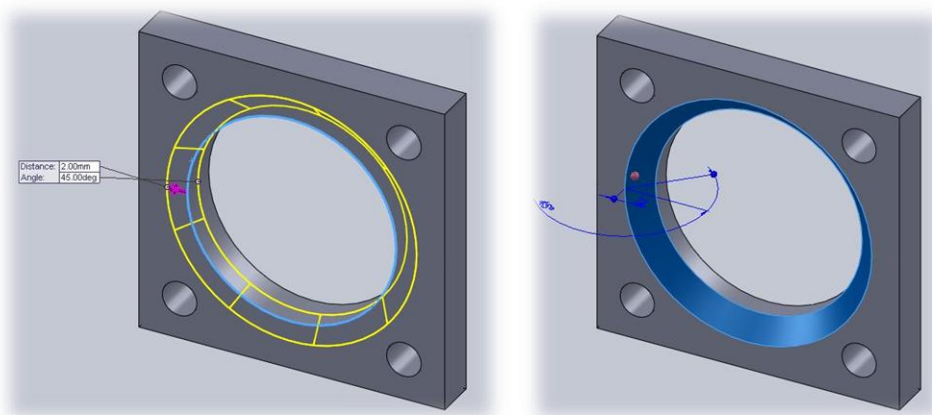
Ensuite, on définit les cotes de l'objet de manière à ce que toutes les formes de l'esquisse aient des contraintes de positionnement, les unes par rapport aux autres.



On va maintenant donner de l'épaisseur à notre pièce avec l'outil d'extrusion.



On peut ensuite réaliser un chanfrein, ou toute autre opération d'ajout/suppression de matière.



Les fichiers créés sous Solidworks peuvent ensuite être exportés sur différents logiciels de CFAO comme FeatureCam ou RealMeca...

ii. Assemblage

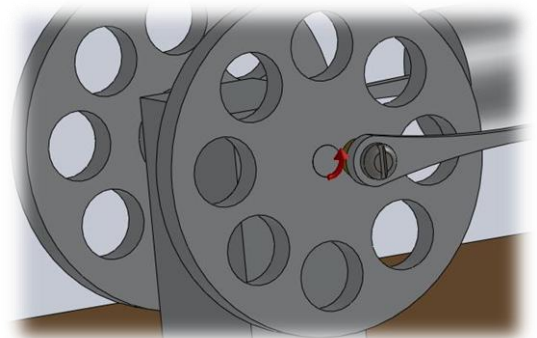
Après avoir modélisé toutes les pièces, nous les avons assemblées. Pour cela, nous avons défini un certain nombre de contraintes de positionnement de pièces, les unes par rapport aux autres. Parmi les contraintes standards, on trouve :

- **Coïncidente** : lorsque deux surface doivent coïncider.
Exemple : Les éléments fixés au support.
- **Parallèle** : lorsque deux surface ou arrêtes doivent être parallèles.
Exemple : Les pistons par rapport au support.
- **Perpendiculaire** : lorsque deux surface ou arrête doivent être perpendiculaires.
- **Tangente** : lorsque qu'un cercle doit être tangent à une surface par exemple.
- **Coaxiale** : lorsque que deux pièces cylindriques doivent avoir le même axe de révolution.
Exemple : Les pistons dans leur cylindre.
- **Blocage** : qui définit une distance bloquée entre deux pièces.

L'assemblage se fait de manière logique, c'est-à-dire dans l'ordre de montage que l'on suivrait si on le réalisait en vrai. L'ordre est aussi important lors des définitions des contraintes entre les pièces ; il faut, en effet, commencer par les contraintes les plus simples, et finir par celle qui enlève le plus de libertés. Si on ne respecte pas cet ordre, il est possible que la pièce ne soit pas positionnée comme on aurait pu l'imaginer, et il est alors nécessaire de recommencer depuis le début la définition des contraintes de positionnement de la pièce.

iii. Animation

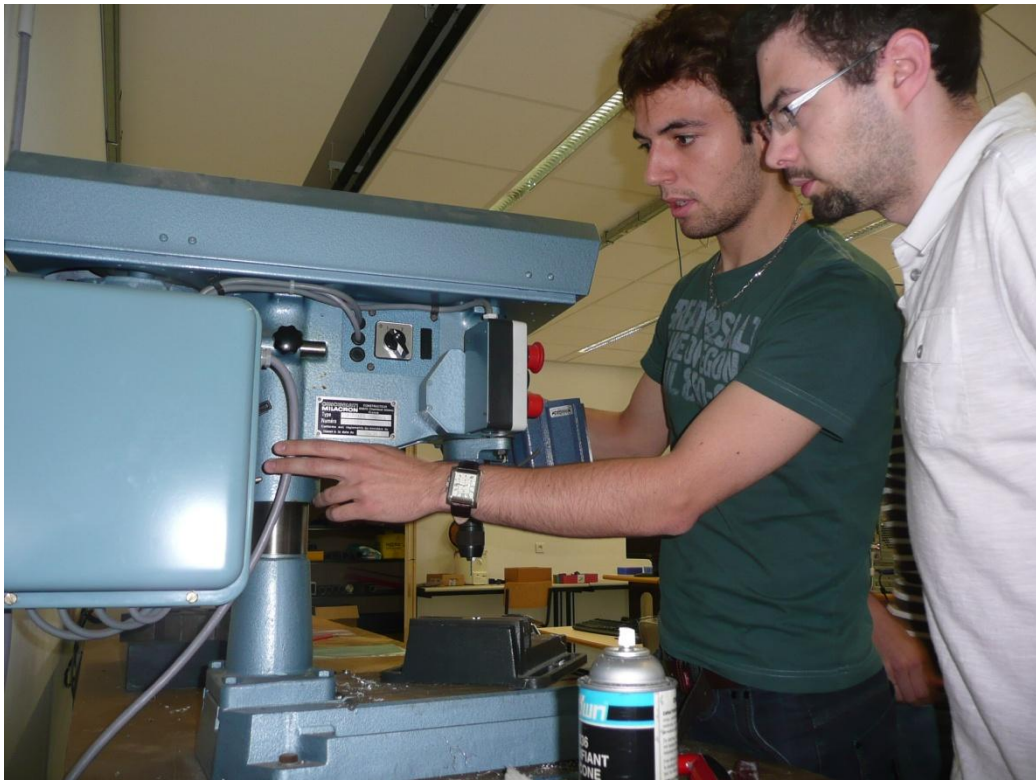
Solidworks permet aussi d'animer notre moteur. En effet, il faut définir une pièce motrice. En donnant un mouvement de rotation, à une vitesse donnée, à une roue, le logiciel est capable de calculer le mouvement des pièces dans le temps. Ceci nous a permis, d'une part, de nous assurer que les dimensions choisies permettaient la bonne évolution du moteur (pas de blocage), et d'autre part, de réaliser une séquence vidéo en 3D (voir : <http://www.youtube.com/watch?v=6wwByYH0iKo>)



Moteur circulaire sur une roue

d) Divers outils utilisés

Nous n'avons pas seulement utilisés Real-Meca – Real-Mill et Solidworks pour concevoir et fabriquer notre moteur, nous nous sommes aussi servis d'une perceuse sensitive ainsi que d'un tour parallèle.



IV. Conclusions

1. Conclusions sur le travail réalisé

Durant ce semestre 4, nous avons réussi à réaliser un moteur Stirling de sa conception à sa fabrication. Nous avons donc pu observer tout le travail nécessaire à la réalisation d'un tel projet. De plus, ce projet nous a permis de travailler en équipe et ainsi d'optimiser le travail pendant chaque séance du mercredi matin. Ce travail en équipe nous donne un aperçu des situations que nous rencontrerons en tant qu'ingénieurs. Ce projet nous a tous plu car il se distinguait d'autres projets par la réalisation concrète d'un système mécanique et non par l'étude documentaire d'un sujet donné.

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

Lola BUHLER

Le projet de P6-3 m'a énormément plu. En effet nous avons réussi à construire un moteur Stirling de « A à Z », nous avons été très autonomes dans ce projet. Ce qui m'a paru intéressant c'est d'avoir pu se servir d'une machine à commande numériques afin d'usiner nos pièces nous même. De plus notre groupe étant composé de six personnes, il a fallu se répartir les tâches en fonction de nos connaissances et de nos capacités (notamment un groupe pour Solidworks). Apprendre à travailler en groupe me paraît être une des qualités première d'un ingénieur.

Alexandre BORIE

Ce projet a été une bonne expérience. J'ai trouvé qu'il était très intéressant de concevoir un moteur de A à Z, en commençant par en étudier son fonctionnement, puis étudier quelles pièces seraient à usiner, et enfin participer à l'assemblage puis à la résolution des éventuels problèmes. De plus un tel projet permet un travail de groupe, ce qui est toujours très intéressant pour de futurs ingénieurs qui seront amenés à travailler en groupe plus tard.

Valentin CRIGNON

Ce projet de P6-3, pour la conception d'un moteur Stirling, fut pour moi très intéressant et instructif. En effet, le côté pratique et concret de ce projet m'a tout de suite plu. J'ai tout d'abord décidé de faire ce genre de projet, car je souhaite partir dans le département Mécanique de l'INSA de Rouen l'année prochaine. De plus, la partie concrète de ce projet nous a permis de sortir de nos cours purement théorique, et de travailler en équipe, puisqu'un planning et une répartition des tâches furent nécessaires pour finir notre projet dans les temps. Enfin, l'utilisation de nombreux logiciels informatiques de machines de conception pour usiner, pointer ou autres applications était pour moi quelque chose de très important pour se rendre compte du processus de fabrication d'un produit. Je tire donc une conclusion très positive de ce projet qui fut agréable à mener.

Quentin GIBEAUX

Notre formation étant jusqu'alors très théorique, un projet tel que celui-ci fût l'occasion de mettre en pratique nos connaissances. Le sujet étant complet, nous avons dû nous organiser suffisamment pour mener à bien l'ensemble du travail. Le partage des tâches était ici bien plus prononcé qu'à notre habitude ce qui avait pour avantage de nous permettre de nous impliquer plus précisément. J'ai donc apprécié ce projet qui m'a fait découvrir le fonctionnement d'un moteur Stirling, mais aussi tout le processus de conception et de fabrication d'un système mécanique.

David DERUE

Ce projet m'a beaucoup intéressé car il mêlait à la fois la théorie, avec la conception et l'assemblage des pièces du moteur sous Solidworks, et la pratique, avec l'usinage des pièces sur les machines à notre disposition. Pour ma part, j'ai passé plus de temps sur le logiciel Solidworks, ce qui m'a permis d'apprendre à l'utiliser. J'ai aussi pu observer les étapes de CFAO et l'usinage des pièces sur les différentes machines. Ma satisfaction est d'autant plus grande que notre moteur, avec l'aide précieuse de nos professeurs, a rapidement fonctionné à vive allure.

Julien PAUMELLE

Ce genre de projet est très fort formateur, selon moi, pour découvrir de façon plus concrète le travail en équipe qui sera au cœur du travail d'ingénieur à n'en pas douter. De plus, c'est une grande fierté de pouvoir construire un moteur en entier et de le voir tourner si vite. Durant cet E.C. projet, j'ai réussi à travailler sur les deux aspects du projet : dans un premier temps sur la partie conception avec le logiciel Solidworks et dans un second temps sur la partie fabrication des pièces. J'aimerais donc conclure en ajoutant que j'ai trouvé cet E.C. vraiment très enrichissant d'un point de vue technique mais aussi humain avec les rapports au sein du groupe de projet.

3. Perspectives pour la poursuite de ce projet

Il serait intéressant pour les projets de P6-3 de l'année prochaine de reprendre notre moteur déjà construit. Ces groupes pourraient y effectuer les améliorations nécessaires et celles que nous proposons afin d'améliorer son rendement. De plus, une étude sur les capacités de notre moteur serait intéressante à effectuer. Et finalement, adapter notre moteur Stirling à un système plus complexe qui utiliserait l'énergie mécanique obtenue en fonctionnement. Nous pouvons proposer alors quelques idées de systèmes possibles : fabrication d'un petit véhicule, d'un ventilateur, d'une dynamo...

V. Bibliographie

Site internet :

<http://www.moteurstirling.com/> (valide à la date du 16/06/2010)

http://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_Stirling (valide à la date du 16/06/2010)

<http://www.moteur-stirling.com/> (valide à la date du 16/06/2010)

<http://www.solidworks.fr/> (valide à la date du 16/06/2010)

<http://www.cadware.fr/industrie/solidworks.htm?gclid=CMDYwoOdpalCFZ6Y2AodKy16vg> (valide à la date du 16/06/2010)

<http://fr.wikipedia.org/wiki/SolidWorks> (valide à la date du 16/06/2010)

Utilisation, bien entendu, des cours de P1.

Illustration du M. Stirling :

http://www.editinternational.com/images/gallery/se-r.-stirling_low.jpg

(valide à la date du 16/06/2010)

L'ensemble des illustrations, mise à part celle ci-dessus, sont des imprime-écran ou des photos personnelles.

VI. Annexes

