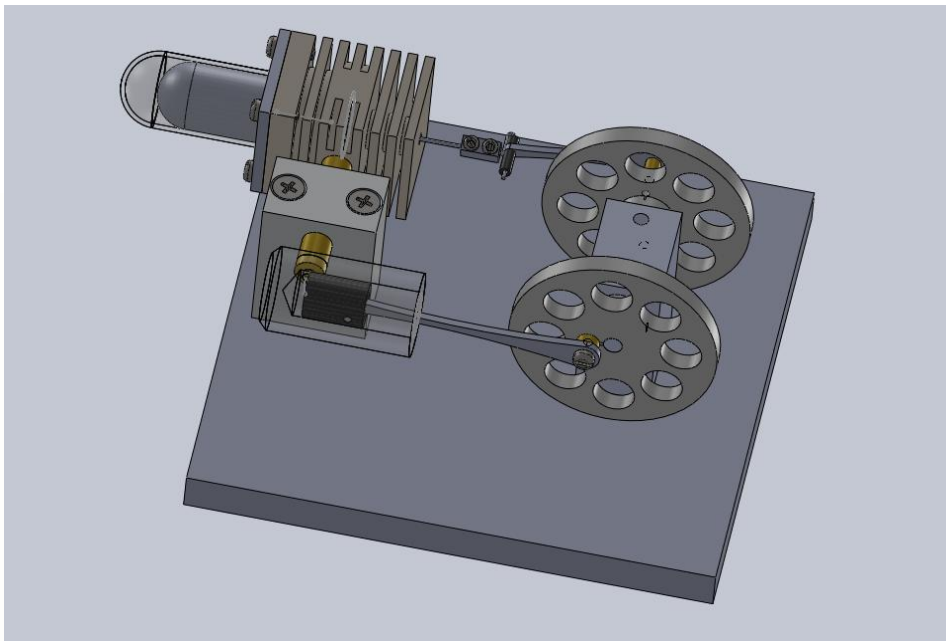


## **Conception et animation d'un moteur Stirling avec le logiciel SolidWorks 2010**



**Etudiants:**

**Hao BAI**

**Nathan BALLE**

**Mickael BOUTIN**

**Julien DIOUF**

**Hugo DAMANCE**

**Hamza EL GUEDDARI**

**Matthieu GOGO**

**Enseignant-responsable du projet :**

**F.DHAOUADI**

*Cette page est laissée intentionnellement vierge.*

Date de remise du rapport : 17/06/2010

Référence du projet : STPI/P6-3/2010 – 29

Intitulé du projet :

**Conception et animation d'un moteur Stirling avec le logiciel SolidWorks 2010**

Type de projet : **Simulation**

Objectifs du projet:

***Le but de ce projet est de se familiariser avec la conception par ordinateur avec l'utilisation du logiciel SolidWorks mais aussi de bien cerner le fonctionnement d'un moteur Stirling ainsi que les différentes parties qui le compose. Ce projet nous a également permis de savoir utiliser des logiciels de CAO (comme par exemple RealMill).***

# TABLE DES MATIERES

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION .....</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL.....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>TRAVAIL REALISE ET RESULTATS .....</b>	<b>8</b>
3.1	LE MOTEUR STIRLING .....	8
3.1.1	<i>Historique .....</i>	8
3.1.2	<i>Principes .....</i>	8
3.1.3	<i>Avantages.....</i>	9
3.1.4	<i>Inconvénients .....</i>	10
3.1.5	<i>Différents types de moteur Stirling.....</i>	10
3.1.5.1	Refroidissement : .....	10
3.1.5.2	Chauffage : .....	10
3.2	CONCEPTION DU MOTEUR SUR SOLIDWORKS .....	11
3.2.1	<i>Découverte de SolidWorks.....</i>	11
3.2.2	<i>Réalisation des pièces détachées .....</i>	12
3.2.2.1	Première étape : l'esquisse .....	12
3.2.2.2	Deuxième étape : les fonctions .....	13
3.2.2.3	Troisième étape : l'assemblage .....	13
3.2.3	<i>Réalisation de la pièce réelle .....</i>	14
3.2.3.1	Réalisation des pièces avec RealMill .....	14
3.2.3.1.1	Création de profils .....	14
3.2.3.1.2	Les fonctions de RealMill .....	15
3.2.3.1.3	Création du code machine .....	15
3.2.3.2	Assemblage des différentes parties .....	16
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>18</b>
<b>6</b>	<b>ANNEXES .....</b>	<b>19</b>
6.1	DOCUMENTATION TECHNIQUE .....	19
6.2	LISTINGS DES PROGRAMMES REALISES .....	24
6.3	SCHEMAS DE MONTAGES, PLANS DE CONCEPTION.....	26

## 1 INTRODUCTION

Le semestre 4, nous a permis de découvrir la réalisation d'un projet comme nous le propose l'EC P6-3. Le choix du thème était laissé libre à l'élève, de façon à ce que ce soit en accord avec son emploi du temps, et, bien sûr, avec son intérêt pour le sujet. C'est pourquoi nous étions tous motivés à s'investir dans ce projet.

Le projet nous a mis dans des conditions de travail réelles ainsi nous avons été confrontés à des problèmes concrets, le plus souvent d'ordre technique, pratique mais aussi d'ordre de cohésion du groupe. Ce projet nous a permis de prendre connaissance avec SolidWorks et d'en appréhender ses principales fonctionnalités. Ce logiciel nous était jusqu'à maintenant inconnu et nous avons pu constater le nombre important d'applications qu'il peut réaliser. Nous avons également pu bénéficier d'une initiation sur un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) : RealMill ; ainsi que le fonctionnement des machines d'usinage.

Ce projet inclut deux parties : la conception et l'animation du moteur sous solidworks et la réalisation. Afin de réaliser le projet, comme vous pouvez le voir sur le diagramme ci-dessous, nous nous sommes divisés globalement en deux sous-groupes : l'un est responsable de concevoir les pièces sous SolidWorks et l'autre se charge de la réalisation des pièces sous Real-Mill.

Dans la partie conception et animation, nous avons appris à connaître les différentes fonctionnalités afin de réaliser les pièces en 3D avec précision.

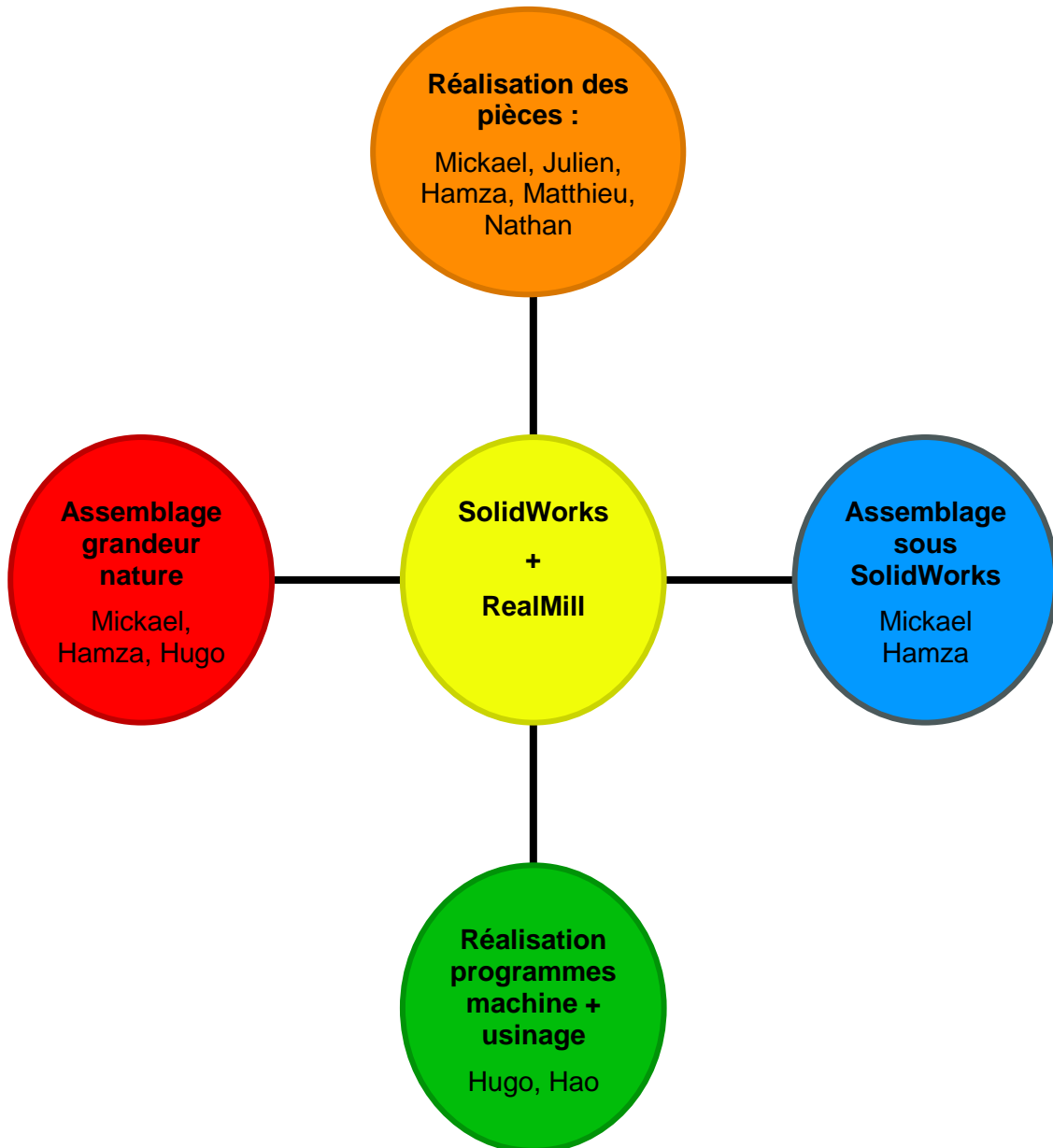
Dans la partie réalisation, à l'aide de M. Dhaouadi et son collègue M. Lecoq, nous avons personnalisé les pièces. Nous avons appris comment réaliser et modifier le modèle de la pièce sous Real-Mill, comment lier les coordonnées dans l'ordinateur avec cela dans la machine réelle, comment trouver le point original dans la machine et comment manipuler la machine etc. Ces expériences nous aident beaucoup à bien comprendre le principe de ce type de logiciels et machines et réfléchir à la réalisation de notre pièce personnalisée.

Finalement, nous aimerions remercier M. Dhaouadi pour son aide durant tout le projet.



## 2 METHODOLOGIE / ORGANISATION DU TRAVAIL

Voici le diagramme de répartition du travail réalisé sur le projet :



Dans un premier temps nous avons examiné les plans des pièces composant le moteur puis nous nous sommes répartis les différentes pièces à réaliser sur SolidWorks. Les premières semaines ont donc consisté à concevoir les pièces qui composent le moteur et à les mettre régulièrement en commun afin de voir où l'on en était.

Une fois les pièces réalisés nous avons commencé l'assemblage sur solidworks.

En même temps nous avons usiné les différentes pièces du moteur grâce au logiciel RealMill et ensuite avons procédé à l'assemblage de ces pièces.



Ensuite nous avons commencé à réaliser le rapport écrit.

Voici le diagramme de répartition du rapport écrit :



:



### 3 TRAVAIL REALISE ET RESULTATS

#### 3.1 Le moteur Stirling

##### 3.1.1 Historique

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.

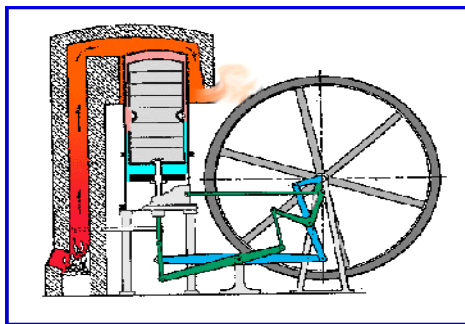


Figure 1 : Premier moteur Stirling

En 1871, les progrès de la thermodynamique accomplis au XIXe 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. Ce n'est que dans les dernières décennies que les développements du moteur ont commencé à être intéressants pour l'industrie, à cause du besoin croissant de sources d'énergie alternatives. Effectivement, ce n'est pas parce que Robert Stirling utilisait la combustion pour alimenter son moteur en énergie thermique qu'il n'est pas possible d'utiliser d'autres sources d'énergie : énergie solaire, énergie géothermique, énergie nucléaire, chaleur rejetée par les usines, etc. Ainsi, les avancées en sciences des matériaux permettent maintenant d'utiliser des matériaux qui supportent des écarts de température très importants et des composites qui améliorent le transfert de chaleur au sein du régénérateur. La situation est telle que les moteurs Stirling sont couplés avec des paraboles solaires géantes et utilisent l'énergie solaire avec un rendement supérieur aux cellules photovoltaïques, à un prix toutefois élevé. Il a d'ailleurs obtenu, en 2008, le record de conversion de l'énergie solaire, soit de 31,25 %, par l'utilisation de miroirs paraboliques comme concentrateurs solaires.

##### 3.1.2 Principes

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. 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 (bien que ce ne soit pas Stirling qui l'ait décrit).

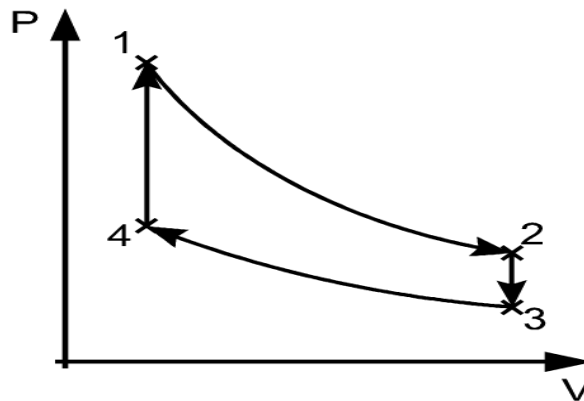


Figure 2 : Cycle de Clapeyron

- Points 1 à 2 : détente isotherme. La zone de détente est chauffée par l'extérieur, ainsi le gaz suit une détente isotherme.
- Points 2 à 3 : refroidissement à volume constant (isochore). Le gaz passe dans le régénérateur, se refroidit en lui transférant sa chaleur qui sera utilisé pour le cycle suivant.
- Points 3 à 4 : compression isotherme. La zone de compression est refroidie, ainsi le gaz suit une compression isotherme.
- Points 4 à 1 : chauffage isochore. Le gaz circule dans le régénérateur et prélève de la chaleur.

### 3.1.3 Avantages

- **Le silence de fonctionnement** : il n'y a pas besoin d'une explosion ou d'une compression de l'air pour le faire fonctionner. De plus, grâce à sa conception simple, ce moteur n'engendre que peu de vibrations (car peu de frottements et d'éléments en mouvement).
- **Un rendement élevé** : le rendement dépend en grande partie de la différence de température que l'on applique aux deux côtés du (ou des) piston(s). Certains moteurs Stirling ont un rendement de 40%, pour mémoire, un moteur thermique classique a un rendement de 35%.
- **La multitude de "sources chaudes" possibles** : pour produire de la chaleur, plusieurs possibilités s'offrent à nous, soit par combustion (Charbon/Gaz/Pétrole/déchets) soit en utilisant de l'énergie renouvelable (énergie solaire, géothermie...).



- **La fiabilité et la maintenance aisée** : la relative simplicité technologique permet d'avoir des moteurs d'une très grande fiabilité et nécessitant peu de maintenance.
- **La durée de vie importante** du fait de sa "rusticité".

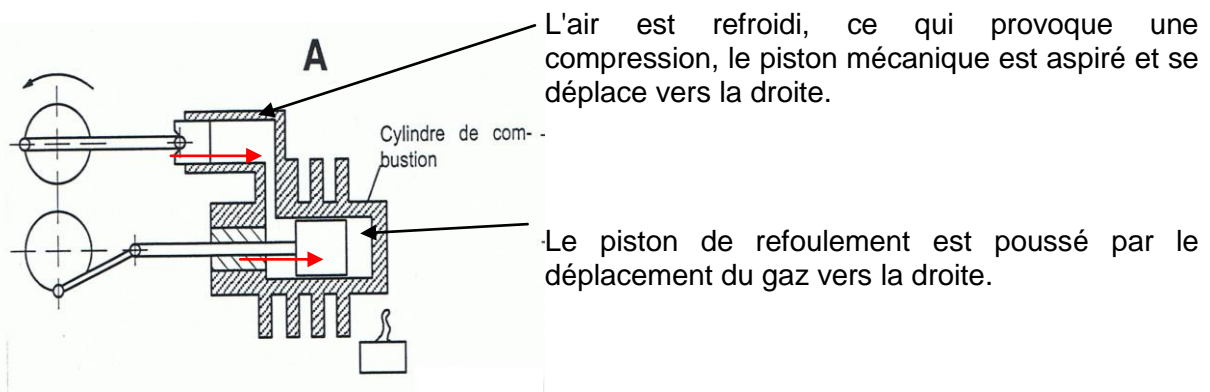
### 3.1.4 Inconvénients

- **Les problèmes d'étanchéité** sont difficiles à résoudre dès qu'on souhaite avoir des pressions de fonctionnement élevées. Le choix du gaz "idéal", à savoir l'hydrogène pour sa légèreté et sa capacité à absorber les calories, se heurte à sa faculté de diffuser au travers des matériaux.
- **Les échanges de chaleur** avec un gaz sont délicats et nécessitent souvent des appareils volumineux.
- **La variation de puissance** est difficile à obtenir, en effet, les variations de température nécessitent une certaine inertie. C'est pourquoi ce genre de moteur n'est pas beaucoup exploité.
- **Poids** trop élevé.
- Comme ce moteur n'a pas été beaucoup étudié, les applications sont difficiles à mettre en place car elles nécessitent un investissement important.

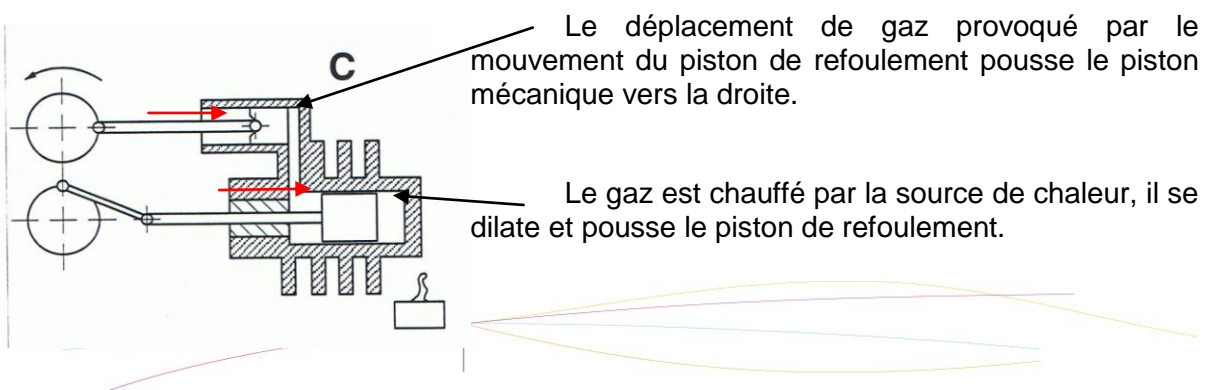
### 3.1.5 Différents types de moteur Stirling

Il existe différents types de moteurs Stirling (Alpha, Bêta, Gamma pour les plus connus) mais ils fonctionnent tous sur le même principe. La majeure différence réside dans le nombre de cylindres (2 pour Alpha, 1 pour Bêta et Gamma) et dans le nombre de roues motrices (1 Pour Alpha et Bêta, 2 pour Gamma). Celui que nous allons réaliser peut s'apparenter à un moteur Gamma. Voici son fonctionnement:

#### 3.1.5.1 Refroidissement :



#### 3.1.5.2 Chauffage :



## 3.2 Conception du moteur sur SolidWorks

### 3.2.1 Découverte de SolidWorks

SolidWorks est un modèleur 3D utilisant la conception paramétrique. Il génère 3 types de fichiers relatifs à trois concepts de base : la pièce, l'assemblage et la mise en plan. Ces fichiers sont en relation. Toute modification à quelque niveau que ce soit est répercutée vers tous les fichiers concernés.

Un dossier complet contenant l'ensemble des relatifs à un même système constitue une maquette numérique. De nombreux logiciels viennent compléter l'éditeur SolidWorks. Des utilitaires orientés métiers (tôlerie, bois, BTP...), mais aussi des applications de simulation mécanique ou d'image de synthèse travaillent à partir des éléments de la maquette virtuelle.

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

Parmi les fonctions génératrices on trouve :

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

D'autres fonctions permettent de répéter un objet plusieurs fois très rapidement, ce qui permet un gain de temps important. Exemples: la répétition linéaire, la répétition circulaire... L'édition de familles de pièces est possible en associant à SolidWorks, le tableur Microsoft Excel : Un tableau devient ainsi éditeur des références (lignes) donnant la valeur des paramètres variables des fonctions (colonnes) :

- valeur de certaines cotes
- valeur de certaines propriétés (nombre d'occurrence...)



➤ état de suppression d'une fonction

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

Les possibilités d'éditations sont complétées par un ensemble d'outils de mesures géométriques. Ainsi il est possible de connaître le volume de la pièce, son poids, la position de centre de masse, sa matrice d'inertie, la surface...

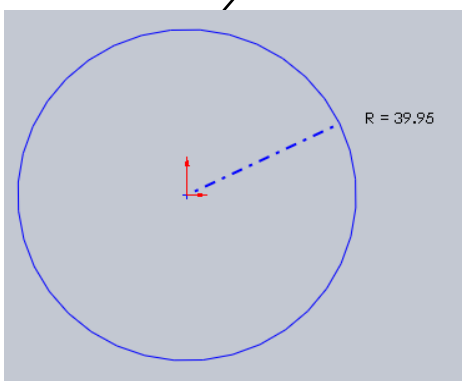
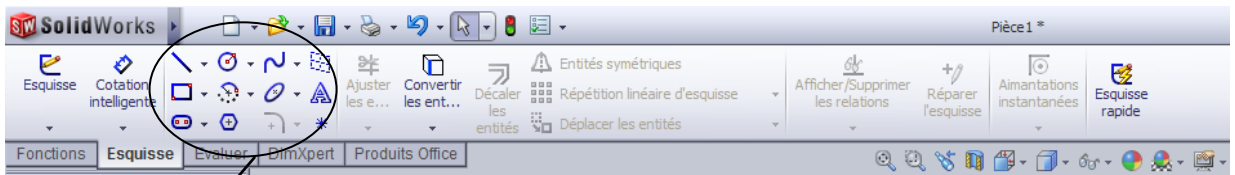
Les assemblages sont obtenus par la juxtaposition de pièces. La mise en position de pièces est définie par un ensemble de contraintes d'assemblage associant deux entités respectives par une relation géométrique (coïncidence, tangence, coaxialité...). On peut apparenter ces associations de contraintes aux liaisons mécaniques qui existent. Une fois le mécanisme assemblé, s'il possède encore des mobilités, l'assemblage peut être manipulé virtuellement.

Comme pour les pièces, la gestion de l'ensemble est portée par un arbre de création qui donne accès à l'arbre de création de chaque pièce, il est donc aisé de modifier chaque pièce en cas de problème d'ajustement.

### 3.2.2 Réalisation des pièces détachées

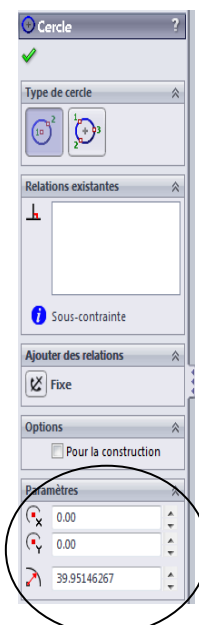
Après avoir choisi notre type de moteur et d'avoir pris connaissance des plans, nous sommes reparti les différentes pièces associées. Chacun pouvait donc travailler de son côté en réalisant une ou plusieurs pièces selon leur complexité.

#### 3.2.2.1 Première étape : l'esquisse

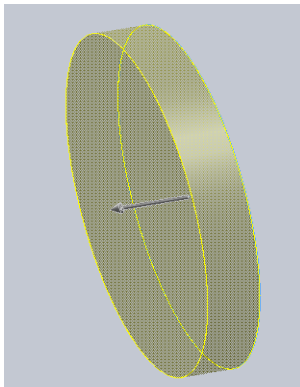
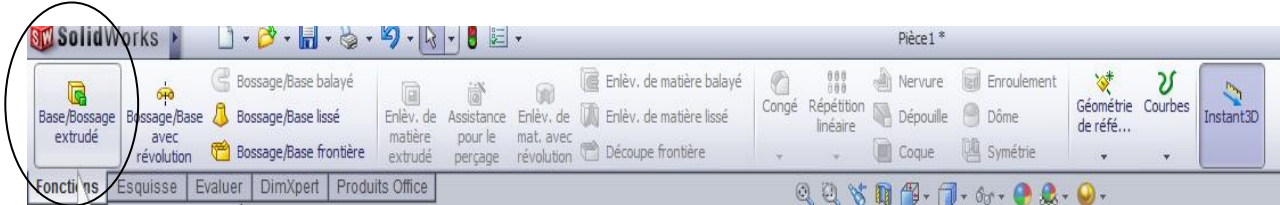


Il existe plusieurs formes simples dans l'esquisse, des droites, des cercles, des rectangles, des courbes etc....Chacune de ces formes peuvent être construit de plusieurs façon, soit, par exemple pour un cercle, en donnant le centre et le rayon, soit en donnant la taille de son périmètre.

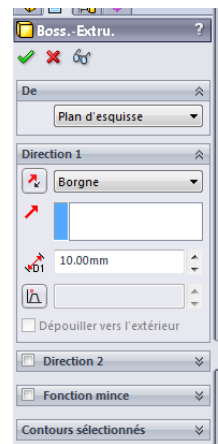
Il faut ensuite tracer le cercle en mettant le curseur au centre de son cercle puis se déplacer jusqu'à obtenir la valeur du rayon voulue. Si l'on veut être plus précis, après avoir tracé le cercle, on peut modifier le centre et le rayon du cercle dans les options sur le cercle qui se situe sur la partie gauche de SolidWorks.



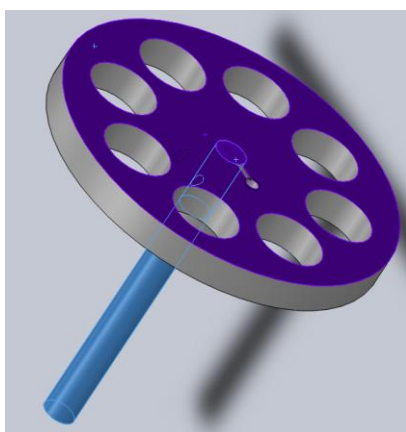
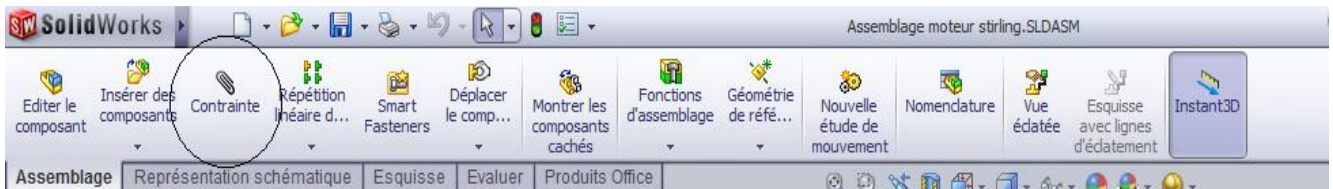
### 3.2.2.2 Deuxième étape : les fonctions



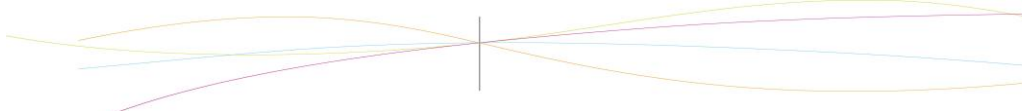
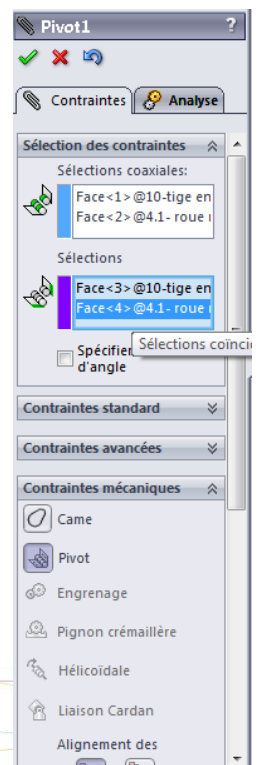
En cliquant sur base/Bossage extrudé, on va pouvoir obtenir un cylindre en 3D à partir de notre esquisse de cercle. On peut également choisir la profondeur et la direction vers laquelle l'extrudage va se réaliser.



### 3.2.2.3 Troisième étape : l'assemblage



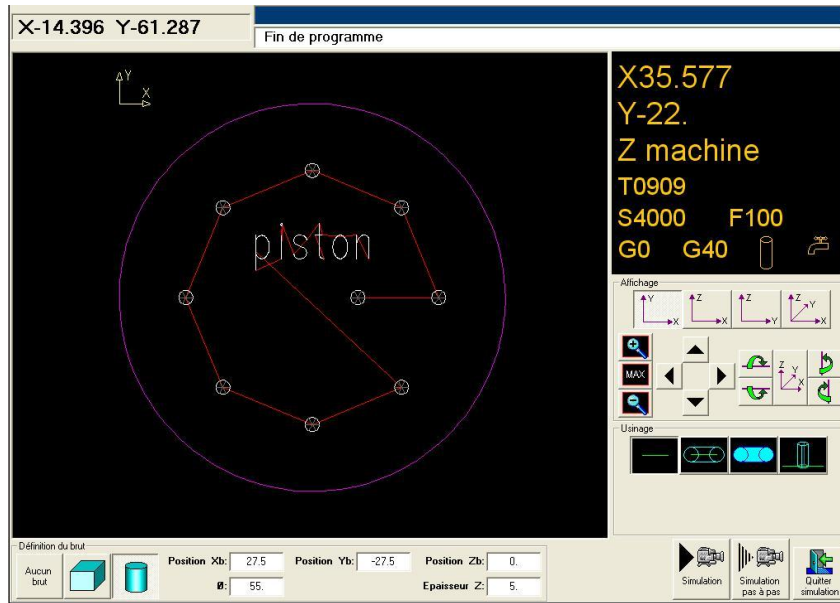
Une fois que les pièces sont modélisées, on crée un fichier assemblage où l'on ajoute toutes les pièces nécessaires. Il faut ensuite les relier entre elles grâce aux Contraintes, des fonctions permettant de lier certaines surfaces de pièces entre elles, selon le type de surface et la liaison souhaitée.



### 3.2.3 Réalisation de la pièce réelle

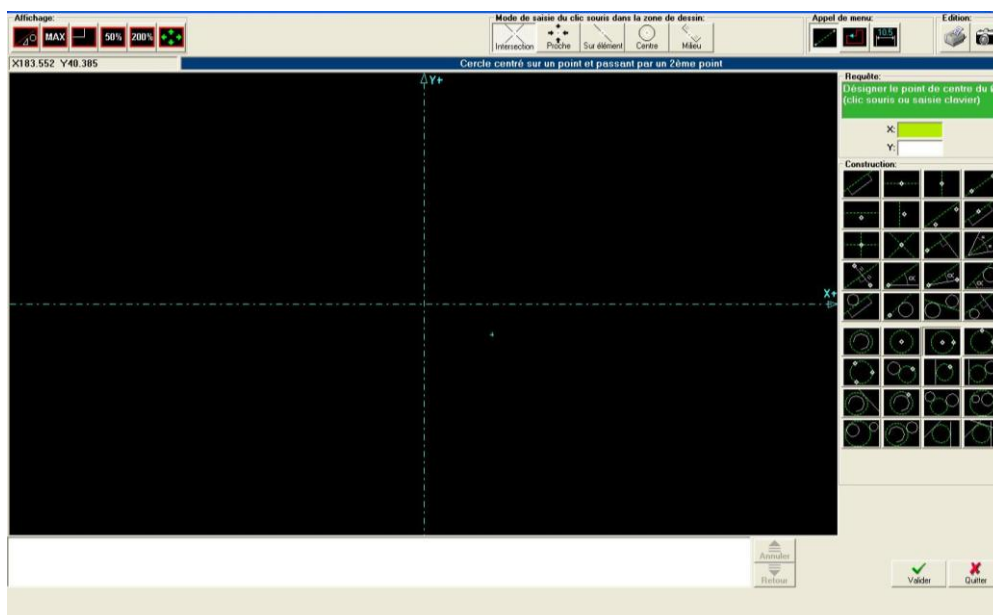
#### 3.2.3.1 Réalisation des pièces avec RealMill

Mr Dhaouadi nous a proposé de réaliser le moteur Stirling que nous avons dessiné et animé sur SolidWorks grandeur nature en aluminium et laiton. Le logiciel que nous avons utilisé pour usiner les pièces était RealMill.



#### 3.2.3.1.1 Création de profils

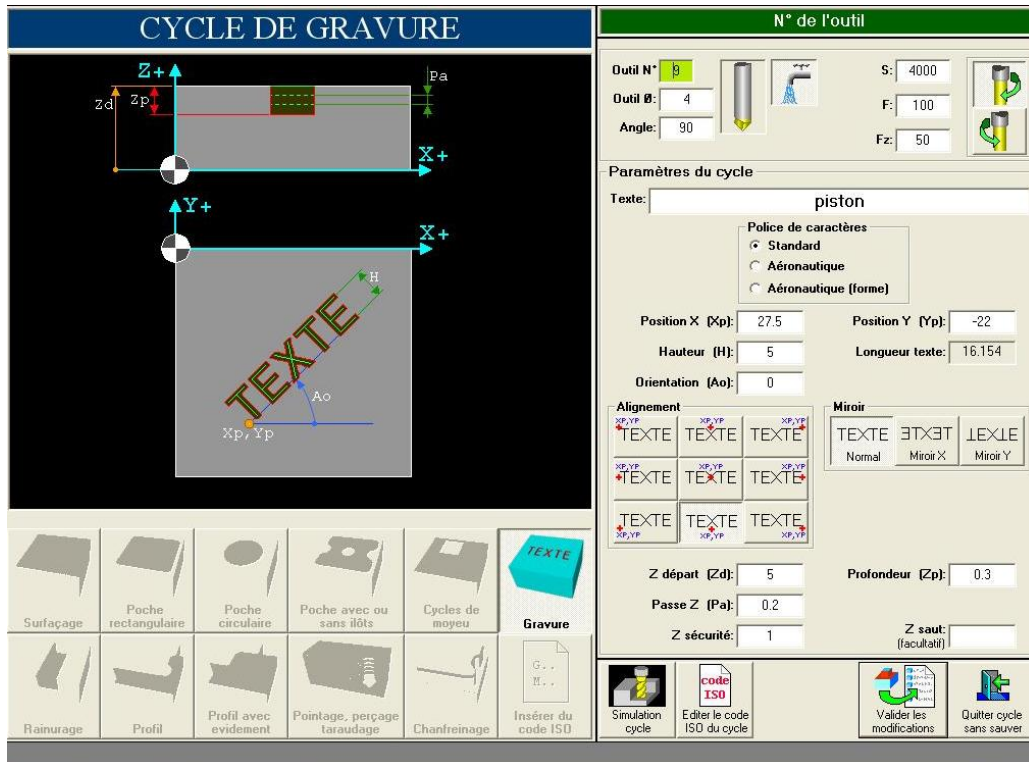
Ce logiciel possède des fonctions de profils qui peuvent s'apparenter à l'esquisse de SolidWorks. On commence par réaliser les contours de la pièce en indiquant les origines de la pièce. Toutes les cotations seront effectuées selon cette origine. Le logiciel se charge de transformer les déplacements machine par rapport à cet origine pièce. Les profils intègrent la plupart des formes de base (cercle, rectangle, droite, arc de cercle...).



### 3.2.3.1.2 Les fonctions de RealMill

RealMill intègre de nombreuses fonctions qui nous permettent d'usiner la pièce de diverses façons. On peut par exemple citer :

- Le pointage qui permet de faire une petite encoche qui indique la position du trou que l'on veut faire avec une grande précision ;
- Le surfaçage qui permet de donner une forme à une pièce en utilisant la machine.
- La poche circulaire qui permet de réaliser des trous du diamètre que l'on veut, on donne au logiciel l'outil que l'on souhaite utiliser et il calcule le nombre de tours qu'il faut faire pour obtenir le bon diamètre.



### 3.2.3.1.3 Création du code machine

Une fois que l'on a réalisé les différentes opérations, on peut vérifier si nos calculs sont bons en faisant une simulation qui va nous montrer exactement les déplacements de la machine. Dès que l'on est sûr, on crée un programme ISO en configuration CN (cf. annexe) qui donne les instructions de la machine pas à pas. Il nous suffit d'envoyer le programme grâce à un petit logiciel vers la machine qui est en mode continu c'est-à-dire qu'elle exécute les instructions au fur et à mesure de l'avancement de la machine.





### 3.2.3.2 Assemblage des différentes parties

On nous fournissait plusieurs pièces déjà faites car nous n'avions pas les machines et le temps nécessaire pour les réaliser :

- Le plateau où nous avons simplement gravé un petit texte sur le dessus ;
- Le radiateur ;
- Le tube à essai

Nous avons également les pièces que nous avons réalisées sous RealMill mais certaines nécessitaient des retouches :

- Les roues motrices : Faire les trous en plus des gravures et des pointages
- Les deux supports (fig. 1 et 7 voir annexe) où il fallait faire les trous
- Les fils d'acier qui relient les bielles au piston nécessitent des pliages spéciaux que l'on peut réaliser grâce à des pinces.

Une fois que nous avons toutes les pièces usinées, il fallait également tarauder les trous où se trouvent les vis. Une fois terminé, nous avons simplement à encastrer chaque pièce les unes dans les autres et de les fixer grâce à des vis.

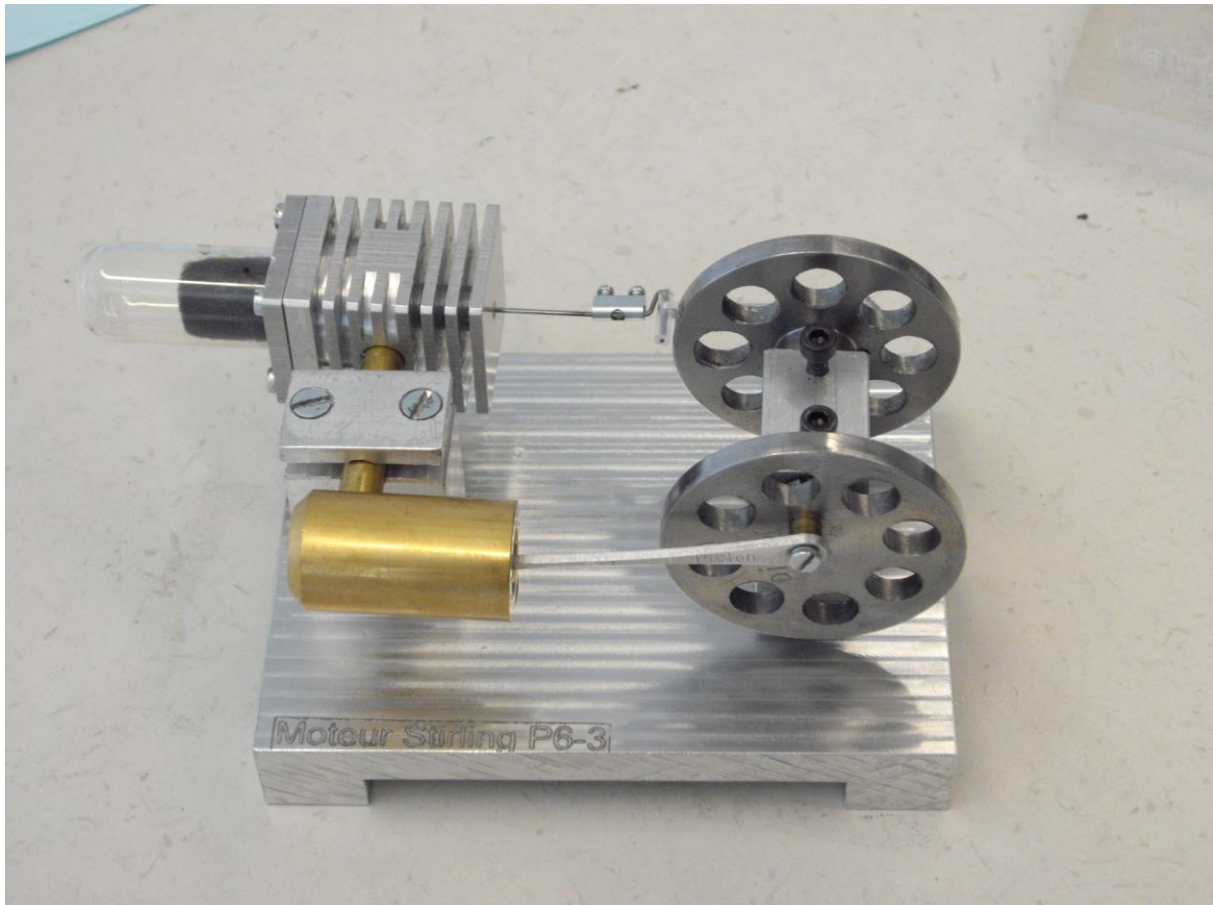




#### 4 CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Mr Dhaouadi et Mr Lecoq nous ont beaucoup aidés sur la réalisation du projet. Grâce à eux nous avons pu mener 2 projets en parallèle, la réalisation sous SolidWorks et sous RealMill nous permettant ainsi d'avoir un moteur virtuel et un moteur réel. Nous avons donc pu acquérir des connaissances sur le logiciel SolidWorks mais aussi sur la CAO et le fonctionnement d'une machine d'usinage RealMeca.

Concernant le projet dans sa globalité, celui-ci nous a beaucoup apporté tant sur le plan professionnel que personnel. En effet, il y a bien évidemment la satisfaction d'avoir mené à bien le projet, tout cela dans les délais et presque en totale autonomie mais comme toutes les UV de projets, elle nous a permis, encore une fois, de travailler en équipe et d'apprendre à travailler ensemble. Gérer les conflits, se répartir les tâches, prêter attention aux idées des autres membres du groupe, et prendre le temps de les écouter, ne pas rester axé sur sa propre opinion. Ce qui est fondamental dans la formation d'un futur ingénieur, puisqu'il ne travaille jamais seul mais avec une équipe.



## 5 BIBLIOGRAPHIE

Lien internet :

- <http://www.moteurstirling.com/>
- [http://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur\\_Stirling](http://fr.wikipedia.org/wiki/Moteur_Stirling)
- <http://www.solidwoks.fr>

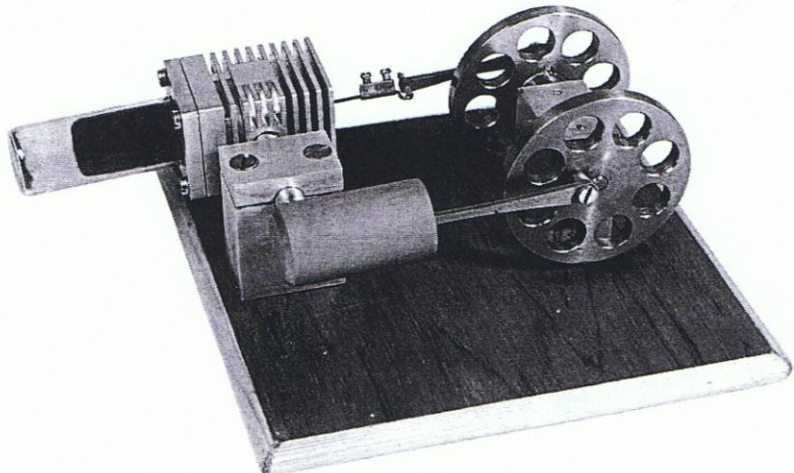


6 ANNEXES

6.1 Documentation technique

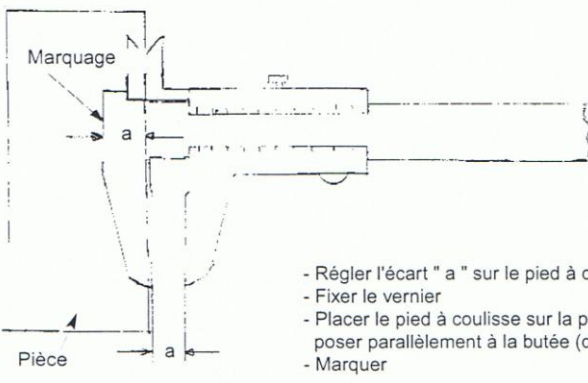
**8. Préparation des pièces**

**Vue tridimensionnelle**



**Données techniques:**  
 Course cylindre mécanique :  $\varnothing 12 \times 14 \text{ mm}$   
 Course cylindre de refoulement:  $\varnothing 18 \times 18 \text{ mm}$   
 Vitesse de tours : env. 1000 T/min.

Lors de la fabrication des pièces détachées, on accordera la plus grande attention au marquage précis. Avec un pied à coulisse, on procédera comme indiqué sur le croquis ci-dessous.



- Régler l'écart " a " sur le pied à coulisse
- Fixer le vernier
- Placer le pied à coulisse sur la pièce et en même temps, poser parallèlement à la butée (dos du pied à coulisse)
- Marquer

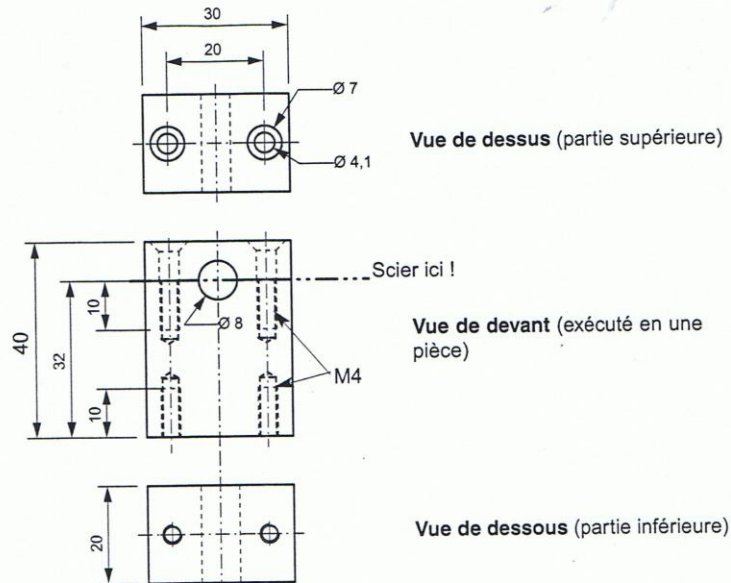
10 #112778#1



## 8. Préparation des pièces

### 8.4 Préparation du support de moteur selon dessin ci-dessous:

Pos. 1



- Ebarber
- Marquer
- Préparer les perforations au pointeau
- Percer des trous de filetage interne M4, 4 x  $\varnothing$  3,3 (le dessus et le fond)
- Déterminer la perforation  $\varnothing$  8 mm pour la réception du canal de liaison, préparer la perforation avec la mèche de centrage  $\varnothing$  1,5.

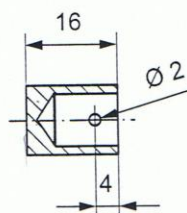
**Remarque :** Serrer la pièce en angle droit!

- Scier la partie supérieure (plus petite) de manière régulière, sur quatre côtés.
- Préparer les 4 filetages internes M4.

**Remarque :** Serrer la pièce et tourner le mandrin à la main!

- Les deux perforations supérieures de la pièce de serrage sont effectuées au  $\varnothing$  de 4,1. Ensuite, enfoncer au pointeau conique  $\varnothing$  15. (Vérifier avec vis à tête conique M4).
- Ebarber et poncer la surface.
- Si cela est souhaité, on peut briser les arêtes.

### 8.5 Piston mécanique (Pos. 8)



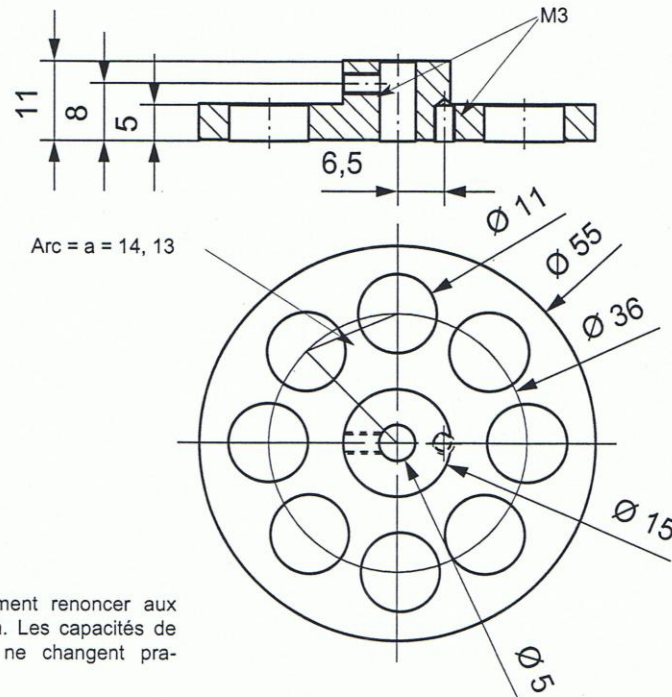
Pos. 8

- Marquage de la perforation  $\varnothing$  2.
- **Remarque :** Serrer dans des mâchoires de bois ou de plastique, ne pas endommager la surface!
- Marquer au pointeau
- Préparer les perforations avec mèche  $\varnothing$  1,8
- **Remarque :** Veiller à bien centrer. Serrer dans l'étau parallèle!
- Frotter avec mandrin alésoir  $\varnothing$  2.
- Ebarber soigneusement.

## 8. Préparation des pièces

### 8.6 Préparation de la roue motrice du piston mécanique, selon dessin ci-dessous

Pos. 4



#### Conseil !

On peut également renoncer aux trous de 11 mm. Les capacités de fonctionnement ne changent pratiquement pas.

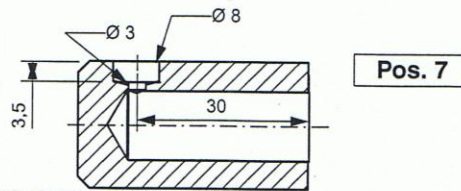
Avantage:

temps de construction raccourci

- Marquer les deux filetages internes M3
- Préparation de la perforation avec mèche de centrage  $\varnothing 1,65$
- Perforer à 2,5 mm de diamètre
- Couper le filetage interne M3
- Introduire l'axe 5 dans la perforation  $\varnothing 5$  mm.
- Marquer le centre de l'axe
- Marquer le cercle partiel R 18
- Déterminer les centres des 8 perforations (11) au moyen de la longueur de l'arc s-14, 13 mm (si nécessaire, corriger plusieurs fois)
- Marquer au pointeau
- Préparer la perforation avec  $\varnothing 8$  mm (serrer la pièce, ne pas griffer les surfaces)
- Perforation définitive avec  $\varnothing 11$  mm
- Ebarber avec pointeau conique

## 8. Préparation des pièces

### 8.9 Cylindre mécanique (Pos. 7, perforations de 3 mm et de 8 mm)-

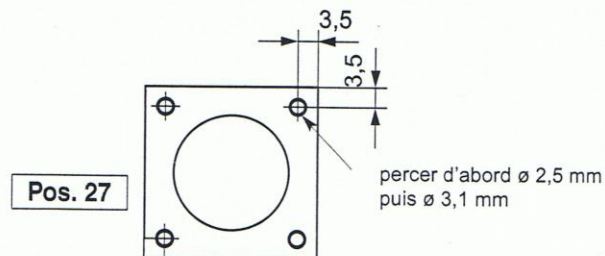


- Préparer les perforations de  $\varnothing 3$  et  $\varnothing 8$ .
- Marquer au pointeau
- Procéder aux deux perforations ( $\varnothing 3$  et  $\varnothing 8$ )

**Remarque :** Veiller à bien centrer -> utiliser la mèche de centrage 1,6 et tenir compte de la profondeur!

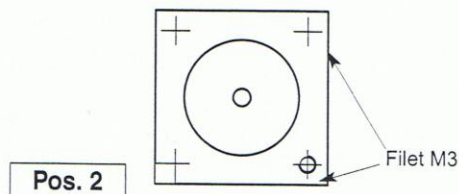
- Ebarber avec soin.

### 8.10 Préparation de la bride (Pos. 27) selon le dessin suivant :



- Ebarber la bride préfabriquée
- Marquer les perforations et pointer
- Percer à travers  $\varnothing 2,5$  mm (après que la bride ait été adaptée au radiateur, on va percer les 4 trous de  $\varnothing 3,1$  mm)

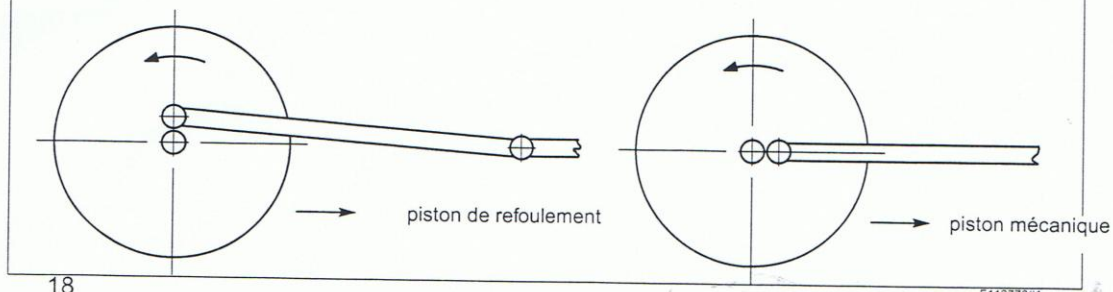
### 8.11 Préparation du radiateur (pos. 2) selon dessin ci-dessous:



- Mettre le joint d'étanchéité (12) dans la bride et faire passer le tube à essais (5) à travers la bride
- Poser la bride (avec tube à essais + joint d'étanchéité) sur la face frontale avec le grand trou du radiateur et avec précaution, enfoncer le tube jusqu'à la butée dans le radiateur
- Serrer la bride et le radiateur dans l'étau de machine et veiller à ce que le tube à essais soit vertical par rapport au radiateur et que la bride et le radiateur soient fixés dans la bride.
- Reporter les 4 perforations  $\varnothing 2,5$  mm dans la bride sur le radiateur (prépercer)
- Avec une trace (pointe de centrage) marquer sur un côté la position de la bride par rapport au radiateur
- Ôter la bride avec le tube à essais et percer à travers des trous de  $\varnothing 2,5$  mm jusqu'à l'encoche du radiateur
- Taille 4 filets M3 dans le radiateur
- Retirer le radiateur de l'étau de machine et l'enfoncer dans la douille en laiton (25)  $3 \times 1 \times 18$  mm, dans le trou de 3 mm. (Si la douille devait avoir trop de jeu, alors il est conseillé de la coller) !
- Maintenant percer les 4 trous dans la bride  $\varnothing 3,1$  mm
- Ebarber les pièces.

## 9. Assemblage du modèle

- Le cylindre mécanique (7), le radiateur (2) et le canal de liaison (9) sont collés ensemble (colle à deux composants). Les parties collées doivent rester étanches à l'air, mais sans que le passage du canal ne soit bouché. L'espace entre le radiateur et le cylindre mécanique est de 36 mm. Avant le collage définitif, vérifier les mesures et, le cas échéant, corriger. Les axes du radiateur et du cylindre mécanique doivent être en parallèle sur un niveau.
- Maintenant on va coller les deux douilles (17,  $\varnothing 7 \times 1 \times 7,5$ ) dans l'armature (3) pour les deux roues motrices avec de la colle à 2 composants et ensuite, on va percer les deux trous pour huiler ( $\varnothing 2,5$ ). On ébarbe le manchon dans la douille (17) avec l'alésoir mécanique ( $\varnothing 5$ ).
- Raccourcir l'essieu à 52 mm, ébarber et ensuite, l'adapter dans l'armature, éventuellement poncer un peu et bien huiler pour qu'il se tourne facilement.
- Limer la tige d'adaptation (19) à une extrémité à 11,7 mm (ou même encore un peu plus court) de manière à ce qu'après l'assemblage, il ne dépasse pas du cylindre mécanique ( $\varnothing 12$  mm), ce qui pourrait provoquer des rainures dans le cylindre. Assembler la bielle motrice (11) et le piston mécanique (8) avec la tige d'adaptation (19).
- On procède maintenant au montage sur le plateau de base (24). Chanfreiner les rondelles (26) avec un pointeau ou un foret  $\varnothing 8$ , afin que les deux boulons à tête conique (21) ne dépassent pas. L'armature (3) avec les roues motrices (4) et le support de moteur (1) sont montés avec les vis coniques (21) et les rondelles (26). Ensuite, ce sont les deux biellettes (11) qui sont reliées aux roues motrices avec les vis coniques (22) et les douilles (15/18).
- Dans le caoutchouc mousse (20) on va découper 4 pieds carrés ayant une arête longue d'env. 30 mm et les coller sous la planche de montage (24).
- Le cylindre de refoulement (6) est introduit dans le radiateur (2) jusqu'à la butée (on limera éventuellement légèrement le trou dans la douille (25) ( $\varnothing 1$  mm)). Mettre l'anneau d'étanchéité (12) dans la bride et enfoncer le tube à essais (5) à travers la bride. Enfoncer le tube à essais jusqu'à la butée dans le radiateur et fixer régulièrement la bride avec 4 vis à tête cylindrique (22) le tube à essais et le radiateur doivent être placés verticalement l'un par rapport à l'autre. Le mouvement d'avant en arrière du refoulement doit être facilement manœuvrable.
- Relier la bielle motrice (11) avec le crochet (14) et ensuite relier les deux biellettes avec la barrette de connexion. Fixer les deux bouts de tuyaux en silicone (16/3+7mm) au crochet ; ils servent à contrôler le mouvement de la bielle motrice.
- En réglant l'écart des roues motrices (4) sur l'essieu (10) il faut veiller à ce que le piston mécanique et le piston de refoulement ne soient pas gênés dans leurs mouvements. Les deux biellettes motrices doivent être parallèles (correction possible en poussant l'armature ou le radiateur avec le piston mécanique). Le piston de refoulement ne doit pas arriver jusqu'au point mort avant ou arrière.
- On termine en établissant un angle de  $90^\circ$  entre les deux biellettes (11) qui sont sur les roues motrices (4), cela en s'inspirant du croquis ci-dessous:  
Libérer tout d'abord les vis sans tête (23); resserrer après réglage.



18

F112778#1

## 6.2 Listings des programmes réalisés

### PROGRAMME REAL MILL POUR REALISER LA BIELLE AVEC LA MACHINE NUM 750

%2010

(Bielle)

(CN NUM)

(T02 FRAISE DIA=12 CRO=0)

N1 G90 G80 G40 M41

N2 G0 G52 Z0

N3 T2 D2 M6 (EBAUCHE PROFIL)

N4 S3000 M3

N5 G0 X-8.2 Y0. M8

N6 Z32.

N7 G1 Z23.1 F150

N8 G41 X-6.468 Y-1. F400

N9 G3 X-6.2 Y0. R2. F100

N10 G2 X2.379 Y8.699 R8.7 F400

N11 G1 X52.314 Y10.197

N12 G2 X52.5 Y10.2 R6.2

N13 G2 X62.7 Y0. R10.2

N14 G2 X52.5 Y-10.2 R10.2

N15 G2 X52.314 Y-10.197 R6.2

N16 G1 X2.379 Y-8.699

N17 G2 X-6.2 Y0. R8.7

N18 G3 X-6.468 Y1. R2. F100

N19 G1 G40 X-8.2 Y0. F400

N20 Z16.2 F150

N21 G41 X-6.468 Y-1. F400

N22 G3 X-6.2 Y0. R2. F100

N23 G2 X2.379 Y8.699 R8.7 F400

N24 G1 X52.314 Y10.197

N25 G2 X52.5 Y10.2 R6.2

N26 G2 X62.7 Y0. R10.2

N27 G2 X52.5 Y-10.2 R10.2

N28 G2 X52.314 Y-10.197 R6.2

N29 G1 X2.379 Y-8.699

N30 G2 X-6.2 Y0. R8.7

N31 G3 X-6.468 Y1. R2. F100





N32 G1 G40 X-8.2 Y0. F400

N33 G0 Z32.

N34 Z32.

(FINITION PROFIL)

N35 G0 X-8. Y0.

N36 G1 Z16. F300

N37 G41 X-6.268 Y-1. F350

N38 G3 X-6. Y0. R2. F87

N39 G2 X2.383 Y8.499 R8.5 F350

N40 G1 X52.32 Y9.997

N41 G2 X52.5 Y10. R6.

N42 G2 X62.5 Y0. R10.

N43 G2 X52.5 Y-10. R10.

N44 G2 X52.32 Y-9.997 R6.

N45 G1 X2.383 Y-8.499

N46 G2 X-6. Y0. R8.5

N47 G3 X-6.268 Y1. R2. F87

N48 G1 G40 X-8. Y0. F350

N49 G0 Z32.

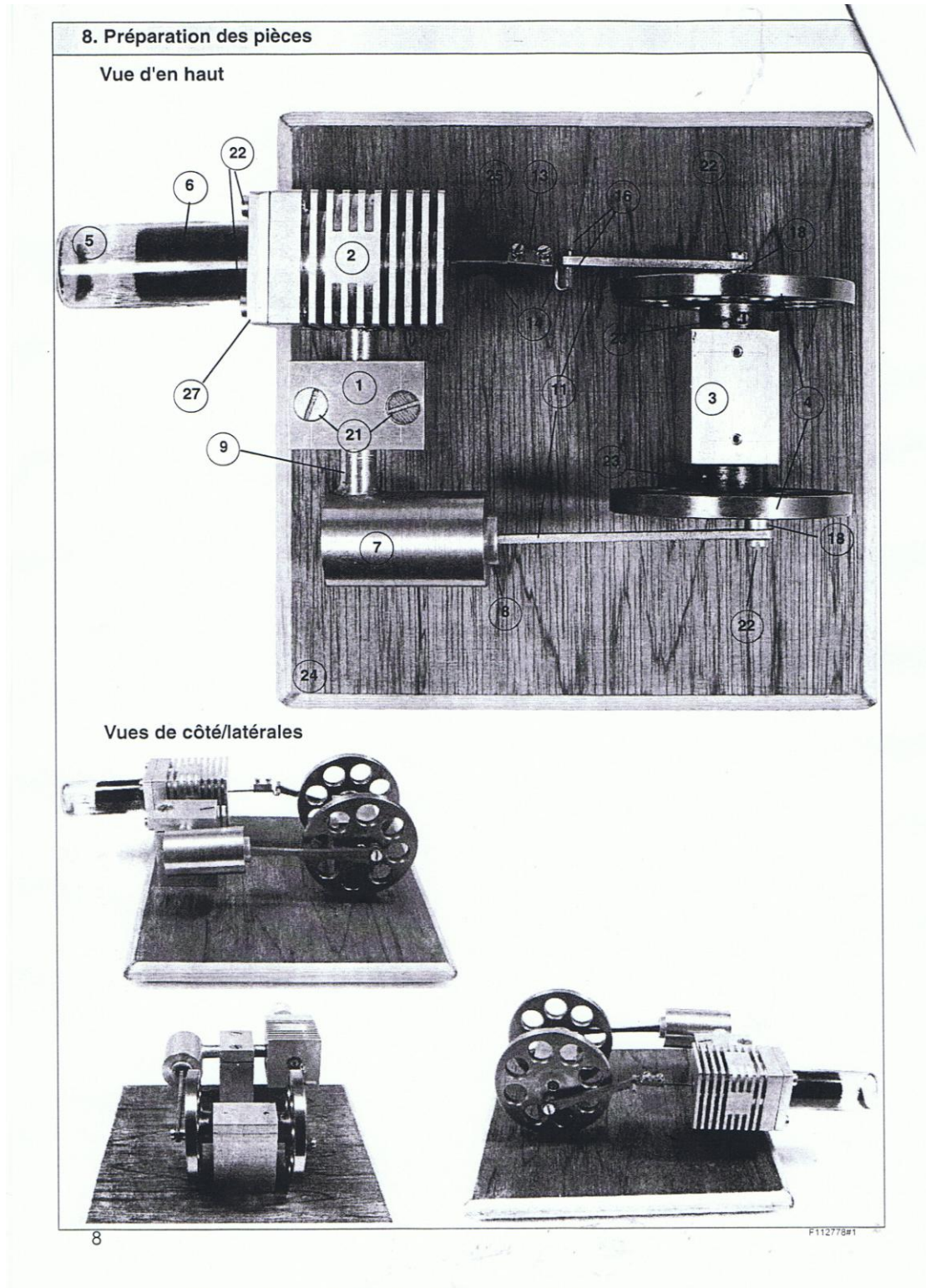
N50 M9

N51 G0 G52 Z0 M5

N52 M2

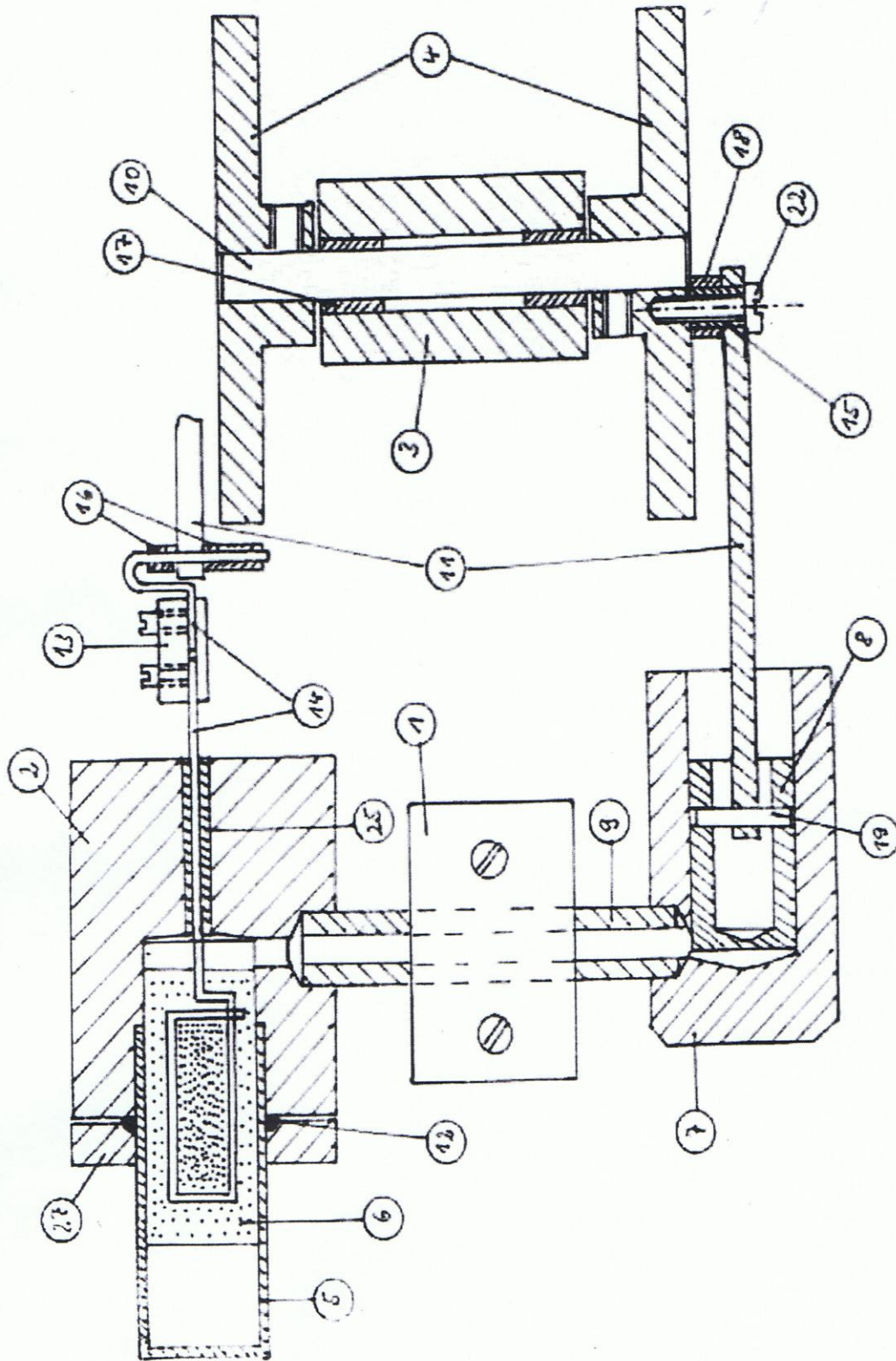


**6.3 Schémas de montages, plans de conception...**



8. Préparation des pièces

Vue d'en haut en coupe



### 7. Liste du matériel

Pos.	Qté	Dénomination	Dimensions en mm	Application
1	1	Cadre aluminium	20x30x40	Support du moteur
2	1	Cadre aluminium, percé	30x30x38	Radiateur
3	1	Cadre aluminium	20x30x40	Armature
4	2	Roues motrices en acier	ø 55 x 5	Roues motrices
5	1	Tube à essais	(ø20x1,2)x55	Cylindre de refoulement
6	1	Refoulement, laine d'acier très fine	15x85x180	Piston de refoulement (Régénérateur)
7	1	Cylindre coulé percé	(22x5)x40	Cylindre mécanique
8	1	Cylindre aluminium percé	(12x2,5)x16	Piston mécanique
9	1	Tube en laiton	(8x2,5)x43,5	Tuyau de liaison
10	1	Tige en acier	ø5x55	Essieu ou axe
11	1	Barre plate	(10x2)x120	Bielle motrice 1/2
12	1	Anneau torique d'étanchéité	ø20x2	Joint entre radiateur, bride et cylindre de refoulement
13	1	Barrette de connexion & 2 vis	5x4x10	Raccord entre bielle motrice et bielle de refoulement
14	2	Fils en acier	ø1x200	Bielle p. piston de refoulement & liaison entre bielle motrice & autre bielle (crochet)
15	2	Douilles en laiton	(4x0,5)x6	Douille d'entraînement sur roue motrice
16	1	Tube en silicone	ø3x1x20 pour 2 pces ) (3mm & 7mm de long)	Direction de la bielle motrice
17	2	Douille en laiton	(7x1)x7,5	Boîtes de glissement dans coussinet/support
18	2	Douille en laiton	(6x1)x3,5	Douille d'entraînement sur roue motrice
19	1	Tige d'adaptation	2x12	Réception bielle motrice dans piston mécanique
20	1	Caoutchouc mousse	env.96x100	Pieds pour plateau de base
21	6	Boulon à tête conique	M4x16	Fixation support du moteur, élément de serrage & ar- matu- re
22	6	Vis à tête cylindrique	M3x10	Fixation douilles d'entraîne- ment & bride
23	2	Vis sans tête	M3x6	Liaison entre roues motrices et essieux
24	1	Plateau de base	140x140x10	Plateau de montage de la ma- quette
25	1	Douille en laiton	3x1x18	Boîte de glissement dans ra- diateur
26	2	Rondelles d'écartement	ø18/6,4	Support pour armature
27	1	Bride	(30x30) avec trou ø20	Etanchéité radiateur & cylind- re de combustion